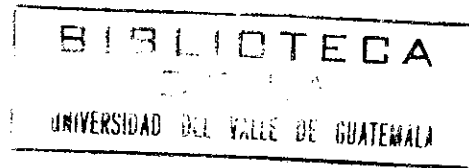


CONSTRUCCION DE UN PASO ALTERNO DE ACCESO
AL DESARROLLO SAN MIGUEL BUENA VISTA EN EL
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

Departamento de Ingeniería Civil

CONSTRUCCION DE UN PASO ALTERNO DE ACCESO
AL DESARROLLO SAN MIGUEL BUENA VISTA EN EL
MUNICIPIO DE SANTA CATARINA PINULA

JORGE EDUARDO SPROSS DIAZ-DURAN


Trabajo de graduación presentado para optar al grado
académico de
Licenciado en Ingeniería Civil

Guatemala

1995

Vo. Bo.:

(f)

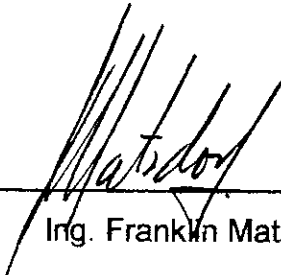


Ing. Daniel González M.

Asesor

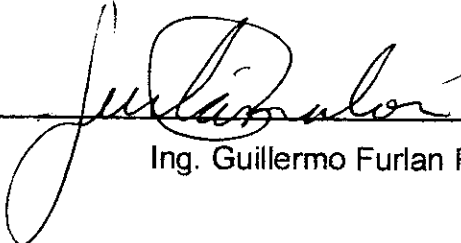
Tribunal:

(f)



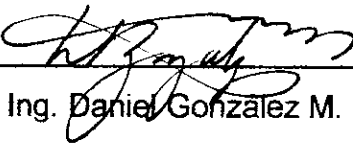
Ing. Franklin Matzdorf M.

(f)



Ing. Guillermo Furlan R.

(f)



Ing. Daniel González M.

Fecha de aprobación: 16 de octubre de 1995

CONTENIDO

| | Páginas |
|---|---------|
| I. INTRODUCCION | 1 |
| II. DESCRIPCION DEL PROYECTO | 2 |
| III. PROGRAMA DE TRABAJO | 5 |
| IV. Desarrollo | 8 |
| A. Movimiento de tierras | 8 |
| 1. Limpieza | 15 |
| 2. Corte | 15 |
| 3. Relleno | 18 |
| B. Drenajes | 28 |
| 1. Paso del río Pinula. Construcción de la bóveda | 28 |
| 2. Tragantes, tuberías transversales y desfogues | 36 |
| 3. Cunetas | 42 |
| C. Pavimento | 45 |
| 1. Sub-rasante | 45 |
| 2. Base | 47 |
| 3. Capa de rodadura | 50 |
| D. Obras Complementarias | 52 |
| 1. Instalaciones para EMPAGUA | 52 |
| a. Presa | 52 |
| b. Desarenador | 54 |

| | Páginas |
|---|---------|
| c. Tubería de conducción | 55 |
| d. Pozos de visita | 55 |
| e. Caja conectora | 56 |
| 2. Instalaciones de agua para la Municipalidad de Santa Catarina Pinula | 57 |
| a. Ducto seco | 57 |
| b. Cajas de registro | 58 |
| c. Desvío de tubería | 58 |
| V. BIBLIOGRAFIA | 61 |
| APENDICES | |
| A. Diseño de la rasante de la calle | 62 |
| B. Cálculo del movimiento de tierras | 66 |
| C. Cálculo del área de base y cálculo del área de la capa de rodadura | 71 |
| D. Diseño del espesor de la capa de rodadura | 73 |

I. INTRODUCCION

El propósito del trabajo de graduación **Construcción de un paso alternativo de acceso al desarrollo San Miguel Buena Vista en el municipio de Santa Catarina Pinula**, es dar una breve descripción de los trabajos efectuados en el proyecto. Estos consistieron en efectuar el movimiento de tierras, construcción de drenajes transversales y laterales, colocación de una bóveda como solución para el paso de la calle de acceso sobre el río Pinula y construcción del pavimento. Así mismo obras complementarias de instalaciones para EMPAGUA e instalaciones de agua para la municipalidad de Santa Catarina Pinula.

La existencia de varias instalaciones de captación y conducción de agua de la empresa municipal de agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA) dentro del trazo del camino, había imposibilitado la construcción del nuevo acceso. El agua que se utiliza en cierto sector de la ciudad capital se captaba del río Pinula por medio de una presa y se conducía a la planta de tratamiento "El Cambray" de la empresa municipal de agua. Por lo que fue necesario demoler las instalaciones existentes y proceder a construir otras nuevas, fuera del área de construcción, debido a que el trazo del nuevo acceso pasaba sobre algunas tuberías de agua de la municipalidad de Santa Catarina Pinula existentes, entonces hubo que desviar y modificar éstas.

II. DESCRIPCION DEL PROYECTO.

El objeto del proyecto es construir un paso alternativo a la carretera existente para llegar al desarrollo San Miguel Buena Vista, ubicado en el municipio de Santa Catarina Pinula. Este es un tramo de aproximadamente 1,400 m. de longitud que tiene numerosas curvas y ganchos con una pendiente bastante pronunciada.

Para llegar al desarrollo necesariamente hay que pasar por la aldea El Pueblito, siendo este tramo bastante estrecho, en el que atraviesan muchos peatones y animales domésticos. Esto unido al tráfico de buses y camiones que circulan, hacen que se convierta en una experiencia bastante molesta y tediosa para quienes tienen la necesidad de transitar diariamente por esta ruta. A esto hay que agregar el hecho, que durante la época de lluvia este tramo de carretera, a pesar de estar asfaltado, se vuelve casi intransitable debido a los hoyos que se forman y al poco mantenimiento que se le da.

El proyecto está ubicado en el kilómetro 7.5 de la carretera que conduce al mencionado municipio, iniciando en la entrada a la lotificación Lomas del Bosque y finalizando en el interior de la finca San Miguel Buena Vista. En la figura 1.1 se puede ver en detalle la localización del proyecto, la cual está marcada con un círculo punteado. Allí se puede observar la Finca San Miguel Buena Vista y su

ubicación con relación a la aldea El Pueblito, Santa Catarina Pinula (cabecera municipal) y la ciudad de Guatemala.

El tramo de carretera construido tiene una longitud total de 752 m. y tendrá dos (2) garitas de control, localizadas, una en la entrada (estación 0+752), la cual se puede ver en la fotografía y otra en la salida del proyecto (estación 0+000). Se colocó una capa de rodadura de concreto de cemento de 15 cm. de espesor.

La construcción de esta ruta alterna beneficiará tanto a los habitantes de la aldea El Pueblito, como a las personas que transiten por la nueva vía, ya que evitará molestias a ambas partes.

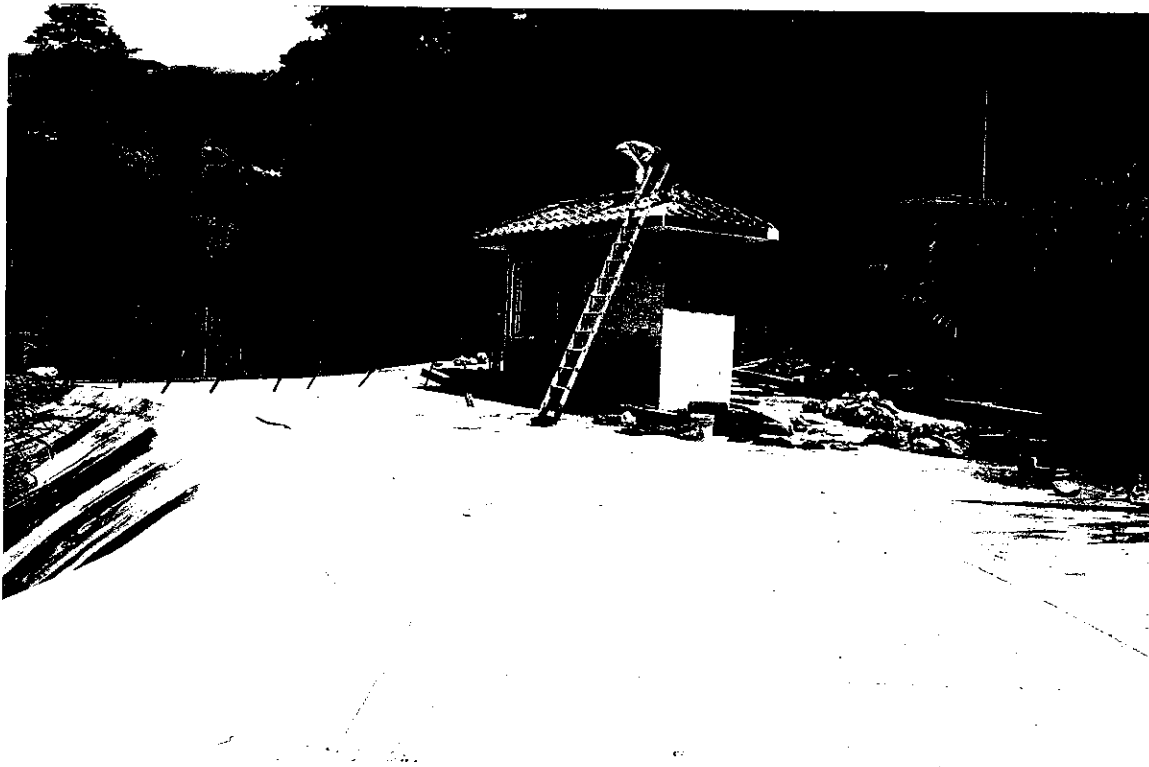


FIGURA 1.1



III. PROGRAMA DE TRABAJO.

A continuación se presenta el listado de actividades por medio de las cuales se hizo el programa de trabajo del proyecto. Es necesario reconocer que éste no se cumplió en su totalidad debido principalmente a factores naturales que no se pueden controlar como es la lluvia y los problemas que ésta trae. Sin embargo, este programa sirve de guía para el control y la ejecución de los trabajos en forma lógica y en un orden cronológico establecido.

Listado de actividades

1. Movimiento de tierras
 - 1.1 Corte
 - 1.2 Relleno
2. Instalaciones para EMPAGUA
 - 2.1 Presa
 - 2.2 Tanque desarenador
 - 2.3 Tubería Rib-Loc de 500 mm.
 - 2.4 Pozos de visita
 - 2.5 Caja conectora
3. Instalaciones de agua de Sta. Catarina Pinula
 - 3.1 Ducto seco
 - 3.2 Cajas de registro

3.3 Tubería de PVC de 10"

3.4 Tubería de PVC de 2"

3.5 Tubería de PVC de 3"

4. Paso sobre el río

4.1 Tubería corrugada de 4.14 m.

4.2 Cabezales

4.3 Relleno

5. Pavimento

5.1 Sub-rasante

5.2 Base

5.3 Losa de concreto

6. Drenajes

6.1 Tubería corrugada de 30"

6.2 Cabezales de piedra

6.3 Tragantes de ladrillo

6.4 Cunetas

IV. DESARROLLO.

A. MOVIMIENTO DE TIERRAS.

Una de las operaciones más importantes en la construcción de carreteras es el movimiento de grandes volúmenes de tierra, conocido como movimiento de tierras.

Un movimiento de tierras es el trabajo de excavar, remover, utilizar o desechar todos los materiales de tierra que se encontraron en los cortes, incluyendo el de préstamo y desperdicio, el reemplazo de todo el material inservible, la remoción o utilización del material proveniente de pavimentos y capas de base ya existentes y la excavación de bancos de préstamo, cuyo material deberá ser excavado y transportado al lugar donde será usado. Comprende también la construcción de terraplenes, conformación, compactación y acabado final de lo que será la capa de rodadura de un camino, así como la excavación de cunetas laterales y contracunetas.

Es importante mencionar que todo movimiento de tierras está ligado al diseño de la rasante de la carretera e influye mucho en el costo total de la misma. Por lo tanto es de suma importancia contar con un diseño adecuado de la rasante de modo que los volúmenes de corte y relleno sean lógicos y razonables para que el costo de construcción no sea muy alto. El diseño detallado de la rasante de la construcción de un paso alternativo a San Miguel Buena Vista se presenta en la tabla 2.1 en el apéndice A.

En la figura 2.1 se muestra un perfil comparando el terreno natural y la rasante de la calle. En el se pueden ver claramente los tramos de corte y relleno que fue necesario hacer como parte del movimiento de tierras. Las cotas del terreno natural y de la rasante de la calle se muestran en la tabla 2.2 apéndice A.

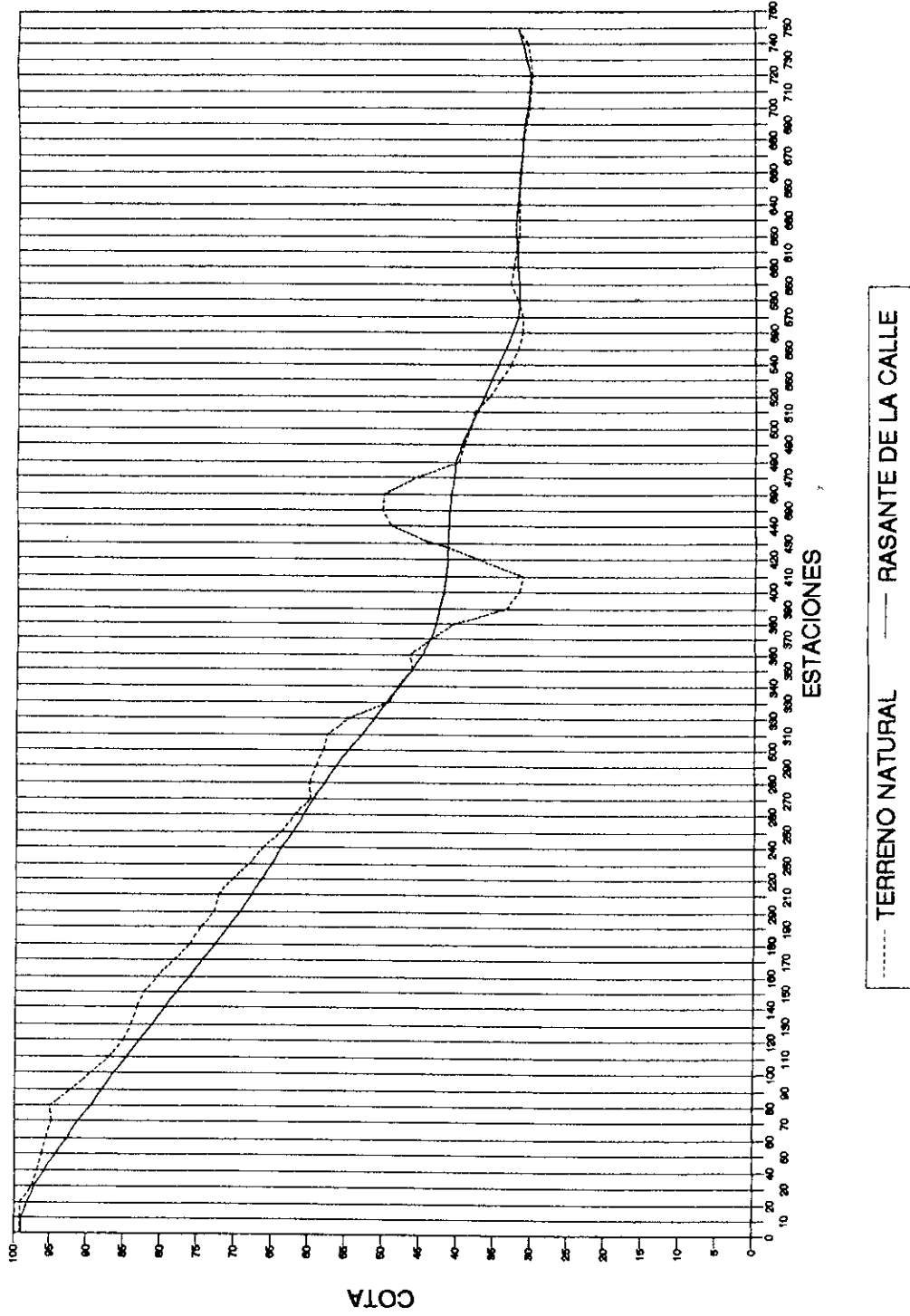
El movimiento de tierras del proyecto se dividió en tres partes: limpieza, corte y relleno. Previo a ello se realizaron trabajos preliminares de topografía, se referenciaron los mojones del eje central y se marcaron anchos para limpieza. Para llevar a cabo el trabajo de movimiento de tierras se necesita maquinaria diversa como tractores, cargadores, retroexcavadoras y equipo de compactación como rodos lisos y rodillos. La maquinaria y equipo utilizado en el proyecto se presenta en una tabla , así como una descripción del uso dado a cada máquina.

