



FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M. DIVISION DE EDUCACION CONTINUA

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo, para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

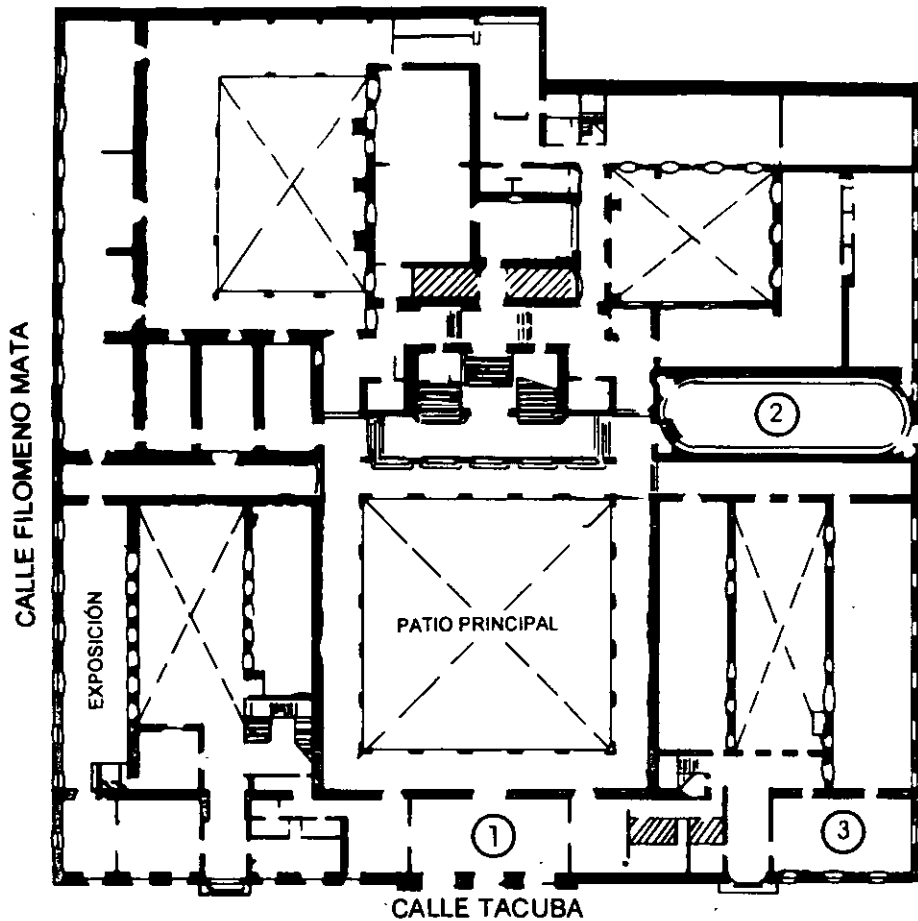
Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

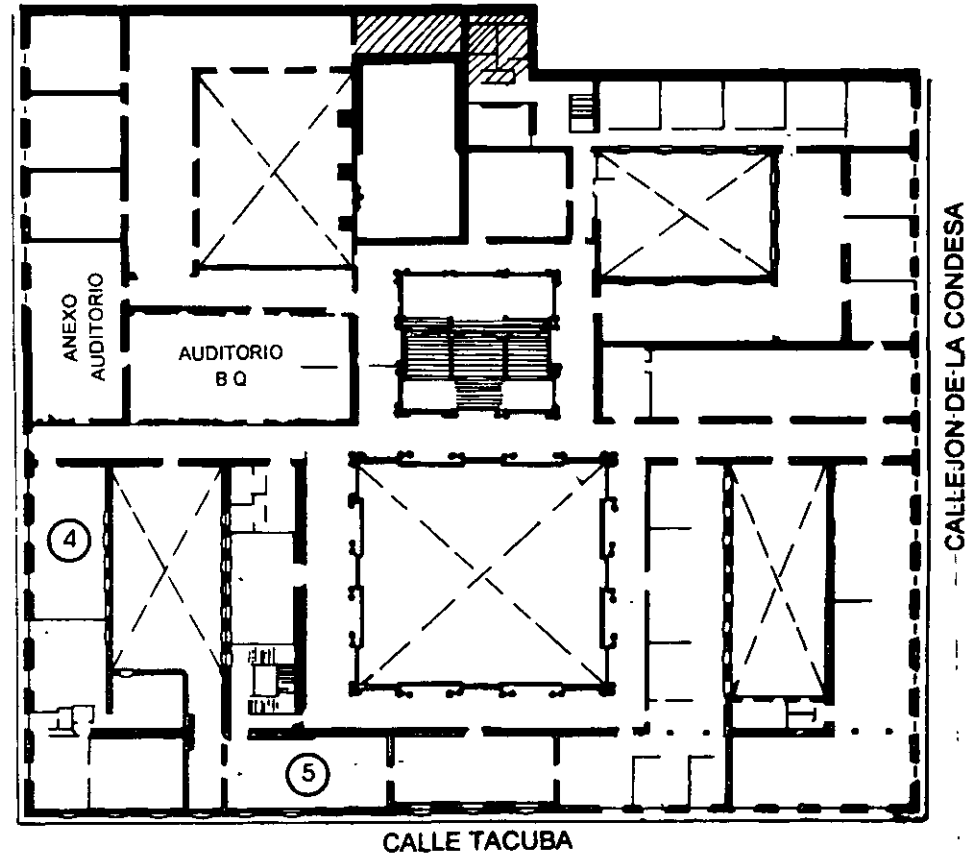
Atentamente

División de Educación Continua.

PALACIO DE MINERIA

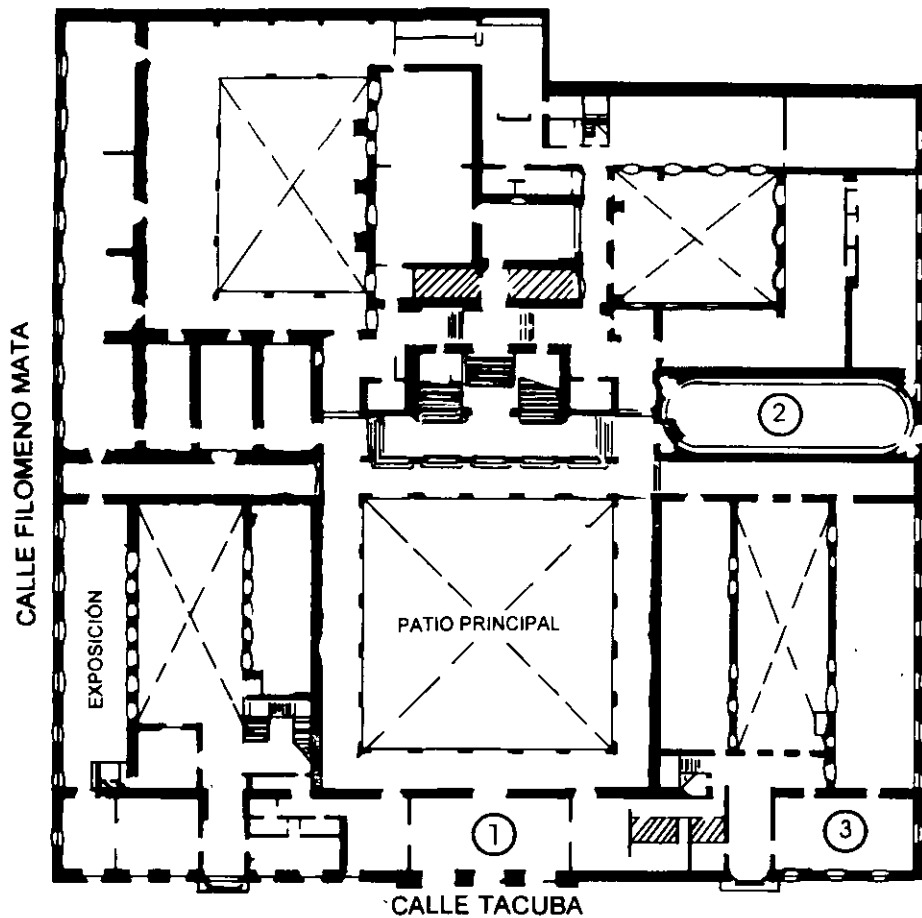


PLANTA BAJA

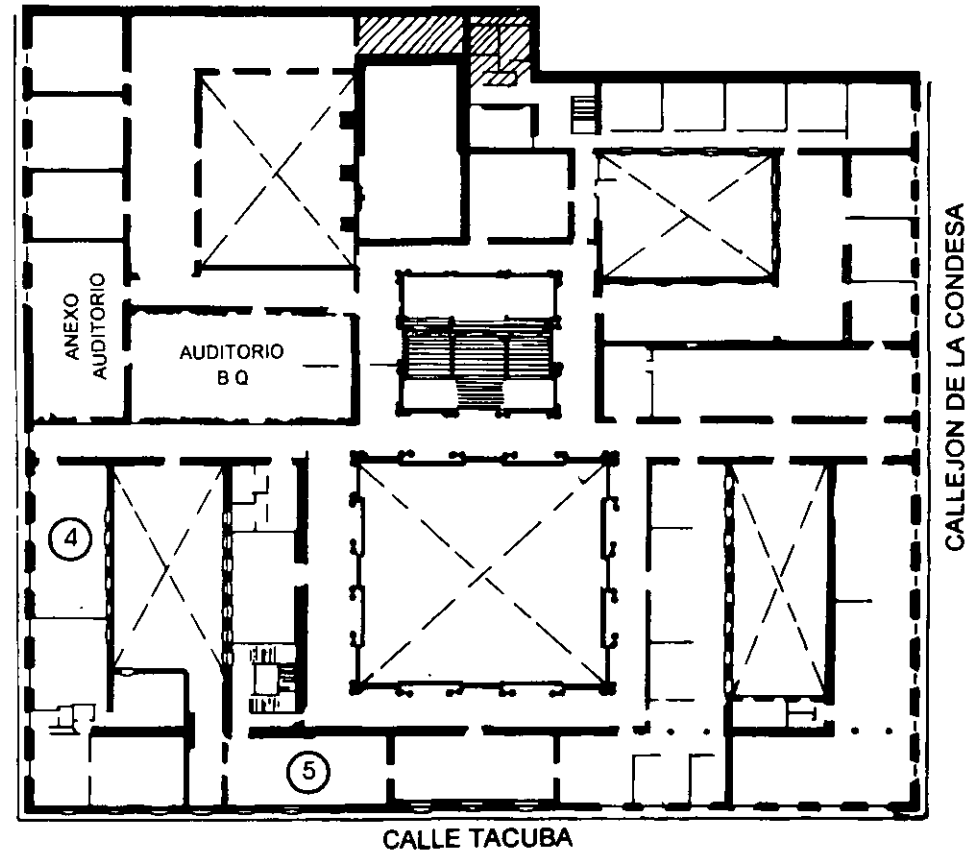


MEZZANINNE

PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



MEZZANINNE



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN
DE VÍAS TERRESTRES.**

Apuntes Generales.

Ing. Antonio Silva Tonché
Palacio de Minería
Mayo/2000



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN
DE VÍAS TERRESTRES.**

**CAPÍTULO I. "CONSERVACIÓN DE LA RED NACIONAL DE
CARRETERAS, UNA OPORTUNIDAD DE
LA INGENIERÍA MEXICANA".**

Ing. Antonio Silva Tonché
Palacio de Minería
Mayo/ 2000

ACADEMIA MEXICANA DE INGENIERIA

"CONSERVACION DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS;
UNA OPORTUNIDAD DE LA INGENIERIA MEXICANA"

94 MAY 24 12:09

M. EN I. JUAN M. OROZCO Y OROZCO

CIUDAD DE MÉXICO A 6 DE OCTUBRE DE 1988

CONSERVACION DE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS; UNA OPORTUNIDAD DE LA INGENIERIA MEXICANA

M. EN I. JUAN M. OROZCO Y O.*

1. INTRODUCCION

LA ACTIVIDAD CONSTRUCTIVA, CAUSA Y EFECTO DEL PROGRESO DEL HOMBRE, HA JUGADO A LO LARGO DE LA HISTORIA UN PAPEL DECISIVO EN EL DESARROLLO DE LOS PAÍSES Y DE SU POBLACIÓN. CONQUISTAS Y CAMPAÑAS BÉLICAS CON EL EXCLUSIVO PROPÓSITO DE OBTENER LA FUERZA LABORAL - NECESARIA PARA LA ERECCIÓN DE IMPONENTES EDIFICIOS, APOYO AL DESARROLLO DE LAS ARTES PARA EMBELLECERLOS, IMPULSO A LAS CIENCIAS PARA OPTIMIZAR SU SEGURIDAD Y ECONOMÍA, HAN SIDO CARACTERÍSTICAS DE LAS GRANDES CIVILIZACIONES QUE HAN DEJADO ASÍ LA HUELLA DE SU PASO SOBRE LA TIERRA Y SEGURAMENTE CONTINUARÁN HACIÉNDOLO EN EL FUTURO.

EN EL PRESENTE, LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN ES EL PIVOTE DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA DE TODA SOCIEDAD DESARROLLADA; PROPORCIONA EMPLEO A MUCHO MÁS DE UNA VIGÉSIMA PARTE DE LA POBLACIÓN NO AGRÍCOLA, CONSUME UN ELEVADO PORCENTAJE DEL PRODUCTO DE LA INDUSTRIA DE LA TRANSFORMACIÓN, PROMUEVE EL COMERCIO EN GENERAL Y PROPORCIONA LA INFRAESTRUCTURA PARA LA AGRICULTURA, LA HABITACIÓN, LA SALUD, LA EDUCACIÓN, LA ENERGÍA, LA INDUSTRIA Y EL TRANSPORTE. DE ESTA MANERA, SI LA PRODUCCIÓN DE ALIMENTOS TIENE MUCHO QUE VER CON EL "SER" DE UN PAÍS, LA ACTIVIDAD CONSTRUCTORA DEFINE EL "CO-

* COORDINADOR DE INFRAESTRUCTURA DEL INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES.

MO SER". Así, EL DESARROLLO TÉCNICO-SOCIAL DE UN PAÍS RESULTA --
SER FUNCIÓN DIRECTA DEL CAPITAL INVERTIDO EN SU INFRAESTRUCTURA.
A ESTE RESPECTO, EN MÉXICO Y DURANTE LA ÉPOCA POST-REVOLUCIONA--
RIA, LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN HA PARTICIPADO CON MÁS DE LA
MITAD DE LA INVERSIÓN EN LA FORMACIÓN BRUTA DE CAPITAL, AUNQUE ES
TA TENDENCIA SE HA REVERTIDO EN ÉPOCAS RECIENTES COMO CONSECUEN--
CIA DEL GRADO DE INDUSTRIALIZACIÓN DEL PAÍS.

UNO DE LOS RUBROS MÁS DINÁMICOS DE LA ACTIVIDAD CONSTRUCTORA HA -
CORRESPONDIDO A LA INFRAESTRUCTURA PARA EL TRANSPORTE, AL QUE SE
DEDICÓ CERCA DEL 20% DE LA INVERSIÓN TOTAL EN EL PASADO, PUES ES
GENERALMENTE ACEPTADO QUE EL DESARROLLO DE LOS SISTEMAS DE TRANS-
PORTE LLEVA APAREJADO EL DESARROLLO DE LA PRODUCCIÓN Y EL COMER--
CIO.

DURANTE EL SIGLO XX, EN EL MUNDO DEL TRANSPORTE IRRUMPIÓ LA CARRE
TERA, PARA APODERARSE DE MÁS DE LAS DOS TERCERAS PARTES DE LA CAR
GA Y DE LA CASI TOTALIDAD DE LOS PASAJEROS TRANSPORTADOS; ÉSTO A
PESAR DE QUE LA CARGA TOTAL ANUAL TRANSPORTADA CRECIÓ MÁS DE VEIN
TE VECES EN DICHO PERÍODO. EL DINAMISMO DE CRECIMIENTO DE LA CA-
RRETERA NO TIENE EQUIVALENTE EN LA HISTORIA. A PARTIR DE PRÁCTI-
CAMENTE SU INEXISTENCIA, ALGUNOS PAÍSES HOY CUENTAN CON CIENTOS -
DE MILES DE KILÓMETROS DE CARRETERAS. EL ESFUERZO DESARROLLADO -
PARA SU CONSTRUCCIÓN EN TODAS PARTES HA SIDO ENORME, PERO SU EFEC-
TO EN LA ECONOMÍA MUNDIAL TAMBIÉN ESTÁ A LA VISTA.

AHORA BIEN, SI ES CIERTO QUE LA ACTIVIDAD CONSTRUCTORA IMPULSA LA
ECONOMÍA EN GENERAL Y DEJA COMO RESIDUO EL TESORO DE UNA INFRAES-
TRUCTURA, COMO PARTE DEL PATRIMONIO DE UN PUEBLO, TAMBIÉN ES CIER

TO QUE ESA INFRAESTRUCTURA REQUIERE DE UNA ATENCIÓN PERMANENTE PARA CONSERVAR SU VALOR.

EN TÉRMINOS GENERALES, LAS ESTRUCTURAS MATERIALIZADAS COMO RESULTADO DE LA CAPACIDAD CONSTRUCTORA ESTÁN DESTINADAS A PRESTAR UN SERVICIO, DURANTE UN CIERTO TIEMPO, BAJO ACCIONES Y EN UN MEDIO AMBIENTE QUE LOS DETERIORAN. PARA OBTENER EL SERVICIO PREVISTO, ES NECESARIO CONTRARRESTAR EL EFECTO DEL DETERIORO, LLEVANDO A CABO ACCIONES DE CONSERVACIÓN O MANTENIMIENTO.

AL FINAL DE LA VIDA ÚTIL O PERÍODO DE DISEÑO, LA INFRAESTRUCTURA EN GENERAL ES SUSCEPTIBLE DE SER REACONDICIONADA O REMODELADA PARA CUBRIR NUEVAS EXIGENCIAS, DURANTE UN NUEVO PERÍODO DE DISEÑO, CAPITALIZANDO ASÍ SU ALTO VALOR DE RESCATE, MEDIANTE LA READAPTACIÓN, LO QUE SE HA DADO EN LLAMAR MODERNIZACIÓN.

LA ACTIVIDAD CONSTRUCTORA HA SIDO PERMANENTE Y CONSECUENTEMENTE LO HA SIDO EL CRECIMIENTO DE LA INFRAESTRUCTURA. SI AL HECHO ANTERIOR SE AGREGA QUE MUCHAS INSTALACIONES VAN LLEGANDO AL FINAL DE SU PERÍODO DE SERVICIO, SE VERÁ CLARAMENTE QUE EL ESFUERZO DESTINADO A SU CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DEBERÁ ABSORBER PAULATINAMENTE UN PORCENTAJE MAYOR DE LA ACTIVIDAD CONSTRUCTORA GLOBAL, PARA TRANSFORMARLA GRADUAL, PERO INEXORABLEMENTE, DE UNA ACTIVIDAD DIRIGIDA A LA CREACIÓN DE UNA NUEVA INFRAESTRUCTURA A UNA ACTIVIDAD ORIENTADA A SU PRESERVACIÓN. ÉSTA NUEVA SITUACIÓN EXIGIRÁ CAMBIOS EN LA PREPARACIÓN ACADÉMICA Y EN LA ACTITUD DE LOS INGENIEROS.

LA EVOLUCIÓN DEL ESTADO FÍSICO Y SU EVALUACIÓN EN ESTRUCTURAS DE

TODA CLASE, SERÁ SIN DUDA UNA DE LAS ESPECIALIDADES DEL FUTURO, INCLUYENDO LAS TÉCNICAS DE AUSCULTACIÓN DIRECTA E INDIRECTA. LA INGENIERÍA CIVIL YA HA DADO PASOS IMPORTANTES EN ESTE SENTIDO, -- PUES SOBRE TODO EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO Y MUY ESPECIALMENTE EN EL CAMPO DE LA GEOMECÁNICA, SE HAN DESARROLLADO SISTEMAS Y PROCEDIMIENTOS DE EVALUACIÓN, PARA ENFRENTAR EL ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO DE FORMACIONES GEOLÓGICAS DESARROLLADAS POR PROCESOS TOTALMENTE FUERA DEL CONTROL HUMANO. LA ADAPTACIÓN DE ESTOS MÉTODOS Y EL DESARROLLO DE OTROS MÁS ESPECÍFICOS, DEMANDARÁN UN IMPORTANTE ESFUERZO DE INVESTIGACIÓN, QUE A CONTINUACIÓN HABRÁ DE REFLEJARSE EN LOS PROGRAMAS DE ESTUDIO. OTRO -- TANTO PUEDE AFIRMARSE DE LA CAPACIDAD DE SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS EXISTENTES Y DE SU SUSCEPTIBILIDAD A SER MODIFICADAS Y READAPTADAS PARA CUBRIR NUEVAS EXIGENCIAS.

EN GENERAL PUEDE AFIRMARSE QUE EL PORVENIR DE LA INGENIERÍA CIVIL ESTARÁ CADA VEZ MÁS EN LA OPERACIÓN, CONSERVACIÓN Y ADAPTACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA EXISTENTE, PARA LO QUE SERÁ NECESARIO DESARROLLAR NUEVAS TECNOLOGÍAS E IMPLANTAR, DENTRO DEL CONTEXTO SOCIAL, LO QUE SE HA DADO EN LLAMAR LA CULTURA DE LA CONSERVACIÓN. ÉSTE ES EL RETO Y EN ÉL SE ENCIERRA PARTE DEL FUTURO DE LA INGENIERÍA CIVIL.

TODO ESTE ESFUERZO DE CONSERVACIÓN HABRÁ DE DARSE, EN UN PAÍS COMO EL NUESTRO; A LA VEZ QUE SE AMPLÍA LA COBERTURA NACIONAL DE LA RED CARRETERA, SE AVANZA EN EL APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS HIDROELÉCTRICOS, SE ATIENDEN LAS NECESIDADES DE SALUD Y EDUCACIÓN -- DE UNA POBLACIÓN QUE SEGUIRÁ CRECIENDO HASTA ALCANZAR SU EQUILI--

BRIO RESPECTO AL TERRITORIO NACIONAL, POR LO QUE EL ESFUERZO DE CONSERVACIÓN NO ES SUSTITUTO EN ESTE MOMENTO DEL ESFUERZO CONSTRUCTOR, SINO ADICIONAL, AUNQUE SE CONSIDERA PRIORITARIO RESPECTO A AQUEL.

2. INCENTIVOS PARA EL DESARROLLO

EL IMPULSO INICIAL Y EL APOYO A LA DINÁMICA MOSTRADA POR LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN EN EL PLANO MUNDIAL, HA OBEDECIDO SIEMPRE A LA CONJUNCIÓN DE DOS ASPECTOS DE ORDEN DIFERENTE, PERO CUYA ASOCIACIÓN ES ESENCIAL. EL PRIMERO SE REFIERE AL DESARROLLO TECNOLÓGICO Y EL SEGUNDO TIENE QUE VER CON EL FLUJO ESTABLE Y SEGURO DE RECURSOS FINANCIEROS DESTINADOS A PROGRAMAS ESPECÍFICOS, EL CUAL SE PUEDE ORIGINAR UNA VEZ QUE EL DESARROLLO TECNOLÓGICO ESTÁ PRESENTE.

EN EFECTO, SE SABE QUE AÚN EN EL PASADO HISTÓRICO, EL PROGRESO DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN HA ESTADO SIEMPRE LIGADO AL DESARROLLO DE TÉCNICAS QUE ENCUENTRAN APLICACIÓN PRÁCTICA EN CUALQUIERA DE LAS ETAPAS POR LAS QUE PASA UN PROYECTO DE INGENIERIA. EL USO DE LA PALANCA, EL FRACTURAMIENTO HIDRÁULICO Y TÉRMICO, EL USO DE LA DINAMITA, LA MÁQUINA DE VAPOR, LA PRODUCCIÓN INDUSTRIAL DEL CEMENTO PORTLAND, EL DESARROLLO DE LA MECÁNICA Y LA TEORÍA DE LA ELASTICIDAD, LA METALURGIA, ETC. HAN MARCADO VERDADEROS HITOS EN LA HISTORIA DE LA INGENIERÍA MUNDIAL. MÁS RECIENTEMENTE, YA EN ESTE SIGLO, LA CRECIENTE SUSTITUCIÓN DE HERRAMIENTAS Y MÁQUINAS CON TRACCIÓN ANIMAL POR MÁQUINAS CON MOTORES DE VAPOR, ELÉCTRICOS O DE COMBUSTIÓN INTERNA, O AÚN MÁS RECIENTEMENTE EL CRECIENTE USO DEL ALUMINIO, EL ACERO Y LOS PLÁSTICOS, EL USO DE LA COMPUTADORA COMO HERRAMIENTA DE PROYECTO O PROGRAMACIÓN Y CONTROL DE OBRAS, -

HAN PERMITIDO UN CRECIMIENTO ESPECTACULAR EN LA GENERACIÓN DE INFRAESTRUCTURA.

APOYÁNDOSE EN DESARROLLOS TECNOLÓGICOS, LAS SOCIEDADES HAN PODIDO CANALIZAR SUS EXCEDENTES DE OTROS CAMPOS DE LA ECONOMÍA HACIA INVERSIONES EN LA CREACIÓN DE INFRAESTRUCTURA, LO CUAL A SU VEZ HA IMPULSADO LA ECONOMÍA GENERAL RETROALIMENTANDO EL PROCESO. EN PAÍSES COMO MÉXICO Y LOS ESTADOS UNIDOS DE NORTEAMÉRICA, LA IMPLANTACIÓN DE PROGRAMAS ESPECÍFICOS DE CONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS HAN CREADO EN EL PASADO EL MERCADO PERMANENTE Y ESTABLE QUE REQUIERE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN PARA DESARROLLARSE. EN ESTE PROCESO PUEDEN DISTINGUIRSE CLARAMENTE TRES ETAPAS. LOS PROGRAMAS CARRETEROS DEL PERÍODO DE PLANEACIÓN GEOPOLÍTICA, DESTINADOS FUNDAMENTALMENTE A INTEGRAR EL TERRITORIO NACIONAL, LO CUAL A LA FECHA SE HA LOGRADO EN UN SETENTA PORCIENTO; LOS PROGRAMAS CARRETEROS DE LA POSTGUERRA, DESTINADOS A AGILIZAR EL TRANSPORTE Y MEJORAR LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EN LAS REDES TRONCALES, A LA VEZ QUE SE IMPULSA LA CREACIÓN DE UNA RED RURAL Y, FINALMENTE, LOS PROGRAMAS DE CONSTRUCCIÓN DE LAS GRANDES AUTOPISTAS POR LAS QUE CIRCULA LA MAYOR PARTE DE LA CARGA NACIONAL, UTILIZANDO VEHÍCULOS DE MÁS DE CINCUENTA TONELADAS DE PESO BRUTO VEHICULAR.

EN ESTA DÉCADA DE LOS OCHENTAS, LA ECONOMÍA MEXICANA SE HA CARACTERIZADO POR LA CRISIS, QUE HA IMPLICADO UNA DRÁSTICA REDUCCIÓN DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA EN GENERAL Y MUY ESPECIALMENTE DE LA ACTIVIDAD CONSTRUCTORA. PROBABLEMENTE DE TODOS LOS RUBROS DE LA CONSTRUCCIÓN, LOS QUE MAYOR CONTRACCIÓN HAN SUFRIDO SON LOS RELACIONADOS CON LAS OBRAS HIDRÁULICAS Y LAS VÍAS TERRESTRES.

LA RECUPERACIÓN ECONÓMICA DEL PAÍS HABRÁ DE LLEVAR EN EL FUTURO - HACIA UN CRECIMIENTO CONSIDERABLE DE LA INVERSIÓN CAMINERA Y DE ACUERDO A IDEAS ATRÁS EXPUESTAS, ÉSTA HABRÁ DE ORIENTARSE PREFERENTEMENTE A LA CONSERVACIÓN Y READAPTACIÓN. ESTE SERÁ PUES UN CAMINO VIABLE PARA SALIR DE LA CRISIS. SE REQUIERE IDENTIFICAR CLARAMENTE LA CAPACIDAD TECNOLÓGICA Y LA CAPACIDAD FINANCIERA DISPONIBLES. MÉXICO ESTÁ EN UNA EXCELENTE POSICIÓN PARA ENFRENTAR ESTE RETO. SI LO HACE, ADEMÁS DE IMPULSAR SU ECONOMÍA Y OPTIMIZAR SU TRANSPORTE, EN UN FUTURO MUY CERCANO PODRÁ ABORDAR EL MERCADO MUNDIAL, ESPEJALMENTE EL CORRESPONDIENTE A LA CONSERVACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE CARRETERAS DEL TERCER MUNDO, CON CIERTA VENTAJA SOBRE LOS PAÍSES MÁS DESARROLLADOS. HABRÁ PUES DE ANALIZARSE LA SITUACIÓN ACTUAL, IDENTIFICAR LOS ASPECTOS QUE REQUIEREN ATENCIÓN PRIORITARIA Y PROPONER LÍNEAS DE ACCIÓN; A ELLO SE DEDICARÁ EN LO QUE SIGUE ESTE TRABAJO.

3. SITUACION DE LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA NACIONAL

LA RED CARRETERA NACIONAL, DESDE EL PUNTO DE VISTA DEL TRANSPORTE MODERNO, NACE EN LA DÉCADA DE LOS AÑOS VEINTES, POR LO QUE PUEDE CONSIDERARSE QUE HA SIDO CONSTRUÍDA DURANTE LOS ÚLTIMOS SESENTA AÑOS, HASTA ALCANZAR UNA EXTENSIÓN TOTAL APROXIMADA DE 228,000 KM, CON 45,400 EN LA RED TRONCAL, 50,600 EN LA RED ALIMENTADORA, 95,300 EN LA RED RURAL Y 29,400 DE BRECHAS A CARGO DE LA SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES. EXISTE EN EL PAÍS UN PATRIMONIO ADICIONAL, ESPECIALMENTE EN LOS RUBROS DE CAMINOS RURALES Y BRECHAS, A CARGO DE OTROS ORGANISMOS Y DE LOS PARTICULARES.

LA INVERSIÓN TOTAL EN LA INFRAESTRUCTURA CARRETERA SE ESTIMA EN -

EL ORDEN DE LOS 55 BILLONES DE PESOS.

PARA LA CONSERVACIÓN DE ESTE PATRIMONIO, LOS FONDOS DESTINADOS NO HAN SIDO SUFICIENTES. PUEDE AVENTURARSE QUE ALGUNAS DE LAS CAUSAS SEGURAMENTE SE ENCUENTRAN EN EL PROCESO GRADUAL, POCO ESPECTACULAR, DE DETERIORO DE UNA RED DE CARRETERAS CUYOS PAVIMENTOS NO SE DESPLOMAN INTEMPESTIVAMENTE; LO ANTERIOR DESAFORTUNADAMENTE NO ES APLICABLE AL CASO DE LOS PUENTES.

A NIVEL MUNDIAL, GENERALMENTE SE ACEPTA QUE UNA RED CARRETERA REQUIERE UNA INVERSIÓN ANUAL PARA SU CONSERVACIÓN Y MODERNIZACIÓN, QUE OSCILA ENTRE EL TRES Y EL CUATRO PORCIENTO DEL VALOR DE LA PROPIA RED. SI LA RED CARRETERA MEXICANA VALE DEL ORDEN DE LOS 55 BILLONES DE PESOS A PRECIOS ACTUALES, LA INVERSIÓN ANUAL DEDICADA A SU MANTENIMIENTO DEBERÍA OSCILAR ENTRE 1.6 Y 2.2 BILLONES DE PESOS ANUALES. LAS CIFRAS DESTINADAS A ESTE RUBRO, DEL ORDEN DE LOS 0.4 BILLONES SON MUY INFERIORES A LAS REQUERIDAS Y, HAN LLEVADO A LA RED MEXICANA, AL IGUAL QUE A LAS DE PRÁCTICAMENTE TODOS LOS PAÍSES EN VÍAS DE DESARROLLO, A UNA SITUACIÓN DE DETERIORO CRÍTICA. EL BANCO MUNDIAL ESTIMA QUE UNA CUARTA PARTE DE LAS CARRETERAS PAVIMENTADAS Y UNA TERCERA PARTE DE LAS NO PAVIMENTADAS EN OCHENTA Y CINCO PAÍSES QUE HAN RECIBIDO PRÉSTAMOS DE ESA INSTITUCIÓN, REQUIEREN UNA DRÁSTICA RECONSTRUCCIÓN O MODERNIZACIÓN. LA INVERSIÓN REQUERIDA, SÓLO PARA ESTOS TRABAJOS, DE ACUERDO CON LA INTERNATIONAL ROAD FEDERATION, SE ELEVA A LA CANTIDAD DE 105 BILLONES DE PESOS, QUE HABRÁN DE SER INVERTIDOS EN LOS PRÓXIMOS DIEZ AÑOS.

EN MÉXICO, LA FALTA DE RECURSOS FINANCIEROS SUFICIENTES Y OPORTU-

NOS, HA HECHO QUE LA RED CARRETERA NACIONAL SE ESTÉ OPERANDO CON -
ÍNDICES DE SERVICIO ACTUAL CERCANOS AL NIVEL DE RECHAZO, PRODUCIÉN
DOSE CONSECUENTEMENTE UN IMPORTANTE INCREMENTO EN EL COSTO GLOBAL
DEL TRANSPORTE. ESTA SITUACIÓN ES ESPECIALMENTE GRAVE EN LA RED
TRONCAL BÁSICA, POR LA QUE SE MUEVE MÁS DEL OCHENTA POR CIENTO DE
LAS TONELADAS-KILÓMETRO TRANSPORTADAS EN LA RED NACIONAL Y QUE --
TIENE UNA LONGITUD DEL ORDEN DE LOS 25,000 Km. DENTRO DE ESTA --
RED TRONCAL BÁSICA, EXISTEN APROXIMADAMENTE 10,000 Km QUE SOPOR--
TAN LA MAYOR PARTE DE LA CARGA. EN ELLOS, EL PROCESO DE DETERIORO
ES AÚN MÁS RÁPIDO, EN UNA PARTE COMO CONSECUENCIA DE HABER REBASA
DO SU VIDA ÚTIL, ESPECIALMENTE EN LO QUE SE REFIERE A CARGAS DE -
DISEÑO; LA ATENCIÓN DE ESTOS DIEZ MIL KILÓMETROS DEBE CONSIDERAR--
SE PRIORITARIA. PARA DAR UNA PÁLIDA IDEA DE LO CRÍTICO DE LA SI-
TUACIÓN, AÚN DESDE EL PUNTO DE VISTA PURAMENTE FINANCIERO, BASTE
DECIR QUE LAS REDUCIDAS INVERSIONES QUE EN EL PASADO SE HAN VENI-
DO DANDO PARA MANTENER EMERGENTEMENTE ESTA RED PRIORITARIA Y EVI-
TAR SU COLAPSO, LOGRAN APENAS UNA RENTABILIDAD DEL DIEZ PORCIENTO
DE LA QUE SE OBTENDRÍA SI EL VOLUMEN DE FONDOS FINANCIEROS FUERA
EL ADECUADO. ESTE DESPERDICIO DE RECURSOS, EN UN PAÍS NECESITADO
DE ELLOS, DEBE CONDUCIR A UN ANÁLISIS PROFUNDO PARA IDENTIFICAR Y
ABRIR FUENTES DE FINANCIAMIENTO NUEVAS, TALES COMO LA INVERSIÓN -
PRIVADA U OTRAS, QUE PERMITAN CORREGIR ESTOS DESBALANCES QUE TAN
ONEROSOS ESTÁN RESULTANDO Y, SOBRETUDO, PARA EVITAR QUE EN EL FU-
TURO CERCANO EL SISTEMA CARRETERO DEL PAÍS SE CONVIERTA EN EL CUE
LLO DE BOTELLA DE LA ACTIVIDAD ECONÓMICA NACIONAL.

DESDE EL PUNTO DE VISTA TECNOLÓGICO, LA INGENIERÍA CIVIL MEXICANA
HA SABIDO DESARROLLAR UNA TECNOLOGÍA NACIONAL PARA LA CONSERVA---

CIÓN DE CARRETERAS. SIN EMBARGO, EL REZAGO FINANCIERO TAMBIÉN -
LA HA AFECTADO EN SU EVOLUCIÓN. LOS MAYORES RETOS DE MODERNIZA--
CIÓN A LOS QUE HOY SE ENFRENTA DERIVAN DEL TAMAÑO DE LA RED, DE -
LOS CRITERIOS PARA EL MANEJO DE LOS PAVIMENTOS Y DE LOS PROCEDI--
MIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA SU REHABILITACIÓN.

EN EFECTO, UN ESTUDIO RECIENTE DE LA DISTRIBUCIÓN DE RECURSOS PA-
RA LA CONSERVACIÓN Y SU EFECTIVIDAD, MEDIDA EN TÉRMINOS DE CALIFI-
CACIÓN GLOBAL, MUESTRA CLARAMENTE QUE LAS REDES DE MIL DOSCIENTOS
KILÓMETROS O MENOS, AÚN CON INVERSIONES BAJAS LOGRAN CALIFICACIO-
NES SUPERIORES A LOS TRESCIENTOS TREINTA Y CINCO PUNTOS, MIENTRAS
QUE AL CRECER EL TAMAÑO DE LA RED Y A PESAR DE QUE LA INVERSIÓN -
POR KILÓMETRO/AÑO SE INCREMENTA, LA CALIFICACIÓN ALCANZADA DISMI-
NUYE NOTABLEMENTE. EN NUESTRAS CONDICIONES NACIONALES, A PARTIR
DE UN TAMAÑO APROXIMADO DE RED DE DOS MIL KILÓMETROS, LA INVER--
SIÓN POR KILÓMETRO/AÑO EMPIEZA A DISMINUIR Y LA CALIFICACIÓN AL--
CANZADA CONTINUA DISMINUYENDO.

EL HECHO ANTERIOR PUEDE INTERPRETARSE CLARAMENTE COMO EL LÍMITE -
DE LA CAPACIDAD HUMANA PARA MANEJAR ADECUADAMENTE, DE ACUERDO CON
LA PREPARACIÓN, EXPERIENCIA Y DEDICACIÓN PERSONALES, LAS DECISIO--
NES, PROYECTO Y EJECUCIÓN DE TRABAJOS EN UNA RED DE HASTA 1,200 -
KM. DE ESTA LONGITUD EN ADELANTE, EL VOLUMEN DE INFORMACIÓN QUE
HA DE SER CONSIDERADA EN LA TOMA DE DECISIONES, ES SUPERIOR A LA -
CAPACIDAD HUMANA MEDIA Y SE HACE NECESARIO IMPLANTAR SISTEMAS DE
INFORMACIÓN Y ANÁLISIS COMPUTARIZADOS. ESPECIALMENTE EN LO QUE -
SE REFIERE A TRABAJOS DE PROTECCIÓN O REACONDICIONAMIENTO DE PAVI-
MENTOS, LA ASIGNACIÓN DE RECURSOS YA NO ES POSIBLE PRIORIZARLA --

ADECUADAMENTE SI NO SE CUENTA CON LA CAPACIDAD DE ALMACENAMIENTO DE DATOS Y DE ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS QUE PROPORCIONA UN SISTEMA APOYADO POR COMPUTADORAS. LA PROPIA OBTENCIÓN DE RECURSOS SE FACILITA, SI A LAS AUTORIDADES SE LES PUEDE PRESENTAR UN ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD DE CADA OPCIÓN O NIVEL DE INVERSIÓN; ASÍ COMO SU IMPACTO EN EL NIVEL GENERAL DE SERVICIO DE LA RED.

ESTOS SISTEMAS, LLAMADOS DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS, HAN -- DISFRUTADO DE GRAN ATENCIÓN Y APOYO PARA SU CONCEPCIÓN E IMPLEMENTACIÓN EN LOS PAÍSES CON LAS MAYORES REDES CARRETERAS. SIN EMBARGO, LOS MODELOS HOY DISPONIBLES PARECEN INCLINARSE A LAS NECESIDADES PARTICULARES DE LA INSTITUCIÓN QUE LOS DESARROLLÓ, O RESULTAN DEMASIADO AMBICIOSOS EN SU COBERTURA Y POR LO TANTO POCO ADECUADOS PARA SU IMPLANTACIÓN PRÁCTICA.

PUESTO QUE PARECE INDISCUTIBLE QUE UNA RED CARRETERA COMO LA MEXICANA, SOBREPASA AMPLIAMENTE LA CAPACIDAD INDIVIDUAL PARA SU ADMINISTRACIÓN, EN EL CAMPO DE LOS PAVIMENTOS SE HAN DADO LOS PASOS NECESARIOS PARA LA CONCEPTUALIZACIÓN DE UN SISTEMA MEXICANO DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS. ÉSTE SISTEMA TOMARÁ EN CUENTA LOS RASGOS ESTRUCTURALES DE LOS PAVIMENTOS EN LA RED MEXICANA, CARACTERIZADA POR TERRACERÍAS EXCESIVAMENTE DEFORMABLES, SOBRE LAS QUE DESCANSAN PAVIMENTOS DE POCO ESPESOR EN SUS COMPONENTES HIDRÁULICOS, CUBIERTOS POR SUCESIVAS CARPETAS ASFÁLTICAS AGRIETADAS POR EFECTOS DE FATIGA Y POR LO TANTO CON MUY BAJO VALOR ESTRUCTURAL. POR OTRA PARTE, SE HA CONSIDERADO MUY CONVENIENTE ADOPTAR LA ESTRATEGIA DE INICIAR CON UN SISTEMA SIMPLE, DE FÁCIL COMPRENSIÓN E IMPLEMENTACIÓN, PARA POSTERIORMENTE ENRIQUECERLO GRADUALMENTE --

DE ACUERDO CON LA EXPERIENCIA Y FAMILIARIDAD LOGRADA EN CADA ETAPA. ESTE SISTEMA SE BASA ESENCIALMENTE EN DOS INDICADORES FUNDAMENTALES PARA ORIENTAR LA AUSCULTACIÓN DE LA RED Y DAR SEGUIMIENTO A SU EVOLUCIÓN EN EL TIEMPO. ÉSTOS INDICADORES SON LA "CALIFICACIÓN ACTUAL" O "ÍNDICE REAL DE SERVICIO", PARA CARACTERIZAR EL ESTADO SUPERFICIAL DEL PAVIMENTO Y LA DEFLEXIÓN, PARA CARACTERIZAR SU CAPACIDAD ESTRUCTURAL. A ESTE SISTEMA SERÁ NECESARIO ANEXAR UN SUBSISTEMA DE DISEÑO DE ESPESORES DE PAVIMENTOS O UN CATÁLOGO DE SECCIONES TIPO, SEGÚN SE COMENTARÁ MÁS ADELANTE. PARA PRIORIZAR LAS NECESIDADES DE ATENCIÓN MEDIANTE DIVERGAS MEDIDAS PREVENTIVAS O CORRECTIVAS, EL SISTEMA QUE SE DESARROLLA INVOLUCRará OTRAS VARIABLES ADICIONALES AL COSTO MISMO, COMO PUEDEN SER EL TRÁNSITO EXPRESADO EN EJES EQUIVALENTES ANUALES, LA CONTINUIDAD DE LOS ITINERARIOS, EL NÚMERO ANUAL DE USUARIOS, LA RENTABILIDAD ESPERADA DE LA INVERSIÓN Y EL VALOR DE RESCATE DE LA ESTRUCTURA EXISTENTE, CUYA PÉRDIDA SE EVITA MEDIANTE UNA ATENCIÓN OPORTUNA.

SE ESTIMA QUE UN SISTEMA COMO EL QUE SOMERAMENTE HA SIDO DESCRITO EN PÁRRAFOS ANTERIORES, CONSTITUIRÁ EL MARCO DE REFERENCIA EN EL QUE PODRÁ ORDENARSE, DEPURARSE Y DESARROLLARSE, LA TECNOLOGÍA NACIONAL DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE PAVIMENTOS.

EL SEGUNDO RETO IMPORTANTE AL QUE HOY EN DÍA SE ENFRENTA LA MODERNIZACIÓN DE LA RED NACIONAL, SE REFIERE AL MANEJO DE LOS PAVIMENTOS. BAJO ESTA EXPRESIÓN TAN GENERAL, SE PRETENDEN AGRUPAR DESDE LOS CRITERIOS USUALES PARA LA SELECCIÓN DE MATERIALES, LAS NORMAS UTILIZADAS PARA SU CARACTERIZACIÓN, LAS SOLUCIONES TÍPICAS DE ESTRUCTURACIÓN, LOS MÉTODOS DE DISEÑO DE ESPESORES, LA MAQUINARIA Y

EQUIPO DISPONIBLES EN EL PARQUE NACIONAL, LOS CRITERIOS DE INVERSIÓN, ASÍ COMO LA TRADICIÓN Y LA COSTUMBRE QUE EN ESTE CAMPO DOMINA EL PENSAMIENTO DE LA MAYORÍA.

UNA REVISIÓN RECIENTE DEL ESTADO QUE GUARDA LA TECNOLOGÍA NACIONAL, EN LO QUE SE REFIERE A DISEÑO Y COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS, TOMANDO COMO BASE LA RED NACIONAL DE CARRETERAS Y LOS TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN LLEVADOS A CABO EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM DURANTE LOS ÚLTIMOS VEINTISÉIS AÑOS, PERMITIÓ LLEGAR A LAS CONCLUSIONES SIGUIENTES.

. PARA ESTUDIAR EL COMPORTAMIENTO MECÁNICO E HIDRÁULICO DE LA SECCIÓN ESTRUCTURAL DE CARRETERAS, ES NECESARIO RECURRIR A PROTOTIPOS O MODELOS A ESCALA NATURAL, PUESTO QUE HASTA HOY EN DÍA NO HA SIDO POSIBLE SU MODELACIÓN MATEMÁTICA SATISFACTORIA Y, TAL VEZ, NO LO SEA EN UN FUTURO CERCANO.

. TANTO A NIVEL NACIONAL COMO EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL, SE HA DADO DEMASIADA RELEVANCIA AL ASPECTO DE LA RESISTENCIA, EN DETRIMENTO DE OTROS ASPECTOS QUE INCIDEN DE IGUAL MANERA EN LA CAPACIDAD DE SERVICIO DE UN PAVIMENTO, COMO SON SU DEFORMABILIDAD Y EL FUNCIONAMIENTO HIDRÁULICO.

. EN LA ACTUALIDAD EL INTERÉS SE HA CENTRADO SOBRE LA INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO DE MÉTODOS PARA EL DISEÑO DE ESPESORES, EN DETRIMENTO DE UN ENFOQUE MÁS AMPLIO QUE CONTEMPLE LA PROBLEMÁTICA GLOBAL, INCLUYENDO LA LOCALIZACIÓN Y SELECCIÓN DE MATERIALES; ASÍ COMO LOS TIPOS ALTERNOS DE SOLUCIÓN, PROCEDIMIENTOS CONSTRUCTIVOS, ELECCIÓN DEL PERÍODO DE VIDA ÚTIL, VALOR DE RESCATE DE LA ESTRUCTURA.

TURA, ETC.

. POR LO QUE RESPECTA A CALIDADES DE MATERIALES NORMALIZADOS, SE HACE NECESARIA UNA REVISIÓN A FONDO, PUES LOS MATERIALES ACEPTADOS HOY EN DÍA DISTAN MUCHO DE SATISFACER LOS REQUISITOS IMPUESTOS POR LA MAGNITUD DE LAS CARGAS QUE SE MANEJAN, POR SU FRECUENCIA Y POR LA PROFUNDIDAD A LA QUE ÉSTAS HACEN SENTIR SUS EFECTOS. BASTE COMO EJEMPLO INDICAR QUE DE TODO EL UNIVERSO ENSAYADO DE MATERIALES DE BASE, EN EL INSTITUTO DE INGENIERÍA, SIEMPRE DENTRO DE NORMAS, PRÁCTICAMENTE NINGUNO LOGRÓ UNA VIDA ÚTIL SUPERIOR A LOS CINCO MILLONES DE EJES EQUIVALENTES, CARGA USUAL DE UN CAMINO CON CINCO MIL VEHÍCULOS DE TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL, LO QUE INDICA A LAS CLARAS QUE LAS NORMAS EN USO NO CUBREN LOS CASOS DE LAS CARRETERAS CON ALTA OCUPACIÓN.

. EL FENÓMENO MÁS GRAVE QUE AFECTA A LA RED TRONCAL BÁSICA PRIORITARIA ES LA FATIGA. SI UN PAVIMENTO SE ESTRUCTURA MEDIANTE UNA SUCESIÓN DE CAPAS CUYA DEFORMABILIDAD CREZCA GRADUAL Y MONÓTAMENTE DE ARRIBA HACIA ABAJO, DE MANERA QUE NINGUNA DE LAS CAPAS MUESTRE UNA COHESIÓN SUFICIENTE COMO PARA QUE EN SU FIBRA INFERIOR SE DESARROLLEN ESFUERZOS DE TENSIÓN, ESE PAVIMENTO NO ESTARÁ SUJETO A FATIGA. SIN EMBARGO, SI EN UN SISTEMA MULTICAPA DE ESTE TIPO SE INTRODUCE UNA CAPA MÁS RÍGIDA (CON COHESIÓN O RESISTENCIA A LA TENSIÓN), ÉSTA SE VERÁ OBLIGADA A DEFORMARSE CONSONANTEMENTE CON TODO EL SISTEMA Y DESARROLLARÁ ALTOS ESFUERZOS DE TENSIÓN, QUE AUNQUE NO SUPEREN LA RESISTENCIA DEL MATERIAL, SI SE ACERCAN LO SUFICIENTE, AL SER REPETITIVOS, LO LLEVARÁN A LA FALLA.

ASOCIADO AL PROBLEMA ANTERIOR, EXISTE UN SEGUNDO FENÓMENO QUE - - AFECTA POR IGUAL A PAVIMENTOS FLEXIBLES Y RÍGIDOS. ESTE SE PRODUCE CUANDO LA DEFORMACIÓN INDUCIDA POR UNA CARGA NO SE HA RECUPERADO TOTALMENTE Y SE APLICA NUEVAMENTE LA CARGA, LLEVANDO A UNA DEFORMACIÓN TOTAL MAYOR. ESTE FENÓMENO APARECE EN LOS TRAMOS OPERADOS POR VEHÍCULOS CON MUCHOS EJES, TRANSITANDO A BAJAS VELOCIDADES.

COMO PUEDE VERSE, LA ESTRUCTURACIÓN TÍPICA DE LAS CARRETERAS MEXICANAS ES ESPECIALMENTE PROCLIVE A SUFRIR LOS EFECTOS DE LA FATIGA Y LA APARICIÓN DE VEHÍCULOS DE ONCE O MÁS EJES HA VENIDO A AGRAVAR LA SITUACIÓN.

EL TERCER RETO A SUPERAR SE RELACIONA CON LOS EQUIPOS DISPONIBLES Y LOS PROCEDIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN USUALES EN LA REHABILITACIÓN DE CARRETERAS.

COMO YA SE APUNTÓ MÁS ATRÁS, LOS CRITERIOS DE DISEÑO Y LOS MATERIALES EMPLEADOS HASTA HOY HAN DADO COMO RESULTADO SECCIONES ESTRUCTURALES MUY DEFORMABLES, CUBIERTAS POR ESPESORES MUY IMPORTANTES DE MEZCLAS ASFÁLTICAS DE DIVERSOS TIPOS. AL MISMO TIEMPO, LA PRESENCIA DE FINOS PLÁSTICOS EN LA CASI TOTALIDAD DE LOS MATERIALES DE BASE Y SUB-BASE, LOS HA HECHO ESPECIALMENTE SUSCEPTIBLES A LA DISMINUCIÓN DE RESISTENCIA POR INCREMENTO EN LA PRESIÓN DE PORO, DEBIDO A LA FALTA DE CAPACIDAD DE DRENAJE; HECHO QUE SE OBSERVA EN FORMA INDISCUTIBLE DURANTE LAS TEMPORADAS DE LLUVIA PERTINAZ DE DOS O TRES DÍAS DE DURACIÓN, DURANTE LOS CUALES EL PASO DE LOS VEHÍCULOS, VERDADERAMENTE HACE "SUDAR LODO" A LOS PAVIMENTOS A TRAVÉS DE LAS GRIETAS EN CARPETAS, QUE EN NO POCAS OCASIONES TIE-

ESTE TRABAJO ES SUMAMENTE COSTOSO CON LOS EQUIPOS Y PROCEDIMIENTOS TRADICIONALES Y REQUIERE DE UN LARGO PERÍODO DE INTERRUPTIÓN AL TRÁNSITO, INCOMPATIBLE CON LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN EXISTENTES EN LAS CARRETERAS DE SÓLO DOS CARRILES. POR ELLO, PARECE URGENTE DEDICAR UNA ATENCIÓN ESPECIAL PARA EL DESARROLLO DE EQUIPOS ADAPTADOS A LAS CONDICIONES DE TRABAJO NACIONALES, A FIN DE LOGRAR EL TRATAMIENTO QUE SE PERSIGUE EN UNA SOLA PASADA DEL EQUIPO Y PERMITIR DE INMEDIATO LA OPERACIÓN DEL TRÁNSITO. TAL MAQUINARIA ES FACTIBLE DE SER DISEÑADA EN MÉXICO Y TAMBIÉN DE SER CONSTRUÍDA PROBADA Y PERFECCIONADA EN EL PAÍS.

4. PERSPECTIVAS FUTURAS

ES INDISCUTIBLE QUE DE UNA U OTRA MANERA EL PAÍS HABRÁ DE SALIR DE LA CRISIS Y SU ECONOMÍA SE HABRÁ DE FORTALECER, RECUPERANDO UN RITMO DE CRECIMIENTO SIMILAR AL QUE HISTÓRICAMENTE SE PRODUJO EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS. EN ESE MOMENTO, EL PAÍS REQUERIRÁ DE UNA RED NACIONAL DE CARRETERAS CON UN ALTO NIVEL DE SERVICIO Y UNA EXTENSIÓN CRECIENTE A TASAS SUPERIORES AL SEIS O SIETE PORCIENTO ANUAL, DE MANERA QUE EN LOS ALBORES DEL PRÓXIMO SIGLO SE HAYA POR LO MENOS DUPLICADO SU EXTENSIÓN.

SI SE CONTEMPLA EN SU CONJUNTO LA INTEGRACIÓN DE LA RED QUE EL PAÍS REQUERIRÁ EN EL FUTURO O MEDIANO PLAZO, PARECE EVIDENTE LA NECESIDAD DE INTEGRAR UNA RED DE AUTOPISTAS PARA LA OPERACIÓN DE LOS GRANDES VEHÍCULOS DE CARGA O DE LOS INMENSOS FLUJOS DE AUTOMÓVILES CERCA DE LAS POBLACIONES MÁS IMPORTANTES. ESTA RED DE AUTOPISTAS, CON CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS Y ESTRUCTURALES ADECUADAS A LOS VEHÍCULOS DE CARGA HOY EN USO, HABRÁ DE QUEDAR SUPERIMPUES-

NEN YA MÁS DE TREINTA CENTÍMETROS DE ESPESOR.

PARA CORREGIR ESTA SITUACIÓN EXISTEN DOS VÍAS POSIBLES; O BIEN SE COLOCA SOBRE LA ESTRUCTURA ACTUAL UNA CAPA SUFICIENTEMENTE ESPESA Y RÍGIDA COMO PARA QUE EL NIVEL DE ESFUERZOS TRANSMITIDOS A LAS CAPAS INFERIORES SEA TAN BAJO, QUE LAS DEFORMACIONES QUE SE PRODUCAN SEAN LO SUFICIENTEMENTE PEQUEÑAS QUE RESULTEN TOLERABLES PARA EVITAR LA FATIGA EN LA CAPA RÍGIDA, A LA VEZ QUE EVITE LA GENERACIÓN DE PRESIÓN DE PORO IMPORTANTE EN LAS CAPAS INFERIORES, O BIEN, DEBERÁ RIGIDIZARSE LA ESTRUCTURA INFERIOR PARA DAR APOYO SATISFACTORIO A UNA NUEVA CARPETA, EVITANDO QUE ÉSTA SE AGRIETE EN UN CORTO PLAZO.

LA PRIMERA ALTERNATIVA REQUERIRÁ, PARA LAS CONDICIONES USUALES EN LAS CARRETERAS MÁS CARGADAS, DE LA COLOCACIÓN DE CARPETAS DE CONCRETO ASFÁLTICO CERCANOS A LOS TREINTA CENTÍMETROS DE ESPESOR, COLOCADOS EN VARIAS CAPAS, PERO EN UNA SOLA OPERACIÓN CONSTRUCTIVA, EVITANDO ASÍ LA FALLA POR FATIGA DE LAS PRIMERAS CAPAS ANTES DE COLOCAR LAS SIGUIENTES, COMO HA VENIDO OCURRIENDO HASTA AHORA.

LA SEGUNDA ALTERNATIVA IMPLICA EL RECORTE DE LOS MATERIALES DEL PAVIMENTO EN LOS APROXIMADAMENTE 30 Ó 40 CM SUPERIORES, PARA DESPUÉS DE ESTABILIZARLOS EN EL PROPIO LUGAR MEDIANTE LA ADICIÓN DE CEMENTO HIDRÁULICO, VOLVER A COLOCARLOS Y COMPACTARLOS. DE ESTA MANERA ES POSIBLE LOGRAR LA RIGIDIZACIÓN NECESARIA, POR LO QUE SOBRE ESTA CAPA SERÁ SUFICIENTE CON COLOCAR UNA NUEVA CARPETA FORMADA POR CUATRO CENTÍMETROS DE CONCRETO ASFÁLTICO, SIMPLEMENTE COMO SUPERFICIE DE RODAMIENTO.

TA A LA RED NACIONAL ACTUAL, PERO EVITANDO EN TODO LO POSIBLE - -
AFECTARLA, DE MANERA QUE ÉSTA SIGA PRESTANDO EL SERVICIO, BAJO --
LAS CARGAS Y VOLÚMENES DE TRÁNSITO PARA LA QUE FUE DISEÑADA. ASÍ,
LAS AUTOPISTAS PODRÁN CONSTITUIR VERDADEROS ENLACES TERRITORIA- -
LES, SIN UN ORIGEN Y UN DESTINO PREDETERMINADO, SINO MÁS BIEN, CO
MO CONDUCTOS QUE RECIBAN EN ALGÚN PUNTO UNA CARGA O UN PASAJERO -
PROVENIENTE DE UNA REGIÓN A TRAVÉS DE LA RED LOCAL Y LO ENTRE- -
GUEN EN OTRO PUNTO DESPUÉS DE UN RECORRIDO SEGURO, EFICIENTE, RÁ-
PIDO Y CÓMODO. DE ESTA MANERA SERÁ POSIBLE PROYECTAR LAS AUTOPISTAS
EN LAS RUTAS QUE MÁS CONVenga TOPOGRÁFICA, GEOLÓGICA Y CONS--
TRUCTIVAMENTE, LOGRANDO ASÍ AHORROS MUY SIGNIFICATIVOS Y, EN ALGU
NOS CASOS, HACIENDO POSIBLE UNA MATERIALIZACIÓN QUE DE OTRA MANE-
RA SE ANTOJA IRREALIZABLE.

LA RED TRONCAL BÁSICA ACTUAL SEGURAMENTE VARIARÁ EN SU FISONOMÍA
ANTE EL ESQUEMA DE AUTOPISTAS, PERO SEGURAMENTE CONSERVARÁ SUS CA
RACTERÍSTICAS BÁSICAS. PARA CONTINUAR SIENDO OPERABLE, SU CONSER
VACIÓN Y EN ALGUNOS CASOS READAPTACIÓN O MODERNIZACIÓN SERÁ URGEN
TE EN EL CORTO PLAZO. ALGUNOS TRAMOS, A LOS QUE ATRÁS SE LES HA
INTEGRADO EN LO QUE SE LLAMÓ RED TRONCAL BÁSICA PRIORITARIA, RE--
QUIEREN ATENCIÓN URGENTE EN EL PLAZO INMEDIATO, SO PENA DE CONVER
TIRSE EN EL CUELLO DE BOTELLA DE LA RECUPERACIÓN DEL PAÍS. POR -
EL CONTRARIO, SU ATENCIÓN PRIORITARIA Y URGENTE PODRÍA, A TRAVÉS
DEL EFECTO DE LA INVERSIÓN EN LA RAMA DE LA CONSTRUCCIÓN, SER EL
DETONADOR DE LA ACTIVACIÓN ECONÓMICA. LA OPORTUNIDAD EXISTE, EL
RETO SERÁ APROVECHARLA. PARA ELLO LA INGENIERÍA MEXICANA HA DE -
LOGRAR QUE SE DEN LAS DOS CONDICIONES NECESARIAS; QUE SE DISPON-

PONGA DE LA TECNOLOGÍA MÁS APROPIADA Y QUE SE PROPICIE LA CANALIZACIÓN DE LOS FONDOS NECESARIOS.

PARA LOGRARLO, HABRÁN DE APOYARSE LAS ACCIONES DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN LOS CAMPOS ESPECÍFICOS DE LOS PAVIMENTOS Y LA MAQUINARIA PARA SU RECONSTRUCCIÓN.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

POR LO QUE TOCA A PAVIMENTOS, LOS ESFUERZOS HABRÁN DE DIRIGIRSE - AL DISEÑO DE UN CATÁLOGO DE SECCIONES ESTRUCTURALES TÍPICAS, PARTICIPANDO EN ELLO LOS MEJORES ESPECIALISTAS, APOYADOS POR LOS MÉTODOS DE DISEÑO MÁS DESARROLLADOS, INCLUYENDO EL USO DE MODELOS - DE ELEMENTOS FINITOS, ASÍ COMO EN LA EXPERIENCIA PROFESIONAL, QUE ES LA QUE PERMITE EL ESTABLECIMIENTO DE NORMAS.

TODAS LAS SECCIONES ASÍ DISEÑADAS, HABRÁN DE SER IMPLEMENTADAS Y PROBADAS EN FORMA ACELERADA PARA SER AJUSTADAS O VALIDADO SU COMPORTAMIENTO, COMPARÁNDOLO CONTRA LO PREVISTO.

A CONTINUACIÓN, DEBERÁN ESTABLECERSE LAS NORMAS DE MATERIALES QUE CADA UNO DE LOS ELEMENTOS DE ESAS SECCIONES HABRÁ DE CUMPLIR.

POR OTRA PARTE, DEBERÁ IMPLEMENTARSE A NIVEL NACIONAL EL SISTEMA DE ADMINISTRACIÓN DE PAVIMENTOS, A FIN DE ESTABLECER EN EL PLAZO MÁXIMO DE UN AÑO LA PRIMERA ETAPA DE LO QUE PODRÍA LLAMARSE EL -- PLAN PRIORITARIO DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN DE CARRETERAS, INCLUYENDO EN ESTA ETAPA TODOS AQUELLOS TRAMOS CUYO NIVEL DE SERVICIO ACTUAL RESULTE INFERIOR AL NIVEL DE RECHAZO.

LA SEGUNDA ETAPA, PARA SER ATENDIDA EN EL SEGUNDO AÑO DE ACCIONES, PODRÁ INCLUIR TODOS AQUELLOS TRAMOS CUYA VELOCIDAD DE DETERIORO - INDIQUE SU DEBILIDAD Y VULNERABILIDAD ANTE LAS CARGAS QUE SOPOR-- TAN.

LA TERCERA ETAPA PODRÍA COMPRENDER AQUELLOS TRAMOS INTENSAMENTE - OCUPADOS POR UN NÚMERO ELEVADO DE USUARIOS, P.EJ. MÁS DE 10,000 - VEHÍCULOS DE TRÁNSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL. LA CUARTA ETAPA PODRÍA AGRUPAR AQUELLOS TRAMOS Y CARRETERAS NECESARIAS PARA INTE-- GRAR LOS LARGOS ITINERARIOS NACIONALES, CON NIVELES DE SERVICIO, TANTO OPERATIVO COMO ESTRUCTURAL, HOMOGÉNEOS EN TODO EL RECORRIDO Y ACORDES A LOS REQUERIMIENTOS DEL TRÁNSITO PREVISTO PARA UN PE-- RÍODO DE VIDA ÚTIL DE DIEZ AÑOS.

LA QUINTA ETAPA PODRÍA DEDICARSE A LA ATENCIÓN DEL RESTO DE LA -- RED TRONCAL BÁSICA PRIORITARIA. DE ESTA MANERA SE INTEGRARÍA UN PROGRAMA SEXENAL PARA ATENDER PRIORITARIAMENTE DEL ORDEN DE DOS - MIL KILÓMETROS ANUALES.

PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA HABRÁ DE DISPONERSE -- DEL EQUIPO DE REHABILITACIÓN ESPECÍFICAMENTE DESARROLLADO. PARE-- CE INDISCUTIBLE QUE ESTE PROYECTO PODRÁ SER DIRIGIDO POR EL INSTI-- TUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE, PERO EN ÉL HABRÁN DE PARTICIPAR TAN-- TO OTROS INSTITUTOS DE INVESTIGACIÓN, COMO LOS PROPIOS CONSTRUCTO-- RES, A TRAVÉS DE LA CÁMARA NACIONAL DE LA INDUSTRIA DE LA CONS-- TRUCCIÓN, QUIENES SE ESTIMA PODRÁN FINANCIAR EL PROYECTO.

LA CAPACITACIÓN NECESARIA PARA EL PROYECTO Y CONSTRUCCIÓN DE LAS OBRAS DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN ATRÁS RESEÑADAS, HARÁ CON--

VENIENTE LA FORMACIÓN DE UN GRUPO DE TÉCNICOS ALTAMENTE ESPECIALIZADOS, QUE POSTERIORMENTE PODRÁ ABARCAR A TODO EL GRUPO DEDICADO A LA CONSERVACIÓN.

SI TODO EL PROGRAMA DE DESARROLLO TECNOLÓGICO E IMPLEMENTACIÓN -- PRÁCTICA DE LAS NUEVAS TÉCNICAS DE CONSERVACIÓN Y REHABILITACIÓN TIENEN ÉXITO, NO SÓLO LA INGENIERÍA MEXICANA HABRÁ APROVECHADO -- NUEVAMENTE LA OPORTUNIDAD QUE SE LE OFRECE, SINO QUE HABRÁ ABIERTO LAS PUERTAS PARA LA EXPORTACIÓN DE TECNOLOGÍA A OTROS PAÍSES -- EN VÍAS DE DESARROLLO, MÁS CERCA DE MÉXICO QUE DE PAÍSES MÁS DESARROLLADOS. TAMBIÉN EXISTE LA POSIBILIDAD DE INTRODUCIRSE EN EL MERCADO DE LAS REDES RURALES DE LOS PAÍSES ALTAMENTE DESARROLLADOS.

LAS POSIBILIDADES DE ÉXITO SON ELEVADAS, MÉXICO CUENTA CON LA CAPACIDAD PARA ENFRENTAR EL RETO Y SEGURAMENTE LO HARÁ.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN
DE VÍAS TERRESTRES.**

**CAPÍTULO II. "NORMAS PARA CALIFICAR EL ESTADO
FÍSICO DE UN CAMINO".**

Ing. Antonio Silva Tonché
Palacio de Minería
Mayo/ 2000

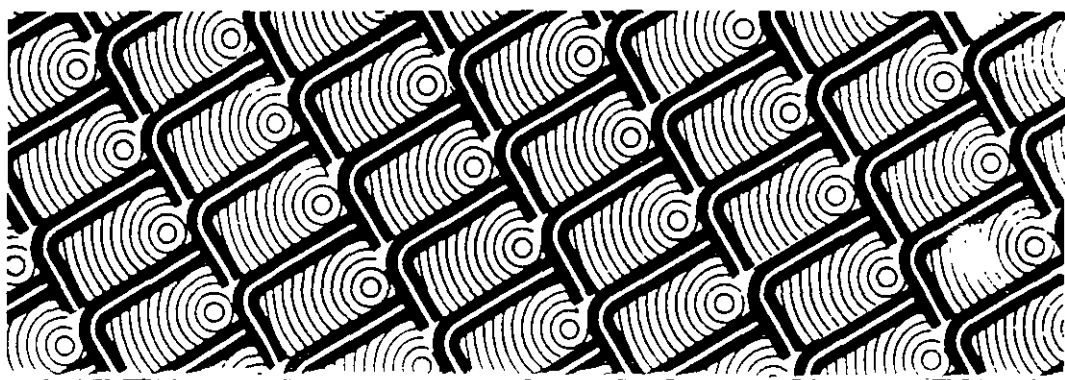


**SECRETARIA
DE COMUNICACIONES
Y TRANSPORTES**
Subsecretaría de Infraestructura

NORMAS PARA CALIFICAR EL ESTADO FISICO DE UN CAMINO

**DIRECCION GENERAL
DE CONSERVACION DE CARRETERAS**

**DIRECCION GENERAL
DE SERVICIOS TECNICOS**



CONTENIDO

INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1	DEFINICIÓN DE TÉRMINOS
CAPÍTULO 2	GENERALIDADES
CAPÍTULO 3	ELEMENTOS QUE SE CALIFICAN Y SU VALOR RELATIVO
CAPÍTULO 4	PROCESO DE CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DEL INFORME
CAPÍTULO 5	GUÍAS GENERALES PARA CALIFICAR LOS ELEMENTOS DEL CAMINO (ESCALA 0-5)
CAPÍTULO 6	INSTRUCTIVO PARA LLENAR LA FORMA DEL ANEXO No. 1
CAPÍTULO 7	COMENTARIOS Y OBSERVACIONES QUE SE ANEXARÁN A LOS INFORMES
CAPÍTULO 8	USO DE FORMAS AUXILIARES

NORMAS PARA CALIFICAR EL ESTADO FÍSICO DE UN CAMINO

INTRODUCCIÓN

En estas normas se establece la metodología para calificar los distintos elementos de un camino, como parte de un sistema de supervisión que en un momento dado permita conocer el estado físico del camino y sus condiciones de conservación, así como la variación de estos conceptos a través del tiempo, mediante comparación de visitas sucesivas.

Las calificaciones de los elementos, después de ser debidamente procesadas, dan por resultado la "Calificación Ponderada del Estado Físico de un Camino", cuyo valor toma en cuenta la importancia relativa de los distintos elementos que lo integran.

Las presentes normas fijan los criterios que deben seguir los Calificadores durante el recorrido a la obra, de tal manera que los resultados que se obtengan sean homogéneos y confiables, y puedan ser aprovechados debidamente por las personas que utilizan los reportes; asimismo, proporcionan los lineamientos para la formulación de dichos reportes.

En el contenido de estas normas se mencionan algunos conceptos que ya han sido definidos en otras normas o publicaciones de la Secretaría relativas al Proyecto, Construcción, Conservación y Reconstrucción de carreteras, por lo que aquí se definen sólo los términos que son de aplicación exclusiva de las presentes normas.

CAPÍTULO 1

DEFINICIÓN DE TÉRMINOS

1.01 SECCIÓN. Es la longitud unitaria en que se dividen los caminos para fines estadísticos y de trabajo, misma que se considera invariable y permanente; en general esta longitud es de 10 km y debe quedar comprendida entre 2 cadenamientos cerrados, múltiplos de 10 km, por ejemplo, entre el km 30+000 y el km 40+000. La longitud máxima de una sección será de 10 km salvo casos especiales.

Las incidencias por las que la longitud de las secciones pueden ser diferentes de 10 km, son:

- 1.01.1** Secciones correspondientes al principio o al final de un tramo. Por ejemplo, si el tramo se inicia en el km 28+300, la primera sección abarcará del km 28+300 al km 30+000 y su longitud será de 1.7 km; en caso de que la longitud sea inferior a 1.0 km, deberá anexarse a la sección inmediata anterior o posterior.
- 1.01.2** En los subtramos en donde se presenten igualdades de cadenamiento, se tomará como inicio de la sección el final de la sección anterior y terminará con el cadenamiento de atrás de la igualdad, salvo que su longitud sea menor a 1 km, en cuyo caso esta parte deberá anexarse a la sección inmediata anterior. Se procederá de igual manera con la sección subsiguiente a la igualdad, la cual comenzará con el km de adelante de dicha igualdad y terminará con el siguiente km cerrado a cero.
- 1.01.3** Ramales o desviaciones a poblados, de poca longitud.
- 1.01.4** Enlaces y/o accesos en cruces a nivel o pasos a desnivel, que cuando son pequeños (menores de un km) podrán anexarse a la sección anterior del camino a que pertenecen.

- 1.01.5 Pasos por poblaciones, en los cuales es conveniente considerarlos como una sola sección, salvo el caso de que excedan la especificación de 10 km, en más de un kilómetro.
- Las secciones anterior y posterior al paso por las poblaciones, deberán tratarse como las del Inciso 1.01.1.
- 1.02 ZONA. Parte de una sección.
- 1.03 ELEMENTO. Cada una de las partes constitutivas de un camino que requieren atención en su conservación y que deben calificarse.
- 1.04 DEFICIENCIA. Condición que denota defecto o falta de conservación en algún elemento del camino.
- 1.05 CALIFICADOR. Persona que califica el estado físico y las condiciones de conservación de un camino.
- 1.06 SEÑALAMIENTO VERTICAL. Conjunto de dispositivos para el control del tránsito, en cualquier tipo de camino.
- 1.07 SEÑALAMIENTO HORIZONTAL. Conjunto de rayas, marcas y dispositivos, que se colocan en la superficie de un camino pavimentado.
- 1.08 VALOR RELATIVO. Es el factor que multiplicado por la evaluación de un elemento, valoriza su importancia o participación en la calificación total de la sección.
- 1.09 CUERPO DEL CAMINO. Es el conjunto de los tres elementos que lo forman: la corona, obras de drenaje y el derecho de vía.
- 1.10 CALAVERA. Es una porción de la corona que ha sido destruida y removida por diferentes factores, cuya dimensión mayor es inferior a 20 cm y de espesor no mayor de 5 cm, (o igual al espesor de la carpeta asfáltica).

- 1.11 BACHE. Es una porción de la corona que ha sido destruida y removida por diferentes factores, cuya dimensión mayor es superior a 20 cm y de profundidad mínima mayor que el espesor de la carpeta asfáltica.
- 1.12 ÍNDICE DE SERVICIO. Es la calificación que le corresponde a la superficie de rodamiento o a la corona.

CAPÍTULO 2

GENERALIDADES

2.01 Para calificar cualquier elemento de un camino, se usará siempre la escala que va de cero (Pésimo), al cinco (Óptimo), con los siguientes niveles intermedios:

Calificación	Estado del Elemento
0 - 1	Pésimo
1.1 - 2	Malo
2.1 - 3	Regular
3.1 - 4	Bueno
4.1 - 5	Óptimo

2.02 En la calificación de todos los elementos del camino y para mayor precisión, se adoptará en el rango de 0 a 5, los datos con aproximación a una decimal.

2.03 La calificación que se otorgue a un elemento, se referirá siempre a toda la sección considerada, por lo que dicha calificación debe reflejar el estado promedio que guarda el elemento calificado, dentro de la propia sección.

2.04 La velocidad media aconsejable en el recorrido para calificar dependerá de la topografía de la zona, pero no deberá exceder de los 60 km/h. Para caminos en malas condiciones o sinuosos la velocidad de recorrido será la adecuada a dichas circunstancias.

2.05 Cualquiera que sea el tipo de superficie de rodamiento, el Calificador deberá detener su recorrido por lo menos dos veces por sección, para revisar las obras de drenaje y para apreciar con detalle el estado de los demás elementos que integran el camino, lo cual le permitirá confirmar o rectificar las evaluaciones que haya hecho en el recorrido.

2.06 El calificador efectuará el recorrido en un vehículo que deberá ser proporcionado por el Centro de Trabajo a cuyo cargo esté

el tramo; dicho vehículo se encontrará en óptimas condiciones de servicio y estará provisto de las señales adecuadas para indicar su operación a baja velocidad y evitar accidentes.

- 2.07 En su recorrido al camino, el Calificador se hará acompañar por el responsable técnico de la conservación del tramo (Residente). En casos eventuales y por causa de fuerza mayor, podrá acompañarlo otro servidor público con categoría no inferior a sobrestante.
- 2.08 Se deberá calificar solamente durante el día y cuando exista suficiente luz natural, para poder apreciar debidamente el estado del camino. Como la inspección se dificulta cuando el recorrido se realiza con el sol de frente, los horarios de trabajo deberán programarse en tal forma que se evite en lo posible esta situación.
- 2.09 El avance diario en el recorrido para calificar no deberá exceder de 200 km cuando se trate de caminos pavimentados, ni de 150 km en el caso de caminos revestidos. Se ha comprobado que mayores recorridos producen cansancio, lo que puede dar lugar a resultados erróneos en la calificación.
- 2.10 Al finalizar una sección, el Calificador debe detener su recorrido para hacer la evaluación de sus observaciones y anotar en un registro (Anexo No. 1), las calificaciones de la escala 0-5 que determinó para cada uno de los elementos del camino; esto es de conformidad con las guías o lineamientos para calificar según bases incluidas en el Capítulo 5 de estas Normas.
- 2.11 Cada elemento debe calificarse en forma independiente, es decir, la calificación de un elemento no debe influir en la de otro. Por ejemplo al evaluar las condiciones del drenaje, no deben tomarse en cuenta las observaciones que se hagan para la corona o viceversa.
- 2.12 Tampoco debe influir en la calificación el proyecto geométrico del camino. Así, la calificación para la corona es

independiente de su ancho, si se trata de una tangente o de una curva y aún de su grado de curvatura.

- 2.13 En caso de lluvias y para aprovechar el tiempo, podrá calificarse el drenaje, observando su funcionamiento y de esta manera evaluarlo con mayor certeza. Lo mismo puede hacerse con el señalamiento vertical del derecho de vía. El recorrido habrá de repetirse para calificar la superficie de rodamiento cuando esté seca y para los otros elementos faltantes.
- 2.14 En caso de que se encuentre reparándose un tramo de camino, éste no se tomará en cuenta para la calificación, haciéndolo notar en las observaciones.

CAPÍTULO 3

ELEMENTOS QUE SE CALIFICAN Y SU VALOR RELATIVO

- 3.01 Para calificar un camino se consideran diversos elementos, los cuales pueden evaluarse de acuerdo a su importancia en la función de proporcionar un servicio eficiente.
- 3.01.1 Los elementos se agrupan, en aquellos que tienen relación con el cuerpo del camino y los que se refieren al señalamiento.
- 3.01.2 Se debe tomar en cuenta si se trata de caminos pavimentados, revestidos o caminos rurales.
- 3.02 La evaluación debe conciliar el punto de vista del usuario con el del calificador.
- 3.03 Los elementos por calificar y su valor relativo considerados para los caminos pavimentados, revestidos y los rurales, se indican a continuación.
- 3.03.1 Caminos Pavimentados

Elementos por Calificar	Valor Relativo
a) Del cuerpo	
Corona	75
Drenaje	10
Derecho de Vía	15
	SUMA: 100
b) Del Señalamiento	
Vertical	50
Horizontal	50
	SUMA: 100
c) Influencia para la Calificación Total	
Del Cuerpo	0.65
Del Señalamiento	0.35
	SUMA: 100

3.03.2 Caminos Revestidos

Elementos por Calificar	Valor Relativo
a) Del cuerpo	
Corona	50
Drenaje	30
Derecho de Vía	20
	SUMA: 100
b) Del Señalamiento	
Vertical	100
	SUMA: 100
c) Influencia para la Calificación Total	FACTOR
Del Cuerpo	0.80
Del Señalamiento	0.20
	SUMA: 100

3.03.3 Caminos Rurales

Elementos por Calificar	Valor Relativo
a) Del cuerpo	
Corona	50
Drenaje	30
Desyerbe y arreglo de taludes	20
	SUMA: 100
b) Del Señalamiento	
Vertical	100
	SUMA: 100
c) Influencia para la Calificación Total	
Del Cuerpo	0.80
Del Señalamiento	0.20
	SUMA: 100

- 3.04 Los valores relativos asignados en la cláusula 3.03 a cada uno de los diferentes elementos del camino, fueron fijados, como se señaló anteriormente, tomando como base la contribución o la importancia del elemento para que el camino preste un servicio eficiente.
- 3.05 Durante el recorrido por el camino, es posible que el Calificador observe ciertas condiciones particulares que afectan la fluidez del tránsito y que por ello requieran atención, como por ejemplo: daños en los puentes u otras obras de drenaje, desperfectos en las defensas metálicas, señales colocadas en forma inadecuada o que no cumplan con las normas establecidas, desviaciones defectuosas, derrumbes, deslaves, invasiones al derecho de vía, etc. Aunque estas condiciones influyen en la calificación de los diversos elementos del camino no se califican separadamente, sin embargo, es muy conveniente aprovechar los reportes que se formulen al respecto para hacerlas notar a las dependencias correspondientes, con objeto de que éstas tomen las medidas correctivas que en cada caso se ameriten.

En el Capítulo 7 de estas normas se exponen las principales condiciones que deben reportarse en los comentarios y observaciones que se anexarán a los informes.

CAPÍTULO 4

PROCESO DE CÁLCULO PARA LA ELABORACIÓN DEL INFORME

4.01 Como quedó señalado en los capítulos anteriores, durante el recorrido al camino se califican en cada sección todos los elementos del mismo, con valores comprendidos entre cero y cinco, según corresponda al estado físico. La obtención de estas calificaciones constituyen el objetivo fundamental del trabajo de campo.

4.02 La calificación de una sección, es el número que se obtiene sumando los productos resultantes de multiplicar la calificación de cada elemento, con escala de cero a cinco, por su valor relativo y por su correspondiente factor de influencia.

Esta calificación variará entre 0 y 500.

4.03 La calificación del camino es el número que se obtiene al dividir la suma de los productos resultado de multiplicar la calificación para cada sección por su longitud de kilómetros, entre la longitud total correspondiente a las secciones calificadas.

Con el mismo procedimiento puede obtenerse la calificación para cada elemento en el camino, al considerar los datos relativos al elemento de que se trate, lo cual resulta conveniente porque así puede precisarse la atención que haya tenido dicho elemento.

4.04 La Calificación para un grupo de caminos o red de caminos también llamada "Calificación Ponderada", es el número que se obtiene al dividir la suma de los productos resultado de multiplicar la calificación de cada camino por su longitud calificada, entre la longitud total de los caminos calificados en el grupo o red. De manera similar puede obtenerse la Calificación Ponderada para cada uno de los elementos, según lo aplicable del procedimiento indicado en el inciso anterior.

4.05 Las Calificaciones Ponderadas máximas de los elementos en caminos pavimentados son:

Para Corona	(5 x 75)	375
Para Drenaje	(5 x 10)	50
Para Derecho de Vía	(5 x 15)	75
	SUMA:	500

(Máxima Calificación del Cuerpo)

Para Señalamiento Vertical	(5 x 50)	250
Para Señalamiento Horizontal	(5 x 50)	250
	SUMA:	500

(Máxima Calificación del Señalamiento)

La Calificación Ponderada del Cuerpo del Camino es la suma de las calificaciones ponderadas de sus elementos: corona, drenaje y derecho de vía.

Asimismo, la Calificación Ponderada del Señalamiento, es la suma de las calificaciones ponderadas de sus elementos: vertical y horizontal.

Posteriormente se multiplican las Calificaciones Ponderadas del Cuerpo y del Señalamiento por su respectivo factor de influencia. La suma de estos productos da origen a la Calificación Total Ponderada del Tramo.

4.06 Para obtener la Calificación Total Ponderada de un grupo o red de caminos y teniéndose los datos completos de todos los tramos que intervengan como son:

Calificaciones Ponderadas del Cuerpo.
Calificaciones Ponderadas del Señalamiento.
Calificaciones Totales Ponderadas.
Longitudes.

Se procede como sigue:

Se suman los productos resultado de multiplicar cada Calificación Ponderada del Cuerpo de un tramo por su respectiva longitud de tramo, esta suma se divide entre la longitud total del grupo o red siendo el resultado la Calificación Ponderada del Cuerpo para el grupo o red.

Este mismo procedimiento se efectúa para encontrar la Calificación Ponderada del Señalamiento del grupo o red y la calificación Total Ponderada del grupo o red de caminos.

Para ratificar el resultado de la Calificación total Ponderada del grupo o red, se cotejará con la suma de los productos resultados de multiplicar las Calificaciones Ponderadas del cuerpo y del Señalamiento del grupo o red por sus respectivos factores de influencias.

4.07 La Calificación representa el estado físico actual, para su correlación se establece lo siguiente:

Para definir el estado físico de los caminos pavimentados se han establecido los rangos de calificación que se muestran en la tabla siguiente, en función del tipo de camino de que se trate conforme a lo dispuesto en la clasificación del "Reglamento sobre el peso, dimensiones y capacidad de los vehículos de autotransporte que transitan en los caminos y puentes de jurisdicción federal", decretado por la Secretaría de Comunicaciones y Transportes.

ESTADO FÍSICO	CALIFICACION		
	CAMINO TIPO		
	A	B	C y D
MALO	De 0 y hasta 350	De 0 y hasta 300	De 0 y hasta 200
REGULAR	Mayor de 350 y hasta 450	Mayor de 300 y hasta 400	Mayor de 200 y hasta 300
BUENO	Mayor de 450 y hasta 500	Mayor de 400 y hasta 500	Mayor de 300 y hasta 500

Para determinar la calificación de cada uno de los elementos que integran a los caminos pavimentados, se parte de la calificación obtenida en campo según el inciso 2.01, misma

que se multiplica por sus respectivos factores relativo y de influencia considerados en el subinciso 3.03.1, este producto se divide entre la calificación ponderada máxima correspondiente a cada elemento, determinada en el inciso 4.05, cuyo cociente, en porcentaje, se compara con los valores indicados en la tabla siguiente para obtener el rango de calificación en Bueno, Regular o Malo de acuerdo al tipo de camino de que se trate.

ESTADO FÍSICO	CALIFICACIÓN EN % RESPECTO A LA CALIFICACIÓN OBJETIVO		
	CAMINO TIPO		
	A	B	C y D
MALO	De 0 hasta 70	De 0 hasta 60	De 0 hasta 40
REGULAR	Mayor de 70 y hasta 90	Mayor de 60 y hasta 80	Mayor de 40 y hasta 60
BUENO	Mayor de 90 y hasta 100	Mayor de 80 y hasta 100	Mayor de 60 y hasta 100

4.08 Lo establecido en el párrafo anterior, puede considerarse en lo general, para caminos o rutas de primera importancia como los de la red troncal prioritaria, cuyo objetivo óptimo es una calificación de 500 puntos. Sin embargo, deberán fijarse las calificaciones máximas u objetivos de cada camino, ruta o tramo en particular, según su importancia y/o su servicio, aplicando los conceptos de Bueno, Regular y Malo en los porcentajes siguientes:

CALIFICACIÓN EN % RESPECTO A LA CALIFICACIÓN "OBJETIVO"

ESTADO FÍSICO

De 0 a 50
 Mayor del 50 y hasta el 70
 Mayor del 70 y hasta el 100

MALO
 REGULAR
 BUENO

4.09 Cuando se utilice una representación gráfica para indicar el estado de la conservación de un camino o red de caminos, con base en la escala de calificaciones del inciso 4.07, se empleará el color rojo para la condición de *MALO*, el color amarillo para *REGULAR* y el color verde para *BUENO*.

CAPÍTULO 5

GUÍAS GENERALES PARA CALIFICAR LOS ELEMENTOS DEL CAMINO

5.01 En este Capítulo se establecen las guías o lineamientos generales para orientar al Calificador en el otorgamiento de las calificaciones, con escala del cero al cinco, que corresponden a los diferentes elementos, según las deficiencias observadas.

5.02 Corona en Caminos Pavimentados.

5.02.1 Para calificar la Corona en caminos pavimentados, en el Anexo No. 2 se indican las calificaciones correspondientes a las deficiencias anotadas y de acuerdo con la intensidad en que ocurran.

5.02.2 Por *Zona Aislada Pequeña* debe entenderse aquella parte de la Sección donde las deficiencias se localizan en longitudes que van desde los 5.00 m a los 200 m y por *Zona Aislada Amplia* cuando dichas deficiencias se observan en longitudes de 200 a 500 m.

Por *Zonas Generalizadas* se entenderán las deficiencias que abarquen una longitud igual o mayor del 30% de la longitud total de la Sección.

5.02.3 Se tomará como base para la Calificación de la corona de caminos pavimentados, las deficiencias marcadas como tipo I en el Anexo No. 2 de acuerdo al tipo de deficiencia, su extensión dentro de la Sección y su gravedad.

Los conceptos II al VI, tendrán puntuación deductiva a la evaluación anterior, tomando como guía los rangos marcados en cada uno de ellos. Por supuesto los defectos por distintos conceptos son acumulables y deducibles de la calificación base, o sea, de la marcada como Y.

En caso de que el resultado algebraico al calificar sea negativo, se considerará una calificación de 0.

5.02.4 Se hace la aclaración que las grietas capilares o angostas, que no son visibles desde el vehículo, no se tomarán en cuenta para la calificación, en cambio sólo son significativas aquellas que se distinguen claramente.

5.02.5 Respecto a la profundidad de las grietas, no se tomarán en consideración para variar la calificación.

5.02.6 Los tramos de camino indicados a continuación tendrán información especial:

Tramos con presencia de deslaves.

Tramos con presencia de derrumbes.

Tramos en reparación.

Tramos en reconstrucción.

Tramos en modernización.

Cruces de poblaciones donde existen libramientos.

Si los tramos descritos son de longitud menor a 1 km, quedarán incluidos dentro de la Sección que le corresponda y si son mayores se considerarán como una Sección aparte.

Los tramos descritos no se calificarán en ninguno de sus elementos, pero en cambio se formularán comentarios y observaciones en los que se informará lo siguiente:

- a) Inicio y terminación del tramo y su clasificación.
- b) Si el tránsito se hace por desviaciones o si se le orienta en estrangulamiento del ancho de calzada.
- c) Si existe el señalamiento preventivo adecuado.
- d) Si el tránsito es libre y despejado o si el cruce de estos tramos produce pérdidas de tiempo.
- e) Cualquier otro tipo de deficiencia o molestia para el usuario.

Notas: En el Capítulo 7 se establecen con mayor amplitud los casos que requieren observaciones y comentarios adicionales.

5.03 Corona en Caminos Revestidos o Caminos Rurales.

5.03.1 Para calificar la *Corona* en caminos revestidos o rurales, en el Anexo No. 3 se indican las calificaciones correspondientes a las deficiencias anotadas y de acuerdo con la intensidad con que ocurran.

5.03.2 Por *Zona Aislada Pequeña* debe entenderse aquella parte de la Sección donde las deficiencias se localizan en una longitud hasta de 200 m y por *Zona Aislada Amplia* cuando dichas deficiencias se observan en una longitud comprendida entre 200 y 500 m.

Por *Generalizada* debemos entender las deficiencias que abarquen una zona igual o mayor del 30% de la longitud total de la Sección.

5.03.3 Para evaluar la corona de estos caminos, se tomará como calificación base la del concepto I del Anexo No. 3 y a la que se le deducirán las evaluaciones negativas de los cuatro subconceptos del concepto II.

Los datos anotados en el Anexo No. 3, deberán interpolarse de acuerdo con la importancia de las deficiencias y su extensión dentro de la Sección.

En caso de que el resultado algebraico en la calificación de una Sección llegara a ser negativo, se le considerará como 0.

5.04 Drenaje en caminos pavimentados, revestidos y rurales.

5.04.1 Para el drenaje en caminos pavimentados, revestidos o rurales, en el Anexo No. 4 se indican las Calificaciones correspondientes al concepto de que se trate, de acuerdo con su funcionamiento y los defectos físicos que se observen.

5.04.2 Para calificar el drenaje, excepto para el caso de las cunetas que pueden observarse desde el vehículo, el Calificador detendrá su recorrido por lo menos en dos ocasiones por sección y en donde existan alcantarillas, con objeto de verificar su funcionamiento, su estado físico y las condiciones de conservación.

5.04.3 El concepto base de la calificación del drenaje corresponde a las alcantarillas, vados y canalizaciones, a las que se le asigna la calificación entre el 5.0 y el 1.0 según el escurrimiento.

Esta calificación es por muestreo y deberá tenerse un especial cuidado en que este muestreo sea representativo.

Se consideran defectos físicos: las grietas, cuarteaduras, socavación en los cimientos, etc. y se estiman como mayores cuando la reparación requiera de desviaciones del tránsito, o se produzcan estrangulamientos de la calzada.

Cuando se presenten estos defectos físicos mayores, se formulará la información adicional especial correspondiente.

5.04.4 Las cunetas se evaluarán en forma deductiva según la obstrucción que ocasionen al paso del agua, aclarándose que si la obstrucción parcial o total no se presentó en el total de las cunetas existentes en la sección, el valor deductivo no será el señalado en el Anexo No. 4, sino un porcentaje de éste, en relación con el cálculo de las cunetas existentes en la sección, y según el peligro a que se exponga la estabilidad del camino.

Los defectos físicos de las cunetas se calificarán deductivamente, además de las obstrucciones al paso del agua.

5.04.5 La pendiente transversal que comprende el bombeo y la sobreelevación, se calificará deductivamente según su defecto físico, considerándose menor cuando la deformación

de estas pendientes no alcance el 30% de la longitud de la sección, y mayor cuando la sobrepase.

5.04.6 Los lavaderos, bordillos, contracunetas y canales longitudinales, también se calificarán deductivamente según la intensidad de los daños que se observen en el muestreo que se hará en los lugares donde el calificador detenga su recorrido para observarlos específicamente. Se conservarán daños mayores cuando se esté exponiendo la estabilidad del cuerpo del camino.

La ausencia de bordillos en terraplenes que no lo necesitan no es motivo de la aplicación deductiva de la calificación. Como ejemplo de terraplenes que no los requieren se presentan los siguientes casos:

Terraplenes de pedraplén o enrocamiento.

Terraplenes de poca altura.

Terraplenes con taludes estabilizados mediante cualquier procedimiento: recubiertos con zampeado, losas de concreto, gaviones, especies vegetales, etc.

5.04.7 Si la suma algebraica de la calificación base y las deductivas, resultara negativa, la calificación del elemento en la Sección será cero.

5.05 Derecho de Vía en Caminos Pavimentados o Caminos Revestidos.

5.05.1 Para calificar el derecho de vía de los caminos mencionados, se deberá tomar en cuenta el cuadro del Anexo No. 5, en el cual se indican las calificaciones que deberán aplicarse, en función de las deficiencias que se presentan y de su intensidad.

5.05.2 La deficiencia de mayor significación que ocurre en este elemento, corresponde a la vegetación que crece en los cinco metros colindantes a cada lado de la corona del camino, por lo cual según su intensidad, se establece la calificación del elemento.

5.05.3 Las deficiencias marcadas en el concepto II, corresponden a la vegetación crecida en el derecho de vía con más de 5 m del acotamiento y para una altura de 1.50 m.

5.05.4 Las deficiencias marcadas en el concepto III que representan peligros al tránsito o al camino, pueden ser: troncos de árboles caídos, piedras y/o obstáculos diversos; así como hoyancos, zanjas, etc.

En estos casos la calificación será deductiva de la calificación base y de acuerdo con el peligro que represente la deficiencia.

5.05.5 Las deficiencias en las cercas señaladas en el Anexo No. 5, concepto IV, también se califican como deductivas de la calificación base y corresponden a cercas mal ubicadas alojadas dentro del derecho de vía, cercas construidas con material poco consistente, o falta de ellas cuando son necesarias, como en el caso de zonas ganaderas.

5.05.6 Las deficiencias marcadas en el concepto V también deben calificarse como deductivas de la calificación base, y corresponden a utilizaciones indebidas del derecho de vía como: colocación de anuncios a distancias prohibidas o fuera de especificación, siembras diversas, formación de basureros dentro del derecho de vía incluyendo la corona, etc.

Dada la importancia de los conceptos, la calificación se individualiza según el tipo de deficiencia y son acumulativas deductivas de la calificación base.

5.05.7 Cuando la suma algebraica de la calificación base y las deductivas llegase a resultar negativa, se considerará para el elemento la calificación de cero.

5.05.8 La existencia en el derecho de vía de cortinas de árboles o de otro tipo de vegetación, sembrada ex-profeso para el mejoramiento ambiental o con fines de ornato, no debe considerarse como una deficiencia.

5.06 Zonas Laterales en Caminos Rurales.

- 5.06.1 Los caminos rurales carecen de derecho de vía, por lo que en ellos no habrá que calificar este elemento. En cambio, se califica el deshierbe de las orillas y el arreglo de los taludes, para lo cual deberán tomarse en cuenta las calificaciones que aparecen en el cuadro del Anexo No. 6, las cuales están en función de los porcentajes de la longitud de la sección que presentan las orillas limpias de hierbas y los taludes bien arreglados.
- 5.06.2 Como en los casos anteriores, la calificación base es la del concepto I y a la cual habrá de restársele la evaluación del concepto II.

5.07 Señalamiento Vertical y Dispositivos para el Control del Tránsito en Caminos Pavimentados, Caminos Revestidos o en Caminos Rurales.

- 5.07.1 Para calificar estos Dispositivos en caminos pavimentados, revestidos o rurales, en el Anexo No. 7 se indican las calificaciones correspondientes a las deficiencias observadas de acuerdo con la intensidad en que ocurran.
- 5.07.2 Las deficiencias significativas corresponden al señalamiento vertical, preventivo, restrictivo o informativo; por lo cual, éstas son las que marcan la calificación base.

Las deficiencias en estos señalamientos se caracterizan por su ausencia, por ser ilegibles, por estar maltratadas o por no cumplir con las especificaciones del Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito, particularmente en lo que corresponde a dimensiones, colores, rotulado y ubicación (longitudinal, lateral o altura).

- 5.07.3 Para poder juzgar si las deficiencias son pocas o muchas se requiere del conocimiento del **Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito**. Como orientación adicional aproximada se señalan pocas las deficiencias cuando ocurren

en menos del 30% de las que podrían haber por sección y muchas cuando pasan de este 30%.

5.07.4 Las deficiencias en los fantasmas o defensas ocurren por ausencia, falta de visibilidad o por estar estas piezas maltratadas o despintadas.

5.07.5 Las deficiencias con postes de km del concepto III son por ausencia, falta de visibilidad o por deterioro de estos.

5.07.6 El calificador deberá interpretar el peligro a que se exponen los usuarios con las deficiencias del señalamiento vertical, en caso de presentarse condiciones de riesgo, adicionará en su informe una descripción detallada, que incluya la ubicación y datos aclaratorios precisos.

El calificador formulará un reporte especial en los casos en donde se presenten defectos en los *Dispositivos de Protección en Obras*, especialmente en los de orientación al tránsito, presencia de obstáculos, reducción de ancho de los carriles o cambios de estos, desviaciones, etc.

5.07.7 Las calificaciones de caminos revestidos o rurales, deberán ser conocedores de los instructivos que norman el señalamiento mínimo de estos caminos, los que servirán de base para el desempeño de su trabajo.

5.07.8 Para los caminos rurales, si no hay instructivo en contrario, se considera como señalamiento mínimo el que a continuación se menciona:

- Inicio del camino.
- Empalme con otros caminos.
- Ubicación de poblaciones.
- Señalamiento de libraderos.
- Señalamiento de vados.
- Señalamiento preventivo en los de distancia mínima de visibilidad.

5.07.9 En los caminos rurales los fantasmas sólo serán indispensables en los tramos de caminos sinuosos y en zonas de neblina.

5.07.10 En los caminos rurales el señalamiento vertical podrá satisfacer las especificaciones señaladas en el **Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito**, pero en caso necesario se podrá usar otro tipo económico, como por ejemplo: piedras pintadas con cal en lugar de fantasmas, postes de troncos de arbustos para señalar el kilometraje, etc.

5.07.11 Si la suma algebraica de la calificación base con las deductivas resultara negativa, la calificación del elemento en la sección será cero.

5.08 **Señalamiento Horizontal y diversas marcas en el pavimento.**

5.08.1 Para calificar el señalamiento horizontal y las marcas en el pavimento, en el Anexo No. 8 se indican las calificaciones correspondientes a las deficiencias anotadas y de acuerdo con la intensidad en que ocurran.

5.08.2 Las deficiencias que ocurren en el señalamiento horizontal corresponden a:

- Ausencia del señalamiento.
- Falta de claridad.
- Fuera de especificación, especialmente en su ubicación, dimensiones y color.

5.08.3 Para poder juzgar si las deficiencias son pocas o muchas, se requiere del conocimiento del **Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito**. Como orientación adicional: se señala con pocas deficiencias cuando se presentan en número menor del 30% de las que podrían ocurrir en la sección, y serán muchas cuando sobrepasen este 30%.

- 5.08.4 Las deficiencias significativas del señalamiento horizontal corresponden a las que ocurren en la raya central, por lo que a ésta corresponde la calificación base con valor positivo y las otras deficiencias son deductivas.
- 5.08.5 Si la suma algebraica de la calificación base con las deductivas resultara negativa, la calificación del elemento en la sección será cero.
- 5.08.6 El calificador deberá interpretar el peligro a que se exponen los usuarios con las deficiencias en el señalamiento horizontal u otras, y en caso de presentarse condiciones de riesgo, adicionará en su informe la descripción detallada incluyendo ubicación y datos aclaratorios; incluso, en caso necesario, formulará un reporte especial y notificará en forma inmediata a los responsables del tramo.
- 5.08.7 Para el caso de rayas en las orillas, el concepto II del Anexo No. 8 considera una evaluación deductiva de la calificación base. Para dar una calificación adecuada deberá primero definirse si la sección por evaluar debe tener o no rayas laterales, como en el caso de caminos sinuosos y angostos, tramos con neblina frecuente o lluvias prolongadas, tránsito muy intenso, etc.

En el caso de otras rayas, el concepto II también se refiere a: Rayas separadoras de carriles cuando el camino es de 4 carriles o más, rayas canalizadoras del tránsito en entronques, pasos a nivel o a desnivel, rayas protectoras de isletas, etc., deduciendo la evaluación de la calificación base.

- 5.08.8 Como el concepto III del mencionado Anexo: *Otras marcas en el pavimento y/o otros elementos de la sección transversal*, hay que entender lo siguiente: Señalamiento de obstáculos, cruce de ferrocarril, zonas de peligro y/o de peatones, demarcación de paraderos de autobuses y de estacionamientos; además del pintado de otros elementos como: guarniciones y bordillos, parapetos de puentes, armaduras de puentes, estribos y pilas en pasos inferiores,

cabezotes de alcantarillas, etc. En este caso, también la calificación es deductiva de la básica.

5.08.9 En caminos pavimentados con anchos de corona de 5.0 m o menos, no es conveniente el pintado de la Raya Central porque propicia accidentes. En estos casos se hará la observación correspondiente y se calificará como base: 3.0, integrándose la calificación final con la deficiencia de los otros elementos.

5.08.10 Cuando existan rayas o marcas pintadas, la evaluación se hará sobre su estado físico, y por no contar con un procedimiento simple que permita definir la claridad de este señalamiento, corresponderá al calificador: observar y establecer si la pintura tiene poca visibilidad a consecuencia de cualquier causa, por ejemplo: mala calidad de la pintura, acción del tránsito o del intemperismo, etc.

CAPÍTULO 6

INSTRUCTIVO PARA LLENAR LA FORMA DEL ANEXO No. 1

6.01 En el Inciso 2.10 de las presentes normas se indica que el Anexo No. 1 sirve para registrar las evaluaciones que asigna el Calificador a cada elemento del camino al finalizar el recorrido de una sección.

El llenado de los espacios que figuran en este Anexo, se hará como se describe a continuación:

6.01.1 CONSERVACIÓN A CARGO DE LA:

Se anotará el Número y el Nombre de la Residencia General de Conservación o de la Comisión Estatal de Caminos a que pertenece el tramo que se califica.

