

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**



**AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE-  
YAUYOS–HUANCAYO DEL Km. 167+400 AL Km. 167+700**

**ESTUDIO DE SUELOS Y DISEÑO DEL PAVIMENTO**

**INFORME DE SUFICIENCIA**

**Para optar el Título Profesional de:**

**INGENIERO CIVIL**

**REYNALDO CRUZ RODRIGUEZ**

**Lima- Perú**

**2009**

## **Dedicatoria**

A mis padres y familia.

A mis amigos Juan Manuel, Yuri, Vanessa y Yovani, quienes siempre tuvieron una frase alentadora en este proceso.

## ÍNDICE

RESUMEN	3
LISTA DE CUADROS	4
LISTA DE FIGURAS	6
LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS	7
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I: RESUMEN DEL ESTUDIO A NIVEL DE PERFIL	10
1.1 Nombre del Proyecto.	10
1.2 Localización.	10
1.3 Clima.	10
1.4 Límites.	11
1.5 Características socioeconómicas.	11
1.5.1 Educación.	11
1.5.2 Economía.	11
1.6 Definición de problemas, causas y efectos.	12
1.6.1 Problema central.	12
1.6.2 Definición de causas.	12
1.6.3 Definición de efectos.	12
1.7 Objetivo del Proyecto.	14
1.8 Alternativas de solución.	16
1.8.1 Alternativa N° 01.	16
1.8.2 Alternativa N° 02.	16
1.8.3 Alternativa N° 03.	16
CAPÍTULO II: DISEÑO DEL PAVIMENTO	17
2.1 Estudio de tráfico y cargas.	17
2.1.1 Proyecciones del tráfico.	20
2.1.2 Ejes equivalentes para el diseño del pavimento.	23
2.2 Estudio de suelos y canteras.	26
2.2.1 Estudio de Suelos.	26
2.2.2 Estudio de Canteras.	30
2.2.3 Fuentes de Agua.	31
2.3 Voladura de Roca.	32

2.3.1 Definición de voladura.	32
2.3.2 Diseño de voladura.	35
2.3.3 Voladura controlada en superficie.	42
2.3.4 Ejecución del diseño.	45
2.4 Diseño del Pavimento.	55
2.4.1 Método para el diseño del pavimento.	55
2.4.2 Determinación del espesor de las capas del pavimento.	60
<b>CAPÍTULO III: EXPEDIENTE TÉCNICO</b>	<b>64</b>
3.1 Memoria Descriptiva.	64
3.1.1 Antecedentes.	64
3.1.2 Alcances del estudio.	64
3.1.3 Objetivo.	64
3.1.4 Ubicación del Proyecto.	65
3.1.5 Descripción de la Carretera.	65
3.1.6 Información Existente.	66
3.2 Especificaciones Técnicas.	67
3.3 Planilla de Metrados.	68
3.4 Programación.	68
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>70</b>
<b>RECOMENDACIONES</b>	<b>71</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>72</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>73</b>

## RESUMEN

El presente estudio, Ampliación y Mejoramiento de la Carretera Cañete-Yauyos-Huancayo del Km. 167+400 al 167+700, se debe a la necesidad principal de activar económica y socialmente a gran parte de la población de la Provincia de Yauyos.

El estado actual de la vía presenta anchos de calzada que fluctúan entre 3.8 a 5.5 m, capa de rodadura de afirmado en regular estado, trazado geométrico deficiente y mal sistema de drenaje. Dentro de los temas en estudio del presente informe, serán analizados los dos primeros.

El ancho de calzada al momento de realizar el trazado geométrico es incrementado teniendo la premisa que el nuevo trazo debe contemplar que la calzada no esté cimentada sobre parte del cauce del río Cañete; queda de esta manera como única alternativa, llevar el trazo por la zona rocosa, razón por la cual el presente informe incluye el estudio de voladuras de rocas.

Se escogerá y diseñará la técnica de voladura a fin de obtener el terreno que requiere la vía, además se realizará el perfilado y relleno de las zonas que especifique el trazo en otras zonas, con lo cual se obtendrá el terreno para la cimentación de la vía.

La capa de rodadura de afirmado, que actualmente presenta la vía, será reemplazada por carpeta asfáltica. Para el diseño de la estructura del pavimento se realizó una vista a campo, recolectando datos y sustrayendo una muestra del suelo portante para ensayarla en el laboratorio. Con los datos de esta muestra, más los obtenidos de estudios anteriores del MTC en este tramo, se aplicó el método de la AASHTO-93 para el cálculo de los espesores de la estructura, teniendo la consideración que el tramo en estudio se encuentra a una altitud de 3300 msnm.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.1.- Características de Educación.	11
Cuadro 1.2.- Características de Economía.	11
Cuadro 2.1.- Recuento y clasificación de tránsito vehicular.	18
Cuadro 2.2.- Promedio del tráfico vehicular en la semana de conteo.	19
Cuadro 2.3.- Factor de corrección diario.	19
Cuadro 2.4.- Tráfico vehicular anual.	20
Cuadro 2.5.- Tasas de crecimiento anual de la población por departamento.	20
Cuadro 2.6.- Tasas de crecimiento anual de PBI (en escenario neutro).	21
Cuadro 2.7.- Proyección del tráfico normal.	21
Cuadro 2.8.- Tráfico desviado encuestado.	22
Cuadro 2.9.- Proyección del tráfico desviado.	22
Cuadro 2.10.- Proyección del tráfico generado.	23
Cuadro 2.11.- Proyección del tráfico total.	23
Cuadro 2.12.- Cálculo del factor destructivo.	24
Cuadro 2.13.- Cálculo del factor de equivalencia de carga camión.	24
Cuadro 2.14.- Cálculo de los Números de ejes equivalentes.	24
Cuadro 2.15.- Estado de compacidad de cada capa de suelo.	26
Cuadro 2.16.- Análisis granulométrico.	27
Cuadro 2.17.- Resumen granulométrico.	27
Cuadro 2.18.- Límites de consistencia.	28
Cuadro 2.19.- Análisis de CBR.	28
Cuadro 2.20.- Perfil estratigráfico.	29
Cuadro 2.21.- Canteras para carpeta asfáltica.	30
Cuadro 2.22.- Canteras para base.	30
Cuadro 2.23.- Canteras para sub-base.	31
Cuadro 2.24.- Valores recomendados en la distribución de barrenos.	38
Cuadro 2.25.- Relación SP vs B en rocas y sus consecuencias.	38
Cuadro 2.26.- Consumo específico en diversas clases de rocas.	40
Cuadro 2.27.- Relación de parámetros para voladuras de precorte.	43
Cuadro 2.28.- Características de la dinamita semigelatina.	46
Cuadro 2.29.- Dimensiones de la dinamita semigelatina.	46
Cuadro 2.30.- Características del ANFO.	47
Cuadro 2.31.- Características del cordón detonante.	47

