



Señor Decano

de la Facultad de Ingeniería Civil

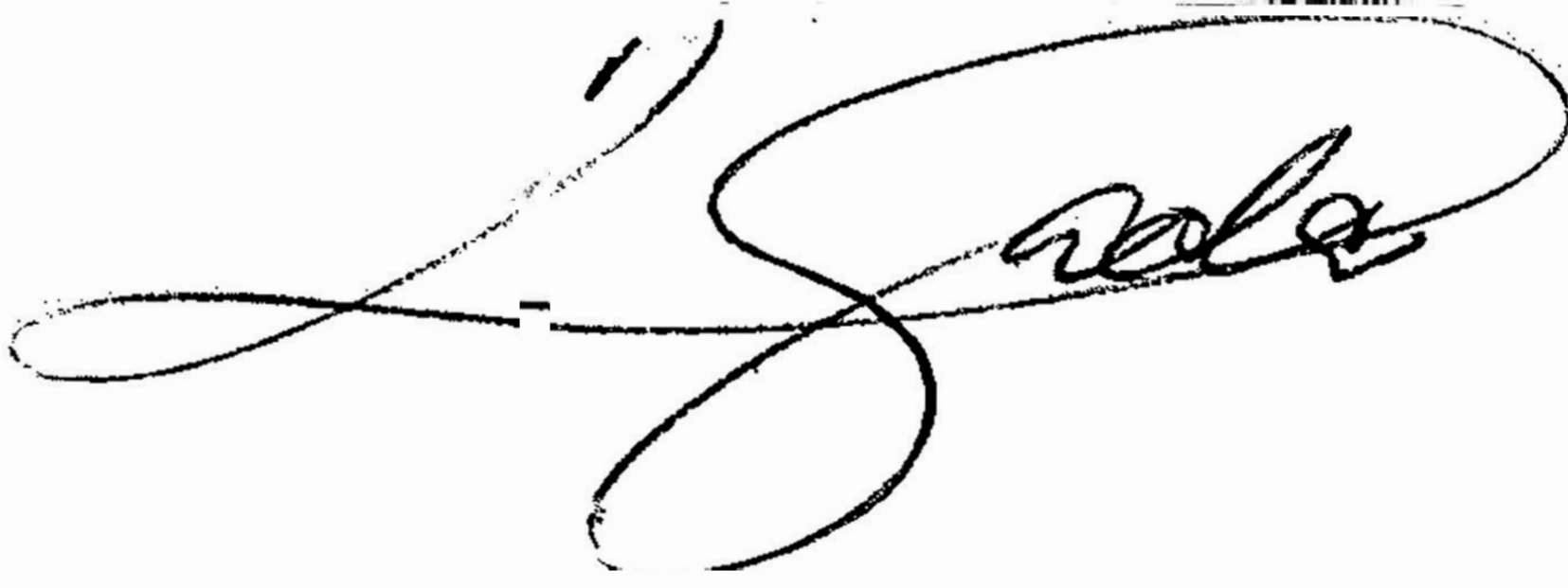
de la Universidad Nacional de Ingeniería del Perú.

Señor Decano:

Tengo el agrado de presentar a vuestra consideración, el presente Proyecto de Caminos, que como alumno de la Facultad de Ingeniería Civil, de su digna decanatura, y perteneciente a la Promoción del año 1956, me fuera designado para optar el título de Ingeniero Civil.

Dios guarde a Ud.

Lima, Marzo de 1957.

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'L. G. Rala', written in a cursive style.

## I N D I C E

	Pag.
Cuestionario del Proyecto	1
I.-Trazo Definitivo del tramo restante	6
Relación de Curvas Horizontales	8
II.-Elementos de Seguridad de las Curvas:	
Curvas de Transición	11
Peraltado	11
Sobreanchos	12
Visibilidad en la Curvas	13
III.-Construcción del Camino	
Esponjamiento i Compactación	16
Diagrama de Masas	17
Elección del Equipo	22
Rendimiento del Tractor D-8	25
Rendimiento de la Pala	29
Coordinación del trabajo de la Maquinaria	31
Explosivos	32
Equipo para la disgregación de las rocas	36
Construcción de Rellenos	38
Sub-Base	41
IV.-Drenaje	44
V.-Pavimento	53
Determinación del espesor del Pavimento	55
Afirmado	55
Construcción de la Base	61
Carpeta Asfáltica	63
Cálculo de la cantidad de Asfalto	66
Imprimación	68
Mezcla Asfáltica	69
Sellado	71
Equipo usado en la Construcción del Pavimento	71
VI.-Proyecto de Señalización	75
VII.-Diseño i Cálculo de un Muro	77
VIII.-Estudio Económico, Análisis de Precios	86
Presupuesto	101

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA

FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL

Tesis de Grado de Ingeniero Civil

Proyecto de Caminos para el año 1956

2° Grupo

El proyecto de caminos consta de los siguientes capítulos:

- a) Trazo definitivo (Tesis de Grado de Bachiller)
- b) Construcción y drenaje del camino.
- c) Diseño y construcción de pavimento.
- d) Proyecto de señalización.
- e) Diseño y cálculo de un muro.
- f) Estudio económico, análisis de precios y presupuesto de la obra.

- a) Trazo definitivo. - Los alumnos completarán con trazo definitivo la unión de los dos puntos fijados en el proyecto de caminos de la tesis de Grado de Bachiller.

Habiéndose efectuado el trazo definitivo del primer kilómetro en la Tesis para Bachiller se requiere estudiar y proyectar los elementos de seguridad de sus curvas de acuerdo a la velocidad directriz.

Los kilómetros restantes serán trazados en plano y se obtendrá el perfil longitudinal del trazo, pero como no se sacarán secciones transversales, se proyectará sólo una rasante preliminar, no siendo necesario poner las cotas de la rasante.

Al hacer el estudio deberá tenerse en cuenta que si bien se trata de construir una carretera de primer orden, no debe descuidarse el factor económico, ya que debe de haber cierto balance entre la bondad de las características y el costo de la obra. Este balance llevará en muchos casos a estudio comparativo de los costos en algunas soluciones parciales y en la memoria se deberá fundamentar

cada una de las soluciones adoptadas, tanto para la construcción del camino mismo, como del pavimento.

b) Construcción y drenaje del camino.- Para el planeamiento de la construcción, se deberá de hacer un estudio de la compensación longitudinal mediante el Diagrama de las Masas, en el kilómetro de que se trata, calculándose las distancias medias de transporte y la distribución de los volúmenes. Se fundamentará la elección de la línea de balance adoptada.

Una vez calculada la curva de las masas se elegirá el equipo que se estime necesario comprar para la construcción de la carretera, suponiéndose que se dispone de fondos para adquirir todas las máquinas que sean necesarias. Se recomendarán marcas, modelos y tipos de equipo, justificando en cada caso la recomendación, y adjuntándose como parte de Proyecto, los catálogos de los fabricantes de las máquinas recomendadas.

Elegidas las máquinas, se proyectará su coordinación en el trabajo y se darán los lineamientos generales para el planeamiento de la construcción. Se calcularán los rendimientos tomándose 0.60 como "factor de eficiencia".

Considerando los jornales medios que se pagan en los trabajos en la zona de Lima, se calcularán los costos de operación en cada una de las máquinas, así como el costo del movimiento del metro cúbico para cada una de las clases de materiales que se dan en el acápite 4º (Tesis de Bachiller).

En las zonas donde se encuentre roca, se seleccionará la maquinaria especializada y se planeará la carga y ejecución de los tiros, calculándose la cantidad de explosivos que se emplearán en el trabajo.

Se describirá la construcción de un relleno y de la subrasante siguiéndose los sistemas modernos indicados por la Mecánica de Suelos y el equipo especializado.

En el diseño del sistema de drenaje, considerará tanto el drenaje superficial como el subdrenaje, proyectándose, además del drenaje del camino mismo, el drenaje de las zonas

adyacentes, que por la topografía del terreno puedan considerarse necesarias. Siendo la zona lluviosa se deberá considerar algún sistema de control de erosión.

Para el restablecimiento de las obras de drenaje se supondrá que en la zona, las máximas precipitaciones pluviométricas en 24 horas llegan a los 40 m.m.

c) Diseño y construcción del pavimento.- Dado que la carretera es de primera clase y debiendo soportar un tránsito pesado de 500 camiones y 300 automóviles, se diseñará un pavimento de tipo superior, ya sea asfáltico o de concreto, discutiéndose el espesor del diseño y fundamentando la adopción de tal o cual tipo de pavimento.

Una vez elegido el tipo de pavimento y el espesor del afirmado, se darán las graduaciones recomendables para el afirmado y pavimento.

Para la obtención de los materiales granulares, para el afirmado y pavimento, se supondrá la existencia de una cantera de roca sedimentaria ( conglomerado) ubicada a 3 kilómetros de la estaca 50 del primer kilómetro.

Después de efectuarse sondeos y perforaciones se han determinado varias capas u horizontes, a saber:

- a) Un primer horizonte de espesor promedio de 50cm. constituido por limo-arenoso.
- b) Un segundo horizonte de 30 cm. aproximadamente de material grueso anguloso, con bajo contenido de arena, predominando el material mayor de 2".
- c) Un tercer horizonte de 110 m. de espesor de grava-arenosa, con piedra angulosa y cuyas características y análisis son los siguientes:

Límite Líquido	-
Límite Plástico	-
Índice de Plasticidad	n.p.
Abrasión (Prueba de los Angeles)	23.0
Absorción	0.85
Peso por m <sup>3</sup> .	1830 kg.

	<u>Malla</u>	<u>Retenido</u>	<u>Pasa</u>
	1½"	-	100%
	1"	20%	80
	¾"	6	74
	½"	14	60
	⅜"	5	55
	¼"	6	49
Nº.	4	8	41
"	10	14	27
"	40	13	14
"	200	12	2
	- 200	2	

Se darán detalles de todas las etapas de la construcción del afirmado y de la superficie de rodadura y se indicará el equipo especializado que se requiere para su ejecución. Se planeará su coordinación y se darán las marcas y modelos recomendados.

Para el diseño, se considerará el tipo de suelo dado en la clasificación del kilómetro, asimilándose a la clasificación de suelos del Bureau of Public Roads de los EE.UU.

Se harán diseños de secciones transversales tipos, a escala 1:50, tanto en los cortes como en terraplén, dándose el detalle del afirmado y del pavimento.

d) Proyecto de señalización.- Se efectuará el proyecto de señalización del primer kilómetro, usando las señales restrictivas, preventivas y de dirección que recomiendan el Manual de Señalización de las Carreteras del Perú, así como también las líneas y marcas de los pavimentos.

e) Diseño y cálculo de un muro.- Se seleccionará en el primer kilómetro la sección cuya ladera sea la más inclinada y en la cual el terraplén será muy tendido debiéndose éste reemplazarse por un muro de sostenimiento.

f) Estudio económico, análisis de precios y presupuesto de la obra.- Se harán análisis de precios unitarios de explanación como afirmado y pavimento.

Conociéndose los precios unitarios y teniéndose a la mano los metrados respectivos, se formulará los presupuestos del primer kilómetro.

#### MEMORIA Y JUEGO DE PLANOS

La memoria deberá comenzarse con una copia de las presentes especificaciones, así como las dictadas para la Tesis de Bachiller, indicándose el número de orden que corresponda al alumno.

Tratándose de un estudio específico, no se aceptará Proyectos con copia de normas, especificaciones o capítulos de textos existentes. El alumno debe de estudiar y analizar su problema particular.

Se presentarán como mínimo los siguientes planos:

- 1.-Plano de trazo definitivo a escala 1:2000.
- 2.-Perfil longitudinal del eje proyectado entre los dos extremos del trazo. Sólo se calculará el kilómetro que le corresponda, según el acápite a). Las escalas serán 1:2000 horizontal i 1:200 vertical.
- 3.-Pliego de secciones transversales del kilómetro respectivo a escala 1:200.
- 4.-Diseño de secciones transversales tipo a Escala 1:50 según lo indicado en el acápite c) Pavimento.
- 5.-Diseño del muro de sostenimiento.

Lima, 1° de octubre de 1956.-



I).- TRAZO DEFINITIVO ENTRE LOS PUNTOS 2 i I

En la tesis que presenté para obtener el Grado de Bachiller, hice y fundamenté el trazo definitivo del primer kilómetro. Me toca ahora realizarlo en el tramo restante hasta alcanzar el punto 2 culminación de mi carretera.

En realidad mi trazo definitivo, en planta, del tramo restante, no se ha apartado hasta la estaca del kilómetro 4, de la poligonal de base trazada en el estudio preliminar de la tesis de bachiller. La diferencia hasta este punto estriba en la introducción de curvas horizontales y verticales de conveniente radio en los cambios de alineamiento y rasante respectivamente y en la variación de las rasantes, pues el perfil longitudinal del terreno varió fundamentalmente por las siguientes razones:

- 1).- Al hacer el perfil longitudinal del trazo preliminar no se tuvieron en cuenta las curvas horizontales en los cambios de dirección y el estacado se llevó íntegramente en las tangentes. Al introducir las curvas el trazo total se vió acortado en una magnitud considerable, lo que anuló las rasantes existentes.
- 2).- Al hacer el estacado del trazo preliminar, cada 100 metros, se niveló el terreno en los puntos en que las tangentes cortaban, en el plano, las curvas a nivel.

En el trazo definitivo se estacó cada 20 metros y se niveló igualmente cada 20 metros variando lógicamente el perfil longitudinal y las rasantes que al comienzo daban una buena compensación longitudinal de volúmenes resultaban en el nuevo perfil inapropiadas.

Resumiendo pues, hasta el Km. 4 no se han variado las tangentes del trazo preliminar y las curvas introducidas han sido calculadas teniendo en cuenta el pegarse lo más que se pudiera a la línea de gradiente pero respetando siem-

pre la longitud mínima de tangentes intermedias, que en la primera parte fué el criterio que más primó. Así en las curvas N° 8, 9 y 10 se puso curvas de radio mínimo de 56 metros a pesar de que esto nos obligaba a apartarnos de la línea de gradiente.

La curva de lazo existente al empezar el trazo definitivo del tramo restante, fué tratada detenidamente en la tesis de bachiller.

Las pendientes que se han puesto hasta el Km. 4 han sido las permitidas por las Normas y en el tramo continuo de ascenso se han respetado las pendientes promedio. Así hemos obtenido una promedio de 3.45% cuando la máxima promedio permitida para esas alturas es de 3.8%.

Es a partir del Km. 4 en que se ha presentado modificación fundamental del trazo preliminar. Así cuando se trazó la rasante final del camino que se proyectaba y que está comprendida entre el Km. 4 y el punto final 2, ésta se ubicó teniendo en cuenta el perfil longitudinal del terreno sacado sobre las tangentes únicamente sin tener en cuenta las curvas. A pesar de esto la rasante colocada tenía la pendiente máxima admisible de 5.2%. El problema se presentó cuando se introdujeron las curvas horizontales en los cambios de dirección. Se redujo tanto la longitud de este tramo, que la pendiente máxima admisible era inapropiada pues caía sobre elevada al río lo que daba un puente con estribos de más de 20 metros de altura; o como otra solución un puente con gran pendiente aunque siempre con estribos prohibitivos. No se podía aumentar la pendiente pues las Normas no lo permitían.

No quedaba otra solución que alargar suficientemente el trazo a son de colocar la pendiente máxima admisible y que el puente fuera económicamente factible.

Para ésto, tracé una línea de gradiente que en

su primera parte seguía la dirección del río hacia la parte superior del plano. Antes de llegar al límite de éste hubo necesidad de una curva de lazo pues había que tomar la dirección de la estaca del Km. 4, que era donde empezó el problema.

Finalmente tracé las tangentes y curvas permitidas obteniendo un perfil longitudinal que me facultaba el uso de una rasante con pendiente máxima sin tener que realizar excesivo movimiento de tierras, ni hacer del puente una obra dificultosa. En todo caso, el puente es de tal magnitud que merece especial atención su estudio.

Relación de Curvas Horizontales a partir del kilómetro 1:

Curva # 5 ( curva de lazo)

I = 177°00'	T = 320.84 mts.
R = 35 mts.	PC 2 + 3.20
L = 111.79 mts.	PT 12 + 15.75

Curva # 6

I 46°10'	L 45.12 mts.
R 56 mts.	PC 26 + 2.63
T 23.87 mts.	PT 30 + 7.75

Curva # 7

I 112°30'	L 109.99 mts.
R 56 mts.	PC 34 + 18.99
T 83.81 mts.	PT 46 + 8.95

Curva # 8

I 127°55'	L 125.06 mts.
R 56 mts.	PC 56 + 10.28
T 114.52 mts.	PT 68 + 15.34

Curva # 9

I 118°20'	L 115.90 mts.
R 56 mts.	PC 72 + 18.18
T 93.82 mts.	PT 84 + 13.98

Curva # 10

I	60°45'	L	84.80 mts.
R	80 mts.	PC	90 + 3.93
T	46.87 mts.	PT	98 + 8.73

Curva # 11

I	36°48'	L	192.68 mts.
R	300 mts.	PC	18 + 4.20
T	99.80 mts.	PT	36 + 16.88

Curva # 12

I	43°40'	L	83.83 mts.
R	110 mts.	PC	60 + 6.33
T	44.07 mts.	PT	68 + 10.16

Curva # 13

I	43°30'	L	60.74 mts.
R	80 mts.	PC	84 + 18.18
T	31.82 mts.	PT	90 + 19.02

Curva # 14

I	54°10'	L	94.54 mts.
R	100 mts.	PC	96 + 8.06
T	51.14 mts.	PT	6 + 2.60

Curva # 15

I	86°20'	L	84.31 mts.
R	56 mts.	PC	12 + 13.37
T	52.53 mts.	PT	20 + 17.68

Curva # 16

I	32° 30'	L	171.17 mts.
R	300 mts.	PC	28 + 17.56
T	87.44 mts.	PT	46 + 8.73

Curva # 17

I	29°20'	L	87.03 mts.
R	170 mts.	PC	54 + 12.31
T	44.49 mts.	PT	62 + 19.34

Curva # 18

I	21°14'	L	59.29 mts.
R	160 mts.	PC	68. + 11.80
T	30 mts.	PT	74 + 11.09

Curva # 19

I	48°44'	L	47.63 mts.
R	56 mts.	PC	88 + 13.94
T	25.36 mts.	PT	94 + 1.57

Curva # 20

I	83°36'	L	81.75 mts.
R	56 mts.	PC	98 + 19.18
T	50.12 mts.	PT	8 + 0.93

Curva # 21

I	34°38'	L	84.85 mts.
R	140 mts.	PC	16 + 16.31
T	43.69 mts.	PT	26 + 1.16

Curva # 22

I	28°52'	L	75.82 mts.
R	150 mts.	PC	30 + 17.82
T	38.48 mts.	PT	38 + 13.64

Curva # 23

I	146°58'	L	143.87 mts.
R	56 mts.	PC	50 + 6.85
T	188.95 mts.	PT	64 + 13.72

Curvas Verticales.- Se colocaron en los puntos de cambio de rasante en que la diferencia algebraica de pendientes era mayor de 1% pues el pavimento a usar era del tipo superior.

En el perfil longitudinal se muestran las curvas verticales usadas y sus diversos elementos.

II).- ELEMENTOS DE SEGURIDAD DE LAS CURVAS DEL PRIMER KILOMETRO.-

Velocidad Directriz.- Es la indicada por las Normas para carreteras de primera clase y en terreno accidentado. Para tal especifican 45 Km./hora.

A).- Curvas de Transición.- Este elemento de seguridad ya fué estudiado detenidamente en la tesis de bachiller.

B).- Peraltado.- Este elemento es introducido en las curvas para evitar el deslizamiento transversal y el vuelco. Las Normas Peruanas especifican, que el peraltado máximo para carreteras de primer y segundo orden, será de 8% y de 2% como mínimo. Se empleará hasta los 340 mts. de radio un 8% disminuyendo proporcionalmente  $\frac{1}{2}\%$  cada 20 mts. de menos hasta llegar a 580 en que se mantiene un 2%. Estos valores dados por las Normas son bajos respecto a los valores fijados por otros autores.

No deberán ponerse peraltes excesivos por la tendencia que tienen los conductores a no tomar la curva por su parte alta sino saliéndose de la trocha.

Las Normas siguen el concepto expuesto por el Ing<sup>o</sup>. Joseph Barnetts en su libro "Transition"Curves for Highways" En lugar de tomar el peralte de 12% como máximo que indica el autor, elige un 8%. Considera que el peralte debe anular el 55% de la fuerza centrífuga y lo restante por fricción. Entonces nos obliga a tomar mayor fricción cuando la fórmula:

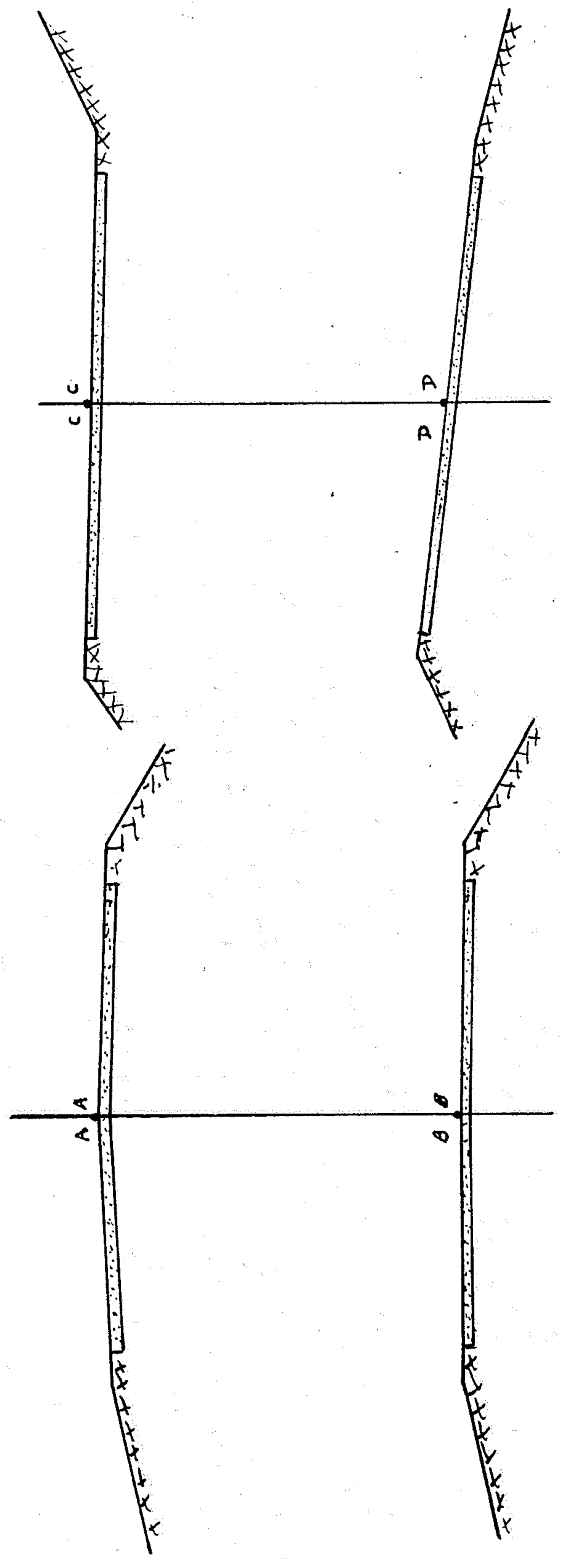
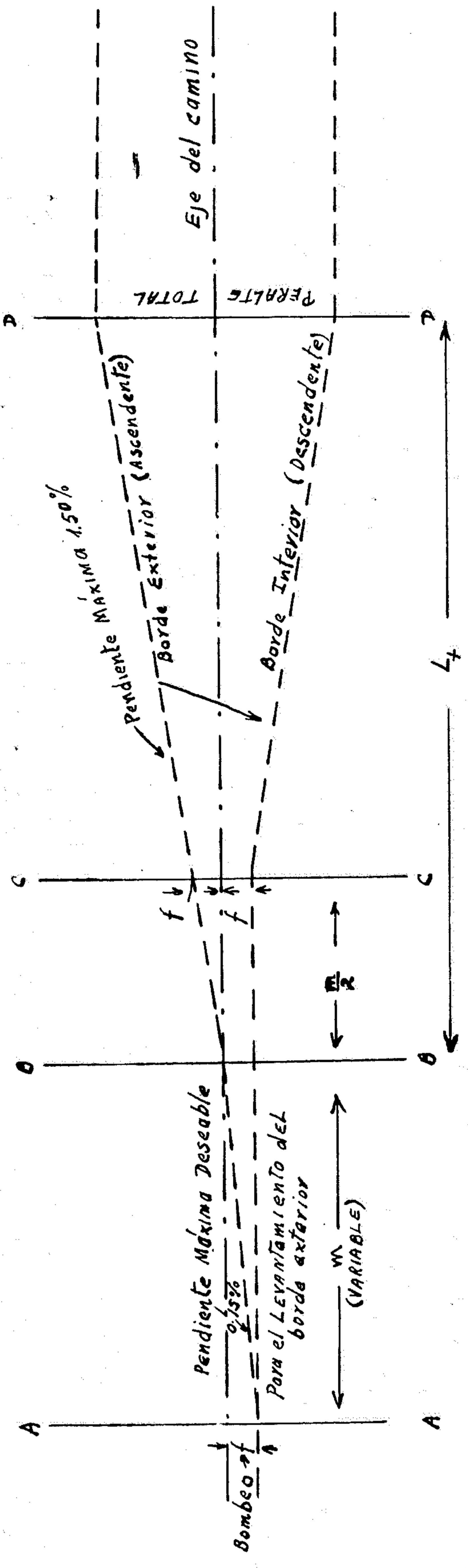
$$P = \frac{V^2}{2.28 R}$$

donde: P = peralte expresado en %

V = velocidad en Km./hora.