A continuación se presenta un resumen con los volúmenes del movimiento de tierras, incluyendo el corte y el relleno. El volumen del relleno de el área donde fue colocada la bóveda se calculó en forma separada y a este valor se le restó el volumen de la tubería.

En la tablas 2.3 y 2.4, en el apéndice B, se presenta en forma detallada el cálculo del movimiento de tierras.

| | |
|--|---------------------------------|
| Volumen total de corte: | 22,390.60 m.³ |
| Volumen de relleno de área de bóveda: | 12,545.74 m. ³ |
| Volumen de relleno a lo largo de la calle: | 2,704.04 m. ³ |
| Volumen total de relleno: | 15,249.78 m.³ |

FIGURA 2.1
 PERFIL DE TERRENO NATURAL Y RASANTE



Maquinaria utilizada para el movimiento de tierras en el proyecto.

| |
|------------------------------------|
| 1. Apisonador WACKER |
| 2. Cargador CAT 920. |
| 3. Cargador CAT 930. |
| 4. Compactadora BROSS. |
| 5. Dumper. |
| 6. Motoniveladora CAT 12-F. |
| 7. Motoniveladora CAT 120-G. |
| 8. Mototrailla CAT 613. |
| 9. Pala POCLAIN. |
| 10. Retroexcavadora JCB 3CX-4. |
| 11. Retroexcavadora JD 310-A. |
| 12. Rodo liso HYSTER. |
| 13. Rodo liso RAYGO. |
| 14. Rodillo BOMAG (Pata de cabra). |
| 15. Tanque de agua. |
| 16. Tractor CAT D-5. |
| 17. Tractor JD 550. |
| 18. Tractor KOMATSU. |

Apisonador Wacker: Se utilizó principalmente en la compactación de capas de relleno de zanjas hechas para la colocación de la tubería de conducción y los drenajes transversales. También se puede mencionar su utilización al compactar en las orillas o partes estrechas y en la compactación de capas de relleno de los baches existentes. Así mismo se emplearon en el relleno de la bóveda al ser necesario compactar en partes adyacentes a la tubería de modo que la maquinaria pesada no dañara la estructura de la misma. Utilizado tanto para suelos cohesivos como suelos no cohesivos.

Cargador CAT 920 y CAT 930: Su función principal fue en el proceso de mezclar y homogenizar el material de relleno (tanto estabilizado con cemento como sin estabilizar) y material para baches, así como homogenizar y mezclar el material de base utilizado en el pavimento. Cuando fue necesario ayudaron a tender el material para colocar una capa. Se debe mencionar también su uso en el traslado de material y piedras de un lugar a otro, así como cargar camiones cuando estos fueron utilizados.

Compactadora BROSS: Esta compactadora de llantas de hule se utilizó para la compactación final de la capa de base de 20 cm. de selecto, o sea luego de haber compactado la capa con el rodo liso (vibratorio). Usado para suelos no cohesivos o de baja cohesión.

Dumper: El dumper es una pequeña máquina de apoyo utilizado para transportar pequeñas cantidades de arena, pedrín, selecto, material de relleno o piedras, de un lugar a otro, para ser utilizado por alguna cuadrilla de ayudantes.

Motoniveladora CAT 12-F y 120-G: También conocidos como patroles, su función básica fue tender el material de relleno o base homogenizado para colocar una capa, así como cortar al estar trabajando sub-rasante o donde sea necesario hacer un corte, donde no amerite ser efectuado por un tractor. Cumplieron un papel fundamental para "cortar" o sea afinar la superficie de la capa de base luego de haber sido compactada debidamente, dejandola lista para proceder a fundir la losa de concreto (capa de rodadura).

Mototrailla CAT 613: Esta máquina se utilizó poco en el proyecto, pero fue útil en el proceso de transportar material de corte y material de relleno mezclado y homogenizado y tenderlo en lugares donde el proceso no se podía hacer con cargador y camiones por ser un tramo con una pendiente bastante fuerte.

Pala POCLAIN: La pala cumplió un papel fundamental a la hora de hacer los cortes en los taludes de modo de dejarles una pendiente adecuada y en excavaciones grandes como la del tanque desarenador. También se utilizó en un tramo donde el talud estaba formado por material rocoso y para hacer cortes y excavaciones donde era imposible para un tractor entrar por la topografía del lugar. Hay que mencionar también la utilidad de la pala en el armado de la tubería de 4.14 m. (bóveda), pues fue utilizada para ir levantando cada lámina y colocarla en su lugar ya que estas tienen un peso entre 280 y 397 lbs., según su tamaño.

Retroexcavadora JCB 3CX-4: Utilizada para excavaciones pequeñas como en el vaciado de baches de mal material y zanjas para colocación de tuberías, así como también en el proceso de mezclar, homogenizar y tender material.

Retroexcavadora JD 310-A: Su función principal fue en la excavación de zanjas para drenajes transversales, ducto seco y de tubería de agua potable, así como en la excavación de los baches que fue necesario hacer al estar trabajando la sub-rasante. También fue utilizada para transportar piedras de un lugar a otro, principalmente en el proceso de construcción de los gaviones, para lo cual se empleó mucha piedra proveniente del talud natural existente o del lecho del río.

Rodo liso RAYGO y HYSTER: Ambos son rodos lisos de tipo vibratorio y se utilizaron en el proceso de colocación de capas de base (material selecto estabilizado con cemento) para compactar la capa que ha sido tendida por el patrol. Del mismo modo empleados en la compactación de las capas en los baches de considerables dimensiones, los cuales fueron llenados con material selecto. Estos rodos se utilizan para compactar suelos no cohesivos.

Rodillo BOMAG: Este rodillo más conocido como “pata de cabra” o “sheep foot” se utilizó en la compactación de tramos de sub-rasante y las capas de relleno del área de la bóveda, así como en tramos de baches de considerable extensión. Apropiado para suelos cohesivos como las arcillas o para suelos limosos.

Tanque de agua: Este es un equipo de apoyo que jugó un papel fundamental en el proceso de mezclado y homogenizado del material de relleno y de base, ya sea estabilizado con cemento o sin estabilizar, de modo de lograr alcanzar la humedad apropiada del material.

Tractor CAT D-5, JD 550 y KOMATSU: Esta maquinaria fue fundamental para iniciar los trabajos de limpieza y para abrir la brecha inicial de la calle. Luego se utilizó en el corte de la cajuela, así como para hacer cortes en los taludes o en cualquier lugar donde sea necesario, empujando el material cortado hacia algún lugar donde no estorbe o donde sea recogido por el cargador. También fue utilizado para ayudar a tender capas de material de relleno en el área donde se colocó la tubería de 4.14 m.

1. Limpieza.

Consiste en hacer todas las operaciones previas a la iniciación de los trabajos de terracería con el objeto de eliminar toda clase de vegetación existente en el área del trazo del camino o en los bancos de préstamo. Estos trabajos incluyen cortar árboles o arbustos, remover la maleza, hierba o cualquier clase de vegetación, extraer troncos y raíces que puedan obstaculizar los trabajos.

La limpieza consistió en la remoción de toda la vegetación, árboles y la capa de tierra vegetal de 30 cm. de espesor promedio en todo el tramo del trazo de la carretera. Esto se hizo con un tractor de oruga comenzando desde un extremo del camino hasta llegar al río Pinula. Al finalizar este tramo se inició la limpieza desde el otro extremo del camino, en la entrada de la lotificación Lomas del Bosque, hasta llegar nuevamente a la orilla del río. Los arboles derribados se juntaron en un lugar determinado para ser retirados y todo el material inservible se desechó en un botadero designado ubicado dentro de la finca San Miguel Buena Vista, a una distancia no mayor de un kilometro.

2. Corte.

Luego de terminada la limpieza se inició la etapa de corte. Esta consiste en excavar material dentro de los límites de construcción para ser utilizado en el relleno. Según datos obtenidos de los planos y en base a los datos de la rasante diseñada se efectuaron todos los cortes para llegar a los niveles de sub-rasante.

Parte de este material se utilizó como material de relleno y el material inapropiado se trasladó al botadero.

Cuando se inició el corte del terreno para formar la cajuela del pavimento y sacar material se detectaron varios baches o bolsas de mal material o con exceso de humedad en ciertas áreas de trabajo, donde probablemente se había hecho un mal relleno, sin haber limpiado el fondo y con material contaminado sin compactar. En algunos incluso se encontró vegetación y suelo orgánico en el fondo.

Se procedió a excavar y remover el material inadecuado llegando a distintas profundidades hasta encontrar terreno firme o que fuera adecuado para trabajar la sub-rasante. En algunos de los baches se encontró material muy plástico el cual no garantiza ningún buen resultado para emplearlo y por lo tanto debió ser sustituido por material de mejor calidad. A lo largo del trazo del camino se encontraron otros baches, algunos provocados por filtraciones de agua provenientes de la montaña los cuales se fueron excavando y explorando la calidad del material conforme se profundizaba y se llegaba a un suelo de buena calidad.

Hacer el corte de cajuela, significa que ya teniendo el diseño de la rasante de la calle se debe cortar desde ese nivel hasta llegar a nivel de sub-rasante para proceder a trabajar las diversas capas que componen el pavimento: sub-rasante, base y capa de rodadura. El corte de cajuela fue de 35 cm., incluyendo los 20 cm. de la capa de base y 15 cm. de la superficie de rodadura.

Es importante mencionar que conforme se avanzaba en el corte de la cajuela se encontró un área donde existía una cantidad considerable de piedras sobre el trazo del camino, las cuales interferían con los trabajos. Por su tamaño y por ser demasiado duras para ser picadas a mano, se debió utilizar un compresor para barrenarlas, abriendo así un agujero donde se colocó pólvora para dinamitarlas y fracturarlas. Este trabajo fue realizado por personas con experiencia y conocimiento de ese procedimiento. Lo que quedaba de la piedra se picó a mano para luego removerlas y así continuar con los trabajos.

Al efectuar el corte, a lo largo del trazo del camino se encontraron diferentes materiales con características y propiedades distintas, los cuales se presentan a continuación. Se hallaron materiales con valores de CBR tan bajos como 3 y valores altos como 60. En la figura 2.2 se presenta un esquema en el cual se divide por tramos, los diferentes tipos de materiales y una tabla resumiendo los distintos materiales encontrados.

Tipos de materiales encontrados a nivel de sub-rasante.

Material 1: Tanto en el tramo 1, de la estación 0+000 a la estación 0+080, como en el tramo 5, estación 0+520 a estación 0+752, se encontró arcilla de alta plasticidad. Este es un material con un valor de CBR de entre 3 y 4 y presenta una compresibilidad y expansión alta. Su calidad como sub-rasante es regular y como material de relleno tiene una estabilidad aceptable, sin embargo es difícil de compactar.

Material 2: En el tramo 2, que abarca de la estación 0+080 a la estación 0+260, se encontró limo y arena fina limosa, con un valor de CBR de 8. Estos materiales tienen una compresibilidad y expansión mediana y una compactación aceptable. Su calidad como sub-rasante es regular y como material de relleno presenta una buena estabilidad.

Material 3: En el tramo 3, o sea de la estación 0+260 hasta la estación 0+350, se encontró arena arcillosa gravosa y gravas con finos de arcilla (CBR=20). Estos materiales presentan una compresibilidad y expansión ligera y una buena compactación. Su calidad como sub-rasante es buena y como material de relleno son razonablemente estables.

Material 4: En el tramo 4, de la estación 0+430 hasta la estación 0+520, se encontró grava limo-arenosa, un material con un valor de CBR alto, de 60. Su calidad como sub-rasante presenta un rango de excelente a bueno y como material de relleno es muy estable. Se puede decir que su compactación es buena y su compresibilidad y expansión, casi ninguna.

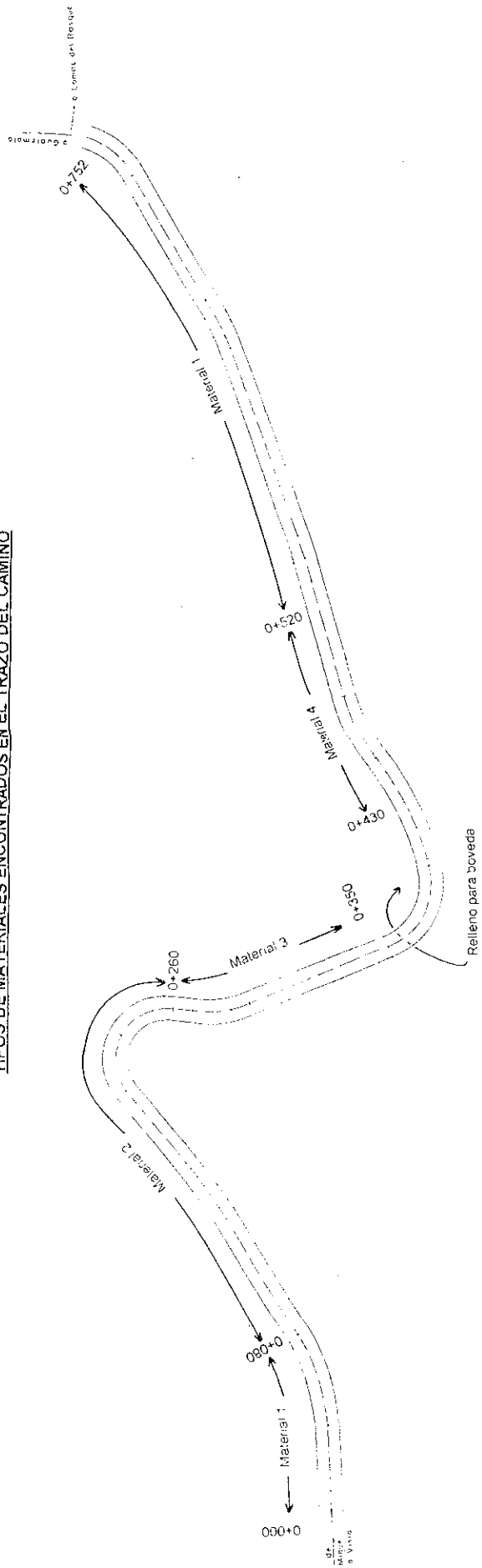
3. Relleno.