6.01.2 ESTADO DE:

Nombre de la Entidad Federativa a que corresponde el tramo que se califica.

6.01.3 JEFE DE LA DEPENDENCIA:

Nombre del Residente General de Conservación de Obras Públicas o del Director de la Comisión Estatal que tienen a su cuidado el tramo que se califica.

6.01.4 CALIFICADOR:

Nombre del Calificador responsable.

6.01.5 FECHA:

Día, mes y año en que se hace la calificación.

6.01.6 CAMINO, TRAMO y No. RUTA:

En este espacio de renglones se anotará el nombre del tramo a calificar comprendido entre dos puntos importantes (ciudades, entronques, límites de estados, etc.) y el Número y Nombre de la Carretera a la cual pertenece este tramo.

6.01.7 KILOMETRAJE:

En este espacio se anotará los cadenamientos de inicio y terminación de cada una de las secciones, según lo indicado en el Inciso 1.01 de estas normas.

6.01.8 CUERPO DEL CAMINO:

Espacio que comprende:

6.01.8.1 *Corona:*

Este concepto se divide en dos, el primero para los caminos pavimentados y el segundo para los revestidos o en terracerías.

Para los caminos pavimentados, en cada cuadro se anotará la calificación de cada una de las secciones cuyo cadenamiento corresponda al citado en el renglón denominado *KILOMETRAJE*. La calificación que se otorgue y se registre, estará de acuerdo con lo indicado en el subcapítulo 5.02 y Anexo No. 2 de estas normas.

Lo mismo ocurrirá para caminos revestidos o rurales, sólo que las calificaciones deberán corresponder a lo señalado en el subcapítulo 5.03 y en el Anexo No. 3 de estas normas.

6.01.8.2 *Drenaje:*

Se anotará la calificación para cada sección de acuerdo con lo indicado en el subcapítulo 5.04 y en el Anexo No. 4 de estas normas.

6.01.8.3 *Derecho de Vía:*

Para caminos pavimentados o revestidos se anotará la calificación de cada sección de acuerdo con lo indicado en el subcapítulo 5.05 y en el Anexo No. 5.

Para caminos rurales se anotará la calificación de cada sección de acuerdo con lo indicado en el subcapítulo 5.05 y en el Anexo No. 6.

6.01.9 SEÑALAMIENTO:

Este espacio comprende dos tipos de señalamiento:

6.01.9.1 Vertical:

Se anotarán las calificaciones para cada una de las secciones, aplicando lo indicado en el subcapítulo 5.07 y en el Anexo No. 7 de las normas.

6.01.9.2 Horizontal:

Se registrará las calificaciones para cada una de las secciones, de acuerdo con lo indicado en el subcapítulo 5.08 y en el Anexo No. 8 de las normas.

6.01.10 OBSERVACIONES:

En este espacio de renglones se escribirán todas las deficiencias de Conservación que se observen durante el recorrido del tramo y principalmente aquellas que produzcan molestias a los usuarios.

En el Capítulo 7 de estas normas se exponen las condiciones fundamentales que deben reportarse en los comentarios y observaciones.

CAPÍTULO 7

COMENTARIOS Y OBSERVACIONES QUE DEBERÁN ANEXARSE A LOS INFORMES

- 7.01 Los comentarios y observaciones que se adicionan a los informes son de valor significativo, porque en ellos se señalan los defectos más notables de la falta de conservación de los caminos, entre ellos, los que pueden producir daños mayores afectando la estabilidad, los que ponen en peligro a los usuarios o les ocasionan molestias y los que justifiquen especialmente, las calificaciones que se otorgan.
- 7.02 Las definiciones en la conservación o los defectos en el estado físico del camino que se deben informar adicionalmente a las calificaciones asignadas, se resumen en los siguientes incisos:
- 7.02.1 Las deficiencias que puedan originar daños mayores; por ejemplo: escurrimientos de agua sobre la corona del camino o sobre los taludes, con posibles deslaves en los terraplenes o derrumbes en los cortes; obstrucciones de cualquier índole al drenaje longitudinal o al transversal, especialmente en alcantarillas.
- 7.02.2 Las deficiencias que pongan en peligro a los usuarios; por ejemplo: presencia de derrumbes o deslaves, estrangulamiento de la calzada, desviaciones en mal estado, curvas peligrosas, puentes peligrosos o angostos; falta de señalamiento adecuado en los lugares críticos indicados, etcétera.
- 7.02.3 Asimismo, serán motivo de descripción de condiciones, aquellas zonas del camino que produzcan molestias a los usuarios obligándolos a disminuir la velocidad o detenerse por completo, por ejemplo: embotellamiento en los cruces de poblaciones, desviaciones mal atendidas o inadecuadas, tránsito obligado a una sola ala, insuficiencia del camino para atender a la intensidad de tránsito, falta del señalamiento adecuado en las zonas críticas, etcétera.

7.02.4 Las calificaciones altas mayores de cuatro o las bajas menores de dos, requieren justificación, por ejemplo: caminos recién construidos sin defectos o alcantarillas obstruidas totalmente, etcétera.

Consecuentemente los comentarios y observaciones que se refieran a deficiencias en cualquiera de los elementos, deben estar acordes con la calificación asignada, sin que haya contradicciones. Como el caso en que se reportan serias deficiencias en la corona y se evalúa con calificación alta.

7.02.5 Son motivo de información adicional, las condiciones expuestas en el Inciso 5.02.6 de estas normas.

CAPÍTULO 8

USO DE FORMAS AUXILIARES

- 8.01 En la práctica se ha comprobado que el trabajo de los calificadores se facilita con el uso de la forma que se adjunta como Anexo No. 9 por medio de la cual no se deja a la memoria el recuerdo obligado de todas las deficiencias que se pueden observar en el recorrido de una sección.
- 8.02 Con el uso del Anexo No. 9 se registrarán mediante símbolos convencionales las deficiencias que se observan y su condición o estado.

En los siguientes incisos se detalla el empleo de este anexo:

8.02.1 ESTADO:

En este renglón se anotará el nombre de la Entidad Federativa donde se localiza el tramo por calificar.

8.02.2 RESIDENCIA:

Número y nombre de la Residencia responsable de la conservación del tramo.

8.02.3 CARRETERA No.:

Número de la carretera de la que forma parte el tramo.

8.02.4 TRAMO:

Nombre de los lugares extremos del tramo y sus cadenamientos.

8.02.5 FECHA:

La fecha en que se efectúa la calificación.

8.02.6 KILOMETRAJE:

En este renglón se anotará el cadenamiento del tramo, sección por sección. Esta forma auxiliar tiene capacidad para diez secciones.

8.02.7 CORONA:

Este espacio contiene un listado de posibles deficiencias y un renglón de simbología que representa las condiciones en que pudieran presentarse estas deficiencias.

De esta manera, por el número de símbolos anotados en cada renglón, se conocerá el número y tipo de deficiencias en cada sección.

8.02.8 DRENAJE:

Aquí se presenta un listado de obras y características geométricas que conforman el drenaje de un camino y un renglón de posibles deficiencias simbolizadas.

Cada sección se encuentra dividida en dos partes, una para anotar la simbología correspondiente a deficiencias en el escurrimiento y otra para anotar la simbología de defectos físicos.

Las deficiencias en el escurrimiento sólo corresponden a los renglones *alcantarillas, vados y canalizaciones y cunetas* por lo que en los otros renglones en que no se realiza ninguna anotación, se dispuso un sombreado.

Así también, por la cantidad de símbolos anotados por sección, se conocerá el número y clasificación de las obras afectadas o la incidencia de defectos físicos de la geometría de drenaje del camino.

8.02.9 DERECHO DE VÍA:

Contiene un listado de posibles deficiencias y un renglón de simbología de las condiciones en que pudieran presentarse estas deficiencias.

Cada sección se encuentra dividida en dos partes, una para anotar la simbología correspondiente a condiciones de la vegetación y otra para anotar la simbología de la frecuencia en que ocurren las otras deficiencias.

De esta forma aparecen con sombreado los espacios en que no corresponde ninguna anotación.

8.02.10 SEÑALAMIENTO VERTICAL:

Contiene un listado de elementos que lo constituyen y un renglón de simbología para la frecuencia en que ocurran sus deficiencias.

De esta manera, para cada elemento solamente será un símbolo el que indique su estado por sección.

8.02.11 SEÑALAMIENTO HORIZONTAL:

Es similar al inciso anterior y se procede de la misma forma.

8.02.12 Cabe hacer la observación de que no se hará anotación alguna cuando no se presente ninguna deficiencia en la sección.



DIRECCION GENERAL DE CENTRO

U G S T

DATOS OBTENIDOS EN EL RECORRIDO DE CALIFICACION DEL ESTADO FISICO DE LOS CAMINOS

CONSERVACION A CARGO DE LA _____

ESTADO DE _____ JEFE DE LA DEPENDENCIA _____

JEFE DE LA UNIDAD _____

FECHA _____

RESUMEN DE LA CALIFICACION

ESTADO DE

ELEMENTOS	LONGITUD TOTAL EN KM					TOTAL
	PESIMO (0-1)	MALO (1-2)	REGULAR (2-3)	BUENO (3-4)	OPTIMO (4-5)	
CUERPO	CORONA					
	DRENAJE					
	DERECHO DE VIA					
SEÑALAM	VERTICAL					
	HORIZONTAL					



SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
 DIRECCION DE VIALIDAD Y PROYECTOS
 SUBDIRECCION DE INGENIERIA DE TRANSITO

SEÑALAMIENTO VERTICAL

ESTADO							CALIFICACION				
NOMBRE DEL CAMINO											
NUM DE SECCION	KM	SENALES	PANTALLAS	POSTES DE ALICATE	PANTALLAS	PESIMO	MALO	REGULAR	BUENO	OPTIMO	
						0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											
9											
10											
11											
12											
13											
14											
15											
16											
17											
18											
19											
20											
TOTAL											

S C T

COMISION DE ESTUDIOS PARA
LA CALIFICACION DE CAMINOS

DATOS OBTENIDOS EN EL RECORRIDO CALIFICACION DEL ESTADO FISICO DE LOS CAMINOS

CONSERVACION A CARGO DE LA _____

ESTADO DE _____ JEFE DE LA DEPENDENCIA _____

CALIFICADOR _____ FECHA _____

CAMINO, TRAMO Y
RUTA

KILOMETRAJE

CUERPO DEL CAMINO

CORONA
PAVIMENTADA
REVESTIDA O EN
TERRACERIAS

DRENAJE

DERECHO DE VIA O
DESHIERBE DE ORILLAS Y
ARREGLO DE TALUDESSEÑAL
MIENTO

VERTICAL

HORIZONTAL

OBSERVACIONES: _____

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
COMISION DE ESTUDIOS PARA LA CALIFICACION DE CAMINOS
CORONA DE CAMINOS PAVIMENTADOS

DEFICIENCIAS		INTENSIDADES				
DESCRIPCIONES		NO SE OBSERVAN	CORREGIDAS	NO CORREGIDAS		
				TRES ZONAS AISLADAS PEQUEÑAS POR SECCION	SEIS ZONAS AISLADAS AMPLIAS POR SECCION	GENERALIZADAS $\geq 30\%$ LONG.
I	DEFORMACIONES: Depresiones, Asentamientos, Ondulaciones, Roderos, Arrimamientos, Rizos múltiples y orillos cercosoides	5 0	4 5	4 0	3 5	DE 3 0 A 1 0
II	GRIETAS Longitudinales, Transversales, Diagonales à curvas.		- (01 A 03)	- (01 A 03)	- (03 A 06)	- (06 A 10)
III	AGRIETAMIENTOS POLIGONALES		- (01 A 05)	- (03 A 06)	- (06 A 10)	- (10 A 15)
III	CALAVERAS		- (02 A 05)	- (03 A 09)	- (05 A 10)	- (10 A 15)
V	BACHES:		- (02 A 08)	- (05 A 0.8)	- (08 A 15)	- (15 A 20)
VI	TEXTURA DEFECTUOSA: Lioredas, Desprendimiento (escorrelado), Superficie resbalosa		- (00 A 03)	- (01 A 03)	- (03 A 10)	- (10 A 15)

NOTAS: LA CALIFICACION BASE SERA LA DEL CONCEPTO I, LAS DEMAS SE DESCONTARAN SEGUN LA IMPORTANCIA Y EXTENSION DEL DEFECTO SI LA CALIFICACION RESULTARA ALGEBRA ICAMENTE NEGATIVA, SE LE CONSIDERARA DE 0

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
COMISION DE ESTUDIOS PARA LA CALIFICACION DE CAMINOS
CORONA DE CAMINOS REVESTIDOS O RURALES

DEFICIENCIAS		INTENSIDAD			
TIPO	DESCRIPCION	NO SE OBSERVARON DEFICIENCIAS	EN 3 ZONAS AISL PEQUEÑAS POR SECCION	EN 6 ZONAS AISL AMPLIAS POR SECCION	GENERALIZADAS \geq 30% LONG
I	EN SUPERFICIE DE RODAMIENTO: Grietas, depresiones, bechos, roderos, ondulaciones, rizamientos, bordes longitudinales, deslives.	50	45	40	20 DE 30 A 10
II	EN EL REVESTIMIENTO: a). - Espesor exceso b). - No cohesivo c). - Exceso de finos d). - Resbaloso al manejar			- 10 - 05 - 10 - 10	- 20 - 10 - 15 - 20

NOTAS: LA CALIFICACION BASE ES LA DEL CONCEPTO I Y LAS RESTANTES SON DEDUCTIVAS DE ESTA.
 LOS CONCEPTOS DE ZONAS AISLADAS SON LOS MISMOS QUE PARA CAMINOS PAVIMENTADOS
 SI EN UNA SECCION LA EVALUACION DEL ELEMENTO RESULTARA NEGATIVA, SE CALIFICARA CON 0

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 COMISION DE ESTUDIOS PARA LA CALIFICACION DE CAMINOS
 DRENAJE PARA CAMINOS PAVIMENTADOS, REVESTIDOS O RURALES

DEFICIENCIAS EN EL CONCEPTO		FUNCIONAMIENTO DEL ESCURRIMIENTO			DEFECTOS FISICOS	
		SATISFACTORIO	OBSTRUIDO PARCIALMENTE	OBSTRUIDO TOTALMENTE	ME NORES	MA YORES
I	ALCANTARILLAS, VADOS Y CANALIZACIONES	5 0	DE 5.0 A 3 0	DE 3 0 A 1.0	0 0	- 1.0
II	CUNETAS .	0 0	DE 0.0 A -1 0	DE -1 0 A -1 5	- 0 5	- 1 0
III	PENDIENTE TRANSVERSAL, BOMBEO Y SOBREELEVACION				- 0 1	- 0 5
IV	LAVADEROS, GUARNICIONES O BORDILLOS, CONTRACUNETAS Y CANALES.				- 0 5	- 2,0

NOTAS: SE TOMARA COMO BASE LA CALIFICACION DEL CONCEPTO I CON RELACION AL ESCURRIMIENTO, Y SE LE DESCONTARA LO NECESARIO POR DEFECTOS FISICOS. LOS RESTANTES CONCEPTOS SON DEDUCTIVOS DE LOS RESULTADOS ANTERIORES
 EN CASO DE OBTENERSE UNA CALIFICACION NEGATIVA, EL ELEMENTO SE CALIFICARA COMO 0

Antonio R. Hernandez

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES

COMISION DE ESTUDIOS PARA LA CALIFICACION DE CAMINOS

DERECHO DE VIA EN CAMINOS PAVIMENTADOS O REVESTIDOS

DEFICIENCIAS		INTENSIDAD				
		SIN DEFICIENCIAS	HASTA EN EL 50 % DE LA SECCION	EN MAS DEL 50 % DE LA SECCION	HASTA EN DOS LUGARES POR SECCION	MAS DE DOS LUGARES POR SECCION
I	VEGETACION CRECIDA, en más de 40 cm en los 50mts coincidentes con los nombres del camino	5 0	DE 50 A 35	DE 35 A 25		
II	Vegetación en el resto del Derecho de Via con más de 150mts de altura	0 0	- 0 5	- 1 0		
III	PELIGROS AL TRANSITO O AL CAMINO				- 1 0	- 2 0
IV	EN LOS CERCADOS				- (0 0 A 1 0)	- (1 0 A 2 0)
X	UTILIZACION INDEBIDA:					
	a) Anuncios prohibidos b) Basureros y/o servidumbre NO autorizada				- (0 0 A 1 0)	- (1 0 A 15)
					- (0.0 A 1 0)	- (1 0 A 2 0)

NOTAS LA CALIFICACION BASE ES DADA POR EL CONCEPTO I. LOS DEMAS CONCEPTOS PROPORCIONAN VALORES NEGATIVOS A DEDUCIRSE DE LA CALIFICACION BASE DE RESULTAR NEGATIVA LA EVALUACION ALGEBRAICA, EL ELEMENTO SE CALIFICARA COMO 0

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
COMISION DE ESTUDIOS PARA LA CALIFICACION DE CAMINOS
ZONAS LATERALES EN CAMINOS RURALES

CONCEPTOS	I N T E N S I D A D		
	SIN DEFICIENCIAS	EN EL 50% DE LA SECCION (LONGITUDINAL)	MAS DEL 50% DE LA SECCION (LONGITUDINAL)
I <u>hierba crecida</u> - en las orillas, con más de 40cm de altura, en una franja de 300mts de ancho a cada lado	5 0	DE 50 A 30	DE 30 A 20
II Arreglo de taludes de cortes.		- (05 A 10)	- (10 A 20)

NOTAS - LA CALIFICACION BASE ES DADA POR EL CONCEPTO I Y LA OTRA ES DEDUCTIVA DE LA PRIMERA. DE RESULTAR NEGATIVA LA EVALUACION, EL ELEMENTO SE CALIFICARA 0

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 COMISION DE ESTUDIOS PARA LA CALIFICACION DE CAMINOS
 SEÑALAMIENTO VERTICAL Y DISPOSITIVOS PARA CONTROL DEL TRANSITO

C O N C E P T O S		I N T E N S I D A D		
		SIN DEFICIENCIAS	POCAS DEFICIENCIAS ≲ 30 %	MUCHAS DEFICIENCIAS ≳ 30 %
I	SEÑALES	5.0	DE 50 A 30	DE 30 A 1.0
II	FANTASMAS		-(10 A 20)	-(20 A 3.0)
III	POSTES DE KILOMETRAJE.		-(03 A 05)	-(05 A 1.0)

NOTAS: LA CALIFICACION BASE ES LA CONCEPTO I LOS DEMAS CONCEPTOS DARAN VALORES DEDUCTIVOS ACUMULABLES A DESCONTAR DE LA CALIFICACION BASE

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
COMISION DE ESTUDIOS PARA LA CALIFICACION DE CAMINOS
SEÑALAMIENTO HORIZONTAL Y MARCAS EN CAMINOS PAVIMENTADOS

C O N C E P T O S		I N T E N S I D A D		
		SIN DEFICIENCIAS	POCAS DEFICIENCIAS ≤ 30 %	MUCHAS DEFICIENCIAS ≥ 30 %
I	RAYA CENTRAL	5 0	DE 5 0 A 4 0	DE 4 0 A 2 0
II	RAYAS LATERALES. y/o separadores de carriles, canalizadores, etc.		-(0 5 A 1 0)	-(1 0 A 2 0)
III	OTRAS MARCAS y/o pintado de otros elementos de la sección transversal		-(0 2 A 0 5)	-(0 5 A 1 0)

NOTAS. LA CALIFICACION BASE ES LA DEL CONCEPTO I. LAS DEMAS SON VALORES NEGATIVOS DEDUCIBLES DE ELLA. SI LA EVALUACION RESULTARA NEGATIVA SE CONSIDERARA UNA CALIFICACION DE 0

**/ ALGUNAS NOTAS
/ SOBRE CONSERVACION
/ DE CARRETERAS .**

1 Ing. Raúl Jiménez González

*EL HOMBRE, A PESAR DE SU SABIDURIA,
NO HA PODIDO HASTA HOY REALIZAR
UNA OBRA QUE NO NECESITE
SER CONSERVADA*

INDICE

	Pág.
PROLOGO	7
INTRODUCCION	13
LA CONSERVACION	18
Conservación normal	19
Reconstrucción	19
Modernización	20
PROBLEMAS DE CONSERVACION	21
LABORES DE CONSERVACION	23
Desmante	24
Deshierbe	25
Terracerías	25
Drenaje	27
Pavimentación	32
Señalamiento	45
REGISTRO ESTADISTICO DE ACCIDENTES	46
VISIBILIDAD	47
LIMPIEZA DEL CAMINO	48
ZONAS LATERALES. PARADEROS	49
CONOCIMIENTO EXACTO DEL CAMINO	49
PROBLEMAS DE ORGANIZACION	51
ABASTECIMIENTO DE ASFALTO	53
BANCOS DE MATERIALES PETREOS	54
ACARREOS	55
PERIODO DE LLUVIAS	56
RELACIONES HUMANAS	58
EDAD DEL PERSONAL DE UNA RESIDEN- CIA GENERAL DE CONSERVACION	62
CONCLUSIONES	65

PROLOGO

Imposible negarme al amigo y compañero de guías universitarias; por ello he aceptado gustoso prologar este manual, tan necesario como práctico, nacido de la experiencia directa de Raúl Jiménez González, caminero de abolengo, de pasión y entrega.

Raúl Jiménez González es persona dedicada, observadora, cuidadosa y hasta meticulosa en cuanto a su responsabilidad. Dedicado, porque desde que dejó las aulas de estudio profesional se entregó a la vida de caminero, ya construyendo, ya conservando los caminos; observador, porque siempre supo capitalizar errores y asimilar resultados satisfactorios, y con su ingenio, propio de su disciplina profesional, buscó formas simplificadas para facilitar su labor; cuidadoso, porque nada dejó al azar, porque fue siempre fiel y respetuoso de las normas que, con criterio y celo, supo aplicar para el óptimo servicio del camino a su cuidado.

La conservación de los caminos carreteros fue su pasión, así lo confiesa en estas notas que deben catalogarse como un verdadero manual, en el que entrega su propia experiencia. El, por modestia, lo llama "Algunas notas sobre conservación de carreteras"; pero, en realidad, es una aportación de enseñanza y de capacitación para quienes, en cualquier nivel, se dedican a la conservación de carreteras, puesto que señala, describe y aconseja sobre el porqué y el cómo del proceder para que el residente de conservación pueda mantener el camino en óptimas condiciones. No se le escapa nada, ni el mínimo de-

Este modesto trabajo lo dedico a la muy querida Dirección General de Conservación de Obras Públicas, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, así como a mi estimado y fino amigo Ing. Luis Bello Rojo y a todos los ingenieros y sobrestantes que conservan nuestras carreteras.

Este trabajo, intitulado "Algunas Notas sobre Conservación de Carreteras", es el producto de la experiencia adquirida durante cuarenta y seis años como Caminero Mexicano. Lo entrego con el honor de haber contribuido a la conservación de algunos caminos de México. Mi cariño hacia ellos es permanente, los he considerado como algo muy mío, formando parte de mi propia vida.

Tengo fe de que estas notas sean de utilidad para los ingenieros y sobrestantes de conservación, pues nacen de la directa experiencia.

INTRODUCCION

• Para que las obras realizadas por el hombre perduren, requieren de una buena, eficaz y oportuna conservación. Para que estas condiciones se satisfagan, es necesario que el encargado de ellas o el residente de conservación sea un individuo sumamente observador, pues sin esta cualidad le será muy difícil obtener resultados satisfactorios.

Aunque parezca ridículo, al camino hay que tenerle cariño; de ahí que el ingeniero que lo conserva debe considerarlo como algo suyo, no deberá escatimarle ni tiempo ni esfuerzo, ya que es sumamente satisfactorio poder dejar el camino en buenas condiciones después de que ha sufrido daños por agentes climatológicos, ya sean deslaves, derrumbes, destrucciones parciales o totales en algunos tramos, destrucción de obras de drenaje o puentes. Además, se debe pensar siempre que el usuario que paga impuestos al gobierno tiene derecho a tener "vía libre" en un camino, y que si hay alguna emergencia que le impida seguir su viaje, deberá ser resuelta convenientemente y en el menor tiempo posible. La tarea de conservar un camino es difícil y a menudo ignorada o criticada por la mayoría de la gente. El usuario rara vez se percata de las dificultades y esfuerzos que se realizan para la conservación de un camino, pero en general, critica cuando detecta cualquier defecto por mínimo que sea. No podemos negar que en ocasiones la crítica es justa, pues desafortunadamente existen residentes de conservación que hacen poco caso a lo que el camino requiere, ya por negligencia o por el poco o ningún cariño que le

tiene. Es acciones negativas deben ser abolidas por ser perjudiciales para el camino, cuya función es unir a las poblaciones como arterias de la nación, permitiendo su desarrollo económico y social e integrándolas en un todo.

Vivimos en una época en la que todos nos desplazamos con rapidez; por ello, nuestras carreteras deben estar siempre en las mejores condiciones posibles, esto será factible si se emplean adecuadamente los recursos económicos, humanos y el equipo disponible.

El ingeniero de conservación deberá procurar que dichos recursos rindan lo máximo, ya que desperdiándolos, la obra encomendada sufrirá daños incalculables y, más tarde, los costos de reparación serán muy altos. Debe ser un buen administrador, tarea también difícil pero sumamente importante ya que de ella depende en gran parte el buen éxito en las labores de conservación encomendadas.

El trabajo habrá de realizarse al menor costo y en el menor tiempo, procurando que la calidad sea la óptima con objeto de no repetir ese trabajo una y otra vez. Por ejemplo, nunca colocar el material desalojado de una cuneta azolvada en el talud o en la ladera arriba de la traza del corte con el terreno natural, pues en la siguiente temporada de lluvias ese material caerá nuevamente en la misma cuneta, obstruyéndola y provocando quizá un deslave en el terraplén próximo.

Si sólo ocurre la obstrucción, el costo se duplica, y si además toma lugar el deslave, el costo aumentará considerablemente.

El camino deberá presentar siempre un buen aspecto, una imagen atractiva, para que el usuario sienta el interés que se pone en la conservación de la vía que utiliza. Basta que una señal esté inclinada o deteriorada por el vandalismo, para que el usuario critique y externe el poco interés que existe en el encargado del camino para que el señalamiento tenga su posición correcta o bien sea sustituido. De ahí

que sea muy importante observar con mucho cuidado todos los detalles, por insignificantes que sean, con objeto de corregirlos en la mayor brevedad posible. Deberá olvidarse el "mañana lo hago".

Los detalles que involucra la conservación son innumerables, cada parte del camino es vulnerable a todos los agentes destructivos exteriores, por lo que hay que percibir constantemente que tal o cual deterioro ha sucedido, estudiar las causas que lo originaron y proceder de inmediato a corregirlo.

Nada mejor para un ingeniero encargado de la conservación de un camino que la inspección eficaz, oportuna, constante de lo que se le ha encomendado. Por eso debe recorrerlo despacio, no haciéndolo a cien kilómetros por hora. Deberá observar detenidamente los trabajos que se realizan. Con esta práctica obtendrá bajos costos, buena calidad de la obra y utilización adecuada del equipo. No deberá conformarse con dar órdenes al sobrestante, pues esto implica muchos inconvenientes.

En un camino siempre hay algo que debe llamar la atención de un encargado, una pequeña grieta que aparezca en la superficie de rodamiento y desgranamiento que ocurra en ella, derrumbes, erosiones en los taludes tanto de cortes como de terraplenes, una señal inclinada o destruida, falta de algunos fantasmas en una curva, etc. Son tantas las causas que perjudican una obra vial, que sólo mediante la observación pueden ser detectadas. Para ello, deberá recorrerse constantemente el tramo, todos los días, a toda hora y aun en las noches, ya que los ondulamientos, depresiones o asentamientos se hacen más notorios en la obscuridad, ya que se precisan perfectamente por las sombras que producen al ser alumbrados los defectos por los fanales de los vehículos.

Si el ingeniero de conservación es hombre responsable, nadie mejor que él para determinar el mayor o menor grado de seguridad en el tramo a su cuidado. Este servidor debe pensar siempre en ser útil a la colectividad, ya que toda persona al hacer uso de un camino debe abrigar plena confianza y abso-

luta seguridad de que ninguna contingencia o contra-
tiempo podrá ocurrirle durante su recorrido por
cierta carretera a causa de una falla en el trazo, fa-
llas en la construcción, mala conservación, o bien
por falta de señales, pues sólo así podrá transitar
libre, seguro y eficientemente.

Para una acción eficiente y determinar cualquier
falla que pueda haber en un camino, el ingeniero
de conservación deberá conducir personalmente el
vehículo a su servicio, procurando seguir a distan-
cia conveniente a un automóvil, a un camión de
pasajeros o de carga, esto con el fin de observar
directa y personalmente el más insignificante defec-
to y poder corregirlo de inmediato, o al menos reme-
diarlo provisionalmente, previa indicación del peli-
gro existente, mediante el señalamiento adecuado,
para evitar cualquier accidente.

A continuación se indican las irregularidades que
puede tener un camino y que son causas de acci-
dentes:

- Falta de raya central y rayas laterales;
- Falta de señalamiento vertical y horizontal;
- Falta de fantasmas en curvas y tangentes;
- Derrumbes y deslaves;
- Puentes provisionales y angostos;
- Puentes definitivos, pero angostos;
- Paso de camino por poblados;
- Asentamientos más o menos profundos;
- Acotamientos angostos, desnivelados y erosiona-
dos;
- Grietas amplias o zanjas entre la carpeta y el aco-
tamiento;
- Materiales pétreos sueltos sobre la superficie de
rodamiento;
- Materiales pétreos acamellonados en parte de la
superficie de rodamiento y el acotamiento;

- Camellones de mezcla asfáltica encima de la car-
peta;
- Superficie de rodamiento con exceso de asfalto;
- Superficie de rodamiento de textura cerrada y lisa;
- Baches en cualquier parte de la superficie de ro-
damiento;
- Un bache aislado;
- Superficie de rodamiento ondulada, transversal o
longitudinalmente;
- Falta de visibilidad en las curvas, horizontales o
verticales;
- Acotamientos con materiales sueltos, sin compac-
tar;
- Aprovisionamiento de agua (manantiales) sin vi-
sibilidad en curva;
- Taludes de cortes sin amacizar;
- Arboles situados cerca de la traza del talud del
corte con la ladera;
- Guarniciones de alcantarillas justamente en la
orilla de la carpeta;
- Acotamientos erosionados junto a las losas extre-
mas de puentes;
- Asentamientos en los accesos de un puente o al-
cantarilla;
- Cruce de ferrocarril sin visibilidad con respecto a
éste;
- Losas de puente mal construidas con flecha in-
versa;
- Falta de paraderos para camiones de pasajeros o
de carga;
- Entronques con caminos secundarios o rurales;
- Orillas de la carpeta asfáltica, irregulares o des-
truidas;

Tope: ... la superficie de rodamiento a la entrada de poblaciones sin señalamiento correspondiente;

Derecho de vía invadido por malezas, árboles o construcciones;

Falta de sobreelevación en las curvas;

Desniveles grandes entre la carpeta y el acotamiento;

Falta de defensas en los lugares que lo ameritan;

Curva después de una tangente prolongada y descendente;

Curva inmediatamente después de una tangente en una cima, y

Puentes construidos al salir de una curva en corte.

Como puede observarse, son muy numerosas las causas inherentes al camino que pueden provocar un accidente; cada una de ellas es un problema de conservación que puede ser corregida o al menos señalada profusamente, si se es humano, si se es responsable, si se desempeña a conciencia la misión que se le encomienda a un ingeniero de conservación, o sea, la de conservar eficientemente el tramo a su cuidado para evitar accidentes, pérdidas materiales y, lo más importante, lo más trascendental, evitar pérdidas de vidas.

LA CONSERVACION

La conservación de una carretera se integra por una serie de operaciones que tienen por objeto mantener en buen estado toda la estructura que la compone en beneficio del usuario, para que al transitarla se sienta cómodo y seguro, que haga un viaje placentero, sin riesgos que sean propios de la carretera; asimismo, para evitar que sea destruida, por el uso y por los agentes climatológicos, la Red Federal de Carreteras, que es uno de los patrimonios del país.

La conservación de un camino consta de tres etapas importantes:

1. Conservación normal;
2. Reconstrucción; y
3. Modernización.

1. *Conservación normal.* La conservación normal tiene lugar desde que se está construyendo el camino, es decir, se tienen que conservar todos los elementos que se van terminando, por parte del contratista que construye el camino; después, cuando lo termina totalmente, es entregado para su conservación a la Dirección General de Conservación de Obras Públicas, dependiente de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes. Cuando esto ocurre, las labores de conservación normal adquieren gran importancia, ya que tienen por objeto mantener el camino en muy buenas condiciones transitables y de seguridad para el usuario.

No describiré en estas notas las distintas operaciones que hay que realizar para mantener el camino en óptimas condiciones, ya que son de todos conocidas y, además, por existir un manual relacionado con ellas, manual en el que se incluye la experiencia adquirida por las distintas dependencias oficiales durante cincuenta y cuatro años de intenso trabajo en la conservación de las carreteras de la República Mexicana, pero cuya función ha sido siempre la misma: la de conservar las carreteras de México.

2. *Reconstrucción.* Cuando el camino ha estado en servicio durante varios años después de construido, años en los que se han registrado incrementos en el número de vehículos y cargas cada vez más pesadas, los deterioros que sufre el camino por esas causas impiden que los trabajos de conservación normal sean suficientes para mantenerlo en buenas condiciones, ya que los desperfectos aumentan considerablemente. Cuando esto sucede hay que decidirse por una reconstrucción, ya sea parcial o total, de aquellos tramos que lo ameriten.

Cabe aclarar que los daños que sufre un camino no se deben a su mala construcción, sino al uso prolongado, al aumento de cargas rodantes y de vehículos y al efecto del intemperismo. Además, sería imposible, dadas nuestras limitaciones económicas, construir caminos que cumplan con especificaciones para un futuro de veinte o treinta años. Este proceder obligaría a espesores bastante gruesos y superficies de rodamiento de tres o cuatro carriles por sentido, imposibles de realizar por falta de recursos económicos; en cambio, si cada diez años se refuerzan los espesores originales, según lo requiere el tránsito de vehículos y las cargas, se estará en posibilidades de mantener una red en buenas condiciones.

La reconstrucción puede consistir en la aplicación de una carpeta asfáltica compacta de cinco a siete centímetros de espesor, previa renivelación de la carpeta antigua y del bacheo correspondiente, si lo amerita el tramo. Asimismo, tal vez sea necesario aumentar el espesor de la base, por lo tanto, la reconstrucción incluirá esta capa. Todos estos trabajos se realizan sin modificar los alineamientos horizontal y vertical del camino.

3. *Modernización.* La modernización de una carretera es imperativa cuando las especificaciones de trazos horizontal y vertical, así como los espesores del pavimento, ya no son congruentes con las exigencias del tránsito de vehículos, tales como aumento de velocidades, incremento considerable del número de vehículos y aumento de las cargas transportadas.

Cuando esas especificaciones resulten obsoletas, se requiere modificar los trazos vertical y horizontal y aumentar los espesores del pavimento. En ocasiones es indispensable aumentar el número de carriles de circulación en ambos sentidos del camino antiguo, o bien, construir otro camino paralelo.

Esto es, a grandes rasgos, lo que se entiende por conservación normal, reconstrucción y modernización de las carreteras.

La conservación normal se realiza mediante los recursos propios de una Residencia General de Conservación, tanto económicos como humanos y de maquinaria y equipo. Para ejecutar los riegos de sello, generalmente el material pétreo se adquiere por contrato.

La reconstrucción en pequeños tramos la puede ejecutar una residencia de conservación. Tratándose de tramos grandes, los trabajos se hacen por contrato, al igual que cuando se trata de modernizar una carretera.

A continuación se presenta un cuadro sinóptico acerca de los trabajos de conservación.

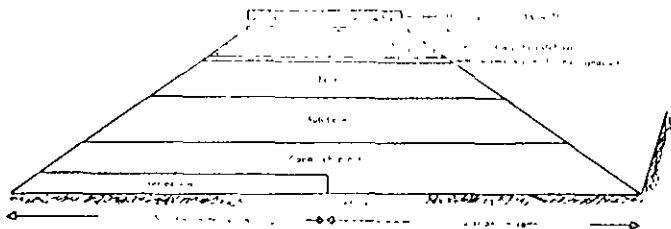
PROBLEMAS DE CONSERVACION

La construcción de un camino se desarrolla en las siguientes etapas:

- Desmante;
- Deshierbe;
- Despalme;
- Drenaje;
- Terracerías;
- Pavimentación;
- Obras Auxiliares, y
- Señalamiento.

Una vez realizado todo el proceso de construcción, el camino se entrega a la Dirección General de Conservación de Obras Públicas para su conservación.

Los distintos elementos que constituyen la estructura de un camino se representan en el siguiente croquis:



En cada uno de estos elementos puede surgir en cualquier momento un problema, que deberá resolverse con los medios de que se disponga. No deberá dejarse crecer el daño, pues si no se remedia de inmediato, la reparación será más difícil y más onerosa y, sobre todo, sobrevendrán la inseguridad del camino y las molestias para el usuario.

Para mantener en buenas condiciones un camino, el residente de conservación debe observar detenidamente todos los elementos que lo constituyen, desde las terracerías, pavimento y, en especial, las obras de drenaje, puesto que es el peor enemigo de un camino; por muy buenos que hayan sido los materiales utilizados en su construcción, si el drenaje no se diseñó de acuerdo con las necesidades o se ha deteriorado por una conservación deficiente, el agua de las lluvias provocará daños al pavimento o a las terracerías, y a la postre redundarán en perjuicio de la superficie de rodamiento, parte principal del camino y la única cuyas buenas condiciones le interesan al usuario. Son innumerables los problemas que se presentan a diario en un camino, tantos como elementos lo constituyen, regiones por las que atraviesa, climas y diversidad de materiales usados en su construcción.

Algunos de tales problemas pueden ser motivados por una inadecuada localización, una deficiente construcción, o porque algunos de los materiales utilizados son de baja calidad; otros, por haber transcurrido varios años después de la construcción, puesto que los materiales asfálticos utilizados se van oxidando con el tiempo y pierden sus cualidades aglu-

* el agua de lluvia

tinantes, produciéndose desintegraciones de la carpeta o del riego de sello.

Con el transcurso del tiempo, y a causa de la multiplicidad de repeticiones del paso de cargas, los materiales pétreos, componentes de las bases y sub-bases, sufren degradación y, en consecuencia, cambian de granulometría.

LABORES DE CONSERVACION

Así como en la construcción de un camino, en la conservación de éste también se ejecutan tareas claramente definidas:

- Desmante
- Deshierbe
- Drenaje
- Terracerías
- Pavimentación
- Señalamiento
- Obras auxiliares

Desmante: los trabajos de desmante, o sea, la tala de árboles en el derecho de vía.

Deshierbe: operación de quitar la hierba que crece en los acotamientos y taludes.

Terracerías: todo movimiento de tierras que sea necesario para ampliar un camino: reforzar taludes existentes en terraplenes, abatir taludes en los cortes y amacizar éstos.

Drenaje: conservación de alcantarillas, puentes, cunetas, contracunetas; bombeo de la superficie de ro-

damiento, guarniciones, lavaderos, bordillos; desaholva de canales de entrada y salida de alcantarillas; limpieza del cauce de arroyos y ríos; limpieza de drenes.

Pavimentación: conservación de la estructura final de un camino, en la que están incluidas la capa subrasante, la sub-base, la base, la carpeta y los riegos de sello o de protección.

Señalamiento: colocación y conservación de toda clase de señales verticales y pintado de rayas en la superficie de rodamiento.

Obras auxiliares: conservación de todas las obras que, aunque no corresponden a la estructura del camino, ayudan a hacerlo más funcional.

Los problemas de conservación que se producen o tienen lugar en cualquiera de los incisos anteriores deben ser siempre resueltos con el propósito primordial de conservar el camino en las mejores condiciones posibles, tanto para prolongar su duración como para proporcionar seguridad y comodidad a los usuarios.

Desmante: la tala de árboles en el derecho de vía debe ejecutarse con mucho criterio; todo corte debe hacerse con un propósito. Es muy importante seleccionar los árboles que han de cortarse, ya que, por ejemplo, no deben talarse los que han crecido y desarrollado en las laderas adyacentes al camino ni los que se encuentren en los taludes de los terraplenes, puesto que sirven extraordinariamente para la estabilidad de éstos, sobre todo en terrenos montañosos o lomeríos con pendientes muy pronunciadas.

Es aconsejable que, en una curva, el área comprendida entre su parte interior y una línea que una al P. C. con el P. T. de la curva, esté libre de obstáculos. A veces existen árboles que no deben cortarse, sino sólo se podan las ramas que impidan una buena visibilidad. Procediendo de esta manera se preservan esos árboles; de lo contrario, sin una acer-

tada selección, desaparecerán. En cambio, los árboles que se encuentren en la ladera y cercanos al talud del corte si tendrán que ser talados, pues representan un constante peligro debido a su ubicación.

No es necesario cortar los árboles que se encuentran en la faja del derecho en las laderas de los cerros; cuando el camino va en corte, la tala debe suspenderse en una cota de tres metros arriba de la que tenga la línea de paso, ya que más arriba es inútil y costosa.

Deshierbe: la hierba que crezca en los taludes de los terraplenes no debe cortarse y mucho menos arrancarse de raíz, ya que la hierba estabiliza los terraplenes y además evita que se erosionen por efectos del agua de lluvia o del viento.

En los taludes de los cortes se puede quitar la hierba, pero con cierta restricción, pues también ayuda a evitar erosiones.

No debe deshierbarse con motoconformadora los acotamientos, pues se pierde su estabilidad al restarle compactación con la labor destructiva de la cuchilla, que arranca las hierbas.

Cuando esto ocurre, se afloja la superficie del acotamiento, el agua de lluvia tiene libre acceso al pavimento y a la terracería y al cabo de cierto tiempo la zona del pavimento adyacente al acotamiento se convierte en un gran bache.

El deshierbe de los acotamientos se hará a mano o con deshierbadora.

Lo ideal es que esos acotamientos de tierra o de revestimiento se pavimenten.

Terracerías: al reforzarse el talud de un terraplén, o bien, cuando se amplía, previamente deberán hacerse escalones en el talud, con objeto de que sirvan de apoyo al material que se utilice, y mejor aún si se le da a la huella del escalón una pequeña pen-

diente descendente hacia dentro del terraplén, pues así el material utilizado se acuñará al cuerpo del mismo. De no ejecutarse esos escalones, el material colocado en los taludes se deslizará con el tiempo, pues no hay "amarre" que lo detenga.

La ampliación de un terraplén nunca deberá ejecutarse con material a volteo; esta operación no es recomendable, pues tiene el inconveniente de que al pavimentar esa ampliación surgen muchos problemas cuya resolución es sumamente costosa.

Cuando ocurre un deslave no debe rellenarse éste con material a volteo, sino que primero se escalonará el talud del deslave formado; después, por capas perfectamente compactadas con pisón de mano, si no se cuenta con una máquina apropiada ("bailarinas", por ejemplo) y agua necesaria. La huella del escalón debe tener una pendiente ligera descendente hacia el cuerpo del terraplén, a fin de evitar el deslizamiento del material de relleno hacia afuera.

Es muy importante rellenar un deslave inmediatamente que ocurra y evitar lo que se hace con mucha frecuencia en nuestras carreteras mientras se hace el relleno: poner a la orilla del deslave, en la superficie de rodamiento, un bordillo de material pétreo o bien de mezcla asfáltica, el cual suele permanecer en ese sitio días o hasta meses, lo que es una muestra de negligencia y de irresponsabilidad, porque es sumamente peligroso dejar un deslave abierto en tales condiciones. Al ocurrir un derrumbe hay que desalojarlo tan pronto como sea posible, con cargadores y camiones, con cargadores solamente, bulldozers o palas y carretillas, según sea la magnitud del derrumbe. (Cabe advertir que el bulldozer puede causar mayores daños a la carpeta.)

Cuando un derrumbe ocurre en un corte en cajón es muy difícil desalojarlo. Para evitar que el tránsito de vehículos se interrumpa durante un tiempo largo, y cuando es posible, se hace inmediatamente una desviación por la parte exterior del cerro.

Ahora bien, si este procedimiento consume el mismo tiempo que el desalojo del derrumbe, entonces,

con la ayuda de tractores o de motoconformadoras, se construyen rampas a cada lado del derrumbe, aprovechando el material derrumbado. Una vez terminadas las rampas, se desaloja el material derrumbado por las alas, y se baja poco a poco la "rasante". Los vehículos pasan por un ala, mientras la otra se rebaja; después se cambia el tránsito a ésta y se rebaja la otra, y así sucesivamente, hasta finalizar el desalojamiento del material derrumbado.

Cuando el derrumbe ocurre en una sección en balcón y tapa todo el camino, lo que primero debe hacerse es cortar una cuña del lado del balcón, para formar una especie de desviación que no interrumpa el paso de vehículos; después se desaloja el material derrumbado, procurando ejecutar esta operación sin interrumpir el tránsito por el primer carril arreglado. Algunas ocasiones sucede que en una sección de balcón la parte del terraplén se deslava dejando un solo carril, pero cuyo material es muy deleznable y, en consecuencia, el talud que queda es muy inestable. En estas condiciones es sumamente peligroso el paso de vehículos por ese carril. Para evitar cualquier accidente (como por ejemplo: que al paso de un vehículo se derrumbe ese carril inestable), se debe cortar completamente esa terracería con la ayuda de un bulldozer o una motoconformadora. De esta manera se amplía la terracería y posteriormente se va elevando por las alas hasta la rasante necesaria. Los altos costos que esta operación pueda causar no deben impedir llevarla a cabo, pues evitar una tragedia bien vale cualquier erogación.

Drenaje: el drenaje en un camino es muy importante, razón por la cual debe ser constantemente vigilado en todos sus elementos.

En tiempo seco hay que observar continuamente el estado en que se encuentran los zampeados y lavaderos en el piso de las alcantarillas y bóvedas, a fin de cerciorarse si están en buenas condiciones; que no haya separación de las piedras que los constituyen, para evitar mayores daños y destrucción de la estructura en tiempo de lluvia. También es necesario verificar el estado en que se encuentran los

cimientos de las alcantarillas, estribos y pilas, así como limpiar las cunetas y contracunetas para que en tiempo de lluvias trabajen normalmente.

La observación será más rigida en tiempo de lluvias, a fin de corregir cualquier desperfecto que ocurra y evitar mayores daños.

Es muy importante que un ingeniero de conservación conozca perfectamente la eficiencia del drenaje del tramo que está a su cuidado; esto le será posible si recorre el camino en el momento mismo en que haya una precipitación pluvial; sólo así podrá detectar una falla en su tramo; por ejemplo, si una alcantarilla fue mal localizada, si existe un obstáculo que no le permita trabajar eficientemente o si es insuficiente. El ingeniero de conservación debe cerciorarse de que los canales de entrada y salida trabajen satisfactoriamente o si son insuficientes y determinar si hace falta alguna obra de drenaje y si funcionan bien tanto las cunetas y contracunetas como las guarniciones y lavaderos.

El responsable de conservación debe asegurarse de que el bombeo de la superficie de rodamiento sea satisfactorio y de que no se produzcan encharcamientos. Todas las anomalías que detecte han de corregirse a la mayor brevedad posible.

Por ningún motivo se deben delegar estas observaciones al sobrestante o cualquier otro auxiliar; ha de ser el propio ingeniero de conservación quien compruebe la eficiencia o deficiencia del drenaje en el tramo a su cuidado.

Algunas veces las contracunetas han resultado perjudiciales al camino, pues han servido para que se desprendan grandes cuñas de terreno por haber sido erosionadas en el fondo por las corrientes de agua que se producen al llover. Para evitar estos daños, y en vista de que son indispensables y no pueden dejar de construirse, deben protegerse en aquellos suelos deleznable, ya sea zampeando toda la sección, o bien, revistiéndolas con concreto hidráulico, suelo-cemento o mezcla asfáltica; asimismo, han de estar siempre

libres de piedras, derrumbes o malezas que impidan un buen funcionamiento.

En cuanto a las cunetas, se procurará que tanto las zampeadas como las revestidas con concreto hidráulico no presenten filtraciones de agua por algunos huecos, grietas o por las juntas, como la adyacente a la base o a la carpeta. Esta junta deberá quedar perfectamente sellada para evitar que el agua de lluvia penetre al pavimento.

Sabemos perfectamente que los baches que se presentan en una zona de corte se originan por corrientes de agua subterránea que bajan por el terreno de la ladera cruzando después por debajo del pavimento, lo que produce que la terracería y el pavimento se reblandezcan, ya que un exceso de humedad hace que los materiales pierdan sus características de resistencia y por lo mismo se pierda en esa zona la estabilidad del camino. Este inconveniente se evita al construir drenes con objeto de desviar esas corrientes y sigan por el dren (tubo de concreto hidráulico o metálico), sacándolas de la zona del corte. Como la construcción de un dren tiene un costo sumamente elevado (algo más de mil 200 pesos por metro, en 1982), es indispensable hacer un estudio económico; pues en ocasiones no toda la superficie de rodamiento resulta afectada, por lo que es más aconsejable reparar el pavimento dañado que construir el dren.

Las socavaciones del terreno, que se producen por las avenidas de los ríos y arroyos más o menos caudalosos y que se presentan generalmente abajo de los cimientos de los estribos y aleros de las obras de drenaje, se rellenan con mampostería de tercera o con concreto hidráulico. Al utilizar este material, se tiene la ventaja de que se rellenan todos los huecos que puedan existir entre el terreno erosionado y la mampostería de la obra y aun en el cuerpo de los cimientos.

Si las socavaciones no se corrigen inmediatamente, puede suceder que en la avenida siguiente la destrucción de la obra sea total. Cuando una gran avenida

destruye parcialmente el estribo y la pila de un puente, o dos estribos, si se trata de un solo claro, pero la losa no sufre ningún daño, no es necesario ni aconsejable demoler la o las losas; hay que salvarlas debido al alto costo de su construcción. En tal caso, la losa en cuestión se apoya en caballetes de madera, y como protección para los trabajadores, se forma una pila con sacos llenos de arena hasta llegar al lecho bajo de la losa. Una vez asegurada, se procede a demoler el estribo destruido, y, posteriormente, se construye el nuevo. Al terminar, se quita el caballete y queda la losa en su sitio, con la ayuda de gatos hidráulicos o un bulldozer. La misma operación se sigue para construir la pila. Si la losa ha sufrido variaciones, con la ayuda de un bulldozer y gatos hidráulicos se corrige su posición.

Una inspección y reparación oportuna impedirá una posterior destrucción total, así como grandes erogaciones, pues en caso contrario habrá necesidad de construir desviaciones y otra obra similar a la destruida, lo que puede evitarse con poco esfuerzo y poco dinero cuando el daño es incipiente.

Las alcantarillas y los puentes deben revisarse constantemente, a fin de ordenar su limpieza cuando estén obstruidas por malezas o depósitos de materiales, que provocan disminución del área hidráulica y seguramente la destrucción total de la obra al acontecer una avenida.

Los puentes deben ser objeto de especial atención por parte del ingeniero de conservación; son obras sumamente costosas y, además, muy útiles en un camino, motivo por el cual deben ser observados infatigablemente en todas sus partes. Si muchos puentes se hubieran revisado detenida y constantemente, de seguro no habrían sido destruidos por las avenidas. Sobre todo, hay que observar sus cimientos, ver si no existen socavaciones, si los zampeados de los conos de derrame adyacente a los caballetes de apoyo se encuentran en buen estado y si las traveses no están agrietadas, así como los apoyos móviles y fijos.

Como los puentes son obras de incalculable valor por la función que desempeñan, es aconsejable que en cada Residencia General de Conservación haya un ingeniero que diariamente se encargue de esta constante revisión y que se disponga de los elementos necesarios para reparar algún daño tan pronto ocurra.

Hay que insistir en que es primordial la limpieza de los ríos bajo los puentes.

Es conveniente que los accesos a los puentes en la zona de acotamientos sin pavimento siempre estén deshierbados en una longitud considerable de cincuenta a cien metros, por ejemplo, con objeto de que sean visibles a distancia los puentes.

Los parapetos y guarniciones de los puentes deben pintarse de blanco, y los aleros de los parapetos, con sus rayas negras en diagonal, como es costumbre. Las rayas blancas deben tener una franja de pintura reflejante de unos dos centímetros de ancho en toda su longitud, así el puente es más visible en la noche y se protege de posibles colisiones.

Un puente sin pintar y con malezas en sus accesos causa muy mala impresión, además de constituir un peligro para los usuarios. También deben estar pintados de blanco los cabezotes de las alcantarillas, los bordos laterales de los lavaderos y bordillos laterales de un camino en las proximidades de un puente; todo esto "viste" mucho al camino y denota que está bien cuidado, que hay esmero en su mantenimiento.

Con mucha frecuencia ocurren deslaves en los acotamientos sin pavimento de los accesos a los puentes, debido a que son erosionados por el agua de lluvia que cae sobre las losas. Estos deslaves se corrigen y evitan posteriormente si se construye una losa de concreto hidráulico de unos cinco metros de longitud, del ancho que tenga el acotamiento y con un espesor de 10 a 15 cm. Previamente se cajea el acotamiento erosionado y se rellena con buen material en capas perfectamente compactadas. La losa debe tener una ligera pendiente y un pequeño bordo en la arista ex-

terior para que el agua corra hacia un lavadero que también se debe construir.

Es poco el trabajo que se requiere y, por lo mismo, la erogación es mínima. Sin embargo, son muchos los puentes que no han recibido esta protección, por la poca o nula observación y negligencia de los encargados del tramo.

Con estas pequeñas losas se protegen la terracería y el pavimento y, además, se evita que crezca hierba junto a los parapetos del puente, lo cual permite mayor visibilidad desde lejos.

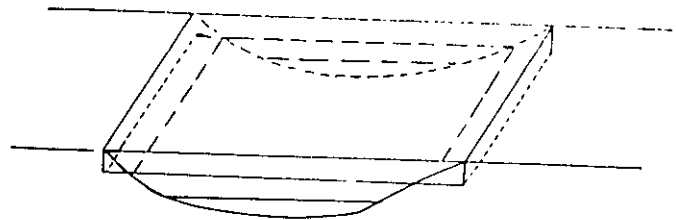
Pavimentación: los asentamientos deben ser motivo de preocupación de un ingeniero de conservación, ya que aparte de ser molestos, son peligrosos. Debe investigar la causa que los originó y procurar corregir los efectos a la mayor brevedad. Si la carpeta no presenta grietas ni desprendimiento de partículas no deberá levantarse el pavimento en esos lugares asentados. Lo más conveniente en estos casos es nivelarlos con mezcla asfáltica. Esta nivelación debe hacerse por capas de unos cinco centímetros de espesor. Con esta medida es casi seguro que no vuelvan a aparecer asentamientos en una zona que ha sido nivelada; pero si acaso vuelven a ocurrir, serán muy pequeños comparados con los primeros, por lo que con poco volumen de mezcla asfáltica se podrán corregir.

Estos asentamientos se presentan después de algunos años de haberse construido el pavimento. Al paso del tiempo, las partículas que forman el cuerpo del terraplén y del pavimento se van acomodando en aquellas zonas que por alguna causa no alcanzaron la compactación adecuada durante la construcción de las terracerías o del pavimento. Puede suceder también que la corona del camino resulte muy limitada; entonces, por ofrecer poca resistencia el talud del terraplén, éste se bota, por no estar confinada la terracería, y al desplazarse el material a los lados, por causa de las cargas de los vehículos, la superficie de rodamiento se asienta. En este caso, aparte de corre-

gir la superficie de rodamiento como se ha indicado, es necesario reforzar los taludes del terraplén haciendo más ancha la sección. Esta ampliación debe hacerse por capas debidamente compactadas, y para que haya una liga perfecta entre la ampliación y el talud original es indispensable hacerle escalones.

Con una ampliación se evitan las grietas longitudinales que se producen en el pavimento cuando no se construyen acotamientos con los anchos adecuados.

En ocasiones ocurren asentamientos en la superficie de rodamiento cuando el terraplén ha sido construido para salvar un talweg y se ha asentado. Esos asentamientos se corrigen como en los casos descritos anteriormente. La mezcla asfáltica que se utiliza para corregir los asentamientos debe colocarse por capas compactas, cada una con un espesor no mayor de cinco centímetros compactos. No debe hacerse el nivelado de una sola vez, sobre todo si la depresión es grande. La última capa ha de construirse al ras de la superficie de rodamiento, para lo cual debe abrirse una pequeña caja en la carpeta justamente donde empieza el asentamiento, a fin de que sirva de apoyo a la última capa y evitar así el peligro de que se levante o desplace con el tránsito de los vehículos.



En este caso los acotamientos deben también nivelarse con material de base, por capas muy bien compactadas; luego se impregna y, posteriormente, se sella todo el ancho de la reparación.

humedad de los materiales, resistencia de la terracería; en fin, todo lo necesario para conocer las causas de la falla. Estos estudios son fundamentales para proyectar el nuevo pavimento o mejorar el existente.

Hay dos formas de reparar un tramo deteriorado: si el daño es muy grande, es decir, si existe un número considerable de baches, desgranamiento de la carpeta, asentamientos, grietas y orillas de la carpeta irregulares, se levanta la carpeta y la base, escarificándolas y disgregando el material así obtenido para su homogeneización. La superficie descubierta, o sea, la sub-base, se afina y se compacta; al ejecutar la última operación es posible detectar baches en ella o en la terracería. Después se determina perfectamente la zona y se elimina todo el material inadecuado, sustituyéndolo por uno de buena calidad. Posteriormente, el material de la carpeta y de la base levantados y homogeneizados se utilizan para construir una sub-base. No se deben desperdiciar esos materiales, pues han costado bastante; si acaso, lo único que se necesita es mejorar su calidad, si resultan con cierto grado de plasticidad, y añadir a esa mezcla cierta cantidad de arena para disminuir esta inconveniencia. Después se constituye la base con el espesor requerido y, por último, la carpeta y el sello.

Si el tramo no está muy dañado y tiene pocos baches o si los desperfectos son únicamente debidos al reducido espesor de la base y la carpeta, lo que conviene hacer es lo siguiente:

La carpeta y la base se escarifican, disgregan, vuelven, homogeneizan y acamellonan. Luego se afina la superficie descubierta y se compacta. Si se detectan baches, se corrigen en la forma ya descrita. Si la granulometría y plasticidad del material obtenido necesitan de un ajuste, éste se llevará a cabo con el proporcionamiento que fije el laboratorio. Utilizando el material se puede elaborar una base negra para obtener un espesor que corresponda a una vez y media del de una base hidráulica. Este procedimiento es muy económico, pues no hay necesidad de aumentar volúmenes para una base hidráulica si se deja como sub-base el pavimento levantado. Después,

se construirá una carpeta asfáltica o, simplemente, se protegerá la base negra con un riego de sello.

Cuando el pavimento de un tramo está muy deformado y presenta asentamientos laterales por haberse construido las terracerías con materiales muy arcillosos, por ningún motivo debe levantarse ese pavimento, pues se rompería la composición estructural de la arcilla. Los asentamientos y deformaciones ya llegaron a su límite y no aumentarán más, así que se puede considerar que el tramo, no obstante su deformación, se encuentra estabilizado. Así que sin alterar en lo más mínimo ese pavimento, solamente se ejecuta una renivelación aplicando una mezcla asfáltica de material pétreo con espesor máximo de dos pulgadas. Una vez renivelado longitudinal y transversalmente, se construyen la base y la carpeta asfálticas y posteriormente se aplica el riego de sello.

Algunas veces para aumentar el espesor del pavimento es suficiente construir una base asfáltica sobre el pavimento antiguo; sólo se debe procurar que haya una buena liga, lo cual se logra con un rayado ligero mediante los escarificadores de la motoconformadora.

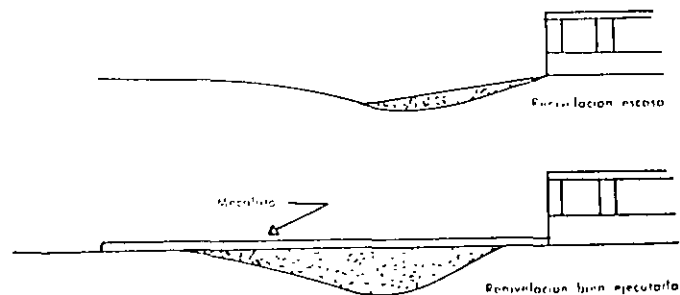
Otras fallas locales (las llamadas "baches") deben corregirse en cuanto aparezcan en la superficie de rodamiento. Se originan esencialmente a causa de los malos materiales —arcillosos o contaminados— empleados en la base o en la sub-base; también pueden producirse por espesores insuficientes en el pavimento, así como por un reblandecimiento de los materiales que lo forman, al igual que los de la terracería cuando el agua de lluvia penetra por grietas que no fueron calafateadas o por los acotamientos no pavimentados. Para corregirlos, se abre una caja rectangular, se saca todo el material contaminado y, si es necesario, hasta el material de la terracería; después, la superficie descubierta se compacta con pisón de mano, si no cabe el equipo de compactación. La caja se rellena con material de buena calidad, se compacta por capas no mayores de 10 cm de espesor y se usan pisonos de mano. Después, se impregna y se construye una carpeta igual a la que existe en esa

Si no es muy largo el asentamiento ni demasiado profundo, el relleno para corregirlo se puede elaborar con mezcla asfáltica en todo el ancho de la corona.

Cuando aparezca un asentamiento en un terraplén que cruce un talveg, es conveniente revisar la obra de drenaje que existe en el fondo. Es posible que el drenaje esté dañado y que parte del agua pase por los lados y, en consecuencia, arrastre partículas de la terracería, provocando así el asentamiento.

Es muy frecuente que se asienten los accesos a los puentes debido a que no se compactó adecuadamente la terracería por su proximidad a los estribos. Estos asentamientos son muy peligrosos y molestos, ya que se siente un fuerte golpe al pegar las llantas del vehículo contra la arista de la losa. También es frecuente y deplorable que la corrección de este tipo de asentamiento se haga a medias, por no alargar lo necesario la renivelación.

Con la ayuda de un mecahilo es posible determinar exactamente la longitud del asentamiento, haciéndolo coincidir tanto con la superficie de la losa del puente como con la superficie de rodamiento; el asentamiento comienza en el punto donde el mecahilo no coincide con la superficie de rodamiento.



Uno de los problemas a que se enfrenta con más frecuencia un ingeniero de conservación es el relativo

a la desintegración de las carpetas asfálticas. Este efecto es causado por la oxidación del material asfáltico utilizado, lo cual las torna quebradizas, separándose por lo tanto las partículas unas de otras. Esta anomalía se corrige regando la carpeta con asfalto rebajado, lo cual evita la separación de las partículas, ya que el cemento asfáltico original "revive", recuperando sus características de flexibilidad y aglutinación. Este riego debe aplicarse con mucho cuidado, pues en exceso resulta peligroso. Los tramos regados deben señalarse con claridad a fin de evitar accidentes. Posteriormente se sella la carpeta para protegerla.

En ocasiones el deterioro del pavimento puede llegar hasta las capas de base y sub-base, a causa de los materiales contaminados que se utilizan en la construcción. Algunas veces el daño se debe al drenaje insuficiente, tanto subterráneo como superficial. Otras, ocurre que los espesores de estas capas fueron suficientes para la época en que se construyó el camino, pero que debido al incremento del tránsito de vehículos y de mayores cargas transportadas años después resultan insuficientes; por lo tanto, los tramos que se encuentren en esas condiciones deben reconstruirse con especificaciones más rígidas y actualizadas.

El trabajo del laboratorio es indispensable para estudiar el tramo dañado y determinar, con base en los resultados de los análisis, el procedimiento que ha de seguirse para repararlo. Haciendo sondeos en la corona del camino, en los lugares que se estimen convenientes por el grado de deterioro de la superficie de rodamiento, se conoce la calidad de los materiales que constituyen el pavimento, debido a que, generalmente, experimenta cambios después de algunos años, ya sea porque el material se ha degradado o se ha contaminado con el de la terracería, al irse incrustando paulatinamente el pavimento dentro de la terracería, o bien, porque partículas arcillosas de ésta suban al pavimento. Además, con este procedimiento se obtienen los espesores de las diferentes capas que conforman el pavimento, grados de compactación,

zona (carpeta asfáltica o de riegos). Si se corrigen de esta manera varios baches cercanos entre sí, se sellan todos con un mismo riego, lo cual da una mejor presentación al trabajo ejecutado, y se evita, además, que la zona no afectada llegue a deteriorarse con el tiempo.

Si los baches se producen por existir espesores insuficientes, habrá necesidad de incrementar éstos y construir una nueva base y una nueva carpeta.

El ingeniero encargado de la conservación de un tramo debe insistir en que el sobrestante siempre use materiales de buena calidad; prohibirle terminantemente utilizar materiales que se encuentren en los acotamientos o en los taludes, los cuales siempre están contaminados, o bien, no son de la calidad requerida, pero que como son fáciles de extraer y acarrear ordena que se utilicen para avanzar rápidamente en la reparación de los baches. A veces, el cabo es quien ordena el uso de materiales inadecuados. En consecuencia debe indicársele que tal procedimiento es incorrecto porque lo reparado no durará mucho tiempo y resultará a la postre más caro debido a que habrá de repetirse la reparación además del tiempo perdido en tales operaciones.

Es deprimente observar que en estos tiempos, cuando disponemos de unas Especificaciones Generales de Construcción de la antigua SOP, que han servido de modelo a otras naciones, TODAVIA en algunos de nuestros caminos se "calavarea" la superficie de rodamiento, arrojando paladas de mezcla asfáltica desde arriba del camión que la transporta (eso sí, con muy buena puntería por parte del peón, ya que la palada cae exactamente en el hueco, o sea, en la "calavera"), y que la compactación posterior la ejecuta otro peón con el típico taconazo, porque supone que así compacta aquel montón de mezcla. Al cabo de unos minutos, cuando han pasado sobre ese montón algunos vehículos, ya el material no está en el lugar en donde el peón lo "compactó", sino que las partículas están regadas en una superficie más o menos grande, y al final del día aquella mezcla que tanto ha costado se encuentra en el acotamiento. Es-

ta operación se repite semana tras semana y el precio seguramente aumenta en muchos miles de pesos al año.

Lo anterior se debe, principalmente, a la poca supervisión tanto del ingeniero residente como del sobrestante encargados del tramo. Por lo tanto, es urgente que se cambie este procedimiento inadecuado y costoso, procurando que las cuadrillas sean capacitadas en estas operaciones y que se le exija al sobrestante presente un mejor trabajo, que utilice buenas mezclas asfálticas, pisones de mano, aditivos apropiados para el riego de liga en esas "calaveras", con su previo cajeo rectangular, y evitar los manojos de hierba para su aplicación.

Cuando un tramo está muy "calavereado" es preferible construir una carpeta asfáltica lo más pronto posible, ya que resultará a la postre más económica y efectiva.

En ocasiones existen superficies de rodamiento onduladas, con asentamientos ligeros, sin grietas y sin baches, en un camino en terraplén bajo y en terreno plano no muy arcilloso. Es necesario observar en los lados del camino, la clase de terreno existente; seguramente se trata de un terreno agrícola de riego. El agua penetra en ese terreno, y, por lo general, cruza el camino por dentro de la terracería del terraplén; esto hace que dicha terracería pierda su estabilidad y grado de resistencia, lo que provoca que las capas del pavimento pierdan también sus características de calidad al fallar el suelo en que están cimentadas.

La construcción de un dren a cielo abierto en la zona lateral del camino intercepta las corrientes de agua que lo perjudican; al cabo de unos días, la terracería pierde humedad y adquiere la resistencia necesaria para soportar las cargas transmitidas por el pavimento, es decir, se estabiliza. Cuando se ha logrado este objetivo, se corrigen las ondulaciones y asentamientos por medio de una nivelación con mezcla asfáltica, obteniéndose así una correcta superficie de rodamiento, que no volverá a sufrir nin-

guna deformación porque el dren elimina la causa que las provoca. Como el dren es a cielo abierto, se debe procurar que siempre esté limpio de derrumbes, malezas o cualquier otro obstáculo que propicie que el agua vuelva a penetrar a la terracería.

Con este procedimiento se evita una gran erogación, ya que tratar de aumentar el espesor del pavimento con una nueva base y carpeta resulta inútil, pues la causa está abajo de esa reconstrucción proyectada y volverán a presentarse nuevas deformaciones unos meses después.

Es muy peligroso cuando un tramo tiene ondulaciones transversales, posiblemente resultantes de una mala operación de la motoconformadora al tender la mezcla, o bien, por exceso de asfalto. El peligro es mayor cuando esas ondulaciones se presentan en una curva, porque provocan accidentes que pueden ser fatales.

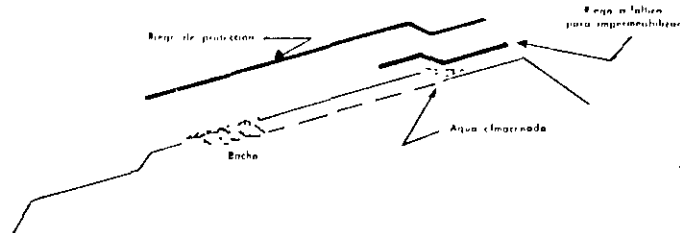
Esta anomalía debe corregirse cortando la cima de las ondulaciones con la cuchilla de una motoconformadora. Para esta operación, los ejes longitudinales de la cuchilla y del camino deben formar un ángulo pequeño, que se determina en el momento de iniciar ese corte; o sea, que la cuchilla se coloca lo más sesgado que sea necesario para ejecutar el corte. Posteriormente, es indispensable aplicar un riego de protección para evitar desgranamientos en la superficie de la carpeta o de la base, según sea el caso, donde se formaron las ondulaciones.

69 Cuando una carpeta ha sido elaborada con exceso de asfalto y, peor todavía, si se compactó con disolventes que no se habían volatilizado, no hay otro recurso que levantar esa carpeta, disgregarla lo más que se pueda y agregarle material pétreo en la cantidad que se necesita; ese material deberá ser de la misma calidad que el de la carpeta por corregir, mezclar perfectamente y después tender y compactar cuando el coeficiente "k" sea el correcto, o sea, que la relación disolvente-cemento asfáltico sea la proyectada.

Si no se tiene experiencia en la elaboración de mezcla asfáltica, es preferible que el material asfáltico sea menor del necesario que usarlo en exceso, pues causa muchas molestias y problemas. Una mezcla asfáltica sólo debe compactarse cuando se haya alcanzado el valor de "k" recomendado por el laboratorio.

En ocasiones, el pavimento presenta deterioros en una curva, entre su centro y la orilla interior. Este defecto suele deberse a que el agua de lluvia penetra por la parte exterior de la curva, entre la carpeta y la base, con lo cual se daña la base y más tarde se forma el bache o, por lo menos, brota agua a través de la carpeta, lo que origina que se oxide el material asfáltico y más tarde surjan desgranamientos. Esto se evita sellando perfectamente el talud de la carpeta y la superficie de la base que forma el acotamiento.

Cuanta menor pendiente se le dé a la sobreelevación de la curva, tanta más agua se almacenará en esa zona y, por tanto, mayor será el tiempo requerido para su evaporación, lo que permite que penetre entre la carpeta y la base, perjudicándolas, así como a los riegos de sello y de impregnación; a veces el líquido llega hasta la terracería, alterando las características de calidad y resistencia de esos elementos y, por último, ocasiona la destrucción total de la zona.



Si no se calafatean regularmente las grietas en la superficie de rodamiento, producen el mismo efecto

destruictivo que el indicado en el párrafo anterior, por lo que el tramo debe revisarse constantemente, caminando sobre dicha superficie a fin de corregir esa anomalía.

Otro factor que perjudica la superficie de rodamiento es el entronque de un camino de tierra con uno pavimentado, ya que se rompe la arista de la carpeta, erosiona el acotamiento y ensucia el camino principal, debido al tránsito de vehículos provenientes del de tierra. Para evitar este inconveniente se recomienda pavimentar este camino en una longitud de cuarenta o cincuenta metros, ligando adecuadamente las superficies de rodamiento de los dos caminos. Al aplicar esta medida, el lodo o tierra de los vehículos se quedará en ese pequeño, pero útil, tramo del trayecto.

Es muy común que cuando se está construyendo una carpeta nueva, al final del tramo, las motoconformadoras dejen huellas de asfalto y de partículas del material utilizado en la superficie de rodamiento, ya sea del próximo terminado o el antiguo que no necesita de ningún tratamiento; las llantas impregnadas de asfalto imprimen sus huellas, con lo cual provocan un exceso de asfalto superficial que puede resultar peligroso; además, causan mal aspecto y con ello se demuestra que se ejecuta un trabajo sin limpieza, descuidadamente.

Para evitar esas huellas o marcas de asfalto, se cubre con arena y con un espesor de unos tres centímetros una superficie tal que las motoconformadoras, al ejecutar maniobras de dar vuelta, no lo hagan en la carpeta recién construida, o bien, en el tramo que no requiere tratamiento alguno, como antes se explicó. Esa arena recibirá todo el asfalto de las llantas de las motoconformadoras y servirá de protección; más tarde se barrerá perfectamente.

Es importante colocar señales convenientes en un tramo en reparación y quitarlas cuando ya no se requieran.

Para sellar una carpeta asfáltica nueva es necesario que transcurra cierto tiempo a fin de que se eva-

poren totalmente los disolventes; por lo general, se sella al siguiente año de construida o cuando empieza a desprenderse una que otra partícula.

Es indispensable aplicar primero un riego de taponamiento de 0.4 a 0.5 litros de producto asfáltico rebajado por metro cuadrado. Si en vez de aplicar este riego previo, se riega el total para sellar, digamos de 1.2 a 1.5 litros por metro cuadrado, este producto penetra inmediatamente en la masa de la carpeta —debido a una gran avidez por el asfalto—, dando lugar a que se impregne del asfalto regado, y en tales condiciones el material pétreo que se le pone encima no se adhiere, por lo que al cabo de unos días se desprende y se corre hasta la orilla de la carpeta o al acotamiento. De esta deficiencia resulta además una carpeta con exceso de asfalto, derrapante y peligrosa, en la que más tarde aparecerán ondulaciones y corrimientos.

A fin de evitar esta anomalía, uno o dos días después de aplicar el riego de taponamiento se riega el complemento necesario para obtener el riego de liga total. Este procedimiento indica que si se necesitan, digamos, 1.5 litros de producto asfáltico por metro cuadrado para sellar una carpeta, se aplican primero de 0.4 a 0.5 litros, y después de uno a dos días se riegan 1.1 a 1.0 litros, cubriendo después este riego como se tiene especificado con material 3A o 3E. Las carpetas ya muy usadas necesitan igual procedimiento.

Cuando se aplique el riego de taponamiento debe tenerse mucho cuidado para que no queden rayas, de lo contrario, al cubrirlo con el complemento de asfalto y material pétreo, después de algunos días aparecerán otra vez y no será posible eliminarlas. Esas rayas dan muy mal aspecto a la superficie de rodamiento, producen incomodidad y, sobre todo, indican que se ejecutó un trabajo defectuoso, lo cual puede evitarse con sólo limpiar perfectamente las espreas de la barra de la petrolizadora. Si están defectuosas y es difícil efectuar un buen riego, es mucho mejor esperar hasta contar con buenas espreas. La altura

de la barra distribuidora a las espreas es esencial también para aplicar un buen riego. Una operación descuidada, en muchos casos, es sellar con material pétreo sin despolvarlo convenientemente. Ese polvo, o sea el material que pasa por la malla N° 8, demerita muchísimo la buena calidad que debería obtenerse y por eso es indispensable exigir al sobrestante despolvarlo perfectamente. Hay ocasiones que debe lavarse el material para sello.

El riego de sello es el acabado de un camino, por lo que debe ejecutarse con especial cuidado y esmero.

Cuando en la elaboración de bases y carpetas se empleen asfaltos fluxados es muy importante que los materiales pétreos contengan la mínima humedad especificada por el laboratorio y, por el contrario, cuando se utilizan emulsiones catiónicas, hay necesidad de humedecer los materiales pétreos.

Hace algunos años el autor diseñó una báscula, sumamente simple, para determinar en el campo la humedad de los materiales pétreos; su operación era tan fácil que pronto algunos cabos se familiarizaron con ella y determinaban con claridad las humedades. Gracias a este dispositivo decidían con seguridad cuándo era oportuno aplicar asfalto al material pétreo para la elaboración de una carpeta. Infortunadamente, al poco tiempo se olvidó su existencia y en la actualidad nadie la usa, a pesar de la gran utilidad que prestaba.

Idéntica suerte tuvo el areímetro, dispositivo que permitía conocer con precisión el volumen de un camellón de material pétreo requerido para elaborar una mezcla asfáltica. Mediante este aparato era posible aplicar la cantidad requerida, según el proporcionamiento señalado por el proyecto.

Por lo que se ha expuesto, es posible deducir que son muchos y de diversa índole los problemas que se presentan en el pavimento de un camino, provocados, casi todos ellos, por el más temible enemigo de los caminos: el agua.

Señalamiento: es sumamente importante este concepto, por lo que debe ser claro y preciso.

Las señales de cualquier tipo deben estar siempre limpias, bien pintadas, ubicarse estratégicamente, y las que se destruyan han de sustituirse de inmediato.

En cuanto a la raya central pintada en la superficie de rodamiento, ya sea continua o de guiones, debe estar siempre bien pintada, y volverse a pintar cuando se empiece a borrar por el uso.

Siempre ha de existir la raya, sin importar que unos días o meses más tarde vaya a sellarse un tramo que carezca de ella. Ante todo, hay que pensar en la seguridad de los usuarios.

Los "fantasmas" son elementos muy valiosos en un camino, por lo tanto no deberán faltar en una curva; han de estar siempre limpios y pintados con su fajilla de pintura reflejante.

Las defensas metálicas son también señales valiosas por la función que desempeñan; por lo mismo, deben estar siempre en perfectas condiciones, limpias, pintadas y las que hayan recibido un impacto, si no se pueden arreglar en el mismo sitio donde se encuentran, deben sustituirse.

Por su gran tamaño, las defensas metálicas son muy visibles, y cuando se destruyen por algún choque, causan mala impresión, mucho más si se observa que no han sido reemplazadas, que permanecen destruidas en su lugar por días, lo cual demuestra poca atención y desidia del encargado del tramo.

Cuando se deje un camellón de material pétreo o de mezcla asfáltica (sumamente peligroso) en parte de la superficie de rodamiento y en el acotamiento, invariablemente debe protegerse con la señal indicadora de peligro; a falta de ésta, se colocan encima de la cresta del camellón piedras grandes (de veinte a treinta centímetros de diámetro) pintadas con cal.

Nunca debe dejarse un camellón sin la señal correspondiente, siempre hay que indicarlo en forma ade-

cuada, ya que sin estas previsiones se convierte en trampa mortal. En general, todas las obras de reparación en un camino deben indicarse con la señal conveniente.

Cuando se trata de repintar una raya central discontinua, es decir, raya de guiones, debe procurarse que la pintura cubra exactamente el guión, pues muchas veces, por no ejecutar bien este trabajo, parte del guión borrado queda sin pintar. Algunas veces hasta tres aplicaciones de pintura se ven desplazadas, lo cual produce un mal aspecto al camino y los consecuentes comentarios y críticas de los usuarios.

Es indispensable señalar todo lugar peligroso, ya sea una obra que se está ejecutando, un camellón, etcétera. Hay que indicar siempre algo que pueda provocar un accidente, pues aun cuando el señalamiento es poco o nada respetado por la mayoría de los usuarios, el encargado de un tramo cumple moralmente con su deber al prevenir cualquier contingencia que exista en el camino; con ello, no se verá involucrado en situaciones penosas por un accidente causado por falta de señales preventivas o indicadoras del peligro; en cambio, si existe la señal pero no se respeta y el accidente ocurre, el encargado del tramo no será merecedor de sanción alguna.

REGISTRO ESTADÍSTICO DE ACCIDENTES

El registro estadístico de accidentes es de gran ayuda para un ingeniero de conservación, pues con esta base puede corregir la causa que los provoca.

Si tales accidentes ocurren con cierta regularidad en un mismo lugar, es indudable que ese punto del camino adolece de un defecto.

Mediante el estudio del aspecto físico y geométrico del lugar es posible conocer la causa que los origina. Por lo común, la causa se localiza en una curva, que probablemente esté mal trazada, no tenga la sobre-

elevación adecuada o se localice después de una tangente larga con una pendiente descendente muy pronunciada, donde los usuarios no respetan la señal preventiva, no reducen la velocidad y al llegar en forma intempestiva a la curva les es imposible controlar el vehículo provocándose irremediablemente la volcadura o choque.

Con base en el registro de accidentes ocurridos en un lugar y mediante la detección de los defectos del camino que los provocan, el ingeniero de conservación está en condiciones de evitarlos corrigiendo o eliminando las causas.

La visibilidad en un camino es un aspecto fundamental que no debe ser ignorado por el encargado de un tramo. La falta de ella es causante de muchos accidentes. Las curvas deben estar siempre libres de hierba, árboles o cualquier otro obstáculo que le impida la visión al automovilista.

Algunas veces se logra una gran visibilidad desalojando pequeños montículos que, por un ahorro mal entendido, se dejaron durante la construcción. Otras veces, cuando no es mucho el volumen por mover, se logra obtener una gran visibilidad en una curva en corte, cortando cuñas cuya base tenga por lo menos a 1.20 m arriba de la cuota de la rasante de la susin poner en peligro la estabilidad del talud del corte.

La base de esa cuña debe localizarse más o menos a 1.20 m arriba de la cuota de la rasante de la superficie de rodamiento, altura más o menos de la del ojo del automovilista. Logrado esto se tienen unos cuantos metros más de visibilidad, los cuales son de gran valor. La base de esa cuña ha de estar siempre libre de hierba y escombros.

Es conveniente y práctico llevar el registro de accidentes gráficamente, utilizando para ello un larguillo del camino y alfileres con cabeza de diferentes colores para catalogar la clase de accidente ocurrido. Cada alfiler se fijará en el kilómetro donde ha ocurrido un accidente. Cuando en un mismo lugar existen más de tres alfileres, es casi seguro que el camino

adolesce de algún defecto en ese kilometraje y debe corregirse o, por lo menos, señalarlo profusamente.

LIMPIEZA DEL CAMINO

Siempre que se ejecute alguna reparación en la superficie de rodamiento o acotamiento deben desalojarse todos los escombros resultantes, barrer enérgicamente toda la superficie que se encuentre sucia y, en ocasiones, lavar la zona.

Los animales que pierden la vida en el camino y quedan en la superficie de rodamiento deben ser desalojados lo más pronto posible, ya que además de presentar un aspecto desagradable son muy peligrosos para el tránsito de vehículos, especialmente durante la noche.

Cuando las guarniciones y parapetos de los puentes se enlodan, han de lavarse, evitando con ello el mal aspecto que presenta un puente sucio.

El señalamiento hay que mantenerle siempre limpio. Cuando una señal esté oxidada por el intemperismo, pintarrajeada, balaceada o rayada por el salvajismo de algunas personas, deberá ser repintada en el lugar mismo en donde se encuentra y, si el daño es muy grande, se cambiará por una nueva.

La limpieza y cuidado que se le tenga a un camino es el reflejo de cómo vive y actúa el encargado de su conservación.

Desgraciadamente, en algunas poblaciones, los habitantes convierten las zonas laterales del camino en basurero; esto no debe permitirse, por lo que es necesario solicitar a las autoridades del lugar que prohíban esa acción tan desagradable y contaminante. Si no pone remedio la autoridad, habrá que quemar con gasolina esa basura, removiendo después las cenizas a la orilla exterior de la franja del derecho de vía. Esta operación ha de repetirse las veces que sea ne-

cesario, hasta que las autoridades tomen las medidas procedentes.

ZONAS LATERALES

Las zonas laterales deben estar siempre deshierbaras, limpias de basura y de escombros. En nuestras carreteras existen muchos lugares amplios que con una pequeña crogación pueden transformarse en paraderos. Utilizando materiales de la región se pueden construir pequeños braseros, bancos y mesas de mampostería o de madera; tambores viejos, pintados de blanco, pueden servir de depósito de basura.*

CONOCIMIENTO EXACTO DEL CAMINO

Para tener conocimiento exacto del camino a su cuidado, el ingeniero residente de conservación debe anotar en una libreta todos los datos de los elementos que lo integran y otros que sean de interés, aun cuando no sean parte componente del mismo; de esta manera estará en condiciones de contestar en determinado momento cualquier pregunta que se le haga al respecto, o bien, por curiosidad personal conocer exactamente lo que tiene a su cuidado y el lugar donde trabaja. Para ello debe registrar lo siguiente: un croquis del o los caminos a su cargo, donde se indiquen todos los poblados y puntos de interés por donde pasa el camino, así como los siguientes datos:

Longitud del camino.

Número de curvas.

Longitud de tangentes y, por diferencia, la longitud de curvas.

Longitud de terraplenes.

Longitud de cortes.

* El Ing. Miguel Morales Gómez construyó varios de estos paraderos en Oaxaca.

Longitud de tramos en balcón.

Longitud de cunetas y contracunetas.

Inventario de todas las obras de drenaje, especificando tipo y dimensiones.

Inventario de puentes, especificando tipo, dimensiones y nombre.

Muros de sostenimiento y de protección de cauces.

Longitud de guarniciones, número y longitud de lavaderos y su tipo.

Ubicación de todas las señales, su denominación y ubicación.

Ubicación, descripción, capacidad y procesamiento de bancos de materiales.

Ubicación, capacidad de fosas de asfalto, especificando productos asfálticos.

Ubicación y nombre de campamentos de sobrestantes y cuadrillas.

Ubicación de desviaciones a estaciones de ferrocarril.

Clima de las distintas zonas por las que atraviesa el camino.

Descripción topográfica por donde pasa el camino (montaña, lomerío fuerte, lomerío suave, plano).

Productos agrícolas de las distintas zonas por donde pasa el camino, así como ganaderos, forestales, mineros, presas, lugares turísticos, comunidades indígenas, etcétera.

Número de habitantes de las poblaciones y tasa de crecimiento.

Aforos de tránsito y todos los demás datos que se consideren de interés.

Esta recopilación de datos requiere que se le dedique algún tiempo, pero al final se dispone de una documentación muy valiosa e interesante, y además de-

muestra lo cuidadoso, eficaz y laborioso que es quien tal trabajo ejecuta.

Respecto a la Dirección General de Conservación de Obras Públicas, si este trabajo lo realizara cada uno de sus residentes de conservación, al recopilarse todos los registros contaría con una documentación extraordinaria y lo mismo puede decirse respecto de la SCT. Cada residencia de conservación comprende una longitud promedio de 350 kilómetros, por lo que no sería difícil ni agotador realizar ese trabajo.

PROBLEMAS DE ORGANIZACION

Otro de los problemas que afronta un ingeniero de conservación, como cualquier otro profesional que esté a la cabeza de una obra, es el que sus costos sean mínimos y máxima su producción. Esto se logra con una buena organización, en la que no existan tiempos "muertos" (perdidos), tanto de máquinas como de personal. Para este propósito, el equipo pesado y los vehículos han de mantenerse siempre en buenas condiciones y el personal debe estar capacitado para las labores encomendadas.

En cuanto al equipo, debe desempeñar trabajos para los que fue diseñado y fabricado con objeto de obtener los máximos rendimientos.

La calidad y economía de los trabajos de conservación dependen del uso adecuado de las herramientas, de la maquinaria pesada y de los vehículos de que se disponga, por lo que deben estar siempre en las mejores condiciones de funcionamiento. Este es un problema que atañe directamente a un residente de conservación, ya que redundará en el buen desempeño de sus tareas.

Una máquina en regular o mal estado interfiere los avances de un programa de obras; los tiempos perdidos lo hacen más costoso, desmereciendo, además, la calidad de la obra. Lo mismo acontece con la

ABASTECIMIENTO DE ASFALTO

herramienta manual que se proporciona a los peones; si no está en buenas condiciones, el trabajo que ejecute será de mala calidad, costoso y les causará innecesaria fatiga. El ingeniero de conservación debe conocer la eficiencia y rendimiento de todas sus máquinas; sólo así puede calcular el tiempo necesario para ejecutar una obra determinada.

Es muy conveniente permanecer el mayor tiempo posible en la obra que se está ejecutando, ya que así se conoce el rendimiento real de las máquinas y del personal que trabaja en ella y, además, es posible resolver de inmediato cualquier problema que se presente.

Cuando los trabajadores observan que su jefe los acompaña, soportando junto con ellos las inclemencias del tiempo y que está pronto a corregir alguna anomalía que se detecte en cualquier momento, aportarán todo su esfuerzo en la ejecución de sus actividades.

Es necesario que el residente de conservación haga ver a su personal de campo la importancia de terminar la obra en la fecha prevista y que no deben escatimarse esfuerzos para cumplir con tal compromiso. Asimismo, ha de comunicarse que está dispuesto a resolver cualquier emergencia y en la mejor disposición de colaborar con todos para realizar un trabajo eficiente de conjunto. Con este proceder, su personal lo sentirá vinculado al grupo y su colaboración será espontánea. Inversamente, si el residente muestra desapego a la obra, si no atiende las emergencias con la debida prontitud y en sus esporádicas visitas a la obra sólo se concreta a supervisar los trabajos ejecutados, la actitud de los trabajadores tenderá hacia el "tortuguismo" y el desinterés, lo cual redundará en perjuicio del presupuesto. Asimismo, nunca debe escatimárseles las horas extras de trabajo.

Una comida que se ofrezca al personal, después de terminar una obra de importancia, causa buen efecto en su ánimo y se sentirá agradecido de que sus esfuerzos se reconozcan de alguna manera.

El suministro de productos asfálticos debe ser oportuno cuando se está elaborando una mezcla asfáltica o un riego de sello. Esto se logra si se dispone de pequeños depósitos metálicos móviles en el lugar mismo de la obra, para que las nodrizas y petrolizadoras no efectúen acarreos largos a la fosa de asfalto mientras se elabora la mezcla o el riego de liga o de impregnación.

Se procurará tener como mínimo tres tanques de cuatro mil litros de capacidad provistos de quemadores para calentar el producto asfáltico; de esta manera el trabajo no sufrirá demoras por falta de material. Las nodrizas acarrearán asfalto a los tanques una vez que se hayan vaciado; solamente en casos de emergencia las petrolizadoras irán a la fosa para ser llenadas, de lo contrario permanecerán en el lugar de la obra.

El velador que cuida las máquinas será el encargado de prender los quemadores de los tanques a determinada hora de la mañana, para que al llegar los operadores a la obra el producto asfáltico ya tenga la temperatura adecuada para su uso.

A fin de no desperdiciar calor en las fosas y que el producto asfáltico no se recaliente, debe construirse un cárcamo de mampostería o de madera con capacidad igual a la de una o dos nodrizas; de esta manera sólo se calentará el asfalto necesario. El Ing. Félix Barragán concibió la idea de colocar un tanque elevado, el cual se llena con asfalto caliente mientras no hay nodrizas, para que cuando éstas lleguen a cargar se llenen rápidamente por medio de gravedad. Estos tanques resultaron muy efectivos.

En tiempo de lluvias no conviene ejecutar obras de pavimentación, pero si se puede aprovechar para llenar las fosas con el asfalto que se vaya a utilizar en una obra programada para después de las lluvias.

Debe ponerse especial cuidado en que los techos de las fosas estén en buenas condiciones, es decir,

que no existan láminas rotas por donde pueda colarse el agua de lluvia; que los canales y tuberías se encuentren en buen estado, así como las bombas y calentadores, y que el lugar donde se estacionen las nodrizas para ser llenadas esté exento de charcos de asfalto y de lodo, por lo que se recomienda construir una losa de concreto hidráulico.

BANCOS DE MATERIALES PETREOS

El ingeniero de conservación debe conocer en todos sus aspectos el tramo que tiene a su cuidado. Le es de gran utilidad enterarse de cuántos bancos de materiales dispone, los cuales debe catalogar describiendo sus características. Las ubicaciones deben ser bien conocidas. Es muy útil elaborar un plano del tramo del camino en el que estén señalados todos los bancos, anotando sus características, capacidad de explotación y longitud de las desviaciones, si las hubiera.

Deberá, igualmente, conocer las combinaciones de dos o más materiales para obtener uno que satisfaga las especificaciones de calidad requerida, ya que en muchas ocasiones los materiales pétreos no reúnen todas las condiciones para ser usados en la pavimentación de un camino.

El conocimiento cabal de los bancos de materiales existentes en su tramo se traducirá en una mejor calidad de los trabajos por realizar y una gran economía en los gastos directos.

Todo esto debe tenerlo a su disposición inmediata el residente de conservación para que en cualquier momento pueda resolver algún problema que se le presente, o para elaborar el presupuesto de una obra, ya que conocerá las calidades, así como los costos de extracción, del proceso que requiera el material y su acarreo. No debe titubear, las resoluciones a las que llegue han de ser siempre definitivas. No debe dar órdenes a priori. Debe conocer los recursos de

que dispone, así tendrá plena seguridad de lo que ordena o proyecta.

No es recomendable que el tiro de materiales pétreos para la elaboración de una carpeta se adelante en varios kilómetros a la que se está construyendo, pues aparte de que se forma un camellón muy peligroso, el material se contamina, merma bastante y se modifica la granulometría original. Debe tirarse material a dos kilómetros como máximo adelante de la carpeta que se elabora. Hay ocasiones en que ese tiro se hace a más de cinco o diez kilómetros, lo cual es muy perjudicial por muchas razones. Existe siempre la inseguridad del abastecimiento de asfalto, y si se tiene un camellón de material en varios kilómetros, las mermas son cuantiosas, por lo que tal procedimiento resulta antieconómico.

ACARREOS

Un concepto sumamente importante en la conservación de caminos es el que se refiere a los acarreos de materiales pétreos o concretos asfálticos.

Se debe determinar exactamente el número de camiones que se necesitan para acarrear esos materiales a una determinada distancia, con objeto de que el cargador utilizado, o bien la planta mezcladora que los produce, no estén inactivos. Debe evitarse que una máquina permanezca sin producir, que sobren o falten camiones, ya que si sobran estarán parados algún tiempo y si faltan lo estarán las máquinas.

Es necesario conocer exactamente el tiempo en que se llena un camión, ya sea que el material lo produzca una máquina, o bien, que se deposite en el vehículo con un cargador frontal en un almacén.

Además, se debe conocer la distancia a la que se va a acarrear el material, la velocidad a la que correrá el camión, el tiempo que se empleará en la des-

carga y la velocidad a la que irá el camión al regresar a la planta o almacén.

A partir de estos datos, se elabora el siguiente gráfico para determinar la cantidad de camiones necesarios, tanto para la distancia máxima como para la mínima del tiro. Por ejemplo: se tiene una planta de concreto asfáltico que produce 6 m³ cada diez minutos. El extremo del tiro se halla a 60 km, el camión cargado viaja a 60 km/h, la descarga se efectúa en una extendedora en un tiempo de diez minutos y el regreso se hace a 80 km/h. Con estos datos es posible determinar el número de camiones necesarios para que la planta o cargador no interrumpan la producción.

De todos modos es conveniente contar con una o dos unidades más de las calculadas, debido a las frecuentes descomposturas que sufren los camiones por estar expuestos a trabajos muy pesados.

PERIODO DE LLUVIAS

Para un residente de conservación es de gran utilidad conocer el periodo de lluvias en la jurisdicción de los caminos a su cargo, y como generalmente es inamovible, en tres o cuatro años puede enterarse del principio y término de ese periodo. Le ayudará mucho llevar un registro de días lluviosos, nublados o de insolación en una hoja cuadrículada, en la que se utilizarán doce renglones correspondientes a los meses del año, y treinta y una columnas para cada mes. Cada cuadro representará un día de un mes; los cuadros correspondientes a días lluviosos serán pintados de azul; los nublados, de gris, y los soleados de rojo o amarillo. El registro será por sobrestantía, así tendrá una mayor superficie registrada.

A continuación se presenta el Cuadro 1 con la Distribución de Zonas de la República Mexicana de Acuerdo con su Climatología, con base en datos proporcionados por el Observatorio Astronómico de Ta-

DISTRIBUCION DE ZONAS DE LA REPUBLICA MEXICANA DE ACUERDO A SU CLIMATOLOGIA (Basada en datos del Observatorio Astronómico de Tacubaya e Investigaciones de la Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos)

Zona	Días de lluvia por año	Precipitación anual en mm	% anual insolación	% anual humedad relativa	Estados
N° 1	30 a 80	100 a 500	50 a 80	50 a 60	Baja California, Coahuila, Chihuahua, Este de Durango, Oeste de Nuevo León, San Luis Potosí, menos Sureste, Sonora, Este de Zacatecas
N° 2	60 a 90	400 a 800	50 a 70	60 a 80	Aguascalientes, Oeste de Hidalgo, Oeste de Jalisco, Este de Nuevo León, Oaxaca, Querétaro, Puebla, menos el Sureste, Sinaloa, Norte de Tamaulipas, Tlaxcala, Oeste de Zacatecas.
N° 3	60 a 130	800 a 1,500	40 a 70	60 a 80	Oeste de Durango, Edo. de México, Este de Hidalgo, Guerrero, Este de Jalisco, Michoacán, Morelos, Nayarit, Sureste de Puebla, Sur de Tamaulipas, Norte de Veracruz, Yucatán, menos Sureste, Distrito Federal.
N° 4	120 a 180	1,000 a 4,000	50 a 60	75 a 90	Campeche, Chiapas, Quintana Roo, Tabasco, Sur de Veracruz, Sureste de Yucatán.

cubaya y por la entonces Secretaria de Agricultura y Ganadería.

El Cuadro 2 tiene como propósito mostrar la forma de registrar las lluvias, y puede observarse que es muy poco el trabajo que ha de realizarse para tal efecto. Recopilando estos registros de las residencias de conservación se obtendrán los datos de toda la entidad.

Si se conocen con aceptable aproximación los días de lluvias en cada residencia, es posible programar, digamos, la construcción de una base o una carpeta asfáltica en tiempo seco. Para facilitar el cálculo del tiempo requerido, operaciones aritméticas, se recomienda usar el siguiente y muy sencillo gráfico. Consideramos que en el campo se trabajan 230 días efectivos, de los cuales unos 90 son lluviosos. Consideramos también que en un turno de 10 horas, de las cuales siete son efectivas, una motoconformadora elabora 105 metros cúbicos de mezcla. En el Cuadro 3 siguiente podemos ver que 50,000 metros cúbicos de mezcla se producen en 59 días, contando con ocho motoconformadoras; en 79 si se dispone de seis, y en 119 días si se tienen sólo cuatro.

Este cuadro cubre una zona correspondiente a 90 días de lluvia, en la cual no se deben hacer trabajos de pavimentación, ya que solamente se pueden aprovechar 140 días al año.

RELACIONES HUMANAS

Para tener éxito en la conservación de un camino es necesario un entendimiento cordial entre el residente general de conservación y el personal que está a sus órdenes, desde residente de conservación, sobrestantes, operadores de máquinas, cabos y peones, ya que sin ellos no se realizarían las obras. Por esta razón debe tratarseles lo mejor posible; tenerlos contentos y hacerles sentir que la tarea no es tan fatigosa como parece; para este propósito debe organi-

82

CUADRO N° 2

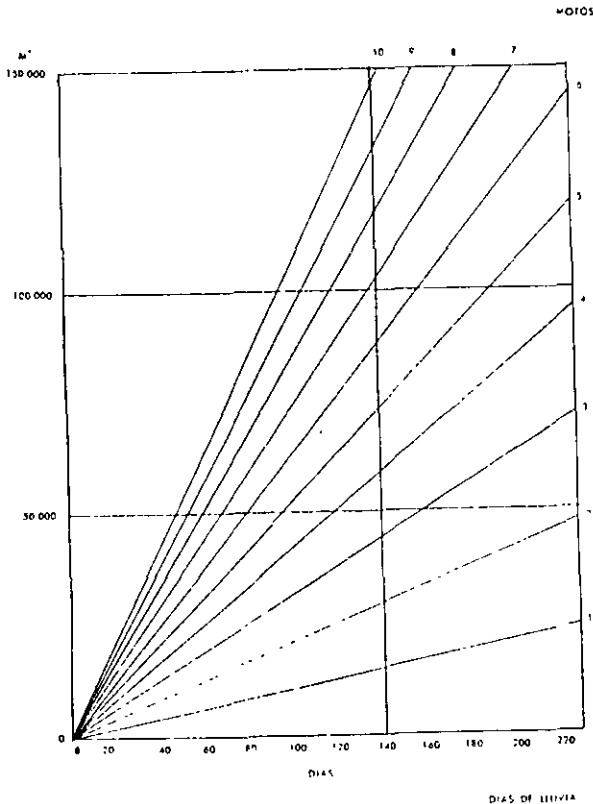
SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
 SUBSECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA
 DIRECCION GENERAL DE CONSERVACION DE OBRAS PUBLICAS
 CENTRO SCT NUM. RESIDENCIA GRAL. DE CONSERVACION UUM.

MES	D										Total días de lluvia	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
ENERO												
FEBRERO												
MARZO												
ABRIL												
MAYO												
JUNIO												
JULIO												
AGOSTO												
SEPTIEMBRE												
OCTUBRE												
NOVIEMBRE												
DICIEMBRE												

----- Días lluviosos ----- %
 ----- Días nublosos ----- %
 ----- Días soleados ----- %

CUADRO N° 3

GRAFICO PARA INDICAR EN CUANTOS DIAS DE 10 HORAS CON 7 HORAS EFECTIVAS SE ELABORAN "X" METROS CUBICOS DE BASES O CARPETAS ASFALTICAS CON "Y" NUMERO DE MOTOCONFORMADORAS QUE PRODUCEN 15 m³/HORA/MOTO, TENIENDO 90 DIAS DE LLUVIA



67

zarse el trabajo de tal manera que puedan cumplir con su labor ejerciendo el menor esfuerzo posible.

Lo anterior se logra conviviendo con ellos, conversar amigablemente, interesarse por sus problemas familiares y tratar de resolvérselos, si es posible; procurar que no se sientan cohibidos al presentarse ante ellos; en otras palabras, un residente debe considerarse compañero y amigo de quienes en realidad ejecutan las obras materialmente. Asimismo, hay que escuchar sus sugerencias; muchas veces tienen la solución de un problema que el residente en determinado momento no la percibe; al aceptar su consejo y ponerlo en práctica inmediatamente, provoca en ese individuo una gran satisfacción, que no olvidará jamás.

No se debe ser déspota con nadie, ¿acaso un universitario pierde algo de su personalidad si contesta el saludo atento de un peón, de un cabo o de un operador?, ¿merman con ello sus conocimientos?, ¿se deteriora la educación que ha recibido en las aulas? No, todo lo contrario: si ese universitario contesta con amabilidad el saludo, demostrará que ha asimilado la educación recibida.

Un residente de conservación que tiene el mayor número de individuos a sus órdenes, y aun el residente general, han de estar muy pendientes de lo que acontece a su personal. En sus recorridos deben detenerse con las cuadrillas, platicar con el cabo y los peones, enterarse de sus problemas en el trabajo y tratar de solucionárselos.

La comunicación con las cuadrillas permite al residente saber el estado físico en que se encuentra la herramienta, las dificultades que pueden presentarse en el trabajo, la solución que se haya dado a un problema y sus carencias de equipo. Parecerá pueril, pero en ocasiones habrá que preguntarles si disponen de agua para satisfacer su sed.

Es sumamente importante que los campamentos de cuadrillas estén provistos de buenas camas o catre, que existan baños en buenas condiciones; pues

un individuo que duerme bien y asea su cuerpo, al día siguiente producirá un buen trabajo; por el contrario, si duerme en el suelo, protegido tan sólo por un petate y no tiene la facilidad de bañarse, no rendirá un trabajo satisfactorio al día siguiente. En beneficio del trabajo conjunto siempre deben tomarse en cuenta estas medidas de higiene.