R = radio de la curva en metros.

nos dá mayores valores que el peralte máximo para este caso.



Las Normas conservan este valor considerando que el pavimento pierde fricción por el uso.

Se introducirá al principio y final de la curva una rampa para ir dándole un valor gradual, hasta alcanzar un valor verdadero. Se aconseja que la longitud sea de 50 a 100 veces el peralte mismo. El peralte se podrá hacer sobre el eje o al borde interno del pavimento sin considerar el sobreancho. Las Normas aconsejan para terreno accidentado, hacer el peraltado sobre el eje del camino, tal como lo he hecho en mi proyecto.

En todas las curvas de mi primer Km. el peralte puesto es de 8% pues ninguna tiene un radio de más de 340 mts.

La condición de poner rampa de peralte al empezar y terminar una curva nos fija la longitud de la tangente mínima entre dos curvas a 48 mts.

En el dibujo y cálculo de las secciones transversales se ha tenido en cuenta el peralte y la rampa de peralte.

C).- Sobreanchos.- En la curva se necesita aumentar el ancho de la superficie de rodadura, porque las ruedas traseras tienden a hacer un menor recorrido que las delanteras. Este fenómeno se presenta especialmente en altas velocidades en donde desaparece parte del efecto del peralte y entra en acción la fricción de las llantas con el firme. Para el cálculo del sobreancho las Normas Peruanas dan la fórmula.

$$S = n ( R - \sqrt{R^2 - l^2} ) + \frac{V}{10R}$$

En la cual:

S = Sobreancho en metros

R = Radio de la curva en metros

n = Número de vías de tránsito

V = Velocidad directriz en Km./hora.

l = Distancia entre ejes del vehículo fijada generalmente en 6 mts.



Al respecto las Normas dan un gráfico para la solución de esta fórmula.

Las Normas recomiendan que en curvas sin transición el sobreancho fijado morirá en las tangentes i en una longitud destinada a alcanzar todo el peralte. En las carreteras de primera clase, como la mía, el sobreancho se dará por medias partes en los lados exterior e interior de las curvas.

Los sobreanchos calculados para las curvas del presente proyecto en el primer kilómetro arrojan los siguientes valores:

<u>Curva</u>	<u>Radio</u>	<u>Sobreancho</u>
Nº 1	63 mts.	1.15 mts.
Nº 2	170 mts.	0.57 mts.
Nº 3	190 mts.	0.53 mts.
Nº 4	56 mts.	1.26 mts.

Igualmente en el dibujo i cálculo de las secciones transversales, se ha tomado en cuenta el sobreancho.

D). -Visibilidad en las curvas horizontales.-

A medida que un vehículo va recorriendo una curva horizontal, el conductor deberá tener un visibilidad lo suficientemente amplia para ir viendo hacia adelante los obstáculos que puedan aparecer i evitarlos. La curva que va recorriendo la posición del piloto, deberá tener cuerdas iguales a la distancia de visibilidad especificada i cuyos centros determinan los puntos de tangencia de la curva de despeje. Esto se puede determinar por medio de fórmulas o en forma gráfica.

Las Normas Peruanas dan una fórmula simplificada de cálculo para la visibilidad en las curvas horizontales; i ella es:

$$Dv = 2R \text{ arc. cos } \frac{R - m}{R}$$

donde:  $D_v$  es la distancia de visibilidad en metros.

$R$  es el radio de la curva en metros.

$m$  es la distancia del eje de la curva a la cuerda tendida a 1.30 mts. de altura sobre el nivel de la calzada, en metros.

Para las curvas que tengo en el primer kilómetro i tomando como  $D_v$  52 mts. o sea la distancia de frenado, he obtenido para  $m$  los siguientes valores:

Curva N° 1	$m$	5.29 mts.
" " " 2	$m$	1.98 mts.
" " " 3	$m$	1.76 mts.
" " " 4		está íntegramente en relleno.

Si nosotros calculamos la distancia  $m$  existente en las distintas secciones transversales de las zonas en curva por medio de la fórmula de las distancias proyectadas:

$$M = \text{ancho de media vía} + \text{berma} + \text{medio sobreancho} + \text{cuneta} + \text{talud.}$$

obtenemos un valor de  $m$  de 4.43; comprobando entonces que sólo la primera curva requiere una banqueta de visibilidad de 0.86 mts. de ancho a 1.30 mts. sobre la calzada i en la parte interior de la curva.

Las demás curvas, no requieren banqueta de visibilidad.

#### E). - Otros elementos del camino. -

1). - Bombeo. - Se le ejecuta a fin de eliminar el agua de lluvia en el sentido transversal i evitar así el deterioro que éstas causan en el camino.

Las Normas Peruanas, especifican un valor del 2% para la perte más elevada del bombeo con respecto al borde.

2). - Bermas. - Son unas explanaciones que se colocan a cada

lado de la carretera que tienen como función sostener en forma lateral el pavimento. Sirven además para el tránsito de peatones, estacionamiento provisional de carros para reparaciones eventuales, i en muchos casos como parte suplementaria de la superficie de rodadura.

El ancho de las bermas del presente proyecto, es el especificado por las Normas, es decir de 0.50 mts. Las bermas tienen una inclinación de 5% i son hechas de un afirmado similar al del camino pero de menor resistencia.

3). -Cunetas. - Se verán detenidamente al tratar del drenaje del camino.

4). -Taludes. - De ellos depende la no existencia de derrumbes i los constantes cortes de tránsito en la carretera. Se deben tener en cuenta, la naturaleza del terreno para poder calcular el ángulo de reposo.

Los taludes adoptados por mí, son los fijados por las Normas según la clase de terreno que he ido encontrando a lo largo del primer kilómetro.

### III .- CONSTRUCCION DEL CAMINO

En la tesis de bachiller hicimos un pliego de cubicación de volúmenes que ahora hemos de utilizar previa corrección por factores que a continuación detallamos:

#### Esponjamiento y compactación.-

Siempre que procedamos al cálculo de los volúmenes de materiales a mover, hemos de tener presente el factor ineludible del esponjamiento, so pena de resultados erróneos.

Cuando excavamos un suelo y lo cambiamos de su estado natural disgregándolo al ponerlo en otro lugar, hay un aumento de volumen; luego si este material suelto lo compactamos por cualquier medio, logramos una contracción que alcanza a veces mayor valor absoluto que el esponjamiento. Esto es debido a que los vacíos existentes entre las partículas del material, disminuyen al haber un mejor acomodamiento de éstas con el compactamiento; además las materias orgánicas desaparecen por ser materia nula en los rellenos.

En el caso de excavación en roca, la compactación no alcanza en valor a el esponjamiento por efecto de las aristas vivas que dan gran porcentaje de vacíos.

Hay pues tres tipos o estados de los materiales:

- 1) Materiales al estado natural.
- 2) Materiales excavados, disgregados o sueltos.
- 3) Materiales compactados.

Los valores de los factores de esponjamiento y compactación nos permite un cálculo bastante aproximado de:  
1) Volúmenes de transporte; 2) Volúmenes de material necesario para formar un relleno; 3) Volumen real que se extrae de un corte, etc.

Hay que tener presente de no confundir esponjamiento con asentamiento. Este último fenómeno se traduce en

un descenso de altura del material desde el momento en que es compactado hasta que se estabiliza. El asentamiento se produce en un periodo largo pero su mayor efecto se manifiesta en el primer año. Mientras que asentamiento es cambio de altura, a menor, de rasante, el esponjamiento encierra cambio de volumen.

Los factores de conversión empleados para el esponjamiento de los distintos materiales que tengo en el primer Km. de la carretera que proyecto, son:

Materiales sueltos: de naturales a sueltos: 1.25

de compactados a sueltos: 1.39

Rocas blandas y duras: de naturales a sueltas: 1.50

de compactados a sueltos: 1.00

#### DIAGRAMA DE MASAS.-

La necesidad de saber más o menos exactamente entre que puntos de un trazo, se tiene un compensación longitudinal de los volúmenes a moverse, hace indispensable el cálculo y dibujo del diagrama de masas. Mediante él, podemos darnos cuenta si el camino ha sido bien proyectado en cuanto a movimiento de tierras, y con ayuda de la planta y perfil del trazo, ver la manera de una variante más económica.

Dado que el transporte de tierras forma un fuerte renglón del presupuesto del camino es preciso estudiar detalladamente las distancias a que deben realizarse estos transportes así como la compensación de los volúmenes a moverse. Con el diagrama de masas este estudio se hace más cómodo. Este diagrama no es sino una curva cuyas ordenadas representan la suma algebraica de los volúmenes de material que exceden de la compensación transversal, acumulados hasta la estaca ubicada en el eje de absisas.

Una vez dibujada la curva de masas, se estudia preferentemente la forma como se han de distribuir las masas de material a fin de disminuir al mínimo las distancias de transporte. Para ello, necesitamos conocer las propiedades más importantes de la curva:

- 1) El diagrama es ascendente mientras hay exceso de corte y descendente cuando hay excesos de relleno.
- 2) La ordenada en cualquier punto, representa la suma algebraica acumulada hasta esa estaca de los volúmenes que exceden la compensación transversal.
- 3) En cada punto en que la curva cambia de sentido, señala el paso de corte a relleno o de relleno a corte en el perfil longitudinal.
- 4) El movimiento de tierras entre dos puntos consecutivos de intersección de la curva con la línea de base o cualquier paralela a ella, está compensado.
- 5) La ordenada máxima de cualquier lazo de curva, se puede asumir como el volumen total neto que deberá ser movido de corte a relleno en ese tramo.
- 6) La línea de balance podrá ser movida hacia arriba o hacia abajo, hasta determinar los tramos de balance deseados. Las líneas de balance son paralelas y no tienen porque ser continuas. La distancia vertical que las separa indicará el volumen excedente.
- 7) Para calcular las distancias medias de transporte de cada tramo compensado, se calcula el área total comprendida dentro del tramo compensado y se le divide entre la ordenada máxima.

Observaciones.- En realidad la solución final del diagrama de masas ha sido obtenido después de dds tanteos en que se varió la rasante, a son de obtener una mejor compensación,

llegando a la solución planteada que creo es bastante racional.

En los primeros 100 metros del Km. que estoy proyectando se puede observar gran exceso de corte que no se puede evitar pues la línea de gradiente nos obliga a empezar el trazo con una curva de radio pequeño que necesariamente dá secciones integras en corte al pasar de una ladera a otra del cerro en que se encuentra nuestro punto de partida, agregando a esto el sobreancho, peralte y talud tendido, factores estos que influyen aumentando el volumen de corte.

A pesar de ello, en este primer tramo no se ha llegado a alturas de corte excesivas, pues 3.80 mts. que es el máximo, es perfectamente racional.

Ahora bien, si observamos que las laderas del cerro no son escapadas, concluimos que este exceso de corte puede sin dificultad ser eliminado por un tractor.

A partir de los 100 mts, el diagrama de masas compensa mejor los volúmenes de material.

#### Elección de la línea de base.-

Tratando de reunir en una sola zona los excesos de corte, para una mejor labor de conjunto de la maquinaria, mi primera línea de balance ha empezado en la estaca 10 + 3 hasta la estaca 50 + 4, donde termina la compensación para empezar nuevamente excesos de corte.

Si nosotros hubiéramos bajado esta primera línea de balance a son de conseguir una mayor aproximación de las distancias de transpote de los dos primeros lazos de la curva de masas, hubiéramos obtenido otro exceso de corte que había que botar en la estaca 26 más o menos.

La primera línea de base adoptada nos ha permitido ubicar en una sólo zona los botes de los primeros 500 metros, llegando estos a 4,000 m<sup>3</sup>.

Estaca	Distancia	Area de		Volumen de		Volumen de		Suma
		Corte	Relleno	Corte	Relleno	Corte	Relleno	
0	—	5.60	3.00	—	—	—	—	—
2	20	6.90	0.70	125	37	156	51	105
4	20	25.00	—	319	3.5	399	4.90	499
6	20	47.70	—	727	—	910	—	1409
8	20	54.90	—	1026	—	1284	—	2693
10	20	40.80	—	957	—	1196	—	3889
12	20	13.70	2.40	545	12	681	17	4553
14	20	0.90	29.70	146	321	182	446	4289
16	20	0.40	38.60	13	683	16	951	3354
18	20	1.20	15.80	16	544	20	757	2617
20	20	4.80	2.70	60	185	75	258	2434
22	20	19.60	—	244	13.5	305	19	2720
24	20	18.80	—	384	—	480	—	3200
26	20	17.10	—	359	—	449	—	3649
28	20	12.10	—	292	—	365	—	4014
30	20	8.50	0.25	206	1.3	258	18	4270
32	20	3.10	1.30	116	15	145	15	4400
34	20	1.40	4.20	45	55	56	55	4401
36	20	—	8.90	7	131	9	131	4279
38	20	0.90	9.70	5	186	6	186	4099
40	20	2.10	4.72	30	144	37	144	3992
42	20	1.50	7.50	36	122	45	122	3915
44	20	1.50	6.25	30	137.5	37	138	3814
46	20	4.00	3.70	55	99.5	69	100	3783
48	20	5.20	2.00	92	57	115	57	3841
50	20	5.60	0.40	108	24	136	24	3953
52	20	8.70	—	143	2	215	2	4166
54	20	10.70	—	194	—	291	—	4457
56	20	8.50	0.36	192	1.80	288	1.80	4743



Estaca	Distancia	Corte de Area	Area de Relleno	Volumen de Corte	Volumen de Relleno	Volumen de Corte Corr.	Volumen de Relleno Corr.	Diferenc. Volumenes	Suma Algebraica.
56	20	8.50	0.36	192	1.80	288	1.80	286	4743
58	20	5.00	1.50	135	18.6	203	18.6	184	4927
60	20	4.70	1.00	97	25	145	25	120	5047
62	20	4.00	1.80	87	28	131	28	103	5150
64	20	2.40	4.40	64	62	96	62	34	5184
66	20	1.50	2.70	39	71	59	71	-12	5172
68	20	2.10	0.10	36	28	54	28	26	5198
70	20	5.20	—	73	0.5	109	0.5	108	5306
72	20	3.70	—	89	—	134	—	134	5440
74	20	0.45	1.85	42	9	62	9.3	53	5493
76	20	0.50	3.90	10	58	14	57.5	-44	5449
78	20	0.40	5.70	9	96	14	96	-82	5367
80	20	1.80	4.40	22	101	33	101	-68	5299
82	20	10.90	0.02	127	44	191	44	147	5446
84	20	21.00	—	319	0.1	478	0.1	478	5924
86	20	2.00	1.40	230	7	345	7	338	6262
88	20	—	24.30	10	257	15	257	-242	6020
90	20	3.20	0.04	16	243	24	243.4	-219	5801
92	20	6.90	—	101	0.2	151	0.2	151	5952
94	20	—	8.70	34	44	51	43.5	7	5959
96	20	—	49.40	—	581	—	581	-581	5378
98	20	—	43.70	—	931	—	931	-931	4447
Km.1	20	—	19.70	—	634	—	634	-634	3813

A partir de la estaca 50 + 4, siguen los excesos de corte no compensados hasta la estaca 69 + 9 a partir de la cual ubicamos nuestra segunda línea de balance que llega hasta la estaca 96 + 2 en que empieza a faltar material. Si observamos el diagrama de masas, el exceso de corte existente entre las dos líneas últimas de balance, puede ser utilizado en la última parte del diagrama, haciendo uso de la pala mecánica i volquetes que luego necesitaremos para la obtención del afirmado como más tarde explicaremos detenidamente.

Determinación de las distancias medias de transporte.-

Habíamos dicho al hablar de las propiedades principales del diagrama de masas, que la distancia media de transporte en un tramo, se obtenía determinando el área encerrada dentro de los lazos de curva compensados i dividiéndolos entre sus ordenadas máximas respectivas. Así hemos determinado las siguientes distancias medias de transporte:

TRAMO	MOMENTO DE TRANSPORTE $m^4$	ORDENADA MÁXIMA $m^3$	DISTANCIA MED. DE TRANSPORTE $m$
I	14,310	560	26
II	118,410	1570	75
III	29,180	400	73
IV	13,360	220	61
V	11,140	190	59
VI	86,580	970	89

ELECCION DEL EQUIPO.-

Actualmente las técnicas modernas i el breve tiempo que se exige en la construcción de una carretera, obligan la adopción de equipo mecánico casi en su totalidad con lo que, además, se logra economía i bondad de la obra.

Específicamente la clase de maquinaria la escogemos observando el diagrama de masas i el perfil longitudinal pero teniendo muy presente la topografía de la zona que permita el libre accionar de determinadas máquinas.

En los primeros 500 mts. del kilómetro que se proyecta, no tenemos problema. Así la distancia media de transporte máxima es 75 mts. i sabemos que los tractores con empujadoras llegan a trabajar económicamente hasta con distancias de 90 mts.. En los primeros 100 mts. en que tenemos un gran bote, el tractor trabajará magníficamente eliminándolo laderas abajo, sin pasar en ningún momento de distancias mayores de 90 mts.

En el segundo tramo balanceado comprendido entre las estacas 70 i 97, tampoco hay problema pues el tractor con empujador trabajará eficientemente, así que no tenemos distancias de transporte mayores de 90 mts.

En donde si dudamos un poco para adoptar una solución es en el bote de 1299 m<sup>3</sup> existente entre las estacas 50 i 70 i que lo necesitamos a partir de la estaca 96 hasta el final. En realidad, no existiría problema si prosiguiéramos el estudio luego del kilómetro en que por presentarse una vuelta de lazo, tendríamos exceso de corte que compensaría lo que nos falta al finalizar el primer kilómetro. Pero como el estudio es solo de los primeros mil metros, tenemos que adoptar soluciones olvidándonos del resto. Volvemos pues al problema de cómo llevar el exceso de corte de las estacas 50 a 70 al final del trazo en que lo necesitamos.

Una solución sería adoptar traillas, pero por una parte lo accidentado del terreno que dificulta sus maniobras i por otro lado el alto costo que representa su adquisición, hace que desechemos esta maquinaria que solo usaríamos en este tramo.

En cambio, si tenemos presente que para la obtención

del material del afirmado de la cantera, necesitaremos una pala i volquetes, que hasta entonces estarán parados, los podemos usar perfectamente en la construcción de este tramo en que tenemos problema, previo claro está, la construcción de una trocha. En este caso, vale la pena hacer un estudio económico para determinar si conviene esta última solución o es mejor obtener el material que falta, de otro lugar.

En todo caso he adoptado la solución de la pala i volquetes trayendo el material sobrante del mismo camino. Los 187 m<sup>3</sup> que faltan los obtendremos entre las estacas 52 i 56, tendiendo un poco los taludes hasta conseguir el material necesario con lo que ganamos en estabilidad. Estos 187 m<sup>3</sup> los movilizaremos con la pala i volquetes.

Resumiendo entonces, el equipo adoptado en el transporte de material del kilómetro es: tractores con empujador angular i pala mecánica con volquetes.

#### Tractor Caterpillar D-8 con Empujador.-

Dá grandes resultados en los cortes de media ladera en cortes profundos i en toda clase de materiales, excepto el granulado fino i roca muy quebrada. La distancia de transporte máxima es de 90 mts. pero trabaja con su máximo rendimiento en distancias de 10 a 20 mts. El lampón lleva tres enganches fijos para las distintas posiciones angulares, siendo la máxima 25°. De preferencia se debe mantener en una sola sin cambiarla a cada momento, ya que requiere demora en el trabajo con baja de su rendimiento. El sistema para levantar el lampón es hidráulico, prefiriéndose al de cadena. La cuchilla tiene 4,06 metros de largo i 0.98 metros de alto.

Tiene cinco velocidades hacia adelante i tres hacia atrás. A medida que aumenta la velocidad, disminuye su capacidad de empuje.

CALCULO DEL RENDIMIENTO DEL TRACTOR D - 8 CON EMPUJADOR

La fórmula que emplearemos es la siguiente, sacada de las copias de Caminos del Ing° Parraud:

$$R = \frac{Q.F.60.E}{C_m}$$

donde: R es el rendimiento en m<sup>3</sup>

Q es la capacidad del lampón del empujador en materiales sueltos igual a 2.9 m<sup>3</sup>.

F es el factor de conversión.

E es la eficiencia del tractor.

C<sub>m</sub> es el tiempo de duración de un ciclo de trabajo en minutos.

Compensación Transversal.-

Estaca 0 a Estaca 30

Material Suelto.-

Distancia media de transportes: 5 mts.

Elemento de tiempo fijo: 0.33 min.