El relleno es el conjunto de operaciones necesarias para llenar hasta la altura del terreno original o a nivel de sub-rasante y el material utilizado se llama relleno o material de relleno. En el proyecto se hicieron los rellenos necesarios en parte para completar el ancho de la pista y en parte para llegar a los niveles deseados de sub-rasante utilizando material proveniente del corte y compactándolo por capas de 25 cm. de espesor al 90 % de su densidad máxima,

de acuerdo al método Proctor modificado (AASHTO T-180). El tramo entre la estación 0+350 hasta la estación 0+430 es todo lo que abarca el relleno donde fue colocada la tubería de diámetro de 4.14 m. (bóveda) por donde pasa el río Pinula y sobre la cual pasaría la calle. Para este relleno se utilizó material proveniente del corte. En la fotografía se puede ver la tubería en toda su extensión y se observa parte del cerro (que posteriormente desapareció) del cual se cortó material utilizado en el relleno.



TIPOS DE MATERIALES ENCONTRADOS EN EL TRAZO DEL CAMINO



Tipos de materiales encontrados a nivel de subrasante.

| Tramo | Tipo de material | Descripción |
|-------|------------------|---|
| 1 | 1 | Arcilla de alta plasticidad |
| 2 | 2 | Limo y Arena fina limosa |
| 3 | 3 | Gravas con finos de arcilla y Arena arcillosa gravosa |
| 4 | 4 | Grava limo-arenosa |
| 5 | 1 | Arcilla de alta plasticidad |

FIGURA 2.2

En las áreas donde se encontraron baches se procedió a vaciar el mal material y a reemplazarlo por relleno con material adecuado compactándolo por capas. Algunos baches de poca profundidad se llenaron con material de mejor calidad proveniente del corte. En otros se utilizó el material cortado mezclado con cemento para hacer el relleno. Y en otros casos luego de excavar y llegar a un suelo firme se relleno el bache hasta el nivel de sub-rasante con material proveniente del corte mezclado con balasto de un banco cercano y estabilizado con cemento. El cemento utilizado fue el Tipo Portland 1 (PM) Norma ASTM C595.

En algunos casos los suelos disponibles en el lugar de construcción no llenan los requisitos de resistencia e incompresibilidad indispensables para su uso y el proceso por el cual se mejora el suelo para que pueda alcanzar estos requisitos se llama estabilización. En su sentido más amplio la estabilización de un suelo implica el mejoramiento de éste de modo que pueda ser usado como material para sub-rasantes, sub-bases, bases y en algunos casos en superficies de rodadura.

La estabilización del suelo con cemento para producir un suelo-cemento endurecido consiste en agregar cemento al suelo suelto permitiendo que la mezcla se endurezca por la hidratación del cemento al hacer contacto con el agua. La clave del éxito en la estabilización con suelo-cemento está en mezclar perfectamente y realizar una compactación adecuada, controlando estrictamente la humedad.

Para la capa inicial de sustentación de la bóveda se utilizó material procedente del corte estabilizado con cemento. El objetivo de la estabilización con cemento es básicamente absorber el exceso de humedad presente en el material que se utilizó para relleno. Sobre esta capa se colocó tela geotextil, cuyo objetivo es evitar que las filtraciones de agua que puedan ocurrir de abajo hacia arriba o viceversa, arrastren consigo los finos del material, desestabilizando así la base de la tubería y del relleno a los lados de la misma. Encima de la tela se colocó una capa de material selecto de 15 cm. de espesor, compactándola con vibro-compactador manual. Sobre esta capa se tiró otra capa de selecto de 15 cm. pero sin compactarla. El objeto de esa capa es que al colocar la tubería el material selecto se amolde a las corrugaciones de la misma, dándole una sustentación uniforme. Estas capas de material selecto se pusieron en una franja de 4 m de ancho.

Una vez armada la bóveda se inició el relleno, aproximadamente una altura de 12 m., para llegar al nivel de la rasante de la carretera. Tanto a los lados como sobre la tubería se relleno utilizando material proveniente del corte, colocándolo en capas de 30 cm. de espesor y compactándolo al 90 % de su densidad máxima, según el método Proctor modificado. De modo de aprovechar todo el material de corte disponible y apropiado para el relleno, el material con valores de CBR bajos se estabilizó con material que presentaba valores mas altos de CBR.

Debido a unas fuertes lluvias que cayeron al estar efectuando el trabajo, el material disponible para relleno se saturó, por lo que se decidió mezclarlo con cemento, con el objeto de absorber el exceso de humedad.

Es importante mencionar que las capas de relleno sobre la bóveda se fueron colocando en forma escalonada de modo de ir conformando el talud (con una pendiente de 1.5:1) de la carretera hasta llegar al ancho de lo que es la cajuela de la misma, a nivel de sub-rasante. En la fotografía se puede observar parte del talud formado por el relleno construido sobre la bóveda y un tramo de la calle que pasa sobre este. Se logra ver también el pozo de visita No. 3.

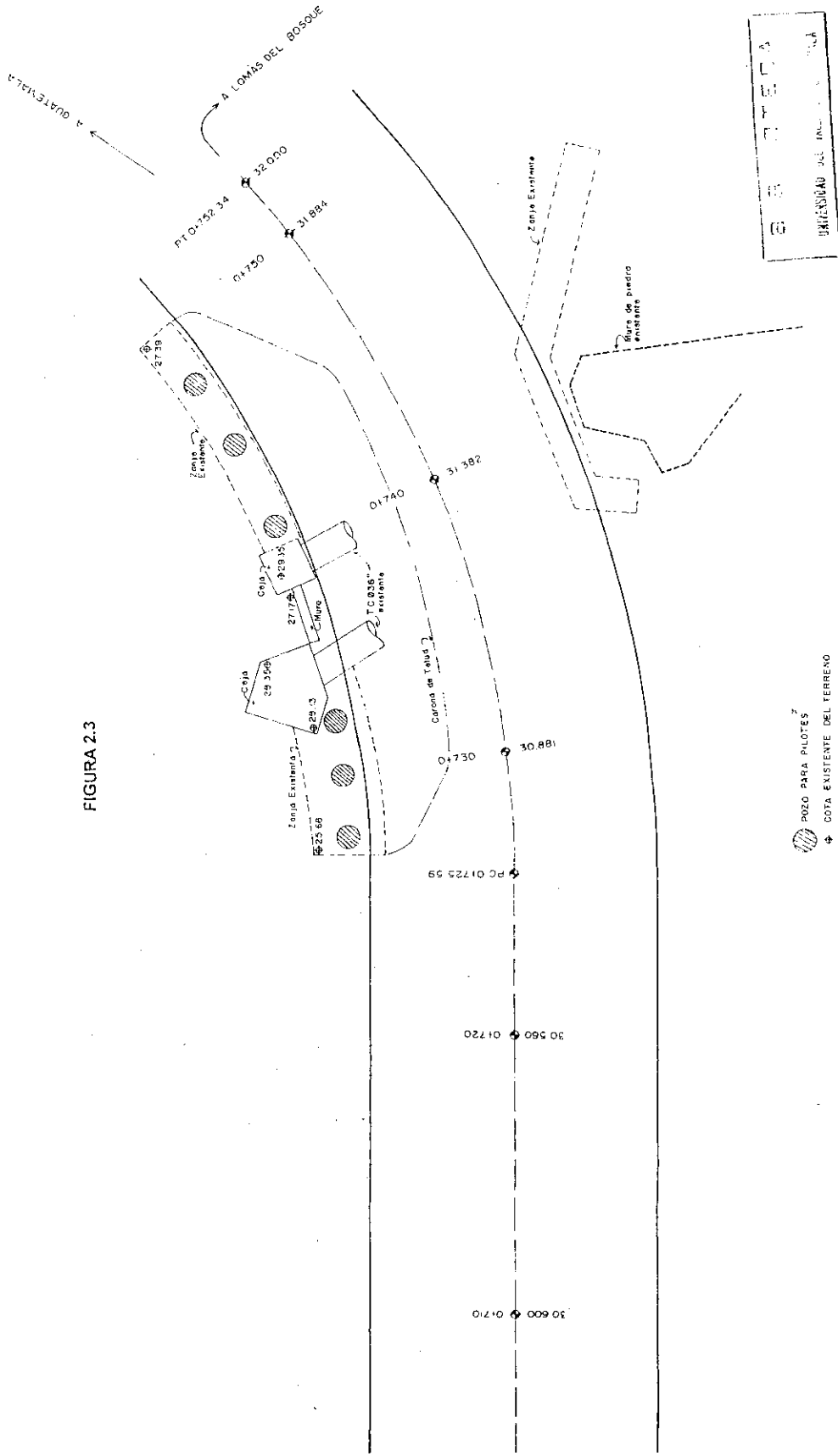


Para el relleno de zanjas donde se colocaron los drenajes transversales se utilizó material proveniente de la excavación, compactado por capas de 25 cm. de espesor al 90 % del Proctor modificado, hasta llegar al nivel de sub-rasante. Por último se colocó la capa de base de 20 cm. de espesor, compactada al 95 % del Proctor modificado. La base consiste de una capa de material selecto estabilizado con cemento a razón de un saco/m³.

Uno de los lugares donde se detectó un mal relleno fue en el zanjón en un extremo del camino (entre las estaciones 0+725 y 0+750), por donde pasan unas tuberías de concreto de 36" de desfogue de la lotificación Lomas del Bosque. Aquí se encontró que el relleno existente sobre dichas tuberías fue hecho con material contaminado y sin compactación. Se excavó una zanja para retirar el material inadecuado, llegando a distintas profundidades (entre 4.00 y 5.00 m. aproximadamente) para buscar terreno firme y construir un muro de contención. Sin embargo, esta solución se descartó debido a que no se llegó a un terreno adecuado de apoyo.

En el fondo de la zanja existente se procedió a excavar unos pozos de exploración (6) para ver si se encontraba buen terreno de apoyo y se comprobó que inclusive más abajo (2.00 m más de profundidad) persistía el relleno de material sin compactar mecánicamente. En la figura 2.3 se puede ver detalladamente una planta del zanjón mencionado, así como las tuberías de 36" y los pozos excavados.

FIGURA 2.3



La solución que se adoptó de modo que el trabajo fuera confiable y al menor costo posible se puede ver en detalle en la figura 2.4 y consistió en lo siguiente:

- 1) Fundir los pozos excavados en el fondo de la zanja con concreto reforzado, quedando así unos pilotes sobre los cuales se fundió una viga en sentido logitudinal. Estos sobresaliendo un metro del nivel de la zanja.
- 2) Colocar una capa de suelo cemento de 20 cm.
- 3) Rellenar un metro de altura con una capa filtrante de piedra y colocar tubería de PVC de 4" para que sirva como drenaje interceptante.
- 4) Rellenar con suelo cemento el resto de la zanja existente y la zanja del lado opuesto del camino.
- 5) Sobre los pilotes fundir una viga de concreto para anclar allí una malla de gaviones. Esta malla se colocó en posición vertical dentro del relleno de selecto y luego, horizontalmente abajo del relleno sobre el cual pasa la pista, incrustándola en la zanja del lado opuesto.
- 6) Luego se completó el relleno con material proveniente del corte hasta el nivel de sub-rasante.
- 7) El talud fue conveniente recubrirlo con piedra y luego con savieta para evitar que la erosión y la filtración de agua en el invierno produjera daños al relleno y a la estructura del pavimento.

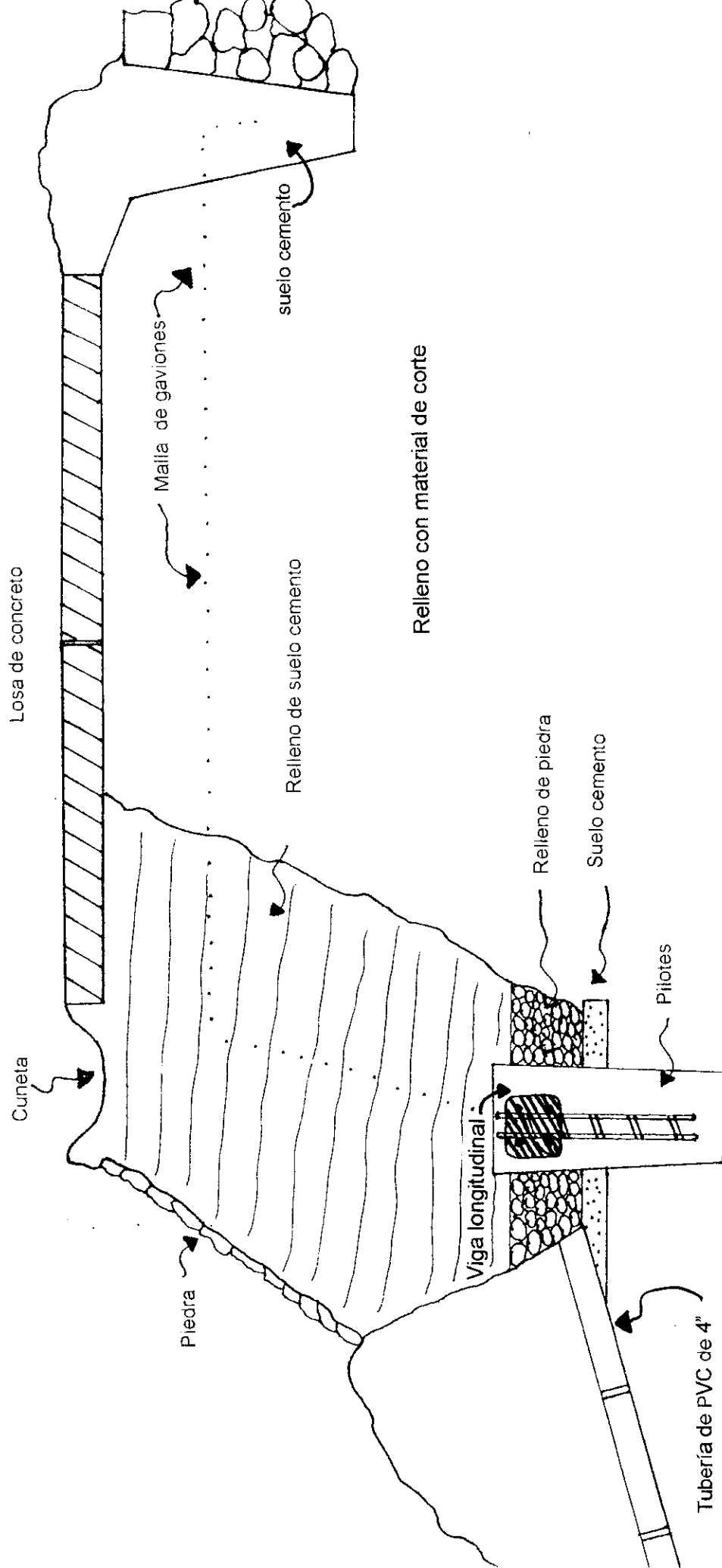


FIGURA 2.4

B. DRENAJES.

El trazo de una carretera va cortando valles, cerros y quebradas, los cuales conducen las diferentes corrientes de agua, provenientes de las precipitaciones pluviales que al correr sobre la tierra se esparcen sobre ella en múltiples direcciones.