Cuadro 2.32.- Dimensiones del cordón detonante.	47
Cuadro 2.33.- Características del retardador.	48
Cuadro 2.34.- Cálculo de los parámetros de barrenos con carga normal.	48
Cuadro 2.35.- Cargas en el barreno de producción.	49
Cuadro 2.36.- Parámetros de la maquinaria a utilizar para el precorte.	50
Cuadro 2.37.- Dimensiones y cargas en los barrenos de precorte.	50
Cuadro 2.38.- Nivel de confiabilidad.	55
Cuadro 2.39.- Desviación estándar.	56
Cuadro 2.40.- Capacidad soporte de la subrasante.	59
Cuadro 2.41.- Número de ejes equivalentes.	59
Cuadro 2.42.- Características de drenaje.	60
Cuadro 2.43.- Espesores mínimos.	62
Cuadro 2.44.- Estructura del pavimento.	63
Cuadro 3.1.- Partidas de presupuesto del Suelos y Pavimentos.	67
Cuadro 3.2.- Planilla de Metrados.	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.- Localización de Yauyos.	10
Figura 1.2.- Árbol de causas y efectos.	13
Figura 1.3.- Árbol de medios y fines.	15
Figura 2.1.- Estaciones de conteo.	17
Figura 2.2.- Capas del suelo portante.	26
Figura 2.3.- Vista panorámica actual de la vía.	32
Figura 2.4.- Banco de voladura.	33
Figura 2.5.- Principio de fisuramiento lineal en la roca.	34
Figura 2.6.- Mecánica de corte lineal.	34
Figura 2.7.- Distribución del explosivo dentro de un barreno.	39
Figura 2.8.- Secuencia de encendido de tipo rectangular con salida en V.	40
Figura 2.9.- Secuencia de encendido de tipo triangular con salida en V.	41
Figura 2.10.- Esquema de voladuras de precorte.	43
Figura 2.11.- Disparos en tramo 01.	51
Figura 2.12.- Disparos en tramo 02.	52
Figura 2.13.- Disparos en tramo 03.	53
Figura 2.14.- Esquema de perforación y encendido para 2.5 a 3.0 m.	53
Figura 2.15.- Esquema de perforación y encendido para 10.0 a 15.0 m.	54
Figura 2.16.- Análisis de esfuerzos debido a cargas cíclicas.	58
Figura 2.17.- Diagrama cíclico de la deformación acumulada versus esfuerzos.	58
Figura 2.18.- Coeficiente del aporte estructural de la mezcla asfáltica versus el módulo elástico.	61
Figura 2.19.- Coeficiente del aporte estructural de la base granular.	61
Figura 2.20.- Coeficiente del aporte estructural de la sub-base.	62
Figura 3.1.- Programación de obra.	69

## LISTA DE SÍMBOLOS Y DE SIGLAS

$a_1, a_2$ y $a_3$	Coeficientes de aporte estructural.
AASHTO	Asociación Americana de la carretera estatal y funcionarios de transporte.
ANFO	Nitrato de amonio.
ASTM	Sociedad Americana de ensayos de materiales.
B	Burden.
CBR	Ensayo de Relación de Soporte de California.
CC	Longitud de carga de Columna.
CE	Consumo específico de explosivo.
$Ce_c$	Carga Específica de columna.
$Ce_f$	Carga Específica de fondo.
CF	Longitud de carga de Fondo.
$d_c$	Diámetro de la carga explosiva.
$d_b$	Diámetro del barreno.
$D_1, D_2$ y $D_3$	Espesores de carpeta asfáltica, base granular y sub-base.
$E_0$	Espaciamiento entre barrenos.
EAL	Número de ejes equivalentes.
f	Frecuencia Sísmica.
IMD	Índice medio diario.
Km	Kilómetro.
L	Longitud del taladro.
$m_2$ y $m_3$	Coeficientes de drenaje.
Mr	Módulo resiliente de la subrasante.
$P_b$	Presión del barreno.
PBI	Producto bruto interno.
PSI	Índice de Serviciabilidad.
$Q_c$	Carga explosiva de columna.
$Q_f$	Carga explosiva de fondo.
R%	Confiabilidad.
SN	Número Estructural.
$S_0$	Desviación Estándar Total.
SUCS	Sistema Unificado de clasificación de suelos.
SP	Sobreperforación.