Elementos de tiempo variable:

$$T.V.c = \frac{5 \times 60}{2.73 \times 1,000} = 0.11$$

$$T.V.d = \frac{5 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.05$$

$$C_m = 0.33 + 0.11 + 0.05 = 0.49 \text{ min.}$$

$$R = \frac{2.9 \times 0.72 \times 60 \times 0.6}{0.49} = 154 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Luego pues para mover los 2506 m<sup>3</sup> se necesitarán 16.21 hrs.

Estaca 30 a Km. 1

Roca.-

Distancia media de transportes: 5 mts.

Elemento de tiempo fijo: 0.33 min.

Elemento de tiempo variable:

$$T.V.c = 0.11$$

$$T.V.d = 0.05$$

$$C_m = 0.33 + 0.11 + 0.05 = 0.49 \text{ min.}$$

$$R = \frac{2.9 \times 1.0 \times 60 \times 0.6}{0.49} = 213 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Y entonces para mover los 4214 m<sup>3</sup> de rocas, de la compensación transversal necesitaremos 19.78 horas.

Compensación Longitudinal.-

Tramo I

Distancia de transporte: 26 mts.

Operación de tiempo fijo.-

En una ida y vuelta hay dos cambios de engranajes a 10" por cambio son 20 seg. o sea 0.33 min.

Operación de tiempo variable.-

El tractor cargado va a 2.73 Km./hora.

El tractor descargado va a 5.96 Km./hora.

$$T.V. = \frac{\text{Distancia} \times 60}{\text{Vel. (Km./hora)} \times 1000}$$

$$T.V.c = \frac{26 \times 60}{2.73 \times 1000} = 0.57$$

$$T.V.d = \frac{26 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.26$$

$$c_m = 0.33 + 0.57 + 0.26 = 1.16 \text{ min.}$$

$$R = \frac{2.9 \times 0.72 \times 60 \times 0.6}{1.16} = 65 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Para mover los 560 m<sup>3</sup> se necesitan 8.66 horas.

Tramo II.-

Distancia de transporte: 75 mts.

Operación de tiempo fijo: 0.33 min.

Operación de tiempo variable:

$$T.V.c = \frac{75 \times 60}{2.73 \times 1000} = 1.65$$

$$T.V.d = \frac{75 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.75$$

$$c_m = 0.33 + 1.65 + 0.75 = 2.73 \text{ min.}$$

$$R = \frac{2.9 \times 0.72 \times 60 \times 0.6}{2.73} = 27.5 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Para mover los 1570 m<sup>3</sup> se necesitan 57.2 horas.

Tramo III.-

Distancia de transporte: 73 mts.

Operación de tiempo fijo: 0.33 min.

Operación de tiempo variable:

$$T.V.c = \frac{73 \times 60}{2.73 \times 1000} = 1.6$$

$$T.V.d = \frac{73 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.73$$

$$C_m = 0.33 + 1.6 + 0.73 = 2.66 \text{ min.}$$

En este tramo existen dos clases de materiales, material suelto i roca blanda, por lo tanto calculamos dos rendimientos:

$$R_1 = \frac{2.9 \times 0.72 \times 60 \times 0.6}{2.66} = 28.3 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$R_2 = \frac{2.9 \times 1.0 \times 60 \times 0.6}{2.66} = 39.3 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Estimando que las 2/3 partes del material a mover es material suelto y el resto roca blanda, encontraremos en forma aproximada el tiempo necesario para mover estos volúmenes:

Para mover 2/3 x 400 m<sup>3</sup> de material suelto se necesitan 9.43 horas.

Para mover 1/3 x 400 m<sup>3</sup> de roca blanda se necesitan 3.4 horas.

Lo que hace un total de 12.83 horas.

Tramo IV

Distancia de transporte: 61 mts.

Operación tiempo fijo: 0.33 min.

Operación tiempo variable:

$$T.V.c = \frac{61 \times 60}{2.73 \times 1000} = 1.34$$

$$T.V.d = \frac{61 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.61$$

$$c_m = 0.33 + 1.34 + 0.61 = 2.28$$

$$R = \frac{2.9 \times 1.0 \times 60 \times 0.6}{2.28} = 45.8 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Para mover los 220 m<sup>3</sup> se necesitan 4.8 horas.

Tramo V

Distancia de transporte: 59 mts.

Operación de tiempo fijo: 0.33 min.

Operación de tiempo variable:

$$T.V.c = \frac{59 \times 60}{2.73 \times 1000} = 1.29$$

$$T.V.d = \frac{59 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.59 \text{ cm}$$

$$c_m = 0.33 + 1.29 + 0.59 = 2.21 \text{ min.}$$

$$R = \frac{2.9 \times 1.0 \times 60 \times 0.6}{2.21} = 47.3 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Para mover los 190 m<sup>3</sup> se necesitan 4.02 horas.

Tramo VI

Distancia de transporte: 89 mts.

Operación de tiempo fijo: 0.33 min.

Operación de tiempo variable:

$$T.V.c = \frac{89 \times 60}{2.73 \times 1000} = 1.95$$

$$T.V.d = \frac{89 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.89$$

$$c_m = 0.33 + 1.95 + 0.89 = 3.17 \text{ min.}$$

$$R = \frac{2.9 \times 1.0 \times 60 \times 0.6}{3.17} = 32.8 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Para mover los 970 m<sup>3</sup> se necesitan 29.5 horas.

Material Sobrante.-

Entre la estaca 0 + 00 i la estaca 10 + 3 mts. existen 4000 m<sup>3</sup> de material suelto sobrante que se van a eliminar al costado con un distancia de transporte de 30 mts. en promedio ya que como parte de este exceso está en sec-



ciones de corte cerrado, el tractor necesita caminar innecesariamente algunos metros para poder eliminar este sobrante:

Operación de tiempo fijo: 0.33 min.

$$T.V.c = \frac{30 \times 60}{2.73 \times 1000} = 0.65$$

$$T.V.d = \frac{30 \times 60}{5.96 \times 1000} = 0.30$$

$$c_m = 0.33 + 0.65 + 0.30 = 1.28 \text{ min.}$$

$$R = \frac{2.9 \times 1.0 \times 60 \times 0.6}{1.28} = 81.5 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Luego para eliminar los 4000 m<sup>3</sup> de material suelto se necesitan 49.2 horas.

#### Trabajo con Pala y Volquetes.-

La pala mecánica adoptada es una Lima modelo 34 con una capacidad de 3/4 yardas cúbicas o sea 0.53 m<sup>3</sup> con 10 toneladas de peso. Irá montada sobre orugas con cucharón de arrastre y equipada con motor Diesel.

Los volquetes a usar tendrán una capacidad de 3 yardas cúbicas igual a 2.28 m<sup>3</sup>.

#### Cálculo del rendimiento de la pala mecánica Lima modelo 34.-

El rendimiento de la pala se calculará a base de la fórmula:

$$R = \frac{3600 \times Q \times f \times E \times K}{c_m}$$

donde: 3600 es los segundos de una hora

Q es la capacidad del cucharón de la pala.

f es el factor de conversión.

E es el factor de eficiencia de la pala.

K es el factor de eficiencia del cucharón.

c<sub>m</sub> es tiempo de duración del ciclo en segundos.

En nuestro caso, estas variables tienen los siguientes valores:

Q es 0.57 m<sup>3</sup>

f es 1.50

E es 0.60

K es 0.80

c<sub>m</sub> sacado de tablas es 0.33 min. o sea 20 segundos.

Reemplazando en la fórmula estos valores obtenemos:

$$R = \frac{3.600 \times 0.57 \times 1.50 \times 0.60 \times 0.80}{20} = 74 \text{ mts}^3/\text{hora}$$

Necesitamos también conocer el número de volquetes necesarios para un trabajo eficiente de la pala. Este número lo obtenemos de la fórmula:

$$N = \frac{60 \left[ \left( \frac{d}{V_1} \right) + T_1 + \left( \frac{d}{V_2} \right) + T_2 \right] + 1}{n c_m}$$

donde: N es el número de camiones necesarios.

d es la distancia de transporte igual a 460 mts.

V<sub>1</sub> es la velocidad del camión cargado igual a 335 mts/minuto.

T<sub>1</sub> es el tiempo para vaciar el volquete igual a 0.5 min.

V<sub>2</sub> es la velocidad del camión descargado, igual a 670 mts/minuto.

T<sub>2</sub> es el tiempo para que se cuadre el camión igual a 2 minutos.

n es el número de ciclos para llenar un camión igual a 4.

c<sub>m</sub> es el ciclo total en segundos, igual a 20 seg.

Reemplazando estos valores hemos obtenido de la fórmula anterior un número necesario de volquetes igual a 5.

Luego el tiempo total de trabajo de la pala y camiones será:

$$T = \frac{1486}{74} = 20 \text{ horas} = 2.5 \text{ días.}$$

COORDINACION DEL TRABAJO DE LA MAQUINARIA.-

Usaremos 2 tractores D. - 8 con empujador angular, marca Caterpillar.

Empezaremos poniendo uno de los tractores a trabajar en los tramos V y VI, preparando el camino para una mejor labor de la pala y volquetes que llevarán el exceso de corte de las estacas 50 a 70 al final del Km. Este primer tractor tendrá en esa labor 4.2 días de 8 horas de trabajo, en total 33.52 horas.

Este mismo tractor pasará luego a trabajar sucesivamente los tramos IV y III, ocupando en tales labores 2.2 días ( 17.63 horas) de 8 horas de trabajo.

Simultáneamente al trabajo del primer tractor, el segundo tractor empezará efectuando el bote existente en los primeros 100 mts. y efectuando la compensación del primer tramo en cuyas labores ocupará 57,86 horas o sean 7.23 días de 8 horas de trabajo.

A estas labores de los dos tractores hay que agregar lógicamente los trabajos de compensación transversal en los tramos donde actúan.

La labor del primer tractor ha terminado pues pasará luego a eliminar la capa de material indeseable que hay en la cantera de material para afirmado a son de un trabajo inmediato de la pala y volquetes.

El segundo tractor, se encargará del movimiento del segundo tramo pero procurando en un primer momento dejar una trocha en este tramo, lista para el paso de la pala y volquetes que traeremos del punto inicial dos y que trabajarán estacas después. En este tramo dos el segundo tractor ocupará 7.15 días de labor de 8 horas, es decir que en total este tractor ha trabajado en la compensación longitudinal 14.38 días.

Como hemos dicho más arriba, al efectuar el segundo tractor, su última labor, empezará preparando el camino para el paso de la pala lo cual podrá hacerlo al finalizar el segundo día de labor del 2º tractor. Como la pala trabajará únicamente 20 horas es decir dos días de 10 horas, podrá ésta regresar con los volquetes para empezar a mover el material de las canteras, para el afirmado.

Resumen de días de labor de la maquinaria en la compensación longitudinal.-

Suponiendo que se empieza a trabajar el 1º de algún mes:

Primer Tractor.-Empieza el 1º i termina el 6 con seis días de 8 horas i 3.15 horas de sobretiempo.

Segundo tractor.-Empieza el 1º i termina el 13 con 12 días de 10 horas de labor quedando 5 horas de descanso.

Pala i Volquetes.-Empiezan el 10 i terminan el 11 con dos días de 10 horas.

EXPLOSIVOS.-

El movimiento de los materiales rocosos, se efectúa primero por medio de explosivos que al disgregarlos permiten así el mejor empleo de los tractores para la remoción del material.

El explosivo más usado en la práctica caminera es la dinamita, preferida a la pólvora por su mucha mayor potencia a igualdad de volumen i por su facilidad de transporte aunque su manipuleo entraña mayor peligro.

Existen gran variedad de tipos de dinamita en las distintas marcas, según las condiciones de trabajo, clase de material a volar i volumen a volar. Se prefieren las dinamitas con absorbente activo por tener más poder.

Hay que hacer notar que la dinamita es más efi-

ciente cuando más compacta es la roca a volar.

Existen varias fórmulas para calcular los explosivos i material disgregado. La forma de voladura de un tiro es un cono, cuyo volumen está dado por la fórmula:

$$V = 1.05 h^3$$

en la cual: V es el volumen de material despejado en m<sup>3</sup>.

h es la longitud del taladro en metros.

Así se puede determinar la profundidad del tiro en función del volumen del material que se desea volar.

Otra fórmula usada para calcular la carga C en kilogramos es:

$$C = K h^3$$

donde: h es la longitud del taladro en metros.

K es una constante que varía según:

Roca blanda, fácil de romper; en este caso vale: 0.1

Roca de mediana dureza 0.2

Roca dura 0.3

En el manual de Hutte, a base de experiencias propias, se ha determinado que:

Para roca dura 1 m<sup>3</sup> requiere 0.3 Kgr. de dinamita.

Para roca blanda 1 m<sup>3</sup> requiere 0.15 Kgr. de dinamita.

Para 30% de roca blanda i 70% de roca dura se ha hecho una proporción:  $0.3 \times 0.15 + 0.7 \times 0.3 = 0.255$

Estos valores son los que creemos deben usarse en el presente proyecto pues provienen de datos prácticos que más se acercan a la realidad.

#### Cálculo de la cantidad de dinamita.-

La dinamita se vende por los fabricantes en cartuchos de diferentes calidades. Nosotros emplearemos la marca "Atlas" al 65% de 7/8" por 8" que se expende en cajones de 217 cartuchos con un peso de 22.7 kilos por cajón. Se

estima un promedio de tres cartuchos por tiro. Además se considera que es necesario 0.3 mts. de taladro para poder volar un metro cúbico de roca.

En los 300 mts. de roca blanda, se deben disgregar 1285 m<sup>3</sup> i en los 400 finales 1308 m<sup>3</sup> con 30% de roca blanda i 70% de roca dura. Para ésto se requieren las siguientes cantidades:

$$1285 \times 0.15 = 192.8 \text{ kgr.}$$

$$1308 \times 0.255 = \underline{333.6}$$

$$526.40 \text{ Kgr.}$$

A esto agregaremos un 10% para refines i cachorreos, de donde finalmente obtenemos: 579.04 Kgr.; es decir 25 cajones con 5425 cartuchos.

Estos 579.08 Kgr. de dinamita representan 1808 tiros. Suponiendo un tiempo de 100 segundos por tiro i empleando un tipo de mecha que corra a razón de 1 cm. por segundo se necesitará 1 metro de mecha por tiro luego serán 1808 metros de mecha.

Los fulminantes usados serán del tipo # 6 de tetriilo que vienen en cajas de 100 unidades. Luego necesitaremos 19 cajas.

El transporte de la dinamita i fulminantes deberá hacerse con cuidado. En ningún caso deberá conducirse ambos elementos en un mismo vehículo. Se guardará en un lugar fresco, protegido i apartado de toda población i en cuanto fuera posible en un polvorín.

Las mechas se aprovisionarán para dos meses de trabajo cuando más, pudiendo secarse i cortarse los tiros con el consiguiente peligro.

Los medios de producir la explosión son varios, pero en la práctica caminera se emplea la mecha de pólvora o por disparos eléctricos. En nuestro proyecto utilizaremos el primer medio.

Forma de carga de un taladro.-

Una vez perforado el taladro, hasta la profundidad deseada, con el ancho debido i comprobándose que esté despejado, se procede al cargado. Se van introduciendo los cartuchos suavemente, cuidando que no se golpeen, empujandolos con el atacador, que es una varilla de madera. No se usa metal para no producir chispas. La forma de colocar la mecha i fulminante en el último cartucho es la siguiente: Se introduce la primera dentro del fulminante, aprisionandola por medio de una tenaza. Luego se le hace un hueco al cartucho de dinamita. Introducido el fulminante dentro, se fija ya sea amarrando la mecha al papel o al cartucho. Así se tendrá listo el cartucho que vá último o sea el primero de la cara de voladura.

Luego se procede a atacar los cartuchos dentro del taladro por medio de material que puede ser arcilla excenta de piedras. La primera parte del ataque se hace suavemente para no golpear ni presionar el fulminante con el atacador; el resto si se ataca bien cuidando de que la mecha no se suelte.

Trabajo con explosivos.-

El trazado de los tiros, se hará en orden al volumen i a la forma del material, ubicando la profundidad i la dirección del tiro. Se deberá observar las líneas de menor resistencia, que serán las que determinen la fractura de la roca; aprovechando los planos de clivaje del material i los de fractura en las rocas sedimentarias.

Los disparos se harán según se trate de extracción i compensación transversal o transporte. Cuando se trate de trabajos en media ladera, se procurará que el material caiga en el sitio deseado para evitar transporte, sien-

do la carga del tiro mayor que para los trabajos de transporte, espaciándose los taladros de 1.50 a 2.40 mts. a cada lado. Cuando se trate de transporte se procurará que la roca quede fracturada en trozos transportables por el tractor.

Si la altura de corte es baja, se hace el raspado, teniendo cuidado que no queden aristas vivas que se tengan que "cachorrear". Si existe tierra sobre la roca en menos de 2 mts., ésta se volará conjuntamente; si es mayor, se eliminará primero.

En general el trabajo con explosivos requiere de gente experimentada i solamente en el lugar es que se puede resolver el problema, viendo la estructura geológica de los materiales.

#### Equipo para la disgregación de las rocas.-

Se empleará una compresora marca Chicago Pneumatic modelo "210" tipo Diesel i martillos perforadores de igual marca CP-59 tipo Dry. Su adopción se justifica por ser más económicos en su funcionamiento al trabajar con petróleo i la capacidad permite un alto rendimiento, que de ellos se espera para el rápido movimiento de tierras. Montada sobre un chasis de 4 ruedas que le da maniobrabilidad.

Los martillos serán de 59 libras de peso i llevarán barrenos de 1" consumiendo alrededor de 88 pies<sup>3</sup> por minuto, de aire; teniendo un rendimiento aproximado de 24 mts. lineales de perforación de 1" de diámetro en roca dura en una jornada de 8 horas.

Las brocas, serán con incersiones de carburo tungsteno con las que se obtiene mayor rendimiento, pudiéndose perforar sin aguzadas frecuentes. Según las especificaciones del fabricante, se podrá operar la compresora con tres martillos. La altura en la que se va a operar está alrededor de los 2500 mts. i no produce mucha pérdida.



En general el rendimiento del equipo está sujeto a aumentos o disminuciones que están sujetas al medio ambiente de la zona en que se está operando, altura, temperatura tipo de roca, condiciones en que se está operando i habilidad del personal que trabaja.

Trabajo de la Compresora i Martillos.-

Al operar la compresora, se emplazará ésta, lo más a nivel posible para obtener su máximo rendimiento, en un area libre donde se encuentre aire lo más fresco i exento de polvo en lo posible. La presión de aceite debe chequearse cada 500 horas de trabajo aproximadamente, haciendo un cambio completo. Se tendrán bien lubricadas las piezas periódicamente. El sistema de enfriamiento deberá funcionar regularmente para obtener el máximo rendimiento. Las válvulas de entrada i salida serán inspeccionadas, desarmadas i lavadas en aceite flush. El agua que se acumula en los tanques será drenada a intervalos. No se le asignará a la compresora más herramientas que las indicadas para el régimen de trabajo i que a su vez estará cerca del centro del trabajo.

Los martillos por su parte, estarán bien lubricados i exentos de humedad. Antes de conectarlos a las mangueras se puede colocar un poco de aceite en la entrada de aire para que al empezar a funcionar el aire lleve el aceite i lubrique las piezas móviles. Las mangueras estarán sin polvo i bien revisadas para que no se produzcan pérdidas por las uniones. Los barrenos se mantendrán bien aguzados i las válvulas chequeadas debidamente. Se procurará perforar en la dirección vertical para aprovechar el peso del martillo. Escario dice que se necesitan 0.30 mts. lineales de taladro para extraer 1 m<sup>3</sup> de roca blanda.

### Construcción de Rellenos.-

La construcción de rellenos debe realizarse con sumo cuidado si es que no se quiere sufrir asentamientos ni deslizamientos que lo destruyan. Se deberá hacer estudios sobre el terreno que va a hacer cimiento i sobre el cual gravitarán los materiales. Si el terreno es inestable i puede sufrir fallos a causa de las presiones, a las cuales va a estar sometido, se deberán preveer éstas.

Se establecerán drenes según las necesidades para eliminar las aguas subterráneas i superficiales que puedan alterar los contenidos de humedad del material de relleno, ocasionando deslizamientos en los planos de sedimentación. Se mejorarán los materiales "in situ" por los diversos procedimientos conocidos, o en casos extremos se reemplazarán por otros mejores, empleando equipos mecánicos i explosivos para facilitar su colocación.

Cuando los taludes de los terrenos, sean parados se procederá a quebrarlos por medio de graderías para que el material de relleno logre asirse a éste i tenga puntos de apoyo. Además cuando el ángulo de inclinación del terreno sea mayor que el de reposo del relleno, se construirán muros de contención a alturas convenientes.

### Materiales de relleno.-

Lo primero que se debe analizar en la construcción de un relleno es la clase de material a emplearse. Aquí se entra en los terrenos de la Mecánica de Suelos que nos da las propiedades físicas de los materiales.

Existe la clasificación dada por el Bureau of Public Roads de los Estados Unidos, que divide a los suelos en 8 categorías a saber: A-1; A-2; A-3; A-4; A-5; A-6; A-7 i A-8.

El resultado de diversas pruebas indicando sus propiedades físicas, sirve para identificarlos en los diversos grupos. Cuando un suelo cae dentro de dos categorías a la vez, el ingeniero deberá guiarse más por todo de las características i constantes físicas que por la clasificación.

La clasificación de un suelo en cualquiera de esos grupos permite al Ing<sup>o</sup> darse cuenta cabal del suelo con el que trata; se verán las características como plasticidad, permeabilidad, penetrabilidad, resistencia a las heladas, etc.. Pero para el diseño i construcción de los rellenos, el ingeniero deberá regirse siempre por las pruebas de laboratorio.

Para lograr la máxima densidad en los rellenos, estos se rodillan en capas no mayores de 23 cms., junto con el agua que desempeña un papel importantísimo en la compactación. Como las partículas de suelos por su forma ofrecen fricción para acomodarse las unas con las otras, se requiere agregar agua como lubricante venciendo esta resistencia i disminuyendo así el número de vacíos, haciendo la masa más compacta. Llega un momento en que se logra un máximo i de seguir aumentando el agua, baja la densidad. En este estado máximo, se logra la máxima densidad i el contenido de humedad se denomina óptimo contenido de humedad. Al seguir aumentando ésta, se convierte en agua libre, rebasando su función lubricante, pasando el suelo a un estado de saturación que lo convierte en inestable bajando su capacidad soportante.

Las densidades logradas, pueden ser tan altas como mayor sea el equipo compactador empleado. Todo esto, claro está tiene sus limitaciones de índole económico i práctico. Además que en realidad solamente se necesita de ciertas densidades que se pueden lograr sin emplear equipos demasiado voluminosos i costosos.

Las pruebas que más se realizan en laboratorio en la construcción de rellenos son:

- 1).-Determinación del óptimo contenido de humedad i la máxima densidad por el método de Proctor.
- 2).-Resistencia a la penetración de los suelos.

#### Construcción de rellenos de materiales sueltos.-

Como hemos dicho, los rellenos se harán en capas no mayores de 23 cms. de espesor. El equipo ideal para extender es la trailla. En nuestro caso no la usamos pues no vale la pena su adquisición para esta única labor ya que en el movimiento de volúmenes lo hicimos con tractores. Así pues reemplazamos la trailla con el lampón del tractor que trabaja muy bien con topografías accidentadas. Además que en nuestro caso, nuestras alturas de relleno son bastante pequeñas encontrándose sólo al final un relleno de 4.50 mts. de altura.