La función de los sistemas de drenajes para el agua de lluvia es eliminar el agua superficial del camino, el cruce de arroyos y el alejamiento y regulación del agua subterránea. El agua superficial suelta crea peligros de tránsito, causa erosiones y se filtra en la sub-rasante saturándola y dejando el pavimento sin sostén. De tal modo que el agua superficial debe ser alejada de una carretera tan rápido como sea posible. Estructuras como cajas, bóvedas, tubos de metal o concreto, cunetas y contracunetas se utilizan para formar el drenaje de las carreteras.

1. Paso del río Pinula: Construcción de la bóveda.

La solución que se encontró al problema del paso sobre el río Pinula fue la construcción de una bóveda compuesta por una tubería circular de acero galvanizado, cuyo diámetro se estableció en base a un estudio sobre la cuenca del río Pinula y el caudal total que podía pasar por el lugar. Su ubicación se puede ver en el detalle de la planta presentada en la figura 2.5

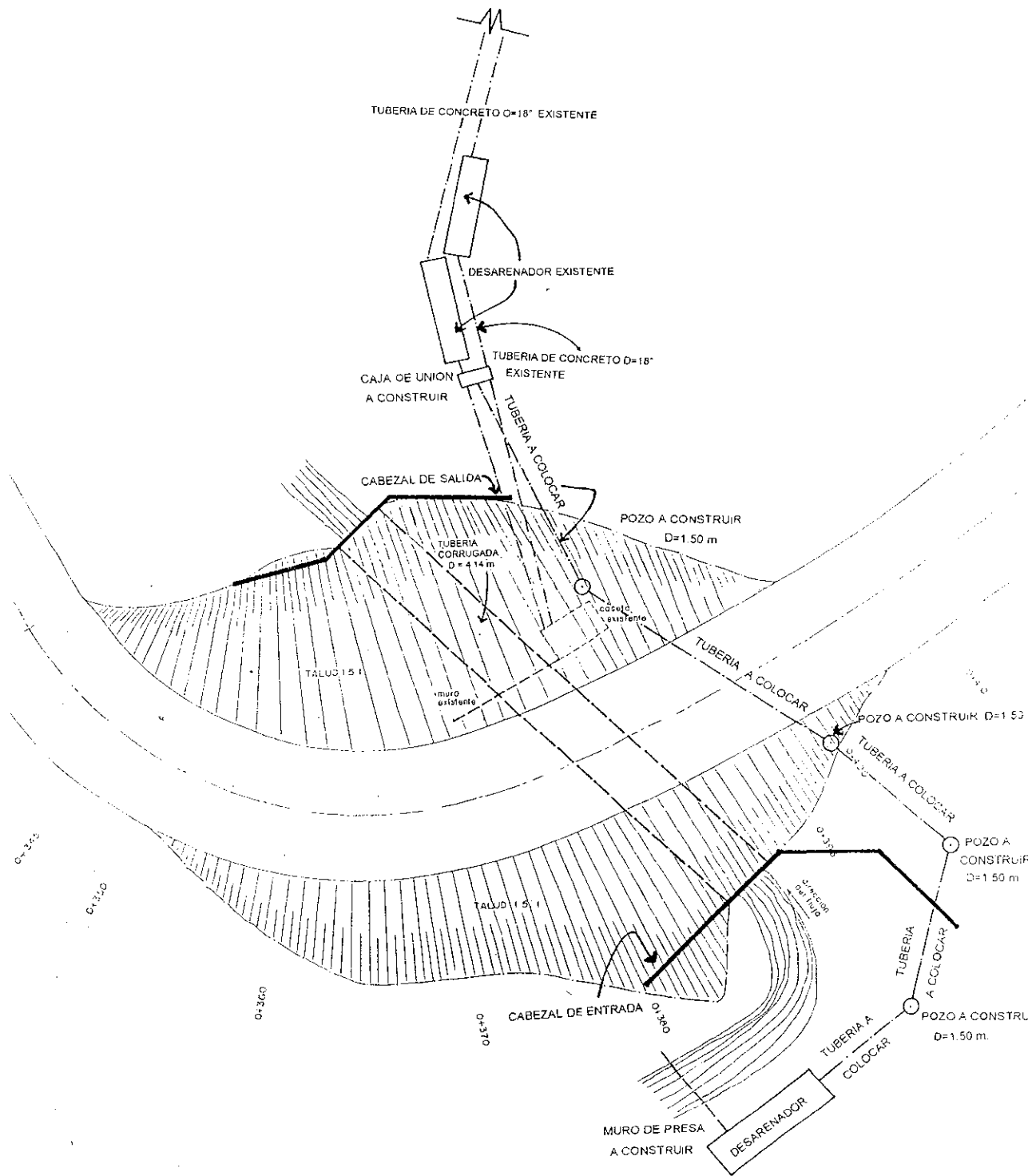
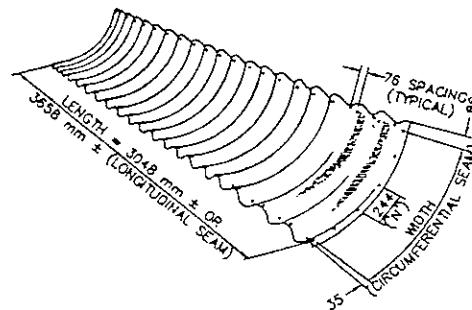


FIGURA 2.5

La bóveda construida es una estructura compuesta de 120 láminas de acero galvanizado formada por secciones corrugadas con un espesor de 3 mm. La longitud de las secciones es variable; 60 láminas tienen una longitud de 3.05 m (10') y las otras 60 láminas son de 3.66 m (12') de largo.

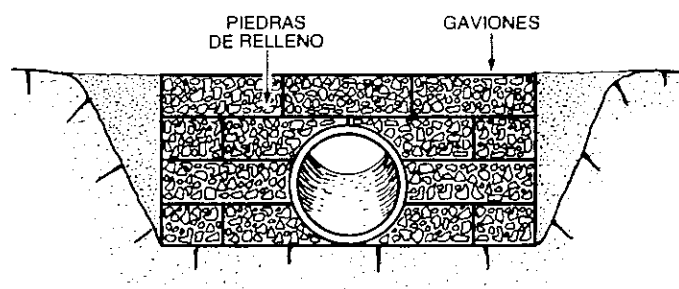


Detalle de una lámina típica.

La tubería tiene un diámetro de 4.14 m, una longitud de 40.2 m y fue colocada sobre un lecho de material selecto estabilizado con un saco de cemento por metro cúbico y compactado al 90% de su densidad máxima.

El ensamblaje de la tubería fue un proceso bastante laborioso y mecanizado que requirió el trabajo coordinado de varias personas y maquinaria pesada. Se utilizó una pala Poclain para levantar las láminas y llevarlas hasta su lugar de colocación. Para el armado de la bóveda y lograr unir las 120 láminas se necesitaron 6,000 tornillos y tuercas, los cuales se fueron colocando manualmente en los traslapes de las piezas hasta completarla. Estos tornillos son galvanizados y tienen un diámetro de 3/4". Todo el proceso de instalación y armado de la tubería tuvo una duración de aproximadamente 15 días.

En los dos extremos de la tubería se construyeron cabezales para protección del relleno. Para ello se utilizaron gaviones y piedra que se obtuvo del lecho del río y del banco de piedra existente en el lugar. Con el mismo sistema se recubrió el lecho del río en el área comprendida entre los aletones de los cabezales tanto de entrada como de salida.



Detalle de cabezal típico de la tubería.

En la entrada de la bóveda se excavó un tramo de 75 cm de profundidad, 1.50 m de ancho y 5.00 m de longitud (perpendicular a la tubería) para fundirlo con concreto ciclópeo, como protección a la tubería. Luego se colocaron unas colchonetas de gaviones para protección del lecho del río y debajo de éstas se puso una membrana geotextil. Parte de las colchonetas quedaron dentro de esta fundición para evitar el riesgo de socavamiento.

En la salida de la bóveda fue necesario construir un muro de gaviones que sirve de contención al relleno en la descarga de la tubería. Para colocar estos gaviones se colocó una capa de 15 cm. de material común proveniente del corte, mezclándole cemento para estabilizar el material debido a la humedad del lecho del río. Luego se colocó otra capa de 15 cm. de material sin mezclarle cemento. Cubriendo el muro de gaviones se colocó una membrana geotextil por el lado interior, donde está el relleno, con el objeto de que si hay filtraciones de agua en éste, la tela actué como filtro, permitiendo el paso libre del agua e impidiendo el paso de los finos del material. Luego se relleno aguas abajo del cabezal de salida de la tubería de modo de proteger el lecho del río en la descarga, siempre utilizando material común estabilizado con cemento. En este punto se colocaron colchonetas de gaviones y abajo de las mismas se colocó tela geotextil.

En la siguiente secuencia se presenta dos fases del proyecto. En la fotografía superior, la salida del agua de la tubería, en fase de construcción. En la imagen inferior se observa la obra terminada: el cabezal de salida de la bóveda, el muro de gaviones y entre el agua se pueden ver las colchonetas de malla de gaviones colocadas para prevenir el socavamiento del lecho del río al salir el agua de la tubería.



Dos vistas de la salida de la tubería.

Los gaviones son elementos paralelepípedos, modulares, fabricados con malla de alambre fuertemente galvanizado, reforzados en los bordes con alambre más grueso y divididos en celdas mediante diafragmas. Son estructuras de fácil y simple ejecución y no requieren mano de obra calificada para su armado y llenado.

Por su peso propio y su carácter monolítico son capaces de resistir los empujes del terreno y mantener la integridad de la estructura. Los alambres que constituyen la red transmiten y distribuyen las tensiones en toda la estructura.

Por su flexibilidad pueden absorber asentamientos sin perder su eficiencia, permaneciendo estructuralmente seguros, al contrario de las estructuras rígidas o semirrígidas que pueden ser destruidas aún por pequeños movimientos o socavaciones del terreno de apoyo. Además los gaviones se ven favorecidos por la sedimentación que llena sus vacíos y por el enraizamiento de la vegetación en los mismos, como protección a la estructura.

En la siguiente página se encuentran unas fotografías en las que se puede ver en detalle el muro de gaviones, todavía en fase de construcción, colocado como protección para el relleno y para encausar la entrada del agua a la tubería. Sobre ésta se colocó el relleno sobre el cual pasa la calle y en la fotografía inferior se puede observar la tubería en toda su magnitud; el relleno está en su fase inicial.



Muro de gaviones.

2. Tragantes, tuberías transversales y desfogues.

En esta sección se describen los trabajos efectuados en la construcción de drenajes pluviales del proyecto, incluyendo estos, la colocación de tuberías transversales, construcción de tragantes, cabezales y desfogues. En la figura 2.6, página 44, se puede ubicar con detalle su localización.

a. Tragantes.

Los tragantes o bocas de tormentas son aberturas en la calle para interceptar el agua de lluvia que escurre en ella y conducirla a una alcantarilla de aguas pluviales. Estos se deben localizar en las intersecciones (esquinas), en las partes bajas de las calles y en puntos intermedios de calles muy largas.

Para solucionar la evacuación de las aguas pluviales que corren superficialmente en el camino fue necesario construir cinco tragantes localizados en las siguientes estaciones:

Uno para captar las aguas de la cuneta del lado izquierdo (oeste) en la estación 0+210.

El segundo para captar las aguas de la cuneta del lado derecho de la calle (este) en la misma estación (0+210), que a la vez sirve como caja de unión para la tubería transversal que viene del lado izquierdo.

El tercer tragante se encuentra en la estación 0+250 (lado derecho), el cual recibe las aguas que vienen en la cuneta de ese lado y las que vienen provenientes de la tubería transversal de la estación 0+210 por medio de un

tramo de tubería colocado en sentido longitudinal de la calle, que se une al canal de concreto ciclópeo construido al final de la misma.

En la fotografía superior se muestra el tragante de la estación 0+210 (lado derecho), así como la cuneta lateral y el canal por el cual llegan las aguas ingeridas al tragante de la estación 0+250 (imagen inferior).



El cuarto está en la estación 0+350 al lado derecho y sirve para captar el agua que trae la cuneta del mismo lado y atravesarla por la tubería transversal colocada en esa estación, la cual llega a una caja construida al final de la tubería. Esta caja es el quinto tragante e intercepta el agua que viene de la cuneta del lado izquierdo, uniéndose en este tragante al caudal que viene por la tubería transversal y de allí se descargan al río por la cuneta de desfogue que finaliza en el derramadero construido en ese punto.

b. Tuberías transversales.

El agua que corre sobre la tierra debe ser controlada por diversos medios y uno de ellos lo constituyen las tuberías transversales, las cuales evitan, con su función de drenaje que el agua destruya la estructura de la carretera.

Una tubería o alcantarilla son los conductos que se construyen por debajo de la sub-rasante con el objeto de evacuar las aguas superficiales y profundas; constituyen un paso bajo nivel para el agua y el tránsito que pasa sobre ella.

Como parte del sistema de drenajes pluviales se colocaron varias tuberías transversales, las cuales son tuberías metálicas corrugadas de 30" de diámetro, siguiendo el mismo proceso de armado que el descrito para la tubería corrugada de diámetro de 4.14 m. y fueron colocadas en los siguientes puntos del camino:

Una en la curva en la estación 0+210, la cual sirve para pasar las aguas de la cuneta izquierda al lado derecho, ingiriéndolas en el tragante construido en el lado derecho de la pista, de donde son descargadas por la tubería longitudinal colocada en ese punto hacia la cuneta.

La segunda está localizada en la estación 0+250 y en ella se atraviesan las aguas recogidas por el tragante construido del lado derecho para luego ser descargadas al río por medio de un canal de desfogue.

La tercera está en la estación 0+350, antes de llegar al relleno sobre el río, donde fue construida la bóveda. Esta tubería capta las aguas que vienen en la cuneta del lado derecho por medio de un tragante, atravesando la calle y desfogando por una cuneta de desfogue hacia el río Pinula. En la imagen se muestra la salida de esta tubería transversal hacia la cuneta de desfogue.



Otra en la estación 0+575 con 14 m.l. de tubería, la cual recoge (por medio de la cuneta lateral) el agua de la depresión que se forma en este punto, llevándola al canal de desfogue y la última se encuentra en la estación 0+630 con 15 m.l. de tubería, captando el agua de lluvia que viene por la cuneta y el agua que baja por el talud natural existente.

c. Cabezales y desfogues.