T	Retacado.
TRB	Tiempo de retardo entre barrenos.
TRF	Tiempo de retardo entre filas.
$V_d$	Velocidad de detonación del explosivo.
VR	Volumen de roca.
W	Peso de cada cartucho.
$W_{18}$	Número equivalente de diseño.
ZR	Desviación Estándar Normal.
$\alpha$	Inclinación del barreno que forma con la vertical.
$\sigma_c$	Resistencia a la compresión.
$\sigma_{tr}$	Tensión de la roca resistente a la tracción.
$\rho_o$	Densidad del explosivo.
$\Delta$ PSI	Pérdida de serviciabilidad.

## INTRODUCCIÓN

El presente informe de suficiencia "AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE – YAUYOS – HUANCAYO", del Km 167+400 al Km 167+700 se realiza por una necesidad de integrar económica y socialmente a los pueblos de la Provincia de Yauyos con el centro del país y Lima, además de descongestionar el tráfico de la Carretera Central, que en épocas de Diciembre a Marzo, presenta cierres temporales de la Vía debido a los desbordes del río Rímac.

Actualmente la vía cuenta con anchos de calzada que varían entre 3.8 a 5.0 m por lo que no pueden transitar dos vehículos a la vez; además de tener la capa de rodadura a nivel de afirmado y cuenta con un deficiente trazado geométrico; éstas características de la vía restringen la velocidad directriz, además que aumentan el riesgo de accidentes. Son éstas las razones porque la vía no es empleada frecuentemente,

Dentro de los objetivos del presente informe se proyecta encontrar las soluciones a éstos problemas, teniendo como meta estructurar el pavimento que cumplan con las condiciones de servicialidad y que hagan atractiva esta vía.

## CAPÍTULO I: RESUMEN DEL ESTUDIO A NIVEL DE PERFIL

### 1.1 Nombre del Proyecto

“AMPLIACIÓN Y MEJORAMIENTO DE LA CARRETERA CAÑETE – YAUYOS – HUANCAYO”, del Km 167+400 al Km 167+700

### 1.2 Localización

El Tramo en estudio se encuentra entre los Km 167+400 al 167+700 de la Vía denominada Ruta 022, la que comunica Yauyos con Cañete y Huancayo. El tramo en su totalidad se encuentra en el distrito de Alis, provincia de Yauyos, departamento de Lima.

El distrito de Alis tiene como coordenadas geográficas las siguientes:

Latitud: 12°15'00"S

Longitud: 75°45'00"E

Altitud: 3250 msnm.

Figura N° 1.1

Localización de Yauyos



Fuente: MTC – Redes viales

### 1.3 Clima

El distrito de Alis se encuentra en el ecosistema Estepa Montano Tropical y en la región quechua. Las características de su clima son precipitaciones pluviales intensas entre los meses de diciembre y abril, el resto del año es de estiaje. La

temperatura media se encuentra entre los 9° y 21°, las mañanas son soleadas y las noches frías.

## 1.4 Límites

Norte : distritos de Tomas y Huancaya

Sur y Este : distrito de Laraos

Oeste : distrito de Miraflores

## 1.5 Características socioeconómicas

### 1.5.1 Educación

Cuadro N° 1.1

NIVEL EDUCATIVO DEL DISTRITO DE ALIS									Total (personas)
Sin nivel	Inicial	Primaria	Secundaria	Sup. No univ. Incomp.	Sup. No univ. Comp.	Sup. Univ. Incomp.	Sup. Univ. Comp.		
25	9	216	835	137	158	46	75	1,501	

Fuente: INEI – XI Censo Poblacional y VI Censo de Vivienda 2007

Se puede notar que este distrito tiene una población con bajo índice de analfabetismo con apenas 25 personas lo que representa 1.7% de su población.

### 1.5.2 Economía

Cuadro N° 1.2

NIVEL ECONÓMICO DEL DISTRITO DE ALIS															Total (personas)
Categoría	Agricultura y ganadería.	Explotación de minas	Industrias manufactureras	Construcción	Comercio	Hoteles y Restaurantes	Transporte, almacenamiento y actividades inmobiliarias	Actividad inmobiliaria	Administración pública y defensa	Enseñanza	Servicio social y de salud	Otras actividades económicas	Actividad económica no Desocupado		
Urb.	35	1	—	7	7	7	4	1	9	19	—	3	—	1	94
Rural	24	1,144	11	6	3	35	5	—	2	3	6	5	5	1	1,250

Fuente: INEI – XI Censo Poblacional y VI Censo de Vivienda 2007

- Alis tiene como principal actividad la explotación minera con 91.50% de su población rural y 39.30% de su población urbana en la actividad agrícola y ganadera.

## **1.6 Definición del Problema central, sus causas y efectos**

### **1.6.1 Problema central**

La vía en estudio, actualmente se encuentra a nivel de trocha carrozable, siendo la superficie de rodadura de terreno natural y en ciertos tramos de material granular con finos de alta plasticidad, que al menor contacto con el agua proveniente de las precipitaciones se forman lodazales y fango, asimismo en épocas de lluvias (meses de Diciembre a Marzo) las quebradas se activan, ocasionando interrupciones en la vía debido a la insuficiencia de obras de arte y drenaje.

Con base en el diagnóstico realizado se ha identificado la existencia del siguiente problema central: “Deficiente nivel de transitabilidad que perjudica el traslado de carga y pasajeros”.

### **1.6.2 Definición de causas**

Causas Indirectas:

- Falta de un Programa rutinario de mantenimiento Vial.
- Pérdida de afirmado progresivo.
- Insuficiente sección vial.

Causa Directa:

- Vía en mala condición de transitabilidad.