EDAD DEL PERSONAL DE UNA RESIDENCIA GENERAL DE CONSERVACION

Es muy conveniente para el residente general de conservación conocer la edad de sus trabajadores, a fin de determinar con qué grado de eficiencia y rendimiento realizarán sus tareas en el campo. Para este propósito no deben considerarse los veladores y mozos, ya que son por lo general personas de edad avanzada y su trabajo no es productivo.

Para los fines propuestos es necesario elaborar una gráfica: número-edad a partir de las nóminas y listas de raya donde están anotadas las filiaciones de los trabajadores. En el Cuadro 4 las ordenadas serán el número de trabajadores de una edad y las abscisas las edades de 18 a 60 años.

En este ejemplo tendríamos:

3 x 18 =	54
5 x 19 =	95
4 x 20 =	80
7 x 21 =	147
7 x 22 =	154
8 x 23 =	184
9 x 24 =	216
6 x 25 =	150
7 x 26 =	182
10 x 27 =	270
4 x 28 =	112
6 x 29 =	174
8 x 30 =	240
3 x 31 =	93
9 x 32 =	288
11 x 33 =	363
12 x 34 =	408
13 x 35 =	455

14 x 36 =	504
14 x 37 =	518
13 x 38 =	494
9 x 39 =	351
8 x 40 =	320
6 x 41 =	246
5 x 42 =	210
4 x 43 =	172
6 x 44 =	264

$$\begin{array}{r} 7 \times 45 = 315 \\ 3 \times 60 = 180 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 221 \\ 7232 \end{array}$$

$$\frac{7232}{221} = 32.72 \text{ años promedio}$$

Si entre los 25 y los 45 años el hombre tiene la mayor capacidad para trabajar, el ejemplo nos indica que 32.72 está entre esos límites, por lo que esa residencia tiene capacidad suficiente para desarrollar sus trabajos.

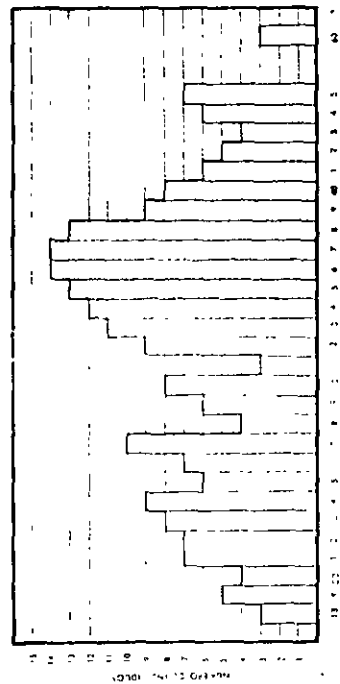


FIG. 4. 25 x 45 años el hombre tiene la mayor capacidad para trabajar.

FIG. 4. 25 x 45 años el hombre tiene la mayor capacidad para trabajar.

CONCLUSIONES

Para concluir estos breves comentarios se hace la siguiente sugerencia: el ingeniero de conservación debe observar constantemente las Especificaciones Generales de Construcción de la SCT y aplicarlas con exactitud en todos los trabajos que emprenda, ya sean por administración o por contrato.

La consulta frecuente a las Especificaciones es una medida precautoria muy provechosa, ya que no se incurre en errores, tanto en la ejecución como en la medición y pago. Por no adoptar esta precaución, algunas personas han liquidado en un corte la extracción y además la carga del material extraído, siendo que en una excavación el precio unitario incluye, entre otras cosas, la extracción, remoción y carga del material. Asimismo, debe estar en contacto con el laboratorio para conocer de la calidad de los materiales y las mezclas adecuadas. Sin la ayuda del laboratorio, poco satisfactorio será lo que realice. Finalmente:

UN INGENIERO DE CONSERVACION DEBE
TENER EL CAMINO A SU CUIDADO COMO
EL QUISIERA QUE ESTUVIERAN OTROS
CAMINOS FUERA DE SU JURISDICCION
CUANDO EL ES UN USUARIO DE ESTOS.



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN
DE VÍAS TERRESTRES.**

**CAPÍTULO III. "ALINEAMIENTO HORIZONTAL
Y VERTICAL".**

Ing. Antonio Silva Tonché
Palacio de Minería
Mayo/2000

CAPITULO VII

ALINEAMIENTO HORIZONTAL

7.1 DEFINICION

El alineamiento horizontal es la proyección sobre un plano horizontal del eje de la subcorona del camino.

7.2 ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN

Los elementos que integran el alineamiento horizontal son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición.

7.2.1 Tangentes

Las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen las curvas. Al punto de intersección de la prolongación de dos tangentes consecutivas se le representa como PI , y al ángulo de deflexión formado por la prolongación de una tangente y la siguiente se le representa por Δ . Como las tangentes van unidas entre sí por curvas, la longitud de una tangente es la distancia comprendida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente. A cualquier punto preciso del alineamiento horizontal localizado en el terreno sobre una tangente, se le denomina: punto sobre tangente y se le representa por PST .

La longitud máxima de una tangente está condicionada por la seguridad. Las tangentes largas son causa potencial de accidentes, debido a la somnolencia que produce al conductor mantener concentrada su atención en puntos fijos del camino durante mucho tiempo, o bien, porque favorecen los deslumbramientos durante la noche; por tal razón, conviene limitar la longitud de las tangentes, proyectando en su lugar alineamientos ondulados con curvas de gran radio.

La longitud mínima de tangente entre dos curvas consecutivas está definida por la longitud necesaria para dar la sobreelevación y ampliación a esas curvas.

7.2.2 Curvas circulares

Las curvas circulares son los arcos de círculo que forman la proyección horizontal de las curvas empleadas para unir dos tangentes consecutivas; las curvas circulares pueden ser simples o compuestas, según se trate de un solo arco de círculo o de dos o más sucesivos, de diferente radio.

A) Curvas circulares simples. Cuando dos tangentes están unidas entre sí por una sola curva circular, ésta se denomina curva simple. En el sentido del cadenamamiento, las curvas simples pueden ser hacia la izquierda o hacia la derecha.

Las curvas circulares simples tienen como elementos característicos los mostrados en la Figura 7.1, y se calculan como sigue:

1. Grado de curvatura. Es el ángulo subtendido por un arco de 20 m. Se representa con la letra G_c :

$$\frac{G_c}{20} = \frac{360^\circ}{2\pi R_c} \quad \therefore \quad G_c = \frac{1\,145.92}{R_c} \quad \dots\dots\dots (1)$$

El grado máximo de curvatura que puede tener una curva, es el que permite a un vehículo recorrer con seguridad la curva con la sobreelevación máxima a la velocidad de proyecto. Su cálculo está dado en el Capítulo IX.

2. Radio de la curva. Es el radio de la curva circular. Se simboliza como R_c . De la expresión (1) se tiene:

$$R_c = \frac{1\,145.92}{G_c} \quad \dots\dots\dots (2)$$

3. Ángulo central. Es el ángulo subtendido por la curva circular. Se simboliza como Δ_c . En curvas circulares simples es igual a la deflexión de las tangentes.

4. Longitud de curva. Es la longitud del arco entre el PC y el PT . Se le representa como l_c .

$$\frac{l_c}{2\pi R_c} = \frac{\Delta_c}{360^\circ} \quad \therefore \quad l_c = \frac{\pi \Delta_c}{180^\circ} R_c$$

pero teniendo en cuenta la expresión (2) se tendrá:

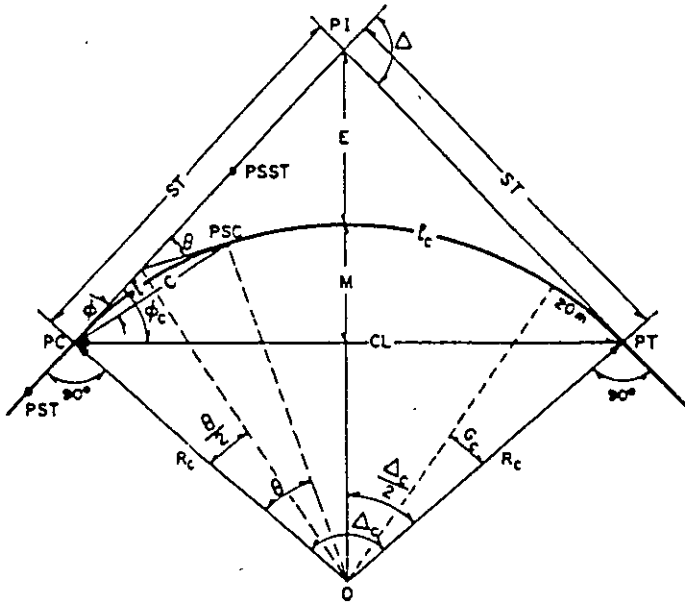
$$l_c = 20 \frac{\Delta_c}{G_c} \quad \dots\dots\dots (3)$$

5. Subtangente. Es la distancia entre el PI y el PC o PT , medida sobre la prolongación de las tangentes. Se representa como ST . Del triángulo rectángulo $PI-O-PT$, se tiene:

$$ST = R_c \tan \frac{\Delta_c}{2} \quad \dots\dots\dots (4)$$

6. Externa. Es la distancia mínima entre el PI y la curva. Se representa con la letra E . En el triángulo rectángulo $PI-O-PT$, se tiene:

$$E = R_c \sec \frac{\Delta_c}{2} - R_c = R_c \left(\sec \frac{\Delta_c}{2} - 1 \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$



- PI Punto de intersección de la prolongación de las tangentes
 PC Punto en donde comienza la curva circular simple
 PT Punto en donde termina la curva circular simple
 PST Punto sobre tangente
 PSST Punto sobre subtangente
 PSC Punto sobre la curva circular
 O Centro de la curva circular

- Δ Angulo de deflexión de las tangentes
 Δ_c Angulo central de la curva circular
 θ Angulo de deflexión a un PSC
 ϕ Angulo de una cuerda cualquiera
 ϕ_c Angulo de la cuerda larga
 G_c Grado de curvatura de la curva circular

- R_c Radio de la curva circular
 ST Subtangente
 E Externa
 M Ordenado medio
 C Cuerda
 CL Cuerda larga
 l Longitud de un arco
 l_c Longitud de la curva circular

FIGURA 7.1. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

7. Ordenada media. Es la longitud de la flecha en el punto medio de la curva. Se simboliza con la letra M . Del triángulo rectángulo $PI-O-PT$, se tiene:

$$M = R_o - R_c \cos \frac{\Delta_c}{2} = R_o \operatorname{sen} \operatorname{ver} \frac{\Delta_c}{2} \dots \dots \dots (6)$$

8. Deflexión a un punto cualquiera de la curva. Es el ángulo entre la prolongación de la tangente en PC y la tangente en el punto considerado. Se le representa como θ . Se puede establecer:

$$\frac{\theta}{l} = \frac{G_c}{20} \dots \dots \theta = \frac{G_c l}{20} \dots \dots \dots (7)$$

9. Cuerda. Es la recta comprendida entre dos puntos de la curva. Se le denomina C . Si esos puntos son el PC y el PT , a la cuerda resultante se le denomina cuerda larga. En el triángulo $PC-O-PSC$.

$$C = 2R_o \operatorname{sen} \frac{\theta}{2} \dots \dots \dots (8)$$

Para la cuerda larga:

$$CL = 2R_c \operatorname{sen} \frac{\Delta_c}{2} \dots \dots \dots (8')$$

10. Angulo de la cuerda. Es el ángulo comprendido entre la prolongación de la tangente y la cuerda considerada. Se representa como ϕ . En el triángulo $PC-O-PSC$.

$$\phi = \frac{\theta}{2}$$

y teniendo en cuenta la expresión (7)

$$\phi = \frac{G_c l}{40} \dots \dots \dots (9)$$

Para la cuerda larga:

$$\phi_c = \frac{G_c l_c}{40}$$

Para fines de trazo se considera que la cuerda C tiene la misma longitud que el arco l . Para minimizar el error cometido al hacer esta consideración, se toman cuerdas de 20 m en curvas con $G \leq 8^\circ$; de 10 m en curvas con $8^\circ < G \leq 22^\circ$, y de 5 m para curvas con $22^\circ < G \leq 62^\circ$.

En la tabla 7-A se pueden obtener los elementos de una curva circular de 100 m de longitud, de 10 000 m de radio, o de 1° de curvatura. Para curvas de longitud l_c , las cantidades se multiplican por $l_c/100$; para cur-

vas de radio R_c , las cantidades se multiplican por $R_c/10\ 000$; para curvas de grado G_c , las cantidades se multiplican por $1/G_c$.

En la tabla 7-B se dan los datos necesarios para el trazo de curvas circulares simples. En esta tabla se dan los ángulos de la cuerda para arcos de diferente longitud, así como la longitud real de las respectivas cuerdas.

B) Curvas circulares compuestas. Son aquellas que están formadas por dos o más curvas circulares simples del mismo sentido y de diferente radio, o de diferente sentido y cualquier radio, pero siempre con un punto de tangencia común entre dos consecutivas. Cuando son del mismo sentido se llaman compuestas directas y cuando son de sentido contrario, compuestas inversas.

En caminos debe evitarse este tipo de curvas, porque introducen cambios de curvatura peligrosos; sin embargo, en intersecciones pueden emplearse siempre y cuando la relación entre dos radios consecutivos no sobrepase la cantidad de 2.0 y se resuelva satisfactoriamente la transición de la sobreelevación.

Los principales elementos de la curva circular compuesta se ilustran con una curva de tres centros en la Figura 7.2; para su cálculo se utilizan los elementos de las curvas circulares simples que la integran y los resultados obtenidos pueden extrapolarse para curvas de más de tres centros.

De la expresión (8'):

$$C_1 = 2R_{c_1} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_1}}{2}$$

$$C_2 = 2R_{c_2} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_2}}{2}$$

$$C_3 = 2R_{c_3} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_3}}{2}$$

De la Figura 7.2:

$$\begin{aligned} x_1 &= R_{c_1} \operatorname{sen} \Delta_{c_1} \\ y_1 &= R_{c_1} (1 - \cos \Delta_{c_1}) \end{aligned}$$

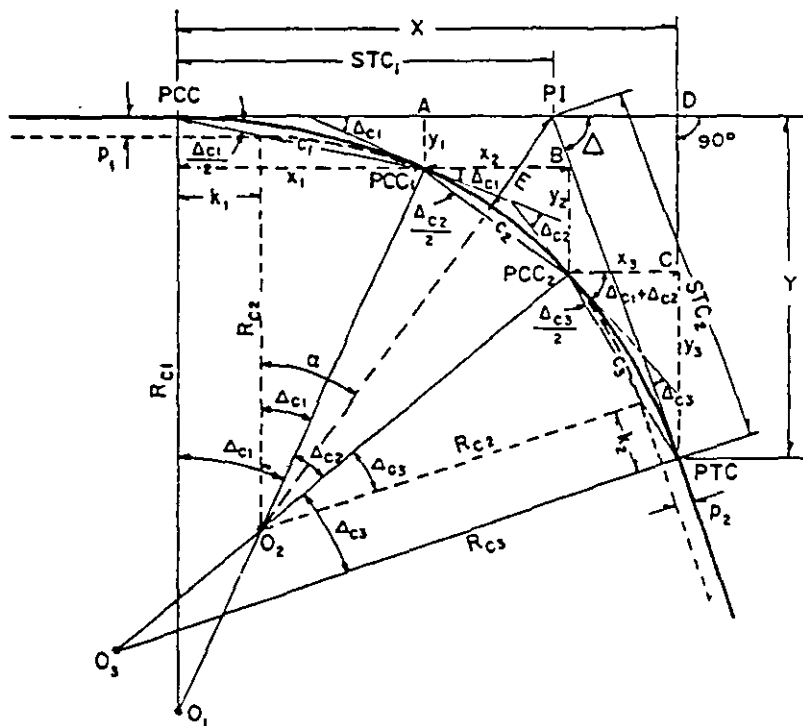
$$x_1 = C_2 \cos \left(\Delta_{c_1} + \frac{\Delta_{c_2}}{2} \right) = 2R_{c_2} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_2}}{2} \cos \left(\Delta_{c_1} + \frac{\Delta_{c_2}}{2} \right)$$

$$y_2 = C_2 \operatorname{sen} \left(\Delta_{c_1} + \frac{\Delta_{c_2}}{2} \right) = 2R_{c_2} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_2}}{2} \operatorname{sen} \left(\Delta_{c_1} + \frac{\Delta_{c_2}}{2} \right)$$

$$x_3 = C_3 \cos \left(\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \frac{\Delta_{c_3}}{2} \right) = 2R_{c_3} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_3}}{2} \cos \left(\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \frac{\Delta_{c_3}}{2} \right)$$

$$y_3 = C_3 \operatorname{sen} \left(\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \frac{\Delta_{c_3}}{2} \right) = 2R_{c_3} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_3}}{2} \operatorname{sen} \left(\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \frac{\Delta_{c_3}}{2} \right)$$

(10)



- PI Punto de intersección de las tangentes
 PCC Punto donde se inicia la curva circular compuesta
 PTC Punto donde termina la curva circular compuesta
 PCC₁, PCC₂ Puntos de curvatura compuesta, o sean los puntos en donde termina una curva circular simple y empieza otra
 O₁, O₂, O₃ Centros de las curvas circulares simples que integran la curva circular compuesta

 Δ Angulo de deflexión entre las tangentes
 Δ_{c1}, Δ_{c2}, Δ_{c3} Angulos centrales de las curvas circulares simples
 R_{c1}, R_{c2}, R_{c3} Radios de cada una de las curvas circulares simples
 STC₁, STC₂ Subtangentes de la curva circular compuesta
 p₁, p₂, k₁, k₂ Desplazamientos de la curva central para curva compuesta de tres centros

FIGURA 7.2. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR COMPUESTA

si hubiera una cuarta curva:

$$x_4 = 2R_{c_4} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_4}}{2} \cos \left(\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \Delta_{c_3} + \frac{\Delta_{c_4}}{2} \right)$$

$$y_4 = 2R_{c_4} \operatorname{sen} \frac{\Delta_{c_4}}{2} \operatorname{sen} \left(\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \Delta_{c_3} + \frac{\Delta_{c_4}}{2} \right)$$

Puede verse también que:

$$X = x_1 + x_2 + x_3 + \dots$$

$$Y = y_1 + y_2 + y_3 + \dots$$

$$\Delta = \Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \Delta_{c_3} + \dots \dots \dots (11)$$

y las subtangentes de la curva circular compuesta serán:

$$STC_1 = X - STC_2 \cos \Delta$$

$$STC_2 = Y \operatorname{csc} \Delta \dots \dots \dots (12)$$

si se conocen las subtangentes de cada una de las curvas circulares simples, las subtangentes de la curva circular compuesta pueden calcularse de la siguiente manera:

$$STC_1 = X - Y \cot \Delta$$

$$STC_2 = Y \operatorname{csc} \Delta$$

En donde:

$$X = (1 + \cos \Delta_{c_1}) ST_1 + [\cos \Delta_{c_1} + \cos (\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2})] ST_2 \\ + [\cos (\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2}) + \cos (\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \Delta_{c_3})] ST_3$$

$$Y = (\operatorname{sen} \Delta_{c_1}) ST_1 + [\operatorname{sen} \Delta_{c_1} + \operatorname{sen} (\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2})] ST_2 \\ + [\operatorname{sen} (\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2}) + \operatorname{sen} (\Delta_{c_1} + \Delta_{c_2} + \Delta_{c_3})] ST_3 \dots \dots \dots (12')$$

Con las expresiones anteriores pueden calcularse y trazarse curvas circulares compuestas de cualquier número de centros.

En ocasiones, es útil conocer los desplazamientos de la curva central p_1 y p_2 , y las correspondientes distancias k_1 y k_2 , para una curva de tres centros. De la Figura 7.2, se tiene:

$$p_1 = y_1 - (R_{o_2} - R_{o_1} \cos \Delta_{o_1}) = R_{o_1} - R_{o_1} \cos \Delta_{o_1} - R_{o_2} + R_{o_2} \cos \Delta_{o_1}$$

$$p_1 = (R_{o_1} - R_{o_2}) (1 - \cos \Delta_{o_1}) \dots \dots \dots (13)$$

$$k_1 = x_1 - R_{o_1} \operatorname{sen} \Delta_{o_1} = R_{o_1} \operatorname{sen} \Delta_{o_1} - R_{o_2} \operatorname{sen} \Delta_{o_1}$$

$$k_1 = (R_{o_1} - R_{o_2}) \operatorname{sen} \Delta_{o_1} \dots \dots \dots (13')$$

Análogamente:

$$p_2 = (R_{o_1} - R_{o_2}) (1 - \cos \Delta_{o_2}) \dots \dots \dots (14)$$

$$k_2 = (R_{o_1} - R_{o_2}) \operatorname{sen} \Delta_{o_2} \dots \dots \dots (14')$$

El cálculo de la externa E puede hacerse de la siguiente manera:

$$\cos \alpha = \frac{R_{o_2} + p_1}{E + R_{o_2}} \quad \therefore \quad E = (R_{o_2} + p_1) \sec \alpha - R_{o_2} \dots \dots (15)$$

en donde: $\alpha = \operatorname{ang} \tan \frac{STC_1 - k_1}{R_{o_2} + p_1} \dots \dots \dots (16)$

7.2.3 Curvas de transición

Cuando un vehículo pasa de un tramo en tangente a otro en curva circular, requiere hacerlo en forma gradual, tanto por lo que se refiere al cambio de dirección como a la sobreelevación y a la ampliación necesarias. Para lograr este cambio gradual se usan las curvas de transición.

Se definirá aquí como curva de transición a la que liga una tangente con una curva circular, teniendo como característica principal, que en su longitud se efectúa, de manera continua, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito para la tangente hasta el que corresponde para la curva circular.

Debe recordarse que se llama curvatura de una curva en un punto A , al límite de las curvaturas medias de los arcos de dicha curva que tienen el mismo extremo A , cuando el segundo extremo tiende a A ; siendo la curvatura media de un arco el cociente del ángulo de contingencia del arco y de su longitud. Asimismo, se llama radio de curvatura de una curva en un punto al valor recíproco de la curvatura en dicho punto.

La aceleración centrífuga de un vehículo que se mueve a velocidad uniforme V , vale V^2/R ; para este caso, la aceleración varía de manera continua desde cero para la tangente hasta V^2/R_c para la curva circular de radio R_c . La curva de transición debe proyectarse de manera que la variación de la curvatura y, por lo tanto, la variación de la aceleración centrífuga, sean constantes a lo largo de ella. Si la longitud de la curva de transición es l_c , la variación de la aceleración centrífuga por unidad de longitud vale: $V^2/R_c l_c$; en un punto cualquiera de la curva, situado a una distancia l del origen de la transición, la aceleración centrífuga

valdrá: $V^2 l/R_c l_0$; por otra parte, si la curvatura en el punto considerado es $1/R$ la aceleración centrífuga en ese mismo punto valdrá V^2/R ; por lo cual:

$$\frac{V^2 l}{R_c l_0} = \frac{V^2}{R}$$

y simplificando: $Rl = R_c l_0$
 pero: $R_c l_0 = K^2$

en donde K es una magnitud constante, ya que R_c y l_0 también lo son.
 Entonces:

$$Rl = K^2 \dots\dots\dots (17)$$

La expresión anterior es la ecuación de la curva conocida como clotoide o espiral de Euler, que cumple con la condición de que el producto del radio y la longitud a un punto cualquiera es constante. Tiene la propiedad de que cuando aumenta o reduce su parámetro K , todas las medidas lineales cambian en la misma proporción, permaneciendo los elementos que determinan su forma sin cambio alguno; lo que significa que todas las clotoides tienen la misma forma, pero difieren entre sí por su longitud.

Como la clotoide de curvatura $1/R$ es proporcional a su longitud, se tiene en ella a la curva más apropiada para efectuar transiciones. Existen otras curvas que pueden servir para el mismo fin cuando el ángulo de deflexión θ_0 es pequeño, como la parábola cúbica, cuya curvatura es proporcional a la proyección de la longitud sobre la tangente en su origen, o la lemniscata de Bernoulli, cuya curvatura es proporcional a la distancia polar. Aquí se considerará únicamente la clotoide o espiral por ser el caso más general.

A) Ecuaciones de la clotoide o espiral de transición. Por definición, la clotoide es una curva tal que los radios de curvatura de cada uno de sus puntos están en razón inversa a los desarrollos de sus respectivos arcos, siendo K^2 la constante de proporcionalidad. Esto es:

$$R = \frac{K^2}{l}$$

como: $Rd\theta = dl$, se sigue que: $d\theta = \frac{dl}{R}$ ver Figura 7.3

Substituyendo el valor de R e integrando:

$$\int_0^\theta d\theta = \int_0^l \frac{l dl}{K^2} \dots \theta = \frac{l^2}{2K^2} \dots\dots\dots (18)$$

y teniendo en cuenta la expresión (17):

$$\theta = \frac{l^2}{2R_c l_0} \dots\dots\dots (18')$$

En la expresión anterior el valor de θ está expresado en radianes; si lo expresamos en grados y tomamos en cuenta la igualdad (2) se tendrá:

$$\theta = \frac{l^2}{2R_c l_0} \cdot \frac{180}{\pi} = \frac{l^2}{2 \left(\frac{1 \ 145.92}{G_c} \right) l_0} \cdot \frac{180}{\pi}$$

$$\theta = \frac{G_c l^2}{40 l_0} \dots \dots \dots (18'')$$

Por otra parte:

$$dx = dl \cos \theta$$

$$dy = dl \operatorname{sen} \theta$$

desarrollando en serie $\operatorname{sen} \theta$ y $\cos \theta$, y substituyendo:

$$dx = dl \left(1 - \frac{\theta^2}{2!} + \frac{\theta^4}{4!} - \frac{\theta^6}{6!} + \dots \right)$$

$$dy = dl \left(\theta - \frac{\theta^3}{3!} + \frac{\theta^5}{5!} - \frac{\theta^7}{7!} + \dots \right)$$

Teniendo en cuenta que:

$$\theta = \frac{l^2}{2K^2} = \frac{l^2}{C} \text{ e integrando:}$$

$$x = \int_0^l \left(1 - \frac{l^4}{C^2 2!} + \frac{l^8}{C^4 4!} - \frac{l^{12}}{C^6 6!} + \dots \right) dl$$

$$= l \left(1 - \frac{l^4}{5C^2 2!} + \frac{l^8}{9C^4 4!} - \frac{l^{12}}{13C^6 6!} + \dots \right)$$

$$y = \int_0^l \left(\frac{l^2}{C} - \frac{l^6}{C^3 3!} + \frac{l^{10}}{C^5 5!} - \frac{l^{14}}{C^7 7!} + \dots \right) dl$$

$$= l \left(\frac{l^2}{3C} - \frac{l^6}{7C^3 3!} + \frac{l^{10}}{11C^5 5!} - \frac{l^{14}}{15C^7 7!} + \dots \right)$$

expresando los resultados anteriores en función de θ :

$$x = l \left(1 - \frac{\theta^2}{5 \times 2!} + \frac{\theta^4}{9 \times 4!} - \frac{\theta^6}{13 \times 6!} + \dots \right)$$

$$y = l \left(\frac{\theta}{3} - \frac{\theta^3}{7 \times 3!} + \frac{\theta^5}{11 \times 5!} - \frac{\theta^7}{15 \times 7!} + \dots \right) \dots \dots (19)$$

En las expresiones anteriores θ está en radianes; si lo expresamos en grados, entonces queda:

$$x = \frac{l}{100} [100 - 0.304617\theta^2 (10)^{-2} + 0.429591 \theta^4 (10)^{-7} - 0.301987 \theta^6 (10)^{-12}]$$

$$y = \frac{l}{100} [0.581776 \theta - 0.126585 \theta^3 (10)^{-4} + 0.122691 \theta^5 (10)^{-9} - 0.652559 \theta^7 (10)^{-15}] \quad (19')$$

De la figura (7.3) puede deducirse también que:

$$C = \sqrt{x^2 + y^2} = y \csc \phi' = x \sec \phi' \quad \dots\dots\dots (20)$$

$$T_1 = x - y \cot \theta \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$T_2 = y \csc \theta \quad \dots\dots\dots (22)$$

También:

$$\phi' = \text{ang tan } \frac{y}{x} \quad \dots\dots\dots (23)$$

En la práctica se ha llegado a que:

$$\phi' = \frac{\theta}{3} - Z \quad \dots\dots\dots (23')$$

En donde ϕ' y θ están expresados en grados y Z es una corrección dada por la expresión:

$$Z = 3.1 \times 10^{-3} \theta^3 + 2.3 \times 10^{-8} \theta^5 \quad \dots\dots\dots (24)$$

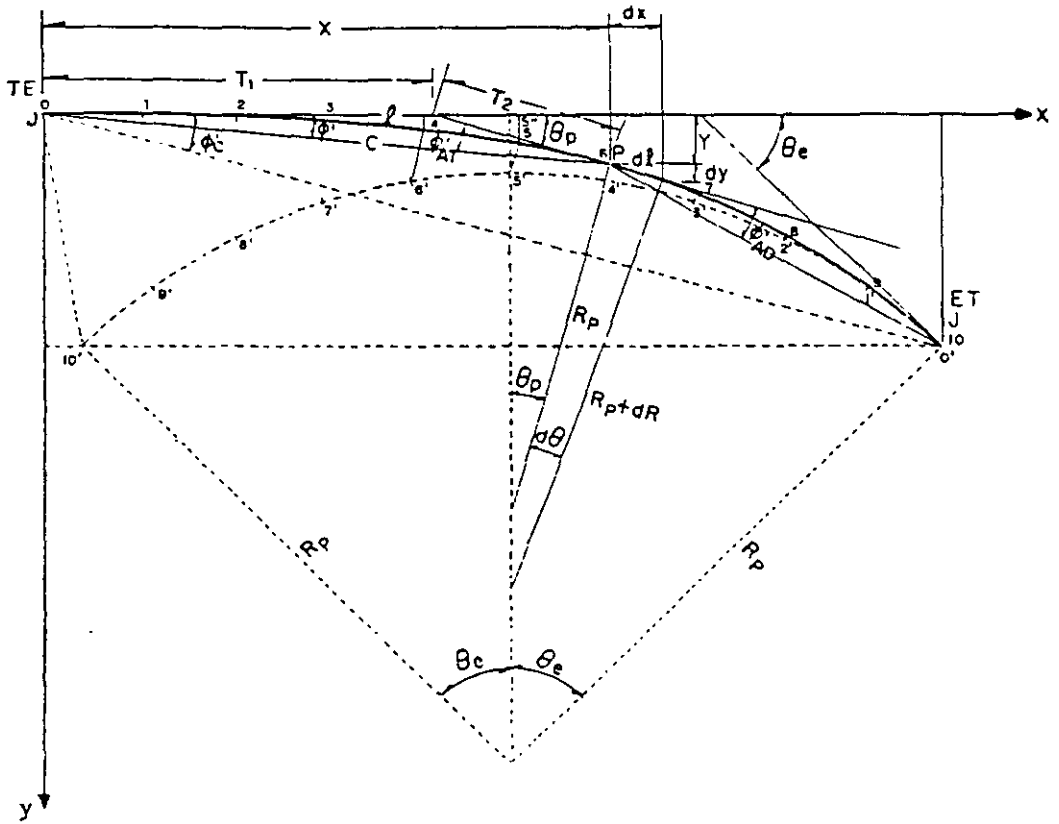
En donde está expresada en grados y Z en segundos.

Para valores de θ menores de 16° el valor de Z es tan pequeño que suele despreciarse.

Para fines de trazo es útil poder calcular rápidamente el ángulo que forma una cuerda cualquiera de la clotoide respecto a una tangente en un punto cualquiera P, tanto para cuerdas apoyadas en ese punto y otro punto atrás ϕ'_{AT} como para cuerdas apoyadas en ese punto y otro adelante ϕ'_{AD} (ver Figura 7.3).

Para el cálculo de ϕ'_{AD} y ϕ'_{AT} se considera la siguiente propiedad de la clotoide:

La clotoide diverge de un arco de círculo tangente a ella, en la misma proporción que lo hace con respecto a una recta tangente a ella en el origen, puesto que la recta y el círculo tienen curvatura constante y la clotoide varía su curvatura desde cero en la tangente al origen, hasta $1/R$ en el punto en donde es tangente al círculo. Según esta propiedad, si $5'$ y 5 son los puntos medios del círculo y la clotoide, respectivamente, la distancia normal a la tangente $\overline{5'5''}$ es igual a la distancia normal a la clotoide $\overline{5'5}$; asimismo, para el arco de longitud l , del círculo y la clotoide, la distancia normal a la tangente en el TE entre tangente y clotoide es



- P Punto cualquiera sobre una espiral
- o Punto en donde se inicia la espiral
- io Punto en donde termina la espiral
- θ_e Deflexión total de la espiral
- θ_p Deflexión de la espiral en un punto P
- ϕ_c Angulo de la cuerda larga de la espiral
- ϕ' Angulo de la cuerda a un punto P
- ϕ'_{AT} Angulo respecto a la tangente en P, de una cuerda anterior que subtiende un arco de espiral JP, de longitud l_{JP}
- ϕ'_{AD} Angulo respecto a la tangente en P, de una cuerda posterior que subtiende un arco de espiral JP, de longitud l_{JP}
- l Longitud de la espiral del origen al punto P
- C Cuerda de la espiral desde el origen al punto P
- R_p Radio de curvatura de la espiral en el punto P
- X,Y Coordenadas del punto P
- T_1 Tangente larga al punto P
- T_2 Tangente corta al punto P

FIGURA 7.3. ELEMENTOS DE LA ESPIRAL O CLOTOIDE

nula e igual a la distancia normal a la clotoide entre ésta y el círculo, en *ET*. De la Figura 7.3 puede verse también que para un arco de longitud l_p :

$$\phi_{AT} = \phi - \phi' \dots\dots\dots (25)$$

En donde:

$$\phi' = \frac{\theta_p}{3} - Z$$

ϕ es el ángulo de la cuerda que subtiende un arco de círculo de radio R_p y longitud l_p ; puede calcularse con la expresión (9).

Análogamente:

$$\phi'_{AD} = \phi + \phi' \dots\dots\dots (25')$$

Si dividimos una espiral en N partes iguales, y se numeran los puntos en forma creciente: 0, 1, 2, 3, J , P , N , se tendrá:

$$l_{JP} = |J - P| \frac{l_e}{N}$$

En donde: l_{JP} es la longitud del arco de espiral desde el punto considerado P a un punto cualquiera, J y P los números de orden de los puntos J y P y l_e/N la longitud de un arco de los N de la espiral.

También, por definición de la clotoide:

$$R_e l_e = R_p l_p \text{ que lleva a } G_p l_e = G_e l_p \therefore G_p = \frac{l_p}{l_e} G_e = \frac{P}{N} G_e$$

en donde G_e es el grado de curvatura en el punto N y G_p el grado de curvatura en el punto P .

Por otra parte, de la expresión (9):

$$\phi = \frac{G_p l_{JP}}{40} = \frac{\frac{P}{N} G_e |J - P| \frac{l_e}{N}}{40} = \frac{P |J - P|}{N^2} \frac{G_e l_e}{40}$$

y teniendo en cuenta que:

$$\Omega_e = \frac{G_e l_e^2}{40 l_e} \dots\dots\dots (18'')$$

$$\phi = \frac{P |J - P|}{N^2} \Omega_e$$

Por otra parte de la expresión (23'):

$$\phi' = \frac{\theta}{3} - Z$$

de la expresión (18) $2K^2 = \frac{l_{jp}^2}{\theta} = \frac{l_e^2}{\theta_e}$ despejando $\theta = \left(\frac{l_{jp}}{l_e}\right)^2 \theta_e$.

$$\phi' = \frac{\theta_e}{3} \left(\frac{l_{jp}}{l_e}\right)^2 - Z = \frac{\theta_e}{3} \left[\frac{\left(\frac{J-P}{N}\right) l_e}{l_e}\right]^2 - Z$$

substituyendo los valores de ϕ y ϕ' en las expresiones (25) y (25') se tiene:

$$\phi'_{AD} = [3P(J-P) + (J-P)^2] \frac{\theta_e}{3N^2} - Z$$

$$\phi'_{AT} = [3P(P-J) - (J-P)^2] \frac{\theta_e}{3N^2} + Z \quad \dots \dots \dots (26)$$

En donde:

ϕ'_{AD} , ϕ'_{AT} = Angulo en grados entre la tangente en el punto P y una cuerda cualquiera \overline{PJ} , adelante o atrás.

P , J = Número de orden del punto P en donde se está midiendo ϕ'_{AD} o ϕ'_{AT} , y número de orden del otro extremo de la cuerda J .

N = Número de arcos o cuerdas en que se ha dividido la espiral.

Z = Corrección que depende del ángulo de deflexión θ de la espiral en el punto P . Puede despreciarse para $\theta \leq 16^\circ$. En caso contrario se calcula con la expresión (24).

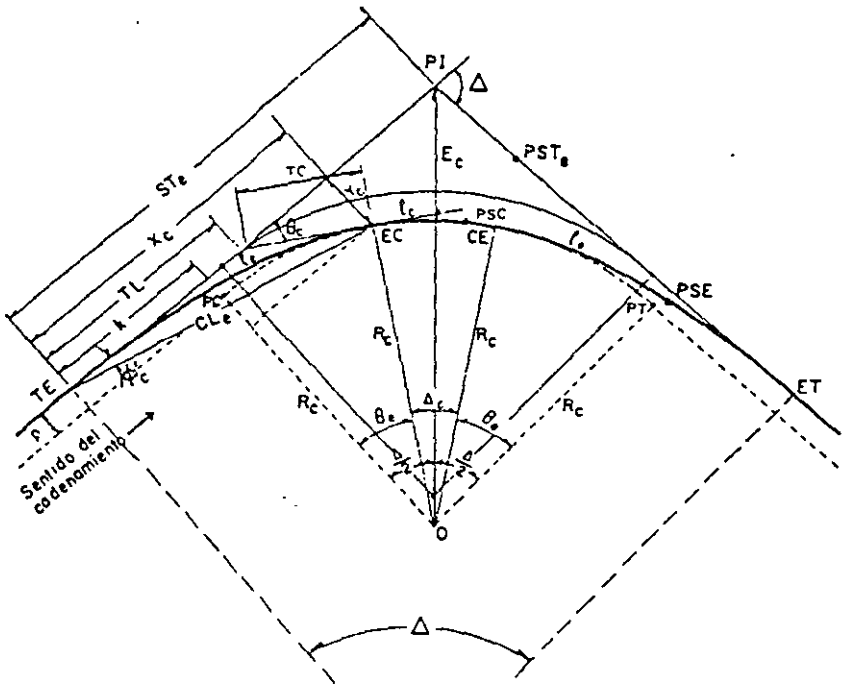
B) Curva circular simple con espirales de transición. Las curvas circulares con espirales de transición constan de una espiral de entrada, una curva circular simple y una espiral de salida. Cuando las espirales de entrada y salida tienen la misma longitud, la curva es simétrica, en caso contrario es asimétrica. En la Figura 7.4, se muestran los elementos de una curva simétrica, los que se calculan como sigue:

1. Grado de curvatura de la curva circular. Es el ángulo que subtende un arco de 20 m en la curva circular.

$$G_c = \frac{1\,145.92}{R_c} \quad \dots \dots \dots (1)$$

En donde R_c es el radio de la curva circular.

2. Longitud de la espiral. Es la longitud medida sobre la curva entre el TE y el EC , o del CE al ET . Su valor mínimo se determina en el apartado C) de este inciso.



- PI Punto de intersección de las tangentes
- TE Punto donde termina la tangente y empieza la espiral
- EC Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular
- CE Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral
- ET Punto donde termina la espiral y empieza la tangente
- PSC Punto sobre la curva circular
- PSE Punto sobre la espiral
- PST_e Punto sobre la subtangente

- Δ Angulo de deflexión de las tangentes
- Δ_c Angulo central de la curva circular
- θ_e Deflexión de la espiral
- ϕ_c Angulo de la cuerda larga de la espiral

- ST_e Subtangente
- X_c, Y_c Coordenadas del EC o del CE
- k, p Coordenadas del PC o del PT (Desplazamiento)
- TL Tangente larga
- TC Tangente corto
- CL_e Cuerda larga de la espiral
- E_c Externo
- R_c Radio de la curva circular
- l_e Longitud de la espiral de entrada o salida
- l_c Longitud de la curva circular

FIGURA 7.4. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR CON ESPIRALES

3. Parámetro de la espiral. Es la magnitud que define las dimensiones de la espiral.

$$K = \sqrt{R_0 l_0} \dots \dots \dots (17)$$

4. Deflexión de la curva. Es el ángulo comprendido entre las normales a las tangentes en TE y ET . Su valor es igual a la deflexión de las tangentes y se representa con Δ .

5. Deflexión a un punto cualquiera de la espiral. Es el ángulo comprendido entre la tangente en TE o ET y la tangente en un punto cualquiera PSE .

$$\theta = \frac{l^2}{2K^2} \dots \dots \dots (18)$$

Si $l = l_0$; $\theta = \theta_0$; y por tanto: $2K^2 = \frac{l_0^2}{\theta_0}$

y substituyendo en (18):

$$\theta = \left(\frac{l}{l_0}\right)^2 \theta_0 \dots \dots \dots (27)$$

6. Deflexión de la espiral. Es el ángulo comprendido entre las tangentes a la espiral en sus puntos extremos.

Nuevamente, si $l = l_0$; $\theta = \theta_0$; y de la expresión (18')

$$\theta_0 = \frac{l_0^2}{2R_0 l_0} = \frac{l_0}{2R_0} \dots \dots \dots (28)$$

Con la expresión anterior se obtiene θ_0 en radianes; si la expresamos en grados y tomamos en cuenta que: $R_0 = \frac{1145.92}{G_0}$ se tendrá:

$$\theta_0 = \frac{l_0}{2 \times \frac{1145.92}{G_0}} \frac{180}{\pi}$$

$$\theta_0 = \frac{G_0 l_0}{40} \dots \dots \dots (29)$$

7. Longitud total de la curva. Es la suma de las longitudes de las dos espirales de transición y de la longitud de curva circular. Para curvas simétricas, se tiene:

$$L = 2l_0 + l_c$$

teniendo en cuenta las expresiones (3) y (29):

$$L = 2 \left(\frac{40\theta_0}{G_c} \right) + \frac{20\Delta_0}{G_c} = \frac{80\theta_0 + 20\Delta_0}{G_c}$$

pero:

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_c$$

$$L = \frac{80\theta_c + 20\Delta - 40\theta_c}{G_c}$$

$$L = \frac{40\theta_c + 20\Delta}{G_c} \dots\dots\dots (30)$$

y teniendo en cuenta la expresión (29):

$$L = l_c + \frac{20\Delta}{G} \dots\dots\dots (31)$$

Lo cual indica que al insertar una curva espiral, se incrementa la longitud total de la curva en l_c .

8. Coordenadas del EC de la curva.
De las ecuaciones (19):

$$X_c = l_c \left(1 - \frac{\theta_c^2}{10} \right)$$

$$Y_c = l_c \left(\frac{\theta_c}{3} + \frac{\theta_c^3}{42} \right) \dots\dots\dots (32)$$

En donde θ_c está en radianes. Si expresamos a θ_c en grados, de la expresión (19'), se tendrá:

$$X_c = \frac{l_c}{100} (100 - 0.00305\theta_c^2)$$

$$Y_c = \frac{l_c}{100} (0.582\theta_c - 0.0000126\theta_c^3) \dots\dots\dots (32')$$

9. Coordenadas del PC de la curva circular. De la Figura 7.4:

$$p = Y_c - R_c \text{ sen ver } \theta_c$$

$$k = X_c - R_c \text{ sen } \theta_c \dots\dots\dots (33)$$

10. Subtangente. Es la distancia entre el PI y el TE o ET de la curva, medida sobre la prolongación de la tangente, y se denomina ST_c . De la Figura 7.4.

$$ST_c = k + (R_c + p) \tan \frac{\Delta}{2} \dots\dots\dots (34)$$

11. Externa. Es la distancia entre el *PI* y la curva y se denomina E_c . De la Figura 7.4:

$$E_c = p + (R_c + p) \sec \frac{\Delta}{2} - (R_c + p)$$

$$E_c = (R_c + p) \sec \frac{\Delta}{2} - R_c \dots \dots \dots (35)$$

12. Cuerda larga. Es la recta que une el *TE* y *EC* o el *ET* y el *CE* y se le llama CL_c . De la ecuación (20).

$$CL_c = \sqrt{X_c^2 + Y_c^2} \dots \dots \dots (36)$$

13. Angulo de la cuerda larga. Es el ángulo comprendido entre la tangente en *TE* y la cuerda larga y se simboliza como ϕ'_c . De las ecuaciones (23 y 24).

$$\phi'_c = \frac{\theta_c}{3} - Z \dots \dots \dots (37)$$

En donde:

$$Z = 3.1 \times 10^{-3} \theta_c^3 + 2.3 \times 10^{-8} \theta_c^5$$

14. Tangente larga. Es el tramo de subtangente comprendido entre el *TE* o *ET* y la intersección con la tangente a *EC* o *CE*; se le llama TL . De (21).

$$TL = X_c - Y_c \cot \theta_c \dots \dots \dots (38)$$

15. Tangente corta. Es el tramo de la tangente a *CE* o *EC* comprendida entre uno de estos puntos y la intersección con la subtangente correspondiente; se representa como TC . De la ecuación (22)

$$TC = Y_c \csc \theta_c \dots \dots \dots (39)$$

En la tabla 7-C pueden obtenerse los elementos de una espiral de 100 m de longitud. Para una curva de longitud l_c , los valores tabulados deben multiplicarse por el factor $l_c/100$.

En la tabla 7-D pueden obtenerse los datos para trazar cualquier espiral, multiplicando los coeficientes por $\theta_c/3N^2$. Esta tabla está calculada con las expresiones (26) sin tomar en cuenta la corrección Z . Esta corrección debe tomarse en consideración cuando $\theta_c > 16^\circ$ y su cálculo se facilita con la tabla 7-E; la corrección es positiva para puntos atrás y negativa para puntos adelante del considerado.

C) Longitud mínima de la espiral de transición. Como se dijo antes, las transiciones tienen por objeto permitir un cambio continuo en la aceleración centrífuga de un vehículo, así como de la sobreelevación y la ampliación. Este cambio será función de la longitud de la espiral, siendo más repentino conforme esta longitud es más corta.

En 1909, W. H. Shortt dedujo la primera fórmula para calcular la longitud mínima de la espiral para curvas de ferrocarril, basándose en que la variación de la aceleración centrífuga debe ser constante cuando se recorre la curva a velocidad uniforme.

Como se vio antes la aceleración centrífuga a_c en un punto cualquiera de la curva vale:

$$a_c = \frac{V^2 l}{R_c l_e}$$

Si se llama t al tiempo que necesita el vehículo para recorrer la espiral a velocidad uniforme V ; en un punto cualquiera de la curva se tendrá que: $l = Vt$, y substituyendo en la expresión anterior:

$$a_c = \frac{V^2 Vt}{R_c l_e} = \frac{V^3 t}{R_c l_e}$$

Por otra parte, la variación de la aceleración centrífuga debe ser constante, o sea:

$$\frac{da_c}{dt} = \frac{d}{dt} \left(\frac{V^3 t}{R_c l_e} \right) = C$$

$$\frac{V^3}{R_c l_e} = C \quad \therefore \quad l_e = \frac{1}{C} \frac{V^3}{R_c}$$

En donde:

l_e = Longitud mínima de la espiral, en m.

V = Velocidad del vehículo, en m/seg.

R_c = Radio de la curva circular, en m.

C = Coeficiente de variación de la aceleración centrífuga, o coeficiente de comodidad, en m/seg²/seg.

Expresando a la velocidad km/h, la expresión anterior resulta:

$$l_e = 0.0214 \frac{V^3}{CR_c} \dots\dots\dots (40)$$

El coeficiente C es un valor empírico que indica el grado de comodidad que se desea proporcionar. Para ferrocarriles, se aceptó un valor de 0.305 m/seg², en caminos se pueden emplear coeficientes que varían entre 0.305 y 0.915 m/seg². En 1938, J. Barnett propuso un valor de 0.61 m/seg², valor que ha sido empleado ampliamente.

En 1949, M. V. Smirnof propuso una fórmula semejante a la de Shortt, pero corrigiéndola para tener en cuenta la sobreelevación. Tal fórmula es:

$$l_e = \frac{0.0214}{C} V \left(\frac{V^2}{R_c} - 127 S \right) \dots\dots\dots (41)$$

En donde:

- l_s = Longitud mínima de la espiral, en m.
- V = Velocidad del vehículo, en km/h.
- R_c = Radio de la curva, en m.
- S = Sobreelevación en la curva circular, en valor absoluto.
- C = Coeficiente de comodidad, fijada empíricamente entre 0.305 y 0.610 m/seg².

En 1950, J. J. Leeming y A. N. Black, apoyados en una serie de experiencias realizadas en caminos existentes, encontraron que la comodidad de los pasajeros parecía estar relacionada con la aceleración centrífuga en la curva circular y no con la variación de esa aceleración a lo largo de la espiral; este hecho provoca dudas razonables sobre la validez de la fórmula de Shortt, a sus versiones modificadas.

Por su parte, la AASHO recomienda otra manera de calcular la longitud mínima de la espiral que con base en el aspecto estético del camino, consiste en igualar la longitud de la espiral a la longitud necesaria para dar la sobreelevación correspondiente a la curva circular. Se establece que la espiral debe tener suficiente longitud para permitir que la pendiente longitudinal de la orilla de la calzada con respecto al eje del camino tenga un valor máximo P . La AASHO, basada en consideraciones empíricas y tomando en cuenta la apariencia de las transiciones, establece que para caminos de dos carriles y velocidades entre 48 y 112 km/h, el valor de esa pendiente será de 1/150 y 1/250, respectivamente; de lo anterior:

$$p = \frac{1}{m}$$

y:

$$m = 1.5625V + 75 \dots \dots \dots (42)$$

En donde:

- p = Pendiente longitudinal de la orilla de la calzada con respecto al eje del camino, en valor absoluto.
- m = Talud de la orilla de la calzada respecto al eje del camino. Es igual al recíproco de la pendiente.
- V = Velocidad de proyecto, en km/h.

Según lo anterior, la longitud mínima de la espiral para caminos de dos carriles será:

$$l_s = \frac{aS}{p} = maS \dots \dots \dots (43)$$

En donde:

- l_s = Longitud mínima de la espiral, en metros.
- a = Semiancho de la calzada en tangente para caminos de dos carriles.
- S = Sobreelevación de la curva circular, en valor absoluto.

Empíricamente la AASHO establece que para caminos de más de dos carriles, la longitud mínima de espiral debe ser como sigue:

Caminos de tres carriles:	1.2 veces la longitud calculada para dos carriles.
Caminos de cuatro carriles, sin dividir:	1.5 veces la longitud calculada para dos carriles.
Caminos de seis carriles, sin dividir:	2.0 veces la longitud calculada para dos carriles.

Un criterio desarrollado en México por la Secretaría de Obras Públicas, para calcular la longitud mínima de espiral, fija un valor constante a la velocidad con que el vehículo asciende o desciende por la espiral de transición, cuando circula por ella a la velocidad de proyecto. Si el conductor mantiene su vehículo en el centro de su carril, el desnivel que sube o baja el vehículo al circular por la transición es:

$$d = \frac{aS}{2}$$

En donde:

d = Desnivel, en metros.

a = Semiancho de carpeta o ancho de carril, en metros.

S = Sobreelevación, en valor absoluto.

Si el vehículo recorre la espiral de longitud l_e a la velocidad de proyecto V , empleará un tiempo t de:

$$t = \frac{l_e}{0.277V}$$

En donde:

t , está expresado en segundos.

l_e , en metros.

V , en km/h.

La velocidad en el ascenso o descenso de la transición V_e , expresada en m/seg, será entonces:

$$V_e = \frac{d}{t} = \frac{aS/2}{l_e/0.277V} = \frac{0.138VS}{l_e}$$

Esta velocidad debe ser de una magnitud tal, que permita circular al conductor de una manera cómoda y segura. Para fijarla se analizan los valores de la pendiente longitudinal entre la orilla de la calzada y el eje del camino, recomendados por la AASHO en el criterio anterior. Para una velocidad de 48 km/h (13.33 m/seg) la AASHO recomienda una pendiente de 1/150; es decir, que el desnivel de la orilla de la calzada respecto al eje del camino será en 150 m de 1.00 m y, por tanto, el desnivel del eje será

de la mitad o sea 0.50 m. Por otra parte, un vehículo que circule a la velocidad de 48 km/h recorre 150 m en 11.25 segundos, con lo que su velocidad de ascenso o descenso en la espiral de transición será:

$$V_s = \frac{0.50}{11.25} = 0.044 \text{ m/seg}$$

En la misma forma, para velocidad de proyecto de 112 km/h la AASHO recomienda una pendiente de 1/250; un vehículo circulando a 112 km/h recorrerá 250 m en 8.04 segundos, con lo que su velocidad de ascenso o descenso en la espiral de transición será:

$$V_s = \frac{0.50}{8.04} = 0.062 \text{ m/seg}$$

Lo anterior parece indicar que para bajas velocidades de proyecto la AASHO recomienda longitudes de espiral relativamente mayores que las requeridas, admitiendo como segura y cómoda una velocidad en el ascenso de 0.062 m/seg para altas velocidades de proyecto; si se acepta el valor de 0.062 m/seg en la velocidad de ascenso o descenso como una constante para cualquier velocidad de proyecto, se tendrá

$$V_s = 0.062 = \frac{0.138 V_a S}{l_s}$$

$$l_s = \frac{0.138 V_a S}{0.062} \quad \therefore \quad l_s = 2.22 V_a S$$

En la expresión anterior, la longitud de transición es directamente proporcional al semiancho de calzada, por lo que conforme sea menor éste será menor la longitud de transición; lo cual, aunque no influye en la comodidad y seguridad del usuario, proporciona una apariencia desagradable. En vista de esto último, se recomienda que la expresión que se obtiene para una velocidad de proyecto de 112 km/h y un semiancho de calzada de 3.65 m, se aplique para cualquier semiancho de calzada, es decir:

$$l_s = 2.22 \times 3.65 V S$$

$$l_s = 8 V S \quad \dots \dots \dots (44)$$

siendo:

- l_s = Longitud mínima de transición, en m.
- V = Velocidad de proyecto, en kilómetros por hora.
- S = Sobreelevación, en valor absoluto.

Por razones prácticas, la longitud mínima aceptable de transición debe ser tal, que un vehículo que circule a la velocidad de proyecto tarde cuando menos 2.0 segundos en recorrerla, que a la velocidad en el ascenso y ancho de carril considerados, representa una sobreelevación de 0.070; substituyendo este valor en la expresión (44), se tendrá que la longitud mínima absoluta de transición será:

$$l_s = 0.56 V \quad \dots \dots \dots (45)$$

Las longitudes de transición antes determinadas se refieren a caminos de dos carriles. Cuando el camino es de más de dos carriles el criterio para obtener la longitud de transición es el mismo, pero considerando el desnivel del eje del carril más alejado con respecto al eje del camino, por lo que la longitud de transición para caminos de cuatro y seis carriles se incrementa en 1.5 y 2.5 veces con respecto a la de dos carriles.

En la tabla 7-F se muestran comparativamente las longitudes de transición calculadas con cada uno de los criterios descritos, para caminos de dos carriles y sobre elevación de 10 por ciento. Puede observarse que el criterio S.O.P. coincide aproximadamente con el AASHO para los anchos de calzada usuales en cada velocidad de proyecto.

VELOCIDAD DE PROYECTO km/h	SNORTT	SMANOFF	AASHO				SOP
	$l_e = 0.035 \frac{V^3}{R}$	$l_e = 0.035V \left(\frac{V}{R} + 127 S \right)$	$l_e = m a S$ $m = 1.5625 v + 75$				$l_e = 8VS$
			$a = 2.75$	$a = 3.05$	$a = 3.35$	$a = 3.65$	
30	39	37	34	37	41	44	24
40	47	46	38	42	46	50	32
50	58	56	42	47	51	56	40
60	68	65	46	51	57	62	48
70	77	74	51	56	62	67	56
80	86	82	55	61	67	73	64
90	94	90	59	66	72	79	72
100	102	97	64	71	77	84	80
110	109	104	68	75	83	90	88

TABLA 7-F. CUADRO COMPARATIVO DE LONGITUDES MINIMAS DE TRANSICION SEGUN DIFERENTES CRITERIOS (S = 0.10)

7.2.4 Curvatura máxima para una deflexión y velocidad dadas

Para determinados valores de la velocidad de proyecto, grado de curvatura y deflexión, ocurre que la suma de las deflexiones de la espiral sobrepasa a la deflexión entre las tangentes traslapándose entonces las espirales. Como es inadmisibles que se traslapen las espirales de transición, habrá un valor de deflexión, abajo del cual no se podrán insertar espirales para una curva de grado dado, o inversamente habrá un valor del grado arriba del cual no se podrán insertar espirales cuando se tenga una cierta deflexión entre tangentes.

La condición necesaria y suficiente para que las espirales no se traslapen es:

$$\Delta_c \geq 0$$

o sea:

$$\Delta \geq 2\theta_0 = \frac{Gl_0}{20}$$

Para el caso en que: $l_0 = 8VS$, y como: $S = \frac{S_{\text{máx}}}{G_{\text{máx}}} G$ (ver Cap. IX).

se tiene:

$$\Delta \geq \frac{8VSG}{20} = \frac{8VS_{\text{máx}}G^2}{20G_{\text{máx}}}$$

si llamamos:

$$K = \frac{8VS_{\text{máx}}}{20G_{\text{máx}}}$$

puede escribirse:

$$\Delta \geq KG^2$$

En una gráfica doble logarítmica la expresión anterior queda representada por una familia de rectas paralelas, que en la Figura 7.5 aparece como líneas inclinadas, ya que tienen una pendiente de 2. Esta familia de rectas no puede prolongarse indefinidamente, puesto que existe un valor máximo del grado de curvatura que define otra familia de rectas verticales de ecuación: $G = G_{\text{máx}}$. La intersección de las dos familias de rectas para las velocidades de proyecto consideradas define la línea B, que corresponde a una longitud total de curva equivalente a dos espirales de transición:

$$L = 2l = 16VS$$

Por otra parte, existe un límite superior e inferior para la longitud total de la curva. El límite inferior está dado por la condición de que existan dos espirales de transición de longitud mínima: $L = 2l_0 = 1.12V$, sin curva circular entre ellas, condición que define la línea A. El límite superior está dado por la longitud máxima de curva, que será aquella que se recorra en 20 segundos a la velocidad de proyecto:

$$L = \frac{V}{3.6} \times 20 = 5.56V$$

definiendo la línea C, o bien, se tenga una deflexión de 200° , condición que define la línea D.

Ahora bien, en el anteproyecto y proyecto del alineamiento horizontal se tienen como datos la deflexión Δ para cada curva y la velocidad de proyecto V . En la gráfica de la Figura 7.5, la intersección del valor de la deflexión con la línea V correspondiente dará el grado máximo de curvatura G para que con esa deflexión no se traslapen las espirales.

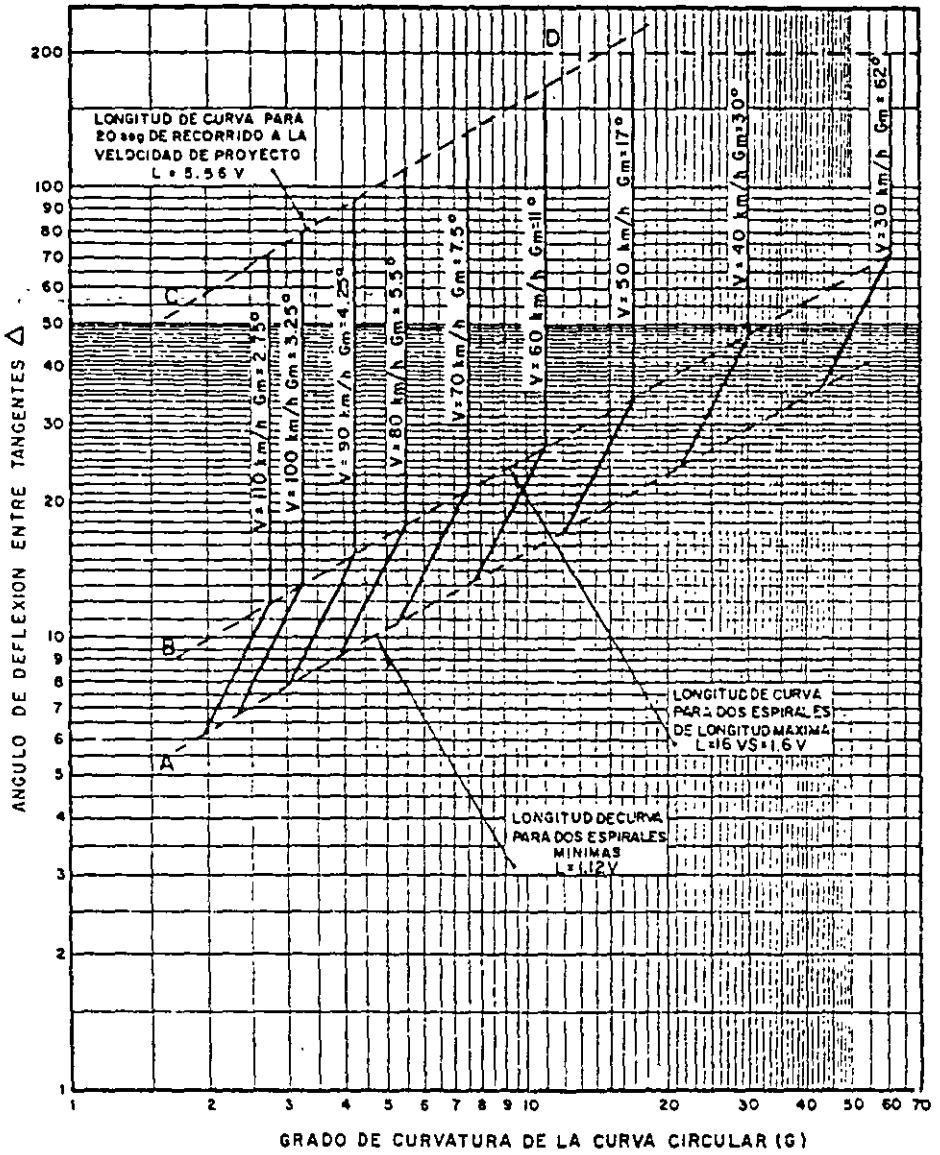


FIGURA 7.5. CURVATURA Y DEFLEXION MAXIMAS PARA QUE LAS ESPIRALES DE TRANSICION NO SE TRASLAPEN

En la zona limitada por las líneas *A* y *B*, el grado *G* así obtenido da una longitud nula de curva circular l_c y la longitud total de curva será: $L = 2l_c$; pero de emplearse un grado menor habrá curva circular; en cambio, en la porción comprendida entre las líneas *B* y *C*, la intersección de la deflexión Δ con las líneas verticales correspondientes a cada velocidad siempre dará un valor de longitud para la curva circular intermedia, siendo la longitud de espiral la máxima especificada. Arriba de la línea *C* o abajo de la línea *A*, las curvas resultantes caen fuera de las especificaciones fijadas para longitud de curva y para que queden dentro de límites aceptables se tendrá que modificar la deflexión o la velocidad de proyecto, o bien ambas.

7.2.5 Distancia de visibilidad en curvas de alineamiento horizontal

En las curvas del alineamiento horizontal que parcial o totalmente queden alojadas en corte o que tengan obstáculos en su parte interior que limiten la distancia de visibilidad, debe tenerse presente que esa distancia sea cuando menos equivalente a la distancia de visibilidad de parada. Si las curvas no cumplen con ese requisito deberán tomarse las providencias necesarias para satisfacerlo, ya sea recortando o abatiendo el talud del lado interior de la curva, modificando el grado de curvatura o eliminando el obstáculo. La gráfica de la Figura 7.6 permite comparar las condiciones existentes en el proyecto con las recomendaciones.

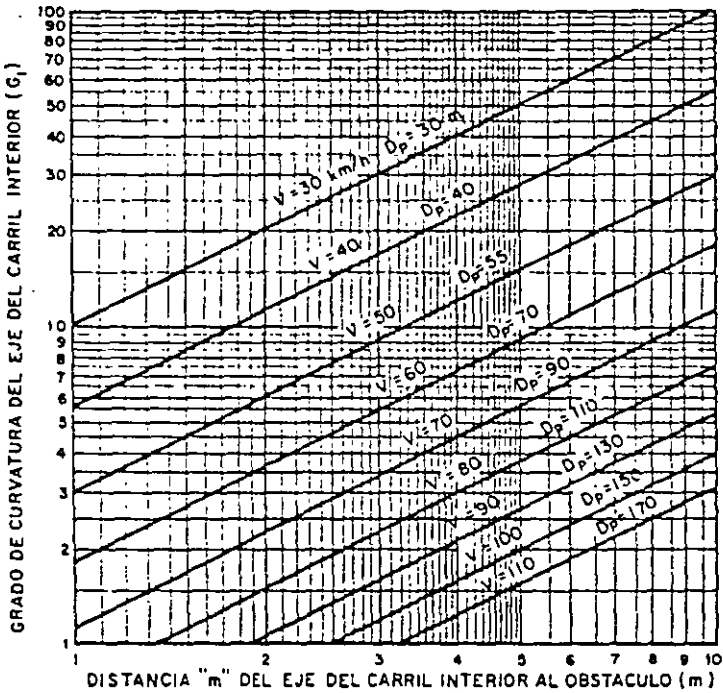
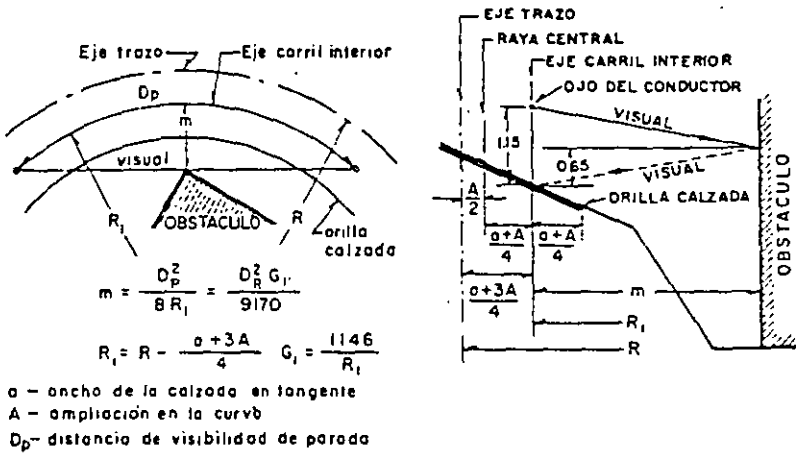


FIGURA 7.6. DISTANCIA MÍNIMA NECESARIA A OBSTACULOS EN EL INTERIOR DE CURVAS CIRCULARES PARA DAR LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

TABLA 7-A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					G = 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
0 10	34377.40	51.00	0.63	0.03	100.00	29.09	16.54	0.01	0.31	29.09	3.33	1.67	0.00	0.00	3.33
0 20	17188.70	51.00	0.07	0.07	100.00	58.18	29.09	0.04	0.04	58.18	6.67	3.33	0.00	0.00	6.67
0 30	11459.13	51.00	0.10	0.11	100.00	87.27	43.63	0.05	0.09	87.27	10.00	5.00	0.01	0.01	10.00
0 40	859.35	51.00	0.14	0.16	100.00	116.36	58.18	0.16	0.17	116.36	13.33	6.67	0.02	0.02	13.33
0 50	6875.48	51.00	0.18	0.19	100.00	145.44	72.72	0.20	0.20	145.44	16.67	8.33	0.03	0.03	16.67
1 0	5729.56	51.00	0.21	0.22	100.00	174.53	87.27	0.27	0.27	174.53	20.00	10.00	0.04	0.04	20.00
1 10	4911.06	50.00	0.25	0.25	100.00	203.62	101.81	0.31	0.31	203.62	23.33	11.67	0.04	0.04	23.33
1 20	4297.17	51.00	0.29	0.29	100.00	232.71	116.36	0.37	0.37	232.71	26.67	13.33	0.04	0.04	26.67
1 30	3819.71	51.00	0.32	0.33	100.00	261.80	130.91	0.45	0.45	261.80	30.00	15.00	0.10	0.10	30.00
1 40	3437.74	50.00	0.36	0.36	100.00	290.89	145.44	0.55	0.55	290.89	33.33	16.67	0.12	0.12	33.33
1 50	3125.22	50.00	0.40	0.40	100.00	319.98	160.00	0.68	0.68	319.98	36.67	18.33	0.15	0.15	36.67
2 0	2864.78	51.00	0.43	0.44	99.99	349.07	174.53	0.82	0.82	349.07	40.00	20.00	0.17	0.17	40.00
2 10	2645.42	50.01	0.47	0.47	99.99	378.16	189.10	1.00	1.00	378.16	43.33	21.67	0.20	0.20	43.33
2 20	2455.51	50.01	0.51	0.51	99.99	407.24	203.63	1.20	1.20	407.24	46.67	23.33	0.24	0.24	46.67
2 30	2291.83	50.01	0.54	0.54	99.99	436.33	218.20	1.45	1.45	436.33	50.00	25.00	0.27	0.27	50.00
2 40	2146.59	50.01	0.58	0.58	99.99	465.42	232.71	1.70	1.70	465.42	53.33	26.67	0.31	0.31	53.33
2 50	2022.20	51.00	0.62	0.62	99.99	494.51	247.31	2.00	2.00	494.51	56.67	28.33	0.35	0.35	56.67
3 0	1907.34	50.01	0.65	0.65	99.99	523.60	261.80	2.30	2.30	523.60	60.00	30.00	0.39	0.39	60.00
3 10	1807.34	50.01	0.69	0.69	99.99	552.69	276.91	2.60	2.60	552.69	63.33	31.67	0.44	0.44	63.33
3 20	1718.87	51.00	0.73	0.73	99.99	581.78	292.02	2.90	2.90	581.78	66.67	33.33	0.48	0.48	66.67
3 30	1631.07	51.00	0.76	0.76	99.99	610.87	307.13	3.20	3.20	610.87	70.00	35.00	0.53	0.53	70.00
3 40	1566.61	51.00	0.80	0.80	99.99	639.96	322.24	3.50	3.50	639.96	73.33	36.67	0.59	0.59	73.33
3 50	1504.67	51.00	0.84	0.84	99.99	669.04	337.35	3.80	3.80	669.04	76.67	38.33	0.64	0.64	76.67
4 0	1442.39	50.02	0.87	0.87	99.99	698.13	352.46	4.10	4.10	698.13	80.00	40.00	0.70	0.70	80.00
4 10	1375.16	50.02	0.91	0.91	99.99	727.22	367.57	4.40	4.40	727.22	83.33	41.67	0.76	0.76	83.33
4 20	1324.71	51.00	0.95	0.95	99.99	756.31	382.68	4.70	4.70	756.31	86.67	43.33	0.82	0.82	86.67
4 30	1272.76	51.00	0.98	0.98	99.99	785.40	397.79	5.00	5.00	785.40	90.00	45.00	0.88	0.88	90.00
4 40	1227.76	50.03	1.02	1.02	99.99	814.49	412.90	5.30	5.30	814.49	93.33	46.67	0.95	0.95	93.33
4 50	1185.43	50.03	1.05	1.05	99.99	843.58	428.01	5.60	5.60	843.58	96.67	48.33	1.02	1.02	96.67
5 0	1145.91	50.03	1.09	1.09	99.99	872.67	443.12	5.90	5.90	872.67	100.00	50.00	1.07	1.07	100.00
5 10	1108.95	50.03	1.13	1.13	99.99	901.76	458.23	6.20	6.20	901.76	103.33	51.67	1.16	1.16	103.33
5 20	1074.29	50.04	1.16	1.16	99.99	930.84	473.34	6.50	6.50	930.84	106.67	53.33	1.24	1.24	106.67
5 30	1041.14	50.04	1.20	1.20	99.99	959.93	488.45	6.80	6.80	959.93	110.00	55.00	1.33	1.33	110.00
5 40	1011.10	50.04	1.24	1.24	99.99	989.02	503.56	7.10	7.10	989.02	113.33	56.67	1.40	1.40	113.33
5 50	982.21	50.04	1.27	1.27	99.99	1018.11	518.67	7.40	7.40	1018.11	116.67	58.33	1.49	1.49	116.67
6 0	954.95	50.05	1.31	1.31	99.99	1047.20	533.78	7.70	7.70	1047.20	120.00	60.00	1.57	1.57	120.00
6 10	927.12	50.05	1.35	1.35	99.99	1076.29	548.89	8.00	8.00	1076.29	123.33	61.67	1.66	1.66	123.33
6 20	904.67	50.05	1.38	1.38	99.99	1105.38	564.00	8.30	8.30	1105.38	126.67	63.33	1.75	1.75	126.67
6 30	881.47	51.00	1.42	1.42	99.99	1134.47	579.11	8.60	8.60	1134.47	130.00	65.00	1.84	1.84	130.00
6 40	858.44	51.00	1.46	1.46	99.99	1163.56	594.22	8.90	8.90	1163.56	133.33	66.67	1.94	1.94	133.33
6 50	835.64	51.00	1.49	1.49	99.99	1192.64	609.33	9.20	9.20	1192.64	136.67	68.33	2.04	2.04	136.67
7 0	813.51	51.00	1.53	1.53	99.99	1221.73	624.44	9.50	9.50	1221.73	140.00	70.00	2.14	2.14	140.00
7 10	792.47	51.00	1.57	1.57	99.99	1250.82	639.55	9.80	9.80	1250.82	143.33	71.67	2.24	2.24	143.33
7 20	781.30	51.00	1.60	1.60	99.99	1279.91	654.66	10.10	10.10	1279.91	146.67	73.33	2.35	2.35	146.67
7 30	765.74	51.00	1.64	1.64	99.99	1309.00	669.77	10.40	10.40	1309.00	150.00	75.00	2.46	2.46	150.00
7 40	751.33	51.00	1.68	1.67	99.99	1338.09	684.88	10.70	10.70	1338.09	153.33	76.67	2.57	2.57	153.33
7 50	731.43	50.08	1.71	1.71	99.99	1367.18	699.99	11.00	11.00	1367.18	156.67	78.33	2.68	2.68	156.67
8 0	716.20	51.00	1.75	1.74	99.99	1396.27	715.10	11.30	11.30	1396.27	160.00	80.00	2.79	2.79	160.00
8 10	701.58	51.00	1.79	1.78	99.99	1425.36	730.21	11.60	11.60	1425.36	163.33	81.67	2.92	2.92	163.33
8 20	687.49	51.00	1.82	1.82	99.99	1454.44	745.32	11.90	11.90	1454.44	166.67	83.33	3.04	3.04	166.67
8 30	674.07	50.04	1.86	1.85	99.99	1483.53	760.43	12.20	12.20	1483.53	170.00	85.00	3.16	3.16	170.00
8 40	661.10	51.00	1.90	1.89	99.99	1512.62	775.54	12.50	12.50	1512.62	173.33	86.67	3.29	3.29	173.33
8 50	648.93	51.00	1.93	1.93	99.99	1541.71	790.65	12.80	12.80	1541.71	176.67	88.33	3.41	3.41	176.67
9 0	636.62	51.00	1.97	1.96	99.99	1570.80	805.76	13.10	13.10	1570.80	180.00	90.00	3.54	3.54	180.00
9 10	625.04	50.09	2.00	2.00	99.99	1599.89	820.87	13.40	13.40	1599.89	183.33	91.67	3.68	3.68	183.33
9 20	613.18	50.09	2.04	2.04	99.99	1628.98	835.98	13.70	13.70	1628.98	186.67	93.33	3.81	3.81	186.67
9 30	603.11	51.00	2.08	2.07	99.99	1658.07	851.09	14.00	14.00	1658.07	190.00	95.00	3.95	3.95	190.00
9 40	592.71	51.00	2.11	2.11	99.99	1687.16	866.20	14.30	14.30	1687.16	193.33	96.67	4.09	4.09	193.33
9 50	582.67	51.00	2.15	2.14	99.99	1716.25	881.31	14.60	14.60	1716.25	196.67	98.33	4.23	4.23	196.67
10 0	572.26	50.13	2.19	2.18	99.99	1745.34	896.42	14.90	14.90	1745.34	200.00	100.00	4.38	4.38	200.00

TABLA 7-A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					C = 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
10 10	563.56	5C.13	2.23	2.22	99.87	1774.42	887.54	39.68	39.33	1772.09	263.33	131.93	6.52	6.51	203.07
10 20	554.47	5C.14	2.26	2.25	99.86	1803.51	904.21	40.79	40.53	1801.07	267.67	131.61	6.67	6.66	206.39
10 30	545.67	5C.14	2.30	2.29	99.86	1832.60	919.87	42.12	41.95	1810.04	270.00	131.29	6.81	6.81	209.71
10 40	537.15	5C.15	2.34	2.33	99.86	1861.69	933.54	43.68	43.29	1859.00	273.33	130.98	6.98	6.96	213.03
10 50	528.80	5C.15	2.37	2.36	99.85	1890.78	944.21	44.85	44.64	1887.96	276.67	130.66	7.14	7.14	216.35
11 0	520.87	5C.16	2.41	2.40	99.85	1919.87	952.89	46.24	46.04	1916.92	280.00	130.34	7.28	7.28	219.66
11 10	513.19	5C.16	2.45	2.44	99.84	1948.95	977.57	47.84	47.44	1945.87	283.33	129.62	7.46	7.46	222.98
11 20	505.55	5C.17	2.48	2.47	99.84	1978.04	992.26	49.00	48.87	1974.82	286.67	129.00	7.63	7.63	226.30
11 30	498.22	5C.17	2.52	2.51	99.83	2007.13	1000.95	50.36	50.31	2003.76	290.00	128.39	7.79	7.79	229.61
11 40	491.11	5C.18	2.56	2.54	99.83	2036.22	1012.64	52.05	51.79	2032.70	293.33	127.78	7.96	7.96	232.93
11 50	484.19	5C.18	2.59	2.58	99.82	2065.31	1036.34	53.55	53.27	2061.64	296.67	127.18	8.14	8.14	236.25
12 0	477.66	5C.19	2.63	2.62	99.82	2094.40	1051.04	55.07	55.78	2090.57	300.00	126.58	8.31	8.31	239.56
12 10	470.92	5C.19	2.67	2.65	99.81	2123.49	1069.75	56.33	56.31	2119.50	303.33	126.03	8.49	8.49	242.88
12 20	464.36	5C.20	2.70	2.69	99.81	2152.58	1080.46	57.89	57.86	2148.42	306.67	125.51	8.67	8.67	246.19
12 30	458.37	5C.20	2.74	2.72	99.80	2181.66	1095.18	59.79	59.44	2177.34	310.00	125.00	8.85	8.85	249.50
12 40	452.33	5C.21	2.78	2.76	99.80	2210.75	1117.91	61.04	61.24	2206.26	313.33	124.50	9.02	9.02	252.82
12 50	446.48	5C.21	2.81	2.80	99.79	2239.84	1126.63	62.04	62.45	2235.16	316.67	124.00	9.22	9.22	256.13
13 0	440.74	5C.22	2.85	2.83	99.79	2268.93	1139.36	64.69	64.28	2264.07	320.00	123.50	9.41	9.41	259.44
13 10	435.16	5C.22	2.89	2.87	99.78	2298.02	1154.09	66.38	65.94	2292.97	323.33	123.00	9.61	9.61	262.75
13 20	429.72	5C.23	2.93	2.91	99.77	2327.11	1168.83	68.07	67.62	2321.86	326.67	122.50	9.80	9.80	266.06
13 30	424.41	5C.23	2.96	2.94	99.77	2356.20	1183.58	69.74	69.32	2350.74	330.00	122.00	10.00	10.00	269.37
13 40	419.24	5C.24	3.00	3.00	99.76	2385.29	1197.34	71.04	70.44	2379.62	333.33	121.50	10.20	10.20	272.68
13 50	414.19	5C.24	3.04	3.03	99.76	2414.38	1211.09	73.31	72.78	2408.52	336.67	121.00	10.40	10.40	276.00
14 0	409.35	5C.25	3.07	3.05	99.75	2443.47	1222.87	75.09	74.54	2437.39	340.00	120.50	10.60	10.60	279.31
14 10	404.64	5C.26	3.11	3.09	99.75	2472.55	1234.63	76.96	76.32	2466.26	343.33	120.00	10.80	10.80	282.62
14 20	399.74	5C.26	3.15	3.12	99.74	2501.64	1246.38	78.14	78.15	2495.12	346.67	119.50	11.00	11.00	286.00
14 30	395.14	5C.27	3.18	3.16	99.73	2530.73	1272.16	80.59	79.85	2523.98	350.00	119.00	11.20	11.20	289.31
14 40	390.65	5C.27	3.22	3.20	99.73	2559.82	1288.94	82.48	81.80	2552.84	353.33	118.50	11.40	11.40	292.62
14 50	386.28	5C.28	3.26	3.23	99.72	2588.91	1308.74	84.36	83.66	2581.68	356.67	118.00	11.60	11.60	296.00
15 0	381.97	5C.29	3.30	3.27	99.71	2618.00	1316.53	86.29	85.55	2610.53	360.00	117.50	11.80	11.80	299.31
15 10	377.77	5C.29	3.33	3.30	99.71	2647.09	1331.33	88.22	87.46	2639.36	363.33	117.00	12.00	12.00	302.62
15 20	373.67	5C.30	3.37	3.34	99.70	2676.18	1346.13	90.18	89.39	2668.20	366.67	116.50	12.20	12.20	306.00
15 30	369.65	5C.31	3.41	3.38	99.70	2705.27	1360.94	92.18	91.51	2697.02	370.00	116.00	12.40	12.40	309.31
15 40	365.71	5C.31	3.44	3.45	99.69	2734.35	1375.76	94.18	93.31	2725.84	373.33	115.50	12.60	12.60	312.62
15 50	361.87	5C.32	3.48	3.45	99.68	2763.44	1390.58	96.22	95.31	2754.66	376.67	115.00	12.80	12.80	316.00
16 0	358.10	5C.33	3.52	3.48	99.68	2792.53	1405.41	98.27	97.32	2783.47	380.00	114.50	13.00	13.00	319.31
16 10	354.41	5C.33	3.56	3.52	99.67	2821.62	1420.24	100.35	99.35	2812.27	383.33	114.00	13.20	13.20	322.62
16 20	350.79	5C.34	3.59	3.56	99.66	2850.71	1435.09	102.44	101.41	2841.07	386.67	113.50	13.40	13.40	326.00
16 30	347.25	5C.35	3.63	3.59	99.65	2879.80	1449.91	104.56	103.49	2869.86	390.00	113.00	13.60	13.60	329.31
16 40	343.77	5C.36	3.67	3.63	99.65	2908.89	1464.79	106.71	105.54	2898.64	393.33	112.50	13.80	13.80	332.62
16 50	340.37	5C.36	3.71	3.66	99.64	2937.98	1479.65	108.87	107.70	2927.42	396.67	112.00	14.00	14.00	336.00
17 0	337.03	5C.37	3.74	3.70	99.63	2967.07	1494.51	111.36	109.84	2956.19	400.00	111.50	14.20	14.20	339.31
17 10	333.76	5C.38	3.78	3.74	99.63	2996.15	1509.38	113.27	112.00	2984.96	403.33	111.00	14.40	14.40	342.62
17 20	330.55	5C.38	3.82	3.77	99.62	3025.24	1524.26	115.50	114.18	3013.72	406.67	110.50	14.60	14.60	346.00
17 30	327.40	5C.39	3.86	3.81	99.61	3054.32	1539.15	118.38	116.38	3042.47	410.00	110.00	14.80	14.80	349.31
17 40	324.32	5C.40	3.89	3.85	99.60	3083.40	1554.04	120.33	118.61	3071.22	413.33	109.50	15.00	15.00	352.62
17 50	321.28	5C.41	3.93	3.88	99.60	3112.48	1568.94	122.33	120.85	3099.96	416.67	109.00	15.20	15.20	356.00
18 0	318.31	5C.42	3.97	3.92	99.59	3141.56	1583.85	124.65	123.12	3128.67	420.00	108.50	15.40	15.40	359.31
18 10	315.39	5C.42	4.01	3.96	99.58	3170.64	1598.76	126.99	125.40	3157.42	423.33	108.00	15.60	15.60	362.62
18 20	312.52	5C.43	4.04	3.99	99.57	3199.72	1613.68	129.36	127.71	3186.14	426.67	107.50	15.80	15.80	366.00
18 30	309.71	5C.44	4.08	4.03	99.57	3228.80	1628.61	131.74	130.08	3214.86	430.00	107.00	16.00	16.00	369.31
18 40	306.94	5C.45	4.12	4.06	99.56	3257.88	1643.54	134.15	132.38	3243.56	433.33	106.50	16.20	16.20	372.62
18 50	304.22	5C.46	4.16	4.10	99.55	3286.96	1658.48	136.59	134.75	3272.27	436.67	106.00	16.40	16.40	376.00
19 0	301.56	5C.46	4.19	4.14	99.54	3316.03	1673.43	139.05	137.14	3300.96	440.00	105.50	16.60	16.60	379.31
19 10	298.93	5C.47	4.23	4.17	99.53	3345.11	1688.38	141.53	139.55	3329.64	443.33	105.00	16.80	16.80	382.62
19 20	296.36	5C.48	4.27	4.21	99.53	3374.19	1703.35	144.02	141.99	3358.32	446.67	104.50	17.00	17.00	386.00
19 30	293.82	5C.49	4.31	4.24	99.52	3403.26	1718.32	146.55	144.49	3387.00	450.00	104.00	17.20	17.20	389.31
19 40	291.33	5C.50	4.35	4.28	99.51	3432.34	1733.29	149.11	147.01	3415.66	453.33	103.50	17.40	17.40	392.62
19 50	288.89	5C.51	4.39	4.33	99.50	3461.42	1748.28	151.67	149.41	3444.32	456.67	103.00	17.60	17.60	396.00
20 0	286.48	5C.51	4.42	4.35	99.49	3490.50	1763.27	154.26	151.92	3472.97	460.00	102.50	17.80	17.80	399.31

TABLA 7-A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					G = 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
20	204.11	50.52	4.45	4.37	99.48	3519.75	1778.27	156.88	154.46	3501.61	403.33	261.77	17.90	17.70	401.23
20	281.78	50.53	4.47	4.42	99.49	3558.84	1793.28	157.32	155.32	3550.25	406.87	265.49	18.28	17.99	404.54
20	360.49	50.54	4.48	4.46	99.47	3597.93	1808.30	157.77	155.59	3558.95	410.60	269.22	18.58	18.29	407.82
20	440.24	50.55	4.49	4.47	99.46	3637.02	1823.32	158.21	155.86	3567.50	414.33	272.94	18.89	18.59	411.10
20	521.03	50.56	4.51	4.51	99.45	3676.11	1838.35	158.65	156.11	3576.01	418.07	276.67	19.10	18.80	414.37
20	602.86	50.57	4.52	4.51	99.44	3715.20	1853.39	159.08	156.35	3584.47	421.80	280.40	19.31	19.10	417.65
20	685.73	50.58	4.53	4.50	99.43	3754.29	1868.42	159.51	156.59	3592.89	425.53	284.13	19.51	19.49	420.93
20	770.64	50.59	4.54	4.50	99.42	3793.38	1883.45	160.00	156.82	3601.28	429.26	287.86	19.70	19.80	424.21
20	857.59	50.60	4.55	4.50	99.41	3832.47	1898.48	160.48	157.05	3609.67	433.00	291.59	19.89	20.19	427.49
20	946.58	50.61	4.56	4.50	99.40	3871.56	1913.51	160.96	157.28	3618.06	436.73	295.32	20.08	20.48	430.77
20	1037.61	50.62	4.57	4.50	99.39	3910.65	1928.54	161.44	157.51	3626.45	440.47	299.05	20.27	20.77	434.05
20	1130.68	50.63	4.58	4.50	99.38	3949.74	1943.57	161.92	157.74	3634.84	444.20	302.78	20.46	21.06	437.33
20	1225.79	50.64	4.59	4.50	99.37	3988.83	1958.60	162.40	157.97	3643.23	447.94	306.51	20.65	21.35	440.61
20	1322.94	50.65	4.60	4.50	99.36	4027.92	1973.63	162.88	158.20	3651.62	451.67	310.24	20.84	21.64	443.89
20	1422.13	50.66	4.61	4.50	99.35	4067.01	1988.66	163.36	158.43	3660.01	455.41	313.97	21.03	21.93	447.17
20	1523.36	50.67	4.62	4.50	99.34	4106.10	2003.69	163.84	158.66	3668.40	459.14	317.70	21.22	22.22	450.45
20	1626.63	50.68	4.63	4.50	99.33	4145.19	2018.72	164.32	158.89	3676.79	462.88	321.43	21.41	22.51	453.73
20	1732.04	50.69	4.64	4.50	99.32	4184.28	2033.75	164.80	159.12	3685.18	466.61	325.16	21.60	22.80	457.01
20	1839.59	50.70	4.65	4.50	99.31	4223.37	2048.78	165.28	159.35	3693.57	470.35	328.89	21.79	23.09	460.29
20	1949.28	50.71	4.66	4.50	99.30	4262.46	2063.81	165.76	159.58	3701.96	474.08	332.62	21.98	23.38	463.57
20	2061.11	50.72	4.67	4.50	99.29	4301.55	2078.84	166.24	159.81	3710.35	477.82	336.35	22.17	23.67	466.85
20	2175.08	50.73	4.68	4.50	99.28	4340.64	2093.87	166.72	160.04	3718.74	481.55	340.08	22.36	23.96	470.13
20	2291.19	50.74	4.69	4.50	99.27	4379.73	2108.90	167.20	160.27	3727.13	485.29	343.81	22.55	24.25	473.41
20	2409.44	50.75	4.70	4.50	99.26	4418.82	2123.93	167.68	160.50	3735.52	489.02	347.54	22.74	24.54	476.69
20	2529.83	50.76	4.71	4.50	99.25	4457.91	2138.96	168.16	160.73	3743.91	492.76	351.27	22.93	24.83	480.00
20	2652.36	50.77	4.72	4.50	99.24	4497.00	2153.99	168.64	160.96	3752.30	496.49	355.00	23.12	25.12	483.31
20	2777.03	50.78	4.73	4.50	99.23	4536.09	2169.02	169.12	161.19	3760.69	500.23	358.73	23.31	25.41	486.62
20	2903.84	50.79	4.74	4.50	99.22	4575.18	2184.05	169.60	161.42	3769.08	503.96	362.46	23.50	25.70	490.00
20	3032.79	50.80	4.75	4.50	99.21	4614.27	2199.08	170.08	161.65	3777.47	507.70	366.19	23.69	25.99	493.31
20	3163.88	50.81	4.76	4.50	99.20	4653.36	2214.11	170.56	161.88	3785.86	511.43	369.92	23.88	26.28	496.62
20	3297.11	50.82	4.77	4.50	99.19	4692.45	2229.14	171.04	162.11	3794.25	515.17	373.65	24.07	26.57	500.00
20	3432.48	50.83	4.78	4.50	99.18	4731.54	2244.17	171.52	162.34	3802.64	518.90	377.38	24.26	26.86	503.31
20	3569.99	50.84	4.79	4.50	99.17	4770.63	2259.20	172.00	162.57	3811.03	522.64	381.11	24.45	27.15	506.62
20	3709.64	50.85	4.80	4.50	99.16	4809.72	2274.23	172.48	162.80	3819.42	526.37	384.84	24.64	27.44	510.00
20	3851.43	50.86	4.81	4.50	99.15	4848.81	2289.26	172.96	163.03	3827.81	530.10	388.57	24.83	27.73	513.31
20	3995.36	50.87	4.82	4.50	99.14	4887.90	2304.29	173.44	163.26	3836.20	533.84	392.30	25.02	28.02	516.62
20	4141.43	50.88	4.83	4.50	99.13	4927.00	2319.32	173.92	163.49	3844.59	537.57	396.03	25.21	28.31	520.00
20	4289.64	50.89	4.84	4.50	99.12	4966.09	2334.35	174.40	163.72	3852.98	541.30	399.76	25.40	28.60	523.31
20	4439.99	50.90	4.85	4.50	99.11	5005.18	2349.38	174.88	163.95	3861.37	545.04	403.49	25.59	28.89	526.62
20	4592.48	50.91	4.86	4.50	99.10	5044.27	2364.41	175.36	164.18	3869.76	548.77	407.22	25.78	29.18	530.00
20	4747.11	50.92	4.87	4.50	99.09	5083.36	2379.44	175.84	164.41	3878.15	552.51	410.95	25.97	29.47	533.31
20	4903.88	50.93	4.88	4.50	99.08	5122.45	2394.47	176.32	164.64	3886.54	556.24	414.68	26.16	29.76	536.62
20	5062.79	50.94	4.89	4.50	99.07	5161.54	2409.50	176.80	164.87	3894.93	560.00	418.41	26.35	30.05	540.00
20	5223.84	50.95	4.90	4.50	99.06	5200.63	2424.53	177.28	165.10	3903.32	563.73	422.14	26.54	30.34	543.31
20	5386.03	50.96	4.91	4.50	99.05	5239.72	2439.56	177.76	165.33	3911.71	567.47	425.87	26.73	30.63	546.62
20	5550.36	50.97	4.92	4.50	99.04	5278.81	2454.59	178.24	165.56	3920.10	571.20	429.60	26.92	30.92	550.00
20	5716.83	50.98	4.93	4.50	99.03	5317.90	2469.62	178.72	165.79	3928.49	574.94	433.33	27.11	31.21	553.31
20	5885.44	50.99	4.94	4.50	99.02	5357.00	2484.65	179.20	166.02	3936.88	578.67	437.06	27.30	31.50	556.62
20	6056.19	51.00	4.95	4.50	99.01	5396.09	2499.68	179.68	166.25	3945.27	582.41	440.79	27.49	31.79	560.00
20	6229.08	51.01	4.96	4.50	99.00	5435.18	2514.71	180.16	166.48	3953.66	586.14	444.52	27.68	32.08	563.31
20	6404.11	51.02	4.97	4.50	98.99	5474.27	2529.74	180.64	166.71	3962.05	589.88	448.25	27.87	32.37	566.62
20	6581.28	51.03	4.98	4.50	98.98	5513.36	2544.77	181.12	166.94	3970.44	593.61	451.98	28.06	32.66	570.00
20	6760.59	51.04	4.99	4.50	98.97	5552.45	2559.80	181.60	167.17	3978.83	597.35	455.71	28.25	32.95	573.31
20	6942.04	51.05	5.00	4.50	98.96	5591.54	2574.83	182.08	167.40	3987.22	601.08	459.44	28.44	33.24	576.62
20	7125.63	51.06	5.01	4.50	98.95	5630.63	2589.86	182.56	167.63	3995.61	604.82	463.17	28.63	33.53	580.00
20	7311.36	51.07	5.02	4.50	98.94	5669.72	2604.89	183.04	167.86	4004.00	608.55	466.90	28.82	33.82	583.31
20	7500.13	51.08	5.03	4.50	98.93	5708.81	2619.92	183.52	168.09	4012.39	612.29	470.63	29.01	34.11	586.62
20	7692.04	51.09	5.04	4.50	98.92	5747.90	2634.95	184.00	168.32	4020.78	616.02	474.36	29.20	34.40	590.00
20	7887.09	51.10	5.05	4.50	98.91	5787.00	2649.98	184.48	168.55	4029.17	619.76	478.09	29.39	34.69	593.31
20	8085.28	51.11	5.06	4.50	98.90	5826.09	2665.01	184.96	168.78	4037.56	623.50	481.82	29.58	34.98	596.62
20	8286.61	51.12	5.07	4.50	98.89	5865.18	2680.04	185.44	169.01	4045.95	627.24	485.55	29.77	35.27	600.00
20	8490.08	51.13	5.08	4.50	98.88	5904.27	2695.07	185.92	169.24	4054.34	630.98	489.28	29.96	35.56	603.31
20	8696.69	51.14	5.09	4.50	98.87	5943.36	2710.10	186.40	169.47	4062.73	634.72	493.01	30.15	35.85	606.62
20	8906.44	51.15	5.10	4.50	98.86	5982.45	2725.13	186.88	169.70	4071.12	638.46	496.74	30.34	36.14	610.00
20	9119.33	51.16	5.11	4.50	98.85	6021.54	2740.16	187.36	169.93	4079.51	642.20	500.47	30.53	36.43	613.31
20	9335.36	51.17	5.12	4.50	98.84	6060.63	2755.19	187.84	170.16	4087.90	645.94	504.20	30.72	36.72	616.62
20	9554.53	51.18	5.13	4.50	98.83	6100.00	2770.22	188.32	170.39	4096.29	649.68	507.93	30.91	37.01	620.00
20	9776.86	51.19	5.14	4.50	98.82	6139.09	2785.25	188.80	170.62	4104.68	653.42	511.66	31.10	37.30	623.31
20	10002.35	51.20	5.15	4.50	98.81	6178.18	2800.28	189.28	170.85	4113.07	657.16	515.39	31.29	37.59	626.62
20	10231.00	51.21	5.16	4.50	98.80	6217.27	2815.31	189.76	171.08	4121.46	660.90	519.12	31.48	37.88	630.00
20	104														

TABLA 7 A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 1000 M					G = 1 GRADO					
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	
30	10	140.93	51.17	6.71	6.54	78.45	5285.08	2695.59	346.81	144.52	5204.48	403.33	308.83	4.089	39.49	596.39
30	20	141.84	51.26	6.82	6.54	78.44	5294.17	2711.70	350.39	146.31	5237.56	408.67	312.62	4.135	39.71	599.61
30	30	142.87	51.34	6.94	6.54	78.43	5303.26	2727.92	354.97	148.10	5270.63	414.01	316.41	4.181	40.00	602.82
30	40	143.92	51.41	7.06	6.54	78.42	5312.35	2744.15	359.55	149.89	5303.70	419.35	320.20	4.227	40.29	606.04
30	50	145.00	51.48	7.18	6.54	78.41	5321.44	2760.38	364.13	151.68	5336.77	424.69	324.00	4.273	40.58	609.25
31	10	146.10	51.55	7.30	6.54	78.40	5330.53	2776.61	368.71	153.47	5369.84	430.03	327.79	4.319	40.87	612.46
31	20	147.22	51.62	7.42	6.54	78.39	5339.62	2792.84	373.29	155.26	5402.91	435.37	331.59	4.365	41.16	615.68
31	30	148.36	51.69	7.54	6.54	78.38	5348.71	2809.07	377.87	157.05	5435.98	440.71	335.38	4.411	41.45	618.89
31	40	149.52	51.76	7.66	6.54	78.37	5357.80	2825.30	382.45	158.84	5469.05	446.05	339.18	4.457	41.74	622.10
31	50	150.70	51.83	7.78	6.54	78.36	5366.89	2841.53	387.03	160.63	5502.12	451.39	342.97	4.503	42.03	625.31
32	10	151.88	51.90	7.90	6.54	78.35	5375.98	2857.76	391.61	162.42	5535.19	456.73	346.77	4.549	42.32	628.52
32	20	153.08	51.97	8.02	6.54	78.34	5385.07	2874.00	396.19	164.21	5568.26	462.07	350.56	4.595	42.61	631.73
32	30	154.30	52.04	8.14	6.54	78.33	5394.16	2890.23	400.77	166.00	5601.33	467.41	354.36	4.641	42.90	634.94
32	40	155.54	52.11	8.26	6.54	78.32	5403.25	2906.46	405.35	167.79	5634.40	472.75	358.15	4.687	43.19	638.15
32	50	156.80	52.18	8.38	6.54	78.31	5412.34	2922.69	409.93	169.58	5667.47	478.09	361.95	4.733	43.48	641.36
33	10	158.06	52.25	8.50	6.54	78.30	5421.43	2938.92	414.51	171.37	5700.54	483.43	365.74	4.779	43.77	644.57
33	20	159.34	52.32	8.62	6.54	78.29	5430.52	2955.15	419.09	173.16	5733.61	488.77	369.54	4.825	44.06	647.78
33	30	160.64	52.39	8.74	6.54	78.28	5439.61	2971.38	423.67	174.95	5766.68	494.11	373.33	4.871	44.35	651.00
33	40	161.96	52.46	8.86	6.54	78.27	5448.70	2987.61	428.25	176.74	5799.75	499.45	377.13	4.917	44.64	654.21
33	50	163.30	52.53	8.98	6.54	78.26	5457.79	3003.84	432.83	178.53	5832.82	504.79	380.92	4.963	44.93	657.42
34	10	164.66	52.60	9.10	6.54	78.25	5466.88	3020.07	437.41	180.32	5865.89	510.13	384.72	5.009	45.22	660.63
34	20	166.04	52.67	9.22	6.54	78.24	5475.97	3036.30	441.99	182.11	5898.96	515.47	388.51	5.055	45.51	663.84
34	30	167.44	52.74	9.34	6.54	78.23	5485.06	3052.53	446.57	183.90	5932.03	520.81	392.31	5.101	45.80	667.05
34	40	168.86	52.81	9.46	6.54	78.22	5494.15	3068.76	451.15	185.69	5965.10	526.15	396.10	5.147	46.09	670.26
34	50	170.30	52.88	9.58	6.54	78.21	5503.24	3085.00	455.73	187.48	5998.17	531.49	399.90	5.193	46.38	673.47
35	10	171.76	52.95	9.70	6.54	78.20	5512.33	3101.23	460.31	189.27	6031.24	536.83	403.69	5.239	46.67	676.68
35	20	173.24	53.02	9.82	6.54	78.19	5521.42	3117.46	464.89	191.06	6064.31	542.17	407.48	5.285	46.96	679.89
35	30	174.74	53.09	9.94	6.54	78.18	5530.51	3133.69	469.47	192.85	6097.38	547.51	411.27	5.331	47.25	683.10
35	40	176.26	53.16	10.06	6.54	78.17	5539.60	3149.92	474.05	194.64	6130.45	552.85	415.06	5.377	47.54	686.31
35	50	177.80	53.23	10.18	6.54	78.16	5548.69	3166.15	478.63	196.43	6163.52	558.19	418.85	5.423	47.83	689.52
36	10	179.36	53.30	10.30	6.54	78.15	5557.78	3182.38	483.21	198.22	6196.59	563.53	422.64	5.469	48.12	692.73
36	20	180.94	53.37	10.42	6.54	78.14	5566.87	3198.61	487.79	200.01	6229.66	568.87	426.43	5.515	48.41	695.94
36	30	182.54	53.44	10.54	6.54	78.13	5575.96	3214.84	492.37	201.80	6262.73	574.21	430.22	5.561	48.70	699.15
36	40	184.16	53.51	10.66	6.54	78.12	5585.05	3231.07	496.95	203.59	6295.80	579.55	434.01	5.607	48.99	702.36
36	50	185.80	53.58	10.78	6.54	78.11	5594.14	3247.30	501.53	205.38	6328.87	584.89	437.80	5.653	49.28	705.57
37	10	187.46	53.65	10.90	6.54	78.10	5603.23	3263.53	506.11	207.17	6361.94	590.23	441.59	5.699	49.57	708.78
37	20	189.14	53.72	11.02	6.54	78.09	5612.32	3279.76	510.69	208.96	6395.01	595.57	445.38	5.745	49.86	712.00
37	30	190.84	53.79	11.14	6.54	78.08	5621.41	3296.00	515.27	210.75	6428.08	600.91	449.17	5.791	50.15	715.21
37	40	192.56	53.86	11.26	6.54	78.07	5630.50	3312.23	519.85	212.54	6461.15	606.25	452.96	5.837	50.44	718.42
37	50	194.30	53.93	11.38	6.54	78.06	5639.59	3328.46	524.43	214.33	6494.22	611.59	456.75	5.883	50.73	721.63
38	10	196.06	54.00	11.50	6.54	78.05	5648.68	3344.69	529.01	216.12	6527.29	616.93	460.54	5.929	51.02	724.84
38	20	197.84	54.07	11.62	6.54	78.04	5657.77	3360.92	533.59	217.91	6560.36	622.27	464.33	5.975	51.31	728.05
38	30	199.64	54.14	11.74	6.54	78.03	5666.86	3377.15	538.17	219.70	6593.43	627.61	468.12	6.021	51.60	731.26
38	40	201.46	54.21	11.86	6.54	78.02	5675.95	3393.38	542.75	221.49	6626.50	632.95	471.91	6.067	51.89	734.47
38	50	203.30	54.28	11.98	6.54	78.01	5685.04	3409.61	547.33	223.28	6659.57	638.29	475.70	6.113	52.18	737.68
39	10	205.06	54.35	12.10	6.54	78.00	5694.13	3425.84	551.91	225.07	6692.64	643.63	479.49	6.159	52.47	740.89
39	20	206.84	54.42	12.22	6.54	77.99	5703.22	3442.07	556.49	226.86	6725.71	648.97	483.28	6.205	52.76	744.10
39	30	208.64	54.49	12.34	6.54	77.98	5712.31	3458.30	561.07	228.65	6758.78	654.31	487.07	6.251	53.05	747.31
39	40	210.46	54.56	12.46	6.54	77.97	5721.40	3474.53	565.65	230.44	6791.85	659.65	490.86	6.297	53.34	750.52
39	50	212.30	54.63	12.58	6.54	77.96	5730.49	3490.76	570.23	232.23	6824.92	664.99	494.65	6.343	53.63	753.73
40	10	214.06	54.70	12.70	6.54	77.95	5739.58	3507.00	574.81	234.02	6857.99	670.33	498.44	6.389	53.92	756.94
40	20	215.84	54.77	12.82	6.54	77.94	5748.67	3523.23	579.39	235.81	6891.06	675.67	502.23	6.435	54.21	760.15
40	30	217.64	54.84	12.94	6.54	77.93	5757.76	3539.46	583.97	237.60	6924.13	681.01	506.02	6.481	54.50	763.36
40	40	219.46	54.91	13.06	6.54	77.92	5766.85	3555.69	588.55	239.39	6957.20	686.35	509.81	6.527	54.79	766.57
40	50	221.30	54.98	13.18	6.54	77.91	5775.94	3571.92	593.13	241.18	6990.27	691.69	513.60	6.573	55.08	769.78