Las cajas y los cabezales de alcantarillas son las estructuras colocadas en los extremos de las alcantarillas (entrada y salida), cuya función es encausar el agua y proteger la carretera. Pueden ser de concreto ciclópeo, mampostería de piedra o mampostería de ladrillo o bloque.

En los drenajes transversales de las estaciones 0+575 y 0+630 se construyeron cabezales y cajas de entrada y salida de la tubería (ver la figura 2.6), utilizando concreto ciclópeo. Las paredes tienen 30 cm. de espesor y el piso 20 cm. Después de cada cabezal de salida se construyó una cuneta de desfogue, utilizando concreto ciclópeo, hasta llegar a un punto donde el terreno es lo suficientemente firme para resistir la corriente de agua.

El concreto ciclópeo es una masa de concreto simple que consiste de una combinación de concreto de cemento al que se le incorporan piedras grandes, preferiblemente en su estado natural y sin fracturas o grietas que tiendan a reducir su resistencia. Puede ser piedra partida o de canto rodado de buena calidad y debe estar limpia en el momento de hacer la fundición.

Al final de cada una de las tuberías transversales de las estaciones 0+250 y 0+350, también se construyó un cabezal de salida de las mismas dimensiones. Del mismo modo fue necesario colocar cunetas de desfogue, también de concreto ciclópeo en los siguientes lugares:

En la descarga de la tubería transversal de la curva en la estación 0+210 de una longitud aproximada de 10 m.

En la salida de la tubería transversal localizada en la estación 0+250, la cual conduce el agua hacia un derramadero construido más abajo y de éste sale el agua hacia el talud llegando finalmente al río.

En el desfogue de la tubería de la estación 0+350 con 22 m. de longitud, la cual termina en un derramadero que vierte la corriente directamente hacia el río Pinula (mostrado en la fotografía).



Además fue necesario construir una cuneta de desfogue para descargar el agua que lleva la cuneta del lado oeste del camino en la estación 0+710 hacia el zanjón que está en el extremo final del proyecto en la entrada de Lomas del Bosque, teniendo ésta una longitud de 19 m.

3. Cunetas laterales.

Las cunetas laterales son canales situados a ambos lados de la línea central de la carretera, que sirven para interceptar y conducir el agua de lluvia que proviene del pavimento y las banquetas, y de los taludes en donde hay corte, hacia los drenajes. Pueden ser recubiertos de piedra ligada con mortero, concreto simple fundido en el sitio o mezclas asfálticas.

En casi toda la longitud del camino fue necesario construir cunetas a ambos lados para canalizar el agua de lluvia que corre por la pista, a excepción de algunos tramos.

Uno de ellos es en el lado izquierdo donde hay una curva con peralte, desde la estación 0+210 hasta la estación 0+320 y el agua que corre por la pista se pasa al lado interior, juntándose con el agua que va canalizada por la cuneta de ese lado.

Otro tramo donde no se construyó cuneta es en toda la longitud del lado derecho donde se hizo el relleno sobre la bóveda (estación 0+340 hasta la 0+410), ya que por el peralte de la pista la corriente se pasa a la cuneta del lado opuesto. De aquí en adelante si se construyó cuneta lateral en todo el lado derecho de la carretera.

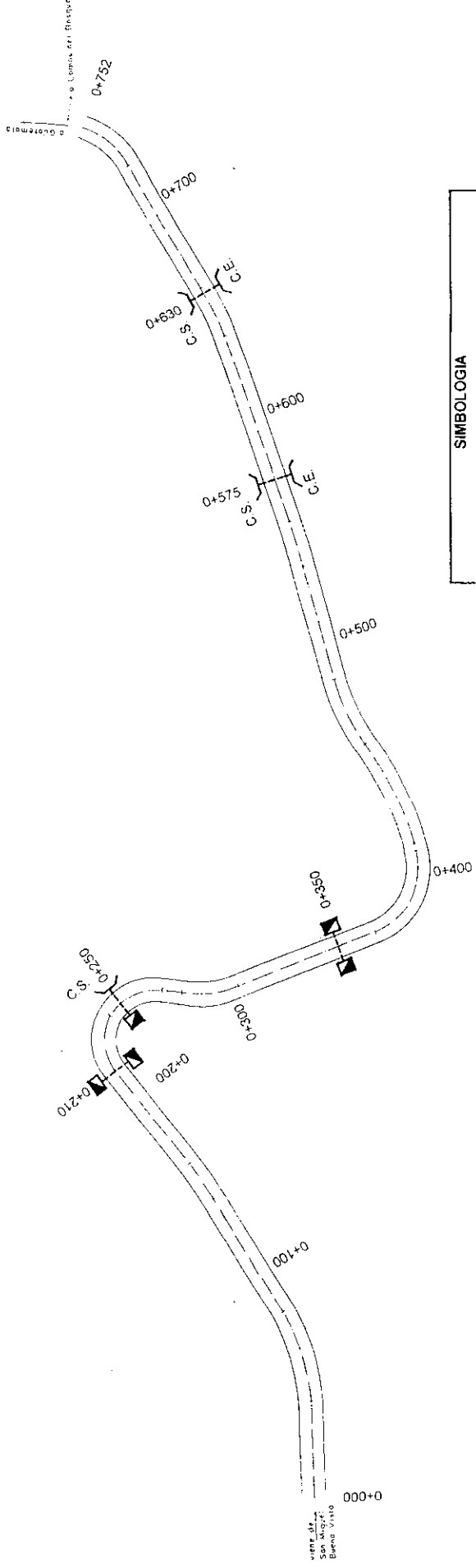
En el lado izquierdo la cuneta continúa de la estación 0+360 hasta la estación 0+595, donde se pasa el agua que viene por la misma a la cuneta del lado derecho, por el peralte de la pista. A partir de la estación 0+675 la cuneta continúa hasta el final del camino.

En la estación 0+360 del lado derecho del camino, inicia un tramo de cuneta por donde el caudal de agua que viene de ese lado se desvía hacia la derecha y descarga directamente hacia el río Pinula, aguas arriba de la presa.

Todos los tramos donde fue construida cuneta esta se fue fundiendo en planchas de concreto de 3 m. de largo, 80 cm. de ancho y 12 cm. de espesor, con forma redondeada de modo de permitir el paso de las llantas de un vehículo en caso de alguna emergencia. La cuneta se puede ver en la fotografía siguiente.



TUBERIAS TRANSVERSALES, TRAGANTES Y CABEZALES



| SIMBOLOGIA | |
|------------|----------------------------|
| | TUBERIA METALICA CORRUGADA |
| | TRAGANTE |
| | CABEZAL |
| | CABEZAL DE ENTRADA |
| | CABEZAL DE SALIDA |

FIGURA 2.6

C. PAVIMENTO.

Un pavimento es una estructura cuya función fundamental es distribuir suficientemente las cargas concentradas de las ruedas de los vehículos de manera que el suelo subyacente pueda soportarlas sin falla o deformación excesiva. Además debe proveer una superficie lisa, no resbaladiza, que resista a la intemperie, sobre la cual los vehículos puedan pasar bajo cualquier condición climática.

Los pavimentos se han dividido de una forma muy amplia en: rígidos o flexibles. La diferencia esencial entre ambos es la forma en que distribuyen la carga sobre la sub-rasante.

En este proyecto se utilizó un pavimento rígido. Por su rigidez este tipo de pavimento tiende a distribuir la carga sobre un área de terreno relativamente extensa; por eso, una gran parte de la capacidad de la estructura es proporcionada por la losa.

Los componentes de un pavimento rígido son tres: primero la sub-rasante preparada, luego puede o no tener una capa de base (a veces llamada sub-base) entre la capa de rodadura y la sub-rasante y por último la superficie de concreto.

1. Sub-rasante.

La sub-rasante es la parte del lecho de la carretera sobre la que se construyen la capa de base y la superficie de rodadura. Es la capa que sirve de asiento o soporte al pavimento de una carretera y puede ser el suelo virgen o las capas de suelo especialmente preparadas y compactadas.

El desempeño de un pavimento es afectado por las características de la sub-rasante. Sus propiedades deseables incluyen resistencia, drenaje, o sea una alta permeabilidad para que pueda evacuar el agua que le llega rápidamente, facilidad y permanencia de compactación y permanencia de la resistencia. El factor más importante que hay que tomar en cuenta en la sub-rasante es la compactación.

La compactación no es más que la reducción de la relación de vacíos y el objetivo principal al aplicarla en un suelo es mejorar sus propiedades, aumentar su resistencia y capacidad de carga, reducir su compresibilidad y disminuir su propensión de absorber agua.

Un suelo está formado por partículas de diversas formas y tamaños, existiendo entre ellas espacios que se denominan vacíos. Estos espacios pueden estar ocupados por agua, aire o ambos a la vez. Al compactar una masa de tierra se comprimen estos espacios y se puede llevar el terreno a unas condiciones en las que se reduce la tendencia a que se produzcan cambios de humedad posteriores.

Para lograr una buena compactación se debe controlar muy bien la cantidad de agua, ya que si esta es muy poca no existirá lubricación y no se podrá disminuir la fricción que existe entre las partículas. Contrariamente, si la humedad es muy alta, la compactación y la reducción de la relación de vacíos los lleva a la saturación y las partículas pueden ser separadas.

La compactación apropiada de la sub-rasante y la capa de base es esencial en la construcción de carreteras. Esta incrementa la densidad del suelo, consecuentemente reduciendo el contenido de humedad, aún en la eventualidad de una saturación posterior. De estos dos factores depende la resistencia del material.

En la construcción de un paso alternativo a San Miguel Buena Vista, la capa de sub-rasante se trabajó de la siguiente forma. Se escarificó el material en un espesor de 15 cm., se homogenizó y se compactó al 90 % del Proctor modificado. La presencia de baches que tienen material malo o con exceso de humedad, que imposibilitan lograr la compactación deseada, se excavaron a mano o con maquinaria descartando el material inapropiado y se rellenaron con material selecto compactado en capas de 30 cm. de espesor al 90 % de su densidad máxima.

2. Base.

La base se define como la capa de material que está situada inmediatamente abajo de la capa de rodadura. Su función al usarla en pavimentos rígidos es la de prevenir el problema del bombeo, proveer drenaje, controlar o prevenir los cambios volumétricos (encogimiento o hinchazón) en la sub-rasante y el incremento de la capacidad estructural. La capa de base da cierta capacidad estructural al pavimento y su contribución a la capacidad de transmisión de carga es de acuerdo al espesor que tenga.

La condición de bombeo se produce por la expulsión de agua y suelo a través de las juntas y grietas o en las orillas del pavimento, causado por la deflexión de la losa luego de que se pueda haber quedado agua acumulada bajo la misma.

En el proyecto se colocó una capa de base de 20. cm de espesor de material selecto estabilizado con un saco de cemento por metro cúbico o sea aproximadamente el 3 % y se compacta al 95 % del Proctor modificado. Las bases tratadas con cemento son ampliamente utilizadas para pavimentos de concreto de larga duración. El área total de base fue de 6,186.24 m.² y es un poco mayor al área total de la capa de rodadura debido a que en ciertas partes fue necesario un sobreancho. El cálculo detallado del área de base se muestra en la tabla 2.5, en el apéndice C.

Como se mencionó anteriormente, para obtener una compactación adecuada buscamos una cierta cantidad de agua con la cual obtengamos la mayor densidad posible. A ésta le llamamos densidad máxima y la cantidad de agua necesaria para obtenerla es la humedad óptima. Existe una prueba de laboratorio por medio de la cual podemos obtener estos dos parámetros y es la que se conoce como Proctor modificado (AASHTO T-180).

Este método consiste en dar veinticinco golpes con un martillo de 2 plg. de diámetro que pesa 10 lbs., cayendo de una altura de 18 plg., en cada una de las cinco capas iguales de material colocado en un molde cilíndrico de 4 plg. de diámetro y 1/30 pie cúbico de capacidad.

La energía de compactación que se obtiene en éste ensayo es de 56,200 lbs./pie por pie cúbico, que es comparable con la que se obtiene con los equipos de compactación pesados utilizados en el campo.

Algo que se debe mencionar es que existe un ensayo (método de la arena) muy importante usado con el objeto de determinar la densidad seca del material o sea la densidad de campo. Con este dato podemos conocer y controlar el porcentaje de compactación que ha alcanzado el material en el sitio. Esto lo logramos comparando la densidad seca del material contra la densidad seca máxima obtenida en la prueba del Proctor modificado.

De modo de poder controlar que la compactación sea la adecuada se tienen ciertos rangos de aceptación y de rechazo que se deben cumplir, así: para la capas de relleno y de sub-rasante la densidad seca debe ser mayor o igual al 90 % del Proctor modificado y para la capa de base debe ser mayor o igual al 95 % del Proctor modificado.

3. Capa de rodadura.

La capa de rodadura en una carretera tiene por objeto proteger la base impermeabilizando la superficie, para evitar así posibles filtraciones del agua de lluvia que podrían saturar parcial o totalmente las capas inferiores.

Existen varios tipos de superficies que se pueden utilizar en la construcción de una carretera, entre los cuales se puede mencionar las siguientes: carpeta de concreto de cemento, adoquinados y superficies

bituminosas, que pueden ser: carpeta de concreto asfáltico, macadam (piedra partida) de penetración, superficies tratadas y superficies mezcladas en el sitio.

La superficie de rodadura de la carretera que se construyó es de concreto de cemento, que es una solución de alto costo pero de mayor duración y poco mantenimiento. Fue diseñada para tráfico liviano, sin paso de camiones, con un ancho de pista de 7.20 m. y la longitud total del tramo es de 752 m. El área total de pavimento construido en el proyecto es de 5,629.37 m.² y el cálculo detallado de la misma se presenta en la tabla 2.6, en el apéndice C.

Se fundió una losa de 15 cm de espesor utilizando concreto de 3,000 psi. de resistencia y fue diseñada basado en que por la calle sólo circulará tráfico liviano (automóviles, motos). Los camiones que tengan que entrar al desarrollo deberán ingresar por la aldea El Pueblito. La losa se fue fundiendo por tramos, para luego cortar en planchas de 3 m. de largo por 3.60 m. de ancho dejando sisas o juntas que se llenan posteriormente con petrolástico, un material derivado del petróleo.

Las juntas son necesarias para impedir la producción de grietas, como consecuencia de las dilataciones, debidas a cambios de temperatura y retracción y de modo que el agua no penetre por ellas, se deben llenar con un material bituminoso que no impida el movimiento de dilatación de las placas.

En las siguientes fotografías se pueden apreciar dos tramos de la calle terminada. Observar la losa fundida, las juntas transversales, las cunetas a ambos lados y el talud a lo largo de la calle. En la foto inferior: la garita de salida.



Dos aspectos de la calle terminada.

D. OBRAS COMPLEMENTARIAS.

1. Instalaciones para EMPAGUA.

Esta parte se refiere a la construcción de las instalaciones necesarias para modificar la captación de agua de EMPAGUA en el río Pinula. En lo que es el trazo del camino existían una presa, una caja de captación y una tubería de concreto de 30", que de la caja conducía el agua a los tanques desarenadores existentes, aguas abajo de la bóveda. Todas estas instalaciones de EMPAGUA debieron ser demolidas y removidas, a excepción de los tanques desarenadores y construidas de nuevo en otros puntos, fuera del trazo de la carretera.