### **1.6.3 Definición de efectos**

Efectos Indirectos:

- Flujo vehicular restringido.
- Aumento de los tiempos de viaje.
- Incremento de las tarifas de transporte para pasajeros y carga.
- Aumento de mermas en la carga.

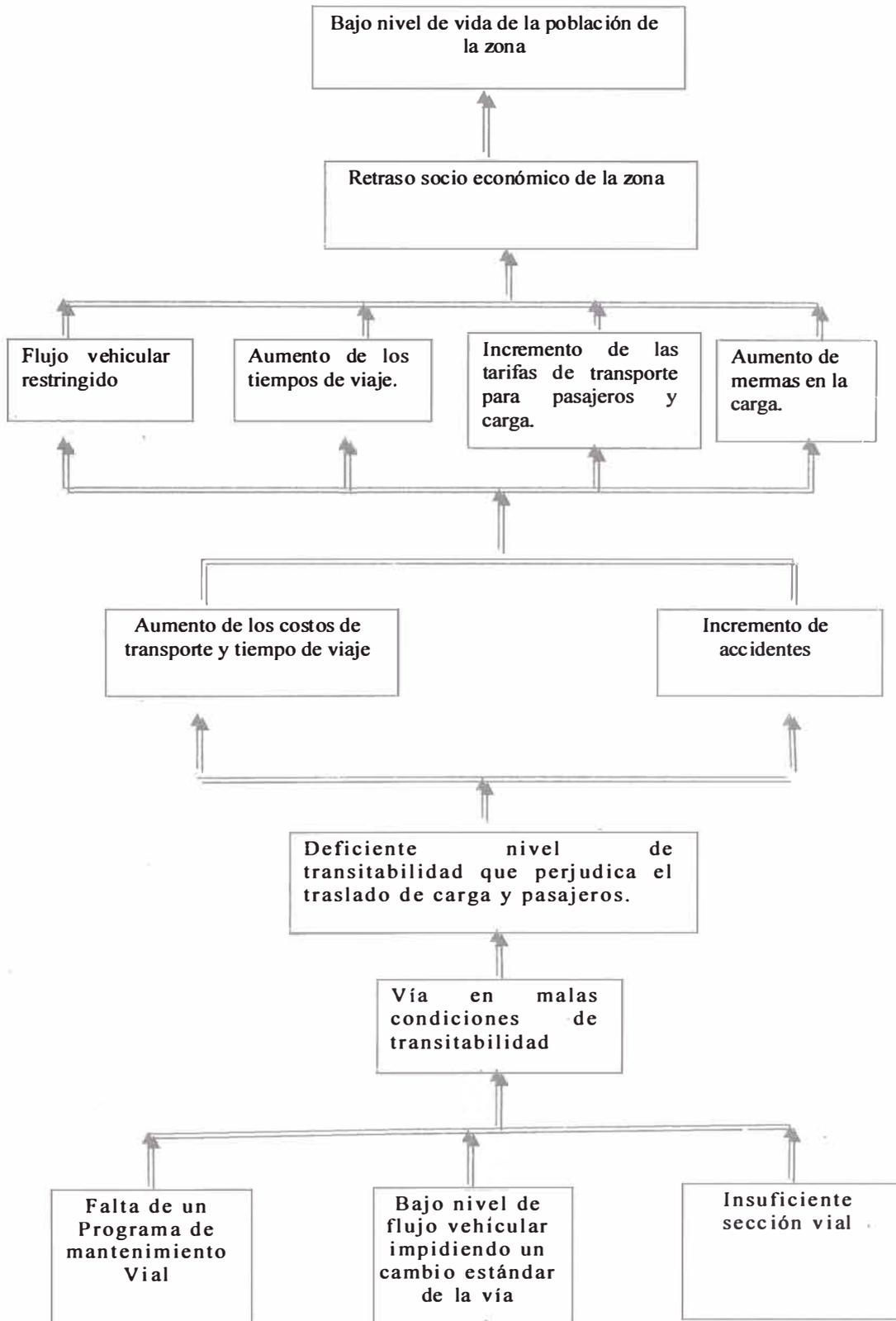
Efectos Directos:

- Aumento de los costos de transporte y tiempo de viaje.
- Incremento de accidentes.

Todos estos efectos contribuyen a un efecto final expresado como: “el bajo nivel de vida de la población”.

A continuación se muestra el árbol de causas y efectos.

Figura N° 1.2  
Árbol de causas y efectos



Fuente: Propia

## 1.7 Objetivo del Proyecto

El objetivo que plantea el proyecto es “Mejorar el nivel de transitabilidad que facilite el traslado de carga y pasajeros”.

### Medios Fundamentales

Los medios necesarios para alcanzar el objetivo son:

- Programa de mantenimiento rutinario y periódico adecuado.
- Adecuada sección vial.

Medios de Primer Nivel:

- Vía en buena condición de transitabilidad.