TABLA 7.A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					G = 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
40	142.64	52.15	9.24	8.67	97.96	7010.42	3656.19	647.42	608.06	6867.74	803.33	418.97	74.19	69.68	786.98
40	142.66	52.17	9.24	0.71	97.95	7019.51	3672.65	653.10	613.06	6875.05	806.67	420.86	74.84	70.25	790.11
40	141.47	52.19	9.32	0.74	97.93	7068.60	3689.20	659.80	618.09	6922.35	810.00	422.75	75.47	70.81	793.24
40	140.89	52.21	9.36	0.78	97.91	7097.68	3705.74	666.54	623.13	6979.63	813.33	424.64	76.15	71.41	796.37
40	140.32	52.23	9.41	0.81	97.90	7126.77	3722.28	673.28	628.20	7036.90	816.67	426.54	76.81	71.93	799.51
41	139.75	52.25	9.45	0.85	97.88	7155.86	3738.85	680.09	633.28	7094.16	820.00	428.44	77.47	72.57	802.62
41	139.18	52.27	9.49	0.88	97.86	7184.95	3751.44	687.92	638.38	7151.40	823.33	430.34	78.14	73.15	805.74
41	138.62	52.29	9.53	0.92	97.85	7214.04	3764.04	695.76	643.51	7208.62	826.67	432.24	78.81	73.74	808.86
41	138.06	52.31	9.58	0.96	97.83	7243.13	3776.67	703.64	648.65	7265.83	830.00	434.15	79.48	74.33	811.97
41	137.51	52.33	9.62	0.97	97.81	7272.22	3789.31	711.58	653.81	7323.07	833.33	436.06	80.16	74.93	815.09
41	136.96	52.35	9.66	0.93	97.79	7301.31	3802.97	719.54	658.99	7380.21	836.67	437.96	80.86	75.52	818.21
42	136.42	52.37	9.71	0.96	97.78	7330.39	3816.65	727.54	664.20	7437.37	840.00	439.88	81.53	76.11	821.32
42	135.88	52.39	9.75	1.00	97.76	7359.48	3830.34	735.54	669.42	7494.52	843.33	441.79	82.21	76.71	824.43
42	135.34	52.41	9.79	0.97	97.74	7388.57	3844.02	743.54	674.66	7551.67	846.67	443.70	82.90	77.31	827.54
42	134.81	52.43	9.83	0.97	97.72	7417.66	3857.79	751.58	679.92	7608.77	850.00	445.62	83.60	77.91	830.65
42	134.29	52.45	9.88	1.00	97.71	7446.75	3871.55	759.61	685.20	7665.87	853.33	447.54	84.29	78.52	833.75
42	133.76	52.47	9.92	0.94	97.69	7475.84	3885.32	767.62	690.51	7722.96	856.67	449.46	84.99	79.13	836.86
42	133.25	52.49	9.96	0.92	97.67	7504.93	3899.11	775.64	695.83	7780.09	860.00	451.39	85.70	79.74	839.96
43	132.73	52.51	10.01	0.91	97.65	7534.02	3912.92	783.67	701.17	7837.13	863.33	453.31	86.41	80.35	843.06
43	132.22	52.53	10.05	0.98	97.64	7563.11	3926.75	791.70	706.53	7894.13	866.67	455.22	87.16	80.96	846.16
43	131.71	52.55	10.10	0.98	97.62	7592.20	3940.60	799.73	711.91	7951.16	870.00	457.17	87.93	81.58	849.25
43	131.21	52.57	10.14	0.91	97.60	7621.28	3954.47	807.73	717.31	8008.20	873.33	459.11	88.75	82.20	852.35
43	130.71	52.59	10.18	0.95	97.58	7650.37	3968.36	815.72	722.72	8065.24	876.67	461.04	89.27	82.82	855.44
44	130.22	52.61	10.23	0.98	97.56	7679.46	3982.27	823.74	728.16	8122.24	880.00	462.98	89.99	83.44	858.53
44	129.73	52.63	10.27	0.92	97.54	7708.55	3996.20	831.79	733.62	8179.24	883.33	464.92	90.72	84.06	861.62
44	129.24	52.65	10.31	0.95	97.52	7737.64	4010.14	839.80	739.10	8236.24	886.67	466.86	91.48	84.68	864.71
44	128.75	52.67	10.36	0.97	97.51	7766.73	4024.09	847.83	744.60	8293.24	890.00	468.81	92.19	85.32	867.80
44	128.27	52.70	10.40	0.92	97.49	7795.82	4038.06	855.84	750.11	8350.24	893.33	470.75	92.93	85.96	870.88
44	127.80	52.72	10.45	0.96	97.47	7824.91	4052.05	863.87	755.65	8407.24	896.67	472.70	93.67	86.59	873.96
45	127.32	52.74	10.49	0.97	97.45	7854.00	4066.04	871.91	761.17	8464.24	900.00	474.65	94.41	87.23	877.04
45	126.85	52.76	10.53	0.97	97.43	7883.08	4080.04	879.96	766.78	8521.24	903.33	476.59	95.16	87.87	880.12
45	126.39	52.78	10.58	0.96	97.41	7912.17	4094.05	888.00	772.38	8578.24	906.67	478.56	95.92	88.51	883.20
45	125.92	52.80	10.62	0.90	97.39	7941.27	4108.06	896.05	777.99	8635.24	910.00	480.52	96.67	89.15	886.28
45	125.46	52.83	10.67	0.93	97.37	7970.35	4122.08	904.10	783.63	8692.24	913.33	482.48	97.43	89.80	889.35
45	125.01	52.85	10.71	0.87	97.35	7999.44	4136.10	912.15	789.28	8749.24	916.67	484.45	98.19	90.44	892.42
46	124.56	52.88	10.76	0.90	97.32	8028.52	4150.14	920.20	794.94	8806.24	920.00	486.42	99.01	91.09	895.49
46	124.11	52.90	10.80	0.96	97.30	8057.62	4164.19	928.25	800.65	8863.24	923.33	488.38	99.73	91.75	898.56
46	123.66	52.92	10.85	0.97	97.30	8086.71	4178.24	936.28	806.40	8920.24	926.67	490.35	100.51	92.40	901.62
46	123.22	52.94	10.91	0.91	97.28	8115.80	4192.30	944.31	812.19	8977.24	930.00	492.32	101.28	93.06	904.69
46	122.78	52.96	10.94	0.94	97.26	8144.88	4206.36	952.34	818.01	9034.24	933.33	494.30	102.06	93.71	907.75
46	122.34	52.98	10.98	0.97	97.24	8173.97	4220.42	960.37	823.84	9091.24	936.67	496.28	102.85	94.38	910.81
47	121.91	53.01	11.03	0.97	97.22	8203.06	4234.48	968.40	829.71	9148.24	940.00	498.26	103.64	95.04	913.88
47	121.47	53.03	11.07	0.95	97.20	8232.15	4248.54	976.43	835.54	9205.24	943.33	500.24	104.43	95.71	916.93
47	121.03	53.05	11.12	0.98	97.19	8261.24	4262.60	984.46	841.40	9262.24	946.67	502.23	105.23	96.38	920.01
47	120.60	53.08	11.16	0.92	97.16	8290.33	4276.66	992.49	847.28	9319.24	950.00	504.21	106.03	97.05	923.07
47	120.17	53.11	11.21	0.28	97.15	8319.42	4290.72	1000.52	853.17	9376.24	953.33	506.19	106.83	97.72	926.08
47	119.75	53.12	11.25	0.97	97.12	8348.51	4304.78	1008.55	859.09	9433.24	956.67	508.16	107.63	98.39	929.11
48	119.32	53.15	11.30	1.02	97.10	8377.60	4318.84	1016.58	865.05	9490.24	960.00	510.19	108.44	99.07	932.17
48	118.90	53.17	11.34	0.95	97.08	8406.68	4332.90	1024.61	871.01	9547.24	963.33	512.19	109.26	99.75	935.22
48	118.48	53.19	11.39	0.99	97.06	8435.77	4346.96	1032.64	877.02	9604.24	966.67	514.19	110.08	100.43	938.26
48	118.06	53.22	11.44	0.92	97.04	8464.86	4361.02	1040.67	883.08	9661.24	970.00	516.20	110.90	101.11	941.30
48	117.65	53.24	11.48	0.96	97.02	8493.95	4375.08	1048.70	889.17	9718.24	973.33	518.20	111.72	101.80	944.34
48	117.23	53.26	11.52	0.97	97.00	8523.04	4389.14	1056.73	895.26	9775.24	976.67	520.21	112.55	102.49	947.37
49	116.83	53.29	11.57	0.93	96.98	8552.13	4403.20	1064.76	901.34	9832.24	980.00	522.22	113.39	103.18	950.41
49	116.43	53.31	11.62	0.96	96.96	8581.22	4417.26	1072.79	907.43	9889.24	983.33	524.24	114.22	103.87	953.44
49	116.03	53.34	11.66	0.90	96.94	8610.31	4431.32	1080.82	913.52	9946.24	986.67	526.25	115.06	104.56	956.48
49	115.63	53.36	11.71	0.97	96.92	8639.40	4445.38	1088.85	919.61	10003.24	990.00	528.27	115.91	105.26	959.50
49	115.23	53.39	11.75	0.91	96.90	8668.48	4459.44	1096.88	925.70	10060.24	993.33	530.29	116.77	105.96	962.52
49	114.83	53.41	11.80	0.70	96.88	8697.57	4473.50	1104.91	931.79	10117.24	996.67	532.32	117.61	106.66	965.55
50	114.43	53.43	11.85	0.74	96.86	8726.66	4487.56	1112.94	937.78	10174.24	1000.00	534.35	118.46	107.36	968.57

TABLA 7-A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					G = 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
30	114.21	53.46	11.89	10.77	96.84	8755.75	4680.80	1041.28	943.08	8478.73	1003.33	536.38	119.32	108.07	971.59
30	114.83	53.48	11.90	10.81	96.82	8788.84	4698.55	1048.81	945.26	8505.07	1008.67	538.41	120.15	108.74	974.61
30	115.46	53.51	11.91	10.84	96.79	8831.93	4716.32	1056.38	945.45	8531.39	1010.00	540.42	121.05	109.49	977.62
30	116.08	53.53	12.03	10.87	96.77	8884.02	4744.11	1063.99	961.66	8557.69	1013.33	542.49	121.92	110.20	980.64
30	116.71	53.56	12.08	10.91	96.75	8872.11	4751.92	1071.61	967.90	8583.97	1016.67	544.53	122.80	110.93	983.65
30	117.34	53.59	12.13	10.94	96.73	8901.20	4769.76	1079.28	974.15	8610.23	1020.00	546.57	123.68	111.63	986.66
30	117.97	53.61	12.17	10.98	96.71	8930.29	4787.63	1086.99	980.42	8636.48	1023.33	548.62	124.56	112.35	989.67
30	118.60	53.64	12.22	11.01	96.69	8959.37	4805.53	1094.72	986.71	8662.71	1026.67	550.67	125.45	113.07	992.67
30	119.23	53.66	12.27	11.05	96.67	8988.46	4823.43	1102.50	993.02	8688.92	1030.00	552.72	126.33	113.79	995.67
30	119.86	53.69	12.31	11.08	96.65	9017.55	4841.37	1110.31	999.35	8715.11	1033.33	554.78	127.23	114.52	998.68
30	120.49	53.71	12.36	11.12	96.62	9046.64	4859.34	1118.14	1005.70	8741.28	1036.67	556.80	128.10	115.24	1001.67
30	121.12	53.74	12.41	11.15	96.60	9075.73	4877.34	1126.02	1012.06	8767.44	1040.00	558.90	128.98	115.97	1004.67
30	121.75	53.77	12.45	11.19	96.58	9104.82	4895.35	1133.93	1018.35	8793.57	1043.33	560.96	129.86	116.71	1007.67
30	122.38	53.79	12.50	11.22	96.56	9133.91	4913.39	1141.87	1024.65	8819.69	1046.67	563.03	130.75	117.44	1010.66
30	123.01	53.82	12.55	11.25	96.54	9163.00	4931.46	1149.85	1031.28	8845.79	1050.00	565.10	131.65	118.19	1013.65
30	123.64	53.85	12.60	11.29	96.52	9192.08	4949.56	1157.87	1037.72	8871.87	1053.33	567.18	132.60	118.93	1016.64
30	124.27	53.90	12.69	11.36	96.47	9250.16	4985.15	1174.00	1050.66	8923.97	1060.00	571.33	134.53	120.43	1022.61
30	124.90	53.93	12.74	11.39	96.45	9279.25	5000.00	1182.13	1057.10	8949.99	1063.33	573.41	135.46	121.16	1025.59
30	125.53	53.95	12.79	11.43	96.43	9308.34	5022.20	1190.28	1063.68	8976.00	1066.67	575.50	136.40	121.91	1028.57
30	126.16	53.98	12.84	11.46	96.41	9337.43	5046.67	1198.47	1070.21	9002.01	1070.00	577.58	137.34	122.64	1031.55
30	126.79	54.03	12.93	11.53	96.36	9395.51	5076.96	1214.76	1083.34	9053.89	1076.67	581.77	139.22	124.39	1037.52
30	127.42	54.06	12.98	11.56	96.34	9424.60	5095.26	1223.26	1089.94	9079.82	1080.00	583.87	140.17	125.10	1040.47
30	128.05	54.09	13.03	11.60	96.32	9453.68	5113.60	1231.59	1096.55	9105.73	1083.33	585.97	141.13	125.86	1043.44
30	128.68	54.12	13.08	11.63	96.29	9482.77	5132.05	1239.97	1103.18	9131.62	1086.67	588.08	142.09	126.62	1046.41
30	129.31	54.17	13.17	11.70	96.25	9541.85	5188.77	1256.82	1116.50	9183.34	1093.33	592.30	144.02	127.89	1052.33
30	129.94	54.20	13.22	11.74	96.23	9570.94	5218.21	1265.31	1123.19	9209.17	1096.67	594.41	144.99	128.71	1055.29
30	130.57	54.23	13.27	11.77	96.20	9599.03	5250.68	1273.82	1129.90	9234.99	1100.00	596.53	145.97	129.48	1058.25
30	131.20	54.26	13.32	11.80	96.18	9628.12	5282.18	1282.38	1136.62	9260.78	1103.33	598.65	146.95	130.25	1061.20
30	131.83	54.29	13.37	11.84	96.16	9657.21	5312.71	1290.97	1143.35	9286.55	1106.67	600.77	147.93	131.02	1064.16
30	132.46	54.31	13.42	11.87	96.14	9686.30	5341.26	1299.59	1150.01	9312.20	1110.00	602.90	148.92	131.77	1067.11
30	133.09	54.34	13.47	11.91	96.11	9715.39	5370.85	1308.26	1156.91	9338.04	1113.33	605.02	149.92	132.57	1070.06
30	133.72	54.37	13.51	11.94	96.09	9744.48	5400.48	1316.96	1163.71	9363.75	1116.67	607.16	150.91	133.35	1073.00
30	134.35	54.40	13.56	11.98	96.07	9773.57	5431.11	1325.70	1170.53	9389.45	1120.00	609.29	151.91	134.13	1075.95
30	134.98	54.43	13.61	12.01	96.04	9802.66	5462.74	1334.48	1174.36	9415.12	1123.33	611.43	152.92	134.92	1078.89
30	135.61	54.46	13.66	12.05	96.02	9831.75	5494.39	1343.26	1178.17	9440.77	1126.67	613.56	153.93	135.72	1081.84
30	136.24	54.49	13.71	12.08	96.00	9860.84	5527.06	1352.15	1181.00	9466.44	1130.00	615.72	154.96	136.49	1084.77
30	136.87	54.52	13.76	12.11	95.97	9889.93	5560.76	1361.04	1183.79	9492.02	1133.33	617.87	155.96	137.22	1087.70
30	137.50	54.55	13.81	12.15	95.95	9919.02	5600.00	1370.94	1204.90	9517.61	1136.67	620.02	156.97	138.07	1090.64
30	138.13	54.58	13.86	12.18	95.93	9948.11	5642.57	1379.96	1216.93	9543.19	1140.00	622.18	158.01	138.87	1093.58
30	138.76	54.61	13.91	12.22	95.91	9977.20	5687.39	1389.07	1228.94	9568.74	1143.33	624.36	159.03	139.69	1096.47
30	139.39	54.64	13.96	12.25	95.88	10006.29	5734.48	1398.28	1241.00	9594.27	1146.67	626.57	160.00	140.46	1099.42
30	140.02	54.67	14.01	12.28	95.86	10035.38	5783.80	1407.56	1253.14	9619.77	1150.00	628.81	161.02	141.26	1102.34
30	140.65	54.70	14.06	12.32	95.83	10064.47	5835.33	1417.05	1265.24	9645.25	1153.33	631.04	162.17	142.06	1105.26
30	141.28	54.73	14.11	12.35	95.81	10093.56	5889.00	1426.64	1277.38	9670.75	1156.67	633.31	163.22	142.87	1108.18
30	141.91	54.76	14.16	12.39	95.78	10122.65	5943.80	1436.34	1289.51	9696.21	1160.00	635.59	164.27	143.64	1111.10
30	142.54	54.79	14.21	12.42	95.76	10151.74	5999.73	1446.14	1301.70	9721.70	1163.33	637.87	165.31	144.44	1114.01
30	143.17	54.82	14.26	12.45	95.74	10180.83	6056.80	1456.04	1313.95	9747.19	1166.67	640.17	166.39	145.20	1116.93
30	143.80	54.85	14.31	12.49	95.71	10210.00	6115.00	1466.04	1326.24	9772.63	1170.00	642.47	167.46	146.01	1119.84
30	144.43	54.88	14.36	12.52	95.69	10239.28	6174.37	1476.17	1338.58	9797.81	1173.33	644.79	168.53	146.82	1122.74
30	145.06	54.91	14.41	12.56	95.66	10268.56	6234.85	1486.42	1350.99	9823.16	1176.67	647.13	169.61	147.74	1125.65
30	145.69	54.94	14.46	12.59	95.64	10297.84	6296.44	1496.77	1363.46	9848.48	1180.00	649.48	170.70	148.64	1128.55
30	146.32	54.97	14.52	12.62	95.62	10327.12	6359.15	1507.20	1376.01	9873.79	1183.33	651.83	171.78	149.58	1131.45
30	146.95	55.01	14.57	12.66	95.59	10356.40	6422.98	1517.74	1388.61	9899.07	1186.67	654.19	172.87	150.51	1134.36
30	147.58	55.04	14.62	12.70	95.57	10385.68	6487.94	1528.38	1401.27	9924.34	1190.00	656.54	173.96	151.43	1137.26
30	148.21	55.07	14.67	12.73	95.54	10414.96	6554.03	1539.12	1414.00	9949.59	1193.33	658.89	175.06	152.35	1140.16
30	148.84	55.10	14.72	12.76	95.52	10444.24	6621.24	1550.00	1426.78	9974.81	1196.67	661.19	176.16	153.27	1143.03
30	149.47	55.13	14.77	12.79	95.49	10473.52	6689.57	1560.96	1439.61	10000.00	1200.00	663.59	177.27	154.19	1145.91

TABLA 7-A ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					G = 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
60	95.22	55.16	4.02	12.83	95.47	10501.09	5792.92	1556.72	1347.03	10025.19	1203.33	663.82	78.50	154.36	1140.80
60	95.97	55.20	4.88	12.86	95.44	10533.07	5812.36	1566.48	1354.33	10050.35	1206.67	666.05	79.59	155.19	1141.68
60	94.70	55.23	4.93	12.90	95.42	10559.26	5811.83	1576.28	1361.66	10075.48	1210.00	668.28	80.63	156.03	1142.56
60	94.18	55.26	4.98	12.93	95.39	10585.35	5811.34	1586.12	1368.99	10100.61	1213.33	670.51	81.77	156.87	1143.44
60	94.18	55.26	5.03	12.96	95.37	10611.44	5810.89	1596.00	1376.34	10125.75	1216.67	672.75	82.89	157.72	1144.32
61	93.93	55.33	5.08	13.00	95.34	10646.53	5810.46	1605.92	1383.71	10150.88	1220.00	675.00	84.02	158.56	1145.19
61	93.67	55.36	5.14	13.03	95.32	10675.62	5810.06	1615.89	1391.10	10175.83	1223.33	677.24	85.17	159.41	1146.06
61	93.42	55.39	5.19	13.06	95.29	10704.71	5809.67	1625.89	1398.51	10200.87	1226.67	679.49	86.33	160.26	1146.93
61	93.16	55.43	5.24	13.10	95.27	10733.80	5809.29	1635.94	1405.94	10225.86	1230.00	681.75	87.46	161.11	1147.80
61	92.91	55.46	5.29	13.13	95.25	10762.89	5808.90	1646.03	1413.39	10250.86	1233.33	684.00	88.62	161.95	1148.66
61	92.65	55.49	5.35	13.17	95.22	10791.97	5808.54	1656.16	1420.85	10275.83	1236.67	686.27	89.78	162.82	1149.52
62	92.41	55.53	5.40	13.20	95.19	10821.06	5808.21	1666.34	1428.34	10300.77	1240.00	688.53	90.95	163.67	1150.38
62	92.16	55.56	5.45	13.23	95.17	10850.15	5807.84	1676.55	1435.83	10325.69	1243.33	690.80	92.12	164.53	1151.23
62	91.92	55.59	5.50	13.27	95.14	10879.24	5807.50	1686.81	1443.35	10350.60	1246.67	693.08	93.29	165.40	1152.09
62	91.67	55.63	5.56	13.30	95.12	10908.33	5807.18	1697.11	1450.89	10375.48	1250.00	695.36	94.47	166.26	1152.94
62	91.43	55.66	5.61	13.33	95.09	10937.42	5806.87	1707.46	1458.44	10400.34	1253.33	697.64	95.66	167.12	1153.79
62	91.19	55.70	5.66	13.37	95.06	10966.51	5806.57	1717.84	1466.01	10425.17	1256.67	699.93	96.85	167.99	1154.63
63	90.95	55.73	5.72	13.40	95.04	10995.59	5806.28	1728.28	1473.60	10449.99	1260.00	702.22	98.05	168.86	1155.47
63	90.71	55.77	5.77	13.44	95.01	11024.68	5805.99	1738.76	1481.21	10474.78	1263.33	704.51	99.27	169.71	1156.31
63	90.47	55.80	5.83	13.47	94.99	11053.77	5805.74	1749.28	1488.84	10499.55	1266.67	706.81	100.49	170.57	1157.14
63	90.23	55.83	5.88	13.50	94.95	11082.86	5805.50	1759.83	1496.48	10524.29	1270.00	709.11	101.74	171.43	1157.97
63	89.99	55.87	5.93	13.54	94.93	11111.95	5805.27	1770.44	1504.14	10549.02	1273.33	711.42	102.89	172.30	1158.80
63	89.76	55.91	5.99	13.57	94.91	11141.04	5805.04	1781.09	1511.82	10573.71	1276.67	713.73	104.10	173.17	1159.63
64	89.52	55.94	6.04	13.60	94.88	11170.13	5804.81	1791.78	1519.52	10598.40	1280.00	716.05	105.32	174.02	1160.46
64	89.29	55.98	6.10	13.64	94.86	11199.24	5804.59	1802.53	1527.24	10623.08	1283.33	718.37	106.55	174.87	1161.29
64	89.06	56.01	6.15	13.67	94.83	11228.35	5804.37	1813.31	1534.97	10647.75	1286.67	720.69	107.79	175.71	1162.11
64	88.83	56.05	6.20	13.70	94.80	11257.46	5804.16	1824.13	1542.73	10672.30	1290.00	723.02	109.00	176.56	1162.94
64	88.60	56.08	6.26	13.74	94.78	11286.57	5803.95	1835.00	1550.49	10696.97	1293.33	725.35	110.21	177.41	1163.77
64	88.37	56.12	6.31	13.77	94.75	11315.68	5803.74	1845.92	1558.28	10721.66	1296.67	727.67	111.43	178.26	1164.59
65	88.15	56.16	6.37	13.80	94.72	11344.79	5803.54	1856.89	1566.09	10746.31	1300.00	730.00	112.64	179.11	1165.41
65	87.92	56.20	6.42	13.83	94.70	11373.90	5803.34	1867.91	1573.94	10770.95	1303.33	732.31	113.85	180.00	1166.23
65	87.69	56.23	6.48	13.87	94.67	11403.01	5803.15	1878.96	1581.81	10795.62	1306.67	734.62	115.07	180.86	1167.04
65	87.47	56.27	6.53	13.91	94.64	11432.12	5802.96	1890.06	1589.69	10820.30	1310.00	736.93	116.29	181.71	1167.85
65	87.25	56.30	6.59	13.94	94.62	11461.23	5802.78	1901.21	1597.61	10845.05	1313.33	739.24	117.50	182.56	1168.66
65	87.03	56.34	6.64	13.97	94.59	11490.34	5802.61	1912.39	1605.59	10869.78	1316.67	741.54	118.71	183.41	1169.47
66	86.81	56.38	6.70	14.01	94.56	11519.45	5802.44	1923.62	1613.64	10894.52	1320.00	743.84	120.00	184.26	1170.28
66	86.59	56.42	6.76	14.04	94.54	11548.56	5802.28	1934.89	1621.83	10919.27	1323.33	746.14	121.29	185.11	1171.09
66	86.38	56.45	6.81	14.07	94.51	11577.67	5802.12	1946.21	1629.16	10944.00	1326.67	748.44	122.58	185.96	1171.90
66	86.16	56.49	6.87	14.11	94.48	11606.78	5801.97	1957.57	1636.54	10968.75	1330.00	750.74	123.87	186.81	1172.71
66	85.94	56.53	6.92	14.14	94.45	11635.89	5801.82	1968.96	1644.03	10993.50	1333.33	753.04	125.16	187.66	1173.52
66	85.73	56.56	6.98	14.17	94.43	11664.99	5801.67	1980.37	1651.53	11018.25	1336.67	755.34	126.45	188.51	1174.33
67	85.52	56.60	7.03	14.21	94.40	11694.10	5801.52	1991.82	1659.09	11043.00	1340.00	757.64	127.74	189.36	1175.14
67	85.31	56.64	7.09	14.24	94.37	11723.21	5801.37	2003.32	1666.69	11067.75	1343.33	760.00	129.00	190.21	1175.95
67	85.10	56.68	7.15	14.27	94.34	11752.32	5801.22	2014.84	1674.24	11092.50	1346.67	762.37	130.29	191.06	1176.76
67	84.88	56.72	7.20	14.31	94.32	11781.43	5801.07	2026.40	1681.85	11117.25	1350.00	764.74	131.57	191.91	1177.57
67	84.67	56.76	7.26	14.34	94.29	11810.54	5800.92	2038.01	1689.40	11142.00	1353.33	767.09	132.86	192.76	1178.38
67	84.47	56.79	7.32	14.37	94.26	11839.65	5800.77	2049.66	1697.03	11166.75	1356.67	769.44	134.14	193.61	1179.19
68	84.26	56.83	7.38	14.41	94.23	11868.76	5800.62	2061.34	1704.71	11191.50	1360.00	771.79	135.43	194.46	1180.00
68	84.05	56.87	7.43	14.44	94.21	11897.87	5800.47	2073.06	1712.44	11216.25	1363.33	774.14	136.71	195.31	1180.81
68	83.85	56.91	7.49	14.47	94.19	11926.98	5800.32	2084.81	1720.24	11241.00	1366.67	776.49	137.99	196.16	1181.62
68	83.64	56.95	7.55	14.50	94.15	11956.09	5800.17	2096.60	1728.09	11265.75	1370.00	778.84	139.28	197.01	1182.43
68	83.44	56.99	7.61	14.54	94.12	11985.20	5800.02	2108.42	1735.94	11290.50	1373.33	781.19	140.57	197.86	1183.24
68	83.24	57.03	7.66	14.57	94.09	12014.31	5800.17	2120.28	1743.83	11315.25	1376.67	783.54	141.86	198.71	1184.05
69	83.04	57.07	7.72	14.60	94.07	12043.42	5800.12	2132.17	1751.78	11340.00	1380.00	785.89	143.15	199.56	1184.86
69	82.84	57.11	7.78	14.64	94.04	12072.53	5800.07	2144.09	1759.79	11364.75	1383.33	788.24	144.44	200.41	1185.67
69	82.64	57.15	7.83	14.68	94.01	12101.64	5800.02	2156.04	1767.84	11389.50	1386.67	790.59	145.73	201.26	1186.48
69	82.44	57.19	7.90	14.72	93.98	12130.75	5800.00	2168.02	1775.94	11414.25	1390.00	792.94	147.02	202.11	1187.29
69	82.24	57.23	7.95	14.74	93.95	12159.86	5800.00	2180.02	1784.09	11439.00	1393.33	795.29	148.31	202.96	1188.10
69	82.05	57.27	8.01	14.77	93.92	12188.97	5800.00	2192.04	1792.28	11463.75	1396.67	797.64	149.60	203.81	1188.91
69	81.85	57.31	8.07	14.80	93.90	12218.08	5800.00	2204.09	1800.45	11488.50	1400.00	800.00	150.89	204.66	1189.72

TABLA 7-A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					G = 1 GRADO				
	R	S1	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
70 10	81.66	57.35	18.13	4.84	93.87	2246.42	7023.79	2220.72	1816.84	11495.36	403.33	809.86	256.42	208.19	317.27
70 20	81.46	57.39	18.19	4.87	93.87	2275.54	7045.53	2219.28	1833.59	11519.92	406.07	807.36	257.05	209.11	318.99
70 30	81.27	57.44	18.31	4.90	93.81	2304.59	7067.31	2217.28	1850.39	11542.92	410.00	805.85	257.77	210.00	320.72
70 40	81.08	57.48	18.31	4.91	93.78	2333.68	7089.17	2215.09	1867.19	11566.66	413.33	804.33	258.53	210.84	322.46
70 50	80.89	57.52	18.37	4.93	93.75	2362.77	7111.02	2212.70	1884.01	11590.37	416.67	802.81	259.33	211.64	324.20
70 60	80.70	57.56	18.43	4.95	93.72	2391.86	7132.94	2210.23	1900.85	11614.07	420.00	801.28	260.16	212.40	325.95
70 70	80.51	57.60	18.49	4.97	93.69	2420.95	7154.94	2207.69	1917.74	11637.75	423.33	800.75	261.02	213.13	327.70
71 10	80.32	57.65	18.55	4.99	93.67	2450.04	7177.01	2205.07	1934.67	11661.43	426.67	800.22	261.91	213.83	329.45
71 20	80.13	57.69	18.60	5.01	93.64	2479.13	7199.18	2202.39	1951.64	11685.10	430.00	800.69	262.82	214.51	331.20
71 30	79.95	57.73	18.67	5.03	93.61	2508.23	7221.43	2200.65	1968.66	11708.80	433.33	800.16	263.75	215.17	332.95
71 40	79.76	57.77	18.73	5.05	93.58	2537.33	7243.74	2198.85	1985.73	11732.48	436.67	800.63	264.70	215.82	334.70
71 50	79.58	57.82	18.79	5.07	93.55	2566.43	7266.12	2197.01	2002.85	11756.17	440.00	800.10	265.67	216.46	336.45
71 60	79.39	57.86	18.85	5.09	93.52	2595.53	7288.57	2195.14	2019.93	11779.84	443.33	800.57	266.66	217.09	338.20
72 10	79.21	57.90	18.91	5.11	93.49	2624.63	7311.09	2193.24	2037.06	11803.51	446.67	800.04	267.66	217.71	339.95
72 20	79.03	57.95	18.97	5.13	93.46	2653.73	7333.68	2191.31	2054.23	11827.18	450.00	800.51	268.67	218.33	341.70
72 30	78.85	57.99	19.03	5.15	93.43	2682.83	7356.32	2189.36	2071.44	11850.84	453.33	800.98	269.69	218.94	343.45
72 40	78.67	58.03	19.09	5.17	93.40	2711.93	7379.03	2187.39	2088.69	11874.49	456.67	801.45	270.72	219.54	345.20
72 50	78.49	58.08	19.15	5.19	93.37	2741.03	7401.81	2185.40	2105.98	11898.14	460.00	801.92	271.76	220.13	346.95
73 10	78.31	58.12	19.21	5.21	93.34	2770.13	7424.64	2183.39	2123.32	11921.79	463.33	802.39	272.81	220.71	348.70
73 20	78.13	58.17	19.27	5.23	93.31	2800.23	7447.53	2181.36	2140.71	11945.44	466.67	802.86	273.87	221.28	350.45
73 30	77.95	58.21	19.33	5.25	93.28	2830.33	7470.48	2179.32	2158.14	11969.09	470.00	803.33	274.93	221.84	352.20
73 40	77.77	58.26	19.39	5.27	93.25	2860.43	7493.49	2177.30	2175.61	11992.74	473.33	803.80	276.00	222.39	353.95
73 50	77.60	58.30	19.46	5.29	93.22	2890.53	7516.54	2175.26	2193.12	12016.39	476.67	804.27	277.07	222.93	355.70
74 10	77.42	58.35	19.52	5.31	93.19	2920.63	7539.63	2173.21	2210.67	12040.04	480.00	804.74	278.14	223.47	357.45
74 20	77.25	58.39	19.58	5.33	93.16	2950.73	7562.78	2171.14	2228.26	12063.69	483.33	805.21	279.21	224.00	359.20
74 30	77.07	58.44	19.65	5.35	93.13	2980.83	7585.97	2169.06	2245.89	12087.34	486.67	805.68	280.28	224.52	360.95
74 40	76.90	58.48	19.71	5.37	93.10	3010.93	7609.22	2167.97	2263.56	12110.99	490.00	806.15	281.35	225.04	362.70
74 50	76.72	58.53	19.77	5.39	93.07	3041.03	7632.53	2166.87	2281.27	12134.64	493.33	806.62	282.42	225.56	364.45
75 10	76.55	58.57	19.84	5.41	93.04	3071.13	7655.89	2165.76	2299.01	12158.29	496.67	807.09	283.49	226.07	366.20
75 20	76.37	58.62	19.90	5.43	93.01	3101.23	7679.28	2164.64	2316.78	12181.94	500.00	807.56	284.56	226.58	367.95
75 30	76.20	58.67	19.96	5.45	92.98	3131.33	7702.73	2163.52	2334.59	12205.59	503.33	808.03	285.63	227.09	369.70
75 40	76.02	58.71	20.02	5.47	92.95	3161.43	7726.24	2162.40	2352.44	12229.24	506.67	808.50	286.70	227.60	371.45
75 50	75.85	58.76	20.09	5.49	92.92	3191.53	7749.81	2161.28	2370.32	12252.89	510.00	808.97	287.77	228.11	373.20
76 10	75.67	58.81	20.15	5.51	92.89	3221.63	7773.44	2160.16	2388.23	12276.54	513.33	809.44	288.84	228.62	374.95
76 20	75.50	58.85	20.22	5.53	92.86	3251.73	7797.13	2159.04	2406.17	12300.19	516.67	809.91	289.91	229.13	376.70
76 30	75.33	58.90	20.29	5.55	92.83	3281.83	7820.88	2157.92	2424.14	12323.84	520.00	810.38	290.98	229.64	378.45
76 40	75.15	58.94	20.36	5.57	92.80	3311.93	7844.69	2156.80	2442.14	12347.49	523.33	810.85	292.05	230.15	380.20
76 50	74.98	59.00	20.43	5.59	92.77	3342.03	7868.54	2155.68	2460.17	12371.14	526.67	811.32	293.12	230.66	381.95
77 10	74.80	59.04	20.49	5.61	92.74	3372.13	7892.43	2154.56	2478.24	12394.79	530.00	811.79	294.19	231.17	383.70
77 20	74.63	59.09	20.56	5.63	92.71	3402.23	7916.38	2153.44	2496.34	12418.44	533.33	812.26	295.26	231.68	385.45
77 30	74.45	59.14	20.63	5.65	92.68	3432.33	7940.39	2152.32	2514.47	12442.09	536.67	812.73	296.33	232.19	387.20
77 40	74.28	59.19	20.70	5.67	92.65	3462.43	7964.44	2151.20	2532.64	12465.74	540.00	813.20	297.40	232.70	388.95
77 50	74.10	59.24	20.77	5.69	92.62	3492.53	7988.54	2150.08	2550.84	12489.39	543.33	813.67	298.47	233.21	390.70
78 10	73.93	59.29	20.84	5.71	92.59	3522.63	8012.69	2148.96	2569.07	12513.04	546.67	814.14	299.54	233.72	392.45
78 20	73.75	59.34	20.91	5.73	92.56	3552.73	8036.88	2147.84	2587.34	12536.69	550.00	814.61	300.61	234.23	394.20
78 30	73.58	59.39	20.98	5.75	92.53	3582.83	8061.03	2146.72	2605.64	12560.34	553.33	815.08	301.68	234.74	395.95
78 40	73.40	59.44	21.05	5.77	92.50	3612.93	8085.24	2145.60	2623.97	12583.99	556.67	815.55	302.75	235.25	397.70
78 50	73.23	59.49	21.12	5.79	92.47	3643.03	8109.51	2144.48	2642.34	12607.64	560.00	816.02	303.82	235.76	399.45
79 10	73.05	59.54	21.19	5.81	92.44	3673.13	8133.84	2143.36	2660.74	12631.29	563.33	816.49	304.89	236.27	401.20
79 20	72.88	59.59	21.26	5.83	92.41	3703.23	8158.23	2142.24	2679.17	12654.94	566.67	816.96	305.96	236.78	402.95
79 30	72.70	59.64	21.33	5.85	92.38	3733.33	8182.68	2141.12	2697.64	12678.59	570.00	817.43	307.03	237.29	404.70
79 40	72.53	59.69	21.40	5.87	92.35	3763.43	8207.19	2140.00	2716.14	12702.24	573.33	817.90	308.10	237.80	406.45
79 50	72.35	59.74	21.47	5.89	92.32	3793.53	8231.76	2138.88	2734.67	12725.89	576.67	818.37	309.17	238.31	408.20
79 60	72.18	59.79	21.54	5.91	92.29	3823.63	8256.39	2137.76	2753.24	12749.54	580.00	818.84	310.24	238.82	409.95
79 70	72.00	59.84	21.61	5.93	92.26	3853.73	8281.08	2136.64	2771.84	12773.19	583.33	819.31	311.31	239.33	411.70
79 80	71.83	59.89	21.68	5.95	92.23	3883.83	8305.83	2135.52	2790.47	12796.84	586.67	819.78	312.38	239.84	413.45
79 90	71.65	59.94	21.75	5.97	92.20	3913.93	8330.64	2134.40	2809.14	12820.49	590.00	820.25	313.45	240.35	415.20
80 00	71.48	60.00	21.82	5.99	92.17	3944.03	8355.51	2133.28	2827.84	12844.14	593.33	820.72	314.52	240.86	416.95

TABLA 7-A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000 M					G = 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
80	71.47	60.15	21.94	6.79	92.04	13991.75	8415.83	3070.05	2348.92	12878.04	1603.33	964.38	351.80	269.17	1475.71
80	71.32	60.20	21.91	6.82	92.01	14020.48	8440.70	3088.07	2358.29	12900.28	1606.67	967.23	353.64	270.24	1478.26
80	71.17	60.25	21.88	6.85	91.98	14049.93	8465.65	3102.18	2367.68	12922.50	1610.00	970.09	355.48	271.32	1480.81
80	71.03	60.31	22.15	6.88	91.94	14079.02	8490.64	3118.34	2377.09	12944.69	1613.33	972.95	357.33	272.39	1483.35
80	70.88	60.36	22.22	6.92	91.91	14108.11	8515.70	3134.57	2386.51	12966.84	1616.67	975.83	359.17	273.47	1485.89
81	70.74	60.41	22.29	6.95	91.88	14137.20	8540.82	3150.87	2395.95	12988.98	1620.00	978.70	361.05	274.55	1488.42
81	70.59	60.47	22.36	6.98	91.85	14166.28	8566.01	3167.25	2405.40	13011.08	1623.33	981.59	362.94	275.64	1490.96
81	70.45	60.52	22.43	7.01	91.81	14195.37	8591.26	3183.69	2414.87	13033.16	1626.67	984.68	364.82	276.72	1493.49
81	70.30	60.58	22.50	7.04	91.78	14224.46	8616.56	3200.20	2424.36	13055.21	1630.00	987.38	366.71	277.81	1496.01
81	70.16	60.63	22.57	7.08	91.75	14253.55	8641.95	3216.77	2433.86	13077.24	1633.33	990.29	368.61	278.90	1498.54
81	70.02	60.68	22.64	7.11	91.71	14282.64	8667.38	3233.42	2443.38	13099.23	1636.67	993.13	370.52	279.99	1501.06
82	69.87	60.74	22.71	7.14	91.68	14311.73	8692.89	3250.14	2452.91	13121.20	1640.00	996.06	372.44	281.08	1503.59
82	69.73	60.79	22.78	7.17	91.65	14340.82	8718.46	3266.93	2462.46	13143.14	1643.33	999.06	374.36	282.18	1506.09
82	69.59	60.85	22.85	7.20	91.62	14369.91	8744.09	3283.79	2472.03	13165.05	1646.67	1002.00	376.29	283.27	1508.60
82	69.45	60.91	22.92	7.23	91.58	14399.00	8769.79	3300.71	2481.61	13186.94	1650.00	1004.94	378.23	284.37	1511.11
82	69.31	60.96	23.00	7.27	91.55	14428.08	8795.55	3317.72	2491.21	13208.79	1653.33	1007.89	380.18	285.47	1513.61
83	69.17	61.02	23.07	7.30	91.52	14457.16	8821.37	3334.81	2500.82	13230.62	1656.67	1010.85	382.14	286.57	1516.11
83	69.03	61.07	23.14	7.33	91.48	14486.24	8847.27	3351.93	2510.45	13252.42	1660.00	1013.80	384.10	287.68	1518.61
83	68.89	61.13	23.21	7.36	91.45	14515.33	8873.24	3369.15	2520.10	13274.20	1663.33	1016.80	386.08	288.78	1521.11
83	68.75	61.19	23.28	7.39	91.42	14544.44	8899.27	3386.44	2529.76	13295.94	1666.67	1019.78	388.06	289.89	1523.60
83	68.62	61.24	23.36	7.42	91.39	14573.53	8925.36	3403.81	2539.43	13317.65	1670.00	1022.77	390.05	291.00	1526.09
83	68.48	61.30	23.43	7.46	91.35	14602.62	8951.53	3421.24	2549.13	13339.34	1673.33	1025.77	392.04	292.11	1528.57
83	68.34	61.35	23.50	7.49	91.32	14631.71	8977.76	3438.75	2558.83	13361.00	1676.67	1028.77	394.05	293.22	1531.04
84	68.21	61.42	23.58	7.52	91.29	14660.80	9004.06	3456.33	2568.56	13382.67	1680.00	1031.79	396.07	294.33	1533.51
84	68.07	61.47	23.65	7.55	91.25	14689.88	9030.43	3474.00	2578.30	13404.21	1683.33	1034.81	398.09	295.45	1536.01
84	67.94	61.53	23.72	7.58	91.21	14718.97	9056.87	3491.74	2588.06	13425.81	1686.67	1037.84	400.12	296.57	1538.49
84	67.81	61.59	23.80	7.61	91.18	14748.06	9083.38	3509.54	2597.83	13447.41	1690.00	1040.88	402.17	297.67	1540.97
84	67.67	61.65	23.87	7.65	91.15	14777.15	9109.96	3527.42	2607.61	13468.81	1693.33	1043.92	404.21	298.81	1543.44
84	67.54	61.71	23.95	7.68	91.11	14806.24	9136.62	3545.33	2617.42	13490.36	1696.67	1046.98	406.27	299.93	1545.88
84	67.41	61.77	24.02	7.71	91.08	14835.33	9163.36	3563.33	2627.27	13511.82	1700.00	1050.04	408.34	301.06	1548.31
85	67.27	61.83	24.09	7.74	91.04	14864.44	9190.18	3581.31	2637.07	13533.26	1703.33	1053.11	410.41	302.19	1550.74
85	67.14	61.89	24.16	7.77	91.01	14893.55	9217.09	3599.24	2646.84	13554.68	1706.67	1056.20	412.50	303.31	1553.25
85	67.01	61.95	24.25	7.80	90.98	14922.69	9244.09	3618.00	2656.78	13576.03	1710.00	1059.27	414.59	304.44	1555.74
85	66.88	62.01	24.32	7.84	90.94	14951.78	9271.09	3636.35	2666.66	13597.37	1713.33	1062.37	416.69	305.58	1558.24
85	66.75	62.07	24.40	7.87	90.91	14980.91	9298.09	3654.78	2676.56	13618.69	1716.67	1065.47	418.81	306.71	1560.74
86	66.62	62.13	24.47	7.90	90.87	15009.86	9325.10	3673.21	2686.49	13639.91	1720.00	1068.57	420.93	307.85	1563.24
86	66.49	62.19	24.53	7.93	90.84	15038.82	9352.10	3691.70	2696.40	13661.25	1723.33	1071.70	423.06	309.00	1565.74
86	66.37	62.25	24.61	7.96	90.80	15068.04	9379.70	3710.54	2706.34	13682.82	1726.67	1074.83	425.20	310.12	1568.24
86	66.24	62.31	24.70	7.99	90.77	15097.31	9407.04	3729.20	2716.30	13703.68	1730.00	1077.97	427.34	311.27	1570.74
86	66.11	62.37	24.78	8.02	90.74	15126.71	9434.34	3748.10	2726.27	13724.66	1733.33	1081.12	429.50	312.41	1573.24
86	66.00	62.43	24.86	8.05	90.70	15156.28	9462.07	3767.01	2736.26	13745.80	1736.67	1084.27	431.67	313.55	1575.74
87	65.78	62.50	24.93	8.08	90.67	15186.03	9490.16	3785.99	2746.26	13767.11	1740.00	1087.41	433.84	314.70	1578.24
87	65.73	62.56	25.01	8.12	90.63	15215.48	9518.35	3805.06	2756.28	13788.20	1743.33	1090.61	436.03	315.85	1580.74
87	65.61	62.62	25.07	8.15	90.60	15244.57	9546.70	3824.21	2766.32	13809.25	1746.67	1093.79	438.22	317.00	1583.24
87	65.48	62.68	25.17	8.18	90.55	15273.66	9575.23	3843.45	2776.37	13830.27	1750.00	1096.98	440.43	318.15	1585.74
87	65.36	62.75	25.25	8.21	90.51	15302.80	9603.96	3862.81	2786.43	13851.28	1753.33	1100.17	442.64	319.30	1588.24
87	65.24	62.81	25.33	8.24	90.47	15332.09	9632.86	3882.17	2796.52	13872.25	1756.67	1103.36	444.86	320.46	1590.74
88	65.11	62.88	25.40	8.27	90.44	15361.54	9661.93	3901.65	2806.61	13893.17	1760.00	1106.60	447.10	321.61	1593.24
88	64.99	62.94	25.48	8.30	90.42	15391.12	9691.26	3921.21	2816.72	13914.09	1763.33	1109.82	449.34	322.77	1595.74
88	64.88	63.00	25.56	8.34	90.37	15420.81	9720.87	3940.87	2826.85	13934.97	1766.67	1113.06	451.59	323.93	1598.24
88	64.74	63.07	25.64	8.37	90.35	15450.60	9750.74	3960.60	2836.97	13955.82	1770.00	1116.30	453.85	325.09	1600.74
88	64.62	63.13	25.72	8.40	90.31	15480.58	9780.88	3980.43	2847.15	13976.65	1773.33	1119.55	456.12	326.26	1603.24
88	64.50	63.19	25.80	8.43	90.28	15510.64	9811.29	4000.34	2857.32	13997.44	1776.67	1122.82	458.40	327.42	1605.74
89	64.38	63.26	25.88	8.46	90.25	15540.86	9841.96	4020.33	2867.50	14018.20	1780.00	1126.09	460.69	328.59	1608.24
89	64.26	63.33	25.96	8.49	90.21	15571.25	9872.90	4040.41	2877.71	14038.93	1783.33	1129.37	463.00	329.76	1610.74
89	64.14	63.40	26.04	8.52	90.17	15601.80	9904.13	4060.59	2887.93	14059.64	1786.67	1132.66	465.31	330.93	1613.24
89	64.02	63.46	26.12	8.55	90.14	15632.50	9935.64	4080.87	2898.15	14080.33	1790.00	1135.96	467.63	332.10	1615.74
89	63.90	63.53	26.21	8.58	90.10	15663.35	9967.42	4101.29	2908.40	14101.00	1793.33	1139.27	469.96	333.28	1618.24
89	63.78	63.59	26.29	8.62	90.07	15694.35	9999.50	4121.82	2918.66	14121.57	1796.67	1142.59	472.30	334.45	1620.74
90	63.66	63.66	26.37	8.65	90.03	15725.48	10000.98	4142.15	2928.94	14142.15	1800.00	1145.91	474.65	335.63	1623.24

TABLA 7 A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L · 100 M					R · 10000 M					G · 1 GRADO				
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
90	63.54	63.73	26.45	8.68	90.00	15737.68	10079.15	4162.76	2939.23	14162.71	1803.33	1149.25	477.02	336.81	1622.92
90	63.43	63.80	26.53	8.71	89.96	15766.17	10059.37	4183.67	2949.54	14183.23	1808.67	1152.60	479.39	337.99	1625.28
90	63.31	63.87	26.62	8.74	89.92	15795.26	10039.67	4204.26	2959.86	14203.73	1810.00	1155.96	481.77	339.17	1627.64
90	63.19	63.93	26.70	8.77	89.89	15824.35	10019.93	4224.13	2970.20	14224.19	1811.33	1159.31	484.16	340.36	1630.00
90	63.08	64.00	26.78	8.80	89.85	15853.44	10000.23	4244.33	2980.55	14244.62	1812.67	1162.70	486.57	341.54	1632.31
90	62.98	64.07	26.87	8.83	89.82	15882.53	9980.53	4264.27	2990.92	14265.03	1814.00	1166.09	488.98	342.71	1634.65
90	62.88	64.14	26.95	8.86	89.78	15911.62	9960.83	4284.36	3001.30	14285.40	1815.33	1169.49	491.41	343.92	1636.98
90	62.78	64.21	27.04	8.89	89.74	15940.70	9941.13	4304.60	3011.70	14305.73	1816.67	1172.90	493.84	345.11	1639.31
90	62.68	64.28	27.13	8.92	89.71	15969.80	9921.43	4324.91	3022.10	14326.06	1818.00	1176.32	496.27	346.31	1641.64
90	62.58	64.35	27.22	8.95	89.67	15998.88	9901.73	4345.21	3032.50	14346.34	1819.33	1179.74	498.70	347.50	1643.97
90	62.48	64.42	27.31	8.98	89.63	16027.97	9882.03	4365.52	3042.90	14366.67	1820.67	1183.18	501.22	348.70	1646.29
90	62.38	64.49	27.40	9.02	89.60	16057.06	9862.33	4385.83	3053.30	14386.99	1822.00	1186.60	503.70	349.90	1648.62
90	62.28	64.56	27.49	9.05	89.56	16086.15	9842.63	4406.14	3063.70	14407.31	1823.33	1190.03	506.19	351.10	1650.95
90	62.18	64.63	27.58	9.08	89.53	16115.24	9822.93	4426.45	3074.10	14427.64	1824.67	1193.50	508.67	352.30	1653.23
90	62.08	64.70	27.67	9.11	89.49	16144.33	9803.23	4446.76	3084.50	14447.97	1826.00	1197.04	511.20	353.50	1655.53
90	61.98	64.77	27.76	9.14	89.45	16173.42	9783.53	4467.08	3094.90	14468.30	1827.33	1200.53	513.72	354.70	1657.84
90	61.88	64.85	27.85	9.17	89.41	16202.50	9763.83	4487.41	3105.30	14488.62	1828.67	1203.93	516.26	355.91	1660.14
90	61.78	64.92	27.94	9.20	89.37	16231.59	9744.13	4507.74	3115.70	14508.95	1830.00	1207.54	519.12	357.11	1662.43
90	61.68	65.00	28.03	9.23	89.34	16260.68	9724.43	4528.07	3126.10	14529.28	1831.33	1211.07	521.34	358.33	1664.73
90	61.58	65.07	28.12	9.26	89.30	16289.77	9704.73	4548.41	3136.50	14549.61	1832.67	1214.60	523.93	359.54	1667.02
90	61.48	65.14	28.21	9.29	89.27	16318.86	9685.03	4568.76	3146.90	14569.94	1834.00	1218.18	526.50	360.75	1669.30
90	61.38	65.22	28.30	9.32	89.23	16347.95	9665.33	4589.11	3157.30	14590.28	1835.33	1221.81	529.10	361.97	1671.58
90	61.28	65.30	28.39	9.35	89.19	16377.04	9645.63	4609.46	3167.70	14610.61	1836.67	1225.47	531.70	363.19	1673.86
90	61.18	65.37	28.48	9.38	89.16	16406.13	9625.93	4629.81	3178.10	14630.94	1838.00	1229.08	534.32	364.40	1676.14
90	61.08	65.45	28.57	9.41	89.12	16435.21	9606.23	4650.16	3188.50	14651.28	1839.33	1232.83	536.94	365.62	1678.41
90	60.98	65.53	28.66	9.44	89.08	16464.30	9586.53	4670.51	3198.90	14671.61	1840.67	1236.60	539.58	366.84	1680.68
90	60.88	65.61	28.75	9.47	89.04	16493.39	9566.83	4690.86	3209.30	14691.94	1842.00	1240.40	542.23	368.07	1682.94
90	60.78	65.69	28.84	9.50	89.01	16522.48	9547.13	4711.21	3219.70	14712.28	1843.33	1244.23	544.88	369.29	1685.20
90	60.68	65.77	28.93	9.53	88.97	16551.57	9527.43	4731.56	3230.10	14732.61	1844.67	1248.07	547.57	370.52	1687.46
90	60.58	65.85	29.02	9.56	88.93	16580.66	9507.73	4751.91	3240.50	14752.94	1846.00	1251.93	550.25	371.75	1689.71
90	60.48	65.93	29.11	9.59	88.90	16609.75	9488.03	4772.26	3250.90	14773.28	1847.33	1255.80	552.95	372.98	1691.96
90	60.38	66.01	29.20	9.62	88.86	16638.84	9468.33	4792.61	3261.30	14793.61	1848.67	1259.69	555.66	374.21	1694.22
90	60.28	66.09	29.29	9.65	88.82	16667.93	9448.63	4812.96	3271.70	14813.94	1850.00	1263.60	558.39	375.44	1696.47
90	60.18	66.17	29.38	9.68	88.78	16697.02	9428.93	4833.31	3282.10	14834.28	1851.33	1267.53	561.12	376.67	1698.73
90	60.08	66.25	29.47	9.71	88.74	16726.11	9409.23	4853.66	3292.50	14854.61	1852.67	1271.48	563.87	377.91	1700.99
90	59.98	66.33	29.56	9.74	88.71	16755.20	9389.53	4874.01	3302.90	14874.94	1854.00	1275.45	566.63	379.15	1703.16
90	59.88	66.41	29.65	9.77	88.67	16784.29	9369.83	4894.36	3313.30	14895.28	1855.33	1279.43	569.40	380.39	1705.33
90	59.78	66.49	29.74	9.80	88.63	16813.38	9350.13	4914.71	3323.70	14915.61	1856.67	1283.42	572.19	381.63	1707.61
90	59.68	66.57	29.83	9.83	88.60	16842.47	9330.43	4935.06	3334.10	14935.94	1858.00	1287.42	575.00	382.87	1709.84
90	59.58	66.65	29.92	9.86	88.56	16871.56	9310.73	4955.41	3344.50	14956.28	1859.33	1291.43	577.80	384.12	1712.05
90	59.48	66.73	30.01	9.89	88.53	16900.65	9291.03	4975.76	3354.90	14976.61	1860.67	1295.45	580.62	385.36	1714.27
90	59.38	66.81	30.10	9.92	88.49	16929.74	9271.33	4996.11	3365.30	14996.94	1862.00	1299.48	583.46	386.61	1716.48
90	59.28	66.89	30.19	9.95	88.45	16958.83	9251.63	5016.46	3375.70	15017.28	1863.33	1303.53	586.27	387.86	1718.69
90	59.18	66.97	30.28	9.98	88.42	16987.92	9231.93	5036.81	3386.10	15037.61	1864.67	1307.60	589.11	389.11	1720.89
90	59.08	67.05	30.37	10.01	88.38	17017.01	9212.23	5057.16	3396.50	15057.94	1866.00	1311.69	591.97	390.36	1723.09
90	58.98	67.13	30.46	10.04	88.34	17046.10	9192.53	5077.51	3406.90	15078.28	1867.33	1315.78	594.84	391.61	1725.28
90	58.88	67.21	30.55	10.07	88.31	17075.19	9172.83	5097.86	3417.30	15098.61	1868.67	1319.87	597.72	392.86	1727.48
90	58.78	67.29	30.64	10.10	88.27	17104.28	9153.13	5118.21	3427.70	15118.94	1870.00	1323.96	600.63	394.11	1729.68
90	58.68	67.37	30.73	10.13	88.24	17133.37	9133.43	5138.56	3438.10	15139.28	1871.33	1328.05	603.50	395.36	1731.89
90	58.58	67.45	30.82	10.16	88.20	17162.46	9113.73	5158.91	3448.50	15159.61	1872.67	1332.14	606.42	396.61	1734.09
90	58.48	67.53	30.91	10.19	88.17	17191.55	9094.03	5179.26	3458.90	15179.94	1874.00	1336.23	609.38	397.86	1736.29
90	58.38	67.61	31.00	10.22	88.13	17220.64	9074.33	5200.01	3469.30	15199.94	1875.33	1340.32	612.33	399.11	1738.49
90	58.28	67.69	31.09	10.25	88.10	17249.73	9054.63	5220.76	3479.70	15219.94	1876.67	1344.41	615.30	400.36	1740.69
90	58.18	67.77	31.18	10.28	88.06	17278.82	9034.93	5241.51	3490.10	15239.94	1878.00	1348.50	618.33	401.61	1742.89
90	58.08	67.85	31.27	10.31	88.03	17307.91	9015.23	5262.26	3500.50	15259.94	1879.33	1352.59	621.36	402.86	1745.09
90	57.98	67.93	31.36	10.34	88.00	17337.00	8995.53	5283.01	3510.90	15279.94	1880.67	1356.68	624.41	404.11	1747.29
90	57.88	68.01	31.45	10.37	87.96	17366.09	8975.83	5303.76	3521.30	15299.94	1882.00	1360.77	627.46	405.36	1749.49
90	57.78	68.09	31.54	10.40	87.93	17395.18	8956.13	5324.51	3531.70	15319.94	1883.33	1364.86	630.53	406.61	1751.69
90	57.68	68.17	31.63	10.43	87.90	17424.27	8936.43	5345.26	3542.10	15339.94	1884.67	1368.95	633.60	407.86	1753.89
90	57.58	68.25	31.72	10.46	87.86	17453.36	8916.73	5366.01	3552.50	15359.94	1886.00	1373.04	636.81	409.11	1756.09
90	57.48	68.33	31.81	10.49	87.83	17482.45	8897.03	5386.76	3562.90	15379.94	1887.33	1377.13	640.06	410.36	1758.29
90	57.38	68.41	31.90	10.52	87.80	17511.54	8877.33	5407.51	3573.30	15399.94	1888.67	1381.22	643.33	411.61	1760.49
90	57.28	68.49	32.00	10.55	87.76	17540.63	8857.63	5428.26	3583.70	15419.94	1890.00	1385.31	646.66	412.86	1762.69
90	57.18	68.57	32.09	10.58	87.73	17569.72	8837.93	5449.01	3594.10	15439.94	1891.33	1389.40	650.03	414.11	1764.89
90	57.08	68.65	32.18	10.61	87.70	17598.81	8818.23	5469.76	3604.50	15459.94	1892.67	1393.49	653.41	415.36	1767.09
90	56.98	68.73	32.27	10.64	87.66	17627.90	8798.53	5490.51	3614.90	15479.94	1894.00	1397.58	656.86	416.61	1769.29
90	56.88	68.81	32.36	10.67	87.63	17657.00	8778.83	5511.26	3625.30	15499.94	1895.33	1401.67</			

TABLA 7 A. ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100 M					R = 10000					G = 1 GRADO					
	R	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL	
00	10	87.20	68.37	31.94	20.50	87.74	1748.41	21952.84	3584.30	3583.29	5339.59	2003.33	1369.69	639.91	410.61	1751.78
00	20	87.41	68.46	32.04	20.53	87.70	1751.56	22088.22	3581.45	3579.45	5338.24	2006.67	1373.75	643.04	411.89	1759.94
00	30	87.61	68.55	32.15	20.56	87.66	1758.00	22233.32	3578.73	3576.05	5336.66	2010.00	1377.81	646.13	413.17	1767.05
00	40	87.81	68.64	32.25	20.59	87.63	1764.80	22379.30	3576.15	3573.05	5335.45	2013.33	1381.90	647.29	414.46	1774.10
00	50	88.02	68.73	32.35	20.62	87.59	1771.99	22526.42	3573.69	3570.29	5334.40	2016.67	1386.00	652.45	415.74	1781.10
01	10	88.23	68.82	32.46	20.64	87.55	1779.56	22673.77	3571.37	3567.69	5333.51	2020.00	1390.11	657.62	417.02	1788.05
01	20	88.43	68.91	32.56	20.67	87.51	1787.51	22821.45	3569.17	3565.24	5332.78	2023.33	1394.24	658.80	418.31	1794.95
01	30	88.64	69.00	32.66	20.70	87.47	1795.84	22969.45	3567.09	3562.94	5332.20	2026.67	1398.37	662.01	419.60	1801.80
01	40	88.85	69.09	32.77	20.73	87.43	1804.56	23117.87	3565.13	3560.79	5331.78	2030.00	1402.53	665.22	420.89	1808.60
01	50	89.06	69.18	32.87	20.76	87.39	1813.67	23266.72	3563.31	3558.78	5331.51	2033.33	1406.70	668.45	422.17	1815.35
02	10	89.27	69.27	32.98	20.79	87.35	1823.17	23416.01	3561.62	3556.91	5331.30	2036.67	1410.99	671.70	423.44	1822.05
02	20	89.47	69.37	33.09	20.82	87.31	1833.05	23565.73	3560.06	3555.18	5331.24	2040.00	1415.09	674.96	424.71	1828.70
02	30	89.68	69.46	33.19	20.85	87.27	1843.32	23715.98	3558.63	3553.59	5331.33	2043.33	1419.30	678.24	426.00	1835.30
02	40	89.89	69.55	33.30	20.88	87.23	1854.00	23866.75	3557.33	3552.14	5331.57	2046.67	1423.54	681.54	427.36	1841.85
02	50	90.10	69.65	33.41	20.91	87.19	1865.09	24018.14	3556.15	3550.84	5331.95	2050.00	1427.78	684.85	428.66	1848.35
03	10	90.31	69.74	33.51	20.94	87.15	1876.58	24170.14	3555.09	3549.69	5332.47	2053.33	1432.04	688.19	429.98	1854.80
03	20	90.52	69.83	33.62	20.97	87.11	1888.47	24322.75	3554.16	3548.67	5333.13	2056.67	1436.32	691.51	431.26	1861.20
03	30	90.73	69.93	33.73	21.00	87.07	1900.76	24475.97	3553.35	3547.68	5333.94	2060.00	1440.61	694.84	432.57	1867.55
03	40	90.94	70.03	33.84	21.03	87.03	1913.46	24629.80	3552.65	3546.72	5334.89	2063.33	1444.92	698.19	433.87	1873.85
03	50	91.15	70.12	33.95	21.06	86.99	1926.56	24784.24	3552.06	3545.79	5335.98	2066.67	1449.25	701.63	435.18	1880.10
04	10	91.36	70.22	34.06	21.09	86.95	1940.05	24939.28	3551.58	3544.89	5337.20	2070.00	1453.60	704.96	436.49	1886.30
04	20	91.57	70.31	34.17	21.12	86.91	1953.94	25094.92	3551.21	3544.01	5338.55	2073.33	1457.97	708.24	437.79	1892.45
04	30	91.78	70.41	34.28	21.15	86.87	1968.22	25251.25	3550.94	3543.15	5339.99	2076.67	1462.37	711.51	439.11	1898.55
04	40	91.99	70.51	34.39	21.18	86.83	1982.90	25408.27	3550.77	3542.31	5341.51	2080.00	1466.77	714.76	440.42	1904.60
04	50	92.20	70.61	34.50	21.21	86.79	1997.98	25565.98	3550.69	3541.49	5343.11	2083.33	1471.14	718.04	441.73	1910.60
05	10	92.41	70.71	34.61	21.24	86.75	2013.46	25724.38	3550.69	3540.69	5344.79	2086.67	1475.53	721.33	443.05	1916.55
05	20	92.62	70.81	34.72	21.27	86.71	2029.34	25883.47	3550.77	3539.91	5346.54	2090.00	1479.92	724.63	444.37	1922.45
05	30	92.83	70.91	34.83	21.30	86.67	2045.62	26043.25	3550.94	3539.15	5348.37	2093.33	1484.33	727.96	445.67	1928.30
05	40	93.04	71.01	34.94	21.33	86.63	2062.30	26203.72	3551.21	3538.41	5350.27	2096.67	1488.90	731.30	446.97	1934.10
05	50	93.25	71.11	35.05	21.36	86.59	2079.38	26364.98	3551.58	3537.67	5352.24	2100.00	1493.57	734.63	448.23	1939.85
06	10	93.46	71.21	35.16	21.39	86.55	2096.85	26526.92	3552.06	3536.95	5354.27	2103.33	1498.32	737.96	449.51	1945.55
06	20	93.67	71.31	35.27	21.42	86.51	2114.72	26689.54	3552.65	3536.25	5356.36	2106.67	1503.15	741.29	450.79	1951.20
06	30	93.88	71.41	35.38	21.45	86.47	2132.99	26852.84	3553.35	3535.57	5358.51	2110.00	1508.06	744.63	452.03	1956.80
06	40	94.09	71.51	35.49	21.48	86.43	2151.66	27016.82	3554.16	3534.91	5360.72	2113.33	1513.05	747.96	453.26	1962.35
06	50	94.30	71.61	35.60	21.51	86.39	2170.73	27181.48	3555.06	3534.27	5363.00	2116.67	1518.13	751.29	454.49	1967.85
07	10	94.51	71.71	35.71	21.54	86.35	2190.20	27346.82	3556.06	3533.65	5365.34	2120.00	1523.30	754.63	455.71	1973.30
07	20	94.72	71.81	35.82	21.57	86.31	2210.07	27512.84	3557.16	3533.05	5367.74	2123.33	1528.57	757.96	456.94	1978.70
07	30	94.93	71.91	35.93	21.60	86.27	2230.34	27679.54	3558.35	3532.47	5370.20	2126.67	1533.92	761.29	458.17	1984.05
07	40	95.14	72.01	36.04	21.63	86.23	2251.01	27846.92	3559.63	3531.91	5372.72	2130.00	1539.37	764.63	459.40	1989.35
07	50	95.35	72.11	36.15	21.66	86.19	2272.08	28014.98	3561.01	3531.37	5375.29	2133.33	1544.92	767.96	460.63	1994.60
08	10	95.56	72.21	36.26	21.69	86.15	2293.55	28183.72	3562.48	3530.85	5377.92	2136.67	1550.57	771.29	461.86	1999.80
08	20	95.77	72.31	36.37	21.72	86.11	2315.42	28353.14	3564.04	3530.35	5380.60	2140.00	1556.30	774.63	463.09	2004.95
08	30	95.98	72.41	36.48	21.75	86.07	2337.69	28523.24	3565.69	3529.87	5383.34	2143.33	1562.13	777.96	464.32	2010.05
08	40	96.19	72.51	36.59	21.78	86.03	2360.36	28694.02	3567.43	3529.47	5386.13	2146.67	1568.06	781.29	465.55	2015.10
08	50	96.40	72.61	36.70	21.81	86.00	2383.43	28865.48	3569.26	3529.09	5389.00	2150.00	1574.09	784.63	466.78	2020.15
09	10	96.61	72.71	36.81	21.84	85.96	2406.90	29037.62	3571.17	3528.74	5391.94	2153.33	1580.22	787.96	468.01	2025.15
09	20	96.82	72.81	36.92	21.87	85.92	2430.77	29210.44	3573.16	3528.41	5394.94	2156.67	1586.45	791.29	469.24	2030.10
09	30	97.03	72.91	37.03	21.90	85.88	2455.04	29383.94	3575.23	3528.10	5398.00	2160.00	1592.78	794.63	470.47	2035.00
09	40	97.24	73.01	37.14	21.93	85.84	2479.71	29558.12	3577.37	3527.81	5401.23	2163.33	1599.21	797.96	471.70	2039.85
09	50	97.45	73.11	37.25	21.96	85.80	2504.78	29732.98	3579.58	3527.54	5404.53	2166.67	1605.74	801.29	472.93	2044.65
10	10	97.66	73.21	37.36	21.99	85.76	2530.25	29908.52	3581.86	3527.29	5407.90	2170.00	1612.37	804.63	474.16	2049.40
10	20	97.87	73.31	37.47	22.02	85.72	2556.12	30084.74	3584.21	3527.05	5411.34	2173.33	1619.00	807.96	475.39	2054.10
10	30	98.08	73.41	37.58	22.05	85.68	2582.39	30261.64	3586.63	3526.83	5414.84	2176.67	1625.73	811.29	476.62	2058.75
10	40	98.29	73.51	37.69	22.08	85.64	2609.06	30439.22	3589.12	3526.63	5418.40	2180.00	1632.57	814.63	477.85	2063.35
10	50	98.50	73.61	37.80	22.11	85.60	2636.13	30617.48	3591.68	3526.45	5422.02	2183.33	1639.50	817.96	479.08	2067.90
11	10	98.71	73.71	37.91	22.14	85.56	2663.60	30796.42	3594.31	3526.29	5425.70	2186.67	1646.53	821.29	480.31	2072.40
11	20	98.92	73.81	38.02	22.17	85.52	2691.47	30976.04	3597.01	3526.15	5429.44	2190.00	1653.66	824.63	481.54	2076.85
11	30	99.13	73.91	38.13	22.20	85.48	2719.74	31156.34	3600.78	3526.03	5433.24	2193.33	1660.89	827.96	482.77	2081.25
11	40	99.34	74.01	38.24	22.23	85.44	2748.41	31337.32	3604.62	3525.93	5437.10	2196.67	1668.21	831.29	484.00	2085.60
11	50	99.55	74.11	38.35	22.26	85.40	2777.48	31519.08	3608.53	3525.84	5441.02	2200.00	1675.63	834.63	485.23	2089.90

TABLA 7-A ELEMENTOS DE LA CURVA CIRCULAR

Δ	L = 100M					R = 1000M					G = 1 GRADO				
	R	ST	F	M	CL	L	ST	E	M	CL	L	ST	E	M	CL
10	52.01	74.51	18.95	22.74	85.29	19227.75	1.325.83	7476.00	4276.17	16297.73	2203.33	1641.61	850.00	450.00	1879.27
10	52.01	74.51	18.95	22.74	85.29	19227.75	1.325.83	7476.00	4276.17	16297.73	2203.33	1641.61	850.00	450.00	1879.27
20	51.83	74.67	18.99	22.27	85.29	19225.84	1.337.30	7507.30	4288.10	16416.30	2216.67	1646.71	860.27	451.75	1881.17
30	51.95	74.74	19.12	22.30	85.29	19225.84	1.337.30	7507.30	4288.10	16416.30	2216.67	1646.71	860.27	451.75	1881.17
40	51.85	74.86	19.28	22.32	85.29	19231.02	1.345.99	7530.89	4300.25	16432.76	2219.33	1650.97	868.76	454.12	1884.97
50	51.70	74.98	19.40	22.35	85.29	19234.11	1.356.90	7551.75	4313.97	16466.65	2221.67	1652.14	872.95	456.47	1888.47
60	51.52	75.10	19.48	22.38	85.29	19237.20	1.355.14	7558.21	4335.95	16482.55	2223.00	1651.40	877.22	459.06	1891.76
70	51.34	75.23	19.53	22.41	85.29	19240.28	1.359.51	7562.61	4347.95	16499.40	2223.33	1651.10	881.51	460.92	1891.64
80	51.18	75.35	19.57	22.44	85.29	19243.36	1.364.00	7565.99	4359.95	16513.43	2223.67	1651.10	885.03	462.81	1892.52
90	51.03	75.47	19.60	22.47	85.29	19246.44	1.368.61	7568.34	4371.95	16524.60	2224.00	1651.10	888.53	464.72	1893.40
100	50.89	75.59	19.62	22.50	85.29	19249.52	1.373.34	7569.67	4383.99	16534.11	2224.33	1651.10	892.03	466.65	1894.28
110	50.76	75.71	19.64	22.53	85.29	19252.60	1.378.19	7570.98	4395.99	16542.40	2224.67	1651.10	895.53	468.60	1895.16
120	50.64	75.83	19.65	22.56	85.29	19255.68	1.383.16	7572.28	4407.95	16549.67	2225.00	1651.10	899.03	470.57	1896.04
130	50.52	75.95	19.66	22.59	85.29	19258.76	1.388.24	7573.57	4419.95	16556.33	2225.33	1651.10	902.53	472.56	1896.92
140	50.41	76.07	19.67	22.62	85.29	19261.84	1.393.44	7574.85	4431.95	16562.40	2225.67	1651.10	906.03	474.57	1897.80
150	50.30	76.19	19.68	22.65	85.29	19264.92	1.398.75	7576.13	4443.95	16568.00	2226.00	1651.10	909.53	476.60	1898.68
160	50.20	76.31	19.69	22.68	85.29	19268.00	1.404.17	7577.41	4455.95	16573.10	2226.33	1651.10	913.03	478.65	1899.56
170	50.10	76.43	19.70	22.71	85.29	19271.08	1.409.71	7578.69	4467.95	16577.70	2226.67	1651.10	916.53	480.72	1900.44
180	50.00	76.55	19.71	22.74	85.29	19274.16	1.415.36	7579.97	4479.95	16581.90	2227.00	1651.10	920.03	482.81	1901.32
190	49.90	76.67	19.72	22.77	85.29	19277.24	1.421.12	7581.25	4491.95	16585.70	2227.33	1651.10	923.53	484.92	1902.20
200	49.80	76.79	19.73	22.80	85.29	19280.32	1.427.00	7582.53	4503.95	16589.10	2227.67	1651.10	927.03	487.05	1903.08
210	49.70	76.91	19.74	22.83	85.29	19283.40	1.433.00	7583.81	4515.95	16592.10	2228.00	1651.10	930.53	489.20	1903.96
220	49.60	77.03	19.75	22.86	85.29	19286.48	1.439.11	7585.09	4527.95	16594.70	2228.33	1651.10	934.03	491.37	1904.84
230	49.50	77.15	19.76	22.89	85.29	19289.56	1.445.34	7586.37	4539.95	16596.90	2228.67	1651.10	937.53	493.57	1905.72
240	49.40	77.27	19.77	22.92	85.29	19292.64	1.451.68	7587.65	4551.95	16598.70	2229.00	1651.10	941.03	495.80	1906.60
250	49.30	77.39	19.78	22.95	85.29	19295.72	1.458.14	7588.93	4563.95	16600.10	2229.33	1651.10	944.53	498.05	1907.48
260	49.20	77.51	19.79	22.98	85.29	19298.80	1.464.71	7590.21	4575.95	16601.10	2229.67	1651.10	948.03	500.32	1908.36
270	49.10	77.63	19.80	23.01	85.29	19301.88	1.471.40	7591.49	4587.95	16601.70	2230.00	1651.10	951.53	502.63	1909.24
280	49.00	77.75	19.81	23.04	85.29	19304.96	1.478.21	7592.77	4599.95	16602.00	2230.33	1651.10	955.03	504.96	1910.12
290	48.90	77.87	19.82	23.07	85.29	19308.04	1.485.14	7594.05	4611.95	16602.00	2230.67	1651.10	958.53	507.32	1911.00
300	48.80	77.99	19.83	23.10	85.29	19311.12	1.492.19	7595.33	4623.95	16601.70	2231.00	1651.10	962.03	509.71	1911.88
310	48.70	78.11	19.84	23.13	85.29	19314.20	1.499.36	7596.61	4635.95	16601.10	2231.33	1651.10	965.53	512.12	1912.76
320	48.60	78.23	19.85	23.16	85.29	19317.28	1.506.65	7597.89	4647.95	16600.10	2231.67	1651.10	969.03	514.57	1913.64
330	48.50	78.35	19.86	23.19	85.29	19320.36	1.514.06	7599.17	4659.95	16600.00	2232.00	1651.10	972.53	517.05	1914.52
340	48.40	78.47	19.87	23.22	85.29	19323.44	1.521.59	7600.45	4671.95	16600.00	2232.33	1651.10	976.03	519.57	1915.40
350	48.30	78.59	19.88	23.25	85.29	19326.52	1.529.24	7601.73	4683.95	16600.00	2232.67	1651.10	979.53	522.12	1916.28
360	48.20	78.71	19.89	23.28	85.29	19329.60	1.537.01	7603.01	4695.95	16600.00	2233.00	1651.10	983.03	524.71	1917.16
370	48.10	78.83	19.90	23.31	85.29	19332.68	1.544.90	7604.29	4707.95	16600.00	2233.33	1651.10	986.53	527.33	1918.04
380	48.00	78.95	19.91	23.34	85.29	19335.76	1.552.91	7605.57	4719.95	16600.00	2233.67	1651.10	990.03	530.00	1918.92
390	47.90	79.07	19.92	23.37	85.29	19338.84	1.561.04	7606.85	4731.95	16600.00	2234.00	1651.10	993.53	532.71	1919.80
400	47.80	79.19	19.93	23.40	85.29	19341.92	1.569.29	7608.13	4743.95	16600.00	2234.33	1651.10	997.03	535.47	1920.68
410	47.70	79.31	19.94	23.43	85.29	19345.00	1.577.65	7609.41	4755.95	16600.00	2234.67	1651.10	1000.53	538.28	1921.56
420	47.60	79.43	19.95	23.46	85.29	19348.08	1.586.14	7610.69	4767.95	16600.00	2235.00	1651.10	1004.03	541.12	1922.44
430	47.50	79.55	19.96	23.49	85.29	19351.16	1.594.75	7611.97	4779.95	16600.00	2235.33	1651.10	1007.53	544.02	1923.32
440	47.40	79.67	19.97	23.52	85.29	19354.24	1.603.48	7613.25	4791.95	16600.00	2235.67	1651.10	1011.03	546.97	1924.20
450	47.30	79.79	19.98	23.55	85.29	19357.32	1.612.33	7614.53	4803.95	16600.00	2236.00	1651.10	1014.53	550.00	1925.08
460	47.20	79.91	19.99	23.58	85.29	19360.40	1.621.30	7615.81	4815.95	16600.00	2236.33	1651.10	1018.03	553.12	1925.96
470	47.10	80.03	20.00	23.61	85.29	19363.48	1.630.39	7617.09	4827.95	16600.00	2236.67	1651.10	1021.53	556.30	1926.84
480	47.00	80.15	20.01	23.64	85.29	19366.56	1.639.60	7618.37	4839.95	16600.00	2237.00	1651.10	1025.03	559.55	1927.72
490	46.90	80.27	20.02	23.67	85.29	19369.64	1.648.93	7619.65	4851.95	16600.00	2237.33	1651.10	1028.53	562.90	1928.60
500	46.80	80.39	20.03	23.70	85.29	19372.72	1.659.38	7620.93	4863.95	16600.00	2237.67	1651.10	1032.03	566.35	1929.48
510	46.70	80.51	20.04	23.73	85.29	19375.80	1.670.95	7622.21	4875.95	16600.00	2238.00	1651.10	1035.53	570.00	1930.36
520	46.60	80.63	20.05	23.76	85.29	19378.88	1.682.64	7623.49	4887.95	16600.00	2238.33	1651.10	1039.03	573.75	1931.24
530	46.50	80.75	20.06	23.79	85.29	19381.96	1.694.45	7624.77	4899.95	16600.00	2238.67	1651.10	1042.53	577.60	1932.12
540	46.40	80.87	20.07	23.82	85.29	19385.04	1.706.38	7626.05	4911.95	16600.00	2239.00	1651.10	1046.03	581.55	1933.00
550	46.30	80.99	20.08	23.85	85.29	19388.12	1.718.43	7627.33	4923.95	16600.00	2239.33	1651.10	1049.53	585.60	1933.88
560	46.20	81.11	20.09	23.88	85.29	19391.20	1.730.60	7628.61	4935.95	16600.00	2239.67	1651.10	1053.03	589.75	1934.76
570	46.10	81.23	20.10	23.91	85.29	19394.28	1.742.89	7629.89	4947.95	16600.00	2240.00	1651.10	1056.53	594.00	1935.64
580	46.00	81.35	20.11	23.94	85.29	19397.36	1.755.30	7631.17	4959.95	16600.00	2240.33	1651.10	1060.03	598.35	1936.52
590	45.90	81.47	20.12	23.97	85.29	19400.44	1.767.83	7632.45	4971.95	16600.00	2240.67	1651.10	1063.53	602.80	1937.40
600	45.80	81.59	20.13	24.00	85.29	19403.52	1.780.48	7633.73	4983.95	16600.00	2241.00	1651.10	1067.03	607.35	1938.28
610	45.70	81.71	20.14	24.03	85.29	19406.60	1.793.25	7635.01	4995.95	16600.00	2241.33	1651.10	1070.53	612.00	1939.16
620	45.60	81.83	20.15	24.06	85.29	19409.68	1.806.14	7636.29	5007.95	16600.00	2241.67	1651.10	1074.03	616.75	1940.04
630	45.50	81.95	20.16	24.09	85.29	19412.76	1.819.15	7637.57	5019.95	16600.00	2242.00	1651.10	1077.53	621.60	1940.92
640	45.40	82.07	20.17	24.12	85.29	19415.84	1.832.28	7638.85	5031.95	16600.00	2242.33	1651.10	1081.03	626.55	1941.80
650	45.30	82.19	20.18	24.15	85.29	19418.92	1.845.53	7640.13	5043.95	16600.00	2242.67	1651.10			

TABLA 7-B. DEFLEXIONES Y CUERDAS DE CURVAS CIRCULARES

GRADO	RADIO	DEFLEXION POR METRO DE ARCO	ANGULO DE LA CUERDA PARA LONGITUD DE ARCO DE			LONGITUD DE CUERDA PARA ARCOS DE		
			5m	10m	20m	5m	10m	20m
0° 10'	6875.44	0 15"	0 1	0 2	0 3	5 00	10 00	20 00
0° 20'	3437.74	0 30	0 2	0 4	0 6	5 00	10 00	20 00
0° 30'	2291.83	0 45	0 3	0 6	0 9	5 00	10 00	20 00
0° 40'	1718.87	0 0 0	0 5	0 7	0 10	5 00	10 00	20 00
0° 50'	1375.10	0 15	0 6	0 9	0 13	5 00	10 00	20 00
1° 00'	1145.91	0 30	0 8	1 0	0 15	5 00	10 00	20 00
1° 10'	982.21	0 45	0 10	1 2	0 18	5 00	10 00	20 00
1° 20'	859.43	0 0 0	0 12	1 4	0 22	5 00	10 00	20 00
1° 30'	763.94	0 15	0 11	1 5	0 23	5 00	10 00	20 00
1° 40'	667.55	0 30	0 13	1 6	0 25	5 00	10 00	20 00
1° 50'	572.06	0 45	0 15	1 7	0 27	5 00	10 00	20 00
2° 00'	491.11	0 0 0	0 16	1 8	0 28	5 00	10 00	20 00
2° 10'	458.88	0 15	0 17	1 9	0 29	5 00	10 00	20 00
2° 20'	429.37	0 30	0 18	2 0	0 30	5 00	10 00	20 00
2° 30'	404.97	0 45	0 20	2 1	0 31	5 00	10 00	20 00
2° 40'	381.97	0 0 0	0 21	2 2	0 32	5 00	10 00	20 00
2° 50'	361.33	0 15	0 22	2 3	0 33	5 00	10 00	20 00
3° 00'	343.74	0 30	0 23	2 4	0 34	5 00	10 00	20 00
3° 10'	329.44	0 45	0 25	2 5	0 35	5 00	10 00	20 00
3° 20'	317.22	0 0 0	0 26	2 6	0 36	5 00	10 00	20 00
3° 30'	307.93	0 15	0 27	2 7	0 37	5 00	10 00	20 00
3° 40'	301.49	0 30	0 28	2 8	0 38	5 00	10 00	20 00
3° 50'	297.86	0 45	0 30	2 9	0 40	5 00	10 00	20 00
4° 00'	295.93	0 0 0	0 31	3 0	0 41	5 00	10 00	20 00
4° 10'	294.44	0 15	0 32	3 1	0 42	5 00	10 00	20 00
4° 20'	293.22	0 30	0 33	3 2	0 43	5 00	10 00	20 00
4° 30'	292.25	0 45	0 35	3 3	0 44	5 00	10 00	20 00
4° 40'	291.49	0 0 0	0 36	3 4	0 45	5 00	10 00	20 00
4° 50'	290.99	0 15	0 37	3 5	0 46	5 00	10 00	20 00
5° 00'	290.79	0 30	0 38	3 6	0 47	5 00	10 00	20 00
5° 10'	290.80	0 45	0 40	3 7	0 48	5 00	10 00	20 00
5° 20'	291.00	0 0 0	0 41	3 8	0 49	5 00	10 00	20 00
5° 30'	291.35	0 15	0 42	3 9	0 50	5 00	10 00	20 00
5° 40'	291.80	0 30	0 43	4 0	0 51	5 00	10 00	20 00
5° 50'	292.35	0 45	0 44	4 1	0 52	5 00	10 00	20 00
6° 00'	293.00	0 0 0	0 45	4 2	0 53	5 00	10 00	20 00
6° 10'	293.75	0 15	0 46	4 3	0 54	5 00	10 00	20 00
6° 20'	294.60	0 30	0 47	4 4	0 55	5 00	10 00	20 00
6° 30'	295.55	0 45	0 48	4 5	0 56	5 00	10 00	20 00
6° 40'	296.60	0 0 0	0 50	4 6	0 57	5 00	10 00	20 00
6° 50'	297.75	0 15	0 51	4 7	0 58	5 00	10 00	20 00
7° 00'	299.00	0 30	0 52	4 8	0 59	5 00	10 00	20 00
7° 10'	300.35	0 45	0 53	4 9	1 00	5 00	10 00	20 00
7° 20'	301.80	0 0 0	0 55	5 0	1 01	5 00	10 00	20 00
7° 30'	303.35	0 15	0 56	5 1	1 02	5 00	10 00	20 00
7° 40'	305.00	0 30	0 57	5 2	1 03	5 00	10 00	20 00
7° 50'	306.75	0 45	0 58	5 3	1 04	5 00	10 00	20 00
8° 00'	308.60	0 0 0	0 59	5 4	1 05	5 00	10 00	20 00
8° 10'	310.55	0 15	1 00	5 5	1 06	5 00	10 00	20 00
8° 20'	312.60	0 30	1 01	5 6	1 07	5 00	10 00	20 00
8° 30'	314.75	0 45	1 02	5 7	1 08	5 00	10 00	20 00
8° 40'	317.00	0 0 0	1 03	5 8	1 09	5 00	10 00	20 00
8° 50'	319.35	0 15	1 04	5 9	1 10	5 00	10 00	20 00
9° 00'	321.80	0 30	1 05	6 0	1 11	5 00	10 00	20 00
9° 10'	324.35	0 45	1 06	6 1	1 12	5 00	10 00	20 00
9° 20'	327.00	0 0 0	1 07	6 2	1 13	5 00	10 00	20 00
9° 30'	329.75	0 15	1 08	6 3	1 14	5 00	10 00	20 00
9° 40'	332.60	0 30	1 09	6 4	1 15	5 00	10 00	20 00
9° 50'	335.55	0 45	1 10	6 5	1 16	5 00	10 00	20 00
10° 00'	338.60	0 0 0	1 11	6 6	1 17	5 00	10 00	20 00

TABLA 7-B. DEFLEXIONES Y CUERDAS DE CURVAS CIRCULARES

GRADO	RADIO	DEFLEXION POR METRO DE ARCO	ANGULO DE LA CUERDA PARA LONGITUD DE ARCO DE			LONGITUD DE CUERDA PARA ARCOS DE		
			5 m	10 m	20 m	5 m	10 m	20 m
10° 10'	112.71	15' 15"	1° 16'	15"	2° 32'	5° 00'	10.00	19.98
10° 20'	116.49	15 30	1 17	15 30	2 35	5 00	10 00	19 97
10° 30'	119.43	15 45	1 18	15 45	2 37	5 00	10 00	19 97
10° 40'	107.43	16 00	1 19	16 00	2 39	5 00	10 00	19 97
10° 50'	105.74	16 15	1 20	16 15	2 40	5 00	10 00	19 97
11° 00'	104.17	16 30	1 21	16 30	2 42	5 00	10 00	19 97
11° 10'	102.62	16 45	1 22	16 45	2 44	5 00	10 00	19 97
11° 20'	101.11	17 00	1 23	17 00	2 45	5 00	10 00	19 97
11° 30'	99.64	17 15	1 24	17 15	2 47	5 00	10 00	19 97
11° 40'	98.22	17 30	1 25	17 30	2 48	5 00	10 00	19 97
11° 50'	96.84	17 45	1 26	17 45	2 50	5 00	10 00	19 97
12° 00'	95.49	18 00	1 27	18 00	2 51	5 00	10 00	19 97
12° 10'	94.19	18 15	1 28	18 15	2 52	5 00	10 00	19 97
12° 20'	92.91	18 30	1 29	18 30	2 53	5 00	10 00	19 96
12° 30'	91.67	18 45	1 30	18 45	2 54	5 00	10 00	19 96
12° 40'	90.47	19 00	1 31	19 00	2 55	5 00	10 00	19 96
12° 50'	89.30	19 15	1 32	19 15	2 56	5 00	10 00	19 96
13° 00'	88.15	19 30	1 33	19 30	2 57	5 00	10 00	19 96
13° 10'	87.03	19 45	1 34	19 45	2 58	5 00	10 00	19 96
13° 20'	85.94	20 00	1 35	20 00	2 59	5 00	10 00	19 96
13° 30'	84.88	20 15	1 36	20 15	3 00	5 00	10 00	19 96
13° 40'	83.85	20 30	1 37	20 30	3 01	5 00	10 00	19 96
13° 50'	82.84	20 45	1 38	20 45	3 02	5 00	10 00	19 95
14° 00'	81.85	21 00	1 39	21 00	3 03	5 00	10 00	19 95
14° 10'	80.89	21 15	1 40	21 15	3 04	5 00	10 00	19 95
14° 20'	79.95	21 30	1 41	21 30	3 05	5 00	10 00	19 95
14° 30'	79.03	21 45	1 42	21 45	3 06	5 00	10 00	19 95
14° 40'	78.13	22 00	1 43	22 00	3 07	5 00	10 00	19 95
14° 50'	77.25	22 15	1 44	22 15	3 08	5 00	10 00	19 94
15° 00'	76.39	22 30	1 45	22 30	3 09	5 00	10 00	19 94
15° 10'	75.55	22 45	1 46	22 45	3 10	5 00	10 00	19 94
15° 20'	74.73	22 59	1 47	22 59	3 11	5 00	10 00	19 94
15° 30'	73.93	23 13	1 48	23 13	3 12	5 00	10 00	19 94
15° 40'	73.14	23 27	1 49	23 27	3 13	5 00	10 00	19 94
15° 50'	72.37	23 41	1 50	23 41	3 14	5 00	10 00	19 94
16° 00'	71.62	23 55	1 51	23 55	3 15	5 00	10 00	19 94
16° 10'	70.88	24 09	1 52	24 09	3 16	5 00	10 00	19 93
16° 20'	70.14	24 23	1 53	24 23	3 17	5 00	10 00	19 93
16° 30'	69.45	24 37	1 54	24 37	3 18	5 00	10 00	19 93
16° 40'	68.75	24 51	1 55	24 51	3 19	5 00	10 00	19 93
16° 50'	68.07	25 05	1 56	25 05	3 20	5 00	10 00	19 93
17° 00'	67.41	25 19	1 57	25 19	3 21	5 00	10 00	19 93
17° 10'	66.75	25 33	1 58	25 33	3 22	5 00	10 00	19 93
17° 20'	66.11	25 47	1 59	25 47	3 23	5 00	10 00	19 93
17° 30'	65.48	26 01	1 60	26 01	3 24	5 00	10 00	19 92
17° 40'	64.86	26 15	1 61	26 15	3 25	5 00	10 00	19 92
17° 50'	64.26	26 29	1 62	26 29	3 26	5 00	10 00	19 92
18° 00'	63.66	26 43	1 63	26 43	3 27	5 00	10 00	19 92
18° 10'	63.09	26 57	1 64	26 57	3 28	5 00	10 00	19 92
18° 20'	62.50	27 11	1 65	27 11	3 29	5 00	10 00	19 92
18° 30'	61.94	27 25	1 66	27 25	3 30	5 00	10 00	19 92
18° 40'	61.39	27 39	1 67	27 39	3 31	5 00	10 00	19 91
18° 50'	60.84	27 53	1 68	27 53	3 32	5 00	10 00	19 91
19° 00'	60.31	28 07	1 69	28 07	3 33	5 00	10 00	19 91
19° 10'	59.77	28 21	1 70	28 21	3 34	5 00	10 00	19 91
19° 20'	59.24	28 35	1 71	28 35	3 35	5 00	10 00	19 91
19° 30'	58.71	28 49	1 72	28 49	3 36	5 00	10 00	19 91
19° 40'	58.18	29 03	1 73	29 03	3 37	5 00	10 00	19 90
19° 50'	57.64	29 17	1 74	29 17	3 38	5 00	10 00	19 90
20° 00'	57.11	29 31	1 75	29 31	3 39	5 00	10 00	19 90

TABLA 7-B. DEFLEXIONES Y CUERDAS DE CURVAS CIRCULARES

GRADO	RADIO	DEFLEXION		ANGULO DE LA CUERDA PARA LONGITUD			LONGITUD DE CUERDA PARA							
		POR METRO		DE ARCO DE			ARCOS DE							
		DE ARCO		5 m	10 m	20 m	5 m	10 m	20 m					
20	10	56.82	31.15	31	15	5°	2	30"	10°	5	0"	5.00	7.99	19.96
20	20	56.82	30.30	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
20	30	56.82	30.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
20	40	55.57	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
20	50	55.57	29.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
21	10	54.14	31.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
21	20	53.71	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
21	30	53.30	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
21	40	51.89	29.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
21	50	51.70	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
22	10	51.70	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
22	20	51.31	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
22	30	50.93	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
22	40	50.55	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
22	50	50.19	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
23	10	49.46	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
23	20	49.11	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
23	30	48.76	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
23	40	48.42	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
23	50	48.08	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
24	10	47.42	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
24	20	47.07	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
24	30	46.79	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
24	40	46.46	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
24	50	46.14	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
25	10	45.84	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
25	20	45.53	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
25	30	45.23	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
25	40	44.94	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
25	50	44.65	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
26	10	44.36	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
26	20	44.07	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
26	30	43.79	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
26	40	43.52	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
26	50	43.24	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	10	42.97	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	20	42.70	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	30	42.44	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	40	42.18	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	50	41.92	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	10	41.67	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	20	41.42	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	30	41.17	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	40	40.93	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
27	50	40.68	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
28	10	40.44	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
28	20	40.21	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
28	30	40.00	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
28	40	39.77	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
28	50	39.54	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
29	10	39.29	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
29	20	39.07	29.15	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
29	30	38.84	28.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
29	40	38.61	28.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
29	50	38.41	27.45	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96
30	10	38.20	30.00	31	15	5	2	30	10	5	0	5.00	7.99	19.96

42

TABLA 7-B. DEFLEXIONES Y CUERDAS DE CURVAS CIRCULARES

GRADO	RADIO	DEFLEXION POR METRO DE ARCO	ANGULO DE LA CUERDA PARA LONGITUD DE ARCO DE			LONGITUD DE CUERDA PARA ARCOS DE		
			5 m	10 m	20 m	5 m	10 m	20 m
			15	15	3	30	15	5
16	16	45	46	7	30	15	19.77	
17	17	45	47	7	30	15	19.77	
18	18	46	48	7	30	15	19.76	
19	19	46	49	7	30	15	19.76	
20	20	47	50	7	30	15	19.76	
21	21	47	51	7	30	15	19.76	
22	22	48	52	7	30	15	19.75	
23	23	48	53	7	30	15	19.75	
24	24	49	54	7	30	15	19.75	
25	25	49	55	7	30	15	19.75	
26	26	50	56	7	30	15	19.75	
27	27	50	57	7	30	15	19.75	
28	28	51	58	7	30	15	19.74	
29	29	51	59	7	30	15	19.74	
30	30	52	60	7	30	15	19.74	
31	31	52	61	7	30	15	19.73	
32	32	53	62	7	30	15	19.73	
33	33	53	63	7	30	15	19.73	
34	34	54	64	7	30	15	19.73	
35	35	54	65	7	30	15	19.72	
36	36	55	66	7	30	15	19.72	
37	37	55	67	7	30	15	19.72	
38	38	56	68	7	30	15	19.71	
39	39	56	69	7	30	15	19.71	
40	40	57	70	7	30	15	19.71	
41	41	57	71	7	30	15	19.70	
42	42	58	72	7	30	15	19.70	
43	43	58	73	7	30	15	19.70	
44	44	59	74	7	30	15	19.69	
45	45	59	75	7	30	15	19.69	
46	46	60	76	7	30	15	19.69	
47	47	60	77	7	30	15	19.68	
48	48	61	78	7	30	15	19.68	
49	49	61	79	7	30	15	19.68	
50	50	62	80	7	30	15	19.68	
51	51	63	81	7	30	15	19.67	
52	52	63	82	7	30	15	19.67	
53	53	64	83	7	30	15	19.67	
54	54	64	84	7	30	15	19.66	
55	55	65	85	7	30	15	19.66	
56	56	65	86	7	30	15	19.66	
57	57	66	87	7	30	15	19.65	
58	58	66	88	7	30	15	19.65	
59	59	67	89	7	30	15	19.65	
60	60	68	90	7	30	15	19.64	
61	61	68	91	7	30	15	19.64	
62	62	69	92	7	30	15	19.64	
63	63	69	93	7	30	15	19.64	
64	64	70	94	7	30	15	19.63	
65	65	70	95	7	30	15	19.63	
66	66	71	96	7	30	15	19.63	
67	67	71	97	7	30	15	19.62	
68	68	72	98	7	30	15	19.62	
69	69	73	99	7	30	15	19.62	
70	70	73	100	7	30	15	19.61	
71	71	74	101	7	30	15	19.61	
72	72	74	102	7	30	15	19.61	
73	73	75	103	7	30	15	19.60	
74	74	75	104	7	30	15	19.60	
75	75	76	105	7	30	15	19.60	
76	76	76	106	7	30	15	19.60	
77	77	77	107	7	30	15	19.59	
78	78	78	108	7	30	15	19.59	
79	79	78	109	7	30	15	19.59	
80	80	79	110	7	30	15	19.59	
81	81	79	111	7	30	15	19.58	
82	82	80	112	7	30	15	19.58	
83	83	80	113	7	30	15	19.58	
84	84	81	114	7	30	15	19.58	
85	85	81	115	7	30	15	19.57	
86	86	82	116	7	30	15	19.57	
87	87	82	117	7	30	15	19.57	
88	88	83	118	7	30	15	19.57	
89	89	83	119	7	30	15	19.56	
90	90	84	120	7	30	15	19.56	