Una vez extendido el material, se le humedece por medio de un carro tanque, hasta obtener el óptimo contenido de humedad dado por el laboratorio. Para compactar los materiales sueltos se empleará de preferencia el rodillo pata de cabra complementándose con el neumático. Para uniformizar el contenido de humedad se puede usar la combinación de dos motoniveladoras.

Una vez compactada la primera capa, con las pasadas sucesivas del rodillo, se procederá a la segunda capa i así sucesivamente hasta llegar a la altura de la subrasante.

No existe relación lógica entre el peso del rodillo i la prueba de Laboratorio para la exacta compactación. Pero se observa que después de 10 a 12 pasadas del rodillo, la densidad no aumenta.

### Construcción de Rellenos en Roca.-

Al volar la roca en la ejecución de cortes cuyo material se empleará para la compensación de volúmenes de relleno, hay que tener especial cuidado en que los trozos sean lo más pequeño posibles. Se evitará así que se tengan que partir el material para un buen acomodo i reducción de vacíos.

Como la mayor parte de la roca es blanda, esto se podría conseguir empleando explosivos que la fragmenten en trozos que den una masa densa i compacta. Para el acomodo de las capas, se usará el tractor D-8, i estas deberán ser lo más delgadas posible. Para el rodillado se empleará los lisos en las últimas capas. La pata de cabra es inefectivo en esta clase de material. Se considera que basta el peso del tractor transmitido por las orugas para una compactación satisfactoria.

### SUB-BASE.-

Una vez finalizada la construcción del terraplén, este estará listo para recibir el afirmado. Pero en muchos casos, por la calidad del material de que está hecho el terraplén, se hace necesario cortar la ascensión capilar del agua que pueda existir en la zona; es para esto que se coloca una capa de material que corta dicho efecto.

En muchos casos, basta con poner una capa de arena de 30 cmts. de espesor.

En el presente proyecto, no se ha considerado la subbase por suponer un buen material de relleno a lo largo de todo el primer kilómetro.

Maquinaria empleada en la compactación de rellenos.-

Rodillo pata de cabra.-Llevan una barra de tiro para la tracción por medio de tractores. Es un tambor pesado al cual van adheridas unas patas que compactan. El tambor va sujeto a un marco i puede ser llenado de arena o cualquier líquido denso que aumente considerablemente su peso. Se puede usar sólo o combinado. Se les emplea para compactar terraplenes de cualquier material a excepción de arenas gravas o rocas. Compactarán capas de 23 cms. de alto como máximo. En nuestro proyecto usaremos uno.

Rodillo Neumático.-Es de tiro i consta de una caja sobre la cual se pueden agregar cargas. Debajo de la caja van dos ejes de ruedas, con neumáticos sin huella en un número desigual por ejemplo 8 delante i 7 atrás, de tal forma que sus huellas no se superpongan. Los ejes producen sobre la ruedas un movimiento oscilante, actuando éstas en forma de amasadoras de la superficie.

Son de aplicación general i se les usa para compactar capas delgadas de material suelto. Para la parte superior del terraplén una vez pasada el pata de cabra. Para el afirmado de roca chancada i materiales granulados. En el presente proyecto se va a utilizar un rodillo neumático de 13 ruedas.

Tractor.-Para tirar los dos anteriores rodillos hay necesidad de un tractor pequeño para este exclusivo trabajo ya que usar un D-8 resulta antieconómico. Se ha elegido un tractor International de 52 HP.

Rodillo de tres ruedas.-Tienen propulsión propia. Las dos ruedas traseras caminan a ambos lados de la huella dejada por el tambor delantero que sirve de dirección. Se le usa para rodillar la última capa de los terraplenes que se han

compactado con pata de cabra. Sirve para la construcción de la subrasante i para rellenos de piedras chancada con poco aglutinante. También lo usaremos para rodillar las superficies asfálticas. En el presente proyecto, se ha adoptado una marca Austin de 10 toneladas.

#### Generalidades en los rodillos.-

Para obtener el máximo rendimiento de los rodillos, se exponen las siguientes indicaciones:

- 1).- El número de pasadas i el espesor de la capa será determinado por pruebas, no sobrepasándose de 23 cms. para los rodillos pata de cabra; 15 cms. para los lisos i 10 cms. en las capas asfálticas.
- 2).- En los rodillos pata de cabra, la velocidad de operación no será mayor de 5.6 Km/Hora i se emplearán de 10 a 12 pasadas para compactar materiales sueltos con un 95% de compactación del laboratorio. Para rodillos de tres ruedas de 10 toneladas con capas de 10 cms. de espesor i 95% de compactación, se requieren 3 a 6 pasadas.
- 3).- Para pavimentos asfálticos se pasará hasta que no deje huella a una velocidad de 3.2 a 4.8 km./hora.
- 4).- Los rodillos neumáticos de 2 a 4 pasadas, compactan hasta el 95% en materiales sueltos en capas de 10 cms. i mezclas asfálticas en frío de 3 a 5 pasadas con una velocidad de operación de 16 a 24 Km/hora.

#### Rendimiento de los rodillos.-

La cantidad de material i la superficie compactada dependen de la clase de material, del espesor de la capa, de la velocidad de trabajo i del tipo de rodillo empleado.

Las fórmulas a usarse para el rendimiento son:

$$m^3/\text{Hora} = \frac{E \cdot 60 \cdot S \cdot W \cdot D}{N} \quad m^2/\text{hora} = \frac{E \cdot 60 \cdot S \cdot W}{N}$$

donde: E es el factor de eficiencia.  
S es la velocidad del recorrido en metros/minuto.  
W es el ancho efectivo del rodillo.  
N es el número de pasadas i D es el espesor de la capa.

## DRENAJE.-

El agua es el peor enemigo de la buena conservación de las carreteras; sea que esté en reposo o en movimiento. Su eliminación es pues fundamental problema que debe resolver todo ingeniero al proyectar un camino.

En el drenaje de toda carretera se presentan tres fases distintas:

- 1).-Eliminación de las aguas de lluvia de la sección transversal.
- 2).-Control de las aguas subterráneas que pueden dañar los terraplenes.
- 3).-Encausamiento de las quebradas i canales que son cruzadas por los caminos.

Estos elementos producen el ablandamiento i cambio de volumen de los terraplenes, erosionando los taludes i destruyendo el pavimento. Además, que los cursos de agua cortados por la carretera, vienen ya acumulando ciertas funciones naturales o artificiales de regadío. Es por esto que el Ingeniero deberá procurar pasarlos sin alterar su curso, ni que sus obras de drenaje, interfieran ni dañen los terrenos vecinos.

Como se verá, lo que interesa en el fondo es eliminar el agua, que ya hemos dicho es el peor enemigo de la carretera. Para hacer un buen drenaje, se deberá primeramente ejecutar levantamientos apropiados para localizar todo curso de agua por cruzar, i si es posible, llevar la carretera dentro de lo económico, por las zonas en donde el drenaje sea lo más simple.

Las secciones transversales se levantarán hasta donde sea necesario. Se calcularán las áreas a drenar a partir de las líneas divisorias de las aguas, observando la constitución geológica de los estratos, haciendo sondeos para localizar las aguas subterráneas; evitando que



las napas freáticas, llegan a las zonas, que interesan a la carretera. Se tratará de evitar las napas de poca profundidad, los terrenos llanos, pantanosos i fangosos. Terrenos permeables, de desmonte, con agua i los de gran capilaridad Controlando la cantidad de arcilla que en exceso es perjudicial.

#### Drenaje Superficial.

Se trata del control i disposición de las aguas que se presenten sobre el camino i zonas adyacentes. El agua que se emposaría sobre el pavimento es indeseable por ablandar el afirmado dificultando el tránsito, además de destruir las bermas.

Para esto se provee del bombeo, para la eliminación del agua libre del firme. Para la eliminación longitudinal, se tiene la pendiente mínima de 0.5%. Para que el drenaje sea eficaz, la velocidad del agua no debe ser mayor de 1.5 m/seg. ni menor de 0.5 mts./seg., pues sedimentaría. El talud transversal de las bermas será 5% para facilitar el paso del agua de estas a la cuneta, además de la del pavimento.

Las cunetas tienen la función de coleccionar el agua proveniente de la superficie misma del camino, de los taludes, i zonas circundantes, que por su ubicación tiendan a llevar el agua sobre la ruta. Las cunetas se construyen longitudinalmente al camino i se diseñan con las dimensiones apropiadas para eliminar el agua en la forma más eficiente.

Las cunetas se construirán exclusivamente en las zonas de corte, ya que los taludes de relleno eliminan las aguas por si solas. En cuanto a la inclinación de los taludes, estos varían según el ángulo de reposo del material.

En las zonas lluviosas i por las condiciones del material, las cunetas especificadas por la Normas son triangulares i ofrecen la ventaja sobre las trapezoidales, que pueden ser construidas i limpiadas por las motoniveladoras. La desventaja está en que tienen menos capacidad de gasto. Cuando la velocidad es baja, se construyen del mismo material del corte, pero cuando la pendiente pasa del 2%, la velocidad se hace excesiva, evitándose la erosión por medio de revestimiento con piedras o concreto enlucido.

Cuando la pendiente del camino es demasiado fuerte, en las cunetas se hacen gradines para cortar la energía del agua. Estos se fabrican también de piedra o concreto. En las zonas en donde la topografía es llana i la pendiente del camino, que es la misma que debe llevar la cuneta, es demasiado baja, la sedimentación es inminente, produciéndose la obstrucción de la cuneta. Se puede aumentar la velocidad revistiendo la cuneta con cemento enlucido. En vez de gradines para cortar la velocidad, se pueden colocar diques pequeños que represen el agua produciéndose caídas. Estos diques pueden ser de concreto, madera o metal.

La cantidad de agua que cae en una zona es regular, pero cada cierto tiempo se producen precipitaciones máximas de poca duración. Es para este tipo de agua, que se recurre a las cunetas de coronación, cuando el sistema de drenaje lateral, queda colmado. Estas cunetas de coronación que van sobre los taludes de corte, no son más que zanjas abiertas, sin recubrimiento, con colectores espaciados de tramo en tramo para pasar las aguas por alcantarillas.

Las cunetas tendrán cada cierta distancia alcantarillas espaciadas, para eliminar las aguas que se acumulan i colmen su capacidad. Se pueden emplear las mismas alcantarillas, tanto para las cunetas del camino como para las de coronación, diseñándolas para el gasto total. Se tendrá especial cuidado para dirigir el agua que salga de las al-

cantarillas i que no dañen las propiedades adyacentes.

Se pondrán cunetas en las bases o pisos de los rellenos para drenar el agua que pueda emposarse, dotándolas de drenaje seguro. En el caso de cruce de quebradas de poca importancia, se efectuará el relleno colocando en el fondo un tubo o varios según el gasto previsto. Si este es muy grande, se encausará su curso i se colocará el tipo de alcantarilla requerida. A la entrada de éstas, se diseñará i colocará una caja de colección para reunir el líquido antes de pasarla.

#### Drenaje Superficial del Primer Kilómetro.-

Bombeo.-La superficie de rodadura de mi primer kilómetro, según la Norma, se quebrará en el eje con inclinaciones a ambos lados de 2%.

Bermas.- Estas tendrán una pendiente transversal de 5% hacia las cunetas.

Cunetas.-Serán las especificadas por las Normas para la sierra. Estarán revestidas de concreto por las fuertes pendientes que tiene, mayores de 3%.

Cuneta de coronación.-No hubo necesidad por lo pequeña del area a drenar.

Cuneta de base.-Tampoco hubo necesidad.

Alcantarillas.-Para determinar el número i ubicación de las alcantarillas, empezaremos calculando la capacidad de la cuneta en las más desfavorables condiciones, es decir la más baja pendiente que se presenta: 3.1% i con la menor sección de la cuneta: en roca. Así podremos determinar entre que puntos se colma la cuneta i debemos poner alcantarillas.

#### Cálculo de la capacidad de la cuneta.-

Datos:  $S = 0.031$

$n = 0.018$  (revestido)

$A = 0.53 \times 0.3 \times 0.5 = 0.0795 \text{ m}^2$

$P = 0.585 + 0.30 = 0.885 \text{ m.}$



Con estos valores podemos hallar el radio medio hidráulico:

$$R = \frac{A}{P} = \frac{0.0795}{0.885} = 0.09$$

Calculamos la velocidad aplicando la fórmula de Manning:

$$V = \frac{0.09^{2/3}}{0.018} \times 0.031^{1/2} = 1.92 \text{ mts/seg.}$$

Luego el caudal que puede llevar la cuneta de mi camino en las condiciones más desfavorables:

$$Q = 1.92 \times 0.0795 = 0.153 \text{ m}^3/\text{seg.}$$

$$Q = \underline{153 \text{ litros/seg.}}$$

Ahora bien el area total a drenar por tener influencia en el primer kilómetro de mi camino es:  $A = 55880 \text{ m}^2$ .

Tomando en cuenta la precipitación diaria de 40 mm., podemos calcular el volumen de agua que se debe drenar:

$$Q = 55880 \times 0.04 \times \frac{1}{86400} = 25.9 \text{ lts./seg.}$$

Vemos pues que si la cuneta fuera continua, no llegaría a colmarse con el agua caída en el area a drenarse.

Luego entonces, ubicaremos las alcantarillas teniendo en cuenta únicamente los cambios en las secciones transversales: de corte a relleno, i claro está en las quebradas cuya importancia así lo requieran.

En esta forma hemos determinado que en el primer kilómetro hay necesidad de dos alcantarillas situadas en las estacas 0 i 36.

### Sección de las Alcantarillas.-

Aplicaremos para determinar tal, la fórmula de Talbot.

Para la primera alcantarilla en la estaca 0 :

$$A = C \sqrt[4]{M^3}$$

A es el area en pies<sup>2</sup>

$$A = 1 \sqrt[4]{4.25^3}$$

C vale 1 para terrenos montañosos.

$$A = 2.96 \text{ pies}^2$$

M es el area en acres.

Es decir que esta primera alcantarilla tendrá 24" de diámetro.

Para la segunda alcantarilla: Estaca 36

$$A = 1 \sqrt[4]{7.43}$$

$$A = 4.49 \text{ pies}^2$$

Esto indica una alcantarilla de 30" de diámetro.

En los 3.711 kilómetros restantes, se ha colocado las alcantarillas en lugares que he creído conveniente: así hemos colocado en las estacas: 28 (Km.1); 56 (Km.1); 66 (Km.1) 40 (Km.2); i 20 (Km. 4).

#### Drenaje subterráneo.-

Para el drenaje subterráneo, se deben tomar en cuenta dos aspectos, el agua libre o de gravedad i el agua capilar. La primera de estas si puede ser eliminada por medio de drenaje; la otra en cambio no. El agua capilar se encuentra por la presencia del agua libre i por la tracción capilar, al pasar de una capa húmeda a otra de menor. Esta agua capilar puede limitarse a cantidades razonables, interceptando el agua libre antes de que llegue a la zona en cuestión, o bajando la napa freática, para lo cual es necesario conocer su posición.

La altura a la cual subirá el agua capilar en suelos de grano grueso es menos que en la de granos finos por eso es que se les usa para proteger los afirmados i en los drenes.

Un dren no es sino una zanja profunda que llega a cortar la napa de agua comprometida. En el fondo se colocará un tubo de material: concreto o barro con perforaciones. La zanja irá rellena de material de grano grueso bien gradado. Puede ser arena o grava cuidando de que la arcilla i limo no colmaten los vacíos

La napa así cortada precipita el agua hasta el tubo, que lleva una cierta pendiente que le permite evacuar

el agua a una zona en donde no cause daño.

La parte superior del dren, debe ser sellada para que no entren materiales o agua superficial.

Los drenes anteriormente descritos pueden usarse en los siguientes casos:

Drenes paralelos al eje de la vía, para bajar la napa de agua. Los diámetros de tubos comunmente usados varían de 4 a 12".

Para los drenes de los terraplenes existen además de los drenes longitudinales, unos drenes que van adheridos a los anteriores. Su función es la de eliminar el agua existente debajo de la superficie de rodadura. Tienen un inclinación aproximada de  $60^\circ$  respecto del eje de la vía.

Para que la base de un terraplén sujeta a aguas subterraneeas, no sufra la acción de estas, se acostumbra también colocar en el fondo de las cimentaciones, unas zanjas longitudinales, rellenas de material granular con un tubo. Esto sirve para interceptar la napa de agua que puede correr a travez del terreno permeable.

Si el material permeable es muy profundo, se construirán pozos colectores que se llenan de arena con sus respectivos tubos de drenaje. A veces se usa un solo dren longitudinal colocado en el centro de la sección transversal, cumpliendo bien su cometido. Pero tienen el grave inconveniente de tener que destruir todo el pavimento i afirmado para poder repararlos cuando se acolmaten.

En las zonas en donde se pasa de corte a relleno, existen posibles filtraciones que malogran el firme i como consecuencia producen fallas.

También por ciertos reservorios naturales que se encuentran en el seno de la roca, se ve la necesidad de colocar drenes adecuados.

Para que un sistema de drenes sea efectivo, se requiere que el agua llegue a éstos, con facilidad; por lo

tanto su eficiencia depende grandemente de la permeabilidad del suelo. En el caso de terrenos porosos el agua fluirá a los terrenos por los drenes, manteniendo el material seco. En cambio en los no porosos el suelo mantendrá el agua por capilaridad. Pero aún en esta clase de suelos, la altura a la cual ascenderá el agua, depende de la posición de la napa de agua. El agua subirá más arriba en los suelos húmedos; como los drenes mantienen secos los materiales, la acción capilar decrece i la altura de ascenso resulta mayormente baja.

Se debe tener especial cuidado con los drenes que se coloquen debajo del pavimento en forma transversal; ya que al drenar sólo el agua que los rodea, dejan zanjas con mayor contenido de humedad que otras, causando así el resquebrajamiento i fractura del pavimento en el peor de los casos i ondulaciones incómodas en otras.

Para el mejor drenaje de la sub-base, afirmado i pavimento, se colocarán en las bermas material granuloso incustrado transversalmente como diques granulares que corten el avance del agua. Se cuidará el drenaje especialmente en las partes bajas del eje i en las curvas, por la tendencia a acumularse en esos lugares, del agua.

Altura de Rasante. - Es conveniente que la sub-rasante esté a una altura prudencial, sobre el nivel de la mesa de agua, para que la acción capilar no se presente en su superficie. Sabido que una superficie aereada permitirá la evaporación del agua de su seno. Pero en el caso de encontrarse cubierta por una capa asfáltica o de cemento, en general impermeable, se empezará i aflojará todo el afirmado, cimentación de la superficie de rodadura.

Es por todo ésto que la práctica recomienda como altura mínima de la rasante sobre la mesa de agua 1.20 m. Esto se debe observar especialmente cuando se cruzan terrenos de cultivo que demandan intenso regadío.

Drenaje Subterráneo del kilómetro que se proyecta.-

Por no conocerse la estructura del terreno i por carecer de perfiles geológicos que indiquen la posición de la mesa de agua, no se podrá dar solución definida a las obras de drenaje subterráneo. Por lo tanto nos hemos limitado a resumir las principales obras de drenaje subterráneo i sus usos.

Se incluye, como parte de la tesis, un plano mostrando los gráficos de los diversos sistemas de drenaje.

Control de la Erosión.-

En las zonas lluviosas i por las condiciones del material, los taludes de corte i relleno, pueden ser erosionados. Una de las formas más usuales de combatir esto, es plantando gramíneas que afirmen el material con sus raíces.

Cuando se trata de la protección de las cunetas esta se hace con revestimientos apropiados de piedra o cemento. Se regulan las pendientes, rompiendo la energía de las aguas. La acción de las lluvias que van aflojando los materiales de los taludes que a la vez producen fallas i derrumbes. Todo esto contribuido por acción del intemperismo se puede evitar en gran parte por el efectivo drenaje dado por las cunetas de coronación i la protección que da la vegetación.

•-•-•-•-•-•-•-•



### III). -DISEÑO I CONSTRUCCION DEL PAVIMENTO.-

#### Pavimento.-

El pavimento que ha de usarse, será del tipo superior por tratarse de una carretera de primera clase con tráfico pesado. Los pavimentos empleados, por la mayor rapidez, economía de construcción i conservación son las mezclas, llamándose tal al conjunto de piedras, arena i aglutinante pudiendo ser éste de cemento u asfalto.

Su diseño estará gobernado por la intensidad i magnitud de la carga de los vehículos que la transitan i clase de material sobre el cual se apoya. Según las especificaciones, los materiales atravezados por el primer kilómetro del trazo, son: # 300 primeros metros de material suelto; los siguientes 300 mts., de roca blanda i de los 400 mts. finales, el 30% es roca blanda i el 70% restante roca dura. El primer tramo ha sido asignado al material A-3 i los dos restantes al A-1 de la clasificación del Bureau of Public Roads de los Estados Unidos.

Para los suelos A-1 se dá la gradación siguiente: que la proporción que pase la malla # 10 no sea mayor del 50% i compuesta de arcilla en un 5 a 10%; limo de 10 a 30%, total de arena de 70 a 85% i arena gruesa de 45 a 60%. Las constantes físicas estarán comprendidas entre los siguientes límites:

I.P. de 4 a 9

Límite líquido de 14 a 35%

Límite de contracción de 14 a 20%

Equiv. Cent. de Humedad menor del 15%.

Es excelente, según datos prácticos, como base para pavimentos bituminosos, cuando el índice plástico no pasa de 6 i el límite líquido de 25%.

Para los suelos del tipo A-3, se especifica lo si-

guiente; que la parte que pase la malla # 200, sea menor que el 10% del total. Los suelos de esta categoría no son plásticos. Los índices de contracción i contenido de humedad en el terreno no son factores preponderantes i el equivalente centrífugo de humedad no deberá sobrepasar del 12%.

Los pavimentos pueden ser rígidos i flexibles. Dentro de los primeros se tienen los de concreto i los de asfalto en los segundos.

Los pavimentos de concreto, tienen a favor la gran durabilidad i alta resistencia cuando están bien diseñados, siendo casi nulo su costo de conservación por muchos años. En cambio representa un fuerte desembolso inicial, que no se justifica en nuestro país donde hay tanto por hacer pero donde escasean los centavos.

Los pavimentos de asfalto son de tipo flexible i representan un un desembolso inicial menor, proporcionando una superficie resistente a casi cualquier tipo de carga, con mínimo agrietamiento, homogeneidad, impermeabilidad i superficie sin juntas, por lo tanto continuas, permitiendo un deslizamiento suave i silencioso. Ofrece además una buena adherencia a las llantas.

Por lo dicho anteriormente he preferido un pavimento asfáltico. Dentro de las mezclas asfálticas existen varios tipos, eligiéndose la mezcla en frío del tipo denominado abierta. Se ha preferido esta clase de pavimento superior para poder resistir el tráfico pesado i durar tanto como las mezclas de asfalto en caliente que representan un desembolso más fuerte en la adquisición de la planta mezcladora.

Los pavimentos asfálticos constan de dos partes: Afirmado i carpeta asfáltica.