Fines Indirectos:

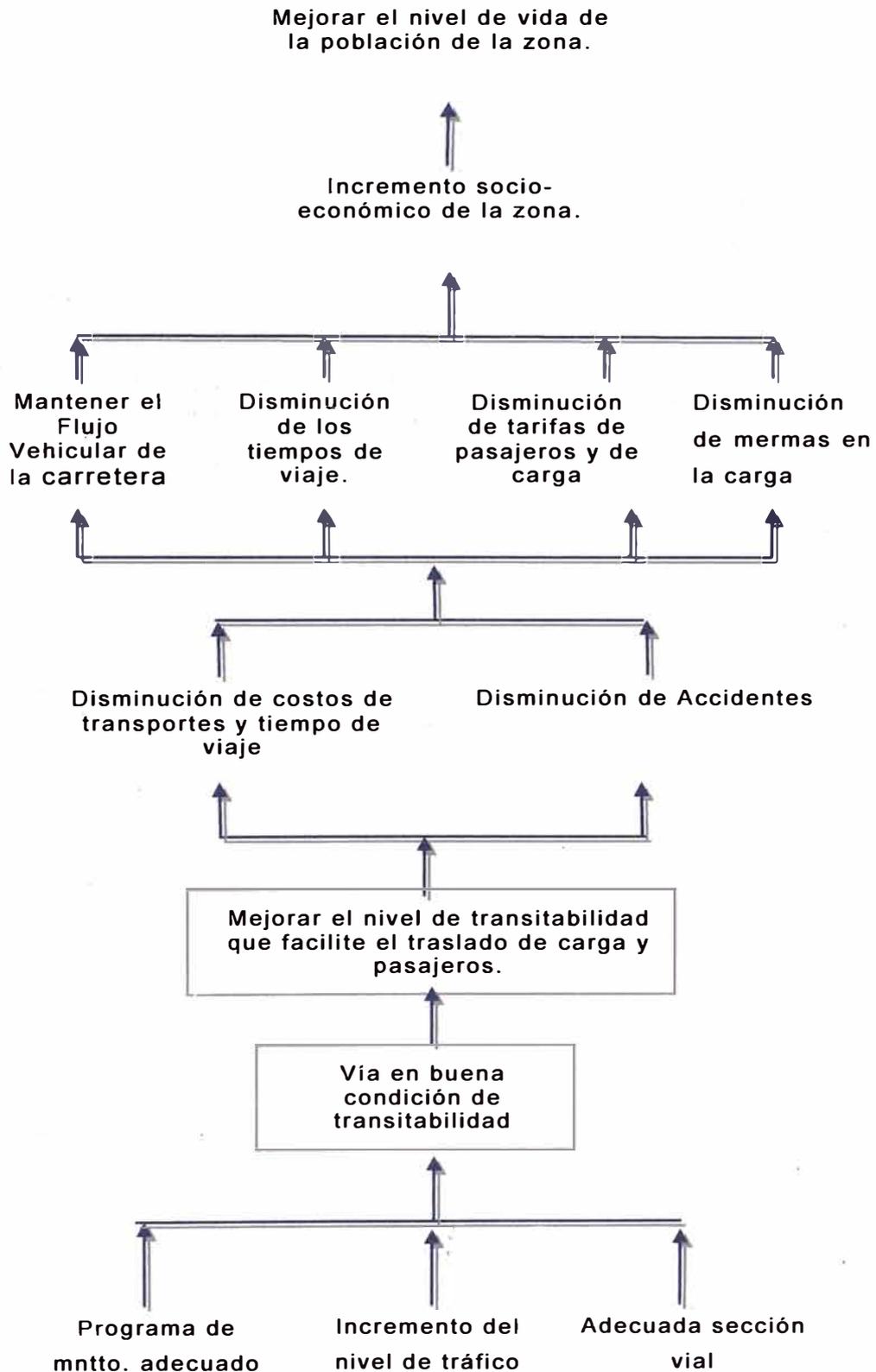
- Mantener el Flujo Vehicular de la carretera.
- Disminución de los tiempos de viaje.
- Disminución de tarifas de pasajeros y de carga.
- Disminución de las mermas en la carga.

Fines Directos:

- Disminución de los costos de transporte y tiempo de viaje.
- Disminución de accidentes.

Todos estos fines conllevan a un fin, expresado como: “Mejora del nivel de vida de las población”.

Figura N° 1.3  
Árbol de medios y fines



Fuente: Propia

## **1.8 Alternativas de Solución**

### **1.8.1 Alternativa N° 01**

En la primera alternativa se propone la rehabilitación de la carretera a nivel de trocha carrozable y mejoramiento a nivel de afirmado; se cuenta con las actividades de limpieza de derrumbes, desencalaminado, bacheo y la construcción de muros de contención e implementación de señales adecuados para la vía.

### **1.8.2 Alternativa N° 02**

Esta alternativa propone la Ampliación y Mejoramiento de la carretera a nivel de Tratamiento Superficial Bicapa (TSB). Las actividades a realizar son movimiento de tierras, corte y perfilado de taludes, conformación de las capas, construcción de obras de arte e implementación de señales adecuados para la vía.

### **1.8.3 Alternativa N° 03**

Esta alternativa propone la Ampliación y Mejoramiento de la carretera a nivel de carpeta asfáltica. Las actividades a realizar son movimiento de tierras, corte y perfilado de taludes, conformación del pavimento, construcción de obras de arte e implementación de señales adecuados para la vía.