TABLA 7-B. DEFLEXIONES Y CUERDAS DE CURVAS CIRCULARES

GRADO	RADIO	DEFLEXION		ANGULO DE LA CUERDA PARA LONGITUD			LONGITUD DE CUERDA PARA		
		POR METRO		DE ARCO DE			ARCOS DE		
		DE ARCO		5m	10m	20m	5m	10m	20m
40	10	28.40	60'	5	10	20	4.99	9.95	19.59
40	20	28.41	60	1	10	20	4.99	9.95	19.59
40	30	28.29	60	3	10	20	4.99	9.95	19.59
40	40	28.18	61	5	10	20	4.99	9.95	19.58
40	50	28.06	61	7	10	20	4.99	9.95	19.58
41	0	27.95	61	9	10	20	4.99	9.95	19.58
41	10	27.84	61	11	10	20	4.99	9.95	19.57
41	20	27.72	62	13	10	20	4.99	9.95	19.57
41	30	27.61	62	15	10	20	4.99	9.95	19.56
41	40	27.50	62	17	10	20	4.99	9.95	19.56
41	50	27.39	62	19	10	20	4.99	9.95	19.56
42	0	27.28	63	21	10	20	4.99	9.95	19.56
42	10	27.18	63	23	10	20	4.99	9.95	19.55
42	20	27.07	63	25	10	20	4.99	9.95	19.55
42	30	26.96	63	27	10	20	4.99	9.95	19.55
42	40	26.86	64	29	10	20	4.99	9.95	19.54
42	50	26.75	64	31	10	20	4.99	9.95	19.54
43	0	26.65	64	33	10	20	4.99	9.95	19.54
43	10	26.55	64	35	10	20	4.99	9.95	19.53
43	20	26.44	65	37	10	20	4.99	9.95	19.53
43	30	26.34	65	39	10	20	4.99	9.95	19.53
43	40	26.24	66	41	10	20	4.99	9.95	19.52
43	50	26.14	66	43	10	20	4.99	9.95	19.52
44	0	26.04	66	45	10	20	4.99	9.95	19.51
44	10	25.95	66	47	10	20	4.99	9.95	19.51
44	20	25.85	66	49	10	20	4.99	9.95	19.51
44	30	25.75	66	51	10	20	4.99	9.95	19.50
44	40	25.65	66	53	10	20	4.99	9.95	19.50
44	50	25.56	67	55	10	20	4.99	9.95	19.50
45	0	25.46	67	57	10	20	4.99	9.95	19.49
45	10	25.37	67	59	10	20	4.99	9.95	19.49
45	20	25.28	68	61	10	20	4.99	9.95	19.48
45	30	25.18	68	63	10	20	4.99	9.95	19.48
45	40	25.09	68	65	10	20	4.99	9.95	19.47
45	50	25.00	68	67	10	20	4.99	9.95	19.47
46	0	24.91	69	69	10	20	4.99	9.95	19.46
46	10	24.82	69	71	10	20	4.99	9.95	19.46
46	20	24.73	69	73	10	20	4.99	9.95	19.46
46	30	24.64	70	75	10	20	4.99	9.95	19.45
46	40	24.56	70	77	10	20	4.99	9.95	19.45
46	50	24.47	70	79	10	20	4.99	9.95	19.45
47	0	24.39	70	81	10	20	4.99	9.95	19.44
47	10	24.31	71	83	10	20	4.99	9.95	19.44
47	20	24.22	71	85	10	20	4.99	9.95	19.44
47	30	24.12	71	87	10	20	4.99	9.95	19.43
47	40	24.04	71	89	10	20	4.99	9.95	19.43
47	50	23.96	72	91	10	20	4.99	9.95	19.43
48	0	23.87	72	93	10	20	4.99	9.95	19.42
48	10	23.79	72	95	10	20	4.99	9.95	19.42
48	20	23.71	72	97	10	20	4.99	9.95	19.42
48	30	23.63	72	99	10	20	4.99	9.95	19.41
48	40	23.55	73	101	10	20	4.99	9.95	19.41
48	50	23.47	73	103	10	20	4.99	9.95	19.40
49	0	23.39	73	105	10	20	4.99	9.95	19.40
49	10	23.31	73	107	10	20	4.99	9.95	19.39
49	20	23.23	74	109	10	20	4.99	9.95	19.39
49	30	23.15	74	111	10	20	4.99	9.95	19.38
49	40	23.07	74	113	10	20	4.99	9.95	19.38
49	50	22.99	74	115	10	20	4.99	9.95	19.37
50	0	22.92	75	117	10	20	4.99	9.95	19.37

TABLA 7-8. DEFLEXIONES Y CUERDAS DE CURVAS CIRCULARES

GRADO	RADIO	DEFLEXION PARA METRO		ANGULO DE LA CUERDA PARA LONGITUD DE ARCO DE			LONGITUD DE CUERDA PARA ARCOS DE		
		DE ARCO	DE ARCO	5 m	10 m	20 m	5 m	10 m	20 m
50°	10'	22.84	75' 15"	6° 16'	13° 35'	25° 5'	4.99	9.92	19.37
50°	20'	22.77	75' 10"	6° 17'	13° 35'	25° 10'	4.99	9.92	19.36
50°	30'	22.69	75' 45'	6° 6'	13° 37'	25° 15'	4.99	9.92	19.36
50°	40'	22.62	75' 0"	6° 6'	13° 40'	25° 20'	4.99	9.92	19.36
50°	50'	22.54	76' 15'	6° 6'	13° 42'	25° 25'	4.99	9.92	19.35
51°	0'	22.47	76' 30'	6° 6'	13° 45'	25° 30'	4.99	9.92	19.35
51°	10'	22.40	76' 45'	6° 6'	13° 47'	25° 35'	4.99	9.92	19.34
51°	20'	22.32	77' 0"	6° 6'	13° 50'	25° 40'	4.99	9.92	19.34
51°	30'	22.25	77' 15'	6° 6'	13° 52'	25° 45'	4.99	9.92	19.33
51°	40'	22.18	77' 30'	6° 6'	13° 55'	25° 50'	4.99	9.92	19.33
51°	50'	22.11	77' 45'	6° 6'	13° 57'	25° 55'	4.99	9.92	19.33
52°	0'	22.04	78' 0"	6° 6'	13° 59'	26° 0'	4.99	9.92	19.32
52°	10'	21.97	78' 15'	6° 6'	14° 0'	26° 5'	4.99	9.91	19.32
52°	20'	21.90	78' 30'	6° 6'	14° 0'	26° 10'	4.99	9.91	19.31
52°	30'	21.83	78' 45'	6° 6'	14° 0'	26° 15'	4.99	9.91	19.31
52°	40'	21.76	79' 0"	6° 6'	14° 0'	26° 20'	4.99	9.91	19.31
52°	50'	21.69	79' 15'	6° 6'	14° 0'	26° 25'	4.99	9.91	19.30
53°	0'	21.62	79' 30'	6° 6'	14° 0'	26° 30'	4.99	9.91	19.30
53°	10'	21.55	79' 45'	6° 6'	14° 0'	26° 35'	4.99	9.91	19.29
53°	20'	21.49	80' 0"	6° 6'	14° 0'	26° 40'	4.99	9.91	19.29
53°	30'	21.42	80' 15'	6° 6'	14° 0'	26° 45'	4.99	9.91	19.28
53°	40'	21.35	80' 30'	6° 6'	14° 0'	26° 50'	4.99	9.91	19.28
53°	50'	21.29	80' 45'	6° 6'	14° 0'	26° 55'	4.99	9.91	19.27
54°	0'	21.22	81' 0"	6° 6'	14° 0'	27' 0'	4.99	9.91	19.27
54°	10'	21.16	81' 15'	6° 6'	14° 0'	27' 5'	4.99	9.91	19.27
54°	20'	21.09	81' 30'	6° 6'	14° 0'	27' 10'	4.99	9.91	19.26
54°	30'	21.03	81' 45'	6° 6'	14° 0'	27' 15'	4.99	9.91	19.26
54°	40'	20.96	82' 0"	6° 6'	14° 0'	27' 20'	4.99	9.91	19.25
54°	50'	20.90	82' 15'	6° 6'	14° 0'	27' 25'	4.99	9.91	19.25
55°	0'	20.83	82' 30'	6° 6'	14° 0'	27' 30'	4.99	9.91	19.24
55°	10'	20.77	82' 45'	6° 6'	14° 0'	27' 35'	4.99	9.90	19.24
55°	20'	20.71	83' 0"	6° 6'	14° 0'	27' 40'	4.99	9.90	19.23
55°	30'	20.65	83' 15'	6° 6'	14° 0'	27' 45'	4.99	9.90	19.23
55°	40'	20.59	83' 30'	6° 6'	14° 0'	27' 50'	4.99	9.90	19.22
55°	50'	20.52	83' 45'	6° 6'	14° 0'	27' 55'	4.99	9.90	19.22
56°	0'	20.46	84' 0"	7° 7'	14° 0'	28' 0'	4.99	9.90	19.21
56°	10'	20.40	84' 15'	7° 7'	14° 0'	28' 5'	4.99	9.90	19.21
56°	20'	20.34	84' 30'	7° 7'	14° 0'	28' 10'	4.99	9.90	19.20
56°	30'	20.28	84' 45'	7° 7'	14° 0'	28' 15'	4.99	9.90	19.20
56°	40'	20.22	85' 0"	7° 7'	14° 0'	28' 20'	4.99	9.90	19.19
56°	50'	20.16	85' 15'	7° 7'	14° 0'	28' 25'	4.99	9.90	19.19
57°	0'	20.10	85' 30'	7° 7'	14° 0'	28' 30'	4.99	9.90	19.18
57°	10'	20.05	85' 45'	7° 7'	14° 0'	28' 35'	4.99	9.90	19.18
57°	20'	19.99	86' 0"	7° 7'	14° 0'	28' 40'	4.99	9.90	19.17
57°	30'	19.93	86' 15'	7° 7'	14° 0'	28' 45'	4.99	9.90	19.17
57°	40'	19.87	86' 30'	7° 7'	14° 0'	28' 50'	4.99	9.90	19.16
57°	50'	19.81	86' 45'	7° 7'	14° 0'	28' 55'	4.99	9.89	19.16
58°	0'	19.76	87' 0"	7° 7'	14° 0'	29' 0'	4.99	9.89	19.15
58°	10'	19.70	87' 15'	7° 7'	14° 0'	29' 5'	4.99	9.89	19.15
58°	20'	19.64	87' 30'	7° 7'	14° 0'	29' 10'	4.99	9.89	19.14
58°	30'	19.59	87' 45'	7° 7'	14° 0'	29' 15'	4.99	9.89	19.14
58°	40'	19.53	88' 0"	7° 7'	14° 0'	29' 20'	4.99	9.89	19.13
58°	50'	19.48	88' 15'	7° 7'	14° 0'	29' 25'	4.99	9.89	19.13
59°	0'	19.42	88' 30'	7° 7'	14° 0'	29' 30'	4.99	9.89	19.12
59°	10'	19.37	88' 45'	7° 7'	14° 0'	29' 35'	4.99	9.89	19.12
59°	20'	19.31	88' 59'	7° 7'	14° 0'	29' 40'	4.99	9.89	19.12
59°	30'	19.26	89' 15'	7° 7'	14° 0'	29' 45'	4.99	9.89	19.11
59°	40'	19.21	89' 30'	7° 7'	14° 0'	29' 50'	4.99	9.89	19.11
59°	50'	19.15	89' 45'	7° 7'	14° 0'	29' 55'	4.99	9.89	19.11
60°	0'	19.10	90' 0"	7° 30'	15° 0'	30' 0"	4.99	9.89	19.10

TABLA 7-B. DEFLEXIONES Y CUERDAS DE CURVAS CIRCULARES

GRADO	RADIO	DEFLEXION PARA METRO DE ARCO	ANGULO DE LA CUERDA PARA LONGITUD DE ARCO DE			LONGITUD DE CUERDA PARA ARCOS DE					
			5 m	10 m	20 m	5 m	10 m	20 m			
50 ^c	10'	22.84	75'	15"	12°	32"	30"	22.50	4.99	9.92	19.37
50	20	22.77	75	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.36
50	30	22.76	75	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.36
50	40	22.76	76	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.36
50	50	22.76	76	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.35
50	100	22.76	76	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.35
51	10	22.77	76	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.34
51	20	22.77	77	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.34
51	30	22.77	77	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.34
51	40	22.77	77	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.33
51	50	22.77	77	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.33
52	10	22.77	78	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.32
52	20	22.77	78	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.32
52	30	22.77	78	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.31
52	40	22.77	79	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.31
52	50	22.77	79	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.31
53	10	22.77	79	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.30
53	20	22.77	80	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.29
53	30	22.77	80	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.29
53	40	22.77	80	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.28
53	50	22.77	80	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.28
54	10	22.77	81	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.27
54	20	22.77	81	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.27
54	30	22.77	81	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.27
54	40	22.77	81	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.26
54	50	22.77	82	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.26
55	10	22.77	82	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.25
55	20	22.77	82	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.25
55	30	22.77	82	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.25
55	40	22.77	83	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.24
55	50	22.77	83	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.24
56	10	22.77	83	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.23
56	20	22.77	84	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.23
56	30	22.77	84	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.22
56	40	22.77	84	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.22
56	50	22.77	85	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.22
57	10	22.77	85	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.21
57	20	22.77	85	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.21
57	30	22.77	86	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.21
57	40	22.77	86	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.20
57	50	22.77	86	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.20
58	10	22.77	87	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.19
58	20	22.77	87	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.19
58	30	22.77	87	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.19
58	40	22.77	88	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.18
58	50	22.77	88	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.18
59	10	22.77	88	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.17
59	20	22.77	89	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.17
59	30	22.77	89	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.17
59	40	22.77	89	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.16
59	50	22.77	89	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.16
60	10	22.77	90	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.15
60	20	22.77	90	15	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.15
60	30	22.77	90	30	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.15
60	40	22.77	90	45	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.14
60	50	22.77	90	00	12	33	30	22.50	4.99	9.92	19.14

Tabla 7. ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION DE 100 M DE LONGITUD

θ	D	h	Y_c	X_c	TL	TC	ϕ_c
0°	0.000	50.000	0.097	100.000	66.667	33.333	0°
10	0.000	50.000	0.194	100.000	66.667	33.333	3'
20	0.000	50.000	0.291	99.999	66.667	33.333	6
30	0.000	50.000	0.388	99.999	66.667	33.333	10
40	0.000	50.000	0.485	99.998	66.667	33.333	16
50	0.000	49.999	0.582	99.997	66.667	33.333	20
60	0.000	49.999	0.679	99.996	66.668	33.333	23
70	0.000	49.999	0.776	99.995	66.669	33.333	26
80	0.000	49.999	0.873	99.993	66.669	33.333	29
90	0.000	49.999	0.970	99.992	66.670	33.333	33
100	0.000	49.998	1.067	99.990	66.670	33.333	36
110	0.000	49.998	1.163	99.988	66.571	33.333	39
120	0.000	49.998	1.260	99.986	66.672	33.333	43
130	0.000	49.997	1.357	99.983	66.673	33.333	46
140	0.000	49.997	1.454	99.981	66.673	33.333	49
150	0.000	49.996	1.551	99.978	66.674	33.333	53
160	0.000	49.996	1.648	99.976	66.675	33.333	56
170	0.000	49.995	1.745	99.973	66.676	33.333	59
180	0.000	49.995	1.842	99.969	66.677	33.333	3
190	0.000	49.994	1.939	99.966	66.679	33.333	6
200	0.000	49.994	2.036	99.963	66.580	33.333	9
210	0.000	49.993	2.133	99.959	66.681	33.333	13
220	0.000	49.993	2.230	99.955	66.682	33.333	16
230	0.000	49.992	2.326	99.951	66.684	33.333	19
240	0.000	49.991	2.423	99.947	66.685	33.333	23
250	0.000	49.990	2.520	99.943	66.687	33.333	26
260	0.000	49.990	2.617	99.938	66.588	33.333	29
270	0.000	49.989	2.714	99.934	66.690	33.333	33
280	0.000	49.988	2.811	99.929	66.692	33.333	36
290	0.000	49.987	2.907	99.924	66.693	33.333	39
300	0.000	49.986	3.004	99.919	66.695	33.333	43
310	0.000	49.985	3.101	99.913	66.597	33.333	46
320	0.000	49.985	3.198	99.908	66.699	33.333	49
330	0.000	49.984	3.294	99.902	66.701	33.333	53
340	0.000	49.983	3.391	99.896	66.703	33.333	56
350	0.000	49.982	3.488	99.890	66.705	33.333	59
360	0.000	49.981	3.585	99.884	66.707	33.333	3
370	0.000	49.980	3.681	99.877	66.709	33.333	6
380	0.000	49.979	3.778	99.871	66.712	33.333	9
390	0.000	49.977	3.875	99.865	66.714	33.333	13
400	0.000	49.976	3.971	99.858	66.716	33.333	16
410	0.000	49.975	4.068	99.851	66.719	33.333	19
420	0.000	49.974	4.165	99.844	66.721	33.333	23
430	0.000	49.973	4.261	99.836	66.724	33.333	26
440	0.000	49.971	4.358	99.829	66.727	33.333	29
450	0.000	49.970	4.455	99.821	66.729	33.333	33
460	0.000	49.969	4.551	99.813	66.732	33.333	36
470	0.000	49.968	4.648	99.805	66.735	33.333	39
480	0.000	49.966	4.744	99.797	66.738	33.333	43
490	0.000	49.965	4.841	99.789	66.741	33.333	46
500	0.000	49.963	4.937	99.781	66.744	33.333	49
510	0.000	49.962	5.034	99.771	66.747	33.333	53
520	0.000	49.960	5.130	99.763	66.750	33.333	56
530	0.000	49.959	5.227	99.754	66.753	33.333	59
540	0.000	49.957	5.323	99.744	66.756	33.333	3
550	0.000	49.956	5.420	99.735	66.760	33.333	6
560	0.000	49.954	5.516	99.725	66.763	33.333	9
570	0.000	49.953	5.612	99.716	66.766	33.333	13
580	0.000	49.951	5.709	99.706	66.770	33.333	16
590	0.000	49.949	5.805	99.696	66.773	33.333	19

TABLA 7.C. ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION DE 100 M DE LONGITUD

θ	p	k	Y_c	Y_c	TL	TC	ϕ_c
10' 10'	1.48	49.948	5.911	99.694	66.777	33.434	3.23
10' 20'	1.50	49.946	5.999	99.675	66.781	33.437	2.23
10' 30'	1.53	49.942	6.094	99.665	66.784	33.440	2.26
10' 40'	1.55	49.940	6.191	99.654	66.788	33.444	2.29
10' 50'	1.57	49.939	6.287	99.643	66.792	33.447	3.33
11' 00'	1.60	49.937	6.383	99.632	66.796	33.451	3.36
11' 10'	1.62	49.935	6.479	99.621	66.800	33.454	3.39
11' 20'	1.65	49.933	6.575	99.609	66.804	33.458	4.43
11' 30'	1.67	49.931	6.671	99.598	66.808	33.462	4.46
11' 40'	1.69	49.931	6.767	99.586	66.812	33.465	5.50
11' 50'	1.72	49.927	6.863	99.574	66.816	33.469	5.53
12' 00'	1.74	49.925	6.959	99.562	66.820	33.473	6.57
12' 10'	1.77	49.923	7.055	99.551	66.824	33.477	7.61
12' 20'	1.79	49.921	7.151	99.539	66.828	33.481	8.65
12' 30'	1.81	49.919	7.247	99.528	66.832	33.485	9.69
12' 40'	1.84	49.916	7.343	99.517	66.836	33.489	10.73
12' 50'	1.86	49.914	7.439	99.506	66.840	33.493	11.77
13' 00'	1.89	49.912	7.535	99.495	66.844	33.497	12.81
13' 10'	1.91	49.910	7.631	99.484	66.848	33.501	13.85
13' 20'	1.94	49.908	7.727	99.473	66.852	33.505	14.89
13' 30'	1.96	49.905	7.823	99.462	66.856	33.509	15.93
13' 40'	1.98	49.903	7.919	99.451	66.860	33.513	16.97
13' 50'	2.01	49.901	8.014	99.440	66.864	33.517	18.01
14' 00'	2.03	49.899	8.110	99.430	66.868	33.521	19.05
14' 10'	2.06	49.896	8.206	99.419	66.872	33.525	20.09
14' 20'	2.08	49.896	8.302	99.408	66.876	33.529	21.13
14' 30'	2.10	49.893	8.397	99.397	66.880	33.533	22.17
14' 40'	2.13	49.891	8.493	99.386	66.884	33.537	23.21
14' 50'	2.15	49.888	8.588	99.375	66.888	33.541	24.25
15' 00'	2.18	49.886	8.684	99.364	66.892	33.545	25.29
15' 10'	2.20	49.883	8.780	99.353	66.896	33.549	26.33
15' 20'	2.22	49.881	8.875	99.342	66.900	33.553	27.37
15' 30'	2.25	49.878	8.971	99.331	66.904	33.557	28.41
15' 40'	2.27	49.876	9.066	99.320	66.908	33.561	29.45
15' 50'	2.30	49.873	9.161	99.309	66.912	33.565	30.49
16' 00'	2.32	49.871	9.257	99.298	66.916	33.569	31.53
16' 10'	2.34	49.868	9.352	99.287	66.920	33.573	32.57
16' 20'	2.37	49.865	9.447	99.276	66.924	33.577	33.61
16' 30'	2.39	49.862	9.543	99.265	66.928	33.581	34.65
16' 40'	2.42	49.859	9.638	99.254	66.932	33.585	35.69
16' 50'	2.44	49.856	9.733	99.243	66.936	33.589	36.73
17' 00'	2.46	49.854	9.828	99.232	66.940	33.593	37.77
17' 10'	2.49	49.851	9.923	99.221	66.944	33.597	38.81
17' 20'	2.51	49.848	10.018	99.210	66.948	33.601	39.85
17' 30'	2.54	49.845	10.113	99.200	66.952	33.605	40.89
17' 40'	2.56	49.842	10.208	99.189	66.956	33.609	41.93
17' 50'	2.58	49.839	10.303	99.178	66.960	33.613	42.97
18' 00'	2.61	49.836	10.398	99.167	66.964	33.617	44.01
18' 10'	2.63	49.833	10.493	99.156	66.968	33.621	45.05
18' 20'	2.66	49.830	10.588	99.145	66.972	33.625	46.09
18' 30'	2.68	49.827	10.683	99.134	66.976	33.629	47.13
18' 40'	2.70	49.824	10.778	99.123	66.980	33.633	48.17
18' 50'	2.73	49.820	10.873	99.112	66.984	33.637	49.21
19' 00'	2.75	49.817	10.967	99.101	66.988	33.641	50.25
19' 10'	2.78	49.814	11.062	99.090	66.992	33.645	51.29
19' 20'	2.80	49.811	11.157	99.079	66.996	33.649	52.33
19' 30'	2.82	49.808	11.251	99.068	66.999	33.653	53.37
19' 40'	2.85	49.804	11.346	99.057	67.003	33.657	54.41
19' 50'	2.87	49.801	11.440	99.046	67.007	33.661	55.45
20' 00'	2.90	49.798	11.535	99.035	67.011	33.665	56.49

TABLA 7-C. ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION DE 100 M DE LONGITUD

θ	p	k	Y_c	Y_c	TL	TC	ϕ_c
10°	1.48	49.948	5.901	99.686	66.777	33.434	3°
10°	1.50	49.946	5.998	99.675	66.781	33.437	23°
10°	1.53	49.944	6.094	99.665	66.784	33.440	226°
10°	1.55	49.942	6.190	99.654	66.788	33.444	229°
10°	1.57	49.940	6.287	99.643	66.792	33.447	333°
10°	1.60	49.939	6.383	99.632	66.796	33.451	336°
10°	1.62	49.937	6.479	99.621	66.800	33.454	339°
10°	1.65	49.935	6.575	99.609	66.804	33.458	343°
10°	1.67	49.933	6.671	99.598	66.808	33.462	346°
10°	1.69	49.931	6.767	99.586	66.812	33.465	350°
10°	1.72	49.927	6.863	99.574	66.816	33.469	353°
10°	1.74	49.927	6.959	99.562	66.821	33.473	357°
10°	1.77	49.925	7.056	99.551	66.825	33.477	359°
10°	1.79	49.923	7.152	99.539	66.829	33.481	3
10°	1.81	49.921	7.248	99.528	66.834	33.485	6°
10°	1.84	49.919	7.343	99.517	66.838	33.489	9°
10°	1.86	49.916	7.439	99.506	66.843	33.493	13°
10°	1.89	49.914	7.535	99.494	66.847	33.497	16°
10°	1.91	49.912	7.631	99.483	66.852	33.502	19°
10°	1.94	49.910	7.727	99.471	66.857	33.506	23°
10°	1.96	49.908	7.823	99.460	66.862	33.511	26°
10°	1.98	49.905	7.919	99.449	66.867	33.515	29°
10°	2.00	49.903	8.014	99.438	66.871	33.519	33°
10°	2.03	49.901	8.110	99.427	66.876	33.524	36°
10°	2.06	49.898	8.206	99.416	66.881	33.529	39°
10°	2.08	49.896	8.302	99.405	66.887	33.533	43°
10°	2.10	49.893	8.397	99.394	66.892	33.538	46°
10°	2.13	49.891	8.493	99.383	66.897	33.543	49°
10°	2.15	49.888	8.588	99.372	66.902	33.548	53°
10°	2.18	49.886	8.684	99.361	66.908	33.552	56°
10°	2.20	49.883	8.780	99.350	66.913	33.557	59°
10°	2.22	49.881	8.875	99.339	66.919	33.562	6°
10°	2.25	49.878	8.971	99.328	66.924	33.567	9°
10°	2.27	49.876	9.066	99.317	66.930	33.572	13°
10°	2.30	49.873	9.161	99.306	66.935	33.577	16°
10°	2.32	49.871	9.257	99.295	66.941	33.583	19°
10°	2.34	49.868	9.352	99.284	66.947	33.588	23°
10°	2.37	49.865	9.447	99.273	66.953	33.593	26°
10°	2.39	49.862	9.543	99.262	66.959	33.599	29°
10°	2.42	49.859	9.638	99.251	66.965	33.604	33°
10°	2.44	49.856	9.733	99.240	66.971	33.610	36°
10°	2.46	49.854	9.828	99.229	66.977	33.615	39°
10°	2.49	49.851	9.923	99.218	66.983	33.621	43°
10°	2.51	49.848	10.018	99.207	66.989	33.627	46°
10°	2.53	49.845	10.113	99.196	66.995	33.633	49°
10°	2.55	49.842	10.208	99.185	67.002	33.638	53°
10°	2.58	49.839	10.303	99.174	67.008	33.644	56°
10°	2.61	49.836	10.398	99.163	67.015	33.650	59°
10°	2.63	49.833	10.493	98.152	67.021	33.656	6°
10°	2.66	49.830	10.588	98.141	67.028	33.662	9°
10°	2.68	49.827	10.683	98.130	67.034	33.668	12°
10°	2.70	49.824	10.778	98.119	67.041	33.674	16°
10°	2.73	49.820	10.873	98.108	67.048	33.680	19°
10°	2.75	49.817	10.967	98.097	67.055	33.686	22°
10°	2.78	49.814	11.062	98.086	67.062	33.692	26°
10°	2.80	49.811	11.157	98.075	67.069	33.699	29°
10°	2.82	49.808	11.251	98.064	67.076	33.705	33°
10°	2.85	49.804	11.346	98.053	67.083	33.712	36°
10°	2.87	49.801	11.440	98.042	67.090	33.718	39°
10°	2.90	49.798	11.535	98.031	67.097	33.725	3°

TABLA 7-C. ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION DE 100 M DE LONGITUD

θ	p	k	Y_c	X_c	TL	TC	ϕ_c
20° 10'	2.92	49.794	11.629	98.768	67.105	33.732	6° 42'
20 20	2.94	49.791	11.723	98.768	67.112	33.738	46 54
20 30	2.97	49.787	11.818	98.727	67.119	33.745	13 00
20 40	2.99	49.784	11.912	98.707	67.127	33.752	49 33
20 50	3.02	49.780	12.006	98.666	67.134	33.759	52 11
21 00	3.06	49.777	12.101	98.666	67.142	33.771	58 55
21 10	3.09	49.773	12.195	98.666	67.150	33.783	66 00
21 20	3.11	49.770	12.289	98.623	67.157	33.787	77 08
21 30	3.14	49.766	12.383	98.601	67.165	33.794	87 47
21 40	3.16	49.763	12.477	98.558	67.173	33.801	120 00
21 50	3.18	49.759	12.571	98.558	67.181	33.809	19 00
22 00	3.21	49.755	12.665	98.515	67.189	33.816	22 46
22 10	3.25	49.752	12.759	98.469	67.197	33.823	26 50
22 20	3.28	49.748	12.853	98.469	67.205	33.831	29 33
22 30	3.33	49.744	12.946	98.446	67.213	33.838	32 00
22 40	3.35	49.740	13.040	98.446	67.222	33.846	33 30
22 50	3.38	49.736	13.134	98.446	67.230	33.853	35 00
23 00	3.43	49.733	13.228	98.401	67.238	33.861	36 30
23 10	3.45	49.729	13.321	98.333	67.247	33.868	38 00
23 20	3.47	49.725	13.415	98.333	67.255	33.876	39 30
23 30	3.49	49.721	13.508	98.333	67.264	33.884	42 00
23 40	3.52	49.717	13.602	98.308	67.272	33.891	44 30
23 50	3.55	49.713	13.695	98.284	67.281	33.899	47 00
24 00	3.57	49.709	13.789	98.260	67.290	33.906	50 00
24 10	3.60	49.705	13.882	98.236	67.299	33.914	52 30
24 20	3.62	49.701	13.975	98.211	67.308	33.921	55 00
24 30	3.66	49.697	14.068	98.187	67.317	33.929	57 30
24 40	3.69	49.692	14.162	98.162	67.326	33.937	60 00
24 50	3.71	49.689	14.255	98.138	67.335	33.945	62 30
25 00	3.75	49.684	14.348	98.113	67.344	33.953	65 00
25 10	3.78	49.680	14.441	98.088	67.353	33.961	67 30
25 20	3.81	49.676	14.534	98.063	67.363	33.969	70 00
25 30	3.84	49.672	14.627	98.037	67.372	33.977	72 30
25 40	3.87	49.667	14.720	98.012	67.381	33.985	75 00
25 50	3.91	49.663	14.812	97.986	67.391	33.993	77 30
26 00	3.95	49.659	14.905	97.960	67.400	34.001	80 00
26 10	3.98	49.654	14.998	97.934	67.410	34.009	82 30
26 20	4.00	49.650	15.091	97.908	67.420	34.017	85 00
26 30	4.02	49.646	15.183	97.882	67.429	34.025	87 30
26 40	4.05	49.641	15.276	97.856	67.439	34.033	90 00
26 50	4.07	49.637	15.369	97.829	67.449	34.041	92 30
27 00	4.10	49.632	15.461	97.802	67.459	34.049	95 00
27 10	4.12	49.628	15.553	97.775	67.469	34.057	97 30
27 20	4.14	49.623	15.645	97.748	67.479	34.065	100 00
27 30	4.16	49.618	15.738	97.721	67.489	34.073	102 30
27 40	4.18	49.614	15.830	97.693	67.500	34.081	105 00
27 50	4.21	49.609	15.922	97.666	67.510	34.089	107 30
28 00	4.24	49.605	16.014	97.638	67.520	34.097	110 00
28 10	4.26	49.600	16.106	97.611	67.531	34.105	112 30
28 20	4.29	49.595	16.198	97.584	67.541	34.113	115 00
28 30	4.31	49.590	16.290	97.558	67.552	34.121	117 30
28 40	4.33	49.586	16.382	97.532	67.563	34.129	120 00
28 50	4.36	49.581	16.474	97.507	67.573	34.137	122 30
29 00	4.38	49.576	16.565	97.481	67.584	34.145	125 00
29 10	4.41	49.571	16.657	97.455	67.595	34.153	127 30
29 20	4.43	49.566	16.749	97.429	67.606	34.161	130 00
29 30	4.45	49.561	16.840	97.403	67.617	34.169	132 30
29 40	4.48	49.556	16.932	97.377	67.627	34.177	135 00
29 50	4.50	49.552	17.023	97.351	67.639	34.185	137 30
30 00	4.52	49.547	17.114	97.325	67.650	34.193	140 00

TABLA 7-C. ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION DE 100 M DE LONGITUD

θ	p	k	Y_c	X_c	TL	TC	ϕ_c	
30° 10'	4.34	49.542	17.206	97.263	67.661	34.239	10° 1'	54.04"
30° 20'	4.37	49.536	17.297	97.234	67.673	34.249	10° 5	13.00
30° 30'	4.39	49.531	17.388	97.203	67.684	34.260	10° 8	31.05
30° 40'	4.41	49.526	17.479	97.173	67.696	34.270	10° 11	50.06
30° 50'	4.44	49.521	17.570	97.143	67.707	34.281	10° 15	8.60
31° 0	4.46	49.516	17.661	97.112	67.719	34.292	10° 18	27.55
31° 10'	4.49	49.511	17.752	97.082	67.730	34.302	10° 21	45.50
31° 20'	4.51	49.506	17.843	97.051	67.742	34.313	10° 25	4.00
31° 30'	4.53	49.500	17.934	97.020	67.754	34.324	10° 30	22.00
31° 40'	4.56	49.495	18.025	96.989	67.766	34.334	10° 31	40.99
31° 50'	4.58	49.490	18.116	96.957	67.778	34.345	10° 34	59.37
32° 0	4.60	49.485	18.206	96.926	67.790	34.356	10° 38	17.7
32° 10'	4.63	49.479	18.297	96.894	67.802	34.367	10° 41	36.15
32° 20'	4.65	49.474	18.387	96.862	67.814	34.379	10° 44	54.55
32° 30'	4.67	49.469	18.478	96.830	67.826	34.390	10° 48	12.8
32° 40'	4.70	49.463	18.568	96.798	67.839	34.401	10° 51	31.1
32° 50'	4.72	49.458	18.658	96.766	67.851	34.412	10° 54	49.55
33° 0	4.74	49.452	18.749	96.734	67.864	34.424	10° 58	7.8
33° 10'	4.77	49.447	18.839	96.701	67.876	34.435	11° 1	26.00
33° 20'	4.79	49.441	18.929	96.668	67.889	34.447	11° 4	44.3
33° 30'	4.81	49.436	19.019	96.636	67.901	34.458	11° 8	20.6
33° 40'	4.84	49.430	19.109	96.603	67.914	34.470	11° 11	20.8
33° 50'	4.86	49.424	19.199	96.569	67.927	34.481	11° 14	39.00
34° 0	4.88	49.419	19.288	96.536	67.940	34.493	11° 17	57.2
34° 10'	4.91	49.413	19.378	96.503	67.953	34.505	11° 21	15.3
34° 20'	4.93	49.408	19.468	96.469	67.966	34.517	11° 24	33.5
34° 30'	4.95	49.402	19.557	96.435	67.979	34.529	11° 27	51.6
34° 40'	4.98	49.396	19.647	96.401	67.992	34.541	11° 31	9.8
34° 50'	5.00	49.390	19.736	96.367	68.005	34.553	11° 34	27.9
35° 0	5.02	49.385	19.826	96.333	68.017	34.565	11° 37	46.00
35° 10'	5.05	49.379	19.915	96.298	68.032	34.577	11° 41	4.00
35° 20'	5.07	49.373	20.004	96.264	68.046	34.590	11° 44	22.00
35° 30'	5.09	49.367	20.094	96.229	68.059	34.602	11° 47	40.1
35° 40'	5.12	49.361	20.183	96.194	68.073	34.615	11° 50	58.1
35° 50'	5.14	49.355	20.272	96.159	68.086	34.627	11° 54	16.00
36° 0	5.16	49.349	20.361	96.124	68.100	34.640	11° 57	34.00
36° 10'	5.19	49.343	20.450	96.089	68.114	34.652	12° 0	52.00
36° 20'	5.21	49.337	20.538	96.054	68.128	34.665	12° 4	9.9
36° 30'	5.23	49.331	20.627	96.018	68.142	34.678	12° 7	27.9
36° 40'	5.26	49.325	20.716	95.982	68.156	34.691	12° 10	45.7
36° 50'	5.28	49.319	20.805	95.946	68.170	34.704	12° 14	3.6
37° 0	5.30	49.313	20.893	95.910	68.184	34.717	12° 17	21.4
37° 10'	5.33	49.307	20.981	95.874	68.199	34.730	12° 20	39.2
37° 20'	5.35	49.301	21.070	95.838	68.213	34.743	12° 23	57.1
37° 30'	5.37	49.295	21.158	95.801	68.227	34.756	12° 27	14.9
37° 40'	5.39	49.288	21.246	95.765	68.242	34.769	12° 30	32.6
37° 50'	5.42	49.282	21.335	95.728	68.257	34.783	12° 33	50.4
38° 0	5.44	49.276	21.423	95.691	68.271	34.796	12° 37	8.1
38° 10'	5.46	49.270	21.511	95.654	68.286	34.810	12° 40	25.8
38° 20'	5.49	49.263	21.599	95.617	68.301	34.823	12° 43	43.5
38° 30'	5.51	49.257	21.686	95.579	68.316	34.837	12° 47	1.2
38° 40'	5.53	49.251	21.774	95.542	68.331	34.850	12° 50	18.8
38° 50'	5.56	49.244	21.862	95.504	68.346	34.864	12° 53	36.4
39° 0	5.58	49.238	21.949	95.466	68.361	34.878	12° 56	54.0
39° 10'	5.60	49.231	22.037	95.428	68.376	34.892	13° 0	11.6
39° 20'	5.63	49.225	22.124	95.390	68.391	34.906	13° 3	29.2
39° 30'	5.65	49.218	22.212	95.352	68.407	34.920	13° 6	46.7
39° 40'	5.67	49.212	22.299	95.313	68.422	34.934	13° 10	4.2
39° 50'	5.69	49.205	22.386	95.275	68.438	34.948	13° 13	21.7
40° 0	5.72	49.199	22.473	95.236	68.453	34.962	13° 16	39.2

TABLA 7-C. ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION DE 100 M DE LONGITUD

θ	D	k	Y_c	X_c	TL	TC	ϕ_c
41.0	5.74	49.192	27.561	95.197	68.469	34.977	13° 19'
41.1	5.75	49.193	27.644	95.158	68.485	34.901	13° 23'
41.2	5.76	49.179	27.734	95.119	68.501	34.826	13° 26'
41.3	5.77	49.172	27.821	95.080	68.517	34.751	13° 29'
41.4	5.78	49.165	27.905	95.041	68.533	34.676	13° 33'
41.5	5.79	49.159	27.985	95.001	68.549	34.601	13° 36'
41.6	5.80	49.152	28.061	94.962	68.565	34.526	13° 39'
41.7	5.81	49.145	28.134	94.923	68.581	34.451	13° 42'
41.8	5.82	49.138	28.204	94.884	68.597	34.376	13° 46'
41.9	5.83	49.132	28.271	94.845	68.614	34.301	13° 49'
42.0	5.84	49.125	28.335	94.806	68.630	34.226	13° 52'
42.1	5.85	49.118	28.395	94.767	68.647	34.151	13° 56'
42.2	5.86	49.111	28.452	94.728	68.663	34.076	13° 59'
42.3	5.87	49.104	28.506	94.689	68.680	34.001	14° 03'
42.4	5.88	49.097	28.557	94.650	68.697	33.926	14° 07'
42.5	5.89	49.090	28.605	94.611	68.714	33.851	14° 10'
42.6	5.90	49.083	28.650	94.572	68.731	33.776	14° 14'
42.7	5.91	49.076	28.692	94.533	68.748	33.701	14° 17'
42.8	5.92	49.069	28.731	94.494	68.765	33.626	14° 21'
42.9	5.93	49.062	28.767	94.455	68.782	33.551	14° 24'
43.0	5.94	49.055	28.800	94.416	68.799	33.476	14° 28'
43.1	5.95	49.048	28.831	94.377	68.817	33.401	14° 31'
43.2	5.96	49.041	28.859	94.338	68.834	33.326	14° 35'
43.3	5.97	49.033	28.884	94.299	68.852	33.251	14° 38'
43.4	5.98	49.026	28.906	94.260	68.869	33.176	14° 42'
43.5	5.99	49.019	28.925	94.221	68.887	33.101	14° 45'
43.6	6.00	49.011	28.941	94.182	68.905	33.026	14° 49'
43.7	6.01	49.004	28.954	94.143	68.923	32.951	14° 52'
43.8	6.02	48.996	28.964	94.104	68.941	32.876	14° 56'
43.9	6.03	48.988	28.971	94.065	68.959	32.801	14° 59'
44.0	6.04	48.980	28.975	94.026	68.977	32.726	15° 03'
44.1	6.05	48.972	28.975	93.987	68.995	32.651	15° 07'
44.2	6.06	48.964	28.971	93.948	69.013	32.576	15° 10'
44.3	6.07	48.956	28.964	93.909	69.032	32.501	15° 14'
44.4	6.08	48.947	28.954	93.870	69.050	32.426	15° 17'
44.5	6.09	48.938	28.941	93.831	69.069	32.351	15° 21'
44.6	6.10	48.929	28.925	93.792	69.087	32.276	15° 24'
44.7	6.11	48.920	28.906	93.753	69.105	32.201	15° 28'
44.8	6.12	48.911	28.884	93.714	69.123	32.126	15° 31'
44.9	6.13	48.902	28.859	93.675	69.141	32.051	15° 35'
45.0	6.14	48.893	28.831	93.636	69.159	31.976	15° 38'
45.1	6.15	48.884	28.800	93.597	69.177	31.901	15° 42'
45.2	6.16	48.875	28.767	93.558	69.195	31.826	15° 45'
45.3	6.17	48.866	28.731	93.519	69.213	31.751	15° 49'
45.4	6.18	48.856	28.692	93.480	69.231	31.676	15° 52'
45.5	6.19	48.847	28.650	93.441	69.249	31.601	15° 56'
45.6	6.20	48.837	28.605	93.402	69.267	31.526	15° 59'
45.7	6.21	48.827	28.557	93.363	69.285	31.451	16° 03'
45.8	6.22	48.817	28.506	93.324	69.303	31.376	16° 07'
45.9	6.23	48.807	28.452	93.285	69.321	31.301	16° 10'
46.0	6.24	48.797	28.395	93.246	69.339	31.226	16° 14'
46.1	6.25	48.787	28.335	93.207	69.357	31.151	16° 17'
46.2	6.26	48.777	28.271	93.168	69.375	31.076	16° 21'
46.3	6.27	48.767	28.204	93.129	69.393	31.001	16° 24'
46.4	6.28	48.757	28.134	93.090	69.411	30.926	16° 28'
46.5	6.29	48.747	28.061	93.051	69.429	30.851	16° 31'
46.6	6.30	48.737	27.985	93.012	69.447	30.776	16° 35'
46.7	6.31	48.727	27.905	92.973	69.465	30.701	16° 38'
46.8	6.32	48.717	27.821	92.934	69.483	30.626	16° 42'
46.9	6.33	48.707	27.734	92.895	69.501	30.551	16° 45'
47.0	6.34	48.697	27.644	92.856	69.519	30.476	16° 49'
47.1	6.35	48.687	27.557	92.817	69.537	30.401	16° 52'
47.2	6.36	48.677	27.467	92.778	69.555	30.326	16° 56'
47.3	6.37	48.667	27.371	92.739	69.573	30.251	16° 59'
47.4	6.38	48.657	27.271	92.700	69.591	30.176	17° 03'
47.5	6.39	48.647	27.167	92.661	69.609	30.101	17° 07'
47.6	6.40	48.637	27.060	92.622	69.627	30.026	17° 10'
47.7	6.41	48.627	26.950	92.583	69.645	29.951	17° 14'
47.8	6.42	48.617	26.835	92.544	69.663	29.876	17° 17'
47.9	6.43	48.607	26.715	92.505	69.681	29.801	17° 21'
48.0	6.44	48.597	26.591	92.466	69.699	29.726	17° 24'
48.1	6.45	48.587	26.464	92.427	69.717	29.651	17° 28'
48.2	6.46	48.577	26.335	92.388	69.735	29.576	17° 31'
48.3	6.47	48.567	26.204	92.349	69.753	29.501	17° 35'
48.4	6.48	48.557	26.069	92.310	69.771	29.426	17° 38'
48.5	6.49	48.547	25.931	92.271	69.789	29.351	17° 42'
48.6	6.50	48.537	25.791	92.232	69.807	29.276	17° 45'
48.7	6.51	48.527	25.647	92.193	69.825	29.201	17° 49'
48.8	6.52	48.517	25.500	92.154	69.843	29.126	17° 52'
48.9	6.53	48.507	25.350	92.115	69.861	29.051	17° 56'
49.0	6.54	48.497	25.200	92.076	69.879	28.976	17° 59'
49.1	6.55	48.487	25.047	92.037	69.897	28.901	18° 03'
49.2	6.56	48.477	24.891	91.998	69.915	28.826	18° 07'
49.3	6.57	48.467	24.731	91.959	69.933	28.751	18° 10'
49.4	6.58	48.457	24.567	91.920	69.951	28.676	18° 14'
49.5	6.59	48.447	24.400	91.881	69.969	28.601	18° 17'
49.6	6.60	48.437	24.231	91.842	69.987	28.526	18° 21'
49.7	6.61	48.427	24.060	91.803	69.999	28.451	18° 24'
49.8	6.62	48.417	23.887	91.764	70.017	28.376	18° 28'
49.9	6.63	48.407	23.711	91.725	70.035	28.301	18° 31'
50.0	6.64	48.397	23.535	91.686	70.053	28.226	18° 35'

TABLA 7-C. ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION DE 100 M DE LONGITUD

θ	p	k	Y_c	X_c	TL	TC	ϕ_c
10.0	7.10	48.749	27.627	92.6J6	69.561	35.976	16° 36'
10.1	7.12	48.741	27.77A	92.558	69.582	35.905	16 39
10.2	7.14	48.733	27.790	92.511	69.603	35.814	16 43
10.3	7.17	48.725	27.871	92.463	69.624	36.034	16 46
10.4	7.19	48.717	27.953	92.415	69.645	36.053	16 49
10.5	7.21	48.710	28.034	92.368	69.666	36.073	16 52
10.6	7.23	48.702	28.115	92.319	69.688	36.092	16 56
10.7	7.26	48.694	28.196	92.271	69.709	36.112	16 59
10.8	7.28	48.684	28.277	92.223	69.731	36.132	17 2
10.9	7.30	48.675	28.358	92.175	69.752	36.151	17 6
11.0	7.32	48.666	28.438	92.126	69.774	36.171	17 9
11.1	7.34	48.659	28.519	92.077	69.796	36.191	17 12
11.2	7.37	48.650	28.600	92.028	69.818	36.211	17 15
11.3	7.39	48.642	28.680	91.979	69.840	36.231	17 19
11.4	7.41	48.633	28.760	91.931	69.862	36.252	17 22
11.5	7.43	48.625	28.841	91.881	69.884	36.272	17 25
11.6	7.46	48.616	28.921	91.833	69.906	36.292	17 28
11.7	7.48	48.608	29.001	91.783	69.929	36.313	17 32
11.8	7.50	48.599	29.081	91.733	69.951	36.334	17 35
11.9	7.52	48.591	29.161	91.683	69.974	36.354	17 38
12.0	7.54	48.582	29.240	91.633	69.996	36.375	17 41
12.1	7.57	48.573	29.320	91.583	70.019	36.396	17 45
12.2	7.59	48.565	29.400	91.533	70.042	36.417	17 48
12.3	7.61	48.556	29.479	91.483	70.065	36.438	17 51
12.4	7.63	48.547	29.558	91.432	70.088	36.459	17 54
12.5	7.65	48.539	29.638	91.382	70.111	36.480	17 58
12.6	7.68	48.530	29.717	91.331	70.134	36.502	18 1
12.7	7.70	48.521	29.796	91.280	70.158	36.523	18 4
12.8	7.72	48.512	29.875	91.229	70.181	36.545	18 7
12.9	7.74	48.504	29.953	91.178	70.205	36.566	18 11
13.0	7.76	48.495	30.032	91.127	70.229	36.588	18 14
13.1	7.79	48.486	30.111	91.076	70.252	36.611	18 17
13.2	7.81	48.477	30.189	91.025	70.276	36.632	18 20
13.3	7.83	48.469	30.268	90.973	70.300	36.654	18 24
13.4	7.85	48.459	30.346	90.921	70.324	36.676	18 27
13.5	7.87	48.450	30.424	90.870	70.349	36.698	18 30
13.6	7.89	48.441	30.502	90.818	70.373	36.720	18 33
13.7	7.92	48.432	30.580	90.766	70.397	36.743	18 37
13.8	7.94	48.423	30.658	90.714	70.422	36.765	18 40
13.9	7.96	48.414	30.736	90.661	70.446	36.788	18 43
14.0	7.98	48.405	30.813	90.609	70.471	36.811	18 46
14.1	8.00	48.396	30.891	90.556	70.496	36.833	18 49
14.2	8.03	48.387	30.968	90.504	70.521	36.856	18 53
14.3	8.05	48.378	31.046	90.451	70.546	36.879	18 56
14.4	8.07	48.368	31.123	90.398	70.571	36.902	18 59
14.5	8.09	48.359	31.200	90.345	70.596	36.925	19 3
14.6	8.11	48.350	31.277	90.292	70.621	36.948	19 6
14.7	8.13	48.341	31.354	90.239	70.647	36.972	19 9
14.8	8.16	48.331	31.430	90.185	70.672	36.995	19 12
14.9	8.18	48.322	31.507	90.132	70.698	37.019	19 16
15.0	8.20	48.313	31.584	90.078	70.724	37.042	19 19
15.1	8.22	48.304	31.660	90.025	70.750	37.066	19 22
15.2	8.24	48.294	31.736	89.971	70.776	37.090	19 25
15.3	8.26	48.285	31.813	89.917	70.802	37.114	19 29
15.4	8.27	48.275	31.889	89.863	70.828	37.138	19 32
15.5	8.29	48.266	31.965	89.809	70.854	37.162	19 35
15.6	8.31	48.256	32.041	89.754	70.881	37.186	19 38
15.7	8.33	48.247	32.117	89.700	70.907	37.211	19 41
15.8	8.35	48.237	32.192	89.645	70.934	37.235	19 45
15.9	8.37	48.228	32.268	89.591	70.961	37.260	19 48

P \ J	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	—	1	4	9	16	25	36	49	64	81	100
1	2	—	4	10	18	26	40	54	70	88	108
2	8	5	—	7	16	27	40	55	72	91	112
3	18	14	8	—	10	22	36	52	70	90	112
4	32	27	20	11	—	13	28	45	64	85	108
5	50	44	36	26	14	—	16	34	54	76	100
6	72	65	56	45	32	17	—	19	40	63	88
7	98	90	80	68	54	38	20	—	22	46	72
8	128	119	108	95	80	63	44	23	—	25	52
9	162	152	140	126	110	92	72	50	26	—	28
10	200	189	176	161	144	125	104	81	56	29	—

TABLA 7-D. VALORES DEL COEFICIENTE $[3P | J-P | \pm (J-P)^2]$ PARA OBTENER LOS ANGULOS ϕ'_{AD} Y ϕ'_{AT} , QUE FORMAN UNA CUERDA DE LA ESPIRAL CON LA TANGENTE A UN PUNTO "P"

TABLA 7-E. VALORES DE LA CORRECCION (2) DEL ANGULO DE DEFLEXION 00

MINUTOS GRADOS	00		10		20		30		40		50	
	16	0	12.72	0	13.12	0	13.53	0	13.95	0	14.38	0
17	0	15.26	0	15.72	0	16.18	0	16.65	0	17.13	0	17.62
18	0	18.12	0	18.63	0	19.15	0	19.68	0	20.22	0	20.76
19	0	21.32	0	21.89	0	22.46	0	23.05	0	23.65	0	24.26
20	0	24.87	0	25.50	0	26.14	0	26.79	0	27.45	0	28.12
21	0	28.80	0	29.50	0	30.20	0	30.91	0	31.64	0	32.38
22	0	33.13	0	33.89	0	34.66	0	35.44	0	36.24	0	37.05
23	0	37.87	0	38.70	0	39.54	0	40.40	0	41.26	0	42.14
24	0	43.04	0	43.94	0	44.86	0	45.79	0	46.74	0	47.69
25	0	48.66	0	49.64	0	50.64	0	51.65	0	52.67	0	53.71
26	0	54.76	0	55.82	0	56.90	0	57.99	0	59.10	1	0.21
27	1	1.35	1	2.49	1	3.66	1	4.83	1	6.02	1	7.23
28	1	8.45	1	9.68	1	10.93	1	12.19	1	13.47	1	14.77
29	1	16.09	1	17.40	1	18.74	1	20.10	1	21.47	1	22.86
30	1	24.26	1	25.68	1	27.11	1	28.56	1	30.03	1	31.51
31	1	33.01	1	34.53	1	36.06	1	37.61	1	39.17	1	40.75
32	1	42.35	1	43.97	1	45.60	1	47.25	1	48.92	1	50.60
33	1	52.30	1	54.02	1	55.76	1	57.52	1	59.29	2	1.08
34	2	2.89	2	4.71	2	6.56	2	8.42	2	10.30	2	12.20
35	2	14.12	2	16.06	2	18.01	2	19.99	2	21.98	2	23.99
36	2	26.02	2	28.07	2	30.14	2	32.23	2	34.34	2	36.47
37	2	38.62	2	40.79	2	42.97	2	45.18	2	47.41	2	49.66
38	2	51.93	2	54.21	2	56.52	2	58.95	3	1.20	3	3.57
39	3	5.96	3	8.38	3	10.81	3	13.26	3	15.74	3	18.24
40	3	20.76	3	23.29	3	25.86	3	28.44	3	31.04	3	33.67
41	3	36.37	3	38.99	3	41.68	3	44.40	3	47.14	3	49.90
42	3	52.68	3	55.48	3	58.31	4	1.16	4	4.04	4	6.93
43	4	9.85	4	12.80	4	15.76	4	18.75	4	21.77	4	24.80
44	4	27.86	4	30.95	4	34.06	4	37.19	4	40.34	4	43.53
45	4	46.73	4	49.96	4	53.21	4	56.49	4	59.80	5	3.13
46	5	6.48	5	9.86	5	13.26	5	16.69	5	20.14	5	23.62
47	5	27.13	5	30.66	5	34.21	5	37.79	5	41.40	5	45.04
48	5	48.70	5	52.38	5	56.09	5	59.83	6	3.60	6	7.39
49	6	11.21	6	15.05	6	18.93	6	22.83	6	26.75	6	30.71
50	6	34.69	6	38.70	6	42.73	6	46.80	6	50.89	6	55.01
51	6	59.15	7	3.33	7	7.53	7	11.76	7	16.02	7	20.31
52	7	24.63	7	28.97	7	33.35	7	37.75	7	42.18	7	46.65
53	7	51.14	7	55.66	8	0.21	8	4.78	8	9.39	8	14.03
54	8	18.70	8	23.40	8	28.12	8	32.88	8	37.67	8	42.49
55	8	47.34	8	52.22	8	57.13	9	2.07	9	7.04	9	12.04
56	9	17.08	9	22.14	9	27.24	9	32.36	9	37.52	9	42.71
57	9	47.94	9	53.19	9	58.48	10	3.80	10	9.15	10	14.53
58	10	19.94	10	25.39	10	30.87	10	36.38	10	41.93	10	47.51
59	10	53.12	10	58.76	11	4.44	11	10.15	11	15.89	11	21.67
60	11	27.48										

CAPITULO VIII

ALINEAMIENTO VERTICAL

8.1 DEFINICION

El alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. Al eje de la subcorona en alineamiento vertical se le llama línea subrasante.

8.2 ELEMENTOS QUE LO INTEGRAN

El alineamiento vertical se compone de tangentes y curvas.

8.2.1 Tangentes

Las tangentes se caracterizan por su longitud y su pendiente y están limitadas por dos curvas sucesivas. La longitud de una tangente es la distancia medida horizontalmente entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente, se representa como T_v . La pendiente de la tangente es la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de la misma.

Al punto de intersección de dos tangentes consecutivas se le denomina *PIV*, y a la diferencia algebraica de pendientes en ese punto se le representa por la letra *A*.

A) Pendiente gobernadora. Es la pendiente media que teóricamente puede darse a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, en función de las características del tránsito y la configuración del terreno; la mejor pendiente gobernadora para cada caso, será aquella que al conjugar esos conceptos, permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación. Sirve de norma reguladora a la serie de pendientes que se deban proyectar para ajustarse en lo posible al terreno.

B) Pendiente máxima. Es la mayor pendiente que se permite en el proyecto. Queda determinada por el volumen y la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

La pendiente máxima se empleará, cuando convenga desde el punto de vista económico, para salvar ciertos obstáculos locales tales como cantiles, fallas y zonas inestables, siempre que no se rebase la longitud crítica.

La AASHO recomienda que para caminos principales las pendientes máximas no excedan a las dadas en la tabla 8-A. Para caminos secundarios, con escaso volumen de tránsito, las pendientes dadas en la tabla pueden incrementarse hasta en dos por ciento.

TIPO DE TERRENO	PORCENTO EN PENDIENTE MÁXIMA PARA DIVERSAS VELOCIDADES DE PROYECTO, EN KM/H.						
	50	60	70	80	90	100	110
Plano.....	6	5	4	4	3	3	3
Lomerío.....	7	6	5	5	4	4	4
Montañoso.....	9	8	7	7	6	5	5

.. TABLA 8-A. RELACION ENTRE PENDIENTE MÁXIMA Y VELOCIDAD DE PROYECTO (CAMINOS PRINCIPALES)

C) Pendiente mínima. La pendiente mínima se fija para permitir el drenaje. En los terraplenes puede ser nula; en los cortes se recomienda 0.5% mínimo, para garantizar el buen funcionamiento de las cunetas; en ocasiones la longitud de los cortes y la precipitación pluvial en la zona podrá llevar a aumentar esa pendiente mínima.

D) Longitud crítica de una tangente del alineamiento vertical. Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad más allá de un límite previamente establecido.

Los elementos que intervienen para la determinación de la longitud crítica de una tangente son fundamentalmente el vehículo de proyecto, la configuración del terreno, el volumen y la composición del tránsito.

El vehículo con su relación peso/potencia, define características de operación que determinan la velocidad con que es capaz de recorrer una pendiente dada. La configuración del terreno impone condiciones al proyecto que, desde el punto de vista económico, obligan a la utilización de pendientes que reducen la velocidad de los vehículos pesados y hacen que éstos interfieran con los vehículos ligeros. El volumen y la composición del tránsito son elementos primordiales para el estudio económico del tramo, ya que los costos de operación dependen básicamente de ellos.

Las gráficas del estudio de Firey y Peterson⁵⁵ permiten, para una relación dada de peso/potencia del vehículo, obtener su velocidad de marcha para diferentes pendientes y longitudes de las mismas.

En las Figuras 5.6, 5.7 y 5.8 se muestran las gráficas para relaciones de peso/potencia de 90 kg/HP, 120 kg/HP y 180 kg/HP, respectivamente; con base en ellas, se han desarrollado dos criterios para determinar la longitud crítica de una tangente vertical, los cuales se detallan a continuación.

1. Cuando se trata de caminos con volúmenes de tránsito alto en cualquier tipo de terreno o bien, con cualquier volumen de tránsito en terreno sensiblemente plano o en lomerío suave, se ha considerado que la longitud crítica de cualquier pendiente es aquella que ocasiona una reducción de 25 km/h en la velocidad de marcha del vehículo de proyecto.

Conforme a este criterio y para ilustrar el procedimiento de cálculo con base en las gráficas de las Figuras 5.6 a 5.8, se tiene que para un camino que tenga una velocidad de proyecto de 110 km/h, que corresponde a una

⁵⁵ Joseph C. Firey y Edward W. Peterson: *An analysis of Speed Changes for Large Transport Trucks*. Highway Research Board, Bulletin 334, Vehicle Characteristics, 1962, págs. 1-26.

velocidad de marcha a la entrada de una tangente vertical de $V = 92$ km/h y en el que se prevean vehiculos con relación peso/potencia de 180 kg/HP; se desea saber las longitudes críticas para pendientes de 5%, 4%, 3%, 2% y 1%. Haciendo uso de la gráfica de la Figura 5.8 se tiene que las longitudes críticas serán aquellas comprendidas entre las ordenadas que marcan la velocidad de entrada de 92 km/h y la de 67 km/h, que es el resultado de aceptar una reducción de 25 km/h en la velocidad de marcha durante su recorrido.

Estos valores son:

para 5%	-	313 m
para 4%	-	420 m
para 3%	-	595 m
para 2%	-	1 033 m
para 1%	-	—

Para un caso en que la velocidad de marcha a la entrada fuera de 68 km/h, se tendría con la reducción especificada, una velocidad con la cual al término de la tangente y usando la misma gráfica de la Figura 5.8, que las longitudes críticas serían:

para 5%	-	300 m
para 4%	-	400 m
para 3%	-	627 m
para 2%	-	1 853 m
para 1%	-	—

Para 2% el valor es resultado de una extrapolación y para 1% se considera una distancia infinita, pues se puede sostener indefinidamente la pendiente, ya que la velocidad de régimen es superior al valor de la velocidad reducida.

Por velocidad de régimen se entiende la máxima que puede desarrollar un vehiculo sobre una pendiente determinada, indefinidamente.

En los dos ejemplos anteriores, se puede observar que la velocidad de entrada tiene influencia directa en la determinación de las longitudes críticas de las tangentes verticales, lo que hace evidente la necesidad de que la obtención del dato velocidad de entrada sea lo más cercano a la realidad, para lo cual se deben considerar los tres siguientes casos:

a) Si al punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente horizontal, la velocidad de entrada será igual a la velocidad de marcha, obteniéndose ésta de su relación con la velocidad de proyecto (Capítulo V).

b) Si al punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente vertical en descenso, aun cuando la velocidad de entrada sea mayor a la velocidad de marcha en una magnitud que se estima del orden de 10 a 15 km/h, la velocidad de salida será la de marcha menos 25 km/h.

c) Si al punto para el cual se desea conocer la velocidad de entrada le antecede una tangente vertical en ascenso, la velocidad de entrada será

menor a la velocidad de marcha y la velocidad de salida deberá ser la de marcha menos 25 km/h.

Es importante aclarar que para que estas consideraciones sean aplicables, se requiere que las condiciones del alineamiento vertical en el tramo que antecede al punto en que se desea obtener la velocidad de entrada, permitan que el vehículo transite con velocidades que no varíen en más de 15 km/h con respecto a la de marcha.

2. La Secretaría de Obras Públicas ha desarrollado otro criterio basado en el tiempo de recorrido, el cual se aplica a caminos con bajos volúmenes de tránsito y alojados en terrenos clasificados como lomerío fuerte o montañoso, en donde por razones de configuración, es necesario considerar una pendiente gobernadora con valor previamente especificado, como resultado de un estudio económico.

Cuando interviene la pendiente gobernadora, la longitud crítica de tangente para las diferentes pendientes no debe considerarse con valores rígidos y fijos como en el primer caso, su valor puede tener pequeñas variaciones para diferentes tramos, en función del efecto que el conjunto de las tangentes tenga en la velocidad de marcha y por ende en el tiempo de recorrido para el tramo.

Lo anterior se ilustrará con el ejemplo de un camino para el que se ha proyectado un alineamiento vertical con diferentes tangentes y otro alineamiento con una sola tangente cuya pendiente es la gobernadora; véase Figura 8.1.

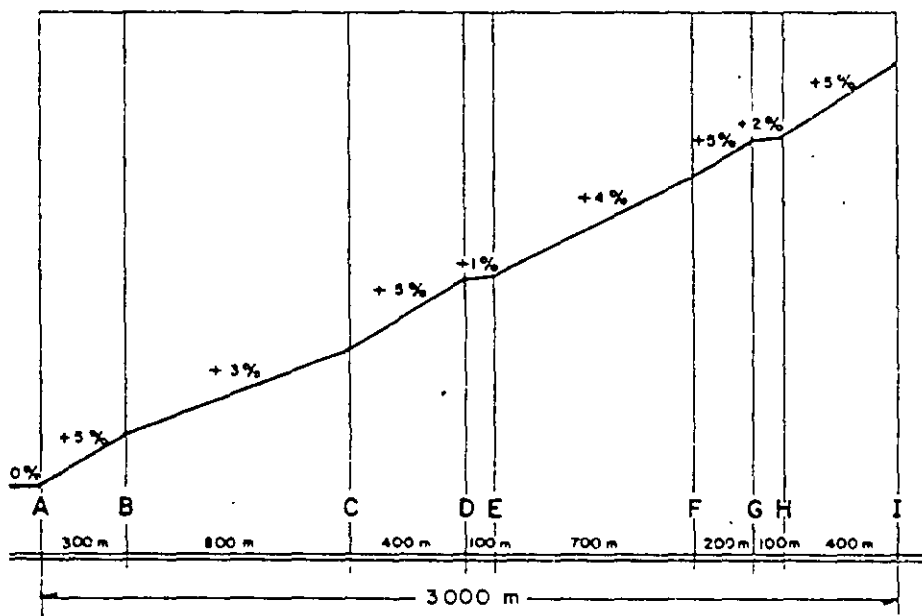


FIGURA 8.1. ALINEAMIENTO VERTICAL DE UN TRAMO DE CAMINO CON TANGENTES DE DIFERENTE PENDIENTE

Se supone que la velocidad, en el punto *A* de entrada al principio del tramo es 79 km/h; con este dato se entra a la gráfica de la Figura 5.8 para determinar la velocidad de 55.5 km/h en el punto *B*, como resultado de buscar la abscisa que corresponde a la distancia de 300 m en su intersección con la curva de pendiente + 5% y leyendo el valor de la velocidad en el eje de las ordenadas.

El valor de la velocidad en el punto *C* se determina buscando la intersección de la velocidad de entrada al tramo *BC* o sea 55.5 km/h con la curva de pendiente + 3%; al valor de la abscisa de este punto que es 880 m se le agrega la distancia *BC* de 800 m y en la abscisa 1680 m se busca la intersección con la curva de pendiente + 3%, leyéndose a continuación la ordenada correspondiente, resultando una velocidad de 33 km/h para el punto *C*.

Para determinar la velocidad en el punto *D* se emplean directamente los valores de la gráfica entrando en el punto donde la ordenada de 33 km/h corta a la curva de pendiente + 5%, o sea 713 m, considerando que la longitud del tramo es 400 m + 713 m = 1113 m, obteniéndose así una velocidad de salida de 20 km/h.

Para determinar el tiempo de recorrido en cualquier tramo donde la velocidad de salida sea igual a la de régimen, es necesario fijar un punto auxiliar donde la curva cambia de pendiente, pues no sería válido tomar un promedio de las velocidades extremas.

Para el tramo *DE*, tenemos en el punto *D* una velocidad de entrada de 20 km/h, valor que fijamos en el eje de las ordenadas para buscar su intersección con la curva punteada de pendiente + 1%, dándonos en la abscisa un valor de 20 m al que agregamos la distancia *DE* de 100 m y en la abscisa de 120 m buscamos la intersección con la curva punteada de + 1% y obtenemos en el eje de las ordenadas la velocidad de 31.5 km/h para el punto *E*.

Las líneas punteadas que indican aceleración, se emplean cuando la velocidad de entrada es inferior a la velocidad de régimen correspondiente a la pendiente a que se entra.

TRAMO	PENDIENTE %	LONGITUD m	VELOCIDAD			TIEMPO DE RECORRIDO Horas
			Entrada	Salida	Media	
AB	5	300	79.0	55.5	67.25	0.00446
BC	3	800	55.5	33.0	44.25	0.01807
CD	5	400	33.0	20.0	26.50	0.01509
DE	1	100	20.0	31.5	25.75	0.00388
EF'	4	400	31.5	24.0	27.75	0.01441
F'F	4	300	24.0	24.0	24.00	0.00125
FG	5	200	24.0	20.5	22.25	0.00898
GH	2	100	20.5	28.0	24.25	0.00412
HI	5	400	28.0	20.0	24.00	0.01660
S U M A :						0.08656

En forma similar a la descrita, se determinan las velocidades en los puntos *E*, *F'*, *F*, *G*, *H*, *I*; para formar una tabla como la anterior y en

la cual se identifica el tramo, su pendiente, su longitud, la velocidad de entrada, la velocidad de salida y la velocidad media de esas dos, para finalmente anotar el tiempo de recorrido de ese tramo a partir de la expresión tiempo = distancia/velocidad.

El cálculo de tiempo de recorrido en la pendiente gobernadora, se lleva a cabo siguiendo la misma metodología que para las determinaciones de velocidades a partir de las gráficas velocidad-distancia-pendiente, haciéndose una tabla similar. El tramo se subdividió en dos partes, correspondientes a longitudes en las que la curva distancia-velocidad puede tomarse como recta sin cometer un error apreciable.

TRAMO	PENDIENTE %	LONGITUD m.	VELOCIDAD			TIEMPO DE RECORRIDO Horas
			Entrada	Salida	Media	
A 1	4	1200	79.0	24.0	51.5	0.02310
1 1	4	1800	24.0	24.0	24.0	0.00750
S U M A :						0.03060

En este caso se verifica que, el tiempo de recorrido en varias tangentes es menor que el tiempo de recorrido en una sola con la pendiente gobernadora, por lo cual se acepta el alineamiento vertical propuesto.

Se recomienda que los análisis de alineamiento vertical bajo este criterio, se verifiquen en tramos del orden de 4 km como máximo.

3.2.2 Curvas verticales

Las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que en su longitud se efectúe el paso gradual de la pendiente de la tangente de entrada a la de la tangente de salida. Deben dar por resultado un camino de operación segura y confortable, apariencia agradable y con características de drenaje adecuadas. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de ésta, se representa como PCV y como PTV el punto común de la tangente y la curva al final de ésta.

A) Forma de la curva. La condición que se considera óptima para la conducción de un vehículo, corresponde a un movimiento cuya componente horizontal de la velocidad sea constante. Esto es:

$$V_x = \frac{dx}{dt} = C_1$$

por lo que la componente horizontal de la aceleración:

$$a_x = \frac{dV_x}{dt} = \frac{d^2x}{dt^2} = 0$$

Si llamamos U a la velocidad del vehículo al entrar a la curva, se tendrá que para $t = 0$, $V_x = U_x$. por lo que:

$$U_x = \frac{dx}{dt}$$

integrando. $x = U_x t + C_2$

Si $t = 0$, $x = 0$ y $C_2 = 0$; por lo que $t = \frac{x}{U_x}$

Por otra parte: $a_y = \frac{dV_y}{dt} = -g$

despejando dV_y , e integrando: $V_y = -gt + C_3$

Si $t = 0$, $V_y = U_y$ y $C_3 = U_y$, por lo que:

$$V_y = \frac{dy}{dt} = -gt + U_y$$

integrando: $y = -\frac{gt^2}{2} + U_y t$;

como

$$t = \frac{x}{U_x}$$

$$y = -\frac{gx^2}{2U_x^2} + \frac{U_y x}{U_x}$$

pero:

$$\frac{U_y}{U_x} = P$$

En donde P es la pendiente de la tangente de entrada y:

$$-\frac{g}{2U_x^2} = K \quad \text{en donde } K \text{ es una constante.}$$

por lo que: $y = Kx^2 + Px$

La expresión anterior corresponde a la ecuación de una parábola que es la recomendada para emplearse en las curvas verticales. Las curvas verticales pueden tener concavidad hacia arriba o hacia abajo, recibiendo el nombre de curvas en columpio o en cresta respectivamente. En la Figura 8.2 se ilustran los tipos representativos de curvas verticales en cresta y en

columpio; en los tipos I y III las pendientes de las tangentes de entrada y salida tienen signos contrarios, en los tipos II y IV tienen el mismo signo.

B) Cálculo de los elementos de la curva parabólica. Los elementos de una curva vertical son los mostrados en la Figura 8.3 y se calculan como sigue:

1. Longitud. Es la distancia medida horizontalmente entre el PCV y el PTV. Existen cuatro criterios para determinar la longitud de las curvas, que son:

a) Criterio de comodidad. Se aplica al proyecto de curvas verticales en columpio, en donde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección, se suma al peso propio del vehículo. Se recomienda que en la curva la aceleración centrífuga no exceda a 0.305 m/seg^2 , o sea que:

$$a_e = \frac{V^2}{R} \leq 0.305 \text{ m/seg}^2 \quad \therefore \quad R \geq 3.28 V^2$$

Si se asimila la parábola a un círculo, se tendrá:

$$L = R\Delta \quad \text{y} \quad \Delta = A$$

por lo que:

$$L \geq 3.28 V^2 \Delta$$

y también:

$$L \geq 3.28 V^2 A$$

y si se expresa V en km/h y A en por ciento:

$$K = \frac{L}{A} \geq \frac{V^2}{395}$$

siendo K el recíproco de la variación de pendiente por unidad de longitud.

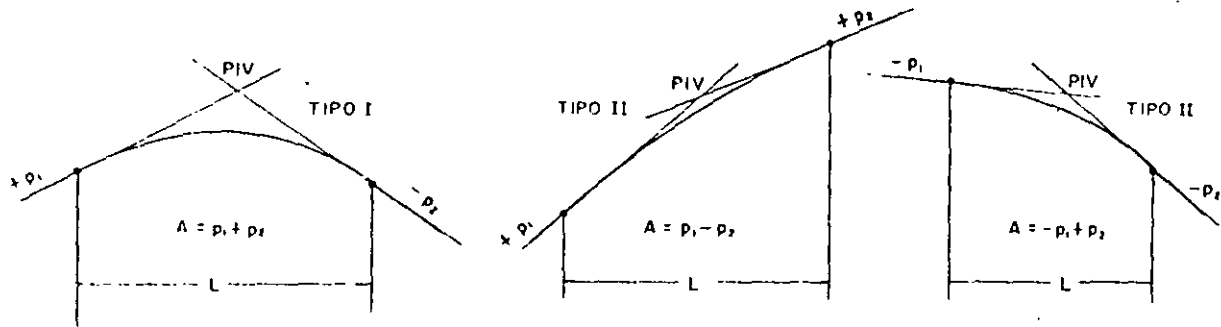
b) Criterio de apariencia. Se aplica al proyecto de curvas verticales con visibilidad completa, o sea a las curvas en columpio, para evitar al usuario la impresión de un cambio súbito de pendiente. Empíricamente la AASHO ha determinado que:

$$K = \frac{L}{A} \geq 30$$

c) Criterio de drenaje. Se aplica al proyecto de curvas verticales en cresta o en columpio, cuando están alojadas en corte. La pendiente en cualquier punto de la curva, debe ser tal que el agua pueda escurrir fácilmente. La AASHO ha encontrado que para que esto ocurra debe cumplirse:

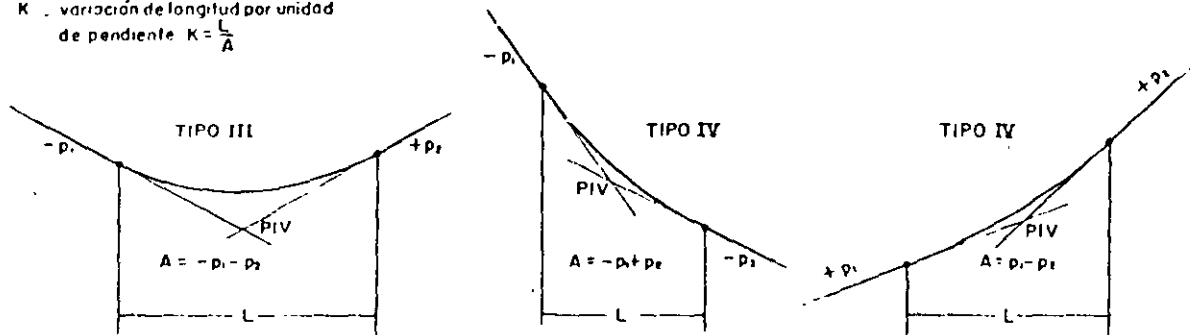
$$K = \frac{L}{A} \leq 43$$

d) Criterio de seguridad. Se aplica a curvas en cresta y en columpio. La longitud de curva debe ser tal, que en toda la curva la distancia de visi-



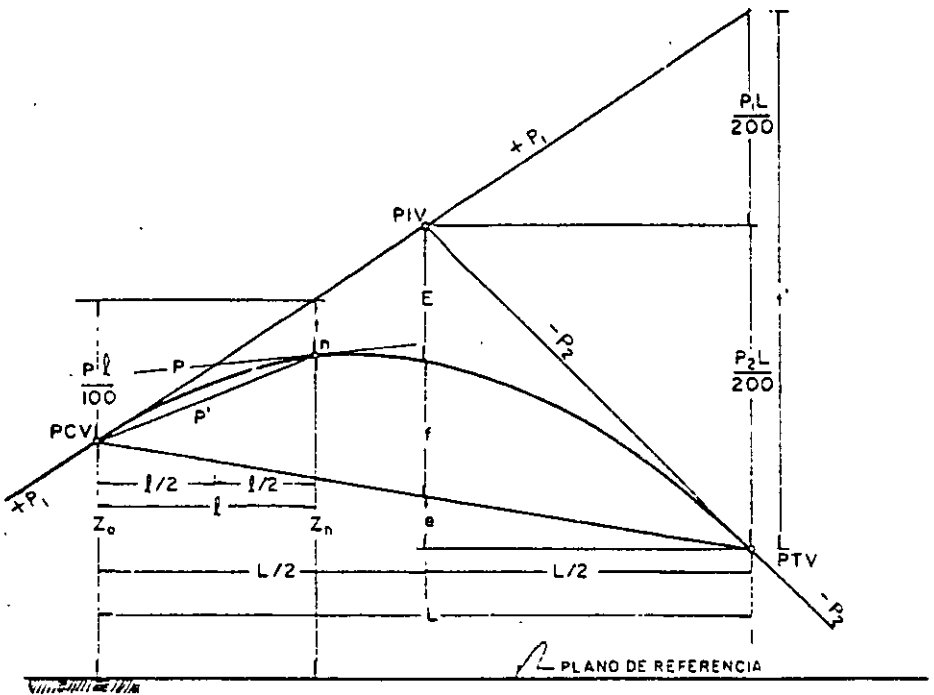
CURVAS VERTICALES EN CRESTA

- p_1 - pendiente de entrada
- p_2 - pendiente de salida
- A - diferencia de pendientes
- L - Longitud de la curva
- K - variación de longitud por unidad de pendiente $K = \frac{L}{A}$



CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO.

FIGURA 8.2. TIPOS DE CURVAS VERTICALES



- PIV — Punto de intersección de las tangentes.
- PCV — Punto en donde comienza la curva vertical.
- PTV — Punto en donde termina la curva vertical.
- n — Punto cualquiera sobre la curva.
- P_1 — Pendiente de la tangente de entrada en por ciento.
- P_2 — Pendiente de la tangente de salida en por ciento.
- P — Pendiente en un punto cualquiera de la curva en por ciento.
- P' — Pendiente de una cuerda a un punto cualquiera en por ciento.
- A — Diferencia algebraica entre los pendientes de la tangente de entrada y la de salida.
- L — Longitud de la curva.
- E — Externa
- f — Flecha
- l — Longitud de curva a un punto cualquiera
- t — Desviación respecto a la tangente de un punto cualquiera
- K — Variación de longitud por unidad de pendiente, $K = L/A$
- Z_0 — Elevación del PCV.
- Z_n — Elevación de un punto cualquiera.

FIGURA 2.3. ELEMENTOS DE LAS CURVAS VERTICALES

bilidad sea mayor o igual que la de parada. En algunos casos, el nivel de servicio deseado puede obligar a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de rebase. En el Capítulo V se dedujeron las expresiones que permiten calcular la longitud de las curvas verticales, tanto para distancia de visibilidad de parada como de rebase. Estas expresiones son:

Para curvas en cresta:

$$D > L \quad L = 2D - \frac{C_1}{A}$$

$$D < L \quad L = \frac{AD^2}{C_1}$$

Para curvas en columpio:

$$D > L \quad L = 2D - \frac{C_2 + 3.5D}{A}$$

$$D < L \quad L = \frac{AD^2}{C_2 + 3.5D}$$

En donde:

L = Longitud de la curva vertical, en m.

D = Distancia de visibilidad de parada o de rebase, en m.

A = Diferencia algebraica de pendientes, en por ciento.

C_1, C_2 = Constantes que dependen de la altura del ojo del conductor o altura de los faros y de la altura del obstáculo o altura del vehículo (ver Capítulo V).

El valor de las constantes para el vehículo considerado se indica en el cuadro siguiente:

CONSTANTE	PARA DISTANCIA DE VISIBILIDAD	
	De parada	De rebase
C_1	425	1 000
C_2	120	—

Las curvas diseñadas para distancia de visibilidad de rebase resultan de gran longitud y sólo deberán proyectarse cuando no se afecte el costo del camino más allá de lo permisible o donde lo amerite el nivel de servicio.

La AASHO establece un valor mínimo para la longitud de curva, dado por la expresión empírica:

$$L = 0.6V$$

en donde L es la longitud mínima de la curva en m y V la velocidad de proyecto en km/h .

Para proyecto, el criterio a seguir debe ser el de seguridad, que satisfaga cuando menos la distancia de visibilidad de parada. El criterio de apariencia sólo debe emplearse en caminos de tipo muy especial. Por otra parte, el drenaje siempre debe resolverse, sea con la longitud de curva o modificando las características hidráulicas de las cunetas. En las gráficas de las Figuras 8.4 y 8.5 se obtienen las longitudes de curvas según el criterio de seguridad para satisfacer el requisito de distancia de visibilidad de parada y la longitud mínima de curva, empleando las fórmulas correspondientes a la condición $D < L$, que representa el caso más crítico. La longitud obtenida en las gráficas debe redondearse al número de estaciones de veinte metros inmediato superior.

2. Pendiente en un punto cualquiera de la curva. Para determinar esta pendiente P , se parte de la propiedad de la parábola de que la variación de pendiente a lo largo de ella respecto a su longitud, es uniforme. Puede establecerse la siguiente proporción:

$$\frac{P_1 - P_2}{L} = \frac{P_1 - P}{l} \quad \therefore \quad \frac{A}{L} = \frac{P_1 - P}{l} \quad \dots$$

$$P = P_1 - \frac{Al}{L}$$

En donde:

P, P_1, P_2 y A están expresados en por ciento y l y L en metros.

3. Pendiente de la cuerda a un punto cualquiera. Para determinar esta pendiente simbolizada como P' se hace uso de la propiedad de la parábola de que la pendiente de una cuerda es el promedio de las pendientes de las tangentes a la parábola en los puntos extremos de la cuerda.

Esto es:

$$P' = \frac{P_1 + P}{2}$$

y teniendo en cuenta que:

$$P = P_1 - \frac{Al}{L}$$

$$P' = \frac{P_1}{2} + \frac{1}{2} \left(P_1 - \frac{Al}{L} \right)$$

de donde:

$$P' = P_1 - \frac{Al}{2L}$$

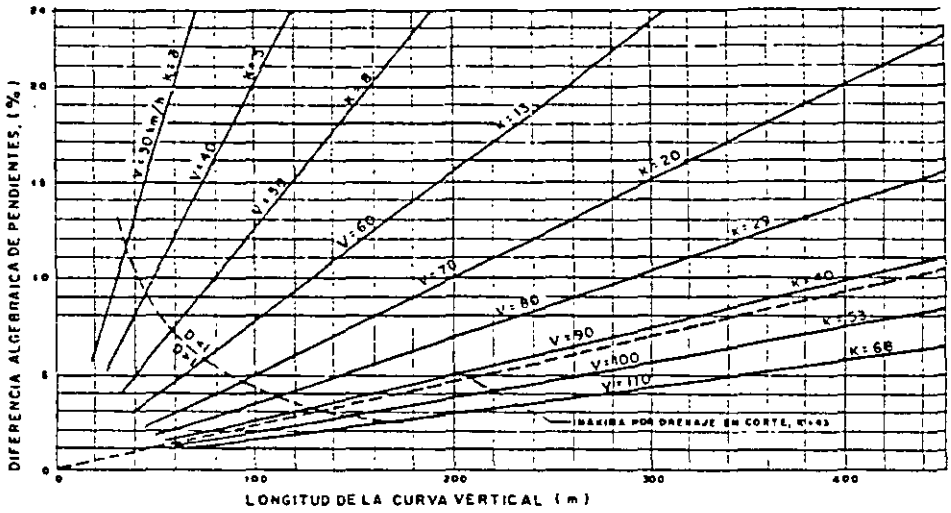


FIGURA 8.4. LONGITUD DE CURVAS VERTICALES EN CRESTA PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

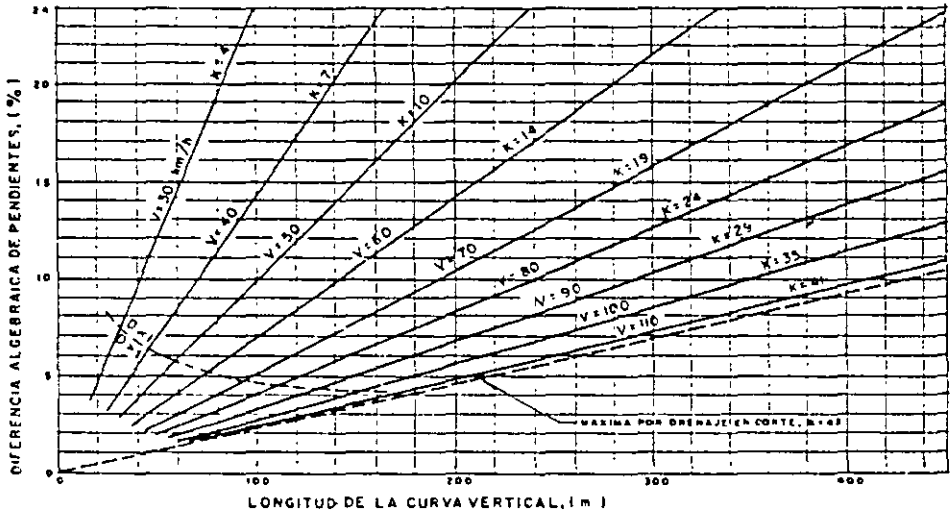


FIGURA 8.5. LONGITUD DE CURVAS VERTICALES EN COLUMPIO PARA CUMPLIR CON LA DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE PARADA

4. Desviación respecto a la tangente. Es la diferencia de ordenadas entre la prolongación de la tangente y la curva, llamada t ; para determinarla se aprovecha la propiedad de la parábola que establece:

$$t = al^2$$

pero en el PTV :

$$t' = aL^2$$

y:

$$t' = \frac{P_1L}{200} + \frac{P_2L}{200} = \frac{L}{200} (P_1 + P_2) = \frac{AL}{200}$$

$$\frac{AL}{200} = aL^2 \quad \text{de donde} \quad a = \frac{A}{200L}$$

y finalmente:

$$t = \frac{A}{200L} l^2$$

5. Externa. Es la distancia entre el PTV y la curva, medida verticalmente; se le representa como E .

De la ecuación anterior:

$$E = \frac{A}{200L} \left(\frac{L}{2} \right)^2$$

$$E = \frac{AL}{800}$$

6. Flecha. Es la distancia entre la curva y la cuerda $PCV-PTV$, medida verticalmente; se representa como f .

De la Figura 8.3

$$f = \frac{P_2L}{200} - E - c = \frac{P_2L}{200} - \frac{AL}{800} - c$$

Siendo la distancia e la pendiente de la cuerda $PTV-PCV$ multiplicada por $\frac{L}{2}$, o sea que aplicando la ecuación

$$P' = P_1 - \frac{A'}{2L}$$

Se tendrá:

$$c = - \left(\frac{P_1}{100} - \frac{A}{200L} L \right) \frac{L}{2} = - \frac{P_1 L}{200} + \frac{AL}{400}$$

de donde:

$$f = \frac{P_2 L}{200} - \frac{AL}{800} + \frac{P_1 L}{200} - \frac{AL}{400} = \frac{P_1 + P_2}{200} L - \frac{3AL}{800} = \left(\frac{1}{200} - \frac{3}{800} \right) AL$$

$$f = \frac{AL}{800}$$

Puede observarse que $f = E$

7. Elevación de un punto cualquiera de la curva Z_n . De la Figura 8.3

$$Z_n = Z_0 + \frac{P_1 l}{100} - t$$

Substituyendo el valor de t y agrupando:

$$Z_n = Z_0 + \left(\frac{P_1}{100} - \frac{Al}{200L} \right) l$$

y expresando a l y L en estaciones de 20 m, y llamando n y N a las longitudes l y L en estaciones, se tendrá:

$$Z_n = Z_0 + \left(\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} n \right) n$$

Esta expresión se emplea para calcular las elevaciones de la curva vertical. El cálculo con esta fórmula tiene la ventaja de su simplicidad, pero la desventaja de que no es autocomprobante, puesto que un error en una elevación intermedia no se refleja en la elevación del punto final. Un artificio para hacer el cálculo comprobable es el siguiente:

Puede establecerse:

$$Z_{n-1} = Z_0 + \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} (n-1) \right] (n-1)$$

restando esta ecuación de la ecuación para el punto n :

$$Z_n - Z_{n-1} = \left(\frac{P_1}{5} - \frac{An}{10N} \right) n - \left[\frac{P_1}{5} - \frac{A(n-1)}{10N} \right] (n-1)$$

y efectuando operaciones y simplificando:

$$Z_n = Z_{n-1} + \frac{P_1}{5} - \frac{A}{10N} (2n-1)$$

Expresión que permite hacer un cálculo autocomprobante, si bien algo más elaborado que con la expresión anterior.

CAPITULO IX

SECCION TRANSVERSAL

9.1 DEFINICION

La sección transversal de un camino en un punto cualquiera de éste es un corte vertical normal al alineamiento horizontal. Permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman el camino en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

9.2 ELEMENTOS QUE LA INTEGRAN

Los elementos que integran y definen la sección transversal son: la corona, la subcorona, las cunetas y contracunetas, los taludes y las partes complementarias. En la Figura 9.1 se muestra una sección transversal típica de un camino en una tangente del alineamiento horizontal.

9.2.1 Corona

La corona es la superficie del camino terminado que queda comprendida entre los hombros del camino, o sean las aristas superiores de los taludes del terraplén y/o las interiores de las cunetas. En la sección transversal está representada por una línea. Los elementos que definen la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

A) Rasante. La rasante es la línea obtenida al proyectar sobre un plano vertical el desarrollo del eje de la corona del camino. En la sección transversal está representada por un punto.

B) Pendiente transversal. Es la pendiente que se da a la corona normal a su eje. Según su relación con los elementos del alineamiento horizontal se presentan tres casos:

1. Bombeo.
2. Sobreelevación.
3. Transición del bombeo a la sobreelevación.

1. Bombeo. El bombeo es la pendiente que se da a la corona en las tangentes del alineamiento horizontal hacia uno y otro lado de la rasante para evitar la acumulación del agua sobre el camino. Un bombeo apropiado será aquel que permita un drenaje correcto de la corona con la mínima pendiente, a fin de que el conductor no tenga sensaciones de incomodidad o inseguridad. En la tabla 9-A se dan valores guía para emplearse en el proyecto en función del tipo de superficie de rodamiento.

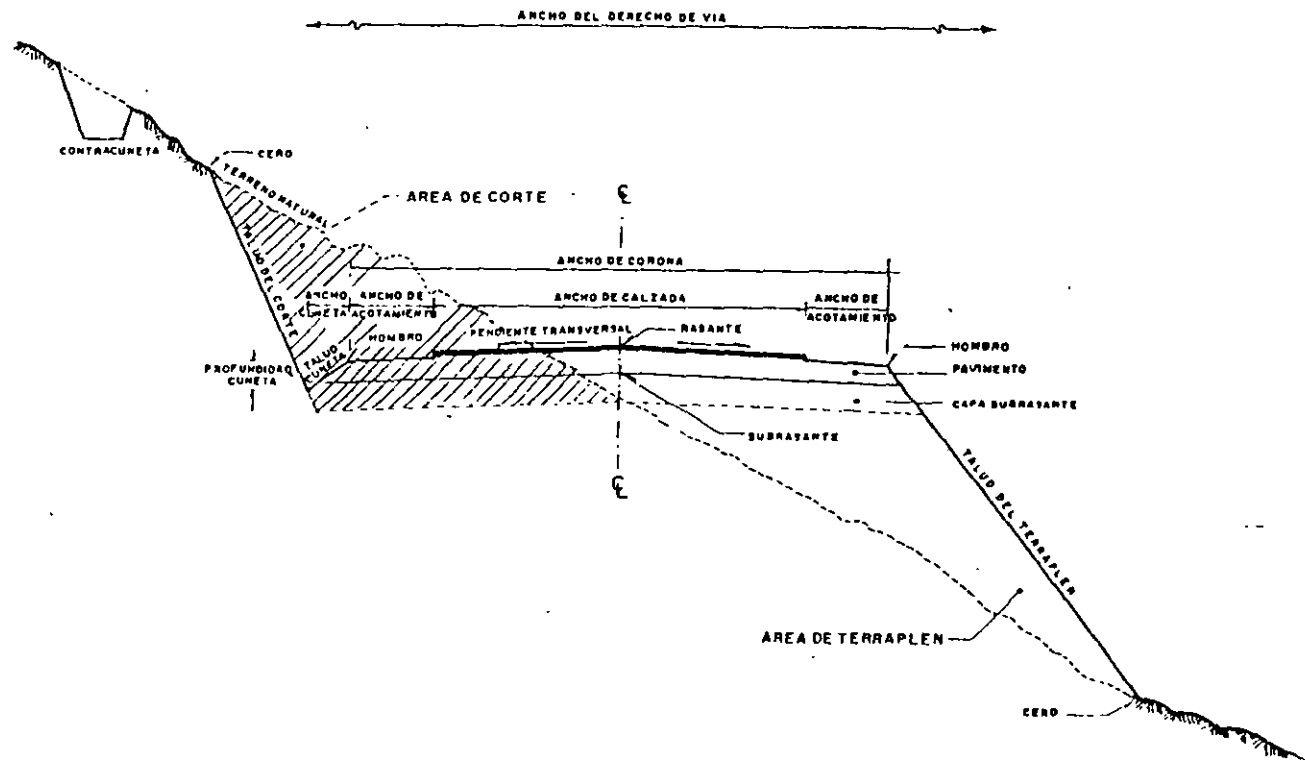


FIGURA 9.1. SECCION TRANSVERSAL TIPICA EN UNA TANGENTE DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

TIPO DE SUPERFICIE DE RODAMIENTO		BOMBEO
MUY BUENA	Superficie de concreto hidráulico o asfáltico, tendido con extendedoras mecánicas.	0.010 a 0.020
BUENA	Superficie de mezcla asfáltica tandida con moto-conformadoras. Carpeta de riegos.	0.015 a 0.030
REGULAR A MALA	Superficie de tierra o grava.	0.020 a 0.040

TABLA 9-A. BOMBEO DE LA CORONA

2. Sobreelevación. La sobreelevación es la pendiente que se da a la corona hacia el centro de la curva para contrarrestar parcialmente el efecto de la fuerza centrífuga de un vehículo en las curvas del alineamiento horizontal.

En el apartado E) del inciso 5.2.2, se dedujo la expresión para calcular la sobreelevación necesaria en una curva circular, esta expresión es:

$$S = 0.00785 \frac{V^2}{R} - \mu$$

en donde:

- S = Sobreelevación, en valor absoluto.
- V = Velocidad del vehículo, en km/h.
- R = Radio de la curva, en m.
- μ = Coeficiente de fricción lateral.

Con la expresión anterior puede calcularse la sobreelevación necesaria para que no deslice un vehículo que circule por la curva a una velocidad dada; sin embargo, algunos problemas relacionados con la construcción, operación y conservación de la carretera, han mostrado la necesidad de fijar una sobreelevación máxima, admitiéndose cuatro valores. Se usa una sobreelevación máxima de 12% en aquellos lugares en donde no existen heladas ni nevadas y el porcentaje de vehículos pesados en la corriente de tránsito es mínimo; se usa 10% en los lugares en donde sin haber nieve o hielo se tiene un gran porcentaje de vehículos pesados; se usa 8% en zonas en donde las heladas o nevadas son frecuentes y, finalmente, se usa 6% en zonas urbanas.

Una vez fijada la sobreelevación máxima, el grado máximo de curvatura queda definido para cada velocidad mediante la aplicación de la expresión anterior; de ella, expresando el radio en función del grado, se tendrá:

$$G_{m\Delta r} = \frac{146\,000 (\mu + S_{m\Delta r})}{V^2}$$

Substituyendo en esta expresión los valores del coeficiente de fricción lateral (μ) dados en la Figura 5.10 y con la sobreelevación máxima que se considere, pueden encontrarse los grados máximos de curvatura para cada velocidad de proyecto. En la tabla 9-B se indican esos grados máximos.

VELOCIDAD DE PROYECTO	COEFICIENTE DE FRICCION LATERAL	GRADO MAXIMO CALCULADO PARA SOBREFLEVACION DE				VALORES PARA PROYECTO							
						S - 0.12		S - 0.10		S - 0.08		S - 0.06	
		0.12	0.10	0.08	0.06	G	R	G	R	G	R	G	R
30	0.280	61.89	61.64	58.40	55.16	65	17.63	62	18.48	58	19.76	55	20.83
40	0.230	31.99	30.11	28.29	26.46	32	35.81	30	38.20	28	40.93	26	44.07
50	0.190	18.10	16.94	15.77	14.60	18	63.66	17	67.41	16	71.62	15	76.39
60	0.165	11.56	10.75	9.01	9.12	12	95.49	11	104.17	10	114.59	9	127.32
70	0.150	8.01	7.45	6.85	6.26	8	143.24	7.5	152.79	7	163.70	6.5	183.34
80	0.140	5.93	5.48	5.02	4.56	6	190.99	5.5	208.35	5	229.18	4.5	254.65
90	0.135	4.60	4.24	3.88	3.51	4.5	259.65	4.25	246.10	4	286.48	3.5	327.40
100	0.130	3.65	3.36	3.07	2.77	3.5	327.40	3.25	352.59	3	381.97	2.75	416.69
110	0.125	2.96	2.72	2.47	2.23	3.0	381.97	2.75	416.89	2.5	458.37	2.25	509.29

TABLA 9.B. GRADOS MAXIMOS DE CURVATURA

A las curvas que tienen el grado de curvatura máximo, corresponderá la sobreelevación máxima. En las curvas con grado menor al máximo, se puede proporcionar la sobreelevación necesaria considerando el máximo coeficiente de fricción correspondiente a la velocidad de proyecto, lo que sólo sería correcto para los vehículos que circularan a la velocidad de proyecto.

Para tener en cuenta las distintas combinaciones de grado y velocidad se han planteado cuatro procedimientos para calcular la sobreelevación en curvas de grado menor al máximo; estos procedimientos son:

a) Calcular la sobreelevación proporcionalmente al grado de curvatura de manera que $S = 0$ para $G = 0$ y $S = S_{\text{máx}}$ para $G = G_{\text{máx}}$; o sea que para un grado G cualquiera: $S = (S_{\text{máx}}/G_{\text{máx}}) G$.

b) Calcular la sobreelevación de manera que un vehículo que circule a la velocidad de proyecto tenga toda la fuerza centrífuga contrarrestada por la sobreelevación; esto se hará hasta que se llegue a la sobreelevación máxima con un grado menor al máximo. Para curvas más agudas, o sea con un grado comprendido entre el acabado de citar y el máximo, se utilizará el coeficiente de fricción para que, junto con la sobreelevación máxima, contrarresten la fuerza centrífuga.

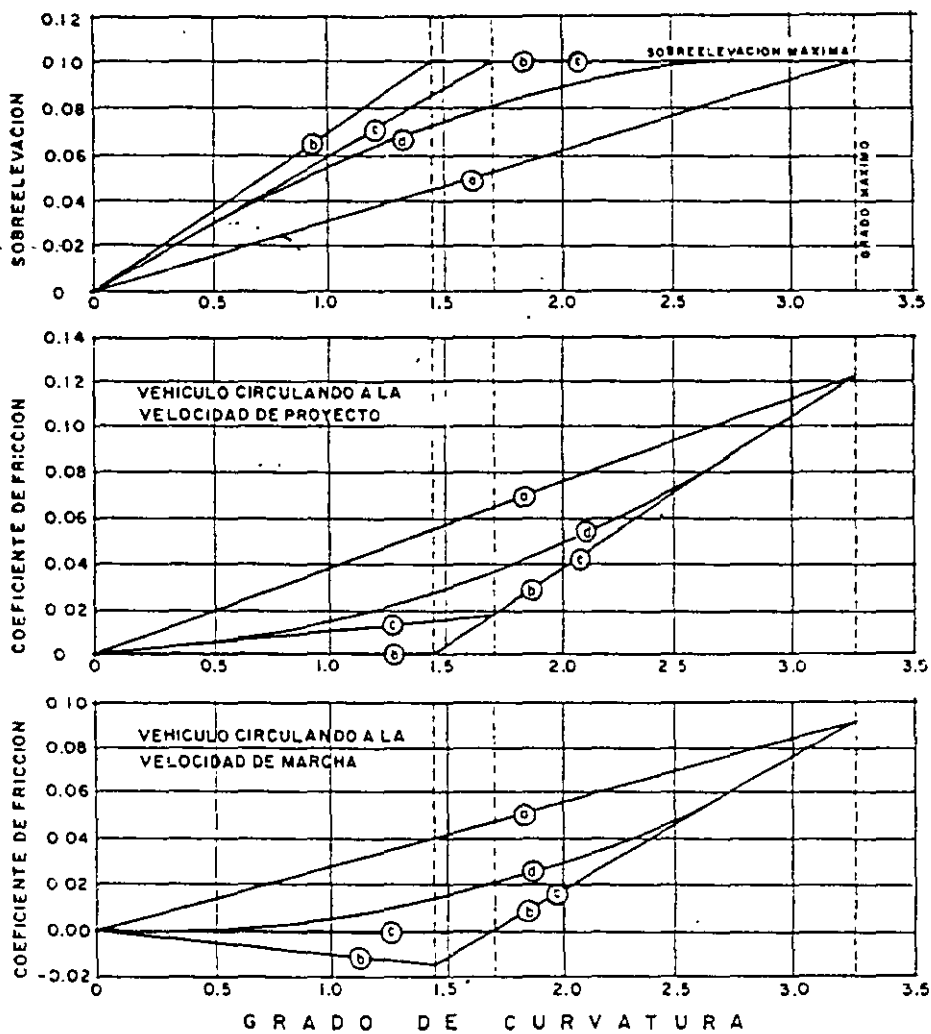
c) Calcular la sobreelevación en la misma forma que en el procedimiento anterior, pero considerando la velocidad de marcha en vez de la velocidad de proyecto.

d) Calcular la sobreelevación a través de una relación parabólica con valores comprendidos entre los obtenidos con el procedimiento a) y el procedimiento c).

En la Figura 9.2 se ilustra la variación de la sobreelevación y el coeficiente de fricción con el grado de curvatura en un caso particular, según los procedimientos descritos. La AASHO recomienda el procedimiento d), que reduce el coeficiente de fricción sin que llegue a tener valores negativos o nulos. En la Secretaría de Obras Públicas se emplea el procedimiento a) que distribuye uniformemente el coeficiente de fricción y la sobreelevación, de lo que resulta que las sobreelevaciones calculadas con este método, son menores que las calculadas con el método AASHO, puesto que los coeficientes de fricción son mayores, pero siempre abajo de su valor máximo.

La Figura 9.3 corresponde a la gráfica para calcular la sobreelevación para cada grado de curvatura y velocidad de proyecto, así como las longitudes de transición de la sobreelevación y los valores de N , para una sobreelevación máxima de 10%.