La solución más adecuada para EMPAGUA consistió en hacer una nueva presa y caja de captación aguas arriba, y entubar con una sólo tubería, de la captación nueva hasta intersectar con las tuberías existentes, construyendo en este punto una caja de unión. Por requerimiento de autoridades de EMPAGUA se decidió construir un tanque desarenador en lugar de la caja de captación.

La ubicación de las instalaciones mencionadas se puede ver detalladamente en la figura 2.5, presentada en la página 29.

a. Presa.

Las fuentes de abastecimiento de agua pueden ser superficiales como la corriente que baja de una montaña o pueden ser subterráneas. En este caso la fuente de abastecimiento es el río Pinula y para lograr la captación del agua fue necesario construir una presa.

El muro de la presa fue construido de concreto ciclópeo y tiene 2 m. de altura sobre el lecho del río, 1 m. de ancho en la parte superior, 3 m. de ancho en la base y un vano de 1.30 m. de ancho para colocación de una compuerta. En el vano de la compuerta se fundió una columna de concreto a cada lado, de 30 cm. por 20 cm. con cuatro hierros de 5/8" y estribos de 3/8" a cada 15 cm.

En la siguiente imagen se ve el muro de la presa y la compuerta colocada por EMPAGUA.



b. Desarenador.

El tanque desarenador fue construido con requerimientos de ingenieros de EMPAGUA y tiene 10 m. de longitud por 3 m. de ancho y 2.70 m. de altura total. Se inició su construcción haciendo la excavación respectiva, luego se fundió el piso y se colocó la armadura de electromalla. Las paredes fueron fundidas y talladas y aguas arriba de la presa se abrió un boquete de entrada de agua. En este punto se colocó una reja de metal para impedir el paso de ramas o basura que puedan obstruir el paso libre de agua en la tubería. Del otro extremo del tanque sale la tubería de conducción, la cual aguas abajo llega a la caja de unión construida. Tanto el piso como las paredes del desarenador son de 20 cm. de espesor de concreto reforzado con electromalla tipo 6x6-4/4.



En la imagen: Tanque desarenador, reja de metal y compuerta.

c. Tubería de conducción.

Para la instalación de la tubería de conducción se excavó una zanja de 1.10 m. de ancho y su longitud total es de 67 m. Al excavar se encontró material muy duro y en partes piedra, por lo que se tuvo que trabajar a mano, picando y removiendo cada piedra que se encontraba. Obviamente este es un proceso muy largo y tomó varios días en completar la zanja.

En el fondo de la zanja se colocó una cama de 10 cm. de espesor de material selecto estabilizado con un saco de cemento por metro cúbico y compactado con vibro compactador manual, sobre la que se colocó tubería Rib-Loc de PVC de 500 mm. de diámetro. Luego se rellenó hasta una altura de 30 cm. sobre el tubo, utilizando material selecto estabilizado con cemento y compactado por capas al 90 % de su densidad máxima, según el método Proctor modificado. El resto de la zanja se rellenó con material común colocado por capas de 25 cm. y compactado al 90 % del Proctor modificado.

d. Pozos de visita.

Los pozos de visita se instalan en cada entronque de dos o más tuberías y en todas las tuberías demasiado pequeñas para permitir el paso de un hombre en cada cambio de dirección o de pendiente.

El objetivo de los pozos de visita es poder realizar la inspección y limpieza de las tuberías. Para facilitar la entrada se pueden colocar escalones de hierro fundidos entre las paredes del pozo.

En el tramo de la tubería de conducción que une el desarenador con la caja conectora se construyeron cuatro pozos de visita de una profundidad aproximada de 6 m. Estos tienen 1.50 m. de diámetro interno, con piso y tapadera de 20 cm. de espesor de concreto reforzado y paredes de 15 cm. de espesor de concreto con electromalla tipo 6x6-6/6, a excepción del cono que es de ladrillo tayuyo de punta. Se colocaron escalones de hierro de 5/8" espaciados 30 cm.

e. Caja conectora.

Al final de la tubería de conducción se construyó una caja de unión para encausar el agua de la tubería nueva hacia su curso normal en las dos tuberías de 18" existentes. Esta caja es de concreto de 15 cm. de espesor reforzado con electromalla tipo 6x6-6/6. En la fotografía se puede ver esta caja, los desarenadores existentes y la salida del agua de la bóveda hacia el cauce del río.



2. Instalaciones de agua para la Municipalidad de Santa Catarina Pinula.

Aquí se describen los trabajos realizados para modificar las tuberías de agua potable de la Municipalidad de Santa Catarina Pinula en los lugares donde interferían con el camino en construcción.

Se encontraron tres tuberías de agua municipal de Santa Catarina Pinula que pasaban por el trazo del camino. La primera era una tubería de PVC de 2" que atravesaba perpendicular al trazo del eje como a 30 cm de profundidad, en la estación 0+010. De aquí salía otra tubería en diagonal hasta la estación 0+030. Esta era de lámina enrollada de 10" de diámetro y estaba a una profundidad de aproximadamente 50 cm. La tercera tubería era de Duralita de 3" de diámetro, se encontró en la estación 0+160 y pasaba perpendicular al eje central a una profundidad de 20 cm.

a. Ducto seco.

Para resolver el paso de la atravesada de las tuberías de 2" y 10" de agua potable de Santa Catarina Pinula se construyó un ducto seco con tubo de concreto de 16" colocado con anillos de savieta y cuñas de ladrillo *tayuyo*, dentro del cual pasarán ambas líneas. Este ducto fue construido perpendicular al eje del camino.

A cada lado del camino se construyó una caja de registro y en el punto donde se conectará la tubería de 10" a la tubería metálica existente para que continúe el agua por ésta, se hizo una caja conectora. Esta es de concreto con refuerzo y tiene 50 cm por lado y un metro de altura. Para conducir el agua

dentro del ducto seco, se colocó una tubería de PVC de junta rápida de 10" y 125 psi. de resistencia y una tubería de PVC de 2" y 160 psi. de resistencia. La unión con la tubería vieja dentro de la caja y el cruce de dirección fueron hechos con accesorios de PVC.

b. Cajas de registro.

Como se mencionó en el párrafo anterior, se construyeron una a cada lado del camino. Tienen 80 cm. de luz y 1.60 m. de altura. El piso y tapadera son de concreto reforzado y las paredes de ladrillo *tayuyo* con columnas en las cuatro esquinas. En el fondo de cada una se construyó una caja de concreto reforzado de 30 cm. por lado que sirve de cruce de la tubería de PVC de 10".

c. Desvío de tubería.

La tubería existente de Duralita de 3" encontrada en la estación 0+160 se sustituyó por una de PVC de 3", de 160 psi. de resistencia. La rasante de la carretera en esta estación se encuentra muy por debajo del nivel natural del terreno (ver figura 2.8), por lo que la tubería existente prácticamente quedaría en el aire.

Esta tubería lleva agua potable de la municipalidad de Santa Catarina Pinula para ser distribuida hacia distintas poblaciones cercanas. La solución que se encontró fue bajar la tubería a una profundidad de 1.10 m. abajo del nivel de sub-rasante de modo que la misma quedara enterrada bajo la estructura del pavimento. Esto se puede ver en la siguiente figura.

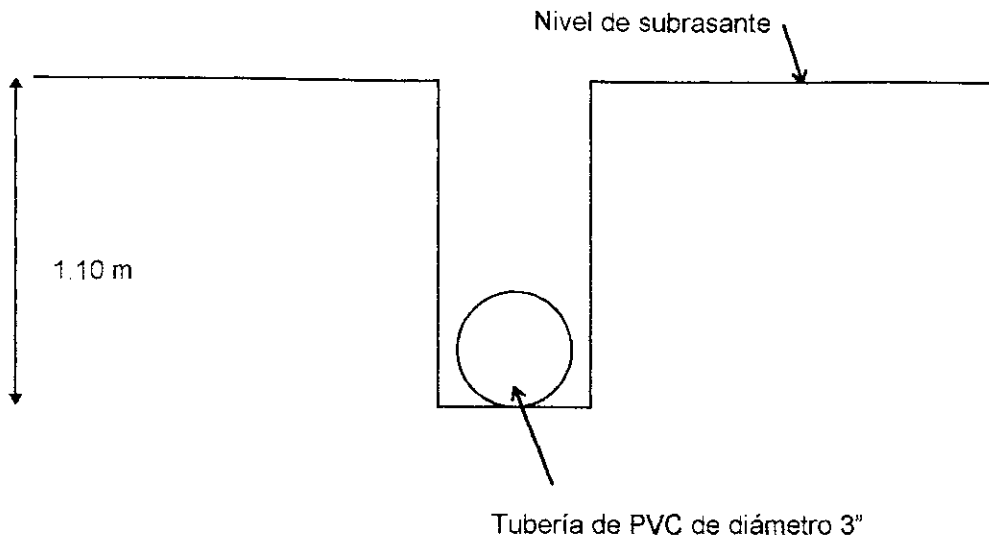


FIGURA 2.7

SECCION DE ESTACION 0+160

----- TERRENO NATURAL _____ SUBRASANTE

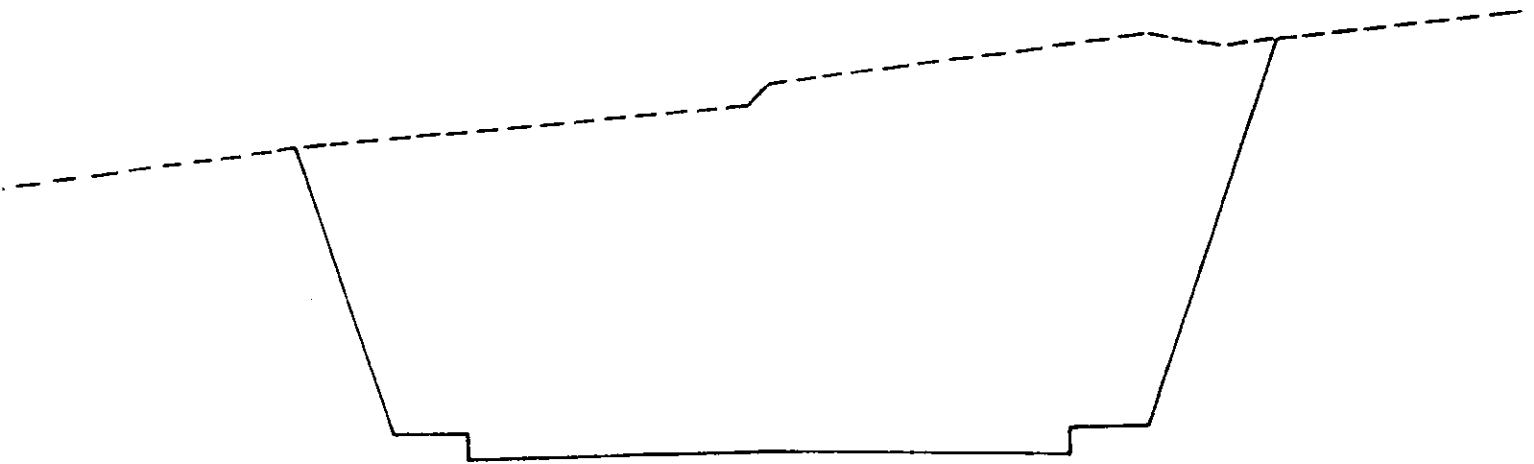


FIGURA 2.8

V. BIBLIOGRAFIA

- Bertram, G.E. Ensayos de Suelos Fundamentales para la Construcción. 4a ed.
1968 Washington, D.C. , International Road Federation. 94 pp.
- Guatemala. Dirección General de Caminos, Ministerio de Comunicaciones y
1975 Obras Públicas. Especificaciones Generales para Construcción de
Carreteras y Puentes. 708 pp.
- Guatemala. Dirección General de Obras Públicas. Especificaciones Técnicas
de Construcción. 494 pp.
- Manual de Drenaje y Productos de Construcción. The Armco International
1968 Chicago, R.R. Donnelly and Sons Company. 542 pp.
- Neumann, E. Las Carreteras Modernas. Barcelona, Editorial Labor, S.A.
1965 430 pp.
- Sowers, B. Introducción a la Mecánica de Suelos y Cimentaciones. México, D.F.
1972 Editorial Limusa, S.A. de C.V. 677 pp.
- Yoder, E.J. y Witczak, M.W. Principles of Pavement Design. 2nd ed. New York,
1975 John Wiley and Sons, Inc. 711 pp.

APENDICE A.

Diseño de la rasante de la calle.

| ESTACION | COTA | CORRECCION | RASANTE CORREGIDA | PEND. | OBSERV. |
|----------|-------|------------|----------------------|---------|---------|
| 0+000 | | | 98.90 | | |
| 0+010 | | | 98.85 | | |
| 0+020 | | | 98.25 | | |
| 0+030 | | | 97.25 | | |
| 0+040 | | | 95.95 | -16 % | |
| 0+050 | | | 94.35 | -16 % | |
| 0+060 | | | 92.75 | -16 % | |
| 0+070 | | | 91.15 | -16 % | |
| 0+080 | | | 89.55 | -16 % | |
| 0+090 | | | 87.95 | -16 % | |
| 0+100 | 86.35 | | 86.325 | -17 % | |
| 0+110 | | | 84.65 | -17 % | |
| 0+120 | | | 82.95 | -17 % | |
| 0+130 | | | 81.25 | -17 % | |
| 0+140 | | | 79.55 | -17 % | |
| 0+150 | | | 77.85 | -17 % | |
| 0+160 | | | 76.15 | -17 % | |
| 0+170 | | | 74.45 | -17 % | |
| 0+180 | | | 72.75 | -17 % | |
| 0+190 | | | 71.05 | -17 % | PCV |
| 0+200 | 69.35 | +0.078 | 69.428 | -13.9 % | PIV |
| 0+210 | | | 67.96 | -13.9 % | PTV |
| 0+220 | | | 66.57 | -13.9 % | |
| 0+230 | | | 65.18 | -13.9 % | |
| 0+240 | | | 63.79 | -13.9 % | |
| 0+250 | | | 62.40 | -13.9 % | |
| 0+260 | | | 61.01 | -13.9 % | |
| 0+270 | | | 59.62 | -13.9 % | PCV |
| 0+280 | 58.23 | -0.078 | 58.153 | -17 % | PIV |
| 0+290 | | | 56.53 | -17 % | PTV |
| 0+300 | | | 54.83 | -17 % | |
| 0+310 | | | 53.13 | -17 % | |
| 0+320 | | | 51.43 | -17 % | |
| 0+330 | | | 49.73 | -17 % | PCV |
| 0+340 | 48.03 | | 48.03 | -16 % | PIV |
| 0+350 | | | 46.43 | -16 % | PTV-PCV |
| 0+360 | | | 44.993 | -16 % | |
| 0+370 | 43.23 | +0.65 | 43.88 | -16 % | PIV |
| 0+380 | | | 43.093 | -3 % | |
| 0+390 | | | 42.63 | -3 % | PTV |