Determinación del espesor del Pavimento.-

Existen varios métodos para determinar el espesor de un pavimento asfáltico, siendo uno de ellos el expuesto por el Ing°. F. V. Reagel. Se ha elegido este procedimiento por ser uno de los más completos en su género haciendo entrar en el cálculo, factores determinantes como son : la intensidad de tránsito diario, densidad de Proctor y el índice de grupo según el material de los terraplenes. El gráfico usado se encuentra en un trabajo del Ing°. José Ventosilla publicado en el boletín de la Dirección de Caminos y Ferrocarriles del Ministerio de Fomento y O. P., llamado "Determinación de los Espesores para Pavimentos Flexibles". En el se recomienda emplear espesores de base no menores de 4" y de superficie de rodadura asfáltica de 2".

Se entrará al gráfico en la curva de tráfico pesado por tenerse un tránsito de 500 camiones y 300 automóviles diarios; asumimos el tipo de suelo A-1, el índice de grupo es 0 y el gráfico da un valor de 5" de espesor total. Teniendo en cuenta las recomendaciones mínimas asumiremos:

Superficie asfáltica:	2" = 5 cmt. de espesor.
Afirmado	4" = <u>10</u> cmt. de espesor.
Espesor total	15 cmt.

En los sitios de corte en roca bastaría con una pequeña capa de afirmado como refine de las superficies de corte:

En el Perú normalmente se usa un pavimento de 8" incluyendo la carpeta asfáltica.

Afirmado.-

El afirmado o base viene a ser el cimiento de la superficie de rodadura. Consta de una capa de material granulado bien gradado que permita transmitir las presiones a los rellenos, sin sufrir asentamientos que destruyan la

superficie de rodadura. Luego debe ser hecho con material selecto bien estabilizado y compactado de grava, piedra partida, arena y arcilla como aglutinante con agua dosificada.

El material que hemos de emplear en el afirmado según las especificaciones, se encuentra en una cantera de roca sedimentaria ubicada a 3 kilómetros de la estaca 50 del primer kilómetro que se proyecta. Si comparamos el análisis granulométrico del material obtenible en las canteras y el de todo material recomendado para un buen afirmado, podemos notar deficiencia aunque pequeña de piedra de  $1\frac{1}{2}$  pulgadas, pues nada puede retener la malla respectiva después del sarandeo de la muestra. Esta circunstancia podemos remediarla mechando mano del material ubicado en el segundo horizonte previa clasificación.

Igualmente al comparar los análisis granulométricos notamos deficiencia de material ligante lo que es importante pues la bondad del afirmado dependerá de él. Hemos pues de agregarle ligante mediante una mezcla con el material de la cantera, en las proporciones que determinaremos luego:

Comparación de Análisis Granulométricos

Muestra de la Cantera			Especificaciones
<u>Malla</u>	<u>Ret. %</u>	<u>Pasa %</u>	<u>Pasa %</u>
2"	--	--	100
$1\frac{1}{2}$ "	--	100	70 - 100
1"	20	80	55 - 85
$\frac{3}{4}$ "	6	74	50 - 80
$\frac{1}{2}$ "	14	60	
$\frac{3}{8}$ "	5	55	40 - 70
$\frac{1}{4}$ "	6	49	
Nº 4	8	41	30 - 60
Nº 10	14	27	20 - 50
Nº 40	13	14	10 - 30
Nº 200	12	2	5 - 15
Nº 200	2	-	

Como vemos a no ser por el material ligante, que está de menos, todo el resto del material cae perfectamente dentro de los límites marcados por las especificaciones.

El material aglutinante, lo obtendremos de otro lugar posiblemente del primer horizonte. Si suponemos que este ligante tiene un análisis granulométrico de:

Malla	Retenido %	Pasa %
N° 30	--	100
N° 40	3	97
N° 50	3	94
N° 80	8	86
N° 100	5	81
N° 200	10	71
- N° 200	71	--

Si hacemos una mezcla de 90 % de material de cantera y 10 % de ligante en peso, obtendremos un material cuyo análisis granulométrico sí estaría íntegramente dentro de las especificaciones:

Malla	Retenido %	Pasa %	Especificaciones Pasa %
2"	--	--	100
1½"	--	100	70 - 100
1"	18	82	55 - 85
¾"	5	77	50 - 80
½"	13	64	
⅜"	5	59	40 - 70
¼"	5	54	
N° 4	7	47	30 - 60
N° 10	12	35	20 - 50
N° 40	12	23	10 - 30
N° 80	1	22	
N° 100	1	21	
N° 200	12	9	5 - 15
- N° 200	9	--	

### Obtención del Material del Afirmado.-

Según las especificaciones dadas, para obtener el material necesario en el afirmado, debemos eliminar primero los dos primeros horizontes que se proyectan hasta 80 cm. de profundidad.

Para esta labor nada más indicado que el tractor D-8 que ya lo habíamos utilizado en el movimiento de tierras del primer kilómetro.

Una vez despejados los dos primeros horizontes, este tractor se encargará de amontonar el material del afirmado junto a la pala mecánica que ya también habíamos usado en la compensación de volúmenes.

Esta pala tomará el material y lo colocará en los volquetes que lo trasladarán a lo largo del kilómetro. Es en el lugar que lo vacían en que haremos la mezcla con el ligante para lo que utilizaremos la cuchilla de la moto-niveladora.

### Cálculo de las horas de trabajo del tractor D-8.-

Empezaremos calculando el área de cantera que hemos de utilizar. Vamos a suponer el área de trabajo como un círculo en cuyo centro irá ubicada la pala mecánica y a cuyo lugar acumulará el tractor el material de los costados.

Para el cálculo de esta área es necesario conocer los volúmenes de material que hemos de extraer:

Para el afirmado:

El área del camino incluyendo sobreanchos la hemos calculado a lo largo del primer kilómetro en aproximadamente 6180 m<sup>2</sup>.

Como el espesor del afirmado obase es 10 cm. el volumen de afirmado necesario será:

$$V = 6180 \times 0.10 = 618 \text{ m}^3$$

En las bermas utilizaremos:

$$V = 0.15 \times 0.50 \times 2 \times 1000 = 150 \text{ m}^3$$

Además para la carpeta asfáltica y como calcularemos

más tarde necesitamos un volumen de  $500 \text{ m}^3$  de material de cantera.

Todo lo que hace un total de 1268  $\text{m}^3$  de material de cantera.

Si consideramos que de la altura total del horizonte útil, por desperdicios en el manipuleo vamos a perder 10 cm., entonces el área de trabajo a cubrir será de, redondeando,  $1300 \text{ m}^2$  o sea un círculo de 41 metros de diámetro

Según esta área, los volúmenes a mover con el tractor serán de:

Primer horizonte:	$1300 \times 0.5 =$	$650 \text{ m}^3$
Segundo horizonte:	$1300 \times 0.3 =$	$390 \text{ m}^3$
Tercer horizonte:	$1300 \times 1.10 =$	$1430 \text{ m}^3$
Total a mover		$2470 \text{ m}^3$

Además debemos de tener en cuenta que necesitamos arcilla como ligante. Si consideramos el volumen de ésta como el 5 % del volumen total del firmado tendremos un volumen de arcilla igual a  $40 \text{ m}^3$ .

Los rendimientos y tiempos empleados en los trabajos de la cantera son:

Primer horizonte:

Volumen a mover  $650 \text{ m}^3$ .

Distancia de transporte 20 metros.

Operación de tiempo fijo igual a 0.33 min.

Operación de tiempo variable:

$$T.V.c = \frac{20 \times 60}{2.73 \times 1000} = 0.44 \text{ min.}$$

$$T.V.d = \frac{20 \times 60}{5.96 \times 100} = 0.20 \text{ min.}$$

$$c_m = 0.33 + 0.44 + 0.20 = 0.97$$

$$R = \frac{2.9 \times 1.25 \times 60 \times 0.6}{0.97} = 134 \text{ m}^3/\text{hora}$$

Tiempo empleado en el primer horizonte 4.83 horas.

Segundo horizonte.

Segundo horizonte .-

Volumen a mover 390 m<sup>3</sup>

Distancia de transpote 20 metros.

c<sub>m</sub> igual 0.97 min.

Rendimiento: 134 m<sup>3</sup>/hora

Tiempo empleado: 2.9 horas.

Horizonte útil.-

Volumen a mover 1430 m<sup>3</sup>

Distancia de transporte 15 metros.

Tiempo del ciclo 0.81 min.

Rendimiento 161 m<sup>3</sup>/hora.

Tiempo empleado 8.9 horas.

Vamos a suponer, pues carecemos de datos, que para mover la arcilla necesitamos una hora de trabajo de tractor.

El tiempo total empleado por el tractor D-8 en la explotación de la canteras:

Primer horizonte	4.83 horas
Segundo horizonte	2.9 "
Tercer horizonte	8.9 "
Arcilla	<u>1.0 "</u>
Total	17.63 horas

Debemos además considerar que en el viaje del tractor desde el punto en que terminó su labor en la construcción de la carretera hasta la cantera, distante 3 Km., ha empleado 1 hora.

Tiempo total de trabajo del tractor D-8 : 18.73 horas.

Trabajo de la Pala.-

Hemos dicho que esta pala se ocupará de cargar los camiones volquetes empleados en el transporte del material de afirmado de la cantera al lugar de uso.

El material de la cantera será amontonado por el tractor D-8 junto a la pala a son de lograr su máxima eficiencia.



El rendimiento de la pala ya lo habíamos calculado al considerar su primer trabajo en la compensación de volúmenes: 74 m<sup>3</sup>/hora.

El número de volquetes igualmente lo determinamos al tratar de su anterior trabajo y vimos que necesitábamos 5 volquetes. Pero ahora como la distancia de transporte se ha alargado, este número de volquetes es insuficiente para una buena labor de la pala. En todo caso vamos a trabajar con estos mismos 5 volquetes.

Los volquetes tienen una velocidad, cuando cargados, de 16 Km/hora y de 32Km/hora cuando están descargados.

Si la distancia media de transporte es de 3000 mts. el tiempo que dura el ciclo de un carro es:

$$T = \frac{3000}{\frac{32 \times 1000}{60}} + \frac{3000}{\frac{16 \times 1000}{60}} + 0.5 + 2 = 19.3 \text{ min.}$$

Su rendimiento:

$$R = \frac{2.28 \times 1.25 \times 60 \times 0.6}{19.3} = 5.33 \text{ m}^3/\text{hora.}$$

Como tengo que movilizar 768 m<sup>3</sup>, tendré que emplear:

$$t = \frac{768}{5.33} = 144 \text{ horas.}$$

Como utilizo 5 volquetes cada uno trabajará 28.8 horas

Esto nos está indicando que la pala no trabajará a su máximo rendimiento pues para movilizar el volumen de material de afirmado necesita apenas 10.4 horas.

#### Construcción de la Base.-

Antes de colocar el material del afirmado, se procede a escarificar la superficie de los rellenos en una profundidad de unos 15 cmt. aproximadamente. Esto se logra por medio de la motoniveladora que también mesclará el material con la arcilla y el agua necesarias. Luego se compacta con el rodillo de tres ruedas hasta obtener el valor de la máxima densidad. En los rellenos de rosa solamente se procede al

humedecido de la superficie.

Así preparada la superficie, se lleva el material dosificado de que va a estar compuesta la base, en las tolvas de los volquetes. Haciéndolos avanzar en inclinando el "dumper" gradualmente, se logra esparcir el material en forma uniforme aunque algo imperfecta. Luego cuando se tiene esparcida una extensión considerable, se hace pasar la motoniveladora que va formando la primera capa con un espesor igual a la mitad del especificado en el diseño. La motoniveladora a la vez que nivela, va mezclando en forma uniforme el material. Se le agregará agua en cierta cantidad, determinada por el Laboratorio de Mecánica de Suelos para poder compactar luego al 95 % de la máxima densidad. Se logra, esto, por medio de un tanque rociador graduado.

Se hacen pasadas de los bordes al entro con el rodillo de tres ruedas y se termina la compactación con el amasado de los rodillos neumáticos de trece ruedas. Las irregularidades se pueden nivelar con la motoniveladora.

Una vez terminada la primera capa, se hará lo mismo con la segunda, agregando la arcilla. Se debe tener mucho cuidado con el acabado de esta última capa pues debe darse el bombeo definitivo i las dimensiones de bermas i cunetas especificadas. En ambas capas una vez terminada la compactación, se harán pruebas del contenido de humedad cada 200 mts. tanto en los bordes como en el centro, comprobándose el espesor final del afirmado. Se volverá a nivelar el eje comprobándose la ubicación de la rasante, efectuando el refine de las fallas posibles por medio de reglas. Así estará lista la superficie de la subrasante para recibir el primer tratamiento asfáltico.

Carpeta Asfáltica.-

Es la parte del pavimento que soporta propiamente el desgaste por la circulación del tráfico.

Sabemos que en una mezcla asfáltica, el diámetro máximo de los agregados no debe ser mayor de 1". Si observamos el análisis granulométrico del material que disponemos en la cantera para nuestra mezcla asfáltica, ubicado en el tercer horizonte, notamos que hay material de más de 1", luego mediante una clasificación debemos eliminarlo quedándonos una nueva mezcla cuyos porcentajes que pasan las distintas mallas debemos corregirlos pues hemos eliminado material mayor de una pulgada. El 80 % que pasa la malla de 1" representa el 100 % de la nueva mezcla. Con una simple regla de tres corregimos los porcentajes anteriores:

Si el 80 % es el 100 % de la nueva mezcla

6 % será X

14 % será X y así sucesivamente.

De esta manera hemos obtenido un nuevo análisis para la nueva mezcla:

Malla	Retenido %	Pasa %
1"	--	100
3/4"	7.5	92.5
1/2"	17.5	75
3/8"	6.3	68.7
1/4"	7.5	61.2
Nº 4	10	51.2
Nº 10	17.5	33.7
Nº 40	16.3	17.4
Nº 200	15	2.4
- Nº 200	2.4	--

Ahora bien, sabemos que se denomina piedra, en asfalto, todo material que pasando la malla de una pulgada es retenida por la malla Nº 4 y arena el material retenido

en las mallas restantes es decir de tamaño menor al que queda retenido en la malla N° 4.

Si consideramos en la nueva mezcla por separado la piedra y arena, obtendremos los porcentajes en que están entrando en la mezcla, es decir:

<u>Piedra</u>		
Malla	Retenido %	Pasa %
1"	--	100
3/4"	7.5	92.5
1/2"	15.5	75
3/8"	6.3	68.7
1/4"	7.5	61.2
N° 4	10	--
	48.8	

<u>Arena</u>		
Malla	Retenido %	Pasa %
N° 4	--	5.2
N° 10	17.5	33.7
N° 40	16.3	17.4
N° 200	15	2.4
- N° 200	2.4	--
	51.2	

Es aquí nuevamente en que debemos corregir los porcentajes, considerando separadamente la piedra y arena ya que por sarandeo hemos de separarlos. Como en el caso anterior emplearemos una simple regla de tres:

Así hemos obtenido para el conjunto denominado piedra los siguientes porcentajes:

Malla	Retenido %	Pasa %
1"	--	100
3/4"	15	85
1/2"	36	49
3/8"	13	36
1/4"	16	20
N° 4	20	--
	100	

I para el material llamado arena:

Malla	Retenido %	Pasa %
N° 4	--	100
N° 10	34	66
N° 40	32	34
N° 200	29	5
- N° 200	<u>5</u>	-
	100	

Nos toca ahora por tanteos obtener una mezcla de piedra-arena, tal que el análisis granulométrico del conjunto caiga dentro de las especificaciones de un buen material para la mezcla asfáltica.

Hemos hecho una mezcla de : 40% de piedra i  
60% de arena.

Así hemos obtenido una mezcla cuyo análisis granulométrico arroja:

Malla	<u>Piedra</u>	<u>Arena</u>	<u>Mezcla</u>		<u>Especificac.</u>	
	Ret.%	Ret.%	Ret.%	Pasa%	Pasa%	
1"	--	--	--	100	100	
3/4"	15	--	6	94		
1/2"	36	--	14	80	75	90
3/8"	13	--	5	75		
1/4"	16	--	7	68		
N° 4	20	--	8	60	50 - 70	
N° 10	--	34	20	40	35 - 50	
N° 40	--	32	19	21	20 - 30	
N° 200	--	29	18	3	0 - 3	
-N° 200	--	<u>5</u>	<u>3</u>	--		
	100	100	100			

Notamos pues que la mezcla cae muy bien dentro de los límites fijados por las especificaciones que usan en el Laboratorio Central del Ministerio de Fomento.

Cálculo de la Cantidad de Asfalto para Mezclas por el Método de las Areas Superficiales.-

Constante K: Area superficial en libras de asfalto por pie cuadrado.

Indice asfáltico: Tomado del gráfico que se da en el método de California. (El de las cinco curvas)

Peso específico standard: 2.65

En la muestra del material que vamos a usar, ya efectuada la mezcla de piedra-arena, hemos obtenido:

Malla		Porcentaje	Por Unidad	Constante	Area Equiv.
Serie Americana	Ret.				
Pasa	Ret.		A	K	A x K
1"	1/4"	32	0.32	3	0.96
1/4"	Nº 10	28	0.28	5	1.40
Nº 10	Nº 40	19	0.19	13	1.18
Nº 40	Nº 200	18	0.18	80	14.40
Nº 200		<u>3</u>	<u>0.03</u>	250	<u>7.50</u>
		100	1.00		25.44

Cálculo de la cantidad de asfalto:

Peso específico de la mezcla de agregados: 2.65 (asumido)

Area superficial equivalente: 25.44

Indice asfáltico: que lo hemos sacado de la curva Nº 5, entrando con el area superficial: 0.00185

Tipo de asfalto adoptado: "RC-2"; empleando en la mezcla.

Con 87% de material asfáltico

i 13% de disolvente.

Luego el porcentaje en que entra el cemento asfáltico será:

Cemento asfáltico: Area Equiv. x Ind. asf. x rel. de pesos esp x 100

$$: 25.44 \times 0.00185 \times 1 \times 100 : \underline{4.71}$$

Luego el asfalto sólo, entrará en una proporción :

$$\text{Asfalto} = \frac{\text{Cemento Asfáltico}}{\text{Mat. asf. p. unidad}}$$

$$= \frac{4.71}{0.87} = 5.41$$

Así determinamos que durante la preparación de la mezcla asfáltica, el asfalto debemos dosarlo en un porcentaje comprendido entre 5.5 i 6 :

Luego los porcentajes de asfalto piedra i arena que corresponden a un metro cúbico de mezcla son:

Asfalto	5.4%
Piedra 40% (100 - 5.4)	37.84%
Arena 60% (100 - 5.4)	<u>56.76%</u>
	100.00

Al calcular el espesor del pavimento, obtuvimos para la carpeta asfáltica un espesor de 5 cmts., compactado, que es lo más usado en el país. Esto significa que por metro cuadrado de superficie es necesario:

$$\text{Vol. de mezcla} = 1 \times 1 \times 0.05 = 0.05 \text{ m}^3$$

Ahora bien, considerando que el peso exigido por metro cúbico de mezcla compactada es de 2200 Kgr., luego el peso por metro cuadrado de superficie asfáltica será de

$$P = 0.05 \times 2200 = 110 \text{ Kgr./m}^2$$

De aquí calculamos los volúmenes de piedra, arena i asfalto necesarios para hacer los 110 Kgr de mezcla asfáltica:

$$\text{Vol. de piedra} = \frac{110 \times 37.84}{1540} = 27 \text{ litros.}$$

$$\text{Vol. de arena} = \frac{110 \times 56.76}{1730} = 36 \text{ litros.}$$

$$\text{Vol. de asfalto} = \frac{110 \times 5.4}{1000} = 5.94 \text{ litros.}$$

Si tenemos en cuenta que el area por asfaltar, considerando los sobreanchos, es de 6180 m<sup>2</sup>, los volúmenes de material necesarios para el kilómetro serán:

$$\text{Vol. de piedra} = 6180 \times 27 = 166,800 \text{ litros.}$$

$$\text{Vol. de arena} = 6180 \times 36 = 222,500 \text{ litros.}$$

$$\text{Vol. de asfalto} = 6180 \times 5.94 = 36,750 \text{ litros.}$$

Si expresamos la piedra i arena en metros cúbicos:

Piedra = 167 m<sup>3</sup>

Arena = 223 m<sup>3</sup>

390 m<sup>3</sup>

Podemos asumir que será necesario mover 500 m<sup>3</sup> del material de la cantera para obtener estos volúmenes de piedra i arena.

Luego el área de cantera a trabajar, i que ya utilizamos anteriormente, será de 500 metros cuadrados.

### Construcción de la Carpeta Asfáltica.-

Imprimación.-Es importante hacer notar que esta operación debe hacerse en las épocas en que no llueva. El firme debe estar seco i comprobado el estado de la superficie si por uno u otro motivo se ha permitido el paso de vehículos.

Por medio de una barredora mecánica, se limpia bien la superficie de todo polvo. Esta operación se hace por tramos de un kilómetro aproximadamente. El objeto de la imprimación es que el firme se impermeabilice i que entre la subrasante i la capa asfáltica, exista una unión más firme. El regado se hace por medio de un carro tanque especial o imprimador, que arroja el asfalto a presión por unas barras rociadoras.

El asfalto será del tipo MC-0 a una temperatura aproximada de 50°C. La proporción necesaria se gradua desde el mismo carro imprimador, conociendo la velocidad de éste i la cantidad de asfalto rociado en la unidad de tiempo. Esta proporción dependerá de la clase de material según su porosidad; necesitándose más en uno de menor densidad. Generalmente basta de 1.5 a 1 litros por metro cuadrado de firme.

La superficie así cubierta se dejará sin tráfico el mayor tiempo posible, para que el asfalto penetre



libremente. En el caso de que en algunas zonas el asfalto no sea absorbido en su totalidad por la superficie, se permitirá el tráfico de algunos vehículos ligeros hasta que el asfalto se elimine pegándose a la superficie de las ruedas. Queda así lista una superficie i apta para la siguiente operación.

Capa de Mezcla Asfáltica.-

Esta capa constituye en si, la superficie de rodadura, formada por una mezcla de piedra, arena i asfalto en proporciones definidas. En conjunto forman una mezcla denominada del tipo abierta, ya que su constitución está exenta de arcilla u otro polvo que constituye el "filler" de las mezclas cerradas.

	Imprimación	Mezcla i Sello.
Requisitos del asfalto:	MC-0	RC-2
Punto de inflamación	100	80
Viscosidad Furol a 77°F	75 - 150	
Viscosidad Furol a 122°F	-----	
"    "    "    "    a 140°F	--	100 - 200
Destilación (% del desdorado)		
Total a 437°F	25	40
"    "    a 500°F	40 - 70	65
"    "    a 600°F	75 - 93	87
Residuo de la destilación a 680°F.		
Volumen % por diferencia	50	67
Prueba sobre el residuo de la destilación: Penetración a 77°F		
100 gr.; 5 seg.	120-300	80 - 120
Ductilidad a 77°F	100	100
Porc. soluble en Tetracloruro de carburo	99-5	99- 5
Temp. de aplicación	10 a 50	38 a 80

La planta mezcladora de asfalto, estará ubicada cerca de la estaca 50 del primer Km., para evitar sus movimientos inútiles.