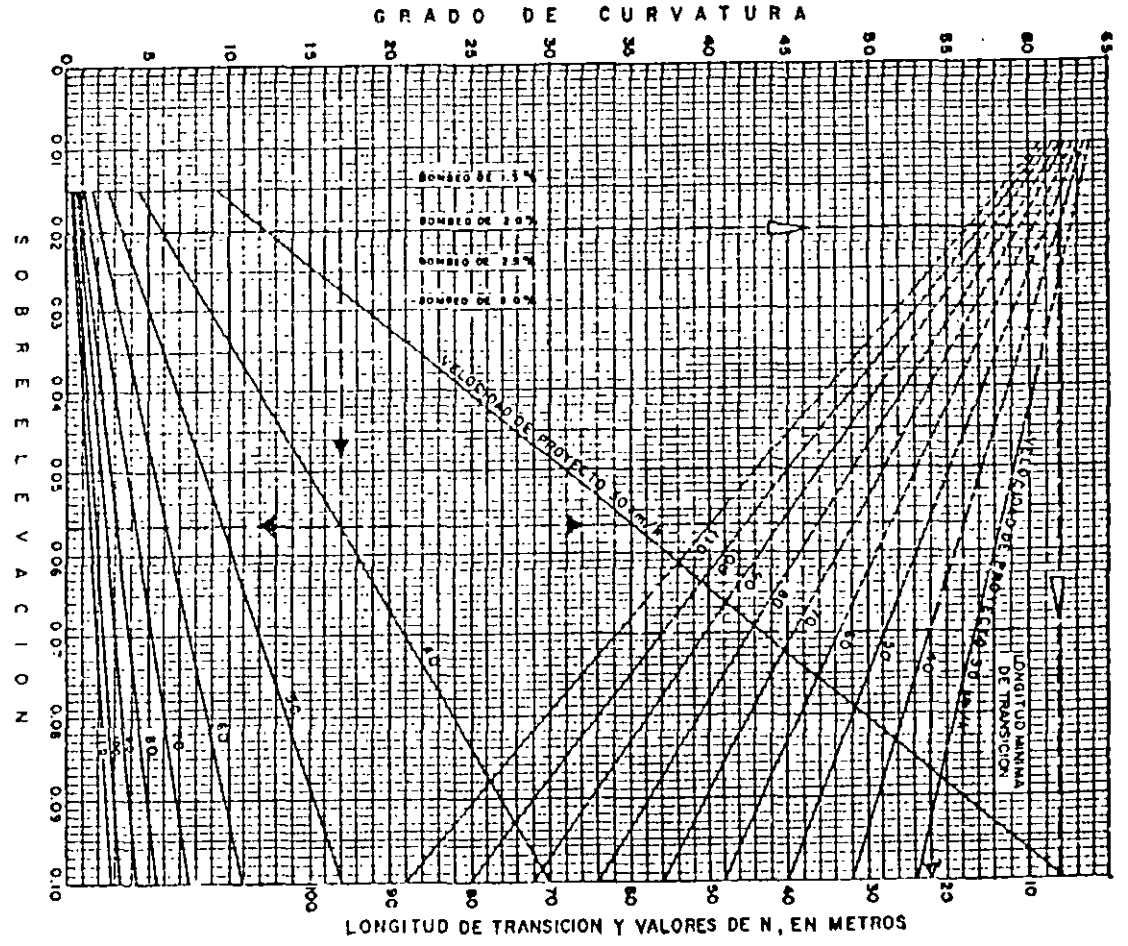
Para ilustrar el uso de la gráfica, se supone que se tiene una curvatura de diecisiete grados y una velocidad de proyecto de 40 km/h. Se entra a la gráfica con el valor del grado de curvatura (17°) hasta intersectar la línea que corresponde a la velocidad del proyecto (40 km/h) en la familia de rectas de la parte inferior de la gráfica, determinándose el valor de la sobreelevación (5.7%). A partir de este punto e intersectando la línea que le corresponde una velocidad de proyecto de 40 km/h en la familia de rectas superior, se obtendrá la longitud mínima de transición de dieciocho metros. Si el bombeo es de 2%, el valor de N para la velocidad de 40 km/h será igual a 6.40 m.



VELOCIDAD DE PROYECTO: 100 km/h
 SOBREELEVACION MÁXIMA: 10 %

FIGURA 9.2. DISTRIBUCION DE LA SOBREELEVACION Y DEL COEFICIENTE DE FRICCIÓN EN CURVAS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

FIGURA 9.3. SOBREELEVACIONES Y LONGITUDES DE TRANSICION PARA SOBREELEVACION MAXIMA DE 10%



3. Transición del bombeo a la sobreelevación. En el alineamiento horizontal, al pasar de una sección en tangente a otra en curva, se requiere cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo hasta la sobreelevación correspondiente a la curva; este cambio se hace gradualmente en toda la longitud de la espiral de transición. En el capítulo VIII se indicó que la longitud de la espiral debe ser tal, que permita hacer adecuadamente el cambio de pendientes transversales. Cuando la curva circular no tiene espirales de transición, la transición de la sobreelevación puede efectuarse sobre las tangentes contiguas a la curva; sin embargo, esta solución tiene el defecto de que al dar la sobreelevación en las tangentes, se obliga al conductor a mover el volante de su vehículo en sentido contrario al de la curva para no salirse del camino; esta maniobra puede ser molesta y peligrosa, por lo cual se recomienda para este caso, dar parte de la transición en las tangentes y parte sobre la curva circular. Se ha determinado empíricamente que las transiciones pueden introducirse dentro de la curva circular hasta en un cincuenta por ciento, siempre que por lo menos la tercera parte de la longitud de la curva quede con sobreelevación completa.

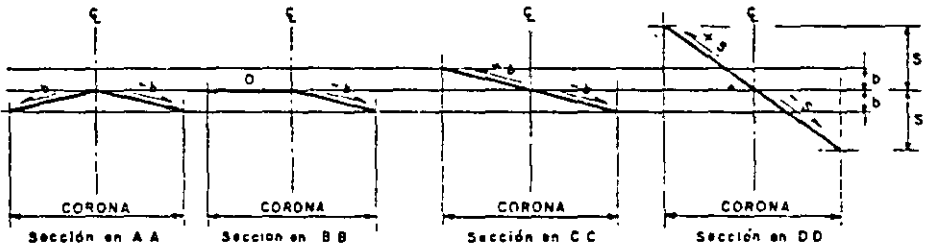
La consideración anterior limita la longitud mínima de la tangente entre dos curvas circulares consecutivas de sentido contrario que no tengan espirales de transición; esa longitud debe ser igual a la semisuma de las longitudes de transición de las dos curvas.

La longitud mínima de transición para dar la sobreelevación puede calcularse de la misma manera que una espiral de transición y numéricamente sus valores son iguales.

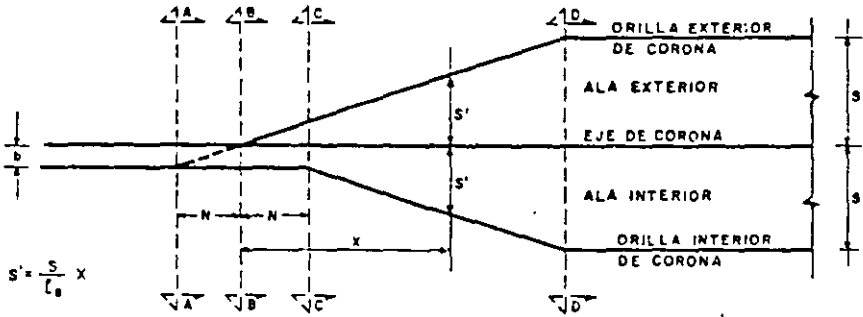
Para pasar del bombeo a la sobreelevación, se tienen tres procedimientos. El primero consiste en girar la sección sobre el eje de la corona; el segundo en girar la sección sobre la orilla interior de la corona y el tercero en girar la sección sobre la orilla exterior de la corona. El primer procedimiento es el más conveniente, ya que requiere menor longitud de transición y los desniveles relativos de los hombros son uniformes; los otros dos métodos tienen desventajas y sólo se emplean en casos especiales.

En la Figura 9.4 se ilustra el primer procedimiento, indicando la variación de la sobreelevación y las secciones transversales en la mitad de la curva; la otra mitad es simétrica. En la sección A, a una distancia N antes del punto donde comienza la transición, se tiene la sección normal en tangente; en esa sección se empieza a girar el ala exterior con centro en el eje de la corona, a fin de que en el TE esté a nivel como se muestra en la sección B y el ala interior conserve su pendiente original de bombeo b ; a partir de ese punto se sigue girando el ala exterior hasta que se hace colineal con el ala interior, como se muestra en la sección C, a partir de la cual, se gira la sección completa hasta obtener la sobreelevación S de la curva en el EC . Se hace notar que cuando la curva no tiene espirales de transición y se introduce la transición de la sobreelevación dentro de la curva circular, la sobreelevación en el PC es menor que la requerida teóricamente; este aparente defecto se elimina al considerar que el vehículo no puede cambiar de radio de giro instantáneamente, por lo que en el PC tendrá necesariamente un radio de giro mayor y por tanto se requiere una sobreelevación menor.

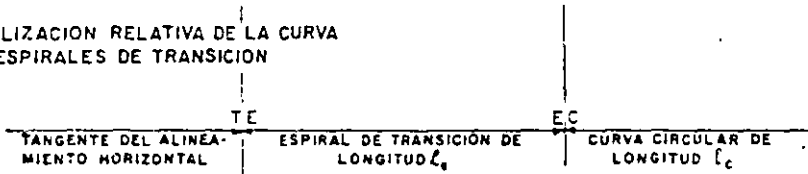
SECCIONES TRANSVERSALES



VARIACION DE LA SOBREELEVACION



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CON ESPIRALES DE TRANSICION



LOCALIZACION RELATIVA DE LA CURVA CIRCULAR SIMPLE

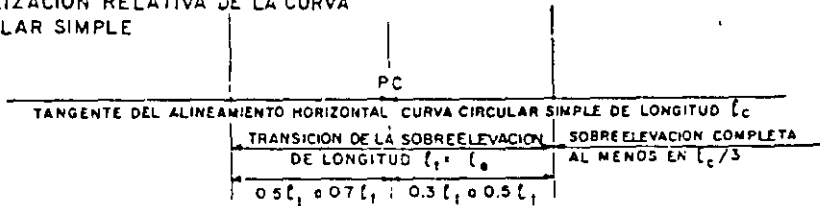


FIGURA 9.4. TRANSICION DE LA SECCION EN TANGENTE A LA SECCION EN CURVA GIRANDO SOBRE EL EJE DE CORONA

SÍMBOLOS:

- a - Ancho de calzada en tangente
- a_c - Ancho de calzada en curva
- A - Ampliación en curva
- V_t - Vuelo trasero
- V_d - Vuelo delantero
- DE - Distancia entre ejes
- EV - Entrevía (en este caso igual al ancho total del vehículo)
- C - Distancia libre entre vehículos
- U - Distancia entre huellas externas
- F_d - Proyección del vuelo delantero
- Z - Sobreelección por dificultad de maniobra

NOTA: Todas las medidas en metros y normales al alineamiento horizontal.

EXPRESIONES PARA EL CÁLCULO:

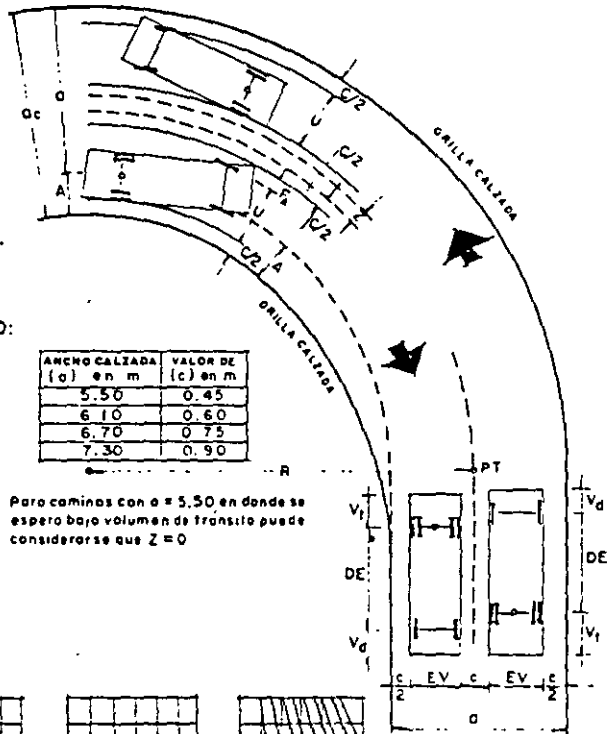
$$A = a_c - a$$

$$a_c = 2U + 2C + F_d + Z$$

$$U = \frac{EV + R - \sqrt{R^2 - DE^2}}{2}$$

$$F_d = \sqrt{R^2 - V_d(2DE + V_d)} - R$$

$$Z = 0.1 \frac{V}{\sqrt{R}}$$



ANCHO CALZADA (a) en m	VALOR DE (c) en m
5.50	0.45
6.10	0.60
6.70	0.75
7.30	0.90

Para caminos con $a = 5.50$ en donde se espera bajo volumen de tránsito puede considerarse que $Z = 0$

GRÁFICAS PARA EL CÁLCULO.

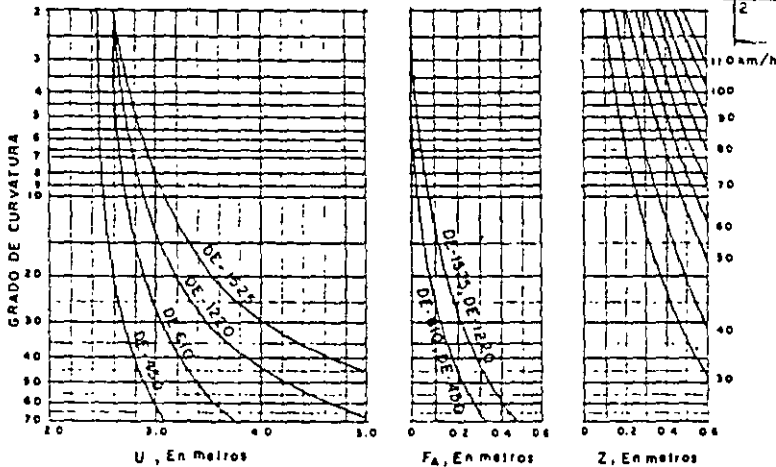


FIGURA 9.6. AMPLIACIONES EN CURVAS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL

en que intervienen cada uno de los elementos mencionados en el cálculo de la ampliación para obtener el ancho de calzada en curva.

Para caminos de cuatro carriles sin dividir, la ampliación en curva tendrá un valor doble que el calculado para caminos de dos carriles. Si están divididos, a cada calzada le corresponde la ampliación calculada.

Para fines de proyecto no se consideran las ampliaciones que resulten menores de 20 cm; si la ampliación resultase mayor deberá redondearse al decimetro próximo superior.

La ampliación de la calzada en las curvas, se da en el lado interior; la raya central se pinta posteriormente en el centro de la calzada ampliada. Para pasar del ancho de calzada en tangente al ancho de calzada en curva, se aprovecha la longitud de transición requerida para dar la sobre-elevación, de manera que la orilla interior de la calzada forme una curva suave sin quiebres bruscos a lo largo de ella.

En curvas circulares con espirales, la ampliación en la transición puede darse proporcionalmente a la longitud de la espiral, esto es:

$$A' = \frac{A}{l_e} l$$

en donde A' es la ampliación en una sección que está a l metros del TE , l_e es la longitud de la espiral y A es la ampliación total en curva. Procediendo de esta manera se tendrá ampliación nula en el TE , ampliación total en el EC , y la orilla inferior de la calzada tendrá la forma de una espiral modificada.

En curvas circulares sin espirales puede seguirse el mismo criterio, pero resultarán quiebres que pueden eliminarse durante la construcción.

D) Acotamientos. Los acotamientos son las fajas contiguas a la calzada, comprendidas entre sus orillas y las líneas definidas por los hombros del camino. Tienen como ventajas principales las siguientes:

1. Dar seguridad al usuario del camino al proporcionarle un ancho adicional fuera de la calzada, en el que puede eludir accidentes potenciales o reducir su severidad, pudiendo también estacionarse en ellos en caso obligado.
2. Proteger contra la humedad y posibles erosiones a la calzada, así como dar confinamiento al pavimento.
3. Mejorar la visibilidad en los tramos en curva, sobre todo cuando el camino va en corte.
4. Facilitar los trabajos de conservación.
5. Dar mejor apariencia al camino.

El ancho de los acotamientos depende principalmente del volumen de tránsito y del nivel de servicio a que el camino vaya a funcionar.

El color, textura y espesor de los acotamientos, dependerá de los objetivos que se quiera lograr con ellos y su pendiente transversal será la misma que la de la calzada.

9.2.2 Subcorona

La subcorona es la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoyan las capas del pavimento. En sección transversal es una línea.

Se entiende por terracerías, el volumen de material que hay que cortar o terraplenar para formar el camino hasta la subcorona. La diferencia de cotas entre el terreno natural y la subcorona, define los espesores de corte o terraplén en cada punto de la sección. A los puntos intermedios en donde esa diferencia es nula, se les llama puntos de paso y a las líneas que unen esos puntos en un tramo del camino, línea de paso. A los puntos extremos de la sección donde los taludes cortan al terreno natural, se les llama ceros y a las líneas que los unen a lo largo del camino, líneas de ceros.

Se entiende por pavimento, a la capa o capas de material seleccionado y/o tratado, comprendidas entre la subcorona y la corona, que tiene por objeto soportar las cargas inducidas por el tránsito y repartirlas de manera que los esfuerzos transmitidos a la capa de terracerías subyacente a la subcorona, no le causen deformaciones perjudiciales; al mismo tiempo proporciona una superficie de rodamiento adecuada al tránsito. Los pavimentos generalmente están formados por la sub-base, la base y la carpeta, definiendo esta última la calzada del camino.

Los elementos que definen la subcorona y que son básicos para el proyecto de las secciones de construcción del camino, son la subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

A) Subrasante. La subrasante es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona. En la sección transversal es un punto cuya diferencia de elevación con la rasante, está determinada por el espesor del pavimento y cuyo desnivel con respecto al terreno natural, sirve para determinar el espesor de corte o terraplén.

B) Pendiente transversal. La pendiente transversal de la subcorona es la misma que la de la corona, logrando mantener uniforme el espesor del pavimento. Puede ser bombeo o sobre elevación, según que la sección esté en tangente, en curva o en transición.

C) Ancho. El ancho de subcorona es la distancia horizontal comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes del terraplén, cuneta o corte. Este ancho está en función del ancho de corona y del ensanche.

La expresión general para calcular el ancho A_s de la subcorona es la siguiente:

$$A_s = C + e_1 + e_2 + A$$

En donde:

A_s = Ancho de la subcorona, en m.

C = Ancho de la corona en tangente, en m.

e_1 y e_2 = Ensanche, a cada lado del camino, en m.

A = Ampliación de la calzada en la sección considerada, en m.

El ensanche es el sobreaancho que se da a cada lado de la subcorona para que, con los taludes de proyecto, pueda obtenerse el ancho de corona después de construir las capas de base y sub-base; es función del espesor de base y sub-base, de la pendiente transversal y de los taludes.

Cuando el camino va en corte y se proyecta cuneta provisional, el hombro de la subcorona queda en la misma vertical que el de la corona y el ensanche es nulo (ver Figura 9.8); pero cuando el camino se va a pavimentar inmediatamente después de construidas las terracerías y no hay necesidad de construir la cuneta provisional, la cuneta definitiva quedará formada con el material de base y sub-base y por el talud del corte (Figura 9.7). En este caso el ensanche de la subcorona se calcula como sigue:

De la Figura 9.7-A $A = B + C ; B = A - C$

como $A = e \tan \alpha ; C = e \tan \Theta$

se tiene que $B = e (\tan \alpha - \tan \Theta)$

por convención $\tan \alpha = \frac{1}{t} ; \tan \Theta = -S$

queda $B = e \left[\frac{1}{t} - (-S) \right]$

Por lo cual $e = \frac{B}{\frac{1}{t} + S}$

En donde:

e = Ensanche, en m.

B = Espesor de base y sub-base, en m.

t = Talud de la cuneta.

S = Sobreelevación o pendiente transversal de la corona y la subcorona, con su signo.

La expresión anterior puede aplicarse también para el cálculo del ensanche en terraplenes, en cuyo caso, t es el talud del terraplén.

Cuando el espesor del pavimento y/o la pendiente transversal tienen valores altos, la subcorona corta primero al talud del corte que al talud de la cuneta, como se muestra en la Figura 9.7-B. En este caso, la aplicación de la expresión anterior daría como resultado la magnitud E , que es mayor que 1 m, lo que indica que el ensanche debe calcularse con otra expresión. Esta expresión se deduce como sigue:

$$(E - 1) \tan \alpha = a + b + c = d \tan \gamma + d \tan \Theta + (E - 1) \tan \Theta$$

como

$$\tan \alpha = \frac{1}{t} ; \tan \gamma = \frac{1}{T} ; \tan \Theta = -S.$$

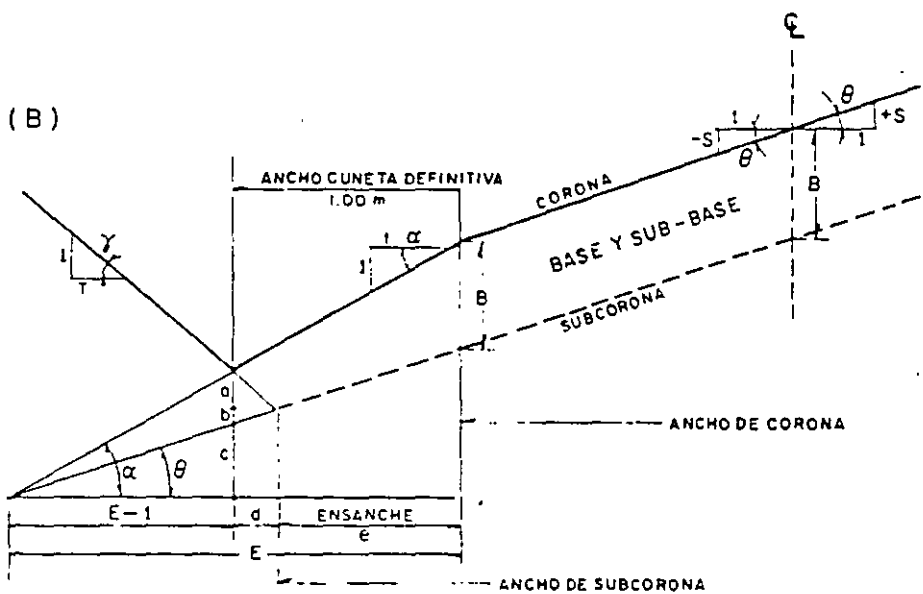
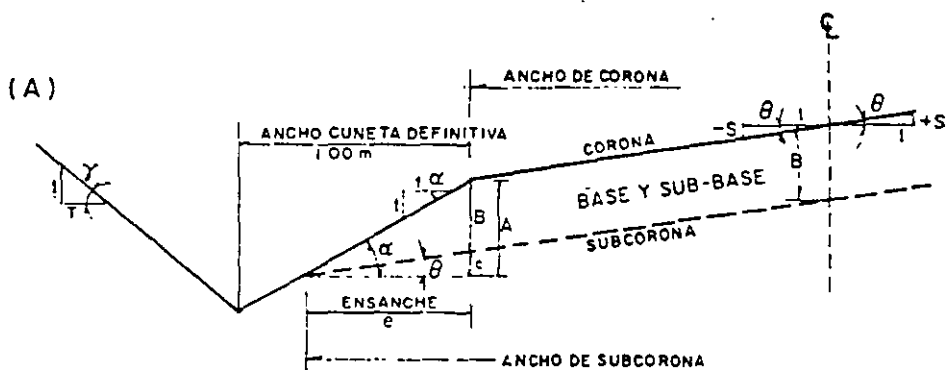


FIGURA 9.7. ENSANCHE DE LA SUBCORONA

entonces:

$$\frac{E-1}{t} = d \left[\frac{1}{T} + (-S) \right] + [(E-1)(-S)]$$

$$d \left[\frac{1}{T} + (-S) \right] = \frac{E-1}{t} - [(E-1)(-S)] = (E-1) \left(\frac{1}{t} + S \right)$$

$$d = \frac{(E-1) \left(\frac{1}{t} + S \right)}{\left(\frac{1}{T} - S \right)}$$

por otra parte:

$$B = E \tan \alpha - E \tan \theta$$

$$B = E (\tan \alpha - \tan \theta)$$

substituyendo valores y despejando E se tiene:

$$E = \frac{B}{\frac{1}{t} + S}$$

substituyendo el valor de E en el valor de d :

$$d = \frac{\left[\left(\frac{B}{\frac{1}{t} + S} - 1 \right) \right] \left(\frac{1}{t} + S \right)}{\left(\frac{1}{T} - S \right)} = \frac{B - \left(\frac{1}{t} + S \right)}{\left(\frac{1}{T} - S \right)}$$

y el ensanche valdrá:

$$e = 1 - d$$

por lo cual:

$$e = 1 - \frac{B - \frac{1}{t} - S}{\frac{1}{T} - S} = \frac{\left(\frac{1}{T} - S \right) - \left(B - \frac{1}{t} - S \right)}{\frac{1}{T} - S}$$

$$e = \frac{\frac{1}{T} - S - B + \frac{1}{t} + S}{\frac{1}{T} - S}$$

$$e = \frac{\frac{1}{T} + \frac{1}{t} - B}{\frac{1}{T} - S}$$

En donde:

e = Ensanche, en m.

B = Espesor de base y sub-base, en m.

T = Talud del corte.

t = Talud de la cuneta.

S = Sobreelevación o pendiente transversal de la corona y la sub-corona, con su signo.

D) Ampliación y sobreelevación en transiciones. Para calcular las ampliaciones y sobreelevaciones de la subcorona en las curvas y transiciones del alineamiento horizontal, se hace uso de los principios y recomendaciones establecidos en este capítulo; sin embargo, dada su importancia en el proyecto de las secciones de construcción, se establecerá la metodología de cálculo, que puede facilitarse mediante el empleo de una tabla similar a la 9-C.

En la parte superior, hay cinco columnas de datos. En la primera, se anotan los nombres del camino, tramo y subtramo a que pertenece la curva; en la segunda columna se anotan especificaciones generales de proyecto geométrico pertinentes, tales como la velocidad de proyecto V , la sobreelevación máxima ($S_{\text{máx}}$), el grado máximo de curvatura ($G_{\text{máx}}$), el ancho de corona en tangente C y el bombeo en tangente b ; en la tercera columna se anotan los datos específicos de la curva que se esté analizando, tales como el grado y el sentido de la deflexión ($G = 2^\circ \text{ Der.}$), la sobreelevación de la curva S , la longitud de la transición l_e , la distancia N y la ampliación de la curva A . Cada uno de estos elementos se calcula a través de las expresiones ya citadas.

En la cuarta columna se anota el cadenamamiento de los puntos que definen la curva circular y sus transiciones.

En la quinta columna se efectúa el cálculo de los parámetros que definen la variación de la sobreelevación DS y de la ampliación DA . Como esta variación es lineal, se tendrá:

$$DS = \frac{S}{l_e} \quad \text{y} \quad DA = \frac{A}{l_e}$$

Una vez completa la parte superior de la forma, se procede a llenar las columnas y rengiones de la tabla propiamente dicha.

En la columna (1) se anota el cadenamamiento de los puntos en donde se van a calcular sobreelevaciones y ampliaciones. Estos puntos son las estaciones cerradas de 20 m, los puntos que definen la curva y sus transiciones y los puntos que se encuentren a una distancia N del principio o fin de la transición.

En la columna (2) se anotan las distancias d entre el principio o final de la transición y la sección en donde se quiere calcular la ampliación o la sobreelevación.

En las columnas (3) se anotan las sobreelevaciones de las alas del camino. Se anotan primero las sobreelevaciones conocidas, que son las de aquellos puntos que definen a la curva y sus transiciones. Las sobreeleva-

CAMINO... V... 100 km/m
 Sm... 10 %
 GmAx... 3 25%
 TRAMO... C... 9 0 m
 b... 2 %
 SUBTRAMO... B... 0 3 m
 A... 7.30 m

G... 2- Der.
 S... 6 2 %
 le... 50 m
 N... 16 12 m
 A... 0 16 m

TE - 20 + 530 45
 LC - 20 + 580 45
 CE - 20 + 630 45
 ET - 20 + 680 45

D.S = 0 121
 D.A = 0 0032

ESTACION	d	SOBREELEVACION		AMPLIACION	TALUDES		ENSANCHES		SEMIBANOS PARA PROYECTO		
		Izquierdo	Derecho		Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	
(1)	(2)	(3)		(4)	(5)		(6)		(7)		
20 + 511 33 TE - N		- 2 0	- 2 0	0 00	3	3	0 97	0 97	5 47	5 47	
20 + 520	10 45	- 1 2	- 2 0	0 00	3	3	0 95	0 97	5 45	5 47	
20 + 530 45 TE	0	0	- 2 0	0 00	3	3	0 91	0 97	5 41	5 47	
20 + 540	9 55	+ 1 2	- 2 0	0 03	3	3	0 87	0 97	5 37	5 56	
20 + 546 57 TE + N	16 12	+ 2 0	- 2 0	0 05	3	3	0 85	0 97	5 35	5 63	
20 + 560	29 55	+ 3 7	- 3 7	0 10	3	0 25/1	0 81	1 00	5 31	5 80	
20 + 580	49 55	+ 6 1	- 6 1	0 16	1 5	0 25/1	0 41	0 99	4 91	5 99	
20 + 580 45 LC		+ 6 2	- 6 2	0 16	1 5	0 25/1	0 41	0 99	4 91	5 99	
20 + 600		+ 6 2	- 6 2	0 16	1 5	1 5	0 41	0 49	4 91	5 49	
20 + 620		+ 6 2	- 6 2	0 16	1 5	1 5	0 41	0 49	4 91	5 49	
20 + 630 45 CE		+ 6 2	- 6 2	0 16	1 5	1 5	0 41	0 49	4 91	5 49	
20 + 640	40 45	+ 5 0	- 5 0	0 13	1 5	1 5	0 42	0 48	4 92	5 38	
20 + 660	20 45	+ 2 5	- 2 5	0 07	3	1 5	0 84	0 48	5 34	5 18	
20 + 661 33 ET - N	16 12	+ 2 0	- 2 0	0 05	3	1 5	0 85	0 46	5 35	5 12	
20 + 680	0 45	+ 0 1	- 2 0	0 00	3	1 5	0 90	0 46	5 40	4 96	
20 + 680 45 ET	0	0	- 2 0	0 00	3	1 5	0 90	0 46	5 41	4 96	
20 + 696 57 ET + N		- 2 0	- 2 0	0 00	3	1 5	0 96	0 46	5 47	4 96	
CALCULO		REVISO						FECHA			

88

TABLA 9-C. SOBREELEVACIONES, AMPLIACIONES Y ENSANCHES DE LA SUBCORONA

ciones restantes se calculan multiplicando la distancia d por el parámetro DS .

En las columnas (4) se anotan las ampliaciones de la curva y se complementa con la anotación Izq. o Der., según sea el sentido:

En la columna (5) se anotan los valores recomendados para los taludes del corte y de la cuneta o terraplén en cada estación. Si los taludes son de corte, se acostumbra escribirlos como quebrado, siendo la unidad el denominador y si son de terraplén o cuneta, se escribe el valor del talud.

En las columnas (6) se anotan los ensanches calculados, limitados por los taludes del corte, cuneta o terraplén. Cuando se tengan cunetas provisionales, el ensanche será nulo.

En las columnas (7) se anotan los semianchos de la subcorona para proyecto, que están integrados por la suma de la semicorona en tangente horizontal, el ensanche y la ampliación.

9.2.3 Cunetas y contracunetas

Las cunetas y contracunetas son obras de drenaje que por su naturaleza quedan incluidas en la sección transversal.

A) Cunetas. Las cunetas son zanjas que se construyen en los tramos en corte a uno o a ambos lados de la corona, contiguas a los hombros, con el objeto de recibir en ellas el agua que escurre por la corona y los taludes del corte.

Normalmente, la cuneta tiene sección triangular con un ancho de 1.00 m, medido horizontalmente del hombro de la corona al fondo de la cuneta; su talud es generalmente de 3:1; del fondo de la cuneta parte el talud del corte. La capacidad hidráulica de esta sección puede calcularse con los métodos establecidos y debe estar de acuerdo con la precipitación pluvial de la zona y el área drenada.

Cuando los caminos no se pavimentan inmediatamente después de construidas las terracerías, es necesario proyectar una cuneta provisional para drenar la subcorona. El ancho de esta cuneta provisional debe diferir en una cantidad d al ancho de la cuneta definitiva, para que cuando se pavimente o se recubra el camino, la cuneta definitiva quede con su ancho de proyecto. En la Figura 9.8 se ilustra la forma y dimensiones de la cuneta provisional y su relación con la cuneta definitiva.

$$B = a + c = d \tan \gamma + d \tan \alpha$$

como:

$$\tan \gamma = \frac{1}{T} \quad \text{y} \quad \tan \alpha = \frac{1}{t}$$

se tiene:

$$B = d \left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t} \right)$$

de donde:

$$d = \frac{B}{\left(\frac{1}{T} + \frac{1}{t} \right)}$$

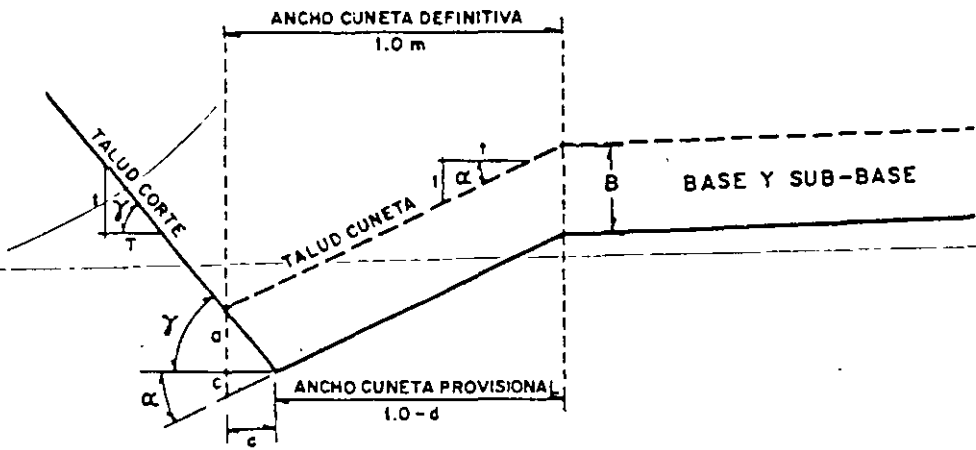


FIGURA 9.8. CUNETAS PROVISIONAL

en donde B es el espesor de base y sub-base, en m; T y t son los taludes del corte y de la cuneta, respectivamente, y d es la reducción que hay que hacer al ancho de la cuneta definitiva para tener el ancho de la cuneta provisional, en m.

La pendiente longitudinal de las cunetas generalmente es la misma que la del camino, pero puede aumentarse si las condiciones del drenaje así lo requieren y la comparación con otra solución indica que es conveniente.

La longitud de una cuneta está limitada por su capacidad hidráulica, pues no debe permitirse que el agua rebase su sección y se extienda por el acotamiento, por lo que deberá limitarse esta longitud colocando alcantarillas de alivio o proyectando las canalizaciones convenientes

Cuando la velocidad del agua es fuerte puede causar erosiones en la cuneta; para evitarlas habrá que disminuir esa velocidad o proteger las cunetas con materiales resistentes a la erosión.

B) Contracunetas. Generalmente son zanjas de sección trapezoidal, que se excavan arriba de la línea de ceros de un corte, para interceptar los escurrimientos superficiales del terreno natural. Se construyen perpendiculares a la pendiente máxima del terreno con el fin de lograr una interceptación eficiente del escurrimiento laminar. Su proyecto en dimensiones y localización está determinado por el escurrimiento posible, por la configuración del terreno y por las características geotécnicas de los materiales que lo forman, pues a veces las contracunetas son perjudiciales si en su longitud ocurren filtraciones que redunden en la inestabilidad de los taludes del corte; en estos casos debe estudiarse la conveniencia de impermeabilizarlas, sustituirlas por bordos o buscar otra solución.

9.2.4 Taludes

El talud es la inclinación del paramento de los cortes o de los terraplenes, expresado numéricamente por el recíproco de la pendiente. Por

extensión, en caminos, se le llama también talud a la superficie que en cortes queda comprendida entre la línea de ceros y el fondo de la cuneta; y en terraplenes, la que queda comprendida entre la línea de ceros y el hombro correspondiente.

Los taludes de los cortes y terraplenes se fijan de acuerdo con su altura y la naturaleza del material que los forman.

En terraplenes, dado el control que se tiene en la extracción y colocación del material que forma el talud, el valor comúnmente empleado para éste es de 1.5. En los cortes, debido a la gran variedad en el tipo y disposición de los materiales, es indispensable un estudio, por somero que sea, para definir los taludes en cada caso. La tabla 9-D resume la experiencia de la Secretaría de Obras Públicas respecto a las recomendaciones de los taludes en cortes. Se tiene como norma para los cortes de más de siete metros de altura, realizar estudios con el detalle suficiente, a fin de fijar de un modo racional, los taludes y los procedimientos de construcción.

9.2.5 Partes complementarias

Bajo esta denominación se incluyen aquellos elementos de la sección transversal que concurren ocasionalmente y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino. Tales elementos son las guarniciones, bordillos, banquetas y fajas separadoras. Las defensas y los dispositivos para el control del tránsito también pueden considerarse como parte de la sección transversal; su aplicación, diseño y descripción, están tratados en el Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito, editado por la Secretaría de Obras Públicas.

A) Guarniciones y bordillos. Las guarniciones son elementos parcialmente enterrados, comúnmente de concreto hidráulico que se emplean principalmente para limitar las banquetas, camellones, isletas y delinear la orilla del pavimento. El tipo y ubicación de las guarniciones influye en las reacciones del conductor y, por tanto, en la seguridad y utilidad del camino.

TABLA 9-D. TALUDES RECOMENDADOS EN CORTES

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta 8 m	De 8 m a 16 m	
Granito sano y masivo	¾:1	¾:1	Descopetar a ¾:1 la parte intemperizada, si la hay
Granito sano, en bloque	½:1	¾:1	Amacizar taludes según la disposición de los bloques
Granito sano, fracturado	½:1	½:1	No se considera recomendable la construcción de berma en el cambio de talud El talud recomendable variará de acuerdo con la disposición relativa de las diaclasas respecto al talud

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta 8 m	De 8 m a 16 m	
Granito fracturado y poco alterado.	1/2 : 1	1/2 : 1	Si el fracturamiento es uniforme y favorable
	3/4 : 1	3/4 : 1	Si no es favorable
	1/2 : 1	3/4 : 1	Si el fracturamiento es más intenso en la parte superior del corte
Granito totalmente intemperizado (tucuruquay)	1/2 : 1	3/4 : 1	Si el producto de intemperización del granito es arena gruesa bien cementada y compacta
	3/4 : 1	1 : 1	Si el producto de intemperización es arena limosa o arcillosa con poca cementación y compactidad
Dioritas			Mismo comportamiento que los granitos
Riolitas fracturadas en grandes bloques con sistemas de fracturamiento principal, horizontal y verticalmente. (Columnar.)	1/2 : 1	1/2 : 1	No es adecuada la construcción de bermas
Andesita fracturada en grandes bloques	1/2 : 1	3/4 : 1	Si las fracturas no contienen arcilla
	1/2 : 1	3/4 : 1	Si las fracturas contienen arcilla
			Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud
Andesita fracturada y poco alterada	1/2 : 1	1/2 : 1	
Andesita fracturada y muy intemperizada	1/2 : 1	3/4 : 1	
Diabasa sana, poco fracturada	1/8 : 1	1/4 : 1	
Basalto columnar	1/8 : 1	1/4 : 1	El que den las columnas, generalmente es vertical
Basalto fracturado, sano	1/2 : 1	1/4 : 1	Si el sistema de fracturamiento es favorable al talud
			Descopetar a 1/2 : 1 la parte superior del corte si el fracturamiento es muy intenso
			Estas recomendaciones pueden variar notablemente dependiendo de la posición relativa de los planos de adiacasamiento respecto al talud

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta 8 m	De 8 m a 16 m	
Basalto fracturado en bloques de todos tamaños (mal país)	½:1 ¾:1	¾:1 ¾:1	Si está empacado en arcillas
Basalto muy fracturado y alterado	½:1	½:1	
Derrames basálticos intercalados con piroclásticas y tezontles	¾:1	1:1	Conviene la construcción de banquetta de 4 m al pie del talud para recibir desprendimientos
Tezontle suave bien cementado	¾:1	½:1	
Tezontle sano fragmentario	¾:1	1:1	
Tezontle intemperizado	¾:1	¾:1	
Tobas andesíticas, riolíticas o basálticas, sanas y fuertemente cementadas	¾:1	¾:1	Si presentan fracturamiento columnar, deberá darse la inclinación de dichas columnas Deberá tenerse especial cuidado para no usar explosivos en exceso
	¾:1	¾:1	Si están intemperizadas en la parte superior del corte
Tobas brechoides medianamente cementadas	¾:1	¾:1	Un solo talud para cortes menores de 16 m
Tobas débilmente cementadas	¾:1	1:1	
Lutita dura y resistente, con echado casi horizontal, poco fracturada	¾:1	¾:1	Construir contracunetas impermeables si se requiriesen Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de planos de sedimentación respecto al plano del talud
	¾:1	½:1	Si la parte superior del corte se encuentra más fracturada
Lutita suave muy fracturada	½:1	¾:1	Construir contracunetas impermeables si se requiriesen Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de los planos de sedimentación respecto al plano del talud

TIPO DE MATERIAL	TALUD RECOMENDABLE		OBSERVACIONES
	Hasta 8 m	De 8 m a 16 m	
Areniscas fuertemente cementadas	3/8 :1	1/2 :1	
Areniscas débilmente cementadas	1/2 :1	3/4 :1	
Conglomerado brechoide bien cementado con matriz silicosa	3/8 :1	1/2 :1	
Conglomerados cementados con matriz cálcica	1/4 :1	1/2 :1	
Conglomerado pobremente cementado o con matriz arcillosa	1/2 :1	3/4 :1	
Caliza fracturada con echados casi horizontales	3/8 :1	1/2 :1	Descopetar a 1/2 :1 la parte superior del corte, si el fracturamiento es muy intenso Estos taludes recomendados pueden variar notablemente de acuerdo con la posición relativa de los planos de sedimentación respecto al plano del talud
Caliza muy fracturada, cavernosa y poco alterada	1/2 :1	3/4 :1	
Pizarras con planos de apizarramiento de 5 a 10 cm de separación, con echados casi horizontales	1/4 :1	3/8 :1	Se aconseja la construcción de contracunetas impermeables si éstas son necesarias
Aglomerados medianamente compactos	1/4 :1	3/4 :1	
Arenas limosas pumíticas y vidrios volcánicos (jales)	3/4 :1	1:1	Protección de taludes inmediata, mediante "tepes", cunetas y contracunetas impermeabilizadas
Limos arenosos muy compactos (tepetates)	1/4 :1	1/2 :1	
Arcillas poco arenosas firmes (homogéneas)	1/2 :1	1/2 :1 a 3/4 :1	
Arcillas muy suaves, expansivas y compresibles	1:1	1.5:1	Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje
Caolín, producto de alteración de dioritas	1:1		Cubrir con "tepes" el talud. Altura máxima de corte 8 m. Si existe nivel freático se requerirá buen subdrenaje

Los tipos usuales de guarnición son las verticales y las achaflanadas, las primeras tienen su parte saliente de 0.20 m como máximo y su cara exterior sensiblemente vertical, de manera que los vehículos no puedan sobrepasarlas; las segundas tienen la parte saliente achaflanada para que en caso de emergencia, los vehículos puedan pasar sobre ellas con relativa facilidad. La Figura 9.9 ilustra ambos tipos de guarniciones.

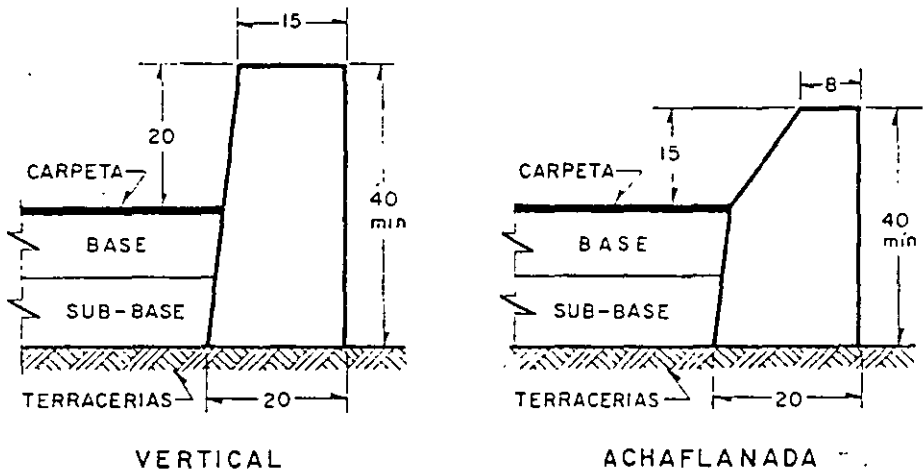


FIGURA 9.9. TIPOS DE GUARNICIONES

Las guarniciones achaflanadas se emplean principalmente en zonas rurales y las verticales en zonas urbanas. Las guarniciones deben ser visibles, para ello cuando sea necesario deben pintarse o señalarse con material reflejante sus caras exteriores.

Los bordillos son elementos, generalmente de concreto asfáltico, que se construyen sobre los acotamientos junto a los hombros de los terraplenes, a fin de encauzar el agua que escurre por la corona y que de otro modo causaría erosiones en el talud del terraplén (ver Figura 9.10).

El caudal recogido por el bordillo se descarga en lavaderos construidos sobre el talud del terraplén.

Antes de proyectar un bordillo habrá que estudiar la erosionabilidad del talud para la precipitación pluvial que se tenga en la zona. Habrá terraplenes que no los requieran, ya sea por la baja precipitación o porque el talud no sea erosionable. En terraplenes de corta altura puede ser más económico reponer, en su caso, el material erosionado en los taludes que conservar el bordillo y los lavaderos correspondientes. En tramos a nivel o con pendientes longitudinales menores de uno por ciento no son aconsejables los bordillos, pues el agua que recogen escurrirá únicamente por tirante hidráulico y se provocarán acumulaciones de agua perjudiciales. Si la pendiente longitudinal es mayor, el bombeo y el espesor de la carpeta

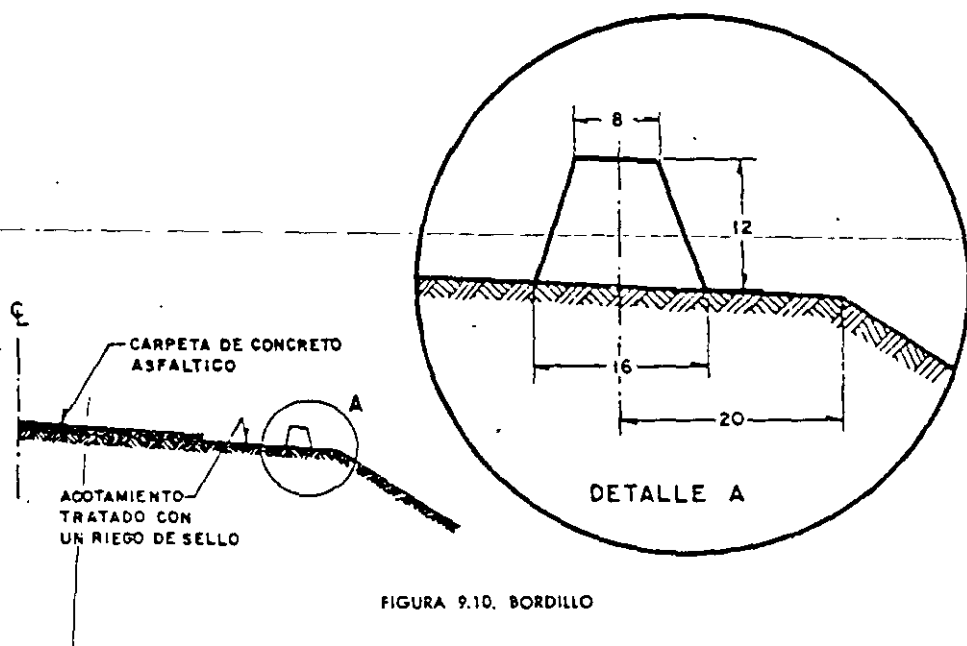


FIGURA 9.10. BORDILLO

limitan la altura máxima del bordillo, puesto que no es admisible que el agua recogida por él, invada parte de la calzada.

Debe tenerse en cuenta que un bordillo puede ser una obra provisional. En algunas ocasiones, su función es reemplazada por las especies vegetales que crecen en los taludes del terraplén.

B) Banquetas. Las banquetas son fajas destinadas a la circulación de peatones, ubicadas a un nivel superior al de la corona y a uno o a ambos lados de ella. En zonas urbanas y suburbanas, la banqueta es parte integrante de la calle; en caminos rara vez son necesarias.

La justificación del proyecto de banquetas depende del peligro a que estén sujetos los peatones en caso de no haberlas, lo que a su vez está gobernado por la circulación horaria de peatones y el volumen y la velocidad de tránsito. Cuando la circulación de peatones es eventual no es necesario construir banquetas.

C) Fajas separadoras y camellones. Se llaman fajas separadoras a las zonas que se disponen para dividir unos carriles de tránsito de otros de sentido opuesto, o bien para dividir carriles del mismo sentido pero de diferente naturaleza. A las primeras se les llama fajas separadoras centrales y a las segundas, fajas separadoras laterales. Cuando a estas fajas se les construyen guarniciones laterales y entre ellas se coloca material para obtener un nivel superior al de la calzada, toman el nombre de camellones, que igualmente pueden ser centrales o laterales; su anchura es variable dependiendo del costo del derecho de vía y de las necesidades del tránsito. El ancho mínimo es 1.20 m.

Los camellones centrales se usan en caminos de cuatro o más carriles; los laterales se proyectan en zonas urbanas y suburbanas para separar el tránsito directo del local en una calle o camino lateral.

En ocasiones, se pone en los camellones centrales setos altos para evitar el deslumbramiento de los usuarios; en las curvas horizontales, este seto reduce la distancia de visibilidad, por lo que en estos casos debe eliminarse o proyectar el camellón con un ancho tal que el seto permita tener al menos la distancia de visibilidad de parada, correspondiente a la velocidad de proyecto del tramo para el carril inmediato al camellón.

9.2.6 Derecho de vía

El derecho de vía de una carretera es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general, para el uso adecuado de esa vía y de sus servicios auxiliares. Su ancho será el requerido para satisfacer esas necesidades.

En general, conviene que el ancho de derecho de vía sea uniforme, pero habrá casos en que para alojar intersecciones, bancos de materiales, taludes de corte o terraplén y servicios auxiliares, se requiera disponer de un mayor ancho.

CAPITULO X

PROYECTO DE LA SUBRASANTE Y CALCULO DE LOS MOVIMIENTOS DE TERRACERÍAS

GENERALIDADES

El costo de construcción, parte integrante de los costos en que se basa la evaluación de un camino, está gobernado por los movimientos de terracerías. Esto implica una serie de estudios que permitan tener la certeza de que los movimientos a realizar sean los más económicos, dentro de los requerimientos que el tipo de camino fija.

La subrasante a la que corresponden los movimientos de terracerías más económicas se le conoce como subrasante económica.

En este Capítulo se dan los lineamientos que el proyectista debe seguir para obtener la subrasante que corresponde a un proyecto económico.

10.1 PROYECTO DE LA SUBRASANTE

Al iniciarse el estudio de la subrasante en un tramo se deben analizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones transversales del terreno, los datos relativos a la calidad de los materiales y la elevación mínima que se requiere para dar cabida a las estructuras.

La subrasante económica es aquella que ocasiona el menor costo de la obra, entendiéndose por esto, la suma de las erogaciones ocasionadas durante la construcción y por la operación y conservación del camino una vez abierto al tránsito. No obstante, en lo que sigue se tratará la forma de encontrar la subrasante económica determinándola únicamente por el costo de construcción, por ser este concepto el que generalmente presenta variaciones sensibles. Bajo este aspecto, para el proyecto de la subrasante económica hay que tomar en cuenta que:

1. La subrasante debe cumplir con las Especificaciones de Proyecto Geométrico dadas.

2. En general, el alineamiento horizontal es definitivo, pues todos los problemas inherentes a él han sido previstos en la fase de anteproyecto. Sin embargo habrá casos en que se requiera modificarlo localmente.

3. La subrasante a proyectar debe permitir alojar las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel y su elevación debe ser la necesaria para evitar humedades perjudiciales a las terracerías o al pavimento, causadas por zonas de inundación o humedad excesiva en el terreno natural.

10.1.1 Elementos que definen el proyecto de la subrasante

De acuerdo con lo anterior, se considera que los elementos que definen el proyecto de la subrasante económica, son los siguientes:



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN
DE VÍAS TERRESTRES.**

**CAPÍTULO IV. "NORMAS PARA LOS TRABAJOS DE
CONSERVACIÓN O MANTENIMIENTO"**

Ing. Antonio Silva Tonché
Palacio de Minería
M a y o / 2 0 0 0

LIBRO 8

NORMAS PARA LOS TRABAJOS DE CONSERVACION O MANTENIMIENTO

PARTE 8.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 8.01.03

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE RECONSTRUCCION DE CARRETERAS

T I T U L O 8.01.03

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE RECONSTRUCCION DE CASQUETAS

Capítulo 001.-

PAVIMENTOS

001.A)

DEFINICIONES Y FUNCIONES

001.A.01

PAVIMENTO FLEXIBLE

- a) Definición.- Es aquel cuya capa de rodamiento está -
constituida por una carpeta asfáltica que se apoya so-
bre una base y una sub-base.

001.A.02

SUB-BASE

- a) Definición.- Capa de materiales seleccionados compren-
dida entre la sub-rasante y la base.
- b) Funciones.
- 1) Transmitir los esfuerzos a la capa sub-rasante en
forma conveniente.
 - 2) Constituir una transición entre los materiales de
la base y de la capa sub-rasante, de modo tal que -
evite la contaminación y la interpenetración de di-
chos materiales.
 - 3) Disminuir efectos perjudiciales en el pavimento, -
ocasionados por cambios volumétricos y rebote elás-
tico del material de las terracerías o del terreno
de cimentación.
 - 4) Reducir el costo del pavimento, ya que es una capa -
que por estar bajo la base queda sujeta a menores es-
fuerzos y requiere de especificaciones menos rígidas,
mismas que pueden satisfacerse normalmente con un ma-
terial más barato que el de la base.
 - 5) Contribuir en algunos casos al drenaje de la carrete-
ra.

001.A.03

B A S E

- a) Definición.- Capa de materiales seleccionados que se -
construye sobre la sub-base y ocasionalmente sobre la -
sub-rasante, limitada en su parte superior por la carpe-
ta.
- b) Función.- Soportar apropiadamente las cargas transmi-
das por los vehículos a través de la carpeta y distri-
buir los esfuerzos a la sub-base o capa sub-rasante, en
tal forma que no les produzca deformaciones perjudiciales.

001.A.04

CARPETA ASFALTICA

- a) Definición.- Capa o conjunto de capas que se colocan sobre la base, constituidas por material pétreo y un producto asfáltico.
- b) Función.- Proporcionar al tránsito una superficie estable, prácticamente impermeable, uniforme y de textura apropiada. Cuando se coloca en espesores de cinco (5) centímetros o más, se considera que contribuye, junto con la base, a soportar las cargas y distribuir los esfuerzos.

001.A.05

SOBRECARPETA

- a) Definición.- Carpeta que se coloca sobre un pavimento deteriorado por el uso.
- b) Funciones.
 - 1) Restituir las características adecuadas de servicio que tuvo el camino cuando fue originalmente terminado.
 - 2) Aumentar la resistencia estructural del pavimento.

001.A.06

RIEGO DE SELLO

- a) Definición.- Capa de material pétreo, ligada a la carpeta por un producto asfáltico.
- b) Funciones.
 - 1) Impermeabiliza el pavimento.
 - 2) Proporcionar una superficie de desgaste.
 - 3) Proporcionar una superficie antiderrapante.
 - 4) Proporcionar una superficie con un color tal, que refleje apropiadamente la luz de los faros de los vehículos.

001.B)

RENIVELACION

001.B.01

DEFINICION.- Conjunto de operaciones requeridas para poner al nivel original la porción de la superficie de rodadura que ha sufrido alguna deformación y/o desplazamiento.

001.B.02

GENERALIDADES.- Los trabajos de renivelación pueden considerarse como conservación normal o como reconstrucción, según excedan o no en volumen de doscientos (200) metros cúbicos de mezcla asfáltica por kilómetro.

En la cláusula 001-C se fijaron las normas y procedimientos por aplicar para conservación, mismos que son aplicables en el caso de la reconstrucción de las obras de renivelación.

001.C) ----- RIEGO DE SELLO-----

001.C.01

U S O

- a) Los casos en los que se recomienda el riego de sello son los siguientes:
- 1) Cuando se requiera proporcionar una superficie de desgaste a una carpeta.
 - 2) Cuando la carpeta existente esté agrietada y/o tenga textura muy abierta, para evitar que se introduzca agua y especialmente que ésta llegue a la base.
 - 3) Dar rugosidad a la superficie para hacerla antideslizante.
 - 4) Reavivar el asfalto de una carpeta expuesta a la acción de la intemperie.
 - 5) Proteger la carpeta cuando se inicia el proceso de desgranamiento y/o desgaste superficial.
 - 6) Obtener en la superficie de rodamiento un color adecuado para mayor visibilidad nocturna.
- b) Los casos en los que no deberá recurrirse al riego de sello, por no ser la solución adecuada, son los siguientes:
- 1) Cubrir defectos de construcción que, en primer lugar no debieron haberse tolerado y cuya solución no sea el riego de sello. Este es el caso, por ejemplo, de carpeta con exceso de asfalto o disolventes, mala granulometría del material u otros.
 - 2) Tratar de corregir deformaciones o agrietamientos ocasionados por defectos de las capas inferiores a la carpeta y/o del drenaje o sub-drenaje.
 - 3) Tratar de corregir desplazamientos del material debidos a la inestabilidad de las mezclas asfálticas o riegos de liga deficientes.

001.C.02

GENERALIDADES

- a) Cuando se ejecute un riego de sello con asfaltos rebajados, el material pétreo deberá estar, de preferencia, seco. Cuando contenga agua libre, producto de lluvias o del banco, pero sin sobrepasar el porcentaje de absorción de las partículas y no sea práctico o económico eliminarla, podrá efectuarse el riego de sello añadiendo un aditivo al asfalto rebajado, o bien empleando emulsión. El porcentaje máximo admisible de humedad en el material pétreo, así como el tipo y porcentaje de aditivo a usar, serán los indicados por el laboratorio.
- b) Tomando en cuenta lo anterior, deberán programarse los trabajos de riego de sello, para efectuarlos de preferencia en la temporada de secas. Además, en las zonas de clima muy extremo se evitará sellar en temporada de fríos y/o vientos intensos, porque éstos impiden que el riego sea uniforme.

No deberán permitirse los trabajos de sello, si la temperatura ambiente es inferior a cinco grados centígrados (5° C), si se usan asfaltos rebajados, y de diez grados centígrados (10° C), si se usan emulsiones asfálticas.

001.C.03

MATERIALES

- a) Tanto los materiales pétreos, como los asfálticos, deberán ajustarse íntegramente a lo asentado en las Especificaciones. En la siguiente tabla se indican las características que deben reunir los materiales pétreos y asfálticos recomendados para el riego de sello, así como las dosificaciones adecuadas para cada tipo de material.

Relación de materiales y dosificaciones correspondientes en trabajos de riego de sello.

C O N C E P T O	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	
	3-A	3-E
I Material pétreo		
1. Granulometría		
A) Que pase por la malla de.....	9.5 mm (3/8")	9.5 mm (3/8")
B) Y se retenga en la malla de.....	Núm. 8	Núm. 4
2. Dosificación en lt/m2.....	8 a 10	9 a 11
II Material asfáltico		
1. Cemento asfáltico (Temperatura de aplicación - - 130°C a 160°C).....	0.7 a 1.0	0.8 a 1.0
2. FR3 (75% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 60°C a 80°C).....	0.9 a 1.3	1.0 a 1.3
3. FR4 (80% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 80°C a 100°C).....	0.9 a 1.3	1.0 a 1.3
4. Emulsión catiónica (60% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 5°C a 40°C).....	1.2 a 1.7	1.3 a 1.7
5. Emulsión aniónica (55% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 5°C a 40°C).....	1.3 a 1.8	1.4 a 1.8

Las tolerancias admitidas en la granulometría del material pétreo son las siguientes:

- En el material 3-A, puede aceptarse hasta un cinco por ciento (5%) de material retenido en la malla de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8"); siempre que no sean partículas mayores de doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"); del material que pase por la malla número ocho (8), podrá aceptarse hasta un cinco por ciento (5%), siempre que éste se retenga totalmente en la malla número cuarenta (40).
- En el material 3-E, puede aceptarse hasta un cinco por ciento (5%) de material retenido en la malla de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8"), siempre que no sean partículas mayores de doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"); del material que pase por la malla número cuatro (4) podrá aceptarse hasta un cinco por ciento (5%), siempre que éste se retenga totalmente en la malla número ocho (8).

- b) Como puede verse en la tabla, existe cierto margen en la dosificación de los materiales. Dentro de esta variación, aceptada por las Especificaciones, deberá fijarse la dosificación precisa que se requiera, dependiendo de las condiciones existentes en la superficie por sellar y de las características del material pétreo a usar, considerando los siguientes lineamientos generales:
- 1) Se efectuarán una serie de tanteos con distintas dosificaciones de materiales asfálticos y pétreos, en áreas de un (1) metro cuadrado.
 - 2) La dosificación más adecuada será aquella con la que se logre una carpeta totalmente cubierta con sellado, que tenga un desprendimiento de material pétreo no mayor de diez por ciento (10%) y que no presente afloramiento de asfalto.
 - 3) Cuando, por experiencia anterior en condiciones similares se pueda definir la dosificación probable, se podrá iniciar el trabajo en tramos cortos, de longitud no mayor de trescientos (300) metros, e ir haciendo los ajustes que procedan en los tramos subsiguientes.
 - 4) Deberá verificarse la cantidad de asfalto regada por metro cuadrado, colocando en el tramo por regar un papel de un (1) metro cuadrado y pesando el papel antes y después del riego. Se efectuarán en forma sistemática tres (3) de estas verificaciones por cada mil (1 000) metros lineales de avance.
- c) Cuando, para corregir alguna deficiencia en los materiales pétreos, se requiera usar aditivos, deberán ser del tipo y con la dosificación recomendada por el laboratorio.
- d) Aun cuando ya se ha indicado que los materiales deben cumplir integralmente lo asentado en las Especificaciones, por su importancia se considera necesario insistir en que el material pétreo, además de tener la granulometría adecuada, satisfaga los siguientes requisitos:
- 1) El desgaste no debe ser mayor del treinta por ciento (30%) de acuerdo con la prueba de Los Angeles.
 - 2) Presentar afinidad con el asfalto. Esta se determina por medio de la prueba de desprendimiento por fricción y no debe ser mayor del veinticinco por ciento (25%).
 - 3) Las partículas que se rompan en forma de laja no deben exceder del treinta y cinco por ciento (35%).

001.C.04

EQUIPO

- a) Petrolizadora.- Para el riego de producto asfáltico se empleará una petrolizadora que reúna, entre otras, las siguientes condiciones:
- 1) Deberá contar con equipo de calentamiento para elevar la temperatura del producto asfáltico hasta el nivel especificado.
 - 2) Deberá tener una bomba que produzca la presión necesaria para obtener una dispersión uniforme en todas las espreas de la barra.
 - 3) Deberá tener un tacómetro para regular la velocidad y poder obtener una dosificación controlada y uniforme en todo el tramo regado.
- b) Calibración del tanque de la petrolizadora.- Para medir el volumen de asfalto contenido en la petrolizadora antes y después de un riego y por diferencia determinar el volumen regado, es necesario tener bien calibrado el tanque de la petrolizadora, por lo que a continuación se indica el procedimiento para hacerlo:
- 1) Se estaciona la petrolizadora en un lugar sensiblemente horizontal.
 - 2) Se cierran las válvulas de salida del tanque y se llena con agua.
 - 3) Se mide la altura de la lámina de agua hasta la válvula de admisión de la petrolizadora.
 - 4) Por la manguera de bacheo, o por un extremo de la barra, se extrae agua hasta llenar una medida de volumen prefijado, que se recomienda sea del orden de cuarenta (40) litros.
 - 5) Se vuelve a medir la altura señalada en el sub-párrafo 3.
 - 6) Se repite esta operación hasta vaciar el tanque.
 - 7) Con los datos anteriores se puede elaborar una tabla o gráfica en la que consten los volúmenes que corresponden a cada altura de la lámina de agua o asfalto al borde superior de la válvula de admisión. También se puede graduar una regla en la que se tengan directamente esos volúmenes. De la tabla o gráfica que se elabore, deberá tenerse siempre un ejemplar en la petrolizadora y duplicados en las oficinas.

- c) Esparcidor mecánico.- Se requiere para obtener un tendido uniforme del material, recomendándose que se tomen las siguientes precauciones, para lograr buenos resultados al usarlo:
- 1) Que no haya en el material pétreo, piedras de tamaño mayor al especificado, que al quedar detenidas - dejen zonas sin dicho material.
 - 2) Que el material pétreo no esté húmedo y pueda atascarse.
 - 3) Verificar el volumen del camión que surte el esparcidor, para que dividiendo ese volumen entre la dosificación requerida y el ancho de la franja que riega el esparcidor, pueda conocerse la longitud por cubrir.
 - 4) Regular la abertura del esparcidor y la velocidad del camión que lo empuja, para que el material se riegue en forma uniforme y en la longitud prefijada
- d) Camiones de volteo.- El número de camiones de volteo se calculará de acuerdo con el tiempo de llenado del camión, la distancia del almacén al tiro y el lapso requerido para engancharlo al esparcidor, regar el material y desengancharlo.

Todos los camiones deberán contar con un gancho apropiado para unir a ellos el esparcidor y deberán llenarse con el mismo volumen de material pétreo, con objeto de que sea siempre igual la longitud por cubrir.

- e) Compactadores.- Se requiere usar rodillos lisos tándem con peso de cuatro mil quinientos (4 500) kilogramos a siete mil trescientos (7 300) kilogramos y compactadores de llantas neumáticas, con peso de cuatro mil quinientos (4 500) kilogramos a siete mil trescientos (7 300) kilogramos.
- f) Rastras.- Deberán ser ligeras. Se pueden construir con facilidad haciendo un marco de madera de dos (2) - por tres (3) metros y clavando, tanto en el marco como en las diagonales, cepillos de fibra o de raíz.

001.C.05

PROCEDIMIENTO

- a) En la superficie por sellar deberán ejecutarse previamente los trabajos que se requieran, tales como bacheo, renivelaciones u otros, de acuerdo con lo indicado en las cláusulas respectivas de estas Normas.

- b) La superficie por sellar deberá limpiarse de materia extraña y barrer perfectamente para eliminar el polvo.
- c) Antes de iniciar el riego de asfalto, deberán protegerse con papel, o en cualquier otra forma, las estructuras pertenecientes o contiguas a la carretera, tales como banquetas, guarniciones, camellones, señales, fanstasmas u otras, cuando se considere que pueden mancharse.
- d) Sobre la carpeta limpia se procederá a aplicar un riego de producto asfáltico del tipo y la cantidad por metro cuadrado fijados, considerando los siguientes lineamientos:
 - 1) La petrolizadora deberá arrancar por lo menos diez (10) metros antes del punto en que deba empezar a regar, con objeto de que al pasar por ese punto, ya lleve la velocidad adecuada.
 - 2) Deberá tenerse especial cuidado de evitar los traslapes de los riegos, cubriendo el lugar donde se inician con una banda de hule o tiras de papel.
- e) Antes de que hayan transcurrido veinte (20) minutos se cubrirá el riego de producto asfáltico con el material pétreo.
- f) Inmediatamente después se pasará la rastra para eliminar ondulaciones, bordes o depresiones.
- g) Se procederá al planchado, el cual se iniciará con el rodillo liso, que se pasará hasta haber cubierto toda la superficie dos veces: posteriormente y usándolo en forma alterna con la rastra, se planchará con el compactador de llantas neumáticas el tiempo necesario para asegurar que el máximo de material pétreo se haya adherido al material asfáltico. Esta compactación deberá efectuarse en las tangentes de la orilla del camino hacia el centro y en las curvas del lado interior hacia el lado exterior.
- h) Al terminar el planchado del camino deberá evitarse el tránsito en un lapso mínimo de seis (6) horas, al cabo de las cuales podrá abrirse, procurando que la velocidad de los vehículos no exceda de treinta (30) kilómetros por hora, durante los cuatro (4) primeros días.

Si se cuenta con desviaciones apropiadas, es conveniente no abrir el tramo al tránsito los cuatro (4) primeros días, durante los cuales se deberá reacomodar el material, pasando en forma alterna el compactador de llantas neumáticas y la rastra. Después de este tiempo, deberá procederse al barrido y remoción del material pétreo suelto sobrante, que no se haya adherido al pavimento durante estas operaciones.

001.C.06

FALLAS.- La aplicación del riego de sello es una de las etapas constructivas que deben realizarse con más cuidado por el gran número de factores que intervienen en su ejecución. En general, las fallas en la aplicación de los riegos puede atribuirse a defectos de construcción, por lo que a continuación se dan algunas recomendaciones para evitar los defectos que se observan con más frecuencia.

- a) Es muy importante evitar el traslape de los riegos, no sólo en el lugar del arranque, sino también en la línea central. En el primer caso, como ya se mencionó, puede evitarse mediante tiras de papel. En el segundo caso, depende casi exclusivamente de la pericia del operador. Sin embargo, se le puede ayudar mucho, marcando con piedras o mediante un cordón grueso la línea a que deberá sujetarse. En caso de duda, es preferible dejar al centro una pequeña franja de unos diez (10) centímetros sin asfalto, y cubrirlo posteriormente regando el asfalto faltante con la manguera o en forma manual y extendiéndolo con cepillos.
- b) Deberá prestarse primordial atención a la limpieza de las espreas, a su ángulo de colocación, y a que estén lo suficientemente apretadas, para que la presión del asfalto no las mueva.

La altura de la barra, y que ésta no varíe durante la operación, es otro aspecto muy importante que con frecuencia da lugar a riegos poco uniformes.

- c) El uso de aplanadoras de ruedas metálicas con peso superior al especificado, del orden de doce (12) toneladas, debe quedar totalmente prohibido, ya que aun cuando el material tenga la dureza adecuada, el peso excesivo lo rompe, provocando no sólo una granulometría defectuosa, sino la existencia de fragmentos que el tránsito desprende fácilmente.
- d) Es frecuente restar importancia al rastreo, aunque es por demás sencilla y económica la construcción de rastros, cuyo empleo evita que queden ondulamientos, bordos o depresiones.

001.D)

CARPETA O SOBRECARPETA

001.D.01

CLASIFICACION

- a) Carpetas por el sistema de riegos.- Capas sucesivas de riegos de asfalto, cubiertas cada una de ellas con materiales pétreos graduados.

- b) Carpetas por el sistema de mezcla en el lugar.- Mezclas de materiales pétreos y productos asfálticos, elaboradas en el lugar con motoconformadoras o planta móvil.
- c) Carpetas de concreto asfáltico.- Mezclas de materiales pétreos y cementos asfálticos, elaboradas en planta estacionaria.

001.D.02

REQUISITOS.- Las carpetas o sobrecarpetas deberán satisfacer los siguientes requisitos:

- a) No deberán desplazarse ni desintegrarse por la acción del tránsito.
- b) Deberán tener resistencia al intemperismo.
- c) Deberán soportar, sin agrietarse, pequeñas deformaciones.

001.D.03

NORMAS

- a) En ningún caso deberán hacerse carpetas de mezclas, ya sea en planta o en el lugar, con espesor compacto inferior a tres (3) centímetros.
- b) No deberán permitirse camellones de material pétreo, con o sin asfalto, de más de cinco (5) kilómetros de longitud.
- c) No deberá transcurrir un lapso superior a quince (15) días desde la fecha en que se inicie el tiro en una estación dada, hasta que se empiece la incorporación del asfalto correspondiente.
- d) Deberá evitarse que pasen mas de cuatro (4) días desde la terminación de la mezcla hasta la iniciación de su tendido.
- e) Siempre que se pretenda construir una sobrecarpeta, deberán efectuarse previamente los trabajos de bacheo, nivelaciones u otros que requiera la carpeta existente.

001.D.04

EQUIPO.- Es el mismo que el detallado en la cláusula anterior sobre riegos de sello, con las siguientes diferencias:

- a) En las mezclas, tanto en el lugar como en planta, se usa equipo de compactación de mayor peso que en el caso de riegos. Los rodillos lisos deberán ser de siete (7) a once (11) toneladas y los compactadores de llantas neumáticas de cuatro (4) a siete (7) toneladas.

- b) En el caso de mezclas en el lugar, se usan generalmente: motoconformadoras o mezcladoras móviles para revolver los materiales. Para tender la mezcla se usa la pala entre ellas.
- c) Las mezclas para concretos asfálticos se elaboran en plantas estacionarias, se transportan cubriéndolas con lonas para que la pérdida de calor sea mínima y se colocan en el camino con extendedoras.

001.D.05

MATERIALES.- Los materiales para la construcción de carpetas o sobrecarpetas, tanto pétreos como asfálticos, deberán ajustarse íntegramente a las Especificaciones correspondientes.

001.D.06

PROCEDIMIENTO

- a) Carpeta de un riego. Se sigue el mismo para las carpetas de un riego que para el riego de sello, descrito en la cláusula 001-C con la diferencia de que la carpeta de un riego se construye sobre una base impregnada.
- b) Carpeta de dos riegos. Sobre la base, debidamente preparada e impregnada se procederá a dar el primer riego de asfalto, cubriéndolo inmediatamente con el material pétreo número dos. Sobre esta primera capa, además del rastreo para lograr un buen acomodo, se dará una pasada del equipo de compactación.

Al terminar la compactación de la primera capa se deberá dejar pasar un lapso mínimo de seis (6) horas antes de abrir al tránsito, y cuarenta y ocho (48) horas después, como mínimo, y previo barrido del material suelto excedente, se dará el segundo riego de producto asfáltico, que se cubrirá inmediatamente con el material pétreo número tres, procediendo posteriormente a su compactación, rastreo, recompactación y barrido en forma semejante a la descrita para riegos de sello.

Las dosificaciones de materiales pétreos y asfálticos para carpetas de dos riegos serán las siguientes:

C O N C E P T O	DENOMINACION	
	DEL MATERIAL	PETREO
I Material pétreo	1er. Riego No. 2	2o. Riego No. 3-B
1) Granulometría		
A) Que pase por la malla de	12.7 mm (½")	6.3 mm.(1/4")
B) Que quede retenido en la malla de.....	6.3 mm.(1/4")	No. 8
2) Dosificaciones lt/m2.....	8-12	6-8
II Material asfáltico		
1) Cemento asfáltico	0.6-1.1	0.8-1.1
2) FR-3	0.8-1.5	1.1-1.5
3) FR-4	0.8-1.4	1.0-1.4
4) Emulsión catiónica o - aniónica.....	0.8-1.0	1.0-1.5

Las tolerancias admitidas en la granulometría del material pétreo son las siguientes:

TOLERANCIAS

Todo el material No. 2 debe pasar por la malla de diecinueve punto uno (19.1) milímetros (¾"); el noventa y cinco por ciento (95%) como mínimo, debe pasar por la malla de doce punto siete (12.7) milímetros (½"); en la de seis punto tres (6.3) milímetros (1/4") debe retenerse, como mínimo - el noventa y cinco por ciento (95%), y en la número ocho - (8), el cien por ciento (100%).

En el material 3-B puede aceptarse hasta un cinco por ciento (5%) de material retenido en la malla de seis punto tres (6.3) milímetros (1/4"), siempre que no sean partículas mayores de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8"); del material que pase por la malla número ocho (8) podrá - aceptarse hasta un diez por ciento (10%), siempre que ésta se retenga totalmente en la malla número cuarenta (40).

c) Carpeta de tres riegos. Sobre la base impregnada y limpia se procederá a aplicar el primer riego de producto asfáltico, e inmediatamente después se procederá a cubrirlo con material pétreo No. 1. Sobre esta primera - capa, además del rastreo para lograr un buen acomodo, - se dará una pasada del equipo de compactación. Al termi

nar la compactación de la primera capa se procederá a dar el segundo riego de producto asfáltico, e inmediatamente después se cubrirá con material pétreo No. 2, procediendo a su rastreo y compactación, dando dos pasadas completas de todo el equipo. Unas seis horas después de terminada esa compactación podrá abrirse el tramo al tránsito por un lapso no mayor de dos semanas. Transcurrido ese tiempo deberá barrerse la carpeta para eliminar el material pétreo que no se haya adherido; a continuación se dará el tercer riego de producto asfáltico cubriéndolo inmediatamente con el material pétreo No. 3-B y procediendo a su compactación, rastreo, recom compactación y barrido en forma semejante a la descrita para riegos de sello.

Las dosificaciones de materiales pétreos y asfálticos para carpetas de tres riegos serán las siguientes:

C O N C E P T O	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO		
	1er.Riego No. 1	2º Riego No.2	3er. Riego 3-B
I Material Pétreo			
1) Granulometría			
A) Que pase por la malla de	25.4 mm.(1")	12.7 mm.(½")	6.3 mm. (1/4")
B) Que quede retenido en la malla de	12.7 mm.(½")	6.3 mm.(1/4")	No. 8
2 Dosificación lts./M2. ..	20 a 25	8 a 12	6 a 8
II Material Asfáltico			
1) Cemento Asfáltico	0.6-1.1	1.0-1.4	0.7-1.0
2) FR-3	0.8-1.5	1.3-1.9	0.9-1.3
3) FR-4	0.8-1.4	1.2-1.8	0.9-1.2
4) Emulsión catiónica o aniónica	0.8-1.0	1.0-1.5	1.0-1.5

d) Carpeta asfáltica de mezcla en el lugar.- El procedimiento de ejecución deberá ser el siguiente:

- 1) Cuando se trate de construir una carpeta nueva, deberá colocarse sobre una base elaborada de acuerdo con lo establecido en las Especificaciones y debidamente impregnada.
- 2) Cuando se trate de construir una sobrecarpeta, deberán efectuarse previamente todos los trabajos que requieran, tales como relleno de grietas, baches, nivelaciones u otros en la carpeta existente.

- 3) La aceptación de los materiales pétreos, su producción, acarreo y forma de almacenarlo deberá sujetarse a los siguientes lineamientos:
- Deberá recurrirse al laboratorio para verificar que los materiales pétreos y asfálticos cumplan con lo indicado en las Especificaciones. Cuando un solo material pétreo no liene las características granulométricas requeridas, se emplearán dos o más materiales, que se mezclarán entre sí, en seco.
 - El material pétreo suelto se colocará sobre los acotamientos y deberá acamellonarse dentro de las (24) horas siguientes a su colocación en el camino.
 - El material suelto colocado en la carretera nunca deberá ser obstáculo para el libre tránsito por la misma, por lo que, si los acotamientos son angostos deberá acamellonarse el material a medida que se va avanzando en el tiro. Se dejará como mínimo un ancho libre de circulación de cinco punto cincuenta (5.50) metros.
 - En las curvas. el material deberá acamellonarse en la parte inferior de la corona.
 - En tramos urbanos, sinuosos con poca visibilidad, o con volumen de tránsito superior a mil quinientos (1 500) vehículos por día, el material pétreo deberá quedar a más de cincuenta (50) centímetros fuera de la carpeta asfáltica. Si no puede conseguirse esta condición, se elaborará la mezcla en plataforma de trabajo, fuera de la corona del camino.
 - Deberán colocarse las señales necesarias, de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito". para prevenir a los usuarios de la existencia de material sobre el camino. Además, sobre los montones o sobre el camellón se colocarán piedras encaladas cada diez (10) metros.
- 4) Para la mezcla deberán usarse asfalto de fraguado rápido o emulsiones de fraguado medio o lento. El laboratorio indicará en cada caso la dosificación que se requiera, de acuerdo con los materiales pétreos y asfálticos disponibles.
- 5) El asfalto deberá incorporarse por etapas al material pétreo, para facilitar y hacer más uniforme el mezclado y el desfluxado, así como para evitar pérdidas de asfalto por escurrimiento.
- 6) El asfalto deberá calentarse hasta la temperatura especificada para su aplicación, como se indica en la tabla

- 7) El material pétreo deberá estar de preferencia seco en el momento de la aplicación del asfalto. Si contiene cierto grado de humedad pero menor a la de absorción y no se considera económico eliminarla, podrá usarse mediante el empleo de un aditivo que se incorpore al asfalto. El máximo de humedad permisible, así como el tipo y porcentaje del aditivo, serán los que recomiende en cada caso el laboratorio.
- 8) Sobre la base impreganada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia de polvo y materia extraña, se dará un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta, con petrolizadora, utilizando un producto asfáltico de fraguado rápido y a la temperatura especificada. Para condiciones normales se usará una dosificación de cero punto cinco (0.5) a cero punto setenta y cinco (0.75) litros de asfalto por metro cuadrado. Esta dosificación podrá aumentarse, cuando se trate de riego de liga sobre carpeta de textura muy abierta y/o agrietada, o bien disminuirse si se trata de carpeta con exceso de asfalto y/o textura muy cerrada.
- 9) Cuando el asfalto del riego de liga haya adquirido la viscosidad adecuada, se iniciará el tendido de la mezcla con el mínimo de pasadas de la motoconformadora, para evitar que el material pétreo se clasifique por tamaños.
- 10) Inmediatamente después de tendido la mezcla se procederá a su compactación, utilizando un rodillo liso tipo tándem, de siete (7) a once (11) toneladas, continuándola con un compactador neumático con peso de cuatro (4) a siete (7) toneladas, hasta alcanzar una compactación del noventa y cinco por ciento (95%) como mínimo; después se volverá a usar el rodillo liso tipo tándem para borrar las huellas que deje el compactador neumático. Para obtener un mejor acomodo de las partículas que forman la carpeta se procurará realizar el planchado a las horas en que la temperatura ambiente o la acción de los rayos solares favorezcan esta operación.

La compactación se hará paralela el eje, iniciándola en las tangentes de las orillas hacia el centro y en las curvas del lado interior hacia el exterior.

Cuando haya desviación y se considere necesario, se hará la compactación diagonalmente al eje del camino, para disminuir o eliminar huellas o juntas y mejorar la compacidad de la mezcla.

- 11) Cuando la carpeta quede compactada se procederá a -- efectuar un recorte con talud de cuarenta y cinco (45%) aproximadamente en las orillas de la misma con objeto de ajustar el ancho y alineamiento conforme al proyecto, teniendo cuidado de que al efectuarlo no

- 2) El material pétreo no cumple lo asentado en las Especificaciones. Es frecuente encontrar defectos en granulometría, así como en la afinidad entre el material pétreo y el asfalto. En este caso, es necesario recalcar la necesidad de muestrear y analizar el material con la suficiente frecuencia para detectar cualquier cambio en sus características.
- 3) El material pétreo se deja mucho tiempo acamellonado - antes de iniciar la elaboración de la mezcla y sufre - contaminaciones, o bien se pierde parte del material y se altera su granulometría.

Esto con frecuencia no se corrige al elaborar la mezcla, e incluso muchas veces se incorpora el mismo volumen de asfalto que requería el volumen del material original, ocasionando, además de espesores menores que los de proyecto, excesos de asfalto en la mezcla.

- 4) El asfalto con que se cuenta no es el de proyecto, ya sea por no haberse surtido el asfalto solicitado o por haber sufrido alteraciones durante su transporte y/o almacenamiento. Es por ello indispensable que el laboratorio verifique el tipo y calidad de los asfaltos y en caso necesario indique las variaciones en dosificación y/o en procedimientos.
- 5) Es frecuente construir carpetas bajo condiciones climáticas inadecuadas, tales como lluvia o temperatura ambiente inferior a la conveniente.
- 6) El asfalto no se usa a la temperatura especificada. Es frecuente que, por descompostura o falta de petrolizadora, se continúen trabajos regando asfalto con pipas o nodrizas que no cuentan con equipo de calentamiento ni con bomba para regar a presión.
- 7) No se desfluxa adecuadamente la mezcla antes de extenderla, principalmente cuando se adiciona todo el asfalto en un solo riego.
- 8) No se compacta adecuadamente la mezcla, ya sea por utilizar equipo de menor peso que el especificado, por no dar las pasadas necesarias, o por baja temperatura en la mezcla.

001.E)

SUB-BASES Y BASES

001.E.01

GENERALIDADES.- Las obras de reconstrucción de caminos que requieren sub-base o base son de dos tipos generales:

- A) Refuerzo de un pavimento existente.
- B) Ampliación del ancho de corona

se dañe la base. El material producto del recorte - se retirará de la corona, taludes y/o cunetas de la - carretera.

- 12) Para dar por terminada la construcción de la carpeta, se verificará que el alineamiento, el perfil, el espesor, ancho y acabado, se hayan construido de acuerdo con el proyecto y dentro de las tolerancias que se indiquen en las Especificaciones Generales de Construcción.
- 13) Deberán ejecutarse las diversas etapas de la construcción de la carpeta en forma tal que ocasionen las menores molestias al tránsito. Ello se logra tanto al reducir en lo posible los tiempos destinados a cada etapa como, principalmente, al disminuir los lapsos intermedios entre la ejecución de etapas sucesivas. - Lo ideal es, por ello, que tan pronto se complete el tiro de material pétreo de un tramo se inicie la incorporación de asfalto, y tan pronto se termine la elaboración de la mezcla se inicie su tendido.

- e) Carpeta de concreto asfáltico.- Se construye mediante el tendido y compactación de mezclas asfálticas elaboradas en una planta estacionaria, utilizando materiales pétreos clasificados y dosificados y cemento asfáltico.

El procedimiento de construcción que se seguirá, las características del equipo que deberá emplearse, así como las tolerancias que se permiten en espesores y anchos, están descritas en el Capítulo LVII de la Parte Cuarta de las Especificaciones.

- f) Defectos que se observan frecuentemente.- Las fallas de las carpetas, en cualquiera de sus tipos, comunmente pueden ser ocasionadas por defectos de diseño o construcción. Algunos de los que se observan con frecuencia y que deben ser evitados, son:

- 1) La carpeta existente tiene defectos que no pueden remediarse con la construcción de una sobrecarpeta, y al hacerla falla en un lapso breve. Dichos defectos pueden ser por:

- Mala calidad y/o mala compactación de las terracerías, sub-rasante, sub-base y base.
- Carpeta existente inestable, especialmente por exceso o escasez de asfalto o clasificación del material pétreo.
- Exceso de humedad en las capas subyacentes por defectos o falta de sub-drenaje, excesiva permeabilidad de las capas superiores o filtraciones laterales desde las cunetas.

En el primer caso, mediante el auxilio del laboratorio, se deberá verificar que ésa es la solución adecuada al problema.

En el segundo caso, se recurrirá asimismo al auxilio del laboratorio para el diseño de espesores, pero éstos deberán ser como mínimo iguales a los del pavimento existente.

001.E.02

MATERIALES PETREOS.- Los materiales pétreos usados en sub-bases deberán cumplir íntegramente lo asentado en las Especificaciones, y en especial en cuanto a granulometría, plasticidad, dureza y cementación.

Los materiales para base, además de ser de mejor calidad que los de sub-base, ya que reciben más directamente los impactos de las cargas del tránsito, deberán tener afinidad con el asfalto del riego de impregnación para evitar que el agua los desaloje. Cuando un material, tal como se extrae de un banco, no llena las Especificaciones en cuanto a granulometría, es en general posible lograr que las cumpla sometándolo a alguno de los siguientes procesos:

Disgregado

Cribado

Trituración parcial y cribado

Trituración total y cribado

Asimismo, en ocasiones, es necesario utilizar algún material que en sus condiciones originales no cumpla con las Especificaciones, generalmente en lo que se refiere a plasticidad o cementación; en esos casos se recurre a la mezcla de dos o más materiales o a estabilizaciones con asfalto, cal o cemento para obtener las características requeridas.

Se considera responsabilidad conjunta del Jefe de la obra y del Jefe del Laboratorio el efectuar un estudio exhaustivo de localización de bancos para lograr que los materiales que se empleen sean los más adecuados, tanto en calidad como en costos de producción y acarreo.

001.E.03

EQUIPO.- El equipo más usual para construcciones de sub-bases y bases es el siguiente:

a) De producción de material pétreo.- Varía con el proceso requerido por el material y podrá consistir en alguna o algunas de las unidades que a continuación se citan:

Equipo de barrenación

Equipo de trituración. Quebradora primaria y/o secundaria.

Cribas. Rotatoria, vibratoria o fija.

- b) Carga y Acarreo.- Camiones de volteo o vagonetas, auxiliadas por cargadores frontales o pala mecánica.
- c) Construcción.- Para el mezclado y tendido de los materiales pétreos se usan motoconformadoras o mezcladoras móviles. Para la adición del agua se usan pipas.

Para las bases estabilizadas con asfaltos, además del equipo antes descrito, se requieren petrolizadoras para la adición del asfalto.

Para las bases estabilizadas con cal o cemento, se puede usar equipo especial para la dosificación, adición y revoltura del agente estabilizador, o bien incorporarlo, debidamente cubicado, sobre el camellón de material pétreo y revolverlo mediante motoconformadoras o mezcladoras móviles.

001.E.04

PROCEDIMIENTO

- a) La construcción de la sub-base o la base se iniciará cuando las terracerías o la sub-base, según sea el caso, estén terminadas dentro de las tolerancias fijadas en las Especificaciones.
- b) La descarga de los materiales que se utilicen en la construcción de sub-bases o bases deberá hacerse sobre la subrasante o la sub-base, según sea el caso, controlando que los volúmenes depositados por estación de veinte (20) metros, estén en función de los de proyecto.
- c) El espesor de proyecto para cada capa de sub-base o base será determinado por el laboratorio, pero no deberá ser inferior a doce (12) centímetros compactos.
- d) El material pétreo suelto se colocará en una orilla del camino, en las curvas, en la parte exterior, y deberá acamellonarse a la brevedad posible.
- e) Deberán colocarse las señales necesarias de acuerdo con lo indicado en el "Manual de dispositivos para el Control del Tránsito", a efecto de anunciar debidamente la existencia de material sobre el camino. Asimismo, deberán colocarse sobre el camellón piedras encaladas a distancias de diez (10) metros.
- f) Con objeto de evitar pérdidas de material y disminuir en lo posible las molestias al tránsito, nunca deberá existir un camellón continuo de más de cinco (5) kilómetros de material pétreo, ni deberá transcurrir un lapso superior a quince (15) días entre el acamellonado y el tendido.

- g) Cuando se empleen dos (2) o más materiales, siempre - deberán colocarse los de menor volumen sobre los de - mayor volumen, ya que es inevitable que haya una pe - queña pérdida del material que se encuentra abajo y es preferible que la misma corresponda al material de mayor volumen. Estos materiales deberán revolverse - entre sí en seco, y acamellonarse nuevamente.
- h) Si se van a construir varias capas de sub-base o base, no deberá acamellonarse el volumen total, sino única - mente el parcial de cada capa y acarrear el siguiente cuando esté tendida y compactada la capa inferior.
- i) Cuando se empleen motoconformadoras para el mezclado, se extenderá el material y se procederá a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, hasta alcanzar la humedad que haya sido fijada y obtener ho - mogeneidad en la misma, evitando la clasificación del material. A continuación se extenderá en capas sucesi - vas de materiales sueltos, cuyo espesor no deberá ser mayor de quince (15) centímetros.
- j) Cuando se emplee otro equipo para el mezclado, se debe - rán estudiar las características del mismo, para que - se obtenga una mezcla homogénea con el grado de hume - dad óptimo.
- k) Cada capa se compactará hasta alcanzar el grado mínim. especificado, sobreponiéndolas hasta obtener el espe - sor y sección fijados en el proyecto.
- l) En las tangentes, la compáctación se hará desde las ori - llas hacia el centro y en las curvas, desde la parte in - terior de la curva hacia la parte exterior.
- m) Se tendrá cuidado de evitar que se produzca el defecto llamado "encarpetamiento", que se origina por tender el material en varias etapas y espesores pequeños, o por - efectuar una compactación previa y después afinar, que - dando una capa superficial delgada, misma que fácilmen - te se desprende por la acción del tránsito.
- n) En la reconstrucción de carreteras, en términos genera - les, la secuencia de las operaciones necesarias en la - ejecución de las sub-bases y bases es la siguiente:
 - 1) Si se va a aprovechar el material de la carpeta as - fáltica existente se procede en la siguiente forma:

Los casos más frecuentes de estabilizaciones, de acuerdo con el tipo de estabilizante empleado, son los siguientes:

- a) Estabilización con asfalto.- Es una solución muy empleada en el caso de construcción de bases en caminos en operación, ya que presenta las siguientes ventajas:
 - 1) Pueden emplearse materiales pétreos cuya granulometría no sería adecuada para base. Ello es muy importante en algunas zonas del país, en que es preciso utilizar bancos de material cercanos a la zona de trabajo, pues de otra manera se encarece mucho la obra.
 - 2) Provoca menos molestias a los usuarios, en los casos de caminos en que no es económico hacer desviaciones. Cuando se elabora una base no estabilizada con asfalto, se produce polvo, o lodo, y además las interrupciones al tránsito son más prolongadas.
 - 3) Su espesor, en general, es menor que el requerido para base sin estabilizar, aproximadamente en un treinta y tres por ciento (33%). El disminuir el espesor y utilizar en consecuencia un volumen menor de material pétreo es especialmente conveniente cuando se trata de materiales con un alto costo de extracción y/o tratamiento, o que requieren acarreo largos. Frecuentemente en estos casos, el abatimiento del costo del material pétreo compensa el costo del producto asfáltico que requiere.

Sin embargo, no todas son ventajas en el uso de bases estabilizadas con asfalto, ya que con frecuencia se tiene dificultad para disponer oportunamente de las cantidades necesarias de productos asfálticos por problemas de adquisición, acarreo y almacenamiento. Asimismo, las grandes cantidades de productos asfálticos requeridas para las estabilizaciones podrían limitar la construcción de carpetas, sobrecarpetas y riegos de sello.

Por lo anterior, es indispensable estudiar con detalle las condiciones de bancos de materiales en la zona, así como el diseño del pavimento en sí, para poder escoger la mejor solución técnica y económica.

En cuanto a procedimiento de construcción, las bases estabilizadas tienen el mismo que las carpetas, de acuerdo con lo indicado en la cláusula anterior, con las siguientes diferencias básicas:

- De preferencia el acabado superficial deberá tener textura abierta, para que se logre una buena adherencia con la carpeta, especialmente si ésta es de riegos.

- Se escarificará la carpeta y, en caso de que así se apruebe, un espesor determinado de la base existente. Se disgregarán perfectamente ambos materiales y se mezclarán hasta obtener su homogeneidad.
 - Este material se acamellonará de tal manera que quede descubierta la mayor superficie posible de la base existente, la que se conformará y compactará debidamente.
 - Se pasará el material acamellonado a la superficie que se compactó, para a su vez conformar y compactar la que ocupaba el material suelto.
 - Si el proyecto así lo indica, se procederá a añadir un nuevo material de base, el que se incorporará al producto antes indicado, construyendo la sub-base o base en la forma especificada, por capas, hasta alcanzar el espesor fijado en el proyecto.
- 2) Si el material de la carpeta asfáltica existente se va a desechar, se escarificará y recogerá, transportándolo al sitio que se señale. A continuación se conformará y compactará la superficie expuesta de la base existente y se procederá a la construcción de la nueva.
- 3) En caso de que solamente exista revestimiento y por su calidad y cantidad se determina que puede aprovecharse como parte de la sub-base, se procederá como sigue:
- Se escarificará la parte aprovechable del revestimiento, cuidando de que no se contamine con el material de la terracería, y se acamellonará, de tal manera que quede descubierta la mayor superficie posible de dicha terracería, la que se conformará y compactará debidamente.
 - A continuación se pasará el material suelto del revestimiento a la superficie compactada, para a su vez conformar y compactar la superficie que ocupaba el material suelto.
- En seguida se procederá a añadir el nuevo material, mezclándolo con el de revestimiento y construyendo la sub-base como se especifica, por capas, hasta alcanzar el espesor de proyecto.

001.E.05

BASES ESTABILIZADAS.- La escasez de materiales pétreos adecuados para la construcción de sub-bases o bases, obliga algunas veces a utilizar los materiales disponibles que se encuentran cerca de la obra, y que por sí solos no reúnen características físicas satisfactorias para dichos fines. En esos casos, mediante la adición de un producto estabilizante, se logra disminuir su plasticidad y aumentar su resistencia.

- Una vez compactada, deberá tener un espesor no menor de ocho (8) centímetros.
- Cuando el espesor sea superior a doce (12) centímetros, deberá construirse en dos o más capas, cuidando de que el tamaño máximo del material pétreo no sea mayor del sesenta y seis por ciento (66%) del espesor de la capa que lo contiene.

b) Estabilización con cemento.- Puede ser de dos tipos:

- 1) Estabilización del tipo flexible. Se logra empleando únicamente la cantidad necesaria de cemento para neutralizar la arcilla por acciones físico-químicas, sin llegar a alcanzar la aglutinación suficiente para producir una masa rígida. Aun cuando se utilizan porcentajes relativamente bajos de cemento, puede producirse una cierta rigidez en la capa compactada, que es perjudicial cuando las deformaciones en la terracería ocasionadas por cargas, producen en la capa estabilizada esfuerzos mayores que los que ésta puede resistir. Esto puede dar lugar a la formación de fisuras y grietas e inclusive a la desintegración de la capa estabilizada. Para evitar esta rigidez, es necesario que transcurra un período mínimo de tres (3) días entre la incorporación del cemento y el agua y la compactación del suelo estabilizado.

Durante este período deberá removerse la mezcla dos (2) veces al día. Será conveniente ampliar dicho lapso, si por el tipo de cemento empleado, o por alguna otra causa, se observan contracciones elevadas en el camellón al finalizar el período de tres (3) días.

- 2) Estabilización del tipo rígido. Difiere de la anterior en que el cemento no solamente neutraliza la actividad de la arcilla, sino que también proporciona al suelo una elevada resistencia que le permite, una vez compactado, trabajar en forma semejante al pavimento de concreto hidráulico. La cantidad de cemento que se utiliza varía en función de la finura, granulometría y plasticidad del suelo y es generalmente entre seis y catorce por ciento (6 y 14%) del peso del suelo seco.

El procedimiento de construcción en una estabilización de tipo rígido es el mismo que el usado para bases no estabilizadas, hasta el momento en que se tiene el camellón de material pétreo homogéneo en seco.

Una vez que se tiene el material pétreo homogéneo se abre el camellón en canal en forma de "V", se deposita el cemento en la parte interior de dicho canal, de acuerdo con la dosificación señalada por el laboratorio, y se procede a revolver ambos materiales en seco y a iniciar su mezclado por medio de motoconformadoras o de mezcladoras móviles.

Tan pronto se logre una mezcla homogénea, se procederá a incorporarle agua hasta obtener la humedad óptima que recomienda el laboratorio.

A continuación se procederá a su tendido y compactación. Para esta última se usará un compactador neumático y posteriormente un rodillo metálico de diez (10) a doce (12) toneladas.

Debido a la cantidad elevada de cemento que se utiliza, se pueden producir grietas de contracción, que es necesario evitar o disminuir, protegiendo la capa compactada de la evaporación, curándola en forma similar a la acostumbrada para losas de concreto hidráulico. Para ese efecto, puede colocarse una capa de arena o paja o cualquier otro material que conserve la humedad durante el período de curado, o bien aplicar una película asfáltica, recomendándose específicamente para esto el uso de emulsiones.

Una vez terminado el curado de la base se deberá proceder a la brevedad posible a su impregnación y a la construcción de la carpeta, eliminando previamente la capa asfáltica si se usó emulsión para el curado.

- c) Estabilización con cal.- Se usa fundamentalmente para abatir plasticidad en los suelos que la tienen en exceso. Los resultados obtenidos varían mucho con las características del suelo y de la cal., tanto en el momento de elaborar la mezcla como con el transcurso del tiempo.

Aun cuando, en general, los resultados que se obtienen son satisfactorios, se han presentado casos en los que la plasticidad de los suelos prácticamente no sufre reducción al añadirles la cal, o bien acusa un aumento con el tiempo y en ocasiones llega a tener el valor original de plasticidad. Por ello, es necesario antes de hacer la estabilización efectuar investigaciones preliminares con los materiales que vayan a usarse, las que requieren normalmente un lapso de varios meses. Dichos estudios deberán definir el porcentaje óptimo de cal y el procedimiento de construcción a seguir, en caso de que su resultado sea satisfactorio.

El procedimiento de construcción, en general, es el mismo que en el caso de bases sin estabilizar, pero debe tenerse la precaución de tender el material inmediatamente después de terminado el mezclado.

Dado que la manipulación de la cal es siempre arriesgada y puede producir irritaciones en la piel, vías respiratorias y ojos, el personal deberá llevar guantes y anteojos por seguridad y no se levanta polvo de cal, caretas protectoras.

Las bases de mezcla estabilizada con cal presentan muy poca resistencia al desgaste superficial, por lo que deberán impregnarse y protegerse con carpeta, a la brevedad posible.

002.A)

RECONSTRUCCION Y AMPLIACION DE ALCANTARILLAS Y PUENTES.

002A-01

GENERALIDADES.- Las ampliaciones de estas obras, en caminos en operación, podrán corresponder a cualquiera de los dos tipos siguientes:

- a) Ampliación transversal para aumentar el ancho de calzada.
- b) Ampliación longitudinal por requerirse mayor área hidráulica.

En el primer caso, el proyecto de la ampliación, en general, puede ser elaborado con los datos existentes en el proyecto original.

En el segundo caso, para la elaboración del proyecto, deberán efectuarse previamente estudios de campo que permitan obtener los datos en los cuales basar el mismo. A continuación se dan algunos lineamientos generales en relación con los estudios y proyectos:

- Localización:- En caso de obras existentes, que sea necesario ampliar, tanto mediante modificación de las mismas, como mediante la construcción de una nueva, deberá verificarse si la localización, su ángulo de cruce y su nivel de desplante son adecuados:

En términos generales, cuando el eje del camino cruce el eje de un cauce formando un ángulo de esviajamiento superior a cinco (5) grados, no deberá modificarse ninguno de los dos (2) ejes para pretender obtener una obra con cruce en ángulo recto.

En caso de obras que hayan sido construidas normales al camino mediante rectificaciones al cauce en las cercanías de la entrada y salida, podrá ser más conveniente proteger esas rectificaciones con zampeados o muros de mampostería o concreto, o bien construir nuevos canales con trazo adecuado, antes que pretender hacer cambios en la dirección de la obra.

El nivel de entrada de la obra deberá ser objeto de cuidadoso estudio. La elevación de la plantilla en el punto de entrada deberá coincidir con la del fondo del cauce natural y, si la pendiente es fuerte, deberá evitarse la erosión a la salida mediante zampeados.

- Área hidráulica.- Existen diversos procedimientos para calcular los gastos y por consiguiente el área hidráulica necesaria para una obra. En general, cuando se trate de construir una obra nueva, en donde ya había otra o ampliar una existente, que será el caso más frecuente en caminos en operación, lo mejor será

basarse en el funcionamiento de la obra existente o bien en los informes de gente del lugar acerca de los niveles máximos alcanzados por el agua en los últimos años y de acuerdo con eso calcular los gastos.

cuando no haya estructuras de drenaje cercanas o cuando no existan datos acerca del gasto máximo de la corriente en el cauce. se puede utilizar algún procedimiento aproximado que proporcione el área hidráulica necesaria en función de la superficie por drenar y del tipo de terreno o bien en función de las intensidades de precipitación pluvial de la zona.

- Forma.- Una vez determinada el área hidráulica necesaria, habrá que decidir la forma y dimensiones de la alcantarilla. El criterio a seguir será lograr que el agua pase a través de ella en forma tal, que no cause trastornos al camino y que la alcantarilla no requiera excesivos cuidados de conservación.

En el diseño de las dimensiones de una obra se deberá considerar, de acuerdo con las condiciones de la región, la magnitud del espacio adicional requerido para cuerpos flotantes, tales como ramas, troncos u otros y evitar así que éstos puedan dañarla u obstruir la impidiendo su funcionamiento.