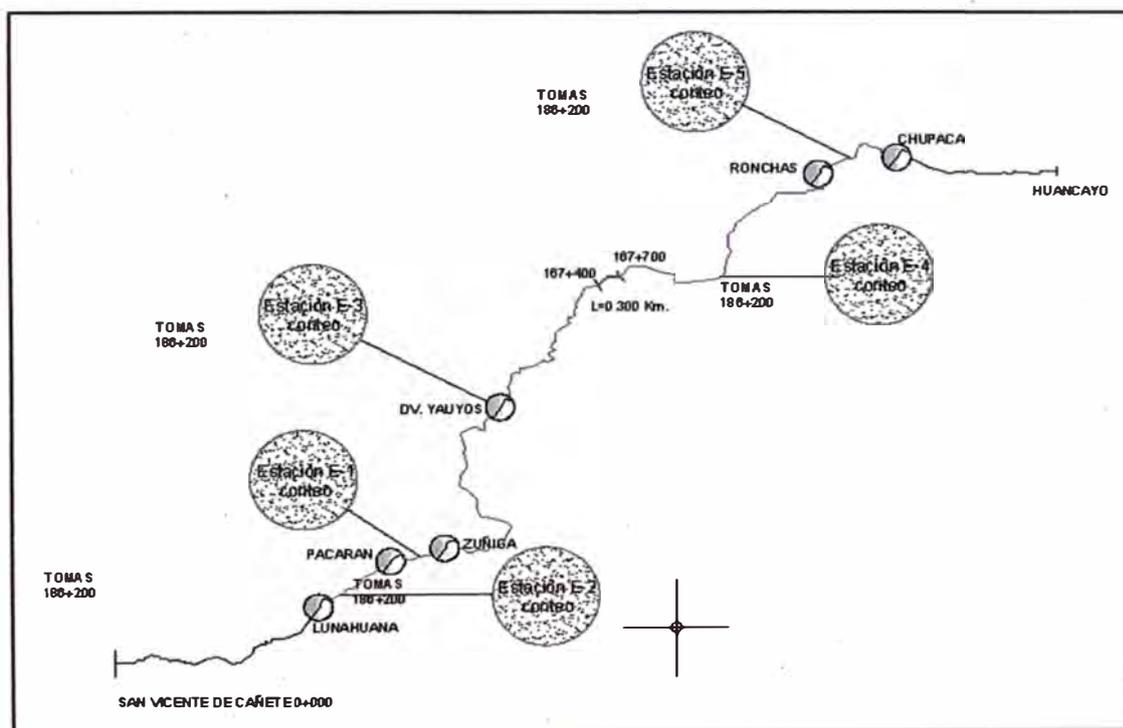
La alternativa N° 03 fue la elegida, aún la Evaluación económica haya salido desfavorable del tramo en estudio, para así poder tener el eje de desarrollo integrado de la Provincia de Yauyos y a la vez esta carretera sea una alternativa de solución ante la congestión vehicular de la Carretera Central.

## CAPÍTULO II: DISEÑO DEL PAVIMENTO

### 2.1 Estudio de tráfico y cargas

Para el estudio de tráfico del tramo 167+400 al 167+700 se tomó los datos de la estación de conteo E – 4 ubicada en el Distrito de Tomas (Prog. 186+200).

Figura N° 2.1  
Estaciones de conteo



Fuente: MTC

En el cuadro N° 2.1 se muestra el recuento y clasificación del tráfico vehicular realizado entre el 17 al 23 de Marzo del 2005 durante 24 horas, en la Estación de conteo N° 4.

Se observa la presencia solo de vehículos ligeros y medianos debido a que la vía presenta limitaciones en el ancho y altura en algunos puntos ubicados cercanos al tramo en estudio.

Cuadro N° 2.1  
Recuento y clasificación del tráfico vehicular

Fecha	Sentido	Auto- móvil	Cmta	Cmta. Rural	Micro	Omnibus		Camión				Semitraylers				Traylers				TOTAL
						2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	2S2	2S3	3S1	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
Jueves, 17 de Marzo de 2005	Yauyos - Roncha	3	2	2	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11
	Roncha - Yauyos	2	3	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	6
	Ambas	5	5	2	1	1	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	17
Viernes, 18 de Marzo de 2005	Yauyos - Roncha	2	2	1	1	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	Roncha - Yauyos	2	2	1	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9
	Ambas	4	4	2	1	2	0	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19
Sábado, 19 de Marzo de 2005	Yauyos - Roncha	1	4	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	Roncha - Yauyos	1	5	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	Ambas	2	9	1	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
Domingo, 20 de Marzo de 2005	Yauyos - Roncha	6	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10
	Roncha - Yauyos	4	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	Ambas	10	4	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	18
Lunes, 21 de Marzo de 2005	Yauyos - Roncha	5	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
	Roncha - Yauyos	5	8	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16
	Ambas	10	14	0	0	2	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28
Martes, 22 de Marzo de 2005	Yauyos - Roncha	2	8	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	12
	Roncha - Yauyos	1	6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
	Ambas	3	14	0	0	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
Miércoles, 23 de Marzo de 2005	Yauyos - Roncha	1	4	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	Roncha - Yauyos	2	2	0	0	1	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
	Ambas	3	6	0	0	2	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
Totales	Yauyos - Roncha	20	27	4	2	8	0	4	1	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	70
	Roncha - Yauyos	17	29	1	0	7	0	4	1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	62
	Ambas	37	56	5	2	15	0	8	2	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	132

Fuente: MTC

### Promedio de tráfico vehicular en la semana de conteo (IMD)

Es el promedio del tráfico que se obtuvo en la semana de estudio y se obtiene de la siguiente manera:

$$\text{IMD} = \text{Suma de volumen diario} / 7$$

Cuadro N° 2.2

Promedio del tráfico vehicular en la semanal de conteo

	TRAMO	Auto-movil	Cmta	Cmta. Rural	Micro	Omnibus		Camión				TOTAL
						2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	
Totales	Yauyos - Roncha	20	27	4	2	8	0	4	1	4	0	70
	Roncha - Yauyos	17	29	1	0	7	0	4	1	3	0	62
	Ambas	37	56	5	2	15	0	8	2	7	0	132
<b>Promedio de la semana (IMD)</b>		<b>5</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>19</b>

Fuente: Propia

### Factores de corrección estacional

Se ha tomado el Promedio de los Factores de corrección de la unidad de Peaje "Quiulla" F. C. Ligeros = 1.09983 y F. C. Pesados = 1.10303

### Factor de corrección diario

Se calcula relacionando el volumen **PROMEDIO** diario con el volumen de cada día.