Desde la cantera, por medio de una pala que carga los volquetes, se transporta el material disgregado a la planta. Se acondicionarán silos, en la cantera, para almacenar los agregados previa clasificación por medio de cribas. También se tendrán depósitos para guardar el asfalto junto a la mezcladora.

La planta mezcladora, será de tipo amasador, con una duración aproximada de un minuto. El asfalto se suministrará a una temperatura de 110°F, elevada por medio de vapor. Al final los agregados deberán estar bien mezclados i compenetrados con el asfalto.

El transporte de la mezcla asfáltica al lugar del pavimento, se hará por medio de volquetes acondicionados para el caso, cuidando de que el material vaya protegido de la acción del clima. La tolva estará limpia de material extraño.

El extendido se hará por medio de una pavimentadora en la que se pueda graduar el ancho i espesor en la capa. En nuestro caso lo haremos en dos fajas. El volquete vacía la mezcla en la tolva de la pavimentadora, teniendo cuidado de no llenar la capacidad de ésta i derramar el material que interfiera con el proceso continuo. Se dice continuo porque la pavimentadora en ningún momento debe esperar a los volquetes cargados.

Una vez acabado el avance del día, se pasará el rodillo tandem de 10 toneladas, hasta que no aparezcan las huellas del rodillo. Las pasadas se harán del borde hacia el centro, rodillando en cada pasada la mitad de la huella anterior. La velocidad del rodillo no será mayor de 4 Km/hor. Se cuidará de que la mezcla no se pegue al rodillo.

Se chequea la superficie acabada, por medio de una regla. Si en algunos sitios la mezcla resulta defectuosa se cambiará por una fresca, apisonándose a mano o con el rodillo tandem según la magnitud de la falta. Se protegerá la superficie asfáltica de rodadura del tráfico, durante un tiempo prudencial.

Sellado. - Constituye la primera etapa de conservación del pavimento. Se efectuará entre los 3 a 6 meses de la pavimentación, una vez observado el comportamiento del pavimento sometido a la acción abrasiva del tráfico i del clima. De haber alguna falla, se compondrá.

El sellado se ejecuta por medio del camión imprimador usando asfalto RC-2 a 115°F aproximadamente un litro por metro cuadrado de camino. Luego se hecha una capa de arena gruesa i se rodilla con dos o tres pasadas del tandem.

Equipo Usado para la Construcción del Pavimento. -

- 1). - Tractor. - Para amontonar el material de la cantera junto a la pala. Se usará uno de los tractores ya empleados D-8.
- 2). - Pala Mecánica. - Para cargar los volquetes del material clasificado de la cantera a la pala mezcladora de asfalto. Se ha utilizado la misma pala Lima que se empleó en la compensación longitudinal i para mover el material del afirmado. Su rendimiento ya lo habíamos calculado en 74 m<sup>3</sup>/hora.
- 3). - Camiones volquetes. - Emplearemos los 5 ya utilizados en los otros trabajos de la pala.
- 4). - Motoniveladora. - Se justifica su adopción en la construcción i nivelación del afirmado. También se le emplea para formar las cunetas, limpiar i emparejar los taludes. La motoniveladora empleada en este proyecto, es de propulsión propia i con cuchilla graduable. Será la Motoniveladora "Caterpillar" # 12 Diesel. La cuchilla se puede desplazar en cualquier ángulo con respecto al eje de la motoniveladora. Esta facilidad le permite adaptarse a cualquier

condición del terreno e ir desplazando el material sobrante de la nivelación. Lo mismo sucede en su posición vertical al ser usada en los taludes. Se puede acondicionar en la parte delantera, unas uñas escarificadoras que sirven para preparar la superficie del terraplén antes del afirmado.

El rendimiento de la motoniveladora se calcula con la fórmula:

$$T = \frac{P \cdot D \cdot E}{S} + \frac{P \cdot D \cdot E}{S}$$

donde: T es el tiempo para efectuar el trabajo en horas.

P es el número de pasadas.

D es la distancia recorrida en cada pasada en Kmts.

E es el factor de eficiencia.

S es la velocidad de la motoniveladora en Km./Hora.

dependiendo del trabajo efectuado. Par el afirmado se requiere nivelar montones de materiales dejados por el volquete i luego nivelar con precisión. Se estiman 10 pasadas, con 5 enganches en segunda; 3 en tercera i dos en cuarta. Los viajes de retroceso se harán 5 en alta i 5 en baja. Las velocidades en las distintas marchas empleadas son:

Segunda 5.8 Kmt/hora.

Tercera 8.8 Kmt/hora.

cuarta 13.6 Km./hora.

Retroceso alta: 6.6 Km./hora.

Retroceso baja: 4.3 Km./hora.

Reemplazando se tiene:

$$T = \frac{50.6}{5.8} + \frac{30.6}{8.8} + \frac{20.6}{13.6} + \frac{50.6}{4.3} + \frac{50.6}{6.6} = 3.92 \text{ h/Km.}$$

I el rendimiento será:

$$R = \frac{1000 \times 7}{3.92} = 1780 \text{ m}^2/\text{hora.}$$

5).-Tanque Distribuidor.-Se le emplea en la imprimación i el sellado con asfalto. En el presente proyecto se ha usado el distribuidor a presión "Spray Master" CLRC de la marca "Littleford".

La barra de regado logra anchos hasta de 7.30 mts. lo que permite la facilidad de emplearlo en una sola pasada, como en nuestro caso.

Se recomienda un tanque con una capacidad de 1000 galones. La carga líquida es de 8500 libras. El camión es de marca Mack.

6).-Planta Mezcladora.-He empleado una planta de asfalto Barber-Geene modelo Utility de proceso continuo i portátil. Su capacidad es de unas 50 a 60 toneladas por hora.

Los agregados provenientes de la cantera, se encuentran almacenados en un alimentador alternativo.

Una vez efectuada la mezcla de los agregados, con el asfalto, sale ésta por una correa a los volquetes que la transporta a la obra.

7).-Esparcidora.-La usada en este proyecto es una Barber Greene modelo 879-A. Tiene las siguientes características: Se adapta a la superficie rellenando automáticamente cualquier desnivel en la subrasante; permite aumentos i disminuciones de los espesores del pavimento en forma gradual; se puede dar el bombeo en el caso en que la subrasante no lo tenga; en la boca de salida del material, lleva una cufia compactadora que actúa sobre el material saliente a una velocidad de 1200 golpes por minuto, que permiten una compactación, previa regulación del ancho de la faja pavimentada.

Se le empleará en dos pasadas, tomando fajas de 3 mts. cada una. La capacidad de la tolva llega hasta 5 toneladas de mezcla.

Velocidades de operación:

Velocidades de operación:

Primera baja:	4.0 cm./seg.	En alta:	8.6 cm./seg
Segunda " "	5.6 " "	" " "	12.7 " "
Tercera " "	7.1 " "	" " "	15.2 " "
Cuarta " "	10.0 " "	" " "	22.3 " "

Velocidades de transporte serán:

Primera: 27.9 cm./seg.

Segunda: 41.0 cm./seg.

Marcha atrás 60 cm/seg.

Velocidad máxima de recorrido adelante: 2.5 Km./hora.

" " " " " " atrás 2.1 Km./hora.

El transporte de materiales asfálticos desde la planta mezcladora hasta la esparcidora se efectua en camiones volquetes, cuyo número será de 2 ya que trayendo los agregados de la cantera, a la planta mezcladora, se emplean 3.

8).-Tanque Regador.- Se le utilizará para entregar el contenido de humedad en los rellenos i afirmados.

.....

IV).-PROYECTO DE SEÑALIZACION.-

Las señales a usarse, son las recomendadas por el Manual de Señalización de la Carreteras del Perú, publicado por la Dirección de Caminos del Ministerio de Fomento.

Colores.-Las restrictivas, llevarán color blanco con letras i marco negros. Las preventivas serán de color amarillo caminero con letras i marco negros. El amarillo caminero se usa también en señales en el pavimento, al igual que en marcas del mismo. Las señales de dirección serán de color blanco con letras negras.

Marco.-Del mismo color que las letras: Para 60 x 60 cm. se usará marco de 2 cm. distanciado 1 cm. del borde, aumentando proporcionalmente estas dimensiones a medida que la señal aumenta.

Ubicación.-Estarán colocadas las señales, a la derecha en el sentido del tráfico.

Distancia lateral.-Ver el gráfico

Proximidad.-En general dos señales no deberán colocarse a distancia menor de 30 metros una de otra, siempre que esto fuera posible.

Clase de señales.-

Restrictivas.-Se colocan para regularizar el tránsito e indican las condiciones en las que se hace uso del camino. Normalmente son de forma rectangular.

Preventivas.-Indican la proximidad de ciertas condiciones del camino que se pueden evitar por medio de la disminución de la velocidad. Normalmente son romboidales.

De dirección.- Sirven para guiar al conductor a travez de la ruta.

Señales Usadas en el Kilómetro que se proyecta.-

Límite de Velocidad.-( R-2) Se utiliza para restringir la velocidad en ciertos puntos. Se colocan a una distancia de 100 a 150 metros de la causa. En el presente proyecto se ha colocado en la estaca 0 ; Velocidad Máxima 45 Km. P.H.

Curva cerrada.-( P-1 ).-Se usará en curvas menores de 40 metros de radio i cuando el radio entre 40 i 80 metros, en ángulo en el centro entre  $40^{\circ}$  i  $180^{\circ}$ . Se ha empleado en mi kilómetro, en la estaca 0, i en la 30, a la izquierda.

Camino sinuoso.-Cuando la tangente entre dos curvas es menor de 150 metros, se coloca esta señal. ( P-5). En el presente proyecto se ha colocado en la estaca 30 a la derecha.

Conserve su derecha.-( R-3 ). Se coloca a la entrada de las curvas de baja visibilidad i en los puntos que se crea necesario. Se ha colocado en la estaca 27 a la izquierda.

Lineas i marcas en el Pavimento.-

a).-Línea central en toda la longitud del camino. No es obligatorio pero se recomienda. En este proyecto no se ha utilizado, porque en general las condiciones de visibilidad son buenas.

b).-Zona que se prohíbe el paso a otro vehículo.-Se coloca en las curvas en que la velocidad sea limitada. Se pintarán dos líneas uniformes i paralelas a 10 mts. una de la otra, de color blanco i de 10 cm. de ancho. Se completará con la señal: No pase a otro vehículo. Aunque en realidad sólo en la primera curva necesitábamos de esta señal, por seguridad la hemos colocado en las demás.

Observación.-El tipo de las señales usadas en el presente proyecto así como su ubicación se muestran gráficamente en un plano adjunto a la memoria.



V). -DISEÑO I CALCULO DE UN MURO.-

Aunque en realidad, por lo moderado de mis secciones transversales del primer kilómetro no se justificaba la construcción de un muro de sostenimiento; acatando las especificaciones he diseñado un muro para el relleno de la estaca 98 en que se presenta la mayor altura de relleno: 4.68 mts., pero que por la inclinación del terreno: 14.5% el muro adquiere una altura mayor. El talud a reemplazarse es de roca o sea 1:1.

Como es lógico el muro de sostenimiento a diseñarse puede ser hecho de varios materiales: Albañilería de piedra; concreto ciclópeo, concreto armado, etc. He nombrado los tres más usados en la práctica caminera. La elección de tal o cual tipo de material para el muro, depende en forma principal del factor económico pues si están bien diseñados todos son igualmente estables.

Como para hacer una comparación económica entre dos tipos de muro, hay que estar en conocimiento de múltiples datos no solo de los precios unitarios sino del proceso mismo de construcción viendo cual es de más difícil ejecución i si alguno requiere de personal especializado, es que he diseñado dos tipos de muro: de concreto armado i de concreto ciclopeo. Ambos son igualmente estables, por lo que podemos adoptar cualquiera de ellos. A mi particularmente me parece el muro de concreto armado por el menor volumen de mezcla a preparar, que en esos lares es labor difícil, por carencia de cemento i agua.

MURO DE CONCRETO CICLOPEO.-

Datos: Peso específico del material; de relleno: 1800 Kg/m<sup>3</sup>

Peso específico del concreto ciclopeo: 2500 Kg/m<sup>3</sup>

Sobrecarga: se toma una altura de relleno de 0.60 m.

según indicación de la A.A.S.H.O.

Datos: Talud natural: 1:1 = 45°

Del Manual de Hutte:  $3/4 \varphi = 34^\circ$  ang. de frotamiento.

Altura del muro: 5.35 mts.

Cálculo.-

Se han hecho tres perfiles de ensayo antes de obtener uno estable 1 con los coeficientes recomendados. Así hemos adoptado:

Ancho del muro en la coronación : 1.00 mts.

Ancho del muro en la base : 1.67 mt.

Paramento interior: vertical

Sección transversal: trapezoidal

Paramento exterior, talud: 1:8.

Chequeo de la estabilidad en la base: A - A

$$P_1 = 1.0 \times 5.35 \times 2500 \times 1.00 = 13,380 \text{ Kgr.}$$

$$P_2 = 0.67 \times 5.35 \times 2500 \times 0.5 = 4,475 \text{ Kgr.}$$

$$E = \frac{1800 \times 5.35 \times (5.35 + 2 \times 0.60)}{2} \times 0.17 = 5370 \text{ Kgr.}$$

Este empuje lo vamos a descomponer en sus componentes vertical 1 horizontal.

$$E_h = 4950 \text{ Kgr.}$$

$$E_v = 2100 \text{ Kgr.}$$

La altura a la que actua el empuje:

$$H = \frac{h (h + 3h')}{3 (h + 2h')} = \frac{5.35 (5.35 + 1.80)}{3 (5.35 + 1.20)}$$

$$H = 1.945 \text{ mts.}$$

Suma total de fuerzas verticales:

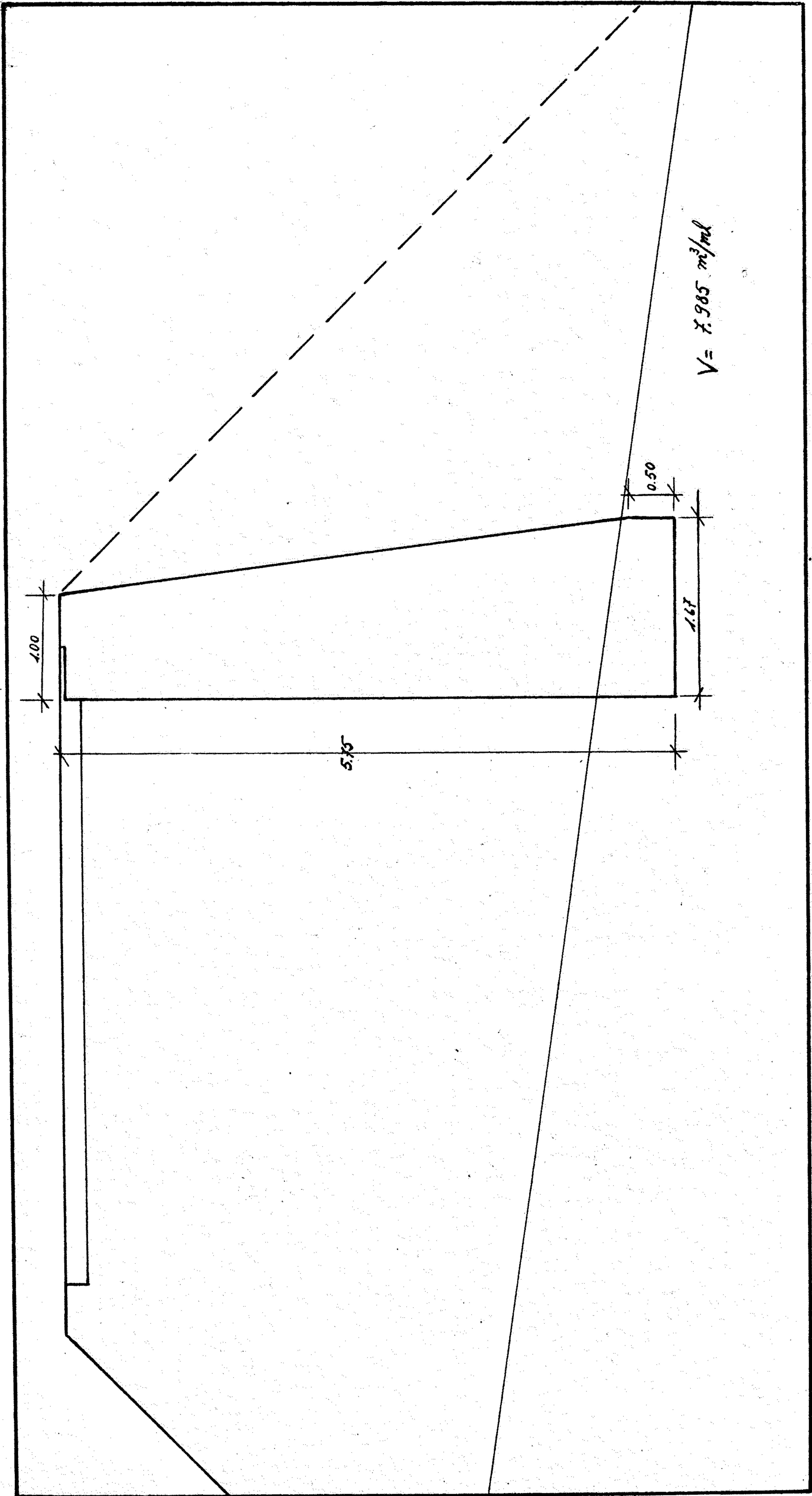
$$F_v = 19,955 \text{ Kgr.}$$

Punto de paso de la resultante respecto del borde exterior de la base:

$$2100 \times 1.67 + 13380 \times 1.17 + 4475 \times 0.4465 = 19955 \text{ X}$$

ejecutando las operaciones:

Distancia del punto de paso de la resultante, en la base respecto del borde exterior:  $X = 1.06 \text{ mts.}$



Excentricidad:

$$19955 X = 4950 \times 1.945$$

$$X = 0.483 \text{ mts.}$$

$$e = 0.835 - (1.06 - 0.483)$$

$$\underline{e = 0.258 \text{ mts.}}$$

I las presiones en los bordes de la base:

$$p = \frac{19955}{16,700} \left( 1 \pm \frac{6 \times 0.258}{1.67} \right)$$

$$p = + 2.32 \text{ Kgr./cm}^2$$

$$p = + 0.087 \text{ Kgr./cm}^2$$

Como vemos estos valores están perfectamente dentro de los límites además si tenemos en cuenta que el asiento es roca.

Chequeo del volteo:

$$C_v = \frac{19955 \times 1.06}{4950 \times 1.945} = 2.2 \text{ mayor de } 2$$

Chequeo al deslizamiento:

$$C_d = \frac{19950 \times 0.70}{4950} = 2.82 \text{ mayor de } 2$$

Todos los valores obtenidos nos demuestran que el muro es perfectamente estable i sin haber excesos de ninguna clase. Es decir está muy bien diseñado. El volumen de concreto por metro lineal de muro es:  $7.985 \text{ m}^3$ . Emplearemos una mezcla  $1:2\frac{1}{2}:5$ .

#### Muro de Concreto Armado.-

Usaremos el método de cálculo recomendado por Castig-neiras en su libro "Empuje de tierras i Muros de Sosteni-miento":

Emplearemos un muro de sostenimiento con solera inte-rior, para aprovechar el peso del relleno que incide sobre ella.

La altura del muro a calcular es de  $5.50 \text{ mts.}$  sin con-siderar el espesor de la solera. Esta altura es mayor que

en el muro de concreto ciclopeo pues hay necesidad de darle un cierto empotramiento para disminuir esfuerzos.

Cálculo de la longitud de la solera interior: b

Emplearemos la tabla XXIV del libro de Castigneiras o aplicando la fórmula del mismo libro, como lo he hecho:

$$\frac{b}{H} = \sqrt{K} \sqrt{\frac{1 + \frac{3h_0}{H}}{1 + \frac{h_0}{H}}}$$

Remplazando en esta fórmula los valores dados como datos:

$$\frac{b}{H} = 0.46$$

Como la altura del muro H vale 5.50 mts, obtenemos una longitud de solera interior:  $0.46 \times 5.50 = 2.50$  mts.

El empuje total será:

$$E = \frac{1}{2} w h (h + 2h') C$$

$$E = 900 \times 5.50 \times 0.172 \times 6.70$$

$$E = 5700 \text{ Kgr.}$$

Sus componentes verticales i horizontales:

$$E_h = 5250 \text{ Kgr.}$$

$$E_v = 2225 \text{ Kgr.}$$

Altura a la que actua el empueje, respecto de la base:

$$h = \frac{5.5 \times 7.30}{3 \times 6.70} = 2.00 \text{ mts.}$$

Luego el momento máximo en la base del muro será:

$$M_{\text{max.}} = 5250 \times 2 = 10,500 \text{ Kgr.}$$

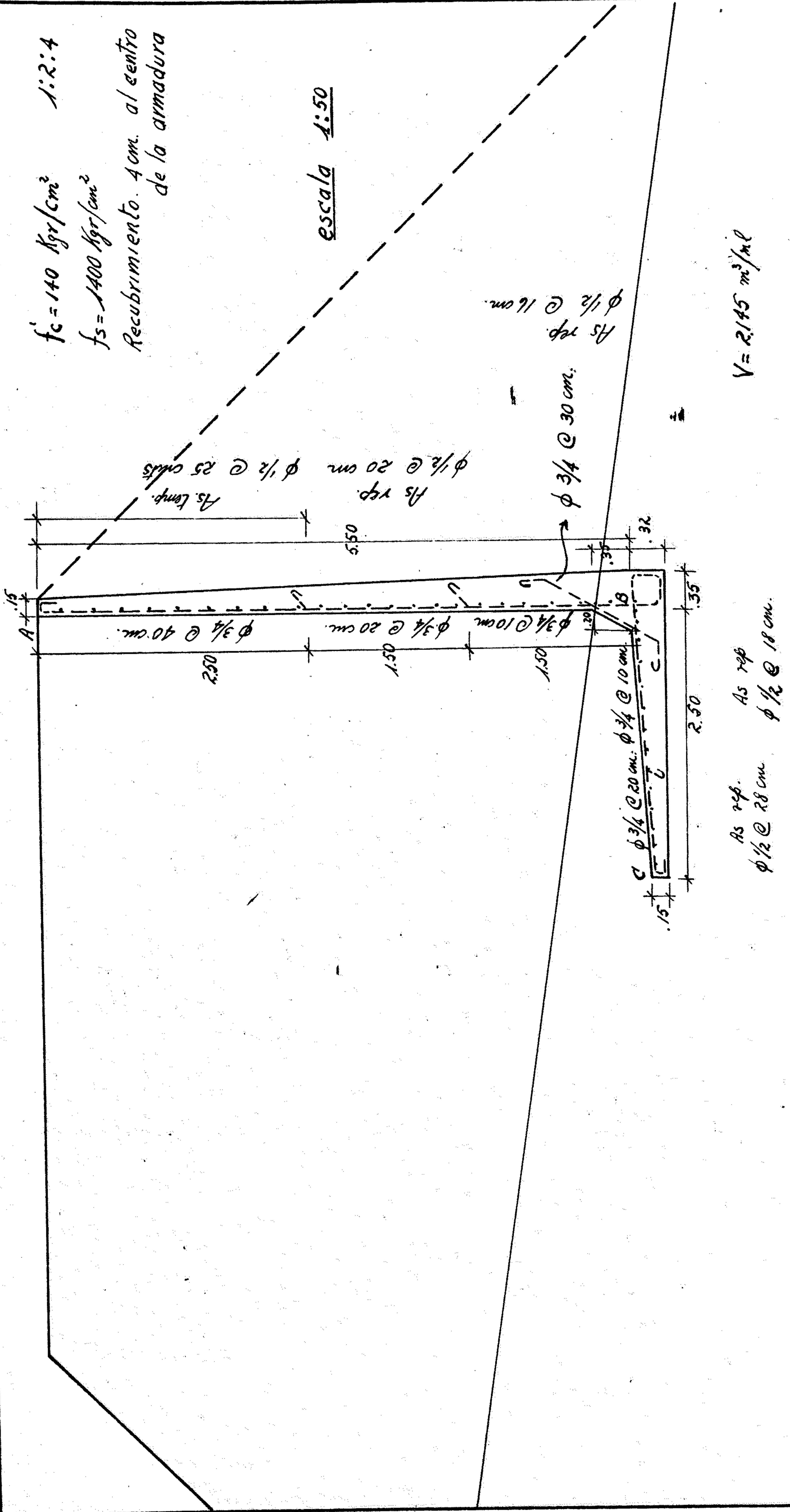
Si nosotros hubieramos hecho sobresalir el muro en forma de sardinel, tendríamos que considerar según lo manda el reglamento de la A.A.S.H.O., una furza horizontal aplicada a 0.25 mts. de altura del sardinel, de 750 Kgr., suponiendo que un carro se arrime i ejerza esta fuerza con la llanta. Esta fuerza por su gran brazó de palanca provocaría en la base del muro un momento de 4320 Kr. es decir un aumento de más de 40% del momento ya existente por el empuje.