- Tipo de estructura.- En la elección del tipo de estructura a usar, deberán considerarse los siguientes aspectos:
 - 1) Terreno de cimentación.
 - 2) Área hidráulica requerida.
 - 3) Requisitos originados por la topografía, tales como: altura de la rasante, forma, posición y pendiente del cauce u otros.
 - 4) Costo.

002A-02

NORMAS.- Salvo en casos de emergencia provocados por condiciones imprevisibles, nunca se iniciarán las obras de ampliación o construcción de alcantarillas o puentes, hasta haber terminado totalmente la desviación necesaria, de acuerdo con los lineamientos dados en la Cláusula 004-E de estas Normas.

Asimismo, considerando que este tipo de obras en caminos en operación provocan no sólo molestias, sino, en algunos casos, peligros para el usuario, se deberán programar perfectamente para asegurar que se contará con el personal, materiales y equipo necesarios y en las fechas requeridas, que garanticen la realización de los trabajos sin interrupción y su terminación en el lapso señalado. Será muy importante, en el caso de los materiales, que sean muestreados y ensayados por el laboratorio con la anticipación suficiente, para que puedan conocerse los resultados antes de su empleo.

002A-03

PROCEDIMIENTOS.- En todas las obras de reconstrucción, ampliación o construcción de alcantarillas y puentes, deberá cuidarse de que, tanto en calidad de materiales empleados como en la ejecución de los trabajos, se cumpla íntegramente con lo indicado en la Parte Tercera de las Especificaciones Generales de Construcción.

002.B)

CONSTRUCCION O REPARACION Y LIMPIEZA DE DRENES.

002B-01

GENERALIDADES.- En caminos en operación; la necesidad de construir drenes, o de reparar los existentes, estará indicada por la presencia de humedad en la capa del pavimento, de la subrasante o de la cama del corte, lo que se podrá verificar mediante sondeos, que deberán ser hechos de preferencia en las cunetas. Los escurrimientos de agua en los taludes y el tipo de materiales que forman el corte constituirán varias guías al respecto.

En donde existan drenes, la vigilancia de su descarga en la época de lluvias, principalmente algunas horas después de una fuerte precipitación, será la mejor guía para comprobar si su funcionamiento es correcto.

En caso de que el dren no tenga tubo y no funcione con eficacia, será necesario reconstruirlo totalmente, con las modificaciones que procedan. En los que tengan tubo, se procurará primero limpiarlo con varillas, y si esto no es suficiente, será necesario destaparlo para proceder a reconstruirlo.

002B-02

NORMAS

- a) No deberá hacerse ninguna reparación definitiva en los acotamientos y/o en la superficie de rodamiento, si la causa de los daños que ahí se presentan es la inexistencia o ineficacia del sub-drenaje, mientras éste no haya sido corregido. En este caso, la construcción o reparación del sub-drenaje deberá tener prioridad sobre los otros trabajos, en el tramo en que se localice la falla.
- b) No deberá iniciarse ninguna obra de este tipo, hasta haber colocado el señalamiento necesario, de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito".
- c) Supuesto que el construir o modificar drenes ciegos en un camino en operación implica el ocupar una parte de la corona del mismo con materiales en el caso de que se requiera construcción o reparación en ambos lados deberá hacerse en forma alterna, no iniciando la obra en un lado hasta haber terminado totalmente y retirado los materiales del lado opuesto.

002B-03

PROCEDIMIENTOS.- Tanto en procedimientos como en calidad de materiales, la construcción o reparación de drenes deberá efectuarse de acuerdo con lo indicado en el Capítulo respectivo de las Especificaciones Generales de Construcción. Se

recomienda considerar los siguientes lineamientos generales, al construir drenes, ya que se ha visto que son útiles para su mejor funcionamiento:

- A) Supuesto que el incremento en costo se justifica ampliamente, ya que prestan un mejor servicio, se recomienda, tanto en construcción de drenes nuevos, como en reconstrucción de existentes, colocar siempre un tubo.
- B) Deberá verificarse que la pendiente del tubo ayude a su limpieza. Para lograrlo la pendiente no deberá ser menor de medio por ciento (0.5%). Para pendientes mayores del dos por ciento (2%) deberá anclarse el tubo mediante una plantilla de mortero de cemento.
- C) Cuando se reparen drenes y se encuentren azolvados los tubos, convendrá aumentar el diámetro para evitar nuevo azolve.
- D) La profundidad de la plantilla en los drenes será como mínimo de uno punto cincuenta (1.50) metros, a partir del fondo de la cuneta.
- E) Deberá colocarse una rejilla en el extremo de descarga del tubo, para evitar la entrada de animales que puedan introducir materias extrañas y obstruirlo.
- F) Se harán, en la iniciación del dren y estratégicamente distribuidos a lo largo del mismo, pozos de visita que permitan efectuar la inspección y limpieza del tubo.

003.A)

ABATIMIENTO DE TALUDES EN TERRAPLEN.

003A-01

DEFINICION.- Modificación de los taludes, con el fin de -
lograr que éstos tengan una pendiente menor, mediante la -
colocación sobre ellos de material de terracerías.

003A-02

OBJETO.

- a) Aumentar la estabilidad del terraplén.
- b) Alejar de la corona del camino el pie del talud, disminuyendo el peligro de las erosiones que suceden a lo largo del mismo.
- c) Disminuir la velocidad con que escurre el agua por el talud y reducir con ello la posibilidad de que ocurran deslaves.
- d) Permitir el uso de equipo mecanizado en los trabajos sobre el talud.

003A-03

NORMAS.- El abatimiento de taludes se hará tomando en consideración lo siguiente:

- a) En general el abatimiento de los taludes será conveniente en terraplenes con altura máxima de uno punto cincuenta (1.50) metros siempre y cuando se disponga de materiales aprovechables de buena calidad, cercanos al sitio de la obra.
- b) En el caso de terraplenes con altura superior a uno punto cincuenta (1.50) metros que presenten problemas por falta de estabilidad o por erosión fuerte, el abatimiento de los taludes será usualmente una solución adecuada si se complementa con alguna obra auxiliar tal como muros de retención, guarniciones y lavaderos, que reduzca el volumen de material requerido.

003A-04

PROCEDIMIENTOS.- Para la ejecución de los trabajos, deberán considerarse los siguientes lineamientos:

- a) Deberán colocarse todos los dispositivos para protección en obras que procedan de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito".
- b) Deberán retirarse las señales que estorben o puedan ser dañadas en la ejecución de los trabajos.
- c) Deberán demarcarse el talud y la zona de terreno natural que quedará cubierta con la nueva terracería.
- d) El material se colocará del pie del talud hacia la corona, extendiéndolo debidamente por capas, del espesor adecuado según el equipo de compactación a usar.

- e) Cada capa extendida se compactará hasta alcanzar un grado mínimo de ochenta y cinco por ciento (85%).
- f) En terraplenes de altura superior a tres (3) metros se pueden hacer recargues de taludes con materiales granulares, cuyo tamaño sea del orden de cinco (5) centímetros ($2\frac{1}{2}$ "). En este caso, el recargue se efectuará a volteo, hasta el nivel inferior de la capa de sub-rasante.
- g) En el caso anterior, si la pendiente del terreno natural es pronunciada, será conveniente construir en el nuevo pie de talud, y previamente a la colocación del material, una mampostería seca de unos treinta (30) centímetros de altura que le sirva de contención.
- h) El nuevo talud deberá afinarse.
- i) Una vez terminado el recargue del talud, se repondrá el señalamiento que se haya retirado con motivo de las obras y se quitarán los dispositivos para protección.

003.B)

ABATIMIENTO O LIMPIEZA DE TALUDES O CORTES.

003B.01

DEFINICIONES.

- a) Abatimiento.- Disminución de la pendiente del talud del corte.
- b) Limpieza.- Desmonte y/o remoción de piedras o materiales sueltos de las paredes del corte.

003B.02

OBJETO.- La reducción de la pendiente del talud del corte y la limpieza de la pared del mismo, mejora la estabilidad y disminuye la posibilidad de que ocurran derrumbes.

003B.03

NORMAS.- La limpieza de taludes deberá efectuarse con regularidad, por lo menos una vez al año y en los meses que preceden a la temporada de lluvias, como labor preventiva para disminuir derrumbes.

El abatimiento de la pendiente de los taludes de un corte es una labor difícil y costosa, máxime por las precauciones que se requieren para evitar accidentes y molestias al tránsito, por lo que, previamente a su ejecución, deberá efectuarse un estudio completo del problema que incluya periodicidad, número y volumen promedio de los derrumbes que ocurren por año, si se llega o no a interrumpir el tránsito; si se han ocasionado accidentes, y en general todos aquellos datos que puedan normar el criterio de las oficinas centrales y justificar la ejecución de la obra.

003B.04

PROCEDIMIENTOS.

- a) En el abatimiento de taludes, deberán considerarse los siguientes lineamientos:

- 1) Deberán colocarse todos los dispositivos para protección en obras, que sean necesarios, de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito".
- 2) Deberán retirarse aquellas señales que se considere puedan ser dañadas al efectuar los trabajos.
- 3) Deberán tomarse todas las precauciones para que los trabajadores puedan maniobrar sin peligro.
- 4) Se marcarán los nuevos ceros del talud y se iniciarán los trabajos con el desmonte de la zona por atacar. - dicho desmonte comprenderá también una faja de cinco (5) metros adyacente a los ceros, para evitar que que den arboles cercanos a la orilla del talud.
- 5) La excavación de los materiales deberá efectuarse en general con herramienta de mano. El uso de maquinaria sólo se permitirá cuando el ancho de la corona sea tal, que con el tránsito circulando en el carril contrario al que se efectúan los trabajos, no exista peligro para los usuarios.
- 6) Excepto en el caso de piedras grandes, que requieran ser moneadas para poder removerlas, no se permitirá el uso de explosivos. En caso necesario, deberán tomarse las precauciones adecuadas suspendiendo la circulación antes de la explosión y durante la misma, cuidando que no haya vehículos o personas por lo menos en los ciento cincuenta (150) metros aledaños a la zona.
- 7) Conforme se avance en la excavación, si el tipo de material lo permite, deberá afinarse el talud, es decir, se dejará una superficie uniforme sin protuberancias ni oquedades.
- 8) Cuando exista la posibilidad de que las piedras removidas dañen la carpeta o los acotamientos con su caída, deberá colocarse previamente sobre ellos un colchón de material para protegerlos. Esa protección se consigue con cualquier material cuyo tamaño máximo no exceda de cinco (5) centímetros y deberá colocarse en una capa suelta de quince (15) centímetros de espesor.
- 9) Al terminar la excavación deberá retirarse de la corona del camino y cunetas todo el material que hubiera caído, así como la capa de protección. Estos materiales podrán utilizarse en recargues de terraplén si tienen la calidad adecuada. En caso contrario se depositarán en el derecho de vía, en un lugar tal que no estorben el funcionamiento del camino.

- 10) Se procederá a reparar la carpeta, acotamientos y zampeados que pudieran haberse dañado durante los trabajos.
 - 11) Una vez terminados los trabajos, se repondrá el señalamiento que se haya retirado con motivo de las obras y se quitarán los dispositivos para protección.
- b) En la limpieza de taludes deberán considerarse los siguientes lineamientos:
- 1) Deberán tomarse todas las precauciones para que los trabajadores puedan maniobrar sin peligro.
 - 2) Los trabajos deberán iniciarse con la tala y roza. No deberá, en general, efectuarse desenraice, por el peligro de que con ello se afloje el material superficial y pierda su estabilidad.
 - 3) Una vez efectuadas la tala y roza, deberá procederse a la remoción de las piedras y materiales sueltos o poco estables que puedan provocar un derrumbe.
 - 4) La remoción de los materiales deberá efectuarse en general con herramienta de mano.
 - 5) Si por su tamaño o volumen la remoción de materiales pudiera caer dentro de lo señalado en los sub-párrafos 6 y 8 de abatimiento de taludes, deberá cuidarse que los trabajos se ejecuten de acuerdo a lo indicado en ellos.
 - 6) Al terminar la remoción deberá retirarse de la corona del camino y cunetas todo el material que hubiera caído. Estos materiales podrán utilizarse en recargues de terraplén, si tienen la calidad adecuada. En caso contrario deberán depositarse en el derecho de vía en un lugar tal que no estorben el funcionamiento del camino.

003.C

AMPLIACION DEL ANCHO DE CORONA

003C.01

GENERALIDADES.- Es frecuente que en los caminos en operación se requiera aumentar al ancho de corona. Cuando esa ampliación es necesaria en pequeñas longitudes, es común efectuar las obras por administración.

Por lo anterior, a continuación se dan algunos lineamientos generales de los procedimientos a seguir en los casos de ampliación que se presentan con más frecuencia y que pueden ser una guía útil en la realización de dichos trabajos.

003C.02

N O R M A S .-

- a) Antes de iniciar cualquier trabajo de ampliación de corona deberán colocarse los dispositivos para protección en obras necesarias, de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito".
- b) Deberán retirarse las señales que estorben y puedan ser dañadas por la ejecución de los trabajos.
- c) En caso de que la magnitud de los trabajos lo amerite, previamente a la iniciación de los mismos deberán acondicionarse y ponerse en servicio las desviaciones necesarias, de acuerdo con lo indicado en la Cláusula 004-E de estas Normas.
- d) Al terminar los trabajos deberá reponerse el señalamiento y retirarse los dispositivos que hayan sido colocados con motivo de las obras.

003C.03

PROCEDIMIENTOS.- Los lineamientos generales que deberán considerarse en la ampliación del ancho de corona, son los siguientes:

- a) Ampliación en terraplén hasta de uno punto cincuenta -- (1.50) metros de ancho

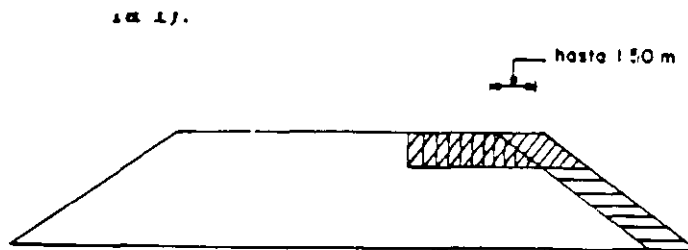
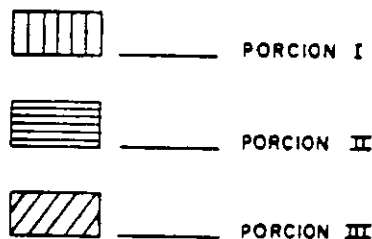


Figura 1



- 1) Córtese un escalón en el acotamiento (porción I), - abarcando las capas de sub-base y base. El material extraído se acamellonará para su posterior utiliza - ción.
- 2) Constrúyase la porción II con material A o B, hasta el nivel de sub-rasante, colocándolo en capas de es - pesor no mayor de treinta (30) centímetros para ser compactadas adecuadamente con rodillo ligero, hasta un mínimo del noventa por ciento (90%).
- 3) Al nivel de sub-rasante, deberá dársele una compac - tación mínima del noventa y cinco por ciento (95%), cuidando de que el equipo pase traslapado sobre la junta de la porción existente y la ampliación del - terraplén. En caso de que haya asentamientos, debe - rá escarificarse y hacerse los recargues necesarios para que una vez recompactada esa zona ya no se pro - duzcan nuevas deformaciones.
- 4) Una vez efectuada la compactación al nivel de sub - rasante, deberá procederse a completar las capas de sub-base y base, empleando el material que de ellas se había retirado, recargando con material de la ca - lidad adecuada. Terminadas éstas se hará la carpe - ta asfáltica.
- 5) Si el material del pavimento existente no se desea utilizar por ser de mala calidad, podrá usarse en - la porción II, recortando la porción I en todo el - ancho de la corona. En este caso el pavimento exis - tente se considerará como mejoramiento de terrace - rías o como capa sub-rasante, de acuerdo con la ca - lidad de los materiales que estén formando dicho pa - vimento.
- 6) Este procedimiento podrá aplicarse en ampliación a - ambos lados del terraplén.
- 7) En ampliaciones superiores a uno punto cincuenta - (1.50) metros, deberá seguirse el procedimiento in - dicado en el Capítulo XI de la Parte Segunda de las Especificaciones.

B.- Ampliación de corte en cajón.

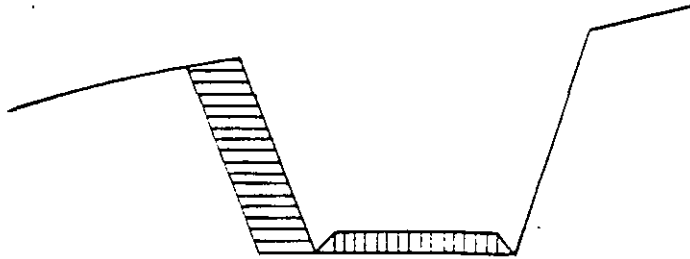
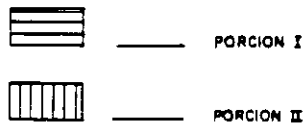


FIGURA 2



- 1) Se cortará la porción I cuyo nivel inferior deberá coincidir con el de la cama del corte. Parte de este material, si su calidad es adecuada, se utilizará para formar la capa sub-rasante y el resto se usará en recargues de terraplén. En caso contrario se desperdiciará.
- 2) Se escarificará la porción II en todo el ancho de la corona, en caso de que el pavimento se encuentre con fallas generalizadas. En caso de que se encuentre en buen estado, se ampliará la porción II de acuerdo con los lineamientos dados en el párrafo anterior para ampliación de terraplenes.
- 3) Si se escarificó el material de la porción II, se utilizará en la construcción de las capas de sub-rasante o sub-base, de acuerdo con su calidad y volumen. El tendido y la compactación de estas capas deberá hacerse en todo el nuevo ancho de corona.

- 4) Se procederá a la construcción de las capas de base y carpeta del espesor y compactación que en cada caso particular se fijen y en el nuevo ancho de corona.
- 5) Terminado este trabajo, deberán restaurarse las cunetas y contracunetas.
- 6) Este procedimiento podrá aplicarse cuando la ampliación sea en ambos lados del corte.

LIBRO 8

NORMAS PARA LOS TRABAJOS DE CONSERVACION O MANTENIMIENTO

PARTE 8.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 8.01.01

	Página
ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS	
INTRODUCCION	3
Capítulo 001.- DEFINICION DE ADMINISTRACION DEL MANTENIMIENTO DE CARRETERAS.	5
A.- Antecedentes	5
B.- Contenido	5
C.- Objetivo	6
D.- Metodología	6
E.- Elaboración del Sistema	7
Capítulo 002.- INVENTARIO DE CARRETERAS	8
A.- Ruta	8
B.- Camino	9
C.- Tramo	9
D.- Ramal	9
E.- Sub-Ramal	9
F.- Sub-Subramal	9
G.- Alternas	9
H.- Tramos de Ramales o Alternas	10
I.- Sección	10
J.- Sub-sección	10
K.- Zona	11
L.- Elemento	11
Capítulo 003.- NORMAS PARA CALIFICAR EL ESTADO FISICO DE UN CAMINO.	12
A.- Antecedentes	12
01.- Métodos empleados para calificar el estado de un tramo.	12
02.- Escala	13
03.- Aproximación	14
04.- Calificación única por cada Sección	14
05.- Velocidad de recorrido al calificar	14
06.- Inspección de Obra de Drenaje	14
07.- Vehículo usado para calificar	14
08.- Calificadores	14
09.- Visibilidad existente al calificar	14
10.- Avance diario del calificador	14
11.- Registro de calificaciones	15
12.- Calificación de los elementos de una Sección.	15

13.-	Influencia del proyecto geométrico en la calificación.	15
14.-	Influencia del estado del tiempo	15
15.-	Calificación de tramos en reparación	15
B.-	Elementos que se califican y su valor relativo	15
01.-	Aspectos generales	15
02.-	Caminos pavimentados	17
03.-	Caminos revestidos	17
04.-	Caminos rurales	18
05.-	Bases para fijar valores relativos	18
06.-	Labores de Conservación Normal en caminos pavimentados.	19
C.-	Proceso de Cálculo para la Elaboración del Informe de Evaluación.	20
01.-	Calificación de una sección	20
02.-	Calificación de un camino	20
03.-	Calificación de un grupo de caminos	20
04.-	Calificación "META"	21
D.-	Normas para Calificar los elementos del camino	22
01.-	Generalidades	22
02.-	Corona en caminos pavimentados	22
03.-	Corona en caminos revestidos o caminos rurales	25
04.-	Drenaje en caminos pavimentados, revestidos y rurales.	27
05.-	Derecho de Vía en caminos pavimentados o caminos revestidos.	29
06.-	Zonas Laterales en caminos rurales	31
07.-	Señalamiento Vertical y Dispositivos para el Control del Tránsito en caminos pavimentados, revestidos o rurales.	31
08.-	Señalamiento Horizontal y diversas marcas en el pavimento.	35
E.-	Instructivo para llenar las formas de anexos - para la Calificación del Camino.	38
01.-	Objeto del Anexo 1 (Resumen datos calificación).	38
02.-	Comentarios y Observaciones que deberán anexarse a los informes.	39
03.-	Uso de formas auxiliares	41

Capítulo 004.-	ADMINISTRACION DE LA CONSERVACION DE CARRETERAS	45
	A.- Planeación	45
	B.- Programación	46
	C.- Organización	46
	D.- Integración	46
	E.- Dirección	46
	F.- Control	47
Capítulo 005.-	ADMINISTRACION DE LA CONSERVACION NORMAL DE CARRETERAS	48
	A.- Objetivo	48
	B.- Programación	49
	01.- Ubicación	49
	02.- Calificación	49
	03.- Inventario de Necesidades	49
	04.- Análisis de Precios Unitarios	49
	05.- Análisis del rendimiento del personal y equipo o maquinaria.	50
	06.- Elaboración del Programa de Obras de Conservación Normal.	50
Capítulo 006.-	ADMINISTRACION DE LA RECONSTRUCCION DE CARRETERAS	53
	A.- Definición	53
	B.- Programación	53
	01.- Inventario de Carreteras de la Zona	53
	02.- Programa de Obras de reconstrucción en proceso.	53
	03.- Ubicación de tramos con baja calificación.	53
	04.- Estado que guardan las obras ejecutadas en los tres últimos años.	53
Capítulo 007.-	ADMINISTRACION DE LA MODERNIZACION DE CARRETERAS	55
	A.- Definición	55
	B.- Programación de Obras de Modernización de Carreteras.	55
Capítulo 008.-	ADMINISTRACION EN LA EJECUCION DE LAS OBRAS DE CONSERVACION DE CARRETERAS.	56
	A.- Antecedentes	56
	B.- Labores previas a la ejecución de una obra	56
	01.- Conocimiento completo del proyecto y de las condiciones de la Contratación	56
	02.- Conocimiento del terreno y de la región.	56
	03.- Trazo de la obra	57

04.-	Derecho de Vía	57
05.-	Relaciones con las Autoridades locales y con 105 Representantes de otras De - pendencias.	58
06.-	Programa detallado de trabajo	58
C.-	Bitácora de Obra	59
D.-	Funciones de la Residencia durante la ejecu- ción de la obra.	63
01.-	Entrega de datos al Contratista	63
02.-	Entrega de Materiales	64
03.-	Vigilancia	64
04.-	Modificaciones del Proyecto	66
05.-	Precios Unitarios	66
06.-	Estimaciones	67
07.-	Ajustes al presupuesto de la obra	67
08.-	Relaciones directas con Subdependen - cias de otras Direcciones Generales - de la Secretaría.	68
09.-	Visitas Oficiales de funcionarios diver- sos a la obra.	69
10.-	Informes	70
E.-	Funciones de la Residencia posteriores a la - ejecución de la obra.	70
01.-	Recepciones parciales	70
02.-	Liquidación de la Obra	70
03.-	Recepción de la Obra	71
04.-	Actualización del proyecto	71
05.-	Entrega de la obra	71
06.-	Clausura de la Residencia	71

LIBRO 8

NORMAS PARA LOS TRABAJOS DE CONSERVACION O MANTENIMIENTO

PARTE 8.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 8.01.02

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE CONSERVACION DE CARRETERAS

	Página
Capítulo 001.- Pavimentos	74
A.- Generalidades	74
B.- Relleno de grietas	74
01.- Generalidades	74
02.- Procedimiento	75
C.- Renivelación	76
01.- Definición	76
02.- Normas	76
03.- Procedimiento	77
D.- Bacheo	78
01.- Definición	78
02.- Normas	78
03.- Procedimiento	78
E.- Riego de Sello	81
01.- Definición	81
02.- Normas	81
03.- Procedimiento	81
F.- Rastreos y/o recargues en caminos <u>reves</u> tidos o en terracerías.	82
01.- Definición	82
02.- Normas	82
03.- Procedimiento	82
Capítulo 002.- Obras de Drenaje	84
A.- Inspección y programación	84
01.- Generalidades	84
B.- Limpieza de Cunetas y Contracunetas	84
01.- Definición	84
02.- Normas	85
03.- Procedimiento	85

C.- Limpieza de alcantarillas	86
01.- Definición	86
02.- Normas	86
03.- Procedimiento	87
D.- Limpieza de Canales de entrada y salida	87
01.- Definición	87
02.- Normas	87
03.- Procedimiento	88
E.- Reparación de Obras de Drenaje	88
Capítulo 003.- Zonas Laterales del Dercho de Vía	92
A.- Generalidades	92
01.- Definición	92
02.- Anchos	92
03.- Bases Legales	92
B.- Desmonte	93
01.- Definición	93
02.- Objeto	93
03.- Normas	94
04.- Procedimiento	95
C.- Obras Marginales	96
01.- Definición	96
02.- Normas	96
03.- Procedimiento	96
D.- Rastreos	98
01.- Definición	98
02 - Objeto	98
03.- Procedimiento	99
Capítulo 004.- Obras Diversas	100
A.- Acotamientos	100
01.- Definición	100
02.- Objeto	100
03.- Normas	100
B.- Taludes	101
01.- Definición	101
02.- Generalidades	101
03.- Procedimiento	101

C.-	Remoción de Derrumbés	102
	01.- Definición	102
	02.- Generalidades	102
	03.- Normas	102
	04.- Procedimiento	103
D.-	Relleno de Deslaves	103
	01.- Definición	103
	02.- Normas	104
	03.- Procedimiento	104
E.-	Desviaciones	105
	01.- Definición	105
	02.- Normas	105
	03.- Procedimiento	106
Capítulo 005.-	Señalamiento	107
A.-	Resumen de los lineamientos establecidos en el "MANUAL DE DISPOSITIVOS PARA EL CONTROL DEL TRANSITO EN CALLES Y CARRETERAS".	107
B.-	Inventario del Señalamiento (Su calificación y Señalamiento faltante)	115
C.-	Señalamiento en cruces a Nivel de caminos con Vías Férreas.	118

LIBRO 8

NORMAS PARA LOS TRABAJOS DE CONSERVACION O MANTENIMIENTO

PARTE 8.01

CARRETERAS Y AEROPISTAS

TITULO 8.01.03

NORMAS Y PROCEDIMIENTOS DE RECONSTRUCCION DE CARRETERAS

Capítulo 001.- Pavimentos

A.-	Definiciones y Funciones	121
01.-	Pavimento flexible	121
02.-	Sub-base	121
03.-	B a s e	121
04.-	Carpeta asfáltica	122
05.-	Sobrecarpeta	122
06.-	Riego de Sello	122
B.-	Renivelación	122
01.-	Definición	122
02.-	Generalidades	123
C.-	Riego de Sello	123
01.-	Uso	123
02.-	Generalidades	124
03.-	Materiales	124
04.-	Equipo	127
05.-	Procedimiento	128
06.-	Fallas	130
D.-	Carpeta o Sobrecarpeta	130
01.-	Clasificación	130
02.-	Requisitos	131
03.-	Normas	131
04.-	Equipo	131
05.-	Materiales	132
06.-	Procedimiento	132
E.-	Sub-bases y Bases	138
01.-	Generalidades	138
02.-	Materiales Pétreos	139
03.-	Equipo	139

04.- Procedimiento	140
05.- Bases estabilizadas . .	142
Capítulo 002.- Drenaje y Subdrenaje	147
A.- Reconstrucción y ampliación de alcantarillas.	147
01.- Generalidades	147
02.- normas	148
03.- Procedimiento	149
B.- Construcción o reparación y Limpieza de Drenes.	149
01.- Generalidades	149
02.- Normas	149
03.- Procedimientos	149
Capítulo 003.- Obras Diversas	151
A.- Abatimiento de taludes en terraplén	151
01.- Definición	151
02.- Objeto	151
03.- Normas	151
04.- Procedimiento	151
B.- Abatimiento o Limpieza de Taludes - en Cortes	152
01.- Definición	152
02.- Objeto	152
03.- Normas	152
04.- Procedimiento	152
C.- Ampliación del ancho de corona	154
01.- Generalidades	154
02.- Normas	155
03.- Procedimiento	155



**FACULTAD DE INGENIERIA U.N.A.M.
DIVISION DE EDUCACION CONTINUA**

CURSOS INSTITUCIONALES

**RECONSTRUCCIÓN Y REHABILITACIÓN
DE VÍAS TERRESTRES.**

**CAPÍTULO V. "CASO PRÁCTICO: DESLIZAMIENTOS EN
LA AUTOPISTA ENSENADA - TIJUANA"**

Ing. Antonio Silva Tonché
Palacio de Minería
Mayo/ 2000

DESLIZAMIENTOS EN
LA AUTOPISTA
TIJUANA - ENSENADA

FAILURES AT THE
TIJUANA - ENSENADA HIGHWAY

México, Octubre de 1975
SECRETARIA DE OBRAS PUBLICAS

DESLIZAMIENTOS EN LA AUTOPISTA
TIJUANA - ENSENADA
FAILURES AT THE TIJUANA - ENSENADA
HIGHWAY

NOTA PRELIMINAR

FOREWORD

La presente Memoria se refiere a un trabajo realizado por la Secretaría de Obras Públicas de México a nivel institucional. De esta manera, la responsabilidad de las decisiones y políticas en ella implicadas, no corresponde a ninguna persona en lo particular, ni a ningún grupo de técnicos. Si lo que en la Memoria se describe pudiera considerarse, a lo menos en ciertos aspectos, como un éxito, él deberá repartirse entre un número muy grande de personas, al grado que apenas podrá hablarse de labor personal, en comparación al trabajo de equipo, que fue el que presidió todas las políticas generales y las decisiones concretas.

En la época en que la mayor parte de las decisiones relativas a estudios previos fueron tomadas, ejercía el cargo de Secretario de Obras Públicas el Ing. Javier Barros Sierra, siendo el Ing. Luis Enrique Bracamontes, Subsecretario. Obviamente a ellos correspondió la alta dirección de todos los trabajos. Como Director General de Proyectos y Laboratorios en aquellos días y como Subsecretario de Obras Públicas en la siguiente Administración del Gobierno Federal, el Ing. Fernando Espinosa Gutiérrez dirigió y coordinó los equipos de trabajo. El Ing. Gerardo Cruickshank García fungió como Subdirector General de Proyectos y Laboratorios y fue después Director General, cubriendo con ambos puestos el lapso en que se tomaron casi todas las decisiones y se realizaron los trabajos de corrección que se describen. El Ing. Alfredo Mendizábal Ogarrio fue Director General de Construcción de Carreteras Federales en la época de los estudios previos (1961-1964) y Director General de Proyectos y Laboratorios durante el comienzo de la etapa de construcción de las obras correctivas. Es sabido que tanto el Ing. Fernando Espinosa G., como el Ing. Mendizábal Ogarrio, murieron en acto de servicio mientras cumplían las altas obligaciones de sus cargos respectivos.

El proyecto de la carretera fue realizado en el Departamento de Vías Terrestres de la Dirección General de Proyectos y Laboratorios, en el lapso que como Jefes cubrieron el Ing. Fernando del Río Peralta y el Ing. Sergio Salazar Aguilar. Los detalles de proyecto fueron atendidos por los ingenieros Carlos Ayala Sariñán, Ricardo Revelo y Gastón Rocha. Actuó como Supervisor de Materiales el Ing. Carlos Mancha G. y como Jefe de Laboratorio el Ing. José Pérez Domínguez.

La carretera fue construida por la Dirección General de Construcción de Carreteras Federales, durante las épocas en que fueron Directores Generales los ingenieros Alfredo Mendizábal Ogarrio, Manuel López de la Vega y Froylán Vargas Gómez. Los Jefes de Residentes que tuvieron a su cargo la construcción, fue-

This report refers to a job done by the Ministry of Public Works as a whole institutional entity. In this manner, the decisions and guidelines implied do not correspond to any particular person, nor to any small group of technicians. If what this report describes could be considered, at least in some aspects, a success, it should be attributed to a large number of persons, so large that it is almost impossible to speak of personal work as compared to team work, which in reality preside all the activities.

By the time in which most of the decisions about preliminary studies were taken, Mr. Javier Barros Sierra was the Minister of Public Works and Mr. Luis Enrique Bracamontes, Vice-Minister. Obviously, they had in hand the high management of the whole job. As General Director of Projects and Laboratories by that time and later as Vice Minister, Mr. Fernando Espinosa Gutiérrez lead the working team: Mr. Gerardo Cruickshank García, first as General Sub-Director of Projects and Laboratories and as General Director latter, covered with both assignment the period in which most of the decisions were taken and the field works carried out. Mr. Alfredo Mendizábal Ogarrio was General Director of Construction of Federal Highway by the time of previous studies (1961-1964) and later was General Director of Projects and Laboratories at the beginning of the construction of the corrective work. It is well known, that both, Mr. Fernando Espinosa G. and Mr. Alfredo Mendizábal O. died during on official comision relative to their high assignments.

The road design was developed by the Highway Department, of the General Direction of Projects and Laboratories, by the time Mr. Fernando del Río Peralta and Mr. Sergio Salazar Aguilar occupied the Head of such Department. The detailed design was attended by Mr. Carlos Ayala Sariñán, M. Ricardo Revelo and Mr. Gastón Rocha Sagaón. As Materials Supervisor attended the job Mr. Carlos Mancha G. and the field laboratory was headed by Mr. José Pérez Domínguez.

The highway was constructed by the General Direction for Construction of Federal Highways, during the time in which Mr. Alfredo Mendizábal Ogarrio, Mr. Manuel López de la Vega and Mr. Froylán Vargas occupied its head. Chiefs of Residents during the construction were Mr. Luis Taboada Ayala, Mr. Salvador

ron los ingenieros Luis Taboada Ayala, Salvador Díaz Díaz, Antonio Rosado Echánove, Antonio Pineda Gómez y Agustín Salazar Trujillo. Los Residentes de Construcción en el tramo a que se refiere la Memoria, fueron los ingenieros Emilio Gil Valdivia y Hugo Martínez de los Santos.

El Ing. Juan J. Correa Rachó fue el Jefe del Departamento de Geotecnia en el lapso en que se realizaron muchos de los estudios previos y el Dr. Eulalio Juárez Badillo colaboró con él en la concepción de los mismos. El Ing. Alfonso Rico R. estuvo encargado de la ejecución de tales estudios a nivel de campo, labor en que fue auxiliado por los ingenieros Luis Miguel Aguirre M., Gabriel Moreno P., Hermilo del Castillo M., Abel Flores R., Gabriel García A. y Felipe Malagón K.

De singular importancia en la época de los estudios previos fue la investigación geológica, que dirigió el Ing. Geólogo Juan B. Puig de la Parra, auxiliado principalmente por el Ing. Héctor Ramírez Ayala. Posteriormente estudiaron mucho la geología regional los ingenieros Javier Toribio Arzate y Jorge F. Vaca Hinojosa.

El proyecto de todas las obras correctivas fue realizado en el Departamento de Geotecnia de la entonces Dirección General de Proyectos de Vías Terrestres, cuando el Ing. Gerardo Cruickshank era Director General y el Ing. Sergio Salazar, Subdirector General. El Ing. Alfonso Rico R. era Jefe del Departamento de Geotecnia. En este último se realizaron también todos los labores de interpretación de resultados de instrumentación y mediciones de campo. Estos trabajos estuvieron a cargo de los ingenieros del Departamento de Geotecnia ya mencionados más arriba. Los aspectos geométricos de los proyectos, fueron revisados por el Departamento de Vías Terrestres de la misma Dirección General, cuyo Jefe era entonces el Ing. Alfredo Martínez Durán.

La instalación de los instrumentos en el campo, estuvo a cargo de la empresa Geotec, S. A., de la que es Director General el Ing. Guillermo Springall. El Ing. José Springall, de la misma empresa, participó muy de cerca en todas las actividades de la instrumentación. La labor de estos ingenieros incluyó una constante actividad de consultoría. El Ing. Pedro Apodaca realizó los trabajos de campo por parte de la empresa.

Algunos proyectos de obras correctivas exigieron la realización de cálculos estructurales, que se hicieron en el Departamento de Puentes de la Dirección General de Proyectos de Vías Terrestres, cuyo Jefe era

Díaz Díaz, Mr. Antonio Rosado Echánove, Mr. Antonio Pineda Gómez and Mr. Agustín Salazar Trujillo. The Construction Residents were Mr. Emilio Gil Valdivia and Mr. Hugo Martínez de los Santos, in the road section to which this report refers to.

Mr. Juan J. Correa Rachó was Head of the Geotechnical Department during the time in which most of the preliminary work was done and Dr. Eulalio Juárez Badillo collaborated with him in the conception of such work. Mr. Alfonso Rico Rodríguez was in charge of the development of such studies at field level, assisted by Mr. Luis M. Aguirre M., Mr. Gabriel Moreno Pecero, Mr. Hermilo del Castillo Mejía, Mr. Abel Flores R., Mr. Gabriel García A. and Mr. Felipe Malagón R.

Of a very special importance by the time of preliminary work was the geological survey, conducted by Mr. Juan B. Puig de la Parra, and Mr. Héctor Ramírez Ayala as his assistant. Latter on, the regional geology was investigated by Mr. Javier Toribio Arzate and Mr. Francisco Vaca Hinojosa.

The design of all corrective structures was done by the Geotechnical Department of the then General Direction for Project of Highway, by the time Mr. Gerardo Cruickshank was General Director and Mr. Sergio Salazar Sub-Director. Mr. Alfonso Rico R. was the Head of the Geotechnical Department. In this Department all the interpretation of data from the instrumentation and the field measurements was done. The personal of the Geotechnical Department listed above was in charge of this work. The geometrical design aspects were checked by the Department of Highways of the same General Direction, whose head was then Mr. Alfredo Martínez Durán.

The installation of the instruments was done by the private firm Geotec, S. A., of which Mr. Guillermo Springall is General Director. Mr. José Springall of the same firm, participated very closely in all the instrumentation activities. The participation of this two engineers included a constant consulting activity. Mr. Pedro Apodaca was in charge of the field work by the firm.

Some designs of the corrective structures called for some structural calculations, which were done by the Bridge Department of the General Direction of Projects for Highways, whose Head was then Mr. Gus-

el Ing. Gustavo del Río San Vicente. Los análisis de costos involucrados en las diversas alternativas se hicieron en el Departamento de Geotecnia, pero con el apoyo del Departamento Técnico de la propia Dirección General de Proyectos de Vías Terrestres, que dirigía entonces el Ing. Horacio López Bandín. El Ing. Carlos King Revelo efectuó casi todos los análisis de costos.

La construcción de las obras correctivas se hizo en la época en que era Secretario de Obras Públicas el Ing. Gilberto Valenzuela y Subsecretarios de Obras Públicas el Ing. Fernando Espinoza Gutiérrez y el Ing. Rodolfo Félix Valdés, tras el trágico deceso del anterior alto funcionario. Era Director General de Proyectos de Vías Terrestres el Ing. Gerardo Cruickshank, con el Ing. Sergio Salazar como Subdirector General.

La supervisión de la construcción de las obras correctivas se realizó en el Departamento de Geotecnia de la Dirección General de Proyectos de Vías Terrestres, siendo el Ing. José A. Mendoza Márquez el Residente en el lugar. Por parte del Organismo Caminos y Puentes Federales de Ingresos y S. C., intervino en las obras de corrección el Ing. Humberto Ramos Chávez. Ha de tenerse en cuenta que para entonces la Secretaría de Obras Públicas ya había hecho entrega de la obra al citado Organismo.

Las obras fueron construidas por las empresas Solum, S. A. y Construcciones y Edificaciones, S. A.

Durante la etapa de proyecto y construcción de soluciones correctivas, la Secretaría de Obras Públicas contó con servicios de consultoría por parte de los ingenieros Travis Smith, experto en Geotecnia del Laboratorio del Departamento de Carreteras del Estado de California (E. U. A.) y Fernando Hiriart Balderrama y del Dr. Raúl J. Marsal. Los consejos de estos distinguidos consultores resultaron de gran utilidad para el planteamiento de las ideas que llevaron a las soluciones adoptadas.

La anterior relación tiene un carácter expositivo, pero no pretende ser exhaustiva. Muchas personas cuyos nombres no figuran en ella, tuvieron contribución digna de nota. Debe servir para destacar la naturaleza institucional de los trabajos descritos y para ejemplificar las virtudes de la coordinación de grandes equipos humanos en las obras importantes.

El presente trabajo, además, complementa una Memoria anterior, que fue publicada en 1969, con el título "Deslizamientos en la Autopista Tijuana-Ensenada", y que constituyó en aquel momento una contribución de la Secretaría de Obras Públicas de Méxi-

co del Río San Vicente. The cost analysis of the different alternatives were done in the Geotechnical Department but assisted by the Technical Department of the same General Direction of Highways, whose Head was Mr. Horacio López Bandín. Mr. Carlos King Revelo supervised most of the cost analysis.

The corrective structures were built by the time Mr. Gilberto Valenzuela was the Minister of Public Works and Mr. Fernando Espinoza G., Vice-Minister. After the tragical death of this High Officer, Mr. Rodolfo Félix Valdés took charge. Mr. Gerardo Cruickshank was then General Director of Projects for Highways with Mr. Sergio Salazar as General Sub-Director.

The supervision for the construction of the corrective structures was all done by the Geotechnical Department of the General Direction of Projects for Highways, been Mr. José A. Mendoza M. the Resident in the field. By the side of the Organism Caminos y Puentes Federales de Ingresos y S.C. supervised the job Mr. Humberto Ramos Chávez. It must be noted that by the time the Ministry of Public Works had already released the highway to the organism mentioned.

The job was carried out by the firms: Solum, S. A. and Construcciones y Edificaciones, S. A.

During the design and construction of the corrective structures, the Ministry of Public Works had the Consulting Services from Mr. Travis Smith, Geotechnical expert from the Laboratory of the California Highway Department, U.S.A. as well as from Mr. Fernando Hiriart Balderrama and Dr. Raúl J. Marsal from Mexico. The advice of this distinguished Consulting Engineers was of unvaluable usefulness for stablishing the general ideas which lead to the adopted solutions.

The foregoing enumeration of persons has a listing character, but can not be exhaustive. Many people whose name is not included, also made an important contribution. It must serve only to point out the institutional character of the described project and to exemplify the virtues of the participation of a large group of persons in important jobs.

This paper complements a previous Memory published in 1969 under the title "Slides on the Tijuana-Ensenada Freeway", which in that time constituted a contribution of the Ministry of Public Works of Mexico to the VII International Congress on Soil Mecha-

co al VII Congreso Internacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones. Aquella primera Memoria planteaba el problema y describía la instrumentación de campo que se hizo para tratar de definir sus orígenes y su evolución. Desde entonces, se han construido nueve soluciones correctivas, en los lugares en donde se presentaban zonas en movimiento; también se han seguido midiendo los instrumentos colocados durante el lapso comprendido entre 1968 y 1975. Como quiera que la última solución fue completada en 1971, casi todo el trabajo de medición se refiere al comportamiento de las soluciones adoptadas y avala el resultado satisfactorio que se logró con las mismas. Actualmente la autopista lleva cuatro años sujeta a programas de conservación normal.

La presente Memoria, redactada por los ingenieros Alfonso Rico Rodríguez, Guillermo Springall Caram, José Springall Caram, Gabriel Moreno Pecero y José Antonio Mendoza Márquez, proporciona información sobre las soluciones adoptadas, los métodos constructivos y su comportamiento.

El problema de Tijuana-Ensenada (una serie de grandes masas de tierra en lento movimiento sobre superficies de falla previamente formadas) presenta tres aspectos que merecen comentario:

1. La extraordinaria potencialidad de la instrumentación de campo para definir el origen y el desarrollo de los grandes problemas de estabilidad de laderas naturales en movimiento lento. La nivelación superficial de precisión y el uso de inclinómetros permiten obtener una información "cinemática", sin la que se ve muy difícil intentar una corrección exitosa. El uso de piezómetros u otros medios para investigar el desarrollo de presiones en el agua, dentro de las masas de suelo o en las superficies de falla, si las hubiere, complementa el conocimiento fundamental indispensable.
2. Cuando grandes porciones de una ladera natural se mueven lentamente, se presenta con frecuencia (y Tijuana-Ensenada es un buen ejemplo de ello) un tipo de falla, hasta ahora poco atendido en la literatura, según el cual el movimiento ocurre sobre una superficie totalmente formada y desarrollada, producida por procesos de deformación acumulativa. La detección de esta superficie y su forma precisa es indispensable para la corrección.
3. En los problemas de estabilidad de laderas naturales del tipo de los descritos en este trabajo,

tics and Foundations Engineering. That Memory established the problem and described the field instrumentation realized in order to determine its origins and evolution. Nine corrective solutions have been established since then in the places that showed moving areas. From 1968 to 1975 the instruments installed on the different sites have also been measured. Considering that the last solution was completed in 1971, almost all measuring works concern the behavior of the adopted solutions, and guarantee the satisfactory results so far obtained. The highway has been subject during four years to normal maintenance programs.

This report, which has been elaborated by the Engineers Alfonso Rico Rodríguez, Guillermo Springall Caram, José Springall Caram, Gabriel Moreno Pecero and José Antonio Mendoza Márquez, shows the information on the adopted corrective structures, the construction methods and their behaviour.

The Tijuana-Ensenada problem (a series of large earth volumes moving slowly over surfaces of failure previously formed) presents three interesting aspects to be commented:

1. The extraordinary potenciality of the field instrumentation to define the origin and the evolution of the great stability problems of natural slopes in slow movement. The accurate surface grading, and the use of inclinometers, provide a "kinematic" information, without such it would be very difficult to attempt any successful correction. The basic required knowledge is completed with the use of piezometers or other means to investigate the development of pressures in the water, within the soil masses, or in the surfaces of failure if they exist.
2. When considerable portions of a natural slope moving slowly, a certain type of failure frequently occurs which until now have not been treated sufficiently, (a good example of it is Tijuana-Ensenada). The movement occurs over a total formed and developed surface, produced by accumulative deformation processes. The detection of this surface and its exact shape is necessary to make the relative corrections.
3. In the stability problems of natural slopes, described in this paper, the knowledge on "how"

nunca será excesivo el conocimiento que se tenga sobre "como" ocurren los movimientos (aspectos "cinemáticos" del problema). Al lado de ellos, otros, que tradicionalmente se consideran fundamentales en problemas de estabilidad, pasan hasta cierto punto a un segundo plano. La distribución de resistencia al esfuerzo cortante en la masa, tendrá importancia sobre todo para cuantificar el éxito que ha de esperarse de una cierta solución, pero "como" sucede el movimiento es aún más importante para plantear la solución misma.

Hay otros aspectos de interés en el problema de Tijuana-Ensenada, como la influencia del régimen de precipitación regional en los movimientos o como las muchas restricciones que se presentaron a los métodos constructivos, habida cuenta de que era preciso corregir una carretera en funcionamiento.

La Secretaría de Obras Públicas espera que el esfuerzo hecho en este caso pueda contribuir en algo a la formulación de una experiencia que coadyuve en el futuro al esclarecimiento de este tipo de problemas, tan frecuentes e importantes.

the movements occur will never be excessive (kinematic aspects of the problem). At the present another stability problems, traditionally considered as basic problems, are considered less important. The distribution of the shearing strength in the mass is an important fact, especially to evaluate the success to be expected from a certain solution; however it is more important to know "how" the movement occurs in order to find the proper solution to the problem.

There are many other interesting aspects in the Tijuana-Ensenada problem, such as the influence that local rainfall has on the movements and the various restrictions concerned with the construction methods, considering that already was necessary to correct a highway in operation.

The Ministry of Public Works of Mexico expect that the efforts realized, contribute in the future in a certain extent to the formulation of an experience to the solution of a better understanding of these frequent and important type of problems.

CAPITULO I
INTRODUCCION
CHAPTER I
INTRODUCTION

1.1. ANTECEDENTES.

Geográficamente el tramo de 10 kilómetros donde ocurren los deslizamientos está en el paralelo 32° N y en el meridiano 116.8° W. En la Fig. 1.1 se indica el lugar, localizado en el extremo noroeste del país, en la Península de Baja California.

1.1. ANTECEDENTS.

The 10-km length of highway where the slips occur lies at 32° N, 116.8° W. The site is indicated in Fig. 1.1., in the extreme north-west of Mexico, in the Peninsula of Baja California.

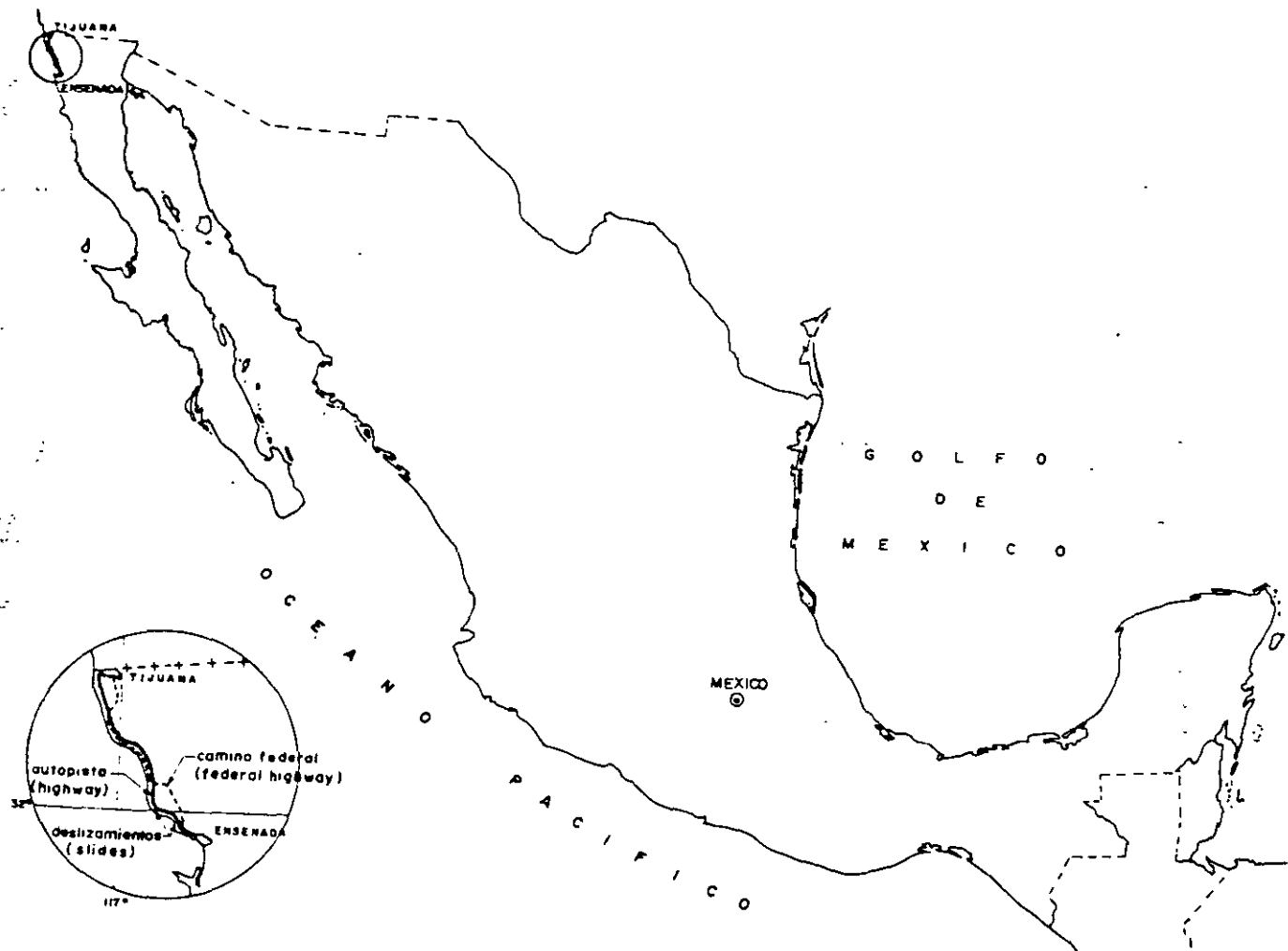


Fig. 1.1 Mapa de México mostrando la Autopista Tijuana-Ensenada.
Map of Mexico showing Tijuana-Ensenada Highway.

La autopista se planeó como un camino de peaje, cuya finalidad principal había de ser contribuir al desarrollo turístico de la zona, razón por la cual debía

The highway was planned as a toll-road, with a principal objective of contributing to the tourist development of the zone, thus establishing as a require-

satisfacer el requisito de ser un camino escénico corriendo a lo largo de la costa del Océano Pacífico.

Desde los primeros estudios geotécnicos realizados, se supo que dentro de la zona donde hoy ocurren los deslizamientos, existían ya otros más antiguos, que por sus características geológicas podrían activarse nuevamente y causar problemas.

No obstante lo anterior y en virtud de las razones que impulsaron a construir el camino, las autoridades que realizaron su planeación, decidieron aceptar los riesgos previstos, a sabiendas de hacer en el futuro erogaciones mayores. El aceptar un cambio de línea no justificaba la construcción del camino pues perdía en parte su atractivo turístico, y por otra parte existía un camino federal en operación, que en aquel entonces era insuficiente para las demandas de tránsito.

Tal como se había previsto, antes de terminar el camino, empezaron a manifestarse los primeros deslizamientos, específicamente en los kilómetros 16+000, 19+300 y 20+500 (Fig. 1.2), iniciándose entonces las primeras investigaciones tendientes a estudiar su mecanismo.

En el año de 1963 se activó una primera masa en el kilómetro 19+300 (Fig. 1.2) iniciándose en rigor en ese año, las primeras investigaciones tendientes a estudiar el mecanismo de los deslizamientos.

La exploración de campo en esta falla consistió en perforar una serie de sondeos, en los cuales se colocó tubería de 2.5 cm. (1") de diámetro, a fin de detectar la profundidad de la superficie de deslizamiento. La idea era detectar la curvatura de la tubería, introduciendo en ella una sonda rígida rudimentaria. Aunque este tipo de instrumentos era muy elemental, los resultados obtenidos fueron altamente satisfactorios, ya que más tarde pudo comprobarse la profundidad de la superficie de deslizamiento mediante la perforación de pozos a cielo abierto hasta de 35 m. de profundidad.

Estos estudios se llevaron a cabo durante 1964, manifestándose en ese mismo año los deslizamientos de los kilómetros 15+500 y 12+360.

La falla del kilómetro 19+300 (Ref. 1) consistió en un lento movimiento de la masa del terraplén construido en ese lugar, y del terreno natural ladera abajo, formando en el camino en un frente de 80 m. un escalón de 1.80 m. de peralte, con un desplazamiento hacia el mar de más de un metro. El peso del terraplén, de 24 m. de altura, colocado sobre el arranque de una antigua falla de 232 m. de anchura y 250 m. de longitud, que terminaba 2 m. arriba del

ment the selection of a scenic route running along the coast of the Pacific Ocean.

The preliminary geotechnical studies revealed the existence of earlier slips within the zone where movements occur today which, due to their geological characteristics, might offer problems upon reactivation.

Despite the above, and in the light of the overall requirements, the authorities responsible for the planning of the highway opted to accept the risks implied and the possibility of greater expenditure in the future. A change of route would remove the justification of the highway since it would detract from its attraction to tourists and because of the existence of another federal highway. The latter was at that time already insufficient to satisfy traffic demand.

As had been foreseen, the first signs of slipping were observed before completion of the highway, at km. 16+000, 19+300 and 20+500 specifically (Fig. 1.2). Preliminary studies were then initiated of the mechanisms involved.

In 1963 a first mass was activated at km. 19+300 (Fig. 1.2) leading to the commencement of the studies mentioned above.

Field explorations at the failure comprised a series of borings into which 1-in. diameter pipe was introduced, in an attempt to establish the depth of the slip surface. The idea was to detect the curvature of the pipe by means of a rudimentary rigid sounding rod. Despite the primitive nature of the instrumentation, the results proved highly satisfactory. The subsequent definition of the slip surface in open pits confirmed the depth established down to 35 m.

These first studies were completed in 1964, when the slips at km. 15+500 and 12+360 occurred.

Failure at km. 19+300 (Ref. 1) was due to a slow movement of the earthwork mass constructed at this point, together with that of the natural slope below, forming a 1.8-m high step along an 80-m length of highway, and causing a displacement seawards of more than 1 m. The weight of the 24-m high earthwork, placed upon the starting edge of an old slip surface, 232 m in width and 250 m. long, and running to a point only 2 m above sea-level was the main fac

SÍMBOLOS GEOLOGICOS
(GEOLOGICAL SYMBOLS)











 A	ANDESITA GRIS OSCURA (ANDESITE, DARK GRAY)	 Df L y Ar	DEPOSITOS DE TALUD QUE CUBREN A LUTITAS Y ARENISCAS (TALUS OVERLYING SHALE AND SANDSTONE)
 SM A	SUELO ARENOLIMOSO (SILTY SAND SOIL)	 A L y Ar	ANDESITAS FRACTURADAS QUE CUBREN A LUTITAS, ARENISCAS Y CONGLOMERADOS (FRACTURED ANDESITE OVERLYING SHALE AND CONGLOMERATE)
 L y Ar	LUTITAS INTERESTRATIFICADAS CON ARENISCAS (INTERSTRATIFIED SHALE AND SANDSTONE)	 SM L y Ar	SUELOS ARENOLIMOSOS QUE CUBREN A LUTITAS Y ARENISCAS (SILTY SAND SOILS OVERLYING SHALE AND SANDSTONE)
 To	TOBA PUMITICA (VOLCANIC TUFF)	 SM/A	SUELOS ARENOLIMOSOS QUE CUBREN A L.A. ANDESITA (SILTY SAND SOILS OVERLYING ANDESITE)
 D L y Ar	DEPOSITOS DE TALUD QUE CUBREN A LUTITAS, ARENISCAS Y CONGLOMERADOS (TALUS OVERLYING SHALE, SANDSTONE AND CONGLOMERATE)		CONTACTO GEOLOGICO (GEOLOGICAL CONTACT)

Fig. 12 Mapa fotogeológico del tramo de fallas.
Aerial view of failure zones.

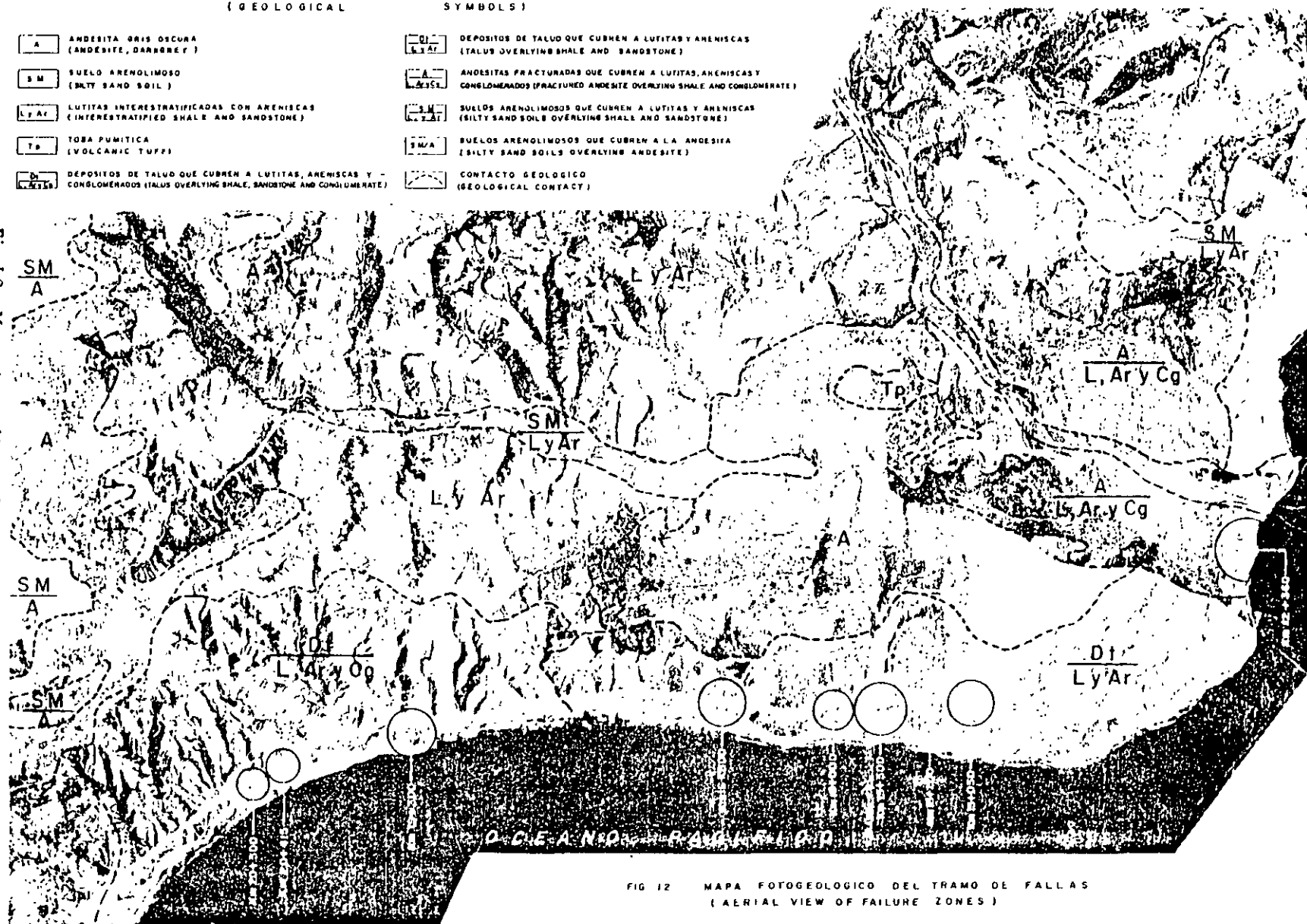


FIG 12 MAPA FOTOGEOLOGICO DEL TRAMO DE FALLAS
(AERIAL VIEW OF FAILURE ZONES)

nivel del mar, fue el principal factor que determinó el deslizamiento; otra causa fue la influencia del agua infiltrada. De acuerdo con los estudios realizados se analizaron las probables alternativas de estabilización, eligiendo una obra de subdrenaje que se realizó en el año de 1965, consistente en una galería filtrante bajo la superficie de deslizamiento, combinada con el abatimiento de la rasante del camino, la cual se bajó 6 m.

En 1966 la falla del kilómetro 20+500 también afectó el camino, debido a un deslizamiento en el contacto de los depósitos de talud con las rocas sedimentarias. La solución en este caso, consistió en construir una trinchera estabilizadora alojada bajo la superficie de deslizamiento, la cual se construyó en el año de 1967 y es análoga a la del kilómetro 20+415 por lo que no se describe al detalle.

El colapso del deslizamiento del kilómetro 16+000 sucedió súbitamente en el mes de mayo de 1967, después de acusar movimientos de mediana magnitud. El deslizamiento arrastró consigo el cuerpo del camino mostrado con líneas discontinuas en la Fig. VI.2, interrumpiendo por completo la circulación pocos días antes de ponerlo en servicio. El deslizamiento ocurrió mes y medio después de terminada la época de lluvias, cuando la acción del agua infiltrada era aún importante para la estabilidad del terraplén en balcón construido en ese sitio. En vista de la urgencia de reparar a la brevedad posible el camino, las autoridades decidieron desplazarlo un cuerpo lateral arriba y abatir la rasante en 2 m. La solución ha resultado satisfactoria, pero en la zona se construyó un muro de retención para aislar un pequeño tramo del acotamiento del camino del movimiento de un depósito de desperdicio adosado a él.

En vista, por una parte, de la alta inversión, del tiempo y de los problemas que causaría construir un nuevo tramo de camino que substituyera al que abarca los deslizamientos, y por otra, por el comportamiento que manifestaron los ya estabilizados, se decidió tratar cada uno de los casos recientes.

Con objeto de elegir la solución más conveniente en cada caso, se realizaron observaciones y mediciones para conocer las causas determinantes de los deslizamientos.

La precipitación media anual en la región, fluctúa entre 100 y 200 mm.; (Fig. 1.3) el período de lluvias normalmente abarca de noviembre a marzo. El clima es templado a frío debido a la Corriente de Behring.

Otro dato de interés es cómo varía la marea en el lugar, según mediciones hechas en el Puerto de En-

influencing the slip, while another was the infiltration of water. The most probable alternative methods of achieving stabilization were analyzed in light of the studies undertaken, the final choice being the construction of a filter-gallery beneath the slip surface in combination with a reduction in the height of the subgrade, which was lowered by 6 m in 1965.

The failure at km. 20+500 occurred in 1966 when a slip at the point of contact between talus deposits and the sedimentary rock below affected the highway. Here the solution adopted consisted in the excavation of a stabilizing trench sited beneath the slip surface. The work was carried out in 1967 and is analogous to the remedy applied at km. 20+415, which is not therefore dealt with in detail.

The collapse of the slip at km. 16+000 occurred suddenly in May, 1967, after showing signs of movements of average magnitude. The slip swept the roadworks away, as shown by the interrupted lines in Fig. VI.2, and cut communication completely a few days before the highway was to be put into service. It occurred one month and a half after the end of the rainy season when the effect of infiltrated water was still significant upon the stability of the balcony embankment constructed at this point. Given the urgent need for immediate repair work, the authorities opted to displace the highway its own width slopeward and lower the subgrade by 2 m. This solution has proved satisfactory, but a retention wall had to be built to isolate a short length of the shoulder of the highway from the movement of a deposit of waste backing upon it.

Given the high investment, as well as the time required and other problems consequent upon the construction of an alternative route in substitution of that affected by slips, and taking into account the observed behaviour of those sections already stabilized, it was decided to undertake the treatment of all subsequent cases.

In order to select the optimum solution in each case, a series of observations and measurements was undertaken to establish the determinants in the mechanism of the slips.

Mean annual rainfall in the region fluctuates between 100 and 200 mm (Fig. 1.3), the rainy season normally extending from November to March. The climate is temperate to cold, being affected by the Behring Current.

Another significant datum is the tidal range, figured by reference to Ensenada. High Water Springs is 1.464

Ensenada. En pleamar la elevación máxima registrada es de 1.464 m. y la mínima en bajamar es de -1.950 m., ambas referidas al nivel medio del mar, siendo la variación máxima de 3.414 m.

m and Low Water Springs —1.950, giving a range of 3.414 m.

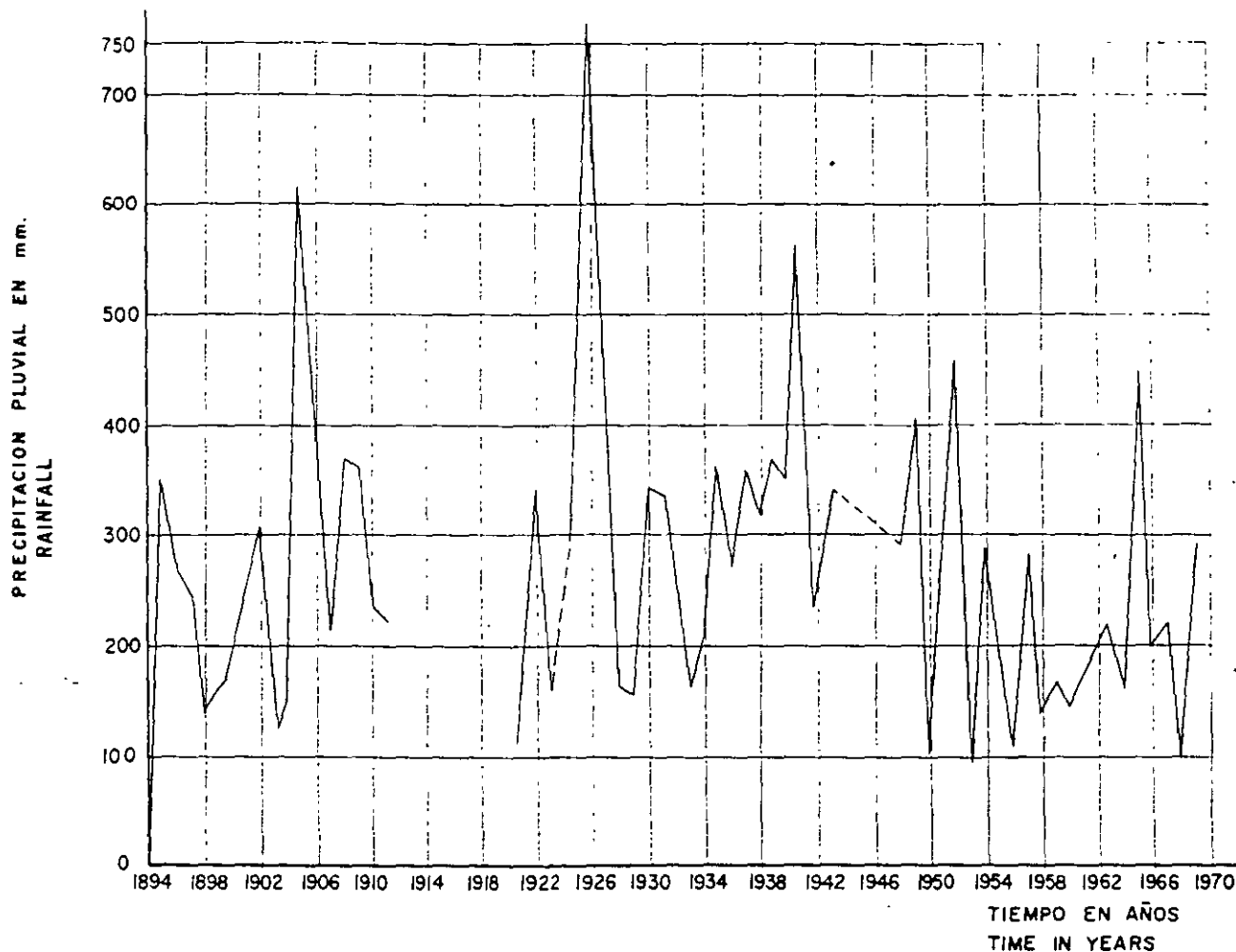


Fig. 1.3 Pluviograma construido con datos de la estación meteorológica en la ciudad de Ensenada, B.C.
Graph of rainfall made upon the basis of data from meteorological station at Ensenada, B.C.

1.2. GEOLOGIA.

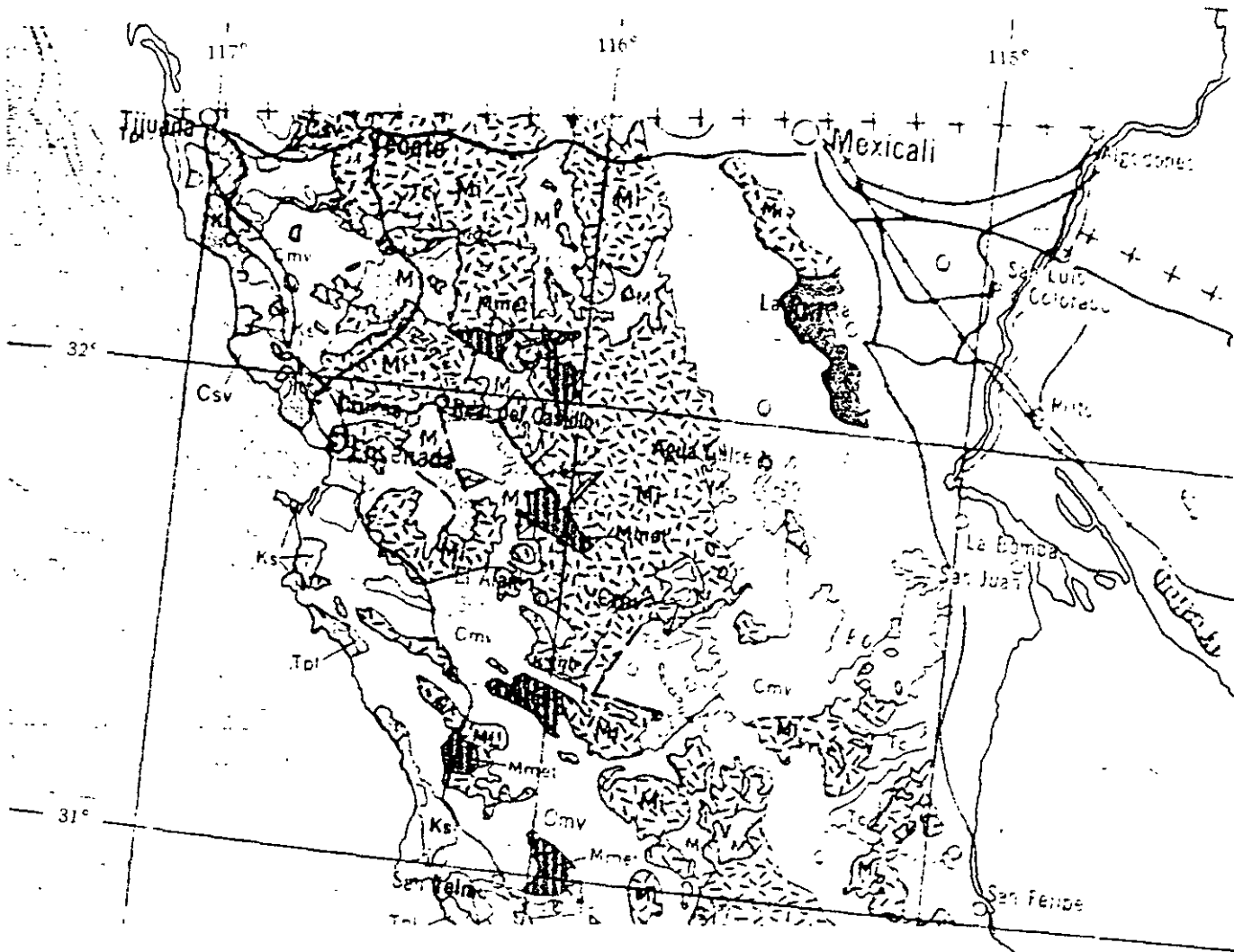
1.2.1. Geología de la porción norte de la Península de Baja California.

Conforme a estudios geológicos (Refs. 2, 3 y 4), la mitad norte de la Península en general está formada por rocas ígneas intrusivas, graníticas del Cretácico (Fig. 1.4). A ambos lados tiene llanuras costeras, cubiertas por rocas sedimentarias y volcánicas, excepto el gran delta del Río Colorado que está cubierto por depósitos aluviales.

1.2. GEOLOGY.

1.2.1. Geology of the North portion of the Peninsula of Baja California.

According to geological studies (Refs. 2, 3 and 4), the northern half of the peninsula is mainly composed by intrusive igneous granitic rocks of the Cretaceous. Upon each side extend coastal plains covered by sedimentary and volcanic rocks, excepting only the great Colorado River Delta where alluvium deposits are found (Fig. 1.4).



SIMBOLOGIA

- Mi. Intrusivos graníticos del Mesozoico.
- Q. Depósitos de aluvión, médanos y salitrales del Pleistoceno y Reciente. Facie marina y continental.
- Tc. Rocas clásticas de origen aluvial y lacustre del Terciario Continental.
- M. Rocas clásticas del Mesozoico No Diferenciado.
- Mmet. Rocas metamórficas, principalmente del Mesozoico y tal vez más antiguas.
- Cmv. Derrames de lava, brechas y tobas andesíticas y riolíticas del Cenozoico Medio Volcánico. Facie continental.
- Ks. Rocas del Cretácico Superior de facie marina y continental.

SIMBOLOGY

- Mi. Mesozoic granitic intrusive bodies.
- Q. Pleistocene and Recent alluvial, dune and saltpeter deposits. Marine and continental facies.
- Tc. Continental Tertiary, alluvial and lacustrine clastic rocks.
- M. Undifferentiated Mesozoic clastic rocks.
- Mmet. Mainly Mesozoic and perhaps older metamorphic rocks.
- Cmv. Volcanic Medium Cenozoic andesitic and rhyolitic tuffs, breccias and surface flows. Continental facies.
- Ks. Superior Cretaceous rocks. Marine and continental facies.

Fig. 1.4 Mapa geológico de la parte norte de la Península de Baja California.
Geological map of the Northern part of the Peninsula of Baja California.

En la superficie existen sedimentos que varían desde el Pleistoceno, de facies costera y continental a rocas clásticas marinas del Mioceno, Eoceno, Cretácico y Jurásico, con ausencia marcada de sedimentos oligocénicos.

El aspecto tectónico de la Península es el de un gran bloque que falló longitudinalmente por ambos lados y se inclinó hacia el Océano Pacífico. Está denudado por la erosión, que ha originado una topografía accidentada.

El batolito granítico ocupa las cuatro quintas partes de la mitad norte, y existe en la superficie una regular cantidad de aparatos volcánicos y derrames ígneos de rocas ácidas y básicas, además de encontrarse algunos manchones de rocas metamórficas del Cretácico inferior aún más antiguas. En ambos lados del batolito, en especial hacia el Occidente, se presentan rocas metamórficas tal vez del Mesozoico.

1.2.2. Geología regional.

La geología regional fue originalmente estudiada por el equipo de trabajo encabezado por el Ing. Geol. Juan B. Puig de la Parra y los resultados obtenidos constituyen un notable ejemplo de las aportaciones que la Geología puede dar a los estudios para proyecto de Vías Terrestres, cuando se aplica juiciosamente.

En el área que cruza el camino, entre los kilómetros 12 y 22, se distinguen cuatro unidades geológicas (Ref. 5), cuyos contactos se indican en la Fig. 1.2.

En la parte de mayor elevación existe una mesa constituida por una corriente lávica de espesor variable identificada, según análisis petrográfico, como roca andesítica (A) propia del Cenozoico Medio Volcánico, que procede tal vez del cono cinerítico comprendido en la zona 1p donde existen tobas pumíticas. La andesita yace sobre rocas sedimentarias del tipo de lutitas, areniscas y conglomerados; estas formaciones marinas corresponden a la segunda unidad geológica, y se observan en algunos cortes naturales inmediatos a la costa y en los cortes hechos para la construcción del camino. La tercera unidad está constituida por suelos limoarenosos que cubren a las dos unidades mencionadas.

La cuarta unidad, adyacente a la costa, a lo largo de la cual se desarrolla el camino, está integrada casi en su totalidad por depósitos de talud sobrepuestos a las rocas sedimentarias marinas, depósitos producto del intemperismo físico del derrame andesítico, el cual originalmente cubrió la angosta franja costera. En esta unidad se observan conspicuas hue-

At the surface there are deposits which vary from Pleistocene, coastal and continental, to clastic marine rocks of the Miocene, Eocene, Cretaceous and Jurassic, with a marked absence of sediments of the Oligocene.

Tectonically the peninsula is an enormous block faulted longitudinally to each side and inclined towards the Pacific Ocean. It is denuded by erosion, which has originated a highly accidented topography.

Granitic batholite occupies four fifths of the northern half, rocks of volcanic origin together with acid, basic rocks from igneous flows being fairly common at the surface, while traces of even older metamorphic rocks of the Lower Cretaceous are also found. To each side of the batholite, particularly towards the west, metamorphic rocks, which may possibly belong to the Mesozoic, are to be encountered.

1.2.2. Regional Geology.

The geology of the region was first studied by the team led by Juan B. Puig de la Parra, and their work constitutes a fine example of the contribution geology can make to highway design, when the appropriate criteria are applied.

The area crossed by the highway between km. 12 and 22 comprises four geological units (Ref. 5), the contacts between which are shown in Fig. 1.2.

The highest part is constituted by a mesita made up of a lava flow of varying thickness, identified by petrographical analysis as andesitic rock (A) of the Volcanic Middle Cenozoic, with a probable source at the cineritic cone within Zone 1p where pumice tuffs are to be found. The andesite overlies sedimentary rocks classified as clayshales, sandstones and conglomerates. These marine formations constitute the second geological unit and are to be observed in certain natural cuts close to the coast and in the cuts made along the route of the highway. The third unit comprises sandy loams which cover the two units described previously.

The fourth unit, beside the coast along which the highway runs, is made up almost totally of talus deposits lying upon the marine sedimentary rocks. The talus deposits are the product of the physical weathering of the andesitic flow, which originally covered the narrow coastal strip. Within this unit, signs of ancient slips may be clearly observed, largely coinci-

llas de deslizamientos antiguos, coincidiendo la gran mayoría con los deslizamientos actuales. Una de estas fallas antiguas localizada en el kilómetro 15+200, es de gran magnitud y se aprecia claramente en la fotografía aérea del conjunto de la Fig. I.2 y con mayor detalle en la fotografía de la Fig. III.1. Cabe agregar que a lo largo de todo el camino, la franja costera está sujeta a intensa erosión marina.

Los depósitos de talud están constituidos en su mayor parte por fragmentos de roca angulosos, a veces hasta de 2 m. de diámetro, empacados en suelos arenolimosos sueltos. Ocasionalmente existen acumulaciones de fragmentos de roca sin matriz fina. El espesor de estos depósitos es muy variable alcanzando hasta 37 m. en los sitios explorados en los kilómetros 15+200 y 15+500; son de alta permeabilidad y el agua de lluvia se infiltra hasta alcanzar las lutitas y areniscas que los subyacen.

Las precipitaciones pluviales mantienen una línea de escurrimiento con gradiente hacia el mar que satura las lutitas y, en algunos casos, el contacto de éstas con los depósitos de talud. La infiltración es mayor en los bancos de préstamo explotados precisamente en el sitio de cada falla, para construir los terraplenes localizados a un lado del camino, tierra adentro.

Conforme al proyecto geométrico, al construir el camino fue necesario cortar las lutitas y areniscas y hacer terraplenes sobre los depósitos de talud. Los tramos de camino situados en los cortes de lutitas y areniscas, han experimentado un comportamiento normal, no así los de terraplenes que se colocaron sobre depósitos de talud en los talweg, entre los contrafuertes de las rocas sedimentarias. El peso de los terraplenes ha afectado la estabilidad precaria de los deslizamientos antiguos.

De las observaciones preliminares realizadas inmediatamente después de que empezaron a manifestarse los problemas de inestabilidad, se sospechó que los deslizamientos ocurrían en el contacto de los depósitos de talud con las formaciones marinas, y en algunos casos, como en el kilómetro 15+200, según superficies de deslizamiento más profundas. Después se comprobó que estos deslizamientos en general ocurrían en el contacto de los depósitos de talud o de lutitas alteradas con las lutitas sanas o a través de lutitas interstratificadas con areniscas. En los capítulos II a X, donde se tratan en forma independiente los deslizamientos, se detallan las características geológicas particulares.

A lo largo de la costa se observan los efectos de la erosión marina, debidos a la socavación continua, provocando fallas y deslizamientos locales que modifican constantemente el litoral (Fig. I.5).

ding with the present slips. One of these old slips, at km. 15+200, is of great magnitude and can be clearly distinguished in the aerial photograph of the whole zone in Fig. I.2. It should be added that the entire coastal strip is subject to intense marine erosion along the length of the highway.

The talus deposits are largely made up of angular rock fragments, sometimes of as much as 2 m in diameter, packed in loose loamy sands. There are occasional accumulations of deposits with no fine matrix. Their thickness varies greatly, reaching a depth of 37 m in the explorations carried out at km. 15+200 and 15+500. They are highly permeable and rain-water infiltrates down to the underlying clayshales and sandstones.

Precipitation maintains a line of run-off, dipping towards the sea, which saturates the clayshales and, in some cases the contact surface between the clayshales and the talus deposits. Infiltration is greatest at the borrow zones, located precisely at the site of each failure, which were exploited during the construction of the earthworks and which are all located on the inland side of the highway.

According to the geometric project, construction involved making cuts in the clayshales and sandstones and the building of embankments across the talus deposits. The sections of highway cut through the clayshales and sandstones have performed normally, which is not the case along those sections of earthworks placed upon talus material in the talwegs, between the sedimentary buttresses. The weight of the earthworks has affected the precarious stability of the old slips.

Preliminary observations, carried out immediately following the first signs of instability, led to the suspicion that slipping occurred at the zone of contact between talus material and the marine formations, and in some cases, as at km 15+200, along slip surfaces at a greater depth. It was subsequently shown that these slips generally occurred at the contact between the deposits of talus material or disturbed clayshales and the sound clayshales or clayshales interstratified with sandstones. The geological characteristics at each slip are dealt with separately in Chapters II to X.

Along the whole length of the coast the effects of marine erosion are evident, the continual undermining causing faults and local slips which constantly modify the coastline (Fig. I.5).



*Fig. 1.5 Panorámica de la costa en la zona del km. 19+300.
Panoramic view of the coast at km. 19+300.*

1.2.3. Mecanismos de falla. Visión general.

Lo que en realidad sucede podría visualizarse como sigue:

Como se dijo en la descripción geológica, existe en la región una plataforma "continental" de materiales ígneos (basaltos y andesitas) de la que arrancan contrafuertes hacia el mar, al modo de los dedos de una mano; el espacio entre esos contrafuertes, en general formados por materiales sedimentarios (lutitas y areniscas), se ha ido rellenando a través del tiempo por depósitos de acarreo y piemonte que, al colocarse exclusivamente por efecto de la gravedad, adquirieron una posición final bastante escarpada, cercana a lo que se pudiera llamar el "ángulo de reposo de la formación", que, naturalmente, no está lejos del equilibrio límite. Como consecuencia de ello, es de imaginar que a lo largo del tiempo ocurrieron mu-

1.2.3. Failure Mechanisms: The Overall Perspective.

The real mechanism may be visualized as follows:

As the geological description makes clear, the region is characterized by a "continental" platform composed of igneous materials (basalts and andesites) from which buttresses extend towards the sea, much as fingers spread from the hand. The spaces between these buttresses, generally made up of sedimentary materials (clayshales and sandstones), have been filled in time by deposits of detritus which, since their placement is determined by gravity alone, take up a fairly steep final position, close to that which might be called the "angle of rest of the formation", one not very distant, of course, from the limit of equilibrium. As a consequence, we may imagine a large number of slips occurring in the course of time in these talus de-

chos deslizamientos en estos depósitos de talud. Algunos fueron verdaderos derrumbes y su huella es hoy visible en los típicos anfiteatros que señalan la cabeza de la antigua falla y en los promontorios que penetran en el mar, señal del derrumbe propiamente dicho; pero en otros casos, en que se involucran grandes masas de tierra, ocurre que, más que un derrumbe, tiene lugar una deformación importante de la masa ladera abajo, deformación que puede ser tan considerable que llegue a desarrollar una superficie de deslizamiento con rotura de los suelos; la masa deslizante es tan grande y las restricciones al deslizamiento producto de la heterogeneidad de los materiales y de la configuración irregular de los estratos más resistentes que sirven de apoyo a los depósitos de talud, son tan importantes que el derrumbe catastrófico no llega a suceder.

Un mecanismo como éste produce hoy una gran masa de depósitos de talud, con una superficie de falla definida, que se mueve con gran lentitud ladera abajo. Esto es lo que, en este trabajo, se denomina una superficie de falla antigua. Como quiera que la construcción de caminos ocurre con frecuencia sobre las laderas en que fenómenos como el anterior pueden generarse, es de suponer que estas superficies de falla antiguas tengan mucho más que ver con los problemas de estabilidad en caminos de lo que hasta ahora se ha pensado; de hecho, es una sensación de la experiencia de los ingenieros de la Secretaría de Obras Públicas, que un porcentaje importante de los derrumbes en las vías terrestres ocurren por activación de superficies de falla antiguas.

Como consecuencia de sus altas especificaciones, la Autopista Tijuana-Ensenada tiene terraplenes muy altos en estas zonas de depósitos de talud entre los contrafuertes o "dedos" de la formación costera; en algunos casos terraplenes de más de 20 m. Este hecho activó muchas de las superficies de falla previamente existentes, de manera que los movimientos que antes eran imperceptibles o nulos, se hicieron notables y pusieron en peligro la función de la estructura.

Es lógico pensar que si existe una formación más resistente debajo de los depósitos de talud, el contacto entre ambas formaciones es un lugar propicio para que se produzcan estas superficies de falla formadas por deformación acumulativa. También es lógico afirmar que si el agua llega a los materiales de la superficie de falla, se propiciará el aumento del movimiento.

Intentar la solución de los movimientos de estas inmensas masas deslizantes, que en algunos casos son de 300 m. de longitud, 150 m. de anchura y

positos. Some have taken the form of veritable landslides and their traces are clearly visible today in the characteristic amphitheatres, which reveal the head of the original failure and a promontory reaching out seawards, the product of the landslide itself. However, in other cases in which large earth masses are involved, rather than a landslide a significant deformation in the mass of the lower slope occurs. This deformation may be considerable enough to allow a slip surface to develop associated with the rupture of the soils; the slip mass is so great and the restrictions upon slipping (the product of the heterogeneity of the materials and the irregular configuration of the most resistant strata supporting the talus deposits) are so important that the catastrophic landslide fails to materialize.

Such a mechanism leaves us today with a great mass of talus deposits, with a defined failure surface, slowly moving downhill. It is this that is denominated in this paper as an old failure surface. Since it is common to build highways across slopes where such a phenomenon as that described may be generated, it may be supposed that these old failure surfaces are a more significant factor in highway stability problems than has been thought hitherto. The experience of engineers of the Ministry of Public Works in this country suggests to them that a considerable percentage of slips and landslides along highways are the consequence of the activation of old slip surfaces.

Due to its demanding specifications, the Tijuana-Ensenada toll-road, required very high embankments precisely across the zone of talus deposits between the buttresses or "fingers" of the coastal formation; their height reaching 20 m in some cases. This fact led to the activation of the existent slip surfaces so that movements which were either imperceptible or nil were augmented to the point of endangering the function of the structure.

It is logical to assume that if more resistant formations underlie the talus deposits, the contact between them is a likely place for the development of these failure surfaces with their origin in accumulative deformation. It is equally logical to accept that if water reaches the slip surface an increase in movement is likely.

To develop a solution to the problem of these immense movements (in some cases the slip masses are 300 m long, 150 m wide and 30 m deep) is by no

30 m. de espesor, no es tarea fácil y, desde luego, no puede aspirarse a detener el movimiento si, primeramente, no se conoce éste con bastante detalle, es decir, la determinación del mecanismo cinemático de las fallas es un prerequisite indispensable para intentar corregirlas.

1.3 EXPLORACIONES, MEDICIONES E INSTRUMENTACION.

Para el estudio de los deslizamientos se programaron exploraciones y mediciones cuyo criterio general es el descrito en este inciso y con mayor detalle en los capítulos correspondientes a cada deslizamiento.

Los trabajos de campo fueron enfocados hacia la obtención de los siguientes datos:

- a) Topografía de las masas en movimiento.
- b) Dirección y magnitud de los desplazamientos superficiales.
- c) Características geológicas.
- d) Forma y profundidad de las superficies de deslizamiento.
- e) Condiciones hidráulicas del subsuelo.

La programación de estos trabajos se basó en la interpretación de las fotografías aéreas, tomadas por la Secretaría de Obras Públicas después de construir el camino, y en inspecciones previas.

Los trabajos de campo se iniciaron en agosto de 1967, en los deslizamientos de los kilómetros 15+200 y 15+500, por ser éstos en aquel tiempo los más alarmantes. Más tarde el programa se extendió a otros.

1.3.1. Topografía de las masas deslizantes.

Las dimensiones en planta de cada deslizamiento se determinaron directamente en el lugar según la trayectoria de las grietas perimetrales, auxiliándose de la geología superficial y de las plantas configuradas obtenidas de las fotografías aéreas. En aquellos casos en que la trayectoria de las grietas no era clara, el área se corrigió con base en los desplazamientos medidos en los puntos de control superficiales.

Una vez conocidas las dimensiones del área y la dirección del movimiento (esta última estimada por la forma de las áreas y de las fotografías aéreas), se trazaron líneas de puntos de control en la superficie,

means easy and, of course, one cannot hope to halt the movement unless the phenomenon is not understood in all its detail; that is, the definition of the kinematic mechanism of these failures is an indispensable prerequisite for their correction.

1.3. EXPLORATIONS, MEASUREMENTS AND INSTRUMENTATION.

To further the study of the slips a programme of explorations and measurements was developed, the general criterion being described in this section while more detailed accounts are given in the chapters devoted to each slip.

Field studies were designed to establish the following data:

- a) Topography of the masses in movement.
- b) Direction and magnitude of surface displacements.
- c) Geological characteristics.
- d) Form and depth of the slip surfaces.
- e) Hydraulic conditions of the subsoil.

The programming of these studies was based upon the interpretation of aerial photographs provided by the Ministry of Public Works, taken subsequent to the construction of the highway, as well as upon previous inspections.

Field studies were begun at the slips at km. 15+200 and 15+500 in August 1967, since they were the most alarming at that time. The programme was subsequently extended to the others.

1.3.1. Topography of the Slip Masses.

The dimensions of each slip in plan were determined directly at the site, tracing the peripheral cracks and making use both of surface geology and the plane configurations derived from the aerial photographs. Wherever the line of peripheral cracks lacked clear definition, the plan was corrected by reference to the displacements observed at the surface control points.

Once the dimensions of each area and the direction of the movements had been established, the latter estimated by reference to the form of the areas and to the aerial photographs, lines of surface control

convenientemente distribuidos, sobre los cuales se harían exploraciones y mediciones. Para esto fue necesario conocer los perfiles del terreno en líneas sensiblemente paralelas a la dirección del movimiento.

1.3.2. Magnitud y dirección de los desplazamientos superficiales.

En los puntos elegidos según se indicó, se han venido midiendo los desplazamientos horizontales y verticales; los primeros están referidos a líneas de colimación cuyos puntos extremos quedaron localizados en terreno firme, fuera de los deslizamientos. Los desplazamientos verticales se determinaron por nivelaciones directas de cada uno de los puntos respecto a los mismos bancos fijos que se utilizaron durante la construcción del camino cuya elevación está referida al nivel medio del mar ($N=0.000$).

En el caso de los desplazamientos horizontales convenía que las líneas de observación fuesen perpendiculares a la dirección del desplazamiento, con objeto de que la única componente medida se aproximara a la magnitud real. Esto se logró en casi la totalidad de los casos, excepto en aquellos donde la topografía del terreno no lo permitió. Originalmente se analizó la posibilidad de emplear el método de intersecciones angulares; sin embargo, por lo accidentado del terreno y la lejanía a los puntos de referencia, fue desechado por ofrecer menor precisión que el método de las líneas de colimación.

Detalle de procedimiento de medición topográfica.

Una vez fijadas las líneas de colimación se eligen unos puntos fijos fuera de la zona que se supone en movimiento, con objeto de poder rehacer la línea de observación en cualquier momento. Los puntos fijos se colocan en cada extremo de la línea elegida, siempre que los accidentes topográficos lo permitan; cuando no es factible hacerlo, los puntos fijos se eligen en el extremo de la línea que reúna buenas condiciones de accesibilidad.

El primer caso mencionado en el párrafo anterior pudo realizarse en la mayor parte de las líneas de puntos de control, y los puntos fijos se colocaron en aquellas zonas que se supuso de antemano no estaban sujetas a ningún movimiento, como eran los contrafuertes de lutita, que en general se localizaban a ambos lados de los deslizamientos.

Los puntos en los que se realizaban las mediciones de los desplazamientos horizontales, se procuraba alojarlos sobre la línea definida por los puntos fijos.

points, conveniently distributed, were selected at which explorations and measurements would be effected. To establish these points, a knowledge of the profiles of the mass along lines reasonably parallel to the axis of the movement was required.

1.3.2. Direction and Magnitude of Surface Displacements.

At each point selected as described above, both horizontal and vertical displacements have been measured. Horizontal displacements are referred to collimation lines, the extremes of which rest upon fixed points outside the slip zone. Vertical displacements are determined by the direct levelling of each point with respect to bench marks used in the construction of the highway and referred to Mean Sea Level ($N=0.000$).

As regards the horizontal displacements, it was convenient to establish the lines of observation perpendicular to the axis of displacement so that the only component measured might approximate the true magnitude. This was achieved in almost every case, aside from those where the topography forbade this. Originally the possibility of using the method of angular intersections was considered, but the irregular topography and the distance of the points of reference led to its rejection on the grounds that it was less precise than the method utilizing collimation lines.

Detail of topographic measurements procedure.

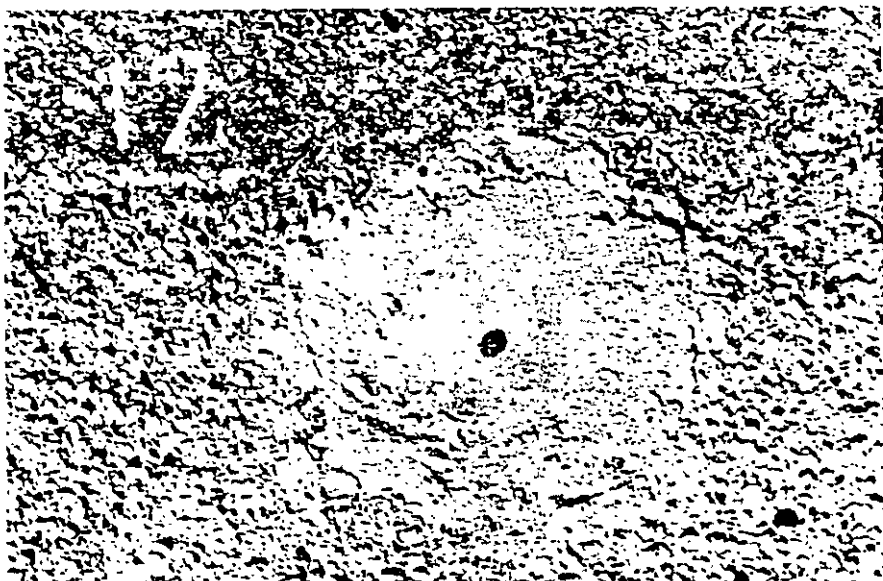
Once the collimation lines are established, fixed points outside the zone assume to be in movement are selected so that any line of observation may be modified at any given moment. These fixed points lie at the extremes of each selected line, providing that the topography allows this; when it does not the points are fixed at that extreme from which visibility is better.

Generally, the lines of observation could in fact be run between fixed points sited in zones where movement was assumed to be in-existent, such as those comprising the clayshale buttresses, which are normally localized to each side of the slips.

The points at which measurements of horizontal displacements are taken are sited along the line defined by the fixed points.

Físicamente esos puntos están constituidos de la siguiente forma: en una perforación de pequeño diámetro, unos 15 cm., y profundidad de 30 cm., aproximadamente, se coloca una varilla metálica de tipo convencional y se rellena la perforación con un mortero de cemento (Fig. 1.6). Una vez que ha fraguado el mortero, se hace una lectura para referir el punto a la línea de colimación.

Physically the points are established by drilling a shallow (30 cm approx.), small diameter (15 cm approx.) hole within which a standard reinforcing rod is set, held by a cement mortar (Fig. 1.6). Once the mortar has set a reading is taken to refer the point to the collimation line.



*Fig. 1.6 Fotografía que muestra uno de los puntos de control.
Photograph showing one of the control points.*

Al hacer una medición, en primer lugar se reconstituye la línea de colimación y después se establece la posición de cada punto móvil respecto a dicha línea.

When a measurement is made, the line of collimation is first reconstituted and then the position of each mobile point is referred to the line.

1.3.3. Características geológicas.

Además de los datos aportados por la geología superficial, se hicieron exploraciones para determinar la estratigrafía y naturaleza de los materiales en varios puntos de las masas deslizantes. El número de los sondeos dependió principalmente de la magnitud y forma de las áreas. En todos los casos, los sondeos quedaron localizados en una o más líneas paralelas a la dirección del movimiento con objeto de tener perfiles adecuados para realizar en ellos el análisis de estabilidad. Una de las líneas se hizo coincidir con el eje de simetría del deslizamiento.

En las exploraciones se determinó el espesor de los depósitos de talud y el contacto entre los diferentes materiales, colectando muestras para su identificación.

1.3.3. Geological Characteristics.

To complement the data derived from the surface geology, explorations were carried out to determine the stratigraphy and nature of the materials at various points in each slip-mass. The number of bore-holes depended mainly upon the magnitude and form of each area. In all cases, the bore-holes were sited along one or more lines running parallel to the axis of movement, to obtain profiles that could be used as the basis of a stability analysis. One of the lines was run to coincide with the symmetrical axis of the slip.

During the explorations the depth of the talus deposits and the contact between the different materials were determined and samples for identification extracted.

En relación con las propiedades mecánicas de los materiales, específicamente por lo que a resistencia al corte se refiere, se consideró de escasa utilidad el obtener muestras inalteradas de los depósitos de talud, así como de las rocas sedimentarias, ya que ninguno de estos materiales es representativo del fenómeno que produce el deslizamiento. La superficie de deslizamiento en general se aloja en los contactos de los depósitos de talud con las lutitas, o en estratos delgados de lutitas estratificadas con areniscas. Por estas razones, se ha considerado que la resistencia al corte más próxima a la real, es el valor medio obtenido de un análisis de estabilidad (FS=1), hecho con base en un buen conocimiento de la geometría de la masa en movimiento. Se pensó que sólo la resistencia residual (Skempton, Ref. 8), en la superficie de falla podría servir para cuantificar el riesgo de deslizamiento y los factores de seguridad.

En todos los casos el valor de la resistencia al corte residual se estimó a partir de métodos analíticos, según se describe después. Sin embargo, con objeto de ratificar los datos así obtenidos, de aquellos lugares donde la superficie de deslizamiento afloró, se tomaron muestras cúbicas inalteradas de las cuales se labraron probetas para ensayarlas en laboratorio, sometiéndolas a pruebas de corte directo.

La estratigrafía existente en cada sitio, así como algunas propiedades del subsuelo, se describen para cada falla en particular en los capítulos correspondientes.

1.3.4. Forma y profundidad de las superficies de deslizamiento.

Con objeto de conocer la forma de la superficie de deslizamiento, se eligieron puntos de exploración y observación sobre líneas paralelas a la dirección del movimiento, coincidiendo una con el eje de geometría del área. En cada uno de estos puntos, además de hacer exploraciones para conocer las características geológicas, se instalaron instrumentos para determinar las deformaciones horizontales de la masa y para detectar la profundidad de la superficie de deslizamiento.

El instrumento elegido fue el inclinómetro tipo Slope Indicator (Ref. 6). Sin embargo, en algunos puntos se instalaron tubos en perforaciones de diámetro reducido, como complemento de los primeros. En la Fig. 1.7 se muestra el inclinómetro completo, consistente en un torpedo indicador de pendientes, una caja de controles, cable de conexión y una tubería de aluminio.

As regards the mechanical properties of the materials, and specifically shearing strength, it was considered of little importance to obtain undisturbed samples of the talus deposits or of the sedimentary rocks, since neither of these materials is representative of the phenomenon that causes the slip. The slip surface is generally located at the contacts between the talus deposits and the clayshales or thin layers of clayshales interstratified with sandstones. This led to the conclusion that the value for shear strength closest to the real value would be the mean value derived from a stability analysis (FS=1), carried out upon the basis of an adequate knowledge of the geometry of the mass in movement. It was thought that only the residual strength (Skempton, Ref. 8.) at the slip surface would allow the quantification of the slip hazard and the safety factors.