Cuadro N° 2.3

Factor de corrección diario

DIA	VOLUMEN	FACTOR
JUEVES	17	1.11
VIERNES	19	0.99
SÁBADO	16	1.18
DOMINGO	18	1.05
LUNES	28	0.67
MARTES	20	0.94
MIÉRCOLES	14	1.35
<b>PROMEDIO</b>	<b>18.86</b>	<b>1.00</b>

Fuente: Propia

### Tráfico vehicular anual (IMD<sub>a</sub>)

Se obtiene multiplicando el promedio de la semana por los factores de corrección estacional y diario.

Cuadro N° 2.4  
Tráfico vehicular anual

	TRAMO	Auto movil	Cmta	Cmta. Rural	Micro	Omnibus		Camión				TOTAL
						2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	
Totales	Yauyos - Roncha	20	27	4	2	8	0	4	1	4	0	70
	Roncha - Yauyos	17	29	1	0	7	0	4	1	3	0	62
	Ambas	37	56	5	2	15	0	8	2	7	0	132
Promedio de la semana (IMD)		5	8	1	0	2	0	1	0	1	0	19
Totales corregidos	Yauyos - Roncha	21	30	5	2	9	0	5	1	5	0	78
	Roncha - Yauyos	18	31	1	0	8	0	5	1	3	0	67
	Ambas	40	61	6	2	17	0	10	2	8	0	145
Indice Medio Diario Anual. (IMDa)		6	9	1	0	2	0	1	0	1	0	21

Fuente: Propia

### 2.1.1 Proyecciones del tráfico

Proyección del Tráfico Normal; se proyectarán los tráficos livianos y pesados al 2019 por separado, teniendo en cuenta que el tramo en evaluación se encuentra en la provincia de Yauyos, departamento de Lima; muy cercano al departamento de Junín por lo que se tomará en cuenta ambos departamentos para su evaluación.

Para el cálculo del **tráfico normal liviano al 2019** se tomarán en cuenta las tasas de crecimiento poblacional de los departamentos en mención, siendo 1.7% para Lima y 1.1% para Junín, promediando ambas se obtiene 1.4%, que es la tasa para la proyección del tráfico ligero hasta el 2019.

Cuadro N° 2.5  
Tasas de crecimiento anual de la población por departamento

Año	Lima	Junin	Promedio (Lima y Junin)
2005	1.70%	1.10%	1.40%
2006	1.70%	1.10%	1.40%
2007	1.70%	1.10%	1.40%
2008	1.70%	1.10%	1.40%
2009	1.70%	1.10%	1.40%
2010	1.70%	1.10%	1.40%
2011	1.70%	1.10%	1.40%
2012	1.70%	1.10%	1.40%
2013	1.70%	1.10%	1.40%
2014	1.70%	1.10%	1.40%
2015	1.70%	1.10%	1.40%
2016	1.10%	0.50%	0.80%
2017	1.10%	0.50%	0.80%
2018	1.10%	0.50%	0.80%
2019	1.10%	0.50%	0.80%

Fuente: MEF

Para el cálculo del **tráfico Normal pesado al 2019** se tomarán en cuenta las tasas de crecimiento anual de PBI (en escenario neutro) estimados por la MEF de los departamentos en mención, siendo 3.7% para Lima y 3.6% para Junín, promediando ambas se obtiene 3.7%, que es la tasa para la proyección del tráfico pesado hasta el 2019.

Cuadro N° 2.6

Tasas de crecimiento anual de PBI (en escenario neutro)

Año	Lima	Junin	Promedio (Lima y Junin)
2005	3.80%	3.60%	3.70%
2006	3.90%	3.70%	3.80%
2007	3.90%	3.70%	3.80%
2008	3.80%	3.70%	3.75%
2009	3.80%	3.60%	3.70%
2010	3.70%	3.60%	3.65%
2011	3.40%	3.60%	3.50%
2012	3.80%	3.40%	3.60%
2013	3.50%	3.50%	3.50%
2014	3.50%	3.50%	3.50%
2015	3.50%	3.50%	3.50%
2016	3.50%	3.50%	3.50%
2017	3.60%	3.60%	3.60%
2018	3.60%	3.60%	3.60%
2019	3.60%	3.70%	3.65%

Fuente: MEF-Estudio Universidad del Pacifico

Con la obtención de estos datos se procede a realizar el cuadro de Proyección del tráfico normal, de la siguiente manera:  $t_{n+1} = t_{2005} \times (1+r)^{(n-2005)}$

Cuadro N° 2.7

Proyección del tráfico normal

Tráfico Normal Corregido (IMDa)	Auto movil	Cmta	Cmta Rural	Micro	Omnibus		Camión				TOTAL
					2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	
2005	6	9	1	0	2	0	1	0	1	0	21
Tasa de Crecimiento (r %)	1.4				3.7						
2010	6	9	1	0	3	0	2	0	1	0	23
2011	6	9	1	0	3	0	2	0	1	0	23
2012	6	10	1	0	3	0	2	0	1	0	23
2013	6	10	1	0	3	0	2	0	1	0	24
2014	6	10	1	0	3	0	2	0	2	0	24
2015	6	10	1	0	3	0	2	0	2	0	25
2016	7	10	1	0	3	0	2	0	2	0	25
2017	7	10	1	0	3	0	2	0	2	0	26
2018	7	10	1	0	3	0	2	1	2	0	26
2019	7	11	1	0	3	0	2	1	2	0	27

Fuente: Propia

**Proyección del tráfico desviado;** considerando las mejoras que se obtendrán al ejecutar el Mejoramiento de esta vía, se prevé que se producirá un tráfico desviado siendo éstos los vehículos que actualmente circulan por la ruta Huancayo – Oroya – Lima, que escogen esta vía porque se encuentra asfaltada en toda su extensión. Otro punto para tomar en cuenta es que los vehículos que escojan esta vía, tendrán una salida más fluida hacia la Panamericana Sur y no tendrán que lidiar con el tráfico de Lima.