$f_c = 140 \text{ Kgr/cm}^2$  1:2:4

$f_s = 1400 \text{ Kgr/cm}^2$

Recubrimiento 4 cm. al centro de la armadura

escala 1:50



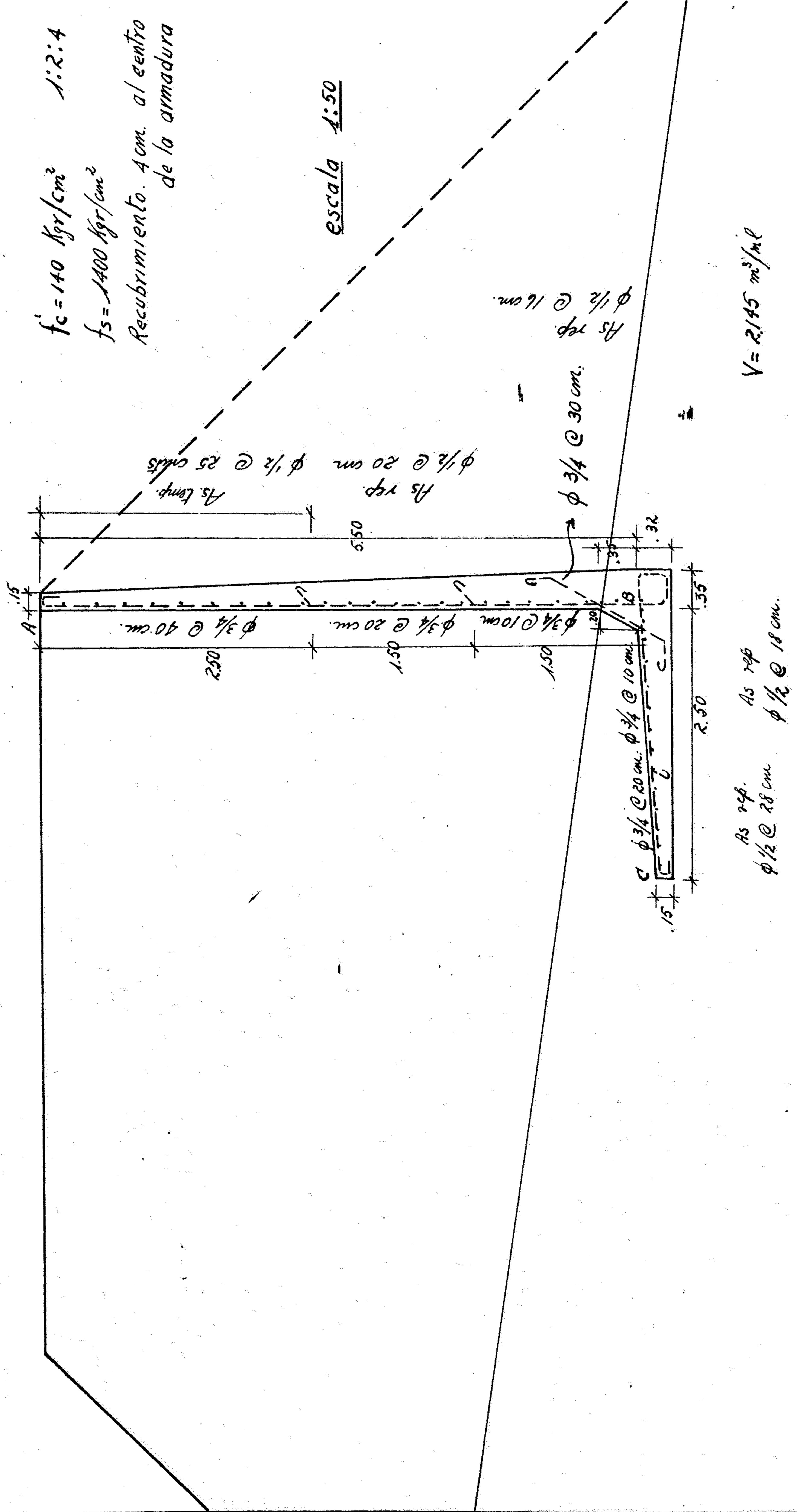
$V = 2.145 \text{ m}^3/\text{ml}$

As rep.  $\phi 1/2 @ 28 \text{ cm}$   
As rep.  $\phi 1/2 @ 18 \text{ cm}$

$f'_c = 140 \text{ Kgr/cm}^2$  1:2:4  
 $f_s = 1400 \text{ Kgr/cm}^2$

Recubrimiento 4cm. al centro de la armadura

escala 1:50



As top  $\phi 1/2 @ 28 \text{ cm}$   
 As top  $\phi 1/2 @ 18 \text{ cm}$

$V = 2.145 \text{ m}^3/\text{ml}$

Es por esta razón que he hecho morir el muro en el borde del pavimento sin sobreelevarlo.

Cálculo del espesor del muro en la base:

$$d = \sqrt{\frac{M}{K b}} = \sqrt{\frac{1050000}{11 \times 100}}$$

$$d = 30.90 = 31 \text{ cmts.}$$

Considerando un recubrimiento al centro de la armadura de 4 centímetros, obtenemos una altura o espesor en la base del muro de 35 cmts.

El area de acero en la base para anular este momento:

$$(-)A_s = \frac{M}{f_s J d} = \frac{1050000}{1400 \times 0.866 \times 31} = 27.9 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

El area de acero mínimo o de temperatura:

$$A_s = 0.0025 b d = 0.0025 \times 100 \times 31 = 7.75 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

El valor del esfuerzo de corte unitario será:

$$v = \frac{5250}{100 \times 0.866 \times 31} = 1.95 \text{ Kgr/cm}^2$$

El valor de la adherencia unitaria admisible es:

$$u = 0.075 f_c' = 0.075 \times 140 = 10.5 \text{ Kgr/Cm}^2$$

El perímetro de armadura necesario para absorber la adherencia será:

$$= \frac{5250}{10.5 \times 0.866 \times 31} = 18.6 \text{ cmt.}$$

Considerando que el máximo espaciamiento de la armadura principal es tres veces el espesor de la losa, usamos fierro de 3/4" ;

Espaciamiento de la armadura principal en la base del muro:

$$\text{Usando fierro de } 3/4" \quad \frac{2.85}{28} = 0.10 \text{ cmts.}$$

Luego se pondrá fierro de 3/4" cada 10 centímetros en la base.

Para la armadura de repartición, usando fierro de 1/2":

$$s = \frac{1.27}{7.75} = 16.4 \text{ cmts.}$$

Luego se pondrá horizontalmente junto a la base, fierro de 1/2" cada 16 cmts.



Es por esta razón que he hecho morir el muro en el borde del pavimento sin sobreelevarlo.

Cálculo del espesor del muro en la base:

$$d = \sqrt{\frac{M}{K b}} = \sqrt{\frac{1050000}{11 \times 100}}$$

$$d = 30.90 = 31 \text{ cmts.}$$

Considerando un recubrimiento al centro de la armadura de 4 centímetros, obtenemos una altura o espesor en la base del muro de 35 cmts.

El area de acero en la base para anular este momento:

$$(-)A_s = \frac{M}{f_s J d} = \frac{1050000}{1400 \times 0.866 \times 31} = 27.9 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

El area de acero mínimo o de temperatura:

$$A_s = 0.0025 b d = 0.0025 \times 100 \times 31 = 7.75 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

El valor del esfuerzo de corte unitario será:

$$v = \frac{5250}{100 \times 0.866 \times 31} = 1.95 \text{ Kgr/cm}^2$$

El valor de la adherencia unitaria admisible es:

$$u = 0.075 f'_c = 0.075 \times 140 = 10.5 \text{ Kgr/Cm}^2$$

El perímetro de armadura necesario para absorber la adherencia será:

$$o = \frac{5250}{10.5 \times 0.866 \times 31} = 18.6 \text{ cmt.}$$

Considerando que el máximo espaciamiento de la armadura principal es tres veces el espesor de la losa, usamos fierro de 3/4" ;

Espaciamiento de la armadura principal en la base del muro:

$$\text{Usando fierro de } 3/4" \quad \frac{2.85}{28} = 0.10 \text{ cmts.}$$

Luego se pondrá fierro de 3/4" cada 16 centímetros en la base.

Para la armadura de repartición, usando fierro de 1/2":

$$s = \frac{1.27}{7.75} = 16.4 \text{ cmts.}$$

Luego se pondrá horizontalmente junto a la base, fierro de 1/2" cada 16 cmts.

No podemos usar en toda la altura del muro la misma cantidad de fierro pues es un desperdicio.

Cálculo del area de acero para la sección a 1.50 mts. de la base :

Empuje hasta esta sección:

$$E = 900 \times 4 \times 0.172 \times 5.20 = 3220 \text{ Kgr.}$$

Sus componentes:

$$E_h = 2965 \text{ Kgr.} \quad E_v = 977 \text{ kgr.}$$

El momento que se produce en esta sección:

$$M = 2965 \times 1.487 = 4420 \text{ Kgrmts.}$$

La altura útil necesaria:

$$d = \sqrt{\frac{442000}{11 \times 100}} = 20 \text{ cmts.}$$

Con el recubrimiento h es 24 cmts.

Pero como le hemos dado al muro una sección trapezoidal con una coronación de 0.15 mts, para esta sección a 1.50 m. de la base tenemos h igual a 30 cmts.; de donde inducimos que tenemos de más.

$$(-) A_s = \frac{442000}{1400 \times 0.866 \times 26} = 14 \text{ cm}^2/\text{ml} \quad \emptyset 3/4" \text{ cada } 20\text{cm.}$$

Esto es que a partir de 1.50 de la base, haremos pasar solo la mitad de fierros que teníamos en la base, alternadamente.

$$A_{s. \text{ rep.}} = 0.0025 \times 100 \times 26 = 6.5 \text{ cm}^2 \quad \emptyset 1/2" \text{ cada } 20 \text{ cm.}$$

Para la sección a 3 mts. de la base:

$$\text{Empuje: } 900 \times 2.5 \times 0.172 \times 3.70 = 1430 \text{ Kgr.}$$

$$\text{Componentes: } E_h = 1315 \text{ kgr.} \quad h = 0.97$$

$$\text{Momento en esta sección: } 1315 \times 0.97 = 1275 \text{ Kgrmts.}$$

La sección diseñada nos da h = 24 cmts.

$$\text{Area de acero: } (-) A_s = \frac{127500}{1400 \times 0.866 \times 20} = 5.25 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

$$\text{Acero mínimo: } 0.0025 \times 100 \times 20 = 5 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

Separación de la armadura principal: usando fierro de 3/4"

$$s = \frac{2.85}{5} = 0.57 \text{ mts. pero esta separación es mayor}$$

que la indicada en el Reglamento: 3 veces la altura del

muro, luego espaciaremos la armadura cada 40 cmts. para poder aprovechar la disposición de la armadura que viene de abajo. Esto indica que a partir de la sección que está a 3 mts. de la base, solo llevaremos la mitad de los fierros que vienen de secciones inferiores.

El acero de repartición  $5 \text{ cm}^2/\text{ml}$ .  $\varnothing 1/2''$  cada 25 cmts.

CALCULO DE LA SOLERA.-

Empuje en el borde extremo (libre):

$$E = \frac{1}{2} 1800 \times 5.70 \times (5.70 + 1.20) 0.172 = 6090 \text{ kgr.}$$

$$\text{Componentes: } E_h = 5600 \text{ Kgr.} \quad E_v = 2380 \text{ Kgr.}$$

Peso del relleno que descansa en la solera:

$$P = 2.50 \times 6.10 \times 1800 \times 1.00 = 27,500 \text{ Kgr.}$$

Peso de la pantalla:

$$P_1 = \frac{0.15 + 0.35}{2} \times 5.50 \times 1 \times 2400 = 3300 \text{ Kgr.}$$

Peso de la solera, fijándole dimensiones provisionales:

$$P_2 = 2.85 \times 0.20 \times 1 \times 2400 = 1370 \text{ Kgr.}$$

Total de fuerzas verticales:

$$N = 27500 + 1370 + 3300 + 2380 = 34,550 \text{ Kgr.}$$

Punto de paso de la resultante por la base, respecto del borde libre:

$$27500 \times 1.25 + 1370 \times 1.43 + 3300 \times 2.70 = 34550 \times X$$

$$X = 1.31 \text{ mts.}$$

Excentricidad:

$$34550 \times X = 5600 \times 2.065$$

$$X = 0.335$$

$$\underline{e = 0.22 \text{ mts.}}$$

Coefficiente de volteo:

$$C_v = \frac{34550 \times 1.54}{5600 \times 2.065} = 4.6 \text{ mayor de } 2$$

Coefficiente de deslizamiento:

$$C_d = \frac{34550 \times 0.7}{5600} = 4.38 \text{ mayor de } 2.$$

Es decir que con exceso el muro es estable.

Reacciones en el terreno:

$$P_1 = 1.77 \text{ Kgr/cm}^2$$

$$P_2 = 0.537 \text{ Kgr/cm}^2$$

Igualmente notamos que el terreno no va a fallar ni hay tracciones.

Las presiones producidas por el prisma de tierra i la solera son:

$$\text{En el borde libre} \quad \frac{1800 \times 6.10}{10000} + \frac{0.20 \times 2400}{10000} = 1.146 \text{ Kg/cm}^2$$

Junto a la pantalla:  $1.146 \text{ Kgr/cm}^2$ .

Las componentes verticales de las presiones producidas por el empuje en los extremos de la solera:

$$0.172 \times 1800 \times 6.10 \times 0.391 = 737 = 0.0737 \text{ Kgr/cm}^2$$

Las Presiones resultantes:

En el extremo libre de la solera:

$$0.537 - 1.146 - 0.0737 = - 0.683 \text{ Kgr/cm}^2$$

Junto a la pantalla:

$$1.77 - 1.146 - 0.0737 = + 0.55 \text{ Kgr./cm}^2$$

La presión  $p_x$  a la distancia  $x$  del borde libre será:

$$\frac{0.683 + 0.55}{2.50} = \frac{p_x + 0.55}{2.50 - x}$$

$$p_x = 0.683 - 0.494 x$$

I el momento de flexión en una sección cualquiera a una distancia  $x$  del borde libre.

$$M_x = \frac{x^2}{6} (6830 - 4940 x + 2 x 6830)$$

$$M_x = 3418 x^2 - 824 x^3$$

Luego el momento junto a la pantalla es decir para  $x = 2.50 \text{ m}$ .

$$M = 8530 \text{ Kgrmts.}$$

El momento máximo ocurre para  $X$ ; Derivando la expresión del momento e igualandola a cero:

$$x = \frac{6836}{2472} = 2.76 \text{ mts. es decir cae fuera de la solera.}$$

Espesor de la solera junto a la pantalla:

$$d = \frac{853000}{11 \times 100} = 27.84 = 28 \text{ cmts.}$$

Con el recubrimiento de 4 cmts, el espesor total de la solera junto a la pantalla será de 32 cmts.

En el extremo libre le pondremos un espesor de 15 cmts.

Area de acero junto a la pantalla:

$$(-)As = \frac{853000}{1400 \times 0.866 \times 28} = 25.1 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

Usando fierro de 3/4" lo pondremos cada 10 cmts.

$$As_{\text{tem.}} = 0.0025 \times 100 \times 28 = 7 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

Usando fierro de 1/2" lo pondremos cada 18 cmts.

Para una sección a 1.50 del borde libre:

El momento existente en la solera:  $M = 4900 \text{ Kgrmts.}$

La altura útil diseñada: 21.1 cm.

El area de acero:

$$As = \frac{490000}{1400 \times 0.866 \times 21.1} = 19.18 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

Usando fierro de 3/4" lo pondremos cada 15 cmts.

Para una sección a 1.00 del borde libre:

$M = 2594 \text{ Kgrmts.}$

$d = 18 \text{ cmts.}$

$As = 11.9 \text{ cm}^2/\text{ml.}$

Si usamos fierro de 3/4", lo ponemos cada 20 cmts. Esto indica que llevaremos hasta el extremo de la solera, la mitad del fierro que pusimos junto a la pantalla.

El acero de repartición a partir de 1 mt. del borde libre será:

$$As = 0.0025 \times 100 \times 18 = 4.5 \text{ cm}^2/\text{ml.}$$

Usando fierro de 1/2" lo ponemos cada 28 cmts.

Los valores usados para el concreto i fierro son:

$$fs = 1400 \text{ Kg/cm}^2 \quad fc = 140 \text{ Kg/cm}^2 \quad n = 15$$

$$k = 0.403 \quad j = 0.866 \quad K = 11$$

mezcla 1:2:4

VI).-ESTUDIO ECONOMICO, ANALISIS DE PRECIOS, I PRESUPUESTO:

Estudio Económico.-

a).-Reconocimiento de Ruta:

Ing° Jefe	₡ 150.00	diarios
Ing° Ayudante	100.00	"
2 wincheros a 20 soles c/u	40.00	"
movilidad	<u>50.00</u>	"
	S/ 340.00	"
Leyes sociales, vacaciones 50%	170.00	
Depreciación de instrumentos 10%	<u>34.00</u>	
	544.00	diarios

Si empleamos un día en el reconocimiento, el costo del reconocimiento por kilómetro será:

Reconocimiento S/. 544.00

b).-Trazo del eje.-

Ing° Jefe	S/ 150.00	diarios
Ing° Ayudante	100.00	"
2 cadeneros a S/ 20 c/u	40.00	"
Estaquero	20.00	"
Porta instrumentos dos a 20 s. c/u	40.00	"
Seccionista	50.00	"
Porta mira	20.00	"
Movilidad	<u>50.00</u>	"
	470.00	
Leyes sociales, vacaciones 50%	235.00	
Depreciación de instrumentos 10%	<u>47.00</u>	
	S/. 752.00	diarios.

Si empleamos 6 días en trazar el eje del primer kilómetro, el costo será:

Trazo del eje S/. 4512.00

c).-Estudio definitivo.-

I.-Explicaciones:

1).-Equipo para desagregar:

a).-Costo horario de una compresora Chicago Neumatic

Diesel modelo # 210

Asumimos que este equipo como los restantes empleados en la construcción, tienen una vida de rendimiento económico de unos 5 años i que la planta trabaja 2000 horas anuales.

Costo fijo por hora:

Valor de la compresora:	S/ 170,000.00
Valor recuperable 20%	<u>34,000.00</u>
Depreciación	S/ 136,000.00
Amortización	20%
Interés	10%
Manten. i reparac.	15%
Almac. i guardiana	<u>3%</u>
	48%

Costo fijo por hora:  $\frac{136,000 \times 0.48}{2000} = 31.96$  soles/hora,

Costo variable por hora:

Combustible, petroleo 18%  
grasa, aceite i otros 2%  
20% del costo fijo por hora.

Costo horario de la compresora:

$31.96 + 6.39 = \underline{38.35}$  soles/hora

b).-Costo horario de un martillo perforador Tipo Cp-59:

Costo fijo por hora:

Valor del martillo	S/ 10,000.00
Valor de accesorios	3,000.00
Valor recuperable 20%	<u>2,600.00</u>
	S/ 10,400.00

Costo fijo por hora:  $\frac{10,400 \times 0.48}{2000} = 2.50$  soles/hora

Costo variable por hora: estimado en 0.50 soles/hora

Costo horario del Martillo Perforador:

$2.50 + 0.50 = 3.00$  soles/hora.

c).-Costo horario de jornales:

Asumiremos jornadas de 8 horas diarias.

Maquinista de la compresora S/ 40 diarios	S/ 5.00 hora
Tres taladradores S/ 30 c/u	11.25 "
Leyes sociales, vacaciones 50%	8.12 "
	<u>24.37 "</u>

Luego el costo horario de una unidad disgregadora Chicago Neumatic es:

Compresora	S/ 38.35
3 Martillos	9.00
Jornales	<u>24.37</u>
	S/ 71.72

Lo que dá S/ 23.91 por martillo a la hora.

d).-Costo de desagregación de un metro cúbico de roca blanda:

Estimamos un avance de de 5 metros lineales de perforación por hora. Como el rendimiento es de 0.6, el avance efectivo será de 3mts/hora. I como sabemos que para extraer un metro cúbico de roca, es necesario 0.3 mts. lineales de taladro, entonces en una hora podremos extraer  $\frac{3}{0.3} = 10 \text{ m}^3/\text{hor.}$

I el costo de cada metro cúbico será :  $\frac{23.91}{10} = \underline{2.39 \text{ soles/m}^3}$

Brocas.-Las brocas que usamos son con incerciones de carburo tungsteno i perfora en un promedio de 50 mts. lineales sin ser aguzada, pudiendo recibir hasta 8 aguzadas. En total cada broca podrá perforar  $8 \times 50 = 400 \text{ m.l.}$

El costo de cada broca es de 400 soles.

Luego el costo por metro lineal es de  $\frac{400}{400} = 1.00 \text{ sol/ml.}$

I el costo por metro cúbico;  $0.3 \times 1.0 = \underline{0.30 \text{ soles/m}^3}$

Dinamita.-La dinamita marca Atlas se expende en cajones de 217 cartuchos de 22.7 Kgr. a S/ 13.00 Kgr.