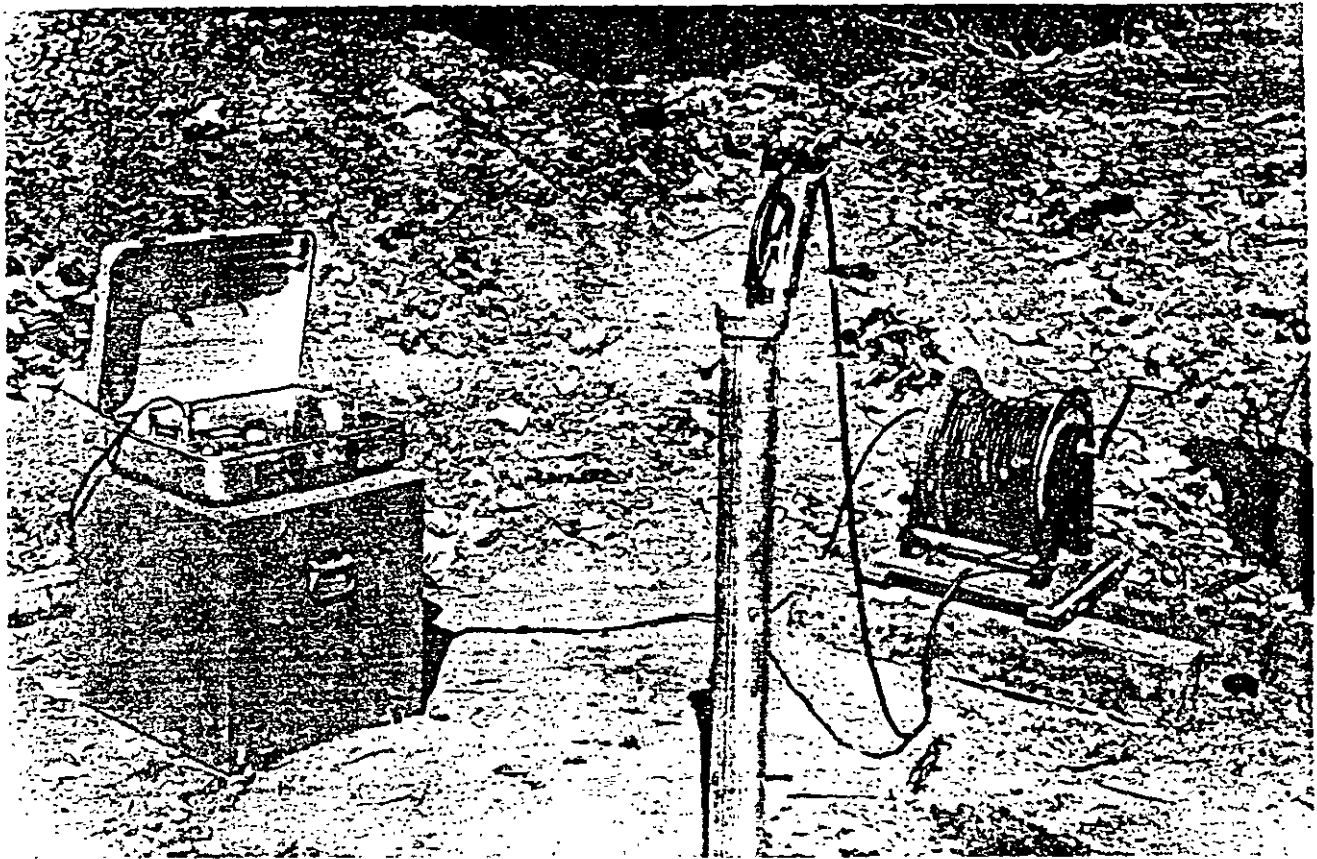
In all cases residual shear strength was calculated by the analytical methods described below. However, to confirm the data thus obtained, undisturbed cubic samples were extracted wherever the slip surface broke surface for laboratory examination, during which they were subjected to direct shearing tests.

The stratigraphy at each site, together with certain properties of the subsoil, is described in the chapters which deal with each individual slip.

1.3.4. Form and Depth of the Slip Surfaces.

In order to determine the form of the slip surface, points of observation and exploration were fixed along lines running parallel to the direction of movement, one of which coincided with the geometrical axis of the area. At each point, the explorations designed to establish the geological characteristics were complemented by the installation of instruments which would determine the horizontal deformations of the mass and the depth of the slip surface.

The instrument chosen was the Slope Indicator type inclinometer (Ref. 6). However, at certain points tubes were installed in small diameter bore-holes to complement the latter. Fig. 1.7 shows the complete inclinometer, comprising a slope indicating torpedo, control box, connecting cable and aluminum tubing.



*Fig. 1.7 Fotografía que muestra el inclinómetro tipo slope-indicator.
Photograph showing slope-indicator type Inclinometer.*

El torpedo se introduce periódicamente en la tubería de aluminio (formada por tramos de longitud de 1.52 m. y diámetro interior de 7.6 cm.), que atraviesa la masa deslizante y se supone anclada en su extremo inferior en material firme; se hacen lecturas a elevaciones prefijadas, usualmente tres en cada tramo de tubo. La sección del tubo, de aluminio extruido, tiene cuatro ranuras longitudinales que definen dos planos perpendiculares entre sí.

El indicador de pendientes es básicamente un puente de Wheastone activado por un péndulo eléctrico. El péndulo, que pivotea un cojinete de bolas, está encerrado en un cilindro de latón a prueba de agua. La punta del péndulo hace contacto con una resistencia en forma de arco de círculo y la divide en dos resistencias que forman una mitad del puente de Wheastone; la otra mitad, incluyendo el potenciámetro de precisión, resistencias, switches y baterías, está alojada en la caja de control. El conjunto está diseñado para que la componente de la inclinación en el plano definido por las cuatro ruedas del instrumento, sea proporcional a la lectura del potenciámetro, cuando el circuito está balanceado.

El proceso de tomar lecturas se efectúa en ranuras opuestas; a cada profundidad, la inclinación θ de la tubería con respecto a la vertical, puede ser expresada como una función de la diferencia de lecturas, es decir:

The torpedo is introduced periodically within the aluminum tubing, which is made up of 1.52 m long sections with an interior diameter of 7.6 cm. The tubing runs through the slip mass and is anchored in unmoving material below. Readings are made at pre-established elevations, usually three in each length of tubing. In section, the extruded aluminum tube is cut by four longitudinal slots that define two perpendicular planes.

The slope indicator is basically a Wheastone Bridge activated by an electric pendulum. The pendulum, which pivots upon a ball bearing, is enclosed within a waterproof brass cylinder. The point of the pendulum makes contact with a resistance in the form of an arc, dividing it into two resistances that constitute one half of the bridge. The other half of the bridge, including the precision potentiometer, resistances, switches and batteries, is inside the control box. The apparatus is so designed that the component of inclination in the plane defined by the four wheels of the instrument is proportionate to the potentiometer reading when the circuit is balanced.

Readings are made in opposite slots; at each depth, the inclination of the tubing to the vertical may be expressed as a function of the difference between readings, that is:

$$\tan \varnothing = \frac{D_N - D_S}{2K}; \text{ o bien } \frac{D_E - D_W}{2K}$$

donde:

D_N = lectura en la ranura norte.

D_S = lectura en la ranura sur.

K = constante que depende de las características del torpedo y puente de Wheastone.

Cualquier cambio en la inclinación a una profundidad dada, produce un cambio en la diferencia de lecturas.

$$\Delta \text{ lecturas} = (D_N - D_S) \text{ inicial} - (D_N - D_S) \text{ final}$$

y el cambio en inclinación puede ser expresado como:

$$\Delta \tan \varnothing = \frac{\Delta \text{ lectura}}{2K}$$

Para calcular los desplazamientos horizontales en cada intervalo de profundidad entre lecturas se tiene:

$$\Delta M = L(\Delta \tan \varnothing) = C(\Delta \text{ lectura})$$

ΔM = desplazamiento horizontal en cada intervalo de profundidad.

L = distancia vertical entre lecturas sucesivas.

$$C = \frac{L}{2K}$$

Entonces el desplazamiento horizontal en cualquier punto, a partir del fondo, que se supone fijo, es:

$$M = \Sigma \Delta M$$

y en el caso en que la distancia vertical entre lecturas sucesivas sea constante

$$M = C \Sigma \Delta \text{ lecturas}$$

$$\tan \varnothing = \frac{D_N - D_S}{2K} \text{ or } \frac{D_E - D_W}{2K}$$

where:

D_N = Northern slot reading.

D_S = Southern slot reading.

K = constant dependent upon the characteristics of the torpedo and the bridge.

Any change in the inclination at a given depth causes a change in the difference between readings.

$$\Delta \text{ readings} = (D_N - D_S) \text{ initial} - (D_N - D_S) \text{ final}$$

and the change in inclination may be expressed:

$$\Delta \tan \varnothing = \frac{\Delta \text{ lecture}}{2K}$$

To calculate horizontal displacements at each interval of depth between readings.

$$\Delta M = L(\Delta \tan \varnothing) = C(\Delta \text{ lecture})$$

ΔM = horizontal displacement at each interval of depth.

L = vertical distance between successive readings.

$$C = \frac{L}{2K}$$

Thus the horizontal displacement at any point, by reference to the bottom, which is assumed to be fixed, is:

$$M = \Sigma \Delta M$$

and in the case of constant vertical distance between

$$M = C \Sigma \Delta \text{ lectures}$$

Las lecturas registradas en el campo se transcriben directamente a una planilla de cálculo, en la que se obtienen los cambios de diferencias de lecturas con respecto a las iniciales y los desplazamientos horizontales acumulados a partir del fondo. Con el propósito de graficar los desplazamientos horizontales, la primera lectura después de instalar la tubería, sirve como referencia a las siguientes y se representa en las gráficas con una línea vertical, no siendo precisamente esta posición la original de la tubería.

La longitud de los inclinómetros siempre fue mayor que la profundidad a la que se encontraron las rocas sedimentarias sanas, tomando como base los resultados de los sondeos. Los tubos de aluminio quedaron alojados en perforaciones de 14 cm. ($5\frac{1}{2}$ "") de diámetro, empacados con arena limpia bien graduada, con el fin de poder utilizarlos como puntos de observación del nivel del agua.

Respecto a las ranuras de los tubos de aluminio, conviene aclarar que se orientaron según direcciones arbitrarias. En general, la dirección nombrada NS es paralela al eje del camino en la zona de falla, correspondiendo la N al sentido hacia Tijuana.

Las observaciones realizadas con los inclinómetros se presentan en las gráficas de desplazamientos horizontales, incluidas en los capítulos II a X. Aunque en ellas se nota claramente la profundidad de la superficie de deslizamiento, ésta se verificó con las gráficas de diferencias de lecturas, las cuales no están incluidas en este trabajo.

En las gráficas correspondientes a cada inclinómetro están anotados el número de observaciones, fecha de obturación y la elevación de la superficie.

El número total de inclinómetros instalados fue de 82, variando su longitud entre 23 y 65 m. De los inclinómetros que aún permanecen abiertos, el 14 del kilómetro 12+360, el IU 8 del kilómetro 15+200 y los IA4 e IP1 del kilómetro 15+500, fueron instalados hace más de cinco años.

1.3.5. Condiciones hidráulicas del subsuelo.

Cuando fueron realizadas las primeras exploraciones del subsuelo (kilómetros 19+300 y 20+500), se tuvo una idea más clara de la influencia que ejerce el agua en los deslizamientos. Los pozos a cielo abierto excavados hasta 35 m., en el kilómetro 19+300, revelaron la existencia de un nivel de agua bien definido y estabilizado arriba de la superficie de deslizamiento.

Field readings are transcribed directly upon a calculus graph, which gives changes in differences between readings referred to the initial readings and accumulated horizontal displacements by reference to the bottom. To indicate horizontal displacements graphically, the first reading after the installation of the tubing is taken as the reference and is drawn as a vertical line whether this represents the original angle of the tubing or not.

The length of the inclinometers was invariably greater than the depth at which sound sedimentary rocks were found in the bore-holes. The aluminum tubing was introduced into bore-holes approximately 5.5 in. in diameter, packed out with well graded, clean sand, which allowed the bore-holes to be used as observation points to determine the ground water.

As regards the slots in the aluminum tubes, it is worth mentioning that were orientated arbitrarily; the direction named NS generally ran parallel to the axis of the highway at the failure zone, N corresponding to the direction of Tijuana.

The observations carried out with the inclinometers are presented in the horizontal displacement charts. Although the depth of the slip surface may be clearly observed on the charts, the depth was in fact verified by reference to the differential readings chart, not appended to this paper.

The number of observations, date of choking and surface elevation are shown on the individual displacement charts.

The number of inclinometers installed totalled 82, their length ranging from 23 to 65 m. Of those as yet unchoked, 14 at km. 12+360, IU 8 at km. 15+200, and IA4 and IP1 at km. 15+500 were installed more than five years ago.

1.3.5. Hydraulic Conditions of the Subsoil.

When the first explorations of the subsoil were carried out at km. 19+300 and 20+500, a clearer idea was obtained of the influence exerted upon the slips by the presence of water. The open pits sunk to 35 m at km 19+300, revealed the existence of a well-defined and fully stabilized watertable above the slip surface.

En los estudios que se realizaron, se previeron las medidas necesarias para valuar las presiones del agua en la superficie de falla. Con tal fin, se observó periódicamente la elevación del nivel del agua en cada una de las tuberías de los inclinómetros ya que, además de estar rodeadas de arena, permiten el paso de agua a través de sus coples.

Inmediatamente después de instalados los inclinómetros, se abatió el nivel del agua en su interior, observándose su recuperación para tener la seguridad de que una vez establecido, representara el nivel de agua en ese punto.

Para medir la presión en exceso a la hidrostática, se instalaron dos estaciones piezométricas en puntos del kilómetro 15+500. Cada una de estas estaciones consta de dos piezómetros tipo Casagrande, y de ellas la del punto C4 (Fig. III.4) cerca del inclinómetro IC4, sigue aún en observación.

Los datos obtenidos indican que la presión del agua en exceso de la hidrostática es relativamente pequeña; el nivel de agua en los piezómetros corresponde con el de los inclinómetros.

Otro efecto del agua, en estos casos quizá tan o más importante que el anterior, es el que se refiere a la presión hidrostática que se ejerce en las grietas del terreno (cuña hidráulica), que limitan a la superficie de deslizamiento. Este efecto es difícil de valuar y determinar directamente en el campo, ya que es un fenómeno rápido y transitorio que depende de la precipitación pluvial, del drenaje superficial y disipación de las presiones del agua infiltrada, además de las características de las grietas, tampoco fáciles de establecer.

1.4. CORRELACION ENTRE EL COMPORTAMIENTO DE LOS DESLIZAMIENTOS Y EL REGIMEN PLUVIOMETRICO REGIONAL.

Los datos compilados hasta la fecha, acusan una evidente relación entre las velocidades de desplazamiento horizontal y vertical y los ciclos de lluvia y estiaje. Este hecho ocurre en todas las fallas bajo observación. Cabe señalar que la precipitación media anual en la región, fluctúa entre 100 y 200 mm. El ciclo de lluvias comienza en esta región más o menos en noviembre, terminando en los meses de marzo o abril. En la Fig. 1.8 se ilustra la influencia de las lluvias en los movimientos; aparece un cierto desfaseamiento entre el fin de la época de lluvias y el aminoramiento de los movimientos. Esto sugiere que el flujo interno del agua y la gradual saturación de los suelos en la vecindad de las superficies de falla, tiene que

The studies carried out were designed to include the measurements required to evaluate water pressures at the failure surface. Thus the water level in each of the inclinometer tubes was observed periodically, since as well as being packed in sand water can freely pass their couplings.

Immediately after the installation of the inclinometers, the water level within them was reduced and its recuperation observed to ensure that once it stabilized it would represent the elevation of the water-table at this point.

To measure pressures in excess of the hydrostatic pressure, two piezometric stations were installed at observation points at km. 15+500. Each station comprised two Casagrande type piezometers. Of the two stations, that installed at C4 (Fig. III.4) close to inclinometer IC4, is still in operation.

The data so derived indicates that water pressure in excess of the hydrostatic pressure is relatively small; the water level in the piezometers corresponded to that observed in the inclinometers.

Another water effect, in this case as important or perhaps even more important than that mentioned above, is the hydrostatic pressure exerted in the cracks (hydraulic wedge) defining the slip surface. This effect is difficult to evaluate, since it is a rapid, transitory phenomenon dependent upon rainfall, surface drainage and the dissipation of the infiltrated water pressure, as well as upon the characteristics of the cracks themselves, something not easily established.

1.4. CORRELATION BETWEEN BEHAVIOUR OF THE SLIPS AND THE RAINFALL OF THE REGION.

The data compiled to date suggests an evident correlation between the velocities of horizontal and vertical displacements and the rainfall and pore-water cycles. This is true of all the failures under observation. It should be noted the mean annual rainfall for the region fluctuates between 100 and 200 mm. Fig. 1.8 illustrates these points. The rainy season begins about November and ends in March or April. Fig. 1.8 reveals the influence of rainfall upon the movements; a certain phase displacement is to be observed between the end of the rainy season and the reduction of movements. This suggests that the internal flow of water and the gradual saturation of the soils in the region of the failure surfaces are factors in the acce-

Originalmente, en las épocas tempranas de los estudios realizados, la resistencia al esfuerzo cortante se estimó como su valor medio en toda la superficie de falla, a partir de métodos analíticos. Por otro lado, tratándose de deslizamientos que ocurren a largo plazo y con desplazamientos grandes, el criterio de análisis de estabilidad adoptado, fue el de Skempton (Ref. 8), conforme a este criterio, la estabilidad depende de la resistencia al corte residual, a saber:

$$S_r = \sigma \tan \phi_r$$

donde:

S_r = resistencia al corte residual.

σ = esfuerzo normal efectivo.

ϕ_r = ángulo de resistencia residual al esfuerzo cortante.

Aceptando este criterio y que el factor de seguridad en aquel momento era igual a la unidad, fue posible calcular la resistencia al corte medio a lo largo de las superficies de deslizamiento. El método de análisis empleado, fue el de dovelas.

Las fuerzas actuantes tomadas en cuenta, fueron el peso de la masa deslizante y las fuerzas de filtración ejercidas en las dovelas sumergidas. El primero se calculó con un valor promedio del peso volumétrico total de 1.8 ton/m³.

Debe agregarse que las fuerzas de filtración son pequeñas, debido a que el gradiente hidráulico en la parte sumergida de las masas deslizantes es reducido.

Es importante mencionar que en los análisis realizados se trató el problema como bidimensional, considerando la superficie de falla definida en la sección central del deslizamiento. Esta hipótesis dista de cumplirse, sobre todo en el caso de la falla del kilómetro 16 ÷ 800, que es particularmente alargada; sin embargo, no se consideró justificado un estudio tridimensional, más aún, si se considera que el error cometido al aplicar un análisis bidimensional está del lado de la seguridad.

A continuación se resumen los valores de ϕ_r , obtenidos del análisis en las secciones de los diversos deslizamientos, para la condición de equilibrio crítico, calculados de la suposición de $F_s = 1$ en todos los deslizamientos.

Originally, during the early stages of the studies, shear strength was estimated as a mean value for the whole failure surface by analytic methods. However, since long term slips involving very considerable displacements were being dealt with, the decision was taken to adopt Skempton's stability analysis criterion (Ref. 8). According to this criterion, stability is dependent upon residual shear strength, where:

$$S_r = \sigma \tan \phi_r$$

S_r = residual shear strength.

σ = normal effective stress.

ϕ_r = angle of residual shear strength.

Accepting this criterion and that the safety factor at the moment was equal to unity, it was possible to calculate the mean shear strength along the length of the slip surfaces. The archstone analytical method was employed.

The acting forces taken into consideration were the weight of the slip mass and the filtration forces exerted upon the submerged arch-stones. The former was calculated at an average value of total volumetric weight of 1.8 T/cu m.

It should be added that filtration forces are slight, since the hydraulic gradient in the submerged section of the slip mass is shallow.

It is important to clarify that in these analysis the problem was treated as bidimensional, taking into consideration the slip surface defined by the central section of the slip. This hypothesis was far from being satisfied, above all in the case of the failure at km. 16 ÷ 800, which is particularly elongated in form. However, a tridimensional study was not considered justified, especially when it is recalled that the error inherent in a bidimensional analysis redounds favourable upon the safety factor.

Below a summary is given of the values for ϕ_r obtained by the analysis of the sections of the different slips, for the condition of critical equilibrium (va calculated upon the assumption $F_s = 1$ for all slips).

Deslizamiento	Sección	ϕ_r
12+360	A	13.3°
	C	11.6°
15+050	central	13.2°
15+500	4	7.1°
	6	13.2°
16+000	central	15.9°
16+800	central	15.2°
20+415	central	20.6°

Con los datos así obtenidos, se procedió a revisar el incremento del factor de seguridad que analíticamente introducía cada una de las soluciones que se consideraron como apropiadas para la estabilización del deslizamiento en cuestión.

Cabe agregar que el factor de seguridad se definió como la relación entre los momentos resistentes y los actuantes.

En los anexos de los capítulos VII y IX, se ilustran, a modo de ejemplo, dos de los análisis de estabilidad realizados.

1.5.2. Investigación de la resistencia residual en el laboratorio.

En momentos posteriores del estudio, cuando se deseaba adquirir criterios de detalle para afinar las diferentes soluciones adoptadas, se juzgó conveniente intentar una investigación de laboratorio para definir los valores de la resistencia residual en las cercanías de las superficies de falla o en muestras que las contuviesen. De esta manera, se tendría también una muy sugestiva comparación entre los valores de ϕ_r obtenidos analíticamente, considerando un factor de seguridad unitario y los obtenidos con una investigación directa en el laboratorio.

En primer lugar se procedió a un cuidadoso muestreo, seleccionando lugares accesibles, pero representativos, en que se tuviera forma de labrar especímenes únicos de gran tamaño que contuviesen a la superficie de falla. Así, se obtuvieron muestras en los deslizamientos de los kilómetros 12+360 y 15+500.

La determinación de la resistencia residual en el laboratorio, no es un problema sencillo para el que existen técnicas estandarizadas preestablecidas. Por el contrario, la inevitable duración de las pruebas y

Slip	Section	ϕ_r
12+360	A	13.3°
	C	11.6°
15+050	central	13.2°
15+500	4	7.1°
	6	13.2°
16+000	central	15.9°
16+800	central	15.2°
20+415	central	20.6°

In the light of this data, the increase in the safety factor that would be introduced analytically by each of the solutions suggested as appropriate for the stabilization of the slip in question was studied.

It should be added that the safety factor was defined as the relationship between the resisting and acting moments.

In appendixes to Chapters VII and IX, two of the stability analyses carried out are given as examples.

1.5.2. Laboratory Investigation into residual Shear Strength.

Subsequent to the study, when it was hoped to establish more detailed criteria to refine the various solutions adopted, it was decided to undertake laboratory investigations to define the values of residual strength in the neighborhood of the failure surfaces and in representative samples. In this way a highly suggestive comparison could be made between the values of ϕ_r obtained analytically upon the assumption of a unitary safety factor and those derived from direct laboratory tests.

It was first necessary to undertake a careful sampling, selecting accessible, but representative, sites where it would be possible to cut out large cubic specimens contained within the failure surface. In this way samples were extracted from the slips at km. 12+360 and 15+500.

It is not a simple problem to determine residual strength in the laboratory for which pre-established standardized techniques exist. On the contrary, the inevitable duration of the tests and the margins of

los márgenes de precisión que han de mantenerse, plantea dificultades de laboratorio difíciles de superar. En vista de lo anterior, se decidió ejecutar pruebas de dos tipos. En primer lugar, una serie de pruebas directas, realizadas en un aparato de corte directo, haciendo que el espécimen recorriera alternativamente varias veces y en uno y otro sentido, un desplazamiento total prefijado, cuya velocidad fue lenta. En segundo lugar, se realizaron pruebas en un aparato grande de desplazamiento torsional, con especímenes anulares de gran tamaño. La descripción detallada de ambos tipos de prueba, se incluye por separado.

En las Figs. 1.9 y 1.10, se muestran las curvas esfuerzo-deformación, obtenidas en el aparato de corte directo para diferentes presiones normales, en las fallas de los kilómetros 12+360 y 15+500. En cada gráfica se ven por separado las trayectorias de desplazamiento en un sentido (generalmente en el

precision which must be maintained create problems not easily overcome. For these reasons, two types of test were decided upon. The first, direct tests, carried out by means of an apparatus for applying direct shear, in which the specimen is displaced in alternate directions a number of times a predetermined distance. The velocity of displacement was low. The second test was carried out, by means of a large apparatus for torsional displacement, on very large annular samples. The detailed descriptions of each type of test are appended to this paper.

The stress-strain curves obtained from the direct shear test for different normal pressures in the failures at km. 12+360 and 15+500 are shown in Figs. 1.9 and 1.10. In each chart the trajectories of displacement in one direction (generally that of the first displacement to which the sample was subjected) are shown

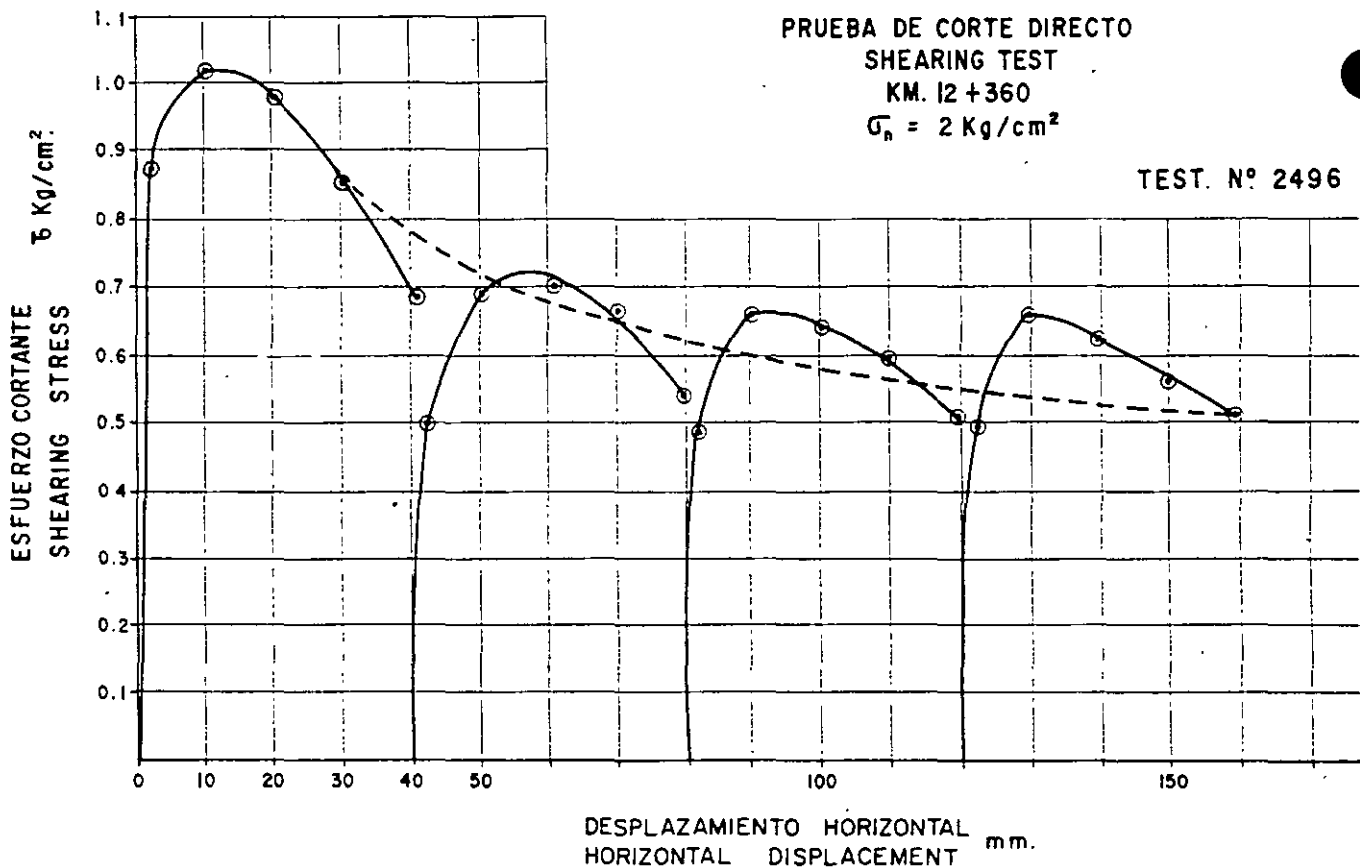


Fig. 1.9 Gráficas esfuerzo-deformación obtenidas en los ciclos de la prueba de corte directo. Km. 12+360. Stress-strain curves obtained from the direct shear test. Km. 12+360.

sentido del primer desplazamiento que se dio al espécimen). Las trayectorias de regreso a la posición inicial del espécimen, se hicieron también con cuidadoso control de laboratorio y realizando algunas lecturas, pero utilizando una velocidad de desplazamiento más grande.

separately. The return trajectories to the initial position of the sample were also carried out under careful laboratory control and some readings were taken, but the velocity of displacement was much higher.

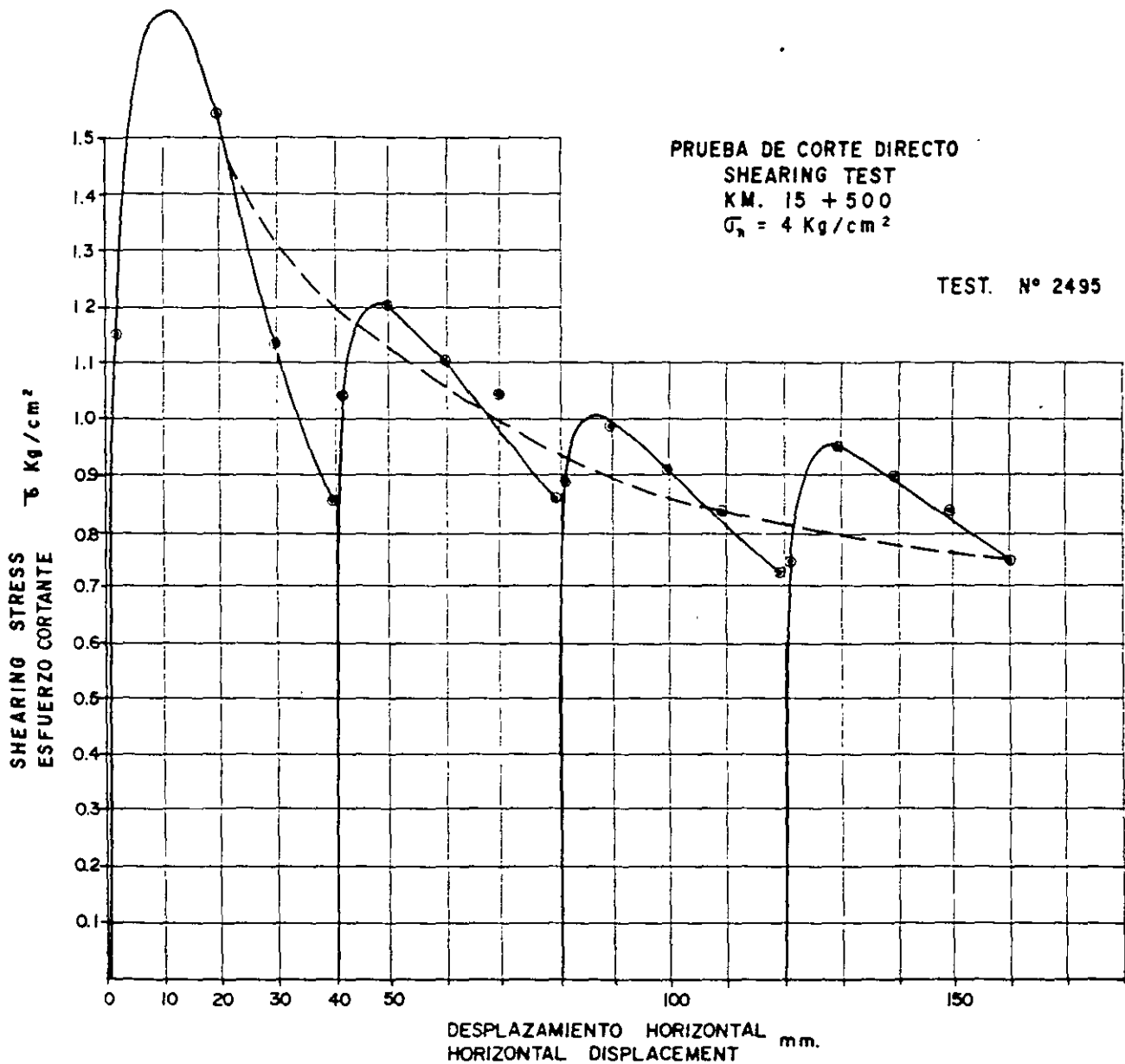


Fig. 1.10 Gráfica esfuerzo-deformación obtenida en prueba de corte directo. Km. 15+500.
Stress-strain curve obtained from the direct shear test. Km. 15+500.

CORTE DIRECTO POR TORSION
TORSION TEST
KM. 12 + 360
 $G_s = 1.82 \text{ Kg/cm}^2$

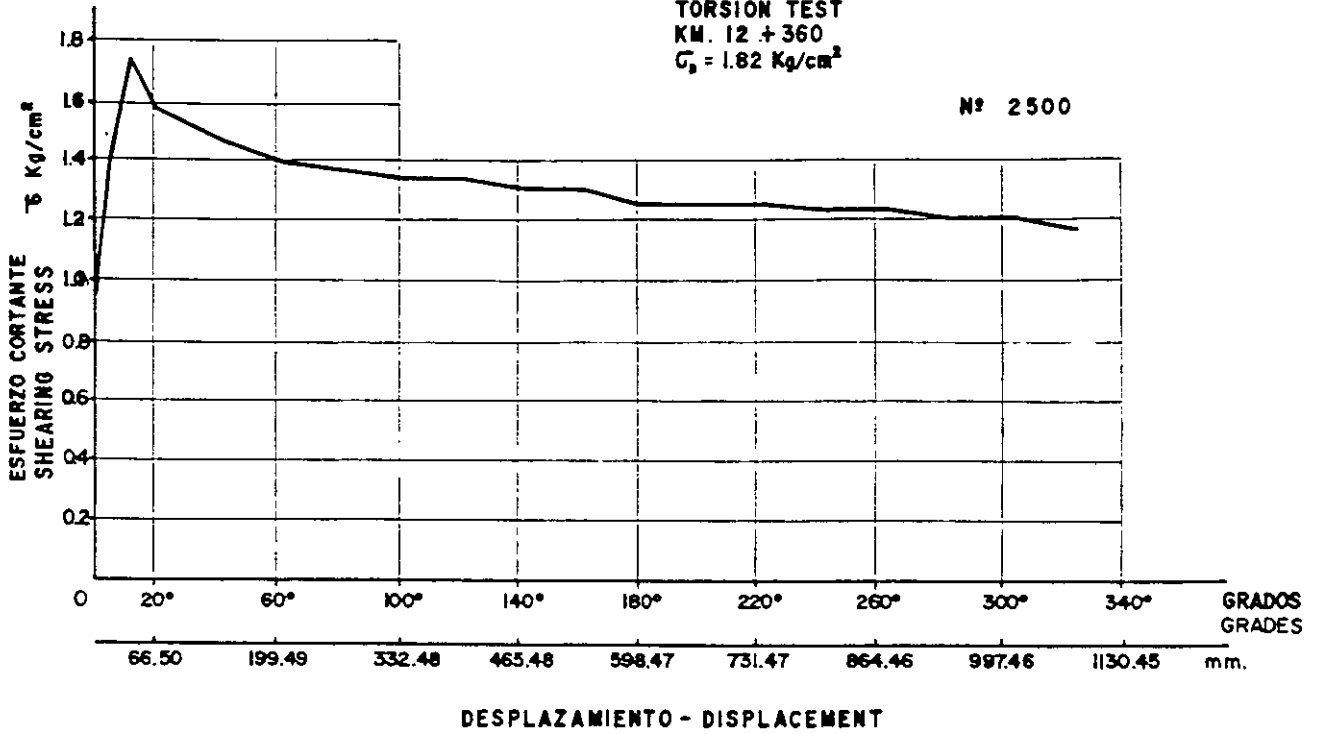


Fig. 1.11 Gráfica esfuerzo-deformación obtenida en la prueba de corte por torsión. Km. 12+360.
Stress-strain curve obtained from the torsion shear test. Km. 12+360.

CORTE DIRECTO POR TORSION
TORSION TEST
KM. 15 + 500
 $G_s = 1.09 \text{ Kg/cm}^2$

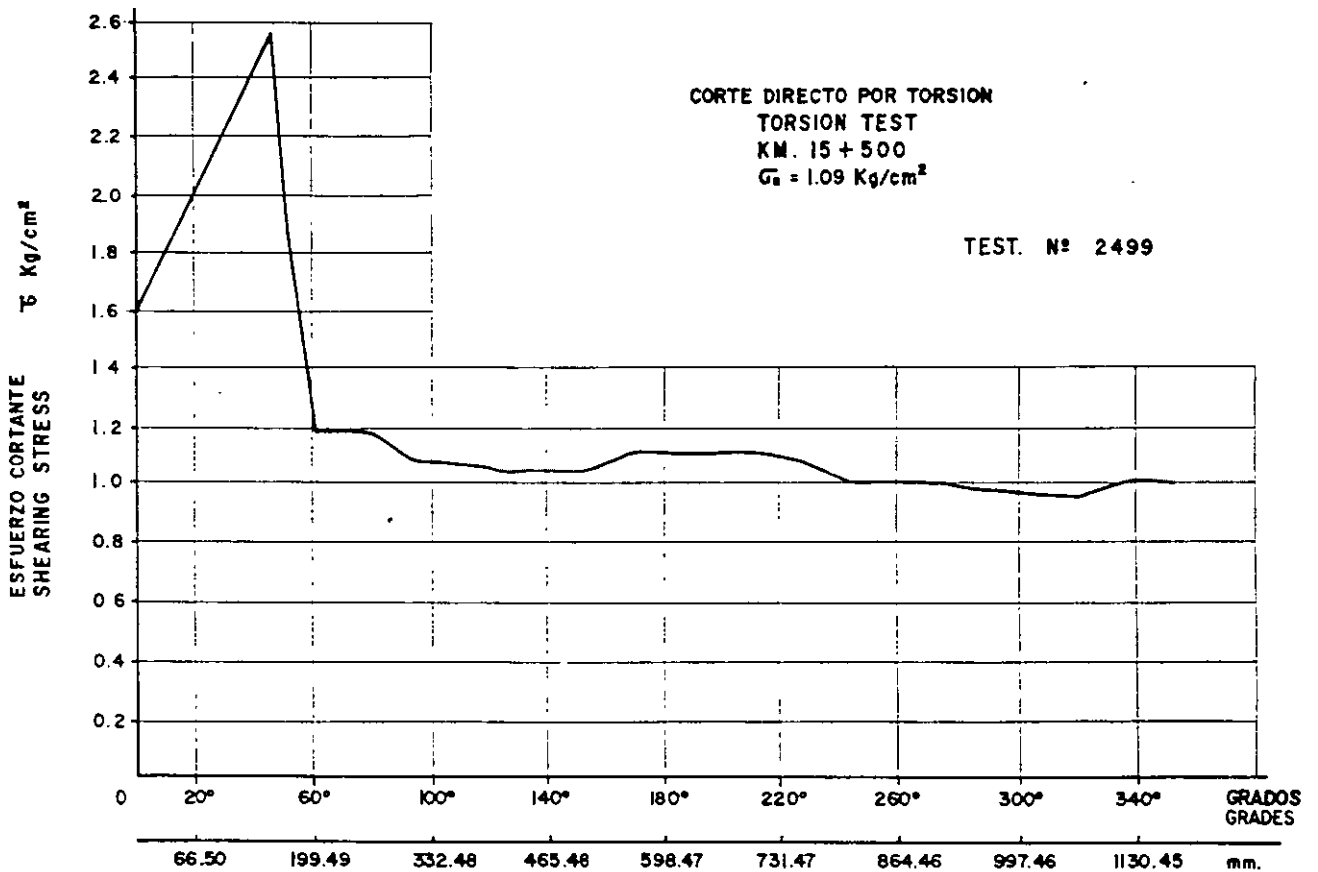


Fig. 1.12 Gráfica esfuerzo-deformación obtenida en la prueba de corte por torsión. Km. 15+500.
Stress-strain curve obtained from the torsion shear test. Km. 15+500.

Las Figs. 1.11 y 1.12 proporcionan la misma información para el caso de las pruebas realizadas en los aparatos de torsión. Dadas las características de este equipo, no fue posible variar mucho el esfuerzo normal confinante utilizado en las pruebas, el cual osciló entre un máximo de 1.4 kg/cm² y un mínimo de 0.5 kg/cm². Las curvas mostradas pueden considerarse plenamente representativas del conjunto obtenido.

Figs. 1.11 and 1.12 offer the same information for the case of the tests carried out on the torsion apparatus. Given the characteristics of this equipment, it was not possible to vary the normal confining stress used in the tests very much; it oscillated between a maximum of 1.4 kg/sq cm and a minimum of 0.5 kg/sq cm. The curves shown may be considered fully representative of the set obtained.

La Tabla 1.1 y la Fig. 1.13 presentan los valores del ángulo de fricción residual a que fue posible llegar. En el último renglón de la Tabla, para fines comparativos se han incluido los valores del mismo, conceptos obtenidos por métodos analíticos, ya dados en una tabla anterior.

Table 1.1 and Fig. 1.13 presents the values for the angle of residual friction it proved possible to reach. At the foot of the table, the values for the same concept obtained by analytical methods are noted for purposes of comparison. The latter values also appear in an earlier table.

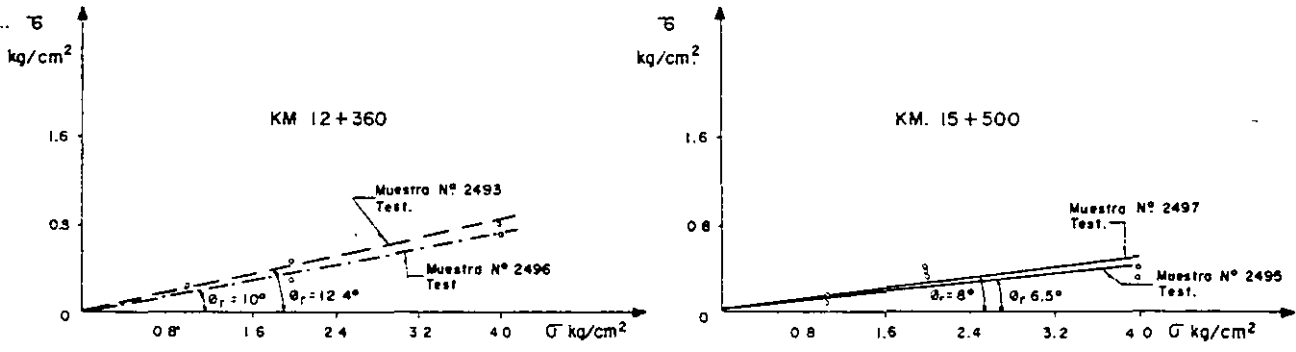


Fig. 1.13 Envolventes de Mohr obtenidas para las pruebas de corte directo.
Mohr envelopes obtained for direct shear tests.

TABLA 1.1
TABLE 1.1

Deslizamiento Slide Km.	ϕ_r laboratorio ϕ_r laboratory	ϕ_r calculado ϕ_r calculated
12+360	10°	11.6°
	12.4°	13.3°
15+500	6.5°	7.1°
	8°	

CAPITULO II
DESLIZAMIENTO EN EL KM. 12 +360
CHAPTER II
FAILURE AT KM. 12'+360

II.1. DESCRIPCION GENERAL.

Dadas las características geométricas de la autopista, este tramo se localizó muy cerca del mar, en una zona donde además existe una falla antigua, marcada por la línea discontinua (Fig. II.1).

II.1. GENERAL DESCRIPTION.

This section of the highway runs very close to the shoreline (Fig. II.1) across a zone where an old failure is to be observed, indicated by the broken line.

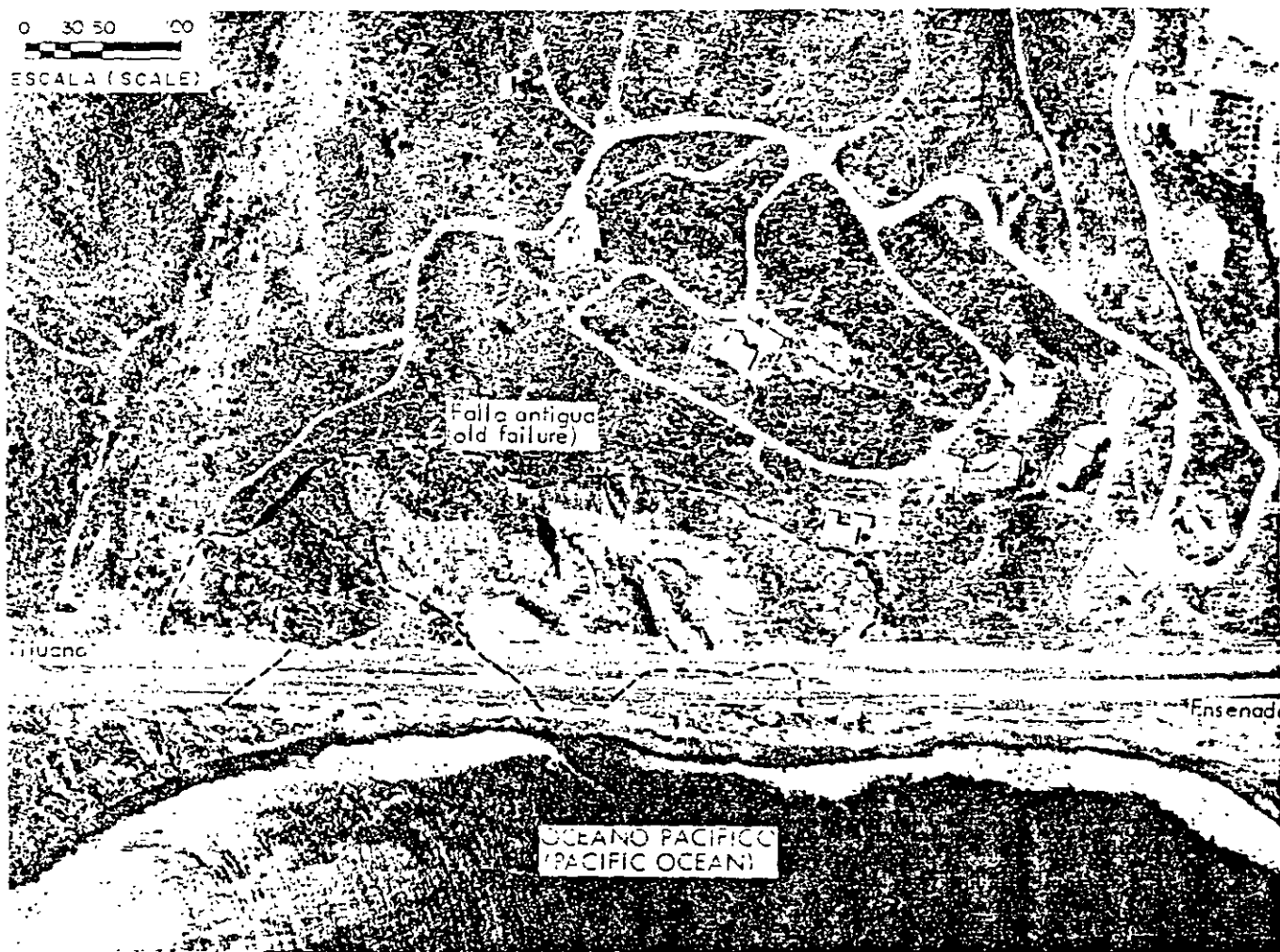


Fig. II.1 Vista aérea de la falla del km. 12+360.
Aerial view of failure at km. 12+360.

En la parte superior de la falla y atrás de ella, el terreno está cubierto por un derrame andesítico. Los materiales que se observan son depósitos de talud y bloques de arenisca con capas delgadas de lutita discontinuas debido a fallas verticales. (Fig. II.2).

The upper part of the failure and the area beyond is covered by an andesitic flow. The materials observed comprise talud deposits and blocks of sandstone with thin discontinuous clayshale strata. (Fig. II.2) broken by vertical faults.

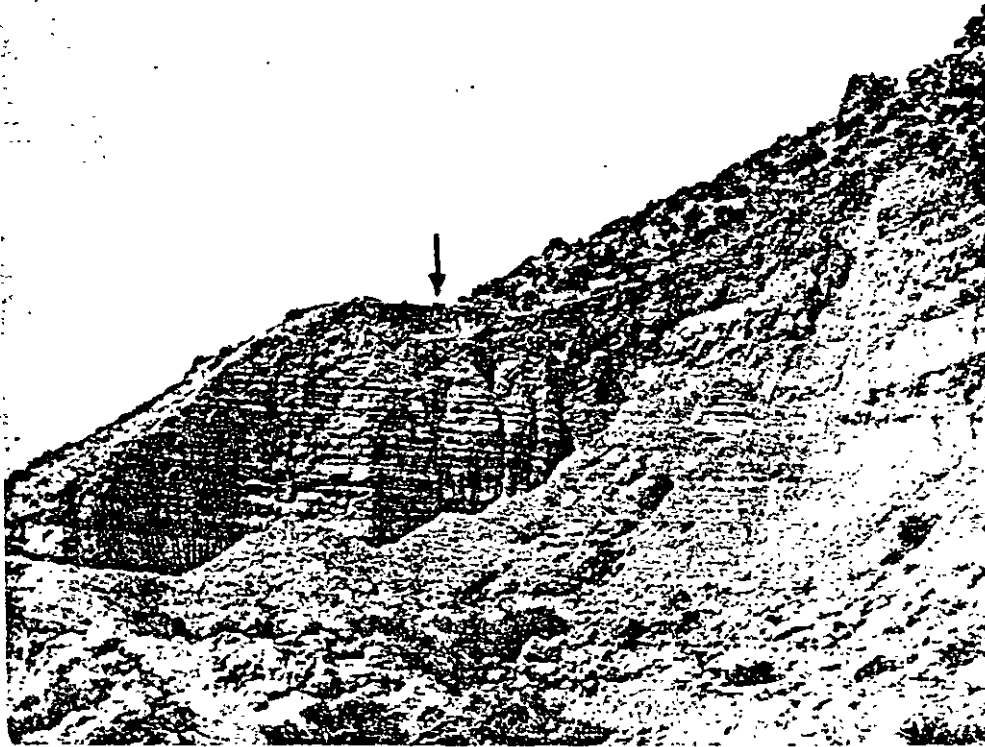


Fig. 11.2 Bloque tallado de areniscas y lutitas interestratificadas. Collapsed portion in sandstone and interstratified shale.

Debajo del terraplén que constituye el camino y subyaciendo a los depósitos de talud, se encuentran las rocas sedimentarias. La Fig. 11.3 es una vista del camino sobre la falla y la Fig. 11.4 muestra el contacto de los depósitos de talud con las rocas sedimentarias.

Underlying the earthwork of the highway and the talus deposits are sedimentary rocks. Fig. 11.3 shows the highway where it crosses the failure zone and Fig. 11.4 illustrates the contact between the talus deposits and the sedimentary rocks.

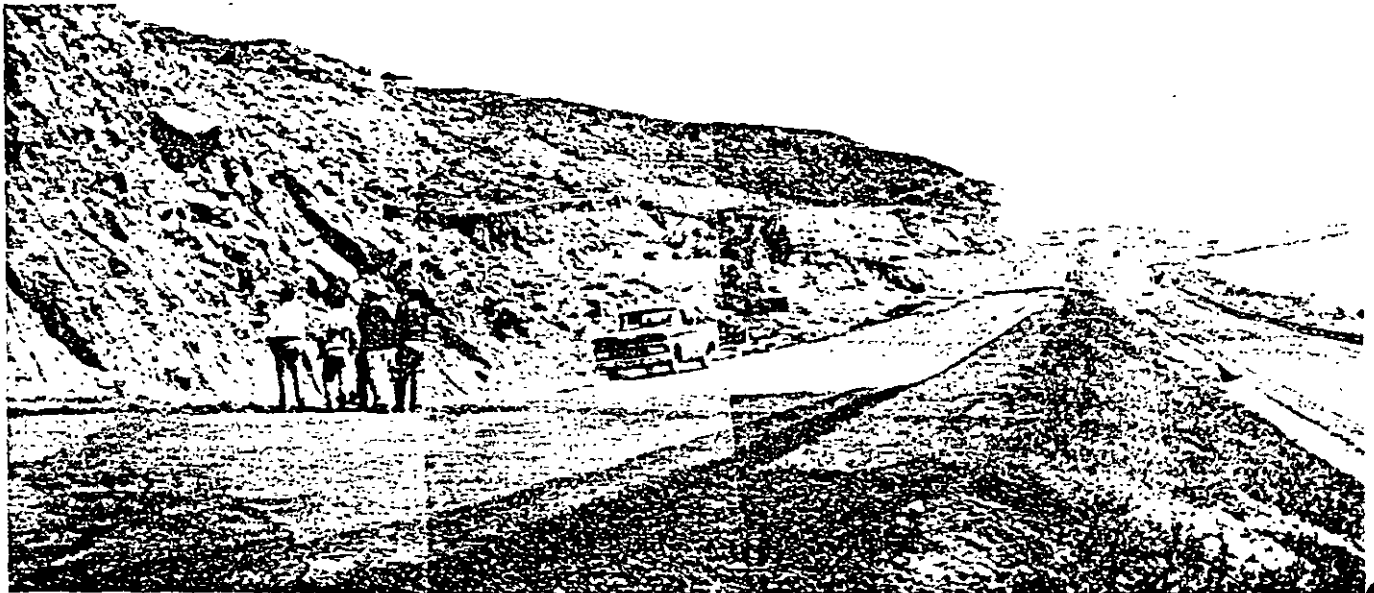


Fig. 11.3 Vista del camino hacia Ensenada. View of highway to Ensenada.



*Fig. 11.4 Corte de areniscas con lutitas interestratificadas y contacto con los depósitos de talud.
Cut of sandstone and interstratified shales and contact with talus.*

Para contener el terraplén se construyó originalmente un muro de mampostería entre el camino y el mar, de más de 7 m. de altura y desplantando 7 m. aproximadamente sobre el nivel medio del mar, en un lugar donde la erosión marina es muy intensa. (Fig. 11.5).

A masonry wall was originally built between the highway and the sea to retain the earthwork. It is 7 m. high and its base stands approximately 7 m. above mean sea level. At this point marine erosion is intense. (Fig. 11.5).



*Fig. 11.5 Vista del muro de contentación antes del pedraplén. Km. 12+360.
View of retaining wall before rockfill. Km. 12+360.*

En el tramo del camino que cruza la falla antigua, se iniciaron tres deslizamientos locales, cuyas grietas perimetrales están marcadas con líneas discontinuas en la Fig. 11.6, líneas A, B y C.

The section of highway that crosses the old failure was affected by three local slips, the peripheral cracks of which are marked by broken lines in Fig. 11.6 (Lines A, B and C).

11.2. EXPLORACION, INSTRUMENTACION Y MEDICIONES.

11.2. EXPLORATION, INSTRUMENTATION AND MEASUREMENTS.

En octubre de 1967, se iniciaron las observaciones en dos líneas de puntos de control superficiales colo-

Observations were begun in October 1967, along two lines of surface control points sited on both shoul-

Las Figs. II.8 a II.9 muestran los perfiles estratigráficos y los desplazamientos horizontales observados en los doce inclinómetros, habiéndose definido la superficie de deslizamiento a la profundidad y en los materiales indicados en la Tabla II.1.

Excepto los inclinómetros I-4, I-7, I-8 e I-10, los restantes se obturaron en la superficie de deslizamiento de 5 a 9 meses después de su instalación. El inclinómetro I-5 fue el único que registró la superficie de deslizamiento dentro de los depósitos de talud, en la salida hacia el mar (Fig. II.26). El I-4 se obturó después de 19 meses; el I-7 y el I-9 fueron destruidos durante la construcción de la obra de estabilización definitiva.

Figs. II.8 to II.19 indicate the stratigraphic profiles as well as the horizontal displacements observed at the twelve inclinometer stations, the slip surface having been defined at the depths and in the materials listed in the table below.

All inclinometers, with the exception of I-4, I-7, I-8 and I-10, choked at the slip surface some five to nine months after their installation. Inclinometer I-5 was the only one to register the slip surface within the mass of talus deposits, where they approach the sea (Fig. II.26). I-4 choked after 19 months, while I-7 and I-9 were destroyed in the course of the construction of the definitive stabilization works.

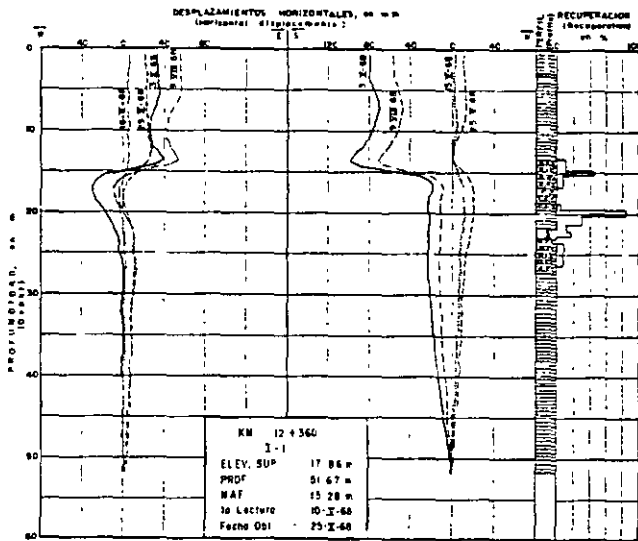


Fig. II.8 Inclinómetro I-1.
Inclínometer I-1.

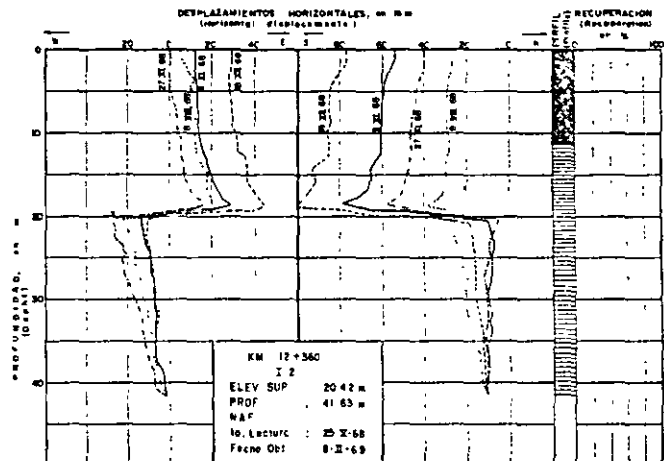


Fig. II.9 Inclinómetro I-2.
Inclínometer I-2.

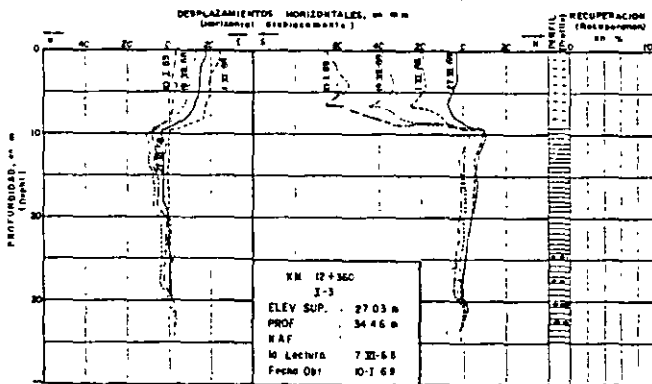


Fig. II.10 Inclinómetro I-3.
Inclínometer I-3.

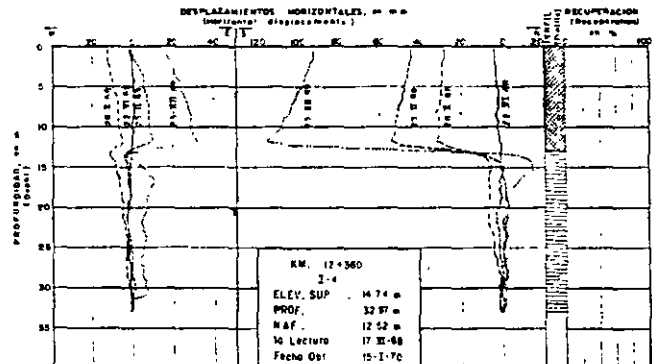


Fig. II.11 Inclinómetro I-4.
Inclínometer I-4.

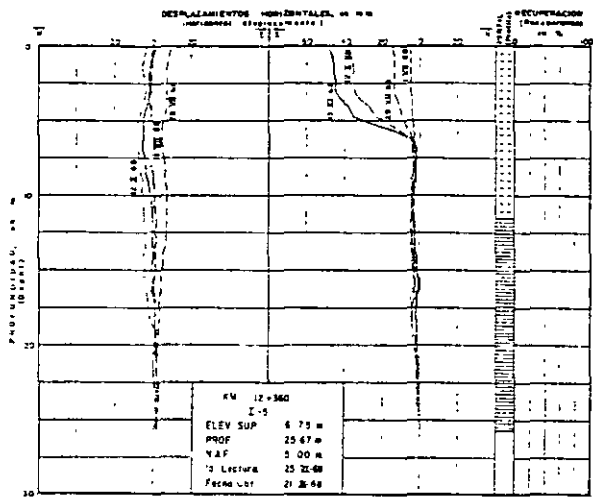


Fig. II.12 Inclínómetro 1-5.
Inclinometer 1-5.

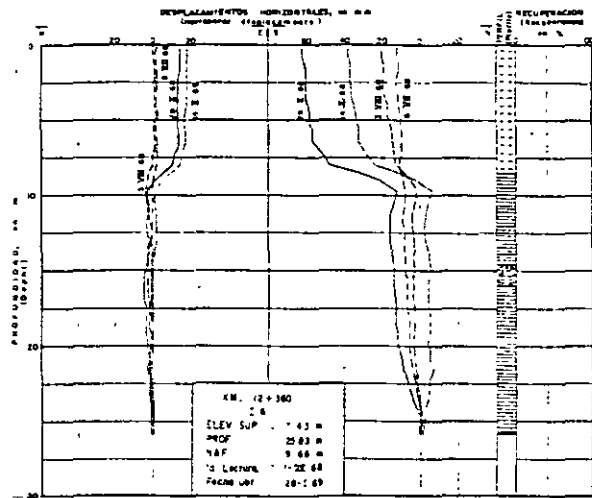


Fig. II.13 Inclínómetro 1-6.
Inclinometer 1-6.

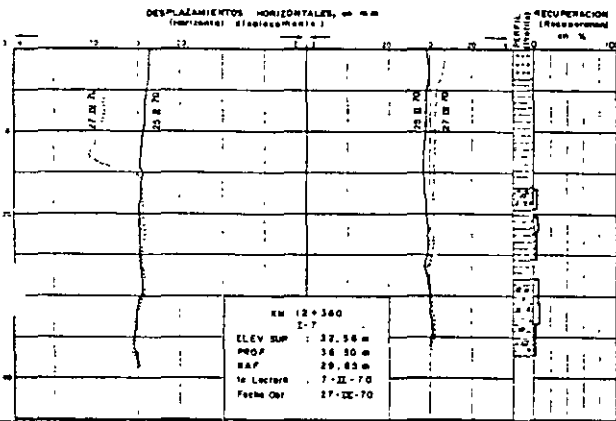


Fig. II.14 Inclínómetro 1-7.
Inclinometer 1-7.

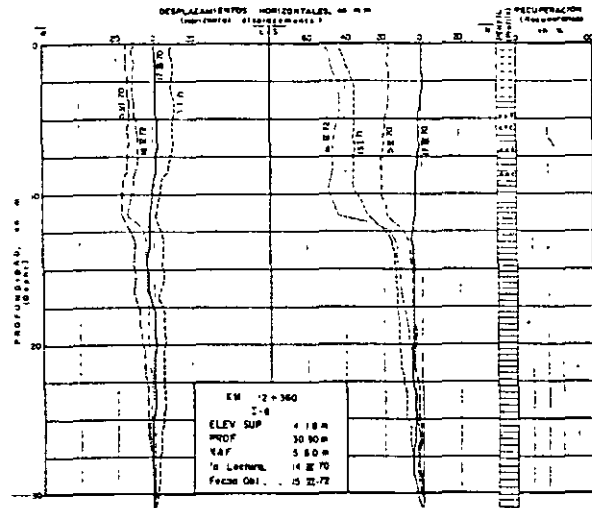


Fig. II.15 Inclínómetro 1-8.
Inclinometer 1-8.

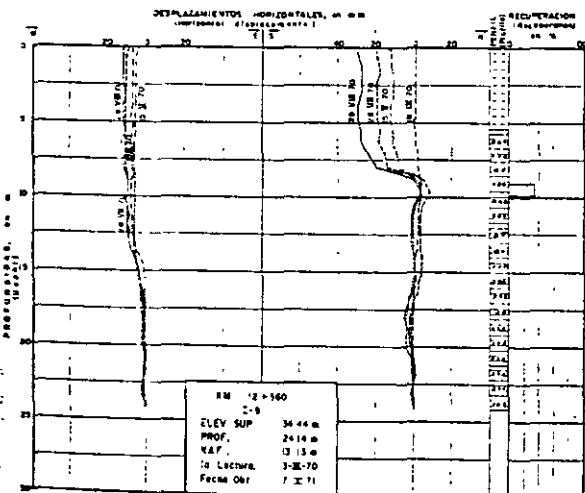


Fig. II.16 Inclínómetro 1-9.
Inclinometer 1-9.

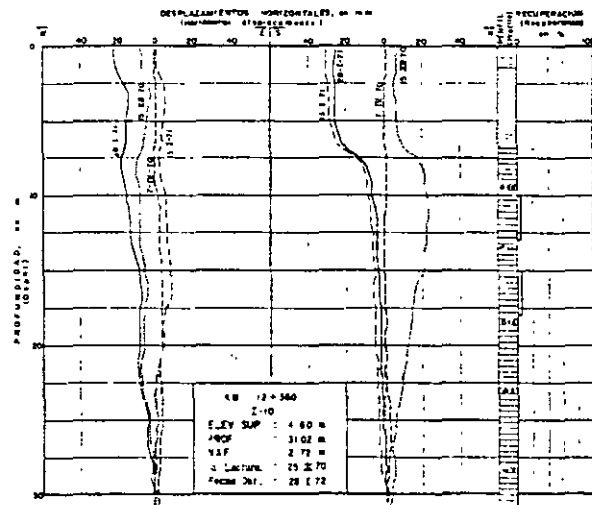


Fig. II.17 Inclínómetro 1-10.
Inclinometer 1-10.

Tabla II.1

PROFUNDIDAD Y MATERIALES EN LOS QUE SE DESARROLLA LA SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO

Inclinómetro	Superficie de Deslizamiento Profundidad (m)	Materiales
1-1	15.8	Areniscas y conglomerados con capas de lutita.
1-2	20.4	Areniscas con capas de lutita.
1-3	9.9	Contacto de depósitos de talud con areniscas.
1-4	13.8	Contacto de terraplén con areniscas.
1-5	6.5	Depósitos de talud.
1-6	9.8	Contacto de depósitos de talud con areniscas.
1-7	14.8	Areniscas con capas de lutita.
1-8	—	No definida.
1-9	8.9	Areniscas con capas de lutita.
1-10	Destruído	
1-11	21.0	Areniscas con capas de lutita.
1-12	9.6	Contacto de depósitos de talud con lutitas alteradas.

Table II.1

DEPTH AND MATERIALS ON WHICH SLIDE SURFACE IS DEFINED

Inclinometer	Slide Surface Depth (m)	Materials
1-1	15.8	Sandstones and conglomerates with layers of clayshale.
1-2	20.4	Sandstones with layers of clayshale.
1-3	9.9	Contact between talus deposits and sandstones.
1-4	13.8	Contact between earthwork and sandstones.
1-5	6.5	Talus deposits.
1-6	9.8	Contact between talus deposits and sandstones.
1-7	14.8	Sandstones with layers of clayshale.
1-8	—	Undefined.
1-9	8.9	Sandstones with layers of clayshale.
1-10	Destroyed.	
1-11	21.0	Sandstones with layers of clayshale.
1-12	9.6	Contact between talus deposits and disturbed clayshales.

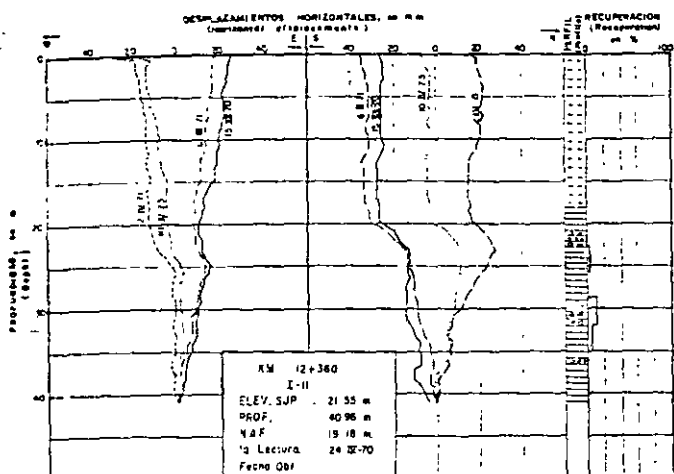


Fig. 11.18 Inclínometro I-11.
Inclinometer I-11.

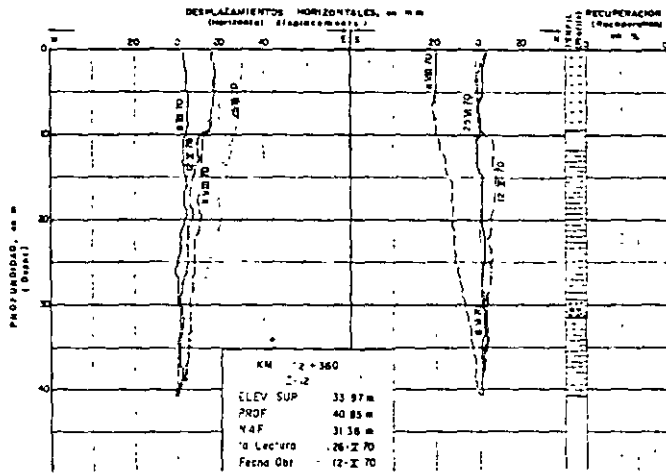


Fig. 11.19 Inclínometro I-12.
Inclinometer I-12.

11.3. INTERPRETACION Y ANALISIS

Con base en las observaciones realizadas y por los resultados obtenidos de las mediciones en los pozos para los inclinómetros, puede anotarse que el nivel freático se ha conservado a una elevación prácticamente constante. (Fig. 11.20).

La evolución a través del tiempo de los desplazamientos verticales y horizontales observados en los puntos de control superficial se puede ver en las Figs. 11.21 a 11.24. Los movimientos de mayor magnitud ocurrieron en el período de febrero a junio de 1968, coincidiendo con las fechas en que se instalaron los drenes horizontales, ya que el agua empleada en la perforación se infiltró a través de los depósitos de talud y del terraplén hacia la superficie de deslizamiento activa, ocasionando desplazamientos horizontales hasta de 18.5 cm/mes y verticales de 17 cm/mes. Además, el período de instalación de los drenes coincidió con el final de la época de lluvias.

Cabe agregar que la instalación de drenes horizontales se decidió antes de terminar los estudios, como medida de emergencia a causa de la alta magnitud de los desplazamientos y al eminente peligro de un colapso total.

A raíz de tan grandes desplazamientos y por el estado crítico que presentaba la cimentación del muro por el efecto erosivo del mar, fue necesario recurrir a otra medida de emergencia para evitar un colapso total por falta de apoyo, que consistió en colocar al pie del muro, un pedraplén de materiales graduados (Fig. 11.25) para protegerlo de la erosión, y que además con su peso contribuyera a mejorar la estabilidad de la masa en desequilibrio, considerando que la superficie de deslizamiento era cilíndrica de acuerdo con

11.3. INTERPRETATION AND ANALYSIS

Observations made and the results of measurements in the inclinometers bore-holes reveal that the water table maintains an almost constant elevation (Fig. 11.20).

The evolution in time of the vertical and horizontal displacements observed at the surface control points is indicated in Figs. 11.21 to 11.24. The movements of greatest magnitude occurred over the period February to June, 1968, coinciding with the installation of the horizontal drains. The water used in the course of drilling infiltrated the talus deposits and the earthwork down to the active slip surface, occasioning horizontal displacements of the order of 18.5 cm/month, and vertical displacements of 17 cm/month. Furthermore, the installation of the drains coincided with the end of the rainy season.

It should be remarked, in this context, that the installation of vertical drains was decided upon prior to the conclusion of the studies as an emergency measure, in response to the magnitude of the displacements and the imminent threat of total collapse.

Given such considerable displacements and the critical condition of the foundations of the wall caused by marine erosion, a further emergency measure was required to avoid the total collapse that threatened due to lack of support. This consisted of the placement of a rockwork, composed of graded material, at the foot of the wall (Fig. 11.25) as protection against further erosion and to improve the stability of the unstable mass, in the light of early observations, which suggested a cylindrical slip surface. The stability ana-

las primeras observaciones. Como resultado de diversos análisis de estabilidad efectuados para construir el terraplén, se vio que se podía obtener un F. S. de

lyses undertaken prior to the construction of the earthwork showed that a safety factor 1.17 could be obtained for a rockwork section such as that given in

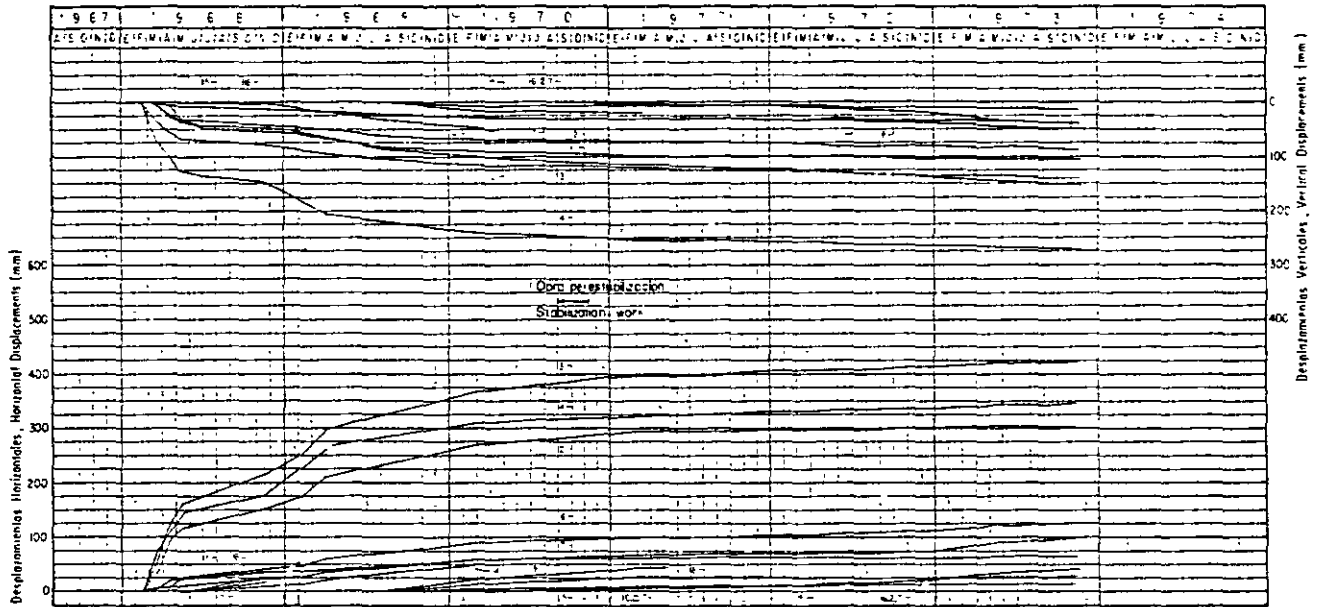


Fig. 11.21 Desplazamientos horizontales y verticales observados en la Línea 1.
Horizontal and vertical displacements observed on Line 1.

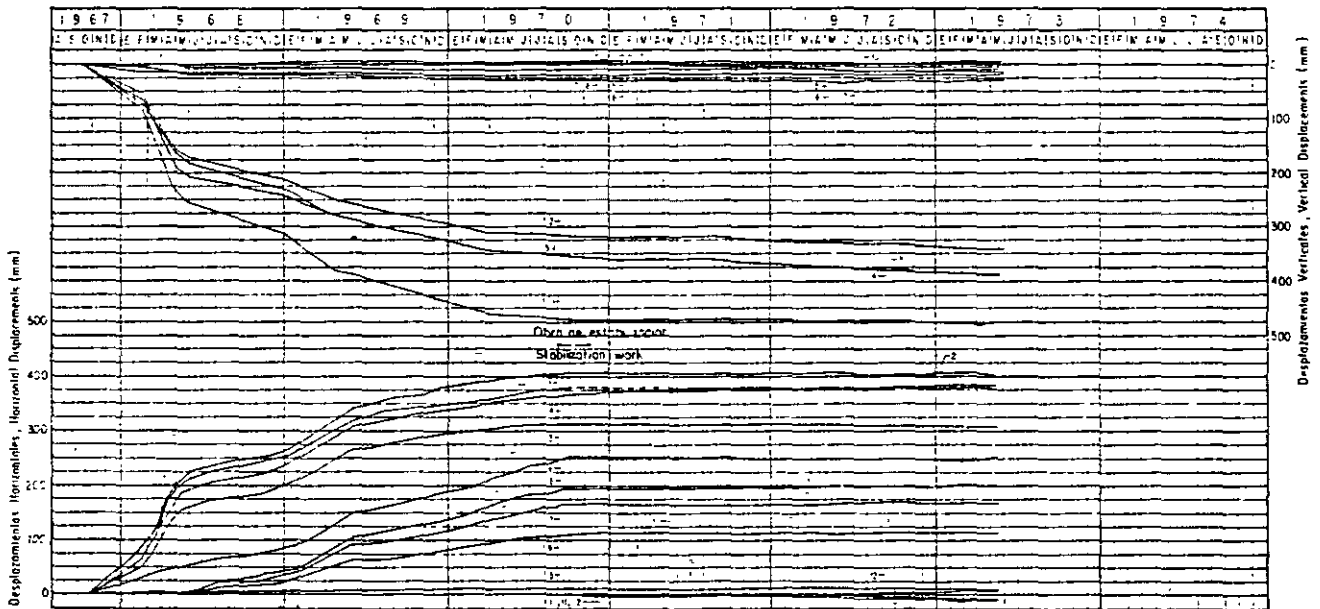


Fig. 11.22 Desplazamientos horizontales y verticales observados en la Línea 2.
Horizontal and vertical displacements observed on Line 2.

ara una sección de pedraplén como la que se
 en la Fig. 11.26. La longitud del pedraplén
 ser de 150 m. abarcando de la Est. 12 + 360
 st. 12 + 510

Fig. 11.26. The length of the rockwork would be 150
 m. running from St. 12+360 to St. 12+510.

pués de esta medida parcial de estabilización,
 splazamientos horizontales se redujeron a 6.4
 es y los verticales a 4.6 cm/mes en enero de
 valores registrados en la época de lluvias; en
 oca de estiaje, después de la construcción del
 plén, el desolazamiento máximo horizontal fue
 cm/mes y el vertical de 1.2 cm/mes.

Subsequent to this partial measure to achieve sta-
 bilization, horizontal displacements fell to 6.4 cm/
 month and the vertical to 4.6 cm/month in January,
 1969. These values were observed in the rainy sea-
 son. During the season of high tides, the maximum
 horizontal displacements was 2 cm/month and the
 vertical 1.2 cm/month after the construction of
 the rockwork.

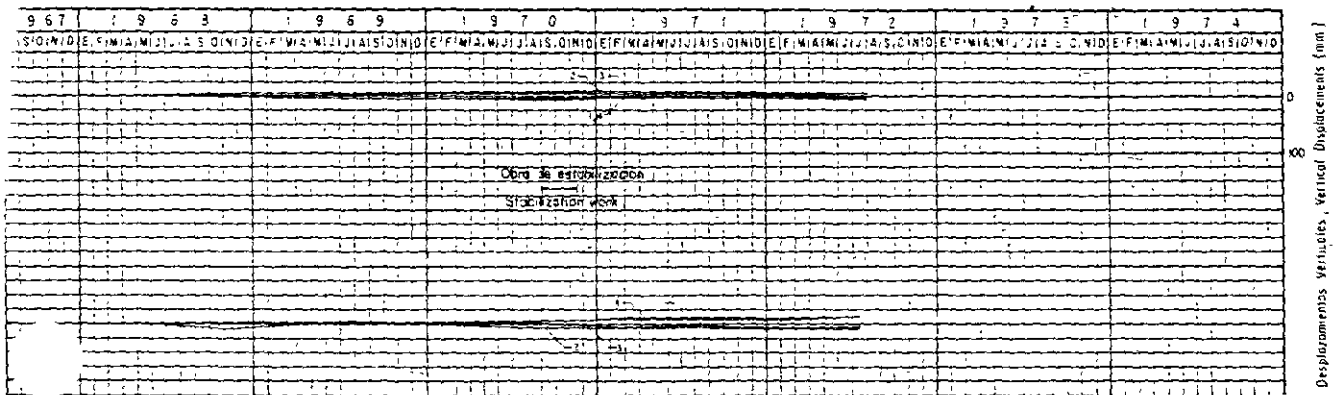


Fig. 11.23 Desplazamientos horizontales y verticales observados en la Línea 4.
 Horizontal and vertical displacements observed on Line 4.

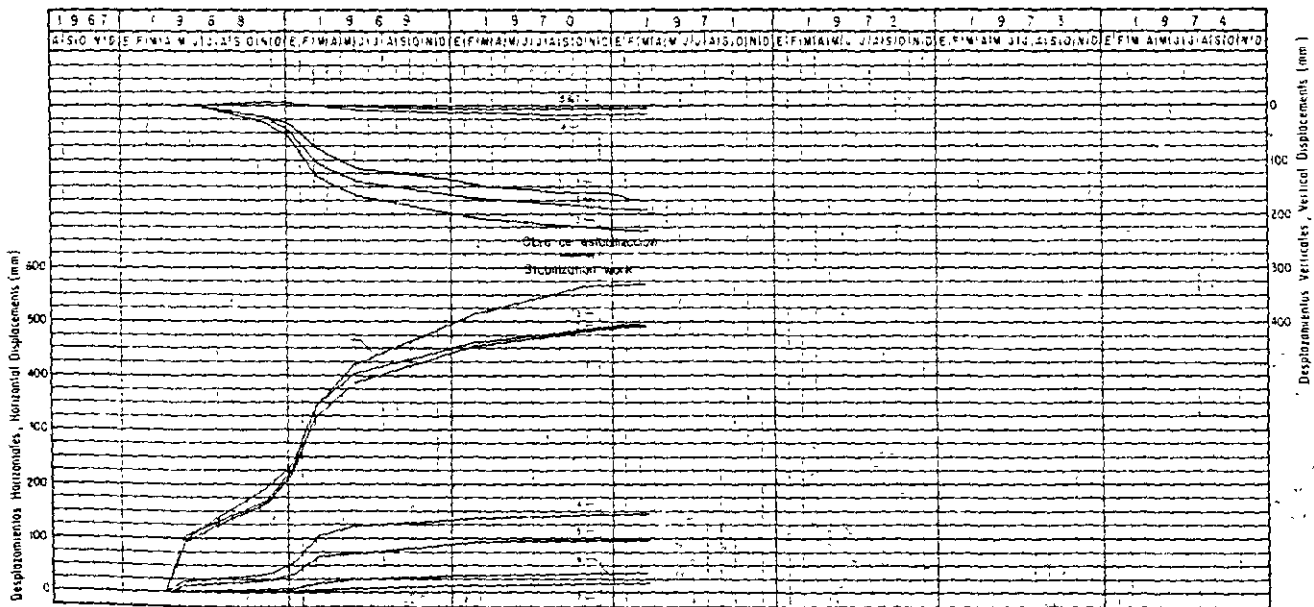


Fig. 11.24 Desplazamientos horizontales y verticales observados en la Línea M.
 Horizontal and vertical displacements observed on Line M.

La zona siguió en observación, ya que las medidas adoptadas hasta entonces no habían sido completamente efectivas, por lo que también se decidió aumentar la instrumentación para determinar de modo preciso la forma de la superficie de deslizamiento. Una vez obtenida toda la información de los inclinómetros y de las líneas de puntos de control, se pudieron establecer las siguientes conclusiones:

a) Las superficies de deslizamiento eran cilíndricas en algunas secciones y combinadas (circular y plana en otras). (Fig. II.26).

b) Las velocidades del deslizamiento, medidas en las líneas de control eran constantes y seguían una ley cíclica, incrementándose tras el humedecimiento debido a la época de lluvias.

c) La influencia del agua en el deslizamiento era muy importante, tal como lo evidenciaba el hecho anterior, y, además, como lo demostró a escala natural el agua inyectada al subsuelo en la perforación de los drenes.

Observation of the zone was maintained since the measures taken up to that time had not been completely effective. For this reason it was decided to extend instrumentation to allow the form of the slip surface to be determined precisely. Once all information from inclinometers and surface control points had been collated, the following conclusions were established:

a) The slip surface were cylindrical at certain sections and compound (circular and plane) at others. (Fig. II.26).

b) The slip velocities, as measured at the control lines, were constant and obeyed a cyclical law, increasing in the rainy season.

c) The influence upon the slip of the presence of water was highly significant, as suggested by b) and as demonstrated during the injection of water into the sub-soil when the drains were drilled.

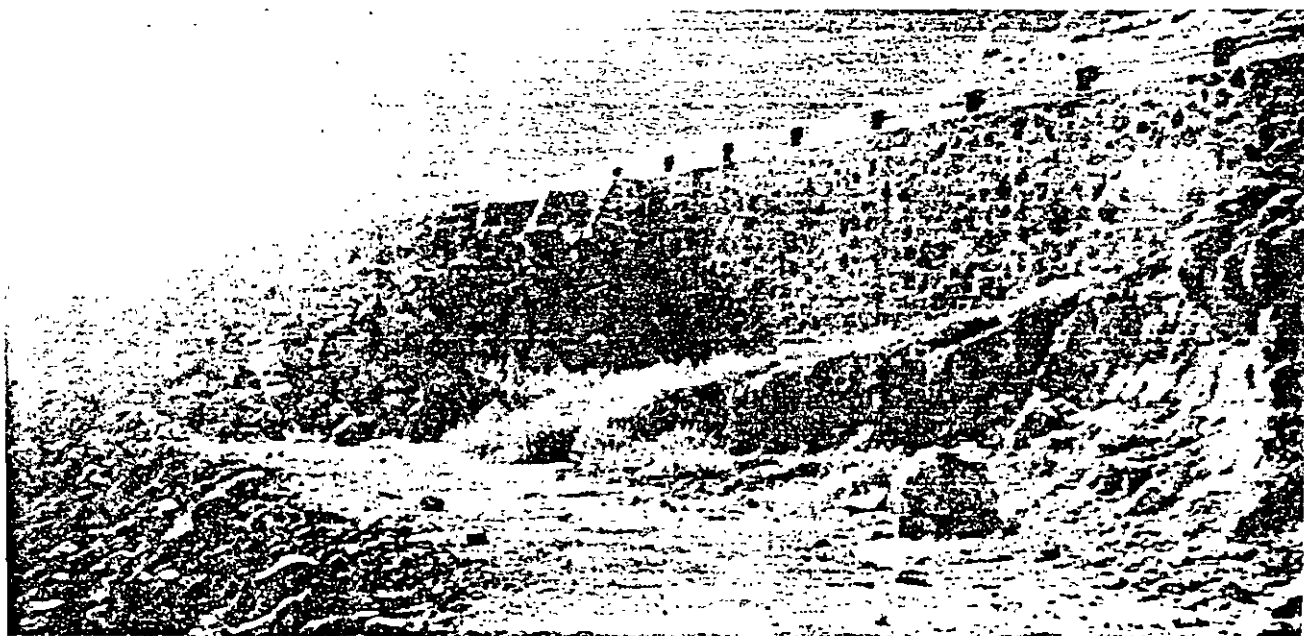


Fig. II.25 Vista del muro de contención después del pedraplén. Km. 12+360.
View of retaining wall after rockfill. Km. 12+360.

II.4. ESTUDIO DE ESTABILIZACION.

Tomando en cuenta lo anterior, en septiembre de 1970, se concluyó que la medida más efectiva de estabilización y a la vez que ofrecía menos peligro durante su ejecución, consistía en retirar el material

II.4. STABILITY STUDY.

In light of the above, it was decided in September, 1970, that the most effective way of achieving stability and that offering least danger during execution, was to remove the material lying between

localizado entre la línea de control 4 y la autopista, reduciendo de esa manera el peso en la masa inestable. (Fig. II.27).

En base a las secciones transversales obtenidas del levantamiento topográfico de la zona, se realizó un análisis de estabilidad, de acuerdo con la forma de las superficies de deslizamiento y considerando un estado de equilibrio crítico, ($F_s = 1$) así como la condición de resistencia residual en la superficie de deslizamiento, habiéndose encontrado que ϕ_r , variaba entre 11.2° y 13.3° para las distintas secciones que se analizaron, mostradas en la Fig. II.26. Con base en lo anterior, se calculó el factor de seguridad para diferentes valores de la sobrecarga eliminada. La relación entre ambos factores se muestra en la Fig. II.28. Cabe comentar que el valor de ϕ_r , obtenido en prueba de laboratorio, resultó ser de 14° . Se piensa que esta concordancia es satisfactoria y avala los criterios empleados en cada análisis.

Control Line 4 and the highway, thus reducing the weight bearing upon the unstable mass. (Fig. II.27).

Upon the basis of the transversal sections derived from the topographical survey of the zone, a stability analysis was developed, taking into account the form of the slip surfaces and considering a critical state of equilibrium ($F_s = 1$) and the condition of residual strength at the slip surface, it having been shown that ϕ_r , varied between 11.2° and 13.3° for the various sections analyzed, as shown in Fig. II.26. In the light of this, the safety factor for various values of the load to be excavated. The relationship between the two factors is shown in Fig. II.28. It is worth remarking that the value of ϕ_r obtained from laboratory tests was 14° . This agreement is considered satisfactory and supports the criteria used in the analysis.

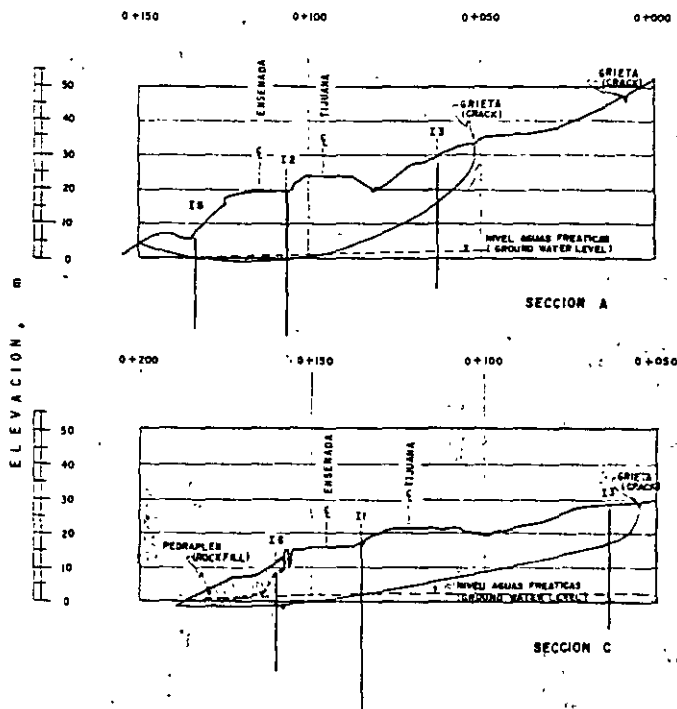


Fig. II.26 Geometría de las superficies de deslizamiento en las secciones A y C.
Geometry of sliding surfaces of sections A and C.

Por razones de seguridad acordes con un costo aceptable, se eligió un factor de seguridad de 1.5, valor compatible con la geometría de la zona de remoción, que se presenta en la sección de la Fig. II.27.

For reasons of safety, and taking an acceptable cost of the works into account, a safety factor of 1.5 was chosen, a value compatible furthermore with the geometry of the zone in movement. (Fig. II.27).

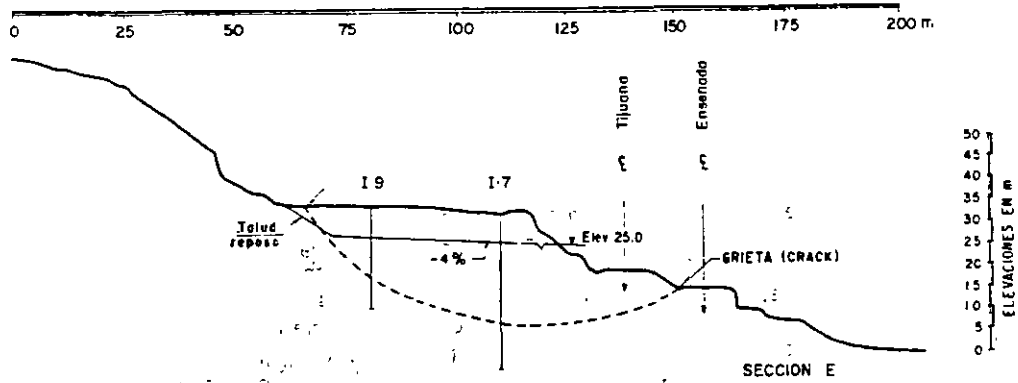


Fig. II.27 Sección mostrando la sobrecarga eliminada.
Section showing the load to be excavated.

Espeor. medio de corte, en metros
Cut average thickness, in meters

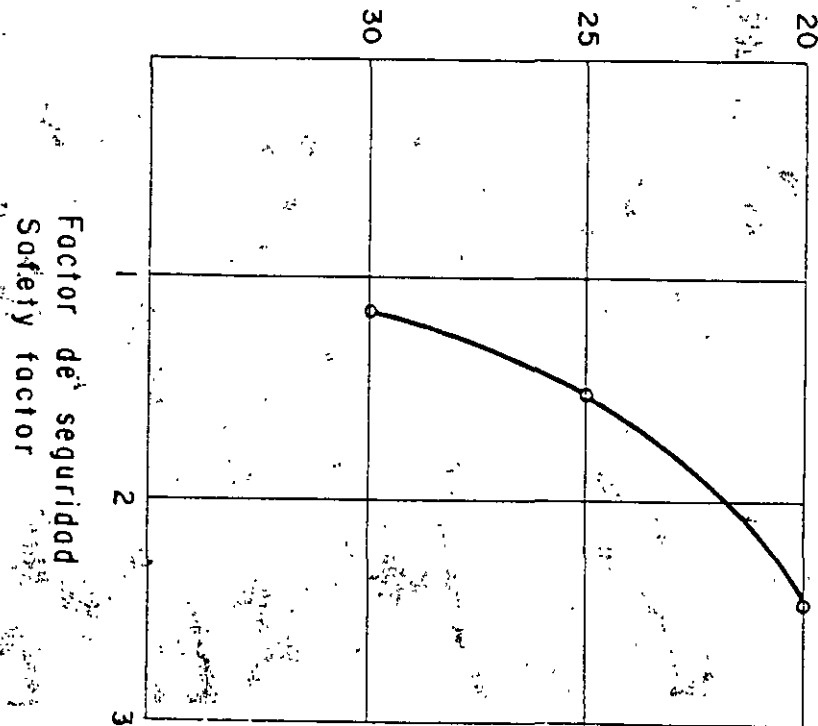


Fig. II.28 Variación del factor de seguridad para diferentes espesores de corte.
Variation of safety factor for various values of the load to be excavated.

II.5. PROCEDIMIENTO DE CONSTRUCCIÓN Y COMPORTAMIENTO.

Con objeto de no efectuar una excavación más allá de la superficie de deslizamiento (en la dirección tierra adentro) que pudiera alterar el equilibrio del

II.5. CONSTRUCTION PROCEDURES AND PERFORMANCE.

In order to avoid any excavation to landward of the slip surface that might disturb the natural equilibrium, the excavation was made at the foot of the

terreno natural, se excavó al pie de su talud, cerca del mar, para provocar el derrumbe del material sobre la superficie de deslizamiento, removiendo todo el material sobre la superficie de falla y aceptando como talud en condiciones de estabilidad el definido por la prolongación imaginaria de dicha superficie. El volumen excavado fue de 70 000 m³, realizándose todo el corte en areniscas y depósitos de talud.

Considerando la influencia que tenía el agua en el deslizamiento, una vez realizada la remoción, se impermeabilizó el piso, con objeto de evitar la infiltración del agua de lluvia, dando además una pendiente adecuada para el escurrimiento rápido del agua caída, hacia la obra de drenaje más cercana. (Fig. 11.29).

talus, close to the shore, to provoke a slide of the material bearing upon the slip surface, and all material upon the failure surface removed. The talus accepted as being in a stable condition was that defined by the imaginary projection of the slip surface itself. The volume of material excavated amounted to 70 000 m³, composed entirely of sandstones and talus deposits.

In consideration of the influence of water upon the slip, the ground surface was impermeabilized upon completion of the sufficient slope to ensure rapid runoff towards the nearest drains. (Fig. 11.29).

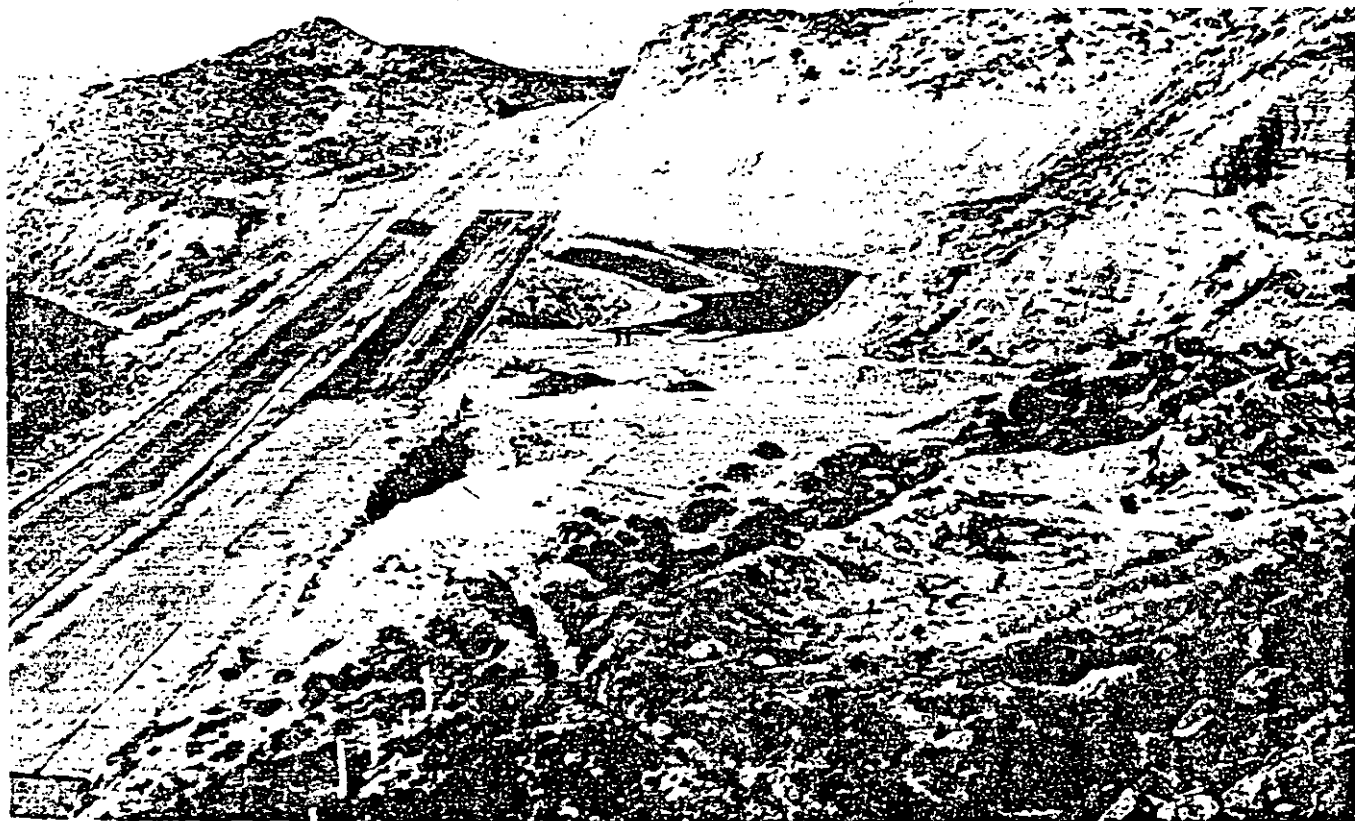


Fig. 11.29 Vista del área de material removido.
View of area of removed material.

A fin de apreciar el comportamiento del deslizamiento durante la ejecución de la obra, se efectuaron mediciones en las líneas de control dos veces por semana, observándose una disminución en los movimientos poco tiempo después de iniciada la excavación, como puede observarse en las Figs. 11.21 a 11.24.

To observe the behaviour of the slip during the execution of these works, measurements along the lines of control were effected twice weekly, a reduction in the movements being observed shortly after the commencement of the excavation, as may be seen in Figs. 11.21 to 11.24.

Como complemento al pedraplén colocado al pie del muro en 1968, se procedió a continuarlo hacia el lado de Ensenada, en una longitud aproximada de 80 m. con el fin de proteger la masa contra la erosión marina. Simultáneamente a la terminación de dicho pedraplén, los movimientos registrados en los puntos 2-6, 1-4 y 2-7 cesaron. (Figs. 11.21 y 11.22).

A la fecha, los movimientos son más bien despreciables, (Figs. 11.21 a 11.24), pudiéndose establecer la efectividad de la obra de estabilización.

11.6. CONCLUSIONES.

De todo lo expuesto se puede concluir lo siguiente:

- a) En esta zona se desarrollaron tres deslizamientos dentro de una falla antigua, previamente formada.
- b) El peso del terraplén construido activó las superficies de deslizamiento.
- c) En algunos puntos, la superficie de deslizamiento se manifiesta más baja que el nivel del mar (inclinómetro 1-8).
- d) Las velocidades de los desplazamientos ocurren según la ley cíclica, aumentando en la época de lluvias.
- e) La presencia del agua en el deslizamiento es muy importante.
- f) En algunos sitios la superficie de deslizamiento se encuentra sumergida.
- g) Como obra de estabilización ha resultado efectivo eliminar la sobrecarga.

The rockwork placed at the foot of the wall in 1968 was complemented by a continuation southwards some 80 m. long, designed to protect the mass against marine erosion. Simultaneously with the completion of this further rockwork all movements at Points 2-6, 1-4 and 2-7 ceased. (Figs. 11.21 and 11.22).

At present movements are insignificant, as may be observed in Figs. 11.21 to 11.24, thus establishing the effectiveness of the stabilization works.

11.6. CONCLUSIONS.

The above account suggests the following conclusions:

- a) Three slips developed within an ancient failure in this zone.
- b) The weight of the earthwork constructed across the zone activated the slip surfaces.
- c) At certain points the slip surface was revealed as lying below sea-level (Inclinometer 1-8).
- d) The velocities of the slips follow a cyclical law, increasing in the rainy season.
- e) The presence of water within the slip is highly significant.
- f) At certain points the slip surface is submerged.
- g) The elimination of the overload has been effective as a means to achieve stabilization.