| ESTACION | COTA | CORRECCION | RASANTE CORREGIDA | PEND. | OBSERV. |
|----------|-------|------------|----------------------|--------|---------|
| 0+400 | 42.33 | +0.028 | 42.385 | -3 % | |
| 0+410 | | | 42.14 | -1.9 % | |
| 0+420 | | | 41.95 | -1.9 % | |
| 0+430 | | | 41.76 | -1.9 % | |
| 0+440 | | | 41.57 | -1.9 % | |
| 0+450 | | | 41.38 | -1.9 % | |
| 0+460 | | | 41.19 | -1.9 % | PCV |
| 0+470 | 41.00 | -0.202 | 40.798 | -10 % | PIV |
| 0+480 | | | 40.592 | -10 % | PTV |
| 0+490 | | | 39.76 | -10 % | |
| 0+500 | | | 38.76 | -10 % | |
| 0+510 | | | 37.76 | -10 % | |
| 0+520 | | | 36.76 | -10 % | |
| 0+530 | | | 35.76 | -10 % | |
| 0+540 | | | 34.76 | -10 % | |
| 0+550 | | | 33.76 | -10 % | |
| 0+560 | | | 32.76 | -10 % | PCV |
| 0+570 | | | 32.035 | -10 % | PIV |
| 0+580 | | | 31.86 | +1 % | PTV |
| 0+590 | | | 31.96 | +1 % | |
| 0+600 | | | 32.06 | +1 % | |
| 0+610 | | | 32.16 | +1 % | |
| 0+620 | | | 32.26 | +1 % | PCV |
| 0+630 | | | 32.36 | +1 % | PIV |
| 0+640 | | | 32.14 | -2.2 % | PTV |
| 0+650 | | | 31.92 | -2.2 % | |
| 0+660 | | | 31.70 | -2.2 % | |
| 0+670 | | | 31.48 | -2.2 % | |
| 0+680 | | | 31.26 | -2.2 % | |
| 0+690 | | | 31.04 | -2.2 % | |
| 0+700 | | | 30.82 | -2.2 % | |
| 0+710 | | | 30.60 | -2.2 % | PCV |
| 0+720 | | | 30.38 | -2.2 % | PIV |
| 0+730 | | | 30.881 | +5 % | PTV |
| 0+740 | | | 31.382 | +5 % | |
| 0+750 | | | 32.00 | +5 % | |

Tabla No. 2.1

Cotas del terreno natural y de la rasante.

| ESTACION | COTAS | |
|----------|-----------------|---------|
| | TERRENO NATURAL | RASANTE |
| 0 | 99.15 | 98.90 |
| 10 | 99.16 | 98.85 |
| 020 | 99.15 | 98.25 |
| 30 | 97.55 | 97.25 |
| 40 | 96.90 | 95.95 |
| 50 | 96.32 | 94.35 |
| 60 | 95.66 | 92.75 |
| 70 | 94.94 | 91.15 |
| 80 | 95.01 | 89.55 |
| 90 | 92.12 | 87.95 |
| 100 | 89.50 | 86.325 |
| 110 | 86.94 | 84.65 |
| 120 | 85.10 | 82.95 |
| 130 | 84.16 | 81.25 |
| 140 | 83.32 | 79.55 |
| 150 | 82.28 | 77.85 |
| 160 | 80.66 | 76.15 |
| 170 | 78.41 | 74.45 |
| 180 | 76.28 | 72.75 |
| 190 | 74.58 | 71.05 |
| 200 | 72.99 | 69.428 |
| 210 | 72.36 | 67.96 |
| 220 | 70.46 | 66.57 |
| 230 | 68.33 | 65.18 |
| 240 | 66.38 | 63.79 |
| 250 | 63.80 | 62.4 |
| 260 | 62.10 | 61.01 |
| 270 | 60.04 | 59.62 |
| 280 | 60.15 | 58.153 |
| 290 | 59.30 | 56.53 |
| 300 | 58.37 | 54.83 |
| 310 | 57.69 | 53.13 |
| 320 | 54.74 | 51.43 |
| 330 | 49.38 | 49.73 |
| 340 | 48.30 | 48.08 |
| 350 | 46.35 | 46.43 |
| 360 | 46.80 | 44.993 |
| 370 | 43.62 | 43.88 |

| ESTACION | COTAS | |
|----------|---------|---------|
| | TERRENO | RASANTE |
| 380 | 40.72 | 43.093 |
| 390 | 33.60 | 42.63 |
| 400 | 31.80 | 42.14 |
| 410 | 31.35 | 41.95 |
| 420 | 37.38 | 41.76 |
| 428 | 42.10 | 41.80 |
| 432 | 44.70 | 41.72 |
| 440 | 49.23 | 41.57 |
| 450 | 50.43 | 41.38 |
| 460 | 50.11 | 41.19 |
| 470 | 45.68 | 40.798 |
| 480 | 40.24 | 40.592 |
| 490 | 39.35 | 39.76 |
| 500 | 38.61 | 38.76 |
| 510 | 38.11 | 37.76 |
| 520 | 36.00 | 36.76 |
| 530 | 34.38 | 35.76 |
| 540 | 33.13 | 34.76 |
| 550 | 31.99 | 33.76 |
| 560 | 31.44 | 32.76 |
| 570 | 31.44 | 32.035 |
| 580 | 32.15 | 31.86 |
| 590 | 33.11 | 31.96 |
| 600 | 32.57 | 32.06 |
| 610 | 32.29 | 32.16 |
| 620 | 31.96 | 32.26 |
| 630 | 31.93 | 32.36 |
| 640 | 31.89 | 32.14 |
| 650 | 31.87 | 31.92 |
| 660 | 31.81 | 31.70 |
| 670 | 31.59 | 31.48 |
| 680 | 31.31 | 31.26 |
| 690 | 30.91 | 31.04 |
| 700 | 30.62 | 30.82 |
| 710 | 30.43 | 30.60 |
| 720 | 30.20 | 30.38 |
| 730 | 30.31 | 30.881 |
| 740 | 30.72 | 31.382 |
| 750 | 32.00 | 32.00 |

TABLA No. 2.2

APENDICE B.

CALCULO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS

| ESTACION | AREA | | DISTANCIA | VOLUMEN | |
|----------|-------|---------|-----------|----------|---------|
| | CORTE | RELLENO | | CORTE | RELLENO |
| 0+000 | 5.60 | | | | |
| | | | 10.00 | 70.55 | |
| 0+010 | 8.51 | | | | |
| | | | 10.00 | 97.80 | 37.35 |
| 0+020 | 11.05 | 7.47 | | | |
| | | | 10.00 | 97.90 | 37.35 |
| 0+030 | 8.53 | | | | |
| | | | 10.00 | 131.35 | |
| 0+040 | 17.74 | | | | |
| | | | 10.00 | 235.75 | |
| 0+050 | 29.41 | | | | |
| | | | 10.00 | 352.50 | |
| 0+060 | 41.09 | | | | |
| | | | 10.00 | 447.25 | |
| 0+070 | 48.36 | | | | |
| | | | 10.00 | 556.15 | |
| 0+080 | 62.87 | | | | |
| | | | 10.00 | 526.05 | |
| 0+090 | 42.34 | | | | |
| | | | 10.00 | 388.55 | |
| 0+100 | 35.37 | | | | |
| | | | 10.00 | 317.20 | |
| 0+110 | 28.07 | | | | |
| | | | 10.00 | 291.85 | |
| 0+120 | 30.30 | | | | |
| | | | 20.00 | 815.80 | |
| 0+140 | 51.28 | | | | |
| | | | 20.00 | 1,055.00 | |
| 0+160 | 54.22 | | | | |
| | | | 20.00 | 969.90 | |
| 0+180 | 42.77 | | | | |
| | | | 20.00 | 839.30 | |
| 0+200 | 41.16 | | | | |
| | | | 10.00 | 428.90 | |
| 0+210 | 44.62 | | | | |
| | | | 10.00 | 470.65 | |
| 0+220 | 49.51 | | | | |
| | | | 10.00 | 445.30 | |
| 0+230 | 39.55 | | | | |
| | | | 10.00 | 346.40 | |
| 0+240 | 29.73 | | | | |
| | | | 10.00 | 249.65 | |
| 0+250 | 20.20 | | | | |
| | | | V A N | 9,133.80 | 74.70 |

| ESTACION | AREA | | DISTANCIA | VOLUMEN | |
|----------|--------|---------|-----------|-----------|---------|
| | CORTE | RELLENO | | CORTE | RELLENO |
| | | | VIENE | 9,133.80 | 74.70 |
| 0+250 | 20.20 | | | | |
| | | | 10.00 | 176.15 | |
| 0+260 | 15.03 | | | | |
| | | | 10.00 | 175.40 | |
| 0+270 | 20.05 | | | | |
| | | | 10.00 | 201.35 | 7.75 |
| 0+280 | 20.22 | 1.55 | | | |
| | | | 10.00 | 268.95 | 7.75 |
| 0+290 | 33.57 | | | | |
| | | | 10.00 | 382.10 | |
| 0+300 | 42.85 | | | | |
| | | | 10.00 | 511.60 | |
| 0+310 | 59.47 | | | | |
| | | | 10.00 | 545.35 | |
| 0+320 | 49.60 | | | | |
| | | | 10.00 | 325.20 | 183.05 |
| 0+330 | 15.44 | 36.61 | | | |
| | | | 10.00 | 109.50 | 183.05 |
| 0+340 | 6.46 | | | | |
| | | | 10.00 | 98.80 | 53.15 |
| 0+350 | 13.30 | 10.63 | | | |
| | | | 10.00 | 225.10 | 71.90 |
| 0+360 | 31.72 | 3.75 | | | |
| | | | 10.00 | 293.45 | 293.20 |
| 0+370 | 26.97 | 54.89 | | | |
| | | | 10.00 | 246.05 | |
| 0+380 | 22.24 | | | | |
| | | | 5.00 | 110.58 | |
| 0+385 | 21.99 | | | | |
| | | | 5.00 | 125.55 | |
| 0+390 | 28.23 | | | | |
| | | | 10.00 | 234.60 | |
| 0+400 | 18.69 | | | | |
| | | | 10.00 | 202.05 | |
| 0+410 | 21.72 | | | | |
| | | | 10.00 | 383.30 | |
| 0+420 | 54.94 | | | | |
| | | | 8.00 | 387.24 | |
| 0+428 | 41.87 | | | | |
| | | | 4.00 | 187.70 | |
| 0+432 | 51.98 | | | | |
| | | | 8.00 | 941.32 | |
| 0+440 | 183.35 | | | | |
| | | | 10.00 | 2,019.60 | |
| 0+450 | 220.57 | | | | |
| | | | VAN | 17,284.74 | 874.55 |

| ESTACION | AREA | | DISTANCIA | VOLUMEN | |
|----------|--------|---------|-----------|-----------|----------|
| | CORTE | RELLENO | | CORTE | RELLENO |
| | | | VIENE | 17,284.74 | 874.55 |
| 0+450 | 220.57 | | 10.00 | 2,027.00 | |
| 0+460 | 184.83 | | 10.00 | 1,306.65 | |
| 0+470 | 76.50 | | 3.12 | 127.30 | 66.18 |
| 0+480 | 5.10 | 42.42 | 9.85 | 25.12 | 432.32 |
| 0+490 | | 45.36 | 10.00 | 62.80 | 280.70 |
| 0+500 | 12.56 | 10.78 | 10.00 | 138.55 | 96.45 |
| 0+510 | 15.15 | 8.51 | 10.00 | 132.95 | 43.15 |
| 0+520 | 11.44 | 0.12 | 10.00 | 84.15 | 49.65 |
| 0+530 | 5.39 | 9.81 | 10.00 | 52.60 | 133.10 |
| 0+540 | 5.13 | 16.81 | 10.00 | 55.90 | 184.75 |
| 0+550 | 6.05 | 20.14 | 10.00 | 53.15 | 164.15 |
| 0+560 | 4.58 | 12.69 | 10.00 | 69.90 | 201.15 |
| 0+570 | 9.40 | 27.54 | 10.00 | 79.20 | 137.70 |
| 0+580 | 6.44 | | 10.00 | 120.45 | |
| 0+590 | 17.65 | | 10.00 | 155.20 | |
| 0+600 | 13.39 | | 10.00 | 101.65 | |
| 0+610 | 6.94 | | 10.00 | 43.00 | 3.50 |
| 0+620 | 1.66 | 0.70 | 10.00 | 21.85 | 17.90 |
| 0+630 | 2.71 | 2.88 | 10.00 | 22.05 | 16.60 |
| 0+640 | 1.70 | 0.44 | 10.00 | 29.10 | 2.20 |
| 0+650 | 4.12 | | 10.00 | 63.65 | |
| 0+660 | 8.61 | | | | |
| | | | V A N | 22,056.95 | 2,704.04 |

| ESTACION | A R E A | | DISTANCIA | VOLUMEN | |
|----------|---------|---------|-----------|-----------|----------|
| | CORTE | RELLENO | | CORTE | RELLENO |
| | | | VIENE | 22,056.95 | 2,704.04 |
| 0+660 | 8.61 | | | | |
| | | | 10.00 | 86.85 | |
| 0+670 | 8.76 | | | | |
| | | | 10.00 | 99.30 | |
| 0+680 | 11.10 | | | | |
| | | | 10.00 | 87.20 | |
| 0+690 | 6.34 | | | | |
| | | | 10.00 | 60.30 | |
| 0+700 | 5.72 | | | | |
| | | | TOTAL | 22,390.60 | 2,704.04 |

Tabla No. 2.3

Resumen de volúmenes de corte y relleno.**Corte:** 22,390.60 m.³**Relleno:** 2,704.04 m.³

Cálculo del volumen de relleno del área de la bóveda.

| ESTACION | AREA RELLENO | DISTANCIA | VOLUMEN RELLENO |
|----------|-----------------|-----------|--------------------|
| 0+370 | 54.89 | | |
| | | 10.00 | 755.80 |
| 0+380 | 96.27 | | |
| | | 5.00 | 973.18 |
| 0+385 | 293.00 | | |
| | | 5.00 | 1,642.63 |
| 0+390 | 364.05 | | |
| | | 10.00 | 3,637.35 |
| 0+400 | 363.42 | | |
| | | 10.00 | 3,074.35 |
| 0+410 | 251.45 | | |
| | | 10.00 | 2,106.65 |
| 0+420 | 169.88 | | |
| | | 8.00 | 873.20 |
| 0+428 | 48.42 | | |
| | TOTAL | | 13,063.15 |

TABLA No. 2.4

Volumen total de relleno del área de bóveda

(contando el volumen de la bóveda) = 13,063.15 m.³

Volumen de la bóveda = 517.41 m.³

Volumen neto de relleno del área de la bóveda = 12,545.74 m.³

APENDICE C.