Resumiendo:

Maquinaria i jornales	S/ 2.39
Brocas	0.30
Dinamita 0.15 Kg/m <sup>3</sup> a S/ 13 Kg.	1.95
Mecha, fulminante i cargado	<u>1.50</u>

Para desagregar un metro cúbico de roca blanda:

S/ 6.14 p/m<sup>3</sup>



e).-Costo de desagregación de un metro cúbico de roca compuesta de 30% de blanda i 70% de dura:

Estimamos un avance de 3.50 mts. lineales que con el rendimiento de 0.6 da un avance efectivo de 2.10 ml/hora. En un frente abierto cada martillo rinde  $\frac{3.33}{2.10} = 7 \text{ m}^3/\text{hor.}$

El costo por metro cúbico :  $\frac{23.91}{7} = \underline{3.42 \text{ soles.}}$

La broca puede perforar en promedio:35 mts. lineales sin ser aguzada i puede aguzarse 8 veces,dando en total 280 mts.

El costo por metro lineal:  $\frac{400}{280} = 1.43 \text{ soles/ml.}$

Costo por metro cúbico:  $0.3 \times 1.43 = 0.429 \text{ soles/m}^3$

Resumiendo:

Maquinaria	S/ 3.42
Brocas	0.43
Dinamita 0.255 Kg/m <sup>3</sup> a S/ 13 Kg.	3.32
Mechas,fulminante i cargado	<u>1.50</u>
Costo para desagregar 1 m <sup>3</sup> :	S/ 8.67 /m <sup>3</sup>

## II).-Excavación i Transporte.-

a).-Costo horario de un Tractor Caterpillar D-8 con empujador angular:

### Costo fijo por hora:

Valor del tractor	S/ 650,000.00
Valor recuperable 20%	<u>130,000.00</u>
Depreciación	S/ 520,000.00

Costo fijo por hora:  $\frac{520,000 \times 0.48}{2000} = 124.80 \text{ soles/hora.}$

### Costo variable por hora:

#### Jornales:

Maquinista S/ 40 diarios	S/ 5.00 hora
Ayudante S/ 20 "	2.50 "
Leyes sociales,vacaciones etc. 50%	<u>3.75 "</u>
	S/ 11.25

Combustible:gasolina,petroleo 18%

Grasa,aceite i otros 2%  
20%

Costo horario del tractor:

$$124.8 + 11.25 + 24.96 = 161.01 \text{ soles/hora.}$$

Costo del acarreo por metro cúbico en los tramos operados por el tractor:

<u>Tramos</u>	<u>Rend. m<sup>3</sup>/hora</u>	<u>Costo S/m<sup>3</sup></u>
1).-Compensación Transversal		
Estaca 0 - 30	154	1.05
Estaca 30 - Km.1	213	0.76
2).-Compensac. Longitudinal		
I	65	2.48
II	27.5	5.87
III 2/3 material suelto	28.3	5.70
1/3 roca blanda	39.3	4.10
IV	45.8	3.51
V	47.3	3.41
VI	32.8	4.90
3).-Bote	81.5	1.98

b).-Trabajo con la Pala Lima Modelo 34

Costo fijo por hora:

Valor de la pala S/ 550,000.00

Valor recuperable 20% 110,000.00

Depreciación 440,000.00

Costo fijo horario:  $\frac{440,000 \times 0.48}{2000} = 105.50 \text{ soles/hora}$

Costo variable por hora:

Jornales:

Maquinista S/ 40 diarios S/ 5.00 h.

Ayudante S/ 20 diarios 2.50

Leyes sociales, vacaciones, etc 50% 3.75  
S/ 11.25

Combustible, gasolina 18%

grasa, aceite i otros 2%  
20%

Costo total horario de la pala:

$$105.50 + 11.25 + 23.10 = 139.85 \text{ soles/hora.}$$

Costo por metro cúbico de material:

$$\frac{139.85}{74} = \underline{1.89 \text{ soles/ m}^3}$$

c) Costo del acumulamiento de material: con tractor: D-8

Costo del tractor por hora: 161.01 soles.

Rendimiento 50 m<sup>3</sup>/hora

Costo de metro cúbico de material acumulado:

$$\frac{161.01}{50} = \underline{\text{S/ } 3.22/\text{m}^3}$$

d).-Transporte del material de Préstamo:

Costo fijo por hora:

Valor del volquete	S/ 120,000.00
Valor recuperable 20%	<u>24,000.00</u>
Depreciación	96,000.00

$$\text{Costo fijo por hora: } \frac{96,000 \times 0.48}{2000} = 23.11 \text{ soles/hora}$$

Costo variable por hora:

Jornales:

Conductor S/ 40 diarios	S/ 5.00 hora
Ayudante S/ 20 diarios	2.50
Leyes sociales, vacaciones, 50%	<u>3.75</u>
	11.25

Combustible, gasolina 18%

grasa, aceite i otros 2%  
20%

Costo horario total del volquete:

$$23.11 + 11.25 + 4.62 = 38.97 \text{ soles/hora.}$$

Costo por metro cúbico

$$\frac{5 \times 38.97}{74} = \underline{2.64 \text{ soles/m}^3}$$

III).-Compactación de Rellenos.-

1).-Materiales sueltos:

a).-Costo horario de un rodillo pata de cabra marca Bros  
tipo M2-7.

Costo fijo por hora:

Valor del rodillo S/ 50,000.00

Costo fijo por hora:

Valor del rodillo	S/ 50,000.00
Valor recuperable	<u>10,000.00</u>
Depreciación	40,000.00

Costo fijo horario:  $\frac{40,000 \times 0.48}{2000} = 9.60$  soles/hora

Para halar este rodillo, se usará un tractor de ruedas neumáticas marca International de 52 HP.

Valor del tractor	S/ 45,000.00
Valor recuperable 20%	<u>9,000.00</u>
Depreciación	34,000.00

Costo fijo horario:  $\frac{34,000 \times 0.48}{2000} = 8.15$  soles/Hora.

Costo variable por hora:

El costo variable del rodillo lo estimamos en 0.50 soles/hora.

Para el tractor:

Maquinista S/ 40 diarios	S/ 5.00 hora
Ayudante S/ 20 diarios	2.50
Leyes sociales, vacaciones 50%	<u>3.75</u>
	11.25
Combustible, petroleo 18%	
Grasa, aceite i otros <u>2%</u>	
	20%

Costo de operación total:

$9.60 + 8.15 + 11.25 + 0.50 + 1.63 = 31.13$  soles/hora.

Rendimiento del rodillo:

$R = \frac{0.6 \times 60 \times 100 \times 3.00 \times 0.23}{6} = 414$  m<sup>3</sup>/hora

El costo por metro cúbico de material rodillado será:

$\frac{31.13}{414} = 0.08$  soles/m<sup>3</sup>

b).-Costo horario de un rodillo neumático marca Bros de 13 ruedas:

Costo fijo por hora:

Valor del rodillo	S/ 60,000.00
Valor recuperable 20%	<u>12,000.00</u>
Depreciación	48,000.00

Costo fijo por hora:  $\frac{48,000 \times 0.48}{2000} = 11.52$  soles/hora

Para jalar este rodillo, se emplea el mismo tractor que para el pata de cabra:

Costo fijo por hora: 8.15 soles.

Costo variable por hora:

Del rodillo, estimado en 0.50 soles

Del tractor anterior 12.88 soles

Costo total:

$11.52 + 8.15 + 0.50 + 12.88 = 33.05$  soles/hora.

Rendimiento del rodillo:

$R = \frac{60 \times 0.6 \times 80 \times 2.23 \times 0.23}{6} = 246$  m<sup>3</sup>/hora.

Costo por metro cúbico:  $\frac{33.05}{2.46} = 0.14$  soles/m<sup>3</sup>

Al estimar el costo de regado en 0.20 soles/m<sup>3</sup>, el costo total de compactado en materiales sueltos será:

$0.08 + 0.14 + 0.20 = \underline{\underline{S/ 0.42 /m^3}}$

## 2.-Material de roca:

c).-Costo horario de un rodillo de tres ruedas Austin N de 10 toneladas, para el rodillado del rodillado del terraplén:

Costo fijo por hora:

Valor del rodillo S/ 140,000.00

Valor recuperable 28,000.00

Depreciación 112,000.00

Costo fijo por hora:  $\frac{112,000 \times 0.48}{2000} = 26.81$  soles/hora.

Costo variable por hora:

Jornales

Maquinista S/ 40 diarios S/ 5.00 Hora

Ayudante S/ 20 diarios 2.50

Leyes sociales, vacaciones 50% 3.75

11.25

Combustible, petroleo 18%

Aceite grasa i otros 2%  
20%

Costo total:

$$26.81 + 11.25 + 5.36 = 43.42 \text{ soles/hora}$$

Rendimiento del rodillo:

$$R = \frac{0.6 \times 60 \times 1.91 \times 66 \times 0.3}{3} = 448 \text{ m}^3/\text{hora}$$

$$\text{Costo por metro cúbico: } \frac{43.42}{448} = 0.10 \text{ soles/m}^3$$

#### IV). -PAVIMENTO.-

a). -Nivelación con la Motoniveladora "Caterpillar" # 12;

Costo fijo por hora:

Valor de la Motoniveladora	S/ 360,000.00
Valor recuperable 20%	<u>72,000.00</u>
Depreciación	288,000.00

$$\text{Costo fijo por hora: } \frac{288,000 \times 0.48}{2000} = 69.28 \text{ soles/hora.}$$

Costo variable por hora:

Jornales i leyes sociales	S/ 11.25
Combustible,petroleo 18%	
Aceite,grasa i otros <u>2%</u>	
	20%

Costo horario total:

$$69.28 + 11.25 + 13.86 = 94.39 \text{ soles por hora}$$

Rendimiento de la Motoniveladora, ya calculado: 1780 m<sup>2</sup>/hora

Costo por metro cuadrado:

$$\frac{94.39}{1780} = 0.05 \text{ soles/m}^2$$

b). -Costo de compactación del afirmado mediante el rodillo

Neumático de 13 ruedas Bros.

Costo horario del rodillo, ya calculado: 33.05 soles/hora

$$R = \frac{0.6 \times 60 \times 2.23 \times 80}{8} = 800 \text{ m}^2/\text{hora}$$

Costo por metro cuadrado de compactado:

$$\frac{33.05}{800} = 0.04 \text{ soles/hora.}$$

c).-Obtención del Afirmado:

1).-Remoción de los dos primeros horizontes:

Rendimiento del tractor D-8                    134 m<sup>3</sup>/hora  
Costo del tractor por hora                    161.01 soles/hora  
Costo por metro cúbico:

$$\frac{161.01}{134.00} = \underline{1.20 \text{ soles/m}^3}$$

2).-Carguo de volquetes con Pala Lima:

Costo de la Pala por hora: S/ 139.85  
Costo por m<sup>3</sup> de afirmado:

$$\frac{139.85}{26.65} = \underline{5.25 \text{ soles/m}^3}$$

3).-Costo de acumulación de material por el tractor D-8.

Costo del tractor por hora: 161.01 soles  
Rendimiento del tractor                    161 m<sup>3</sup>/hora

Costo por metro cúbico de material acumulado:

$$\frac{161.01}{161} = \underline{1.00 \text{ sol/m}^3}$$

4).-Transporte del afirmado:

Costo horario total del volquete: 38.97 soles.

Costo por metro cúbico:

$$\frac{5 \times 38.97}{26.65} = \underline{7.31 \text{ soles/m}^3}$$

5).-Zarandeo del material, estimaremos en 1 sol/m<sup>3</sup> de material de cantera.

d).-Carpeta asfáltica.

1).-Costo del metro cuadrado de riego de imprimación usando un imprimador: "Littleford" CLRC del tipo de 1000 galones de capacidad.

Costo fijo por hora:

Valor del imprimador	S/ 230,000.00
Valor recuperable 20%	<u>46,000.00</u>
Depreciación	S/ 184,000.00



Costo fijo por hora:  $\frac{184,000 \times 0.48}{2000} = 44.18$  soles/hora

Costo variable por hora:

Jornales:

Maquinista: S/ 40 diarios	S/ 5.00 hora
Operador S/ 30 diarios	3.75
Ayudante S/ 20 diario	2.50
Leyes sociales, vacaciones 50%	<u>5.63</u>
	16.88

Combustible, gasolina 18%

Grasa, aceite i otros  $\frac{2\%}{20\%}$

Costo total horario:

$44.18 + 16.88 + 8.84 = 69.90$  soles/hora

Asumimos que el barrido nos cuasta S/ 0.05 por m<sup>2</sup>.

El rendimiento del imprimador es de 800 m<sup>2</sup> por hora, pero como el factor de eficiencia es 0.6, el rendimiento efectivo será:  $800 \times 0.6 = 480$  m<sup>2</sup>/ hora.

Costo de imprimación por metro cuadrado:

$\frac{69.90}{480} = 0.15$  soles/m<sup>2</sup>

Como se entrega 1.5 litros/m<sup>2</sup> a 0.40 soles/litro, da un costo de 0.60 soles/m<sup>2</sup>.

Costo total por metro cuadrado:

$0.15 + 0.60 + 0.05 = \underline{0.80}$  soles/m<sup>2</sup>

2). Costo de la Mezcla Asfáltica:

Valor de la planta:	S/ 700,000.00
Valor recuperable	<u>140,000.00</u>
Depreciación	560,000.00

Costo fijo por hora:  $\frac{560,000 \times 0.48}{2000} = 134.40$  soles/hora.

Costo variable por hora:

2 maquinistas a 60 soles c/u	S/ 15.00 hora.
10 ayudantes a 20 soles c/u	25,00
leyes sociales, vacaiones 50%	<u>20.00</u>
	60.00



Combustible petroleo 18%  
grasa, aceite i otros  $\frac{2\%}{20\%}$

Costo total horario:

$$134.40 + 60.00 + 26.88 = 221.28 \text{ soles/hora.}$$

Siendo el rendimiento de 50 toneladas horarias, o sea 25 m<sup>3</sup>  
el costo por metro cúbico será:

$$\frac{221.28}{25} = 8.82 \text{ soles/m}^3$$

El asfalto RC-2 empleado en la mezcla, cuesta 0.40 el litro a 5.5%, por metro cúbico da 85 litros/m<sup>3</sup> o sea 34.00 soles por asfalto en un metro cúbico.

2).- Obtención de los agregados para la mezcla.-

a).- Carguío de volquetes por pala Lima:

Costo por metro cúbico de agregados S/ 5.25

b).- Acumulación del material por el tractor D-8

Costo por metro cúbico de agregados 1.00

c).- Transporte por metro cúbico de agregado 7.31

d).- Zarandeo por metro cúbico de agregado 2.00

e).- Costo total por metro cúbico de mezcla asfáltica:

$$8.82 + 34.00 + 5.25 + 1.00 + 7.31 + 2.00 = 57.38 \text{ sol/m}^3.$$

Costo del transporte de la mezcla asfáltica de la planta a la obra.-

Costo horario del volquete: 38.97 soles.

$$\text{Costo por metro cúbico: } \frac{5 \times 38.97}{25} = \underline{7.81 \text{ soles/m}^3}$$

Costo del extendido de la mezcla asfáltica:

Costo fijo por hora:

Precio de la esparcidora	S/ 360,000.00
Valor recuperable	<u>72,000.00</u>
Depreciación	288,000.00

Costo fijo por hora:  $\frac{288,000 \times 0.48}{2000} = 69.28$  soles/hora.

Costo variable por hora:

Jornales

Maquinista S/ 40 diarios	S/ 5.00 hora.
2 ayudantes S/ 20 c/u	5.00
Leyes sociales, vacaciones 50%	<u>5.00</u>
	15.00
Combustible, gasolina 18%	
Aceite, grasa i otros <u>2%</u>	
	20%

Costo total del extendido:

$$69.28 + 15 + 13.86 = 98.14 \text{ soles/hora}$$

Costo por metro cúbico :  $\frac{98.14}{25} = \underline{3.93}$  soles/m<sup>3</sup>

Costo del rodillado de la mezcla con el rodillo tandem:

Costo fijo por hora:

Valor del rodillo	S/ 120,000.00
Valor recuperable	<u>24,000.00</u>
Depreciación	96,000.00

Costo fijo horario:  $\frac{96,000 \times 0.48}{2000} = 23.05$  soles/hora.

Costo variable por hora:

Jornales

Maquinista S/ 40 diarios	S/ 5.00 hora
Ayudante S/ 20 diarios	2.50
Leyes sociales, vacaciones 50%	<u>3.75</u>
	11.25
Combustible, petroleo 18%	
Grasa, aceite i otros <u>2%</u>	
	20

Costo total:

$$23.05 + 11.25 + 4.61 = 38.91 \text{ soles/hora}$$

Rendimiento del rodillo:

$$R = 0.60 \times 60 \times 66 \times 1.38 = 3300 \text{ m}^2/\text{hora}$$

Como son cuatro pasadas, el avance será 825 m<sup>2</sup>/ hora.

Costo del metro cuadrado:  $\frac{38.91}{825} = \underline{0.05}$  soles/m<sup>2</sup>

Costo del sellado empleando asfalto RC-2 en una proporción de 1.5 litros por metro cuadrado de superficie:

Asfalto RC-2 1.5 lts. a 0.40 soles/lt.	S/ 0.60
Riego	0.07
Arena seca	0.30
Extendido i rodillado	0.15
Barrido	<u>0.05</u>
	1.17
Jornales	
Capataz S/ 40 diario	S/ 5.00 hora
8 peones a 20 soles c/u	20.00
Leyes sociales, vacaciones, 50%	<u>12.50</u>
	37.50

El rendimiento se estima en unos 400 m<sup>2</sup>/hora.

En jornales se va:  $\frac{37.50}{400} = 0.09$  soles/m<sup>2</sup>

Costo total de sellado:

$$1.17 + 0.09 = \underline{1.26 \text{ soles/m}^2}$$

Resumen de los costos del pavimento:

Afirmado:

1).-Remoción 2 primeros horizontes:	S/ 0.96 m <sup>3</sup>
2).-Obtención del material con la pala	5.25 m <sup>3</sup>
3).-Acumulación de material	1.00 m <sup>3</sup>
4).-Zarandeo	2.00 m <sup>3</sup>
5).-Transporte del afirmado	7.31 m <sup>3</sup>
6).-Regado	<u>0.20 m<sup>3</sup></u>
	S/ 16.96 m <sup>3</sup>

Extendido	0.05 /m <sup>2</sup>
Rodillado	<u>0.04 /m<sup>2</sup></u>
	S/ 0.09 / m <sup>2</sup>

Asfaltado:

Costos hallado por metro cuadrado:

Imprimación	0.80 soles
Rodillado	0.05 "
Sellado	<u>1.16 "</u>
	2.01/ m <sup>2</sup>

Costos calculados por metro cúbico:

1).-Acumulación de material	S/ 1.00 m <sup>3</sup>
2).-Obtención del material con pala	5.25
3).-zarandeo	2.00
4).-Transporte	7.31
5).-Mezcla	42.82
6).-Transporte	7.81
7).-Extendido	<u>3.93</u>
	S/ 70.12/m <sup>3</sup>

Si sabemos que el espesor de la carpeta asfáltica es de 0.05 mts., podemos reducir este valor a costo por metro cuadrado, obteniendo entonces; 3.50 soles/m<sup>2</sup>.

Refine.-

Se considerarán 5000 m<sup>2</sup> como area de refine de los taludes de corte i relleno, con un precio unitario de 1.00 sol.

Desquinche.-

Por efecto del desquinche consideraremos 300 m<sup>3</sup> de material a un precio unitario de S/ 12.00 m<sup>3</sup>.

P R E S U P U E S T O

<u>PARTIDA</u>	<u>CANTIDAD</u> m <sup>3</sup> ó m <sup>2</sup>	<u>PRECIO UNIT.</u> S/m <sup>3</sup> ó S/m <sup>2</sup>	<u>PARCIALES</u> Soles
I.-Reconocimiento. . . . .			544.00
II.-Trazo del eje . . . . .			4,512.00
III.- <u>Explicaciones:</u>			
<u>Desagregación:</u>			
a).-Roca blanda	1285 m <sup>3</sup>	S/ 6.14/m <sup>3</sup>	7,889.90
b).-30%bl.70% dur.	1308 m <sup>3</sup>	8.67/m <sup>3</sup>	11,340.36
<u>Excavación i Transp.</u>			
a).-Comp. Transv.			
Est. 0 - 30	398 m <sup>3</sup>	1.05/m <sup>3</sup>	417.90
Est. 30 - Km.1	540 m <sup>3</sup>	0.76/m <sup>3</sup>	410.40
b).-Comp.Long.			
Tramo I	560 m <sup>3</sup>	2.48/m <sup>3</sup>	1,388.80
Tramo II	1570 m <sup>3</sup>	5.87/m <sup>3</sup>	9,215.90
Tramo III	266 m <sup>3</sup>	5.70/m <sup>3</sup>	1,516.20
Tramo III	134 m <sup>3</sup>	4.10/m <sup>3</sup>	549.40
Tramo IV	220 m <sup>3</sup>	3.51/m <sup>3</sup>	772.20
Tramo V	190 m <sup>3</sup>	3.41/m <sup>3</sup>	647.90
Tramo VI	970 m <sup>3</sup>	4.90/m <sup>3</sup>	4,753.00
c).-Bote	4000 m <sup>3</sup>	1.98/m <sup>3</sup>	7,920.00
d).-Mat. Préstamo	1486 m <sup>3</sup>	7.75/m <sup>3</sup>	11,516.50
<u>Compactación:</u>			
Mat. suelto	2506 m <sup>3</sup>	0.42/m <sup>3</sup>	1,052.52
Roca	4214 m <sup>3</sup>	0.10/m <sup>3</sup>	421.40
Nivelado	6180 m <sup>2</sup>	0.05/m <sup>2</sup>	309.00
IV.- <u>Afirmado:</u>			
Disgr.trans.etc.	768 m <sup>3</sup>	16.96/m <sup>3</sup>	13,025.28
Rodillado i extendido	6180 m <sup>2</sup>	0.09/m <sup>2</sup>	556.20
	Sub Total		S/ 78,758.86

<u>Partidas</u>	<u>CANTIDAD</u> M3 ó m <sup>2</sup>	<u>PRECIO UNIT.</u> S/m3 ó S/m <sup>2</sup>	<u>PARCIALES</u> soles
Vienen /./.....		S/.	78,758.86
V.- <u>Asfaltado:</u>	6180 m <sup>2</sup>	5.51/m <sup>2</sup>	34,051.80
VI.- <u>Desquinche:</u>	300 m <sup>3</sup>	12.00/m <sup>3</sup>	3,600.00
VII.- <u>Refines:</u>	5000 m <sup>2</sup>	1.00/m <sup>2</sup>	5,000.00
VIII.- <u>Drenaje:</u>			40,000.00
IX.- <u>Señalización</u>			20,000.00
Administración	10%		181,410.66
Utilidad	10%		
Imprevistos	5%		
	<u>25%</u>		<u>45,352.66</u>
<b>SON TOTAL</b>			<b>S/ 226,763.32</b>

Bibliografía:

Copias de Caminos del Ing° Raul Parraud.

Caminos: J.L. Escario

Manual de Hutte.

Copias de Mecánica de Suelos: Ing° Emilio Le Roux

Boletín de la Dirección de Caminos i F. del M. de F. i O. P.

N° 3 i 4.

Empuje de tierras i Muros de Sostenimiento: Castigneiras.

Manual de Señalización.

Normas Peruanas para Carreteras.