Cálculo del área de base.

| ESTACION | DIMENSIONES | | AREA(m. ²) |
|---------------------|-------------|-----------|------------------------|
| | LARGO(m.) | ANCHO(m.) | |
| 0+000 A 0+006.30 | 6.30 | 10.68 | 67.25 |
| 0+006.30 A 0+013.15 | 6.85 | 10.88 | 74.49 |
| 0+013.15 A 0+023.45 | 10.30 | 10.98 | 113.04 |
| 0+023.45 A 0+033.95 | 10.50 | 9.53 | 100.01 |
| 0+033.95 A 0+038.15 | 4.20 | 8.25 | 34.65 |
| 0+038.15 A 0+040 | 1.85 | 8.00 | 14.80 |
| 0+040 A 0+205 | 165.00 | 8.00 | 1,320.00 |
| 0+205 A 0+267.45 | 62.45 | 8.00 | 499.60 |
| SOBREANCHO PROMEDIO | | | |
| 0+205 A 0+267.45 | 56.15 | 0.35 | 19.65 |
| 0+267.45 A 0+346.64 | 79.19 | 8.00 | 633.52 |
| 0+346.64 A 0+388.88 | 42.24 | 8.00 | 337.92 |
| SOBREANCHO PROMEDIO | | | |
| 0+346.64 A 0+388.88 | 39.61 | 0.28 | 10.89 |
| 0+388.88 A 0+731.09 | 342.21 | 8.00 | 2,737.68 |
| 0+731.09 A 0+738 | 6.91 | 8.55 | 59.08 |
| 0+738 A 0+741 | 3.00 | 10.40 | 31.20 |
| 0+741 A 0+747.32 | 6.32 | 10.80 | 68.26 |
| 0+747.32 A 0+752 | 5.68 | 11.30 | 64.18 |

Tabla No. 2.5

Area total de base = 6,186.24 m.²

Cálculo del área de la capa de rodadura.

| ESTACION | DIMENSIONES | | AREA(m. ²) |
|---------------------|-------------|-----------|------------------------|
| | LARGO(m.) | ANCHO(m.) | |
| 0+000 A 0+006.30 | 6.30 | 10.68 | 67.25 |
| 0+006.30 A 0+013.15 | 6.85 | 10.88 | 74.49 |
| 03013.15 A 0+023.45 | 10.30 | 10.98 | 113.04 |
| 0+023.45 A 0+033.95 | 10.50 | 9.53 | 100.01 |
| 0+033.95 A 0+038.15 | 4.20 | 7.65 | 32.13 |
| 0+038.15 A 0+040 | 1.85 | 7.20 | 13.32 |
| 0+040 A 0+205 | 165.00 | 7.20 | 1,188.00 |
| 0+205 A 0+267.45 | 62.45 | 7.20 | 449.64 |
| SOBREANCHO PROMEDIO | | | |
| 0+205 A 0+267.45 | 56.15 | 0.35 | 19.65 |
| 0+267.45 A 0+346.64 | 79.19 | 7.20 | 570.17 |
| 0+346.64 A 0+388.88 | 42.24 | 7.20 | 304.13 |
| SOBREANCHO PROMEDIO | | | |
| 0+346.64 A 0+388.88 | 39.61 | 0.28 | 10.89 |
| 0+388.88 A 0+731.09 | 342.21 | 7.20 | 2,463.91 |
| 0+731.09 A 0+738 | 6.91 | 8.55 | 59.08 |
| 0+738 A 0+741 | 3.00 | 10.40 | 31.20 |
| 0+741 A 0+747.32 | 6.32 | 10.80 | 68.26 |
| 0+747.32 A 0+752 | 5.68 | 11.30 | 64.18 |

TABLA No. 2.6

Area de la losa de concreto = 5,629.37 m.²

Area de garitas (2) = 35 m.²

Area total de la capa de rodadura = 5,594.37 m.²

APENDICE D.

El diseño de la losa de concreto que servirá de capa de rodadura para el nuevo acceso al desarrollo San Miguel Buena Vista se calculó en base a el diseño de espesores para caminos secundarios y calles residenciales, empleando las *Tablas para el diseño de pavimentos rígidos* del Ingeniero Juan Salinas y publicadas por el IMCYC (tabla 2.6). Estas tablas están basadas en las *ecuaciones simplificadas de Pickett* y aparecieron en las *Prácticas Recomendadas para el Diseño de Pavimentos de Concreto del ACI*. Las tablas están hechas para varias intensidades de carga (llanta doble) y se debe conocer si las juntas llevan dispositivos de transmisión de carga o no. Para utilizarlas son necesarios varios datos de diseño:

- 1) Carga máxima (llanta doble) que se presentará en el proyecto P , en toneladas.
- 2) Módulo de reacción de la sub-rasante (combinado con la base, granular o tratada con cemento), en kg./cm.^3 (kc).
- 3) Módulo de rotura del concreto, en kg./cm.^2 (MR).
- 4) Módulo de elasticidad del concreto que se va a utilizar en el proyecto, kg./cm.^2 .

Se utilizó este método debido a que la calle a construir en el proyecto sería de tipo residencial, con un mínimo tráfico de vehículos pesados y no existían datos como volumen de tránsito, número de repeticiones, etc. Además siendo un proyecto bastante pequeño no era costeable hacer un estudio para determinar dichos datos.

La flexión de un pavimento de concreto bajo cargas axiales produce tanto esfuerzos compresivos como de tensión. La resistencia a la tensión, f_t , se determina por medio de pruebas del módulo de ruptura, usualmente en vigas de 6X6X30". Para el diseño de espesores de carreteras y calles comunmente se utilizan resultados de pruebas a los 28 días. La resistencia a la compresión, f_c se basa en cilindros estandard de 6"X12" curados bajo condiciones normales de laboratorio y probados a los 28 días de edad.

El apoyo dado a pavimentos de concreto por la sub-rasante, y la base cuando se utiliza, es un factor muy importante para el diseño del espesor. Este apoyo se define en términos del módulo de reacción de la sub-rasante de *Westergaard* (k). Este es igual a la carga en psi en un área de carga (una placa de 30 plg. de diámetro) dividido por la deflexión en pulgadas para esa carga. Los valores de k son expresados en psi./plg. o sea pci (kg./cm.^3).

Debido a que el ensayo de carga de placa resulta bastante costoso y requiere mucho tiempo, el valor de k usualmente se estima por medio de una correlación a pruebas mas sencillas como el CBR o ensayos del valor de resistencia R . El valor del módulo de reacción de la sub-rasante k se estimó en función del tipo de suelo, de la gráfica en la figura 2.9. Se tomó un valor de 100 pci. = 2.7 kg./cm.^3 , el cual corresponde al valor mas bajo de CBR que se presenta en el proyecto (CBR= 3). De esa forma se está diseñando para la condición mas crítica que pueda existir en el proyecto.

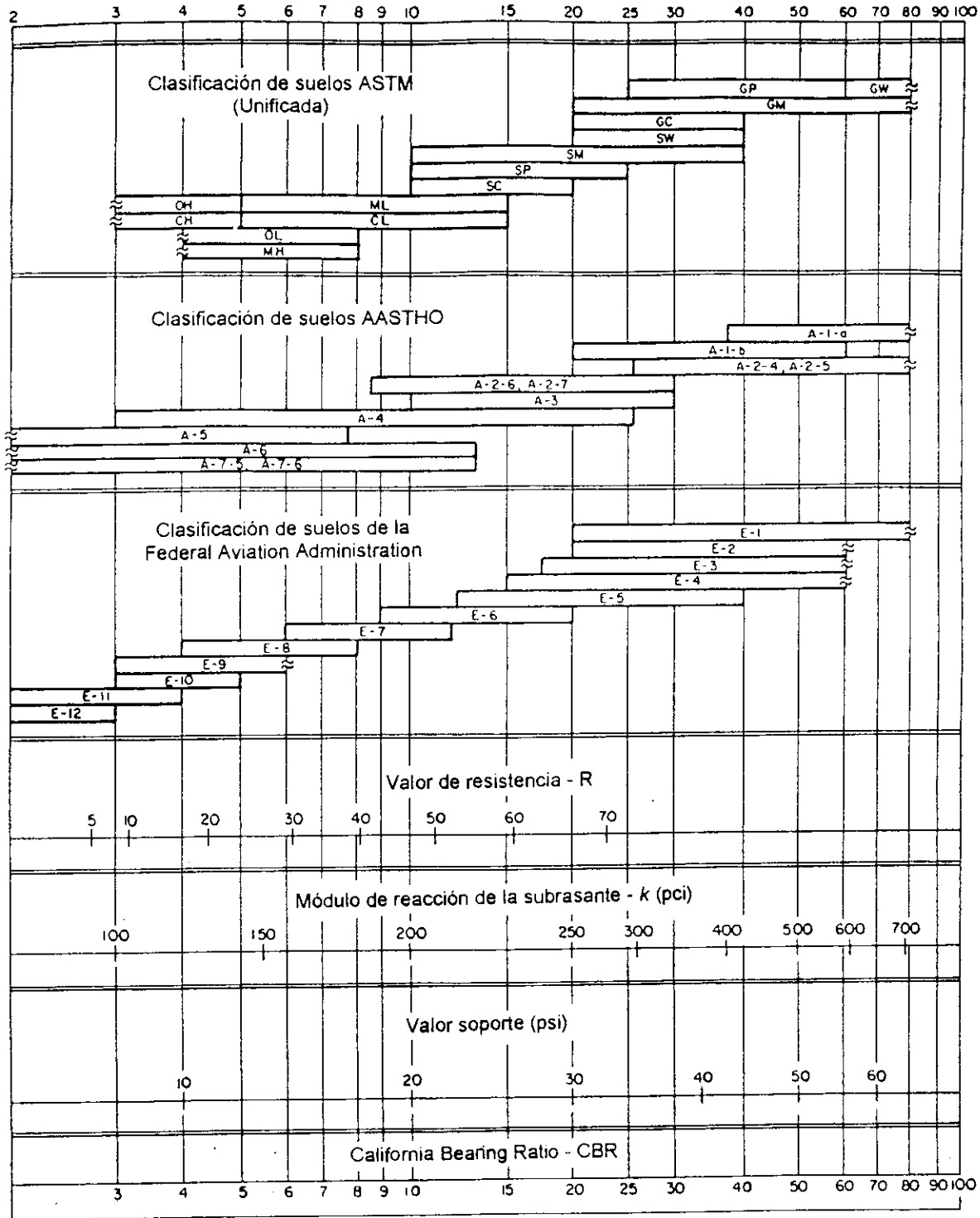


FIGURA 2.9

Diseño del espesor de la capa de rodadura.**Datos de diseño****Concreto**

Resistencia a la compresión:

$$f_c = 3,000 \text{ psi.} = 210 \text{ kg./cm.}^2$$

Resistencia a la tensión (módulo de ruptura):

$$MR = f_t = 600 \text{ psi.} = 40 \text{ kg./cm.}^2$$

Módulo de elasticidad (concreto de 3000 psi.):

$$E = 3.12 \times 10^6 \text{ psi.} = 219,500 \text{ kg./cm.}^2$$

Sub-rasante

Módulo de reacción:

$$k = 100 \text{ pci.} = 2.7 \text{ kg/cm.}^3$$

Módulo de reacción combinado:

$$k_c = 520 \text{ pci.} = 14 \text{ kg./cm.}^3$$

Para una capa de base de 20 cm. = 8 plg.

Cálculo del espesor

Asumiendo una carga máxima de 3.0 Ton. /llanta doble y teniendo el valor de k , se busca el valor combinado, k_c , del módulo de reacción combinado con la base (en este caso una base tratada con cemento) en la tabla 2.6. Finalmente, sabiendo ese valor se puede obtener el espesor de la losa de la tabla 2.7. Esta tabla presenta valores para tres distintos módulos de elasticidad del concreto, por lo tanto se hace necesario interpolar y dada la carga máxima P y el módulo de ruptura del concreto, se obtiene el espesor de diseño.

La tabla 2.6 y la gráfica de la figura 2.9 fueron tomadas de un boletín publicado por la PCA (*Portland Cement Association*) titulado *Diseño de espesores para carreteras de concreto y pavimentos de calles*.

Interpolando los valores de la tabla se obtiene un espesor de la losa de 15.4 cm. Sin embargo considerando que se diseñó para una carga de llanta doble y que el tránsito de camiones va a ser prácticamente inexistente, se colocó una capa de rodadura de 15.0 cm.

En la siguiente página se presentan las tablas 2.6 y 2.7 utilizadas en el diseño del espesor de la capa de rodadura.

Valor combinado de diseño, "kc" para una base tratada con cemento.

| Valor k de la sub- rasante kg/cm ³ | Espesor de la capa de base, cm. | | | |
|---|------------------------------------|------|------|------|
| | 10 | 15 | 20 | 25 |
| 1.4 | 4.7 | 6.4 | 8.6 | 10.8 |
| 2.7 | 7.7 | 11.1 | 14.4 | 17.7 |
| 5.5 | 13 | 17.7 | 22.9 | |

TABLA 2.6

Espesor de la losa en cm. para un $MR = 40 \text{ kg./cm.}^2$

| kc, kg/cm ³ | 11 | | | 12 | | | 13 | | | 14 | | | 15 | | |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | E1 | E2 | E3 | E1 | E2 | E3 | E1 | E2 | E3 | E1 | E2 | E3 | E1 | E2 | E3 |
| P, ton. | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | | 6.1 | 6.5 | | 6.1 | 6.5 | | 6.1 | 6.5 | | 6.1 | 6.1 | | | 6.1 |
| 1.0 | 8.5 | 8.9 | 9.2 | 8.2 | 8.9 | 9.2 | 8.2 | 8.9 | 9.2 | 8.2 | 8.9 | 9.2 | 8.2 | 8.5 | 8.9 |
| 1.5 | 10.6 | 11.3 | 11.6 | 10.2 | 10.9 | 11.3 | 10.2 | 10.9 | 11.3 | 10.2 | 10.9 | 11.3 | 9.9 | 10.9 | 11.3 |
| 2.0 | 12.3 | 13.0 | 13.3 | 12.3 | 13.0 | 13.3 | 12.0 | 12.6 | 13.3 | 12.0 | 12.6 | 13.0 | 11.6 | 12.6 | 13.0 |
| 2.5 | 13.7 | 14.7 | 15.1 | 13.7 | 14.4 | 15.1 | 13.7 | 14.4 | 14.7 | 13.3 | 14.4 | 14.7 | 13.3 | 14.0 | 14.7 |
| 3.0 | 15.4 | 16.1 | 16.8 | 15.1 | 16.1 | 16.4 | 15.1 | 15.7 | 16.4 | 14.7 | 15.7 | 16.4 | 14.7 | 15.7 | 16.1 |
| 3.5 | 16.4 | 17.5 | 18.1 | 16.4 | 17.5 | 17.8 | 16.1 | 17.1 | 17.8 | 16.1 | 17.1 | 17.5 | 16.1 | 17.1 | 17.5 |
| 4.0 | 17.8 | 18.8 | 19.2 | 17.5 | 18.5 | 19.2 | 17.5 | 18.5 | 19.2 | 17.5 | 18.5 | 18.8 | 17.1 | 18.1 | 18.8 |

$$E1 = 150,000 \text{ kg./cm.}^2 \quad E2 = 250,000 \text{ kg./cm.}^2 \quad E3 = 350,000 \text{ kg./cm.}^2$$

TABLA No. 2.7