De la información del MTC, se tomó la encuesta origen – destino realizada el 2005 en la estación “Quiulla” ubicado en el tramo La Oroya - Huancayo, encontrándose que del total de vehículos encuestados aproximadamente 11 vehículos pesados actualmente hacen uso de la ruta alterna a la carretera en estudio, por lo que se estima que este número de vehículos optarían por desviarse a la vía R 22 Cañete - Yauyos - Huancayo una vez esta sea mejorada.

Cuadro N° 2.8

Tráfico desviado encuestado

Tráfico Desviado	Auto móvil	Cmta	Cmta Rural	Micro	Omnibus		Camión				Semitraylers				Traylers				TOTAL
					2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	2S2	2S3	3S1	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
2005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	8	0	0	0	0	11

Fuente: MTC

Cuadro N° 2.9

Proyección del tráfico desviado

Tráfico Desviado	Auto móvil	Cmta	Cmta Rural	Micro	Omnibus		Camión				Semitraylers				Traylers				TOTAL	
					2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	2S2	2S3	3S1	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
2005	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	8	0	0	0	0	11	
Tasa de Crecimiento (%)	1.4				3.7															
2010	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	10	0	0	0	0	13	
2011	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	10	0	0	0	0	14	
2012	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	10	0	0	0	0	14	
2013	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	11	0	0	0	0	14	
2014	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	11	0	0	0	0	15	
2015	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	12	0	0	0	0	16	
2016	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1	0	12	0	0	0	0	16	
2017	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	12	0	0	0	0	17	
2018	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	13	0	0	0	0	17	
2019	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	2	2	0	13	0	0	0	0	18	

Fuente: Propia

**Proyección del tráfico generado;** se considerará como tráfico generado un 20% (para vehículos ligeros y vehículos de carga) con respecto al tráfico normal, porcentajes que se asumen tomando en cuenta el promedio de los resultados de evaluación efectuada en carreteras donde se ejecutaron proyectos de Rehabilitación y Mejoramiento a Nivel de Asfaltado.

Cuadro N° 2.10  
Proyección del tráfico generado

Tráfico Normal Corregido	Auto movil	Cmta	Cmta	Micro	Omnibus		Camión				TOTAL
					2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	
2009	6	9	1	0	3	0	2	0	1	0	22
Tasa del tráfico generado (%)											
Tasa de Crecimiento (%)	1.4										
Tráfico Generado en el año	Auto movil	Cmta	Cmta	Micro	Omnibus		Camión				TOTAL
2010	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	4
2011	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2012	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2013	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2014	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2015	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2016	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2017	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2018	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5
2019	1	2	0	0	1	0	0	0	0	0	5

Fuente: Propia

Tráfico total, está conformado por la suma del tráfico normal, desviado y generado, asumiendo el año 2010 como inicio de operación de la carretera.

Cuadro N° 2.11  
Proyección del tráfico total

Tráfico Generado en el año	Auto- móvil	Cmta	Cmta Rural	Micro	Ómnibus		Camión				Semitrailers				Trailers				TOTAL
					2E	3E	2E - L	2E - P	3E	4E	2S2	2S3	3S1	≥3S3	2T2	2T3	3T2	≥3T3	
2010	7	11	1	0	4	0	2	0	2	0	1	1	0	10	0	0	0	0	40
2011	7	11	1	0	4	0	2	0	2	0	1	1	0	10	0	0	0	0	41
2012	7	11	1	0	4	0	2	0	2	0	1	1	0	10	0	0	0	0	42
2013	8	12	1	0	4	0	2	0	2	0	1	1	0	11	0	0	0	0	43
2014	8	12	1	0	5	0	2	1	2	0	1	1	0	11	0	0	0	0	44
2015	8	12	1	0	5	0	2	1	2	0	1	1	0	12	0	0	0	0	45
2016	8	12	1	0	5	0	2	1	2	0	1	1	0	12	0	0	0	0	46
2017	8	12	1	0	5	0	3	1	2	0	2	2	0	12	0	0	0	0	47
2018	8	12	1	0	5	0	3	1	2	0	2	2	0	13	0	0	0	0	48
2019	8	13	1	0	5	0	3	1	2	0	2	2	0	13	0	0	0	0	50

Fuente: Propia

### 2.1.2 Ejes equivalentes para el diseño del pavimento

Una vez obtenido el Tráfico Total, necesitamos los pesos de los ejes, los cuales serán tomados del Reglamento Nacional.

Se analizará en los siguientes cuadros solamente los vehículos que se prevé circularán a lo largo del periodo de diseño.

Cálculo del factor destructivo (FD)

Cuadro N° 2.12

No	TIPO	PES EJE1	PES EJE2	PES EJE3	PES EJE4	PES EJE5	PESEJE6	FACTORES EQUIVALENTES DE CARGA			FD
1	B2	7000	11000					S1 = 1.27	S2 = 3.24		4.50
2	C2	7000	11000					S1 = 1.27	S2 = 3.24		4.50
3	C3	7000	9000	9000				S1 = 1.27	ETa2 = 2.07		3.34
4	T2S2	7000	11000	9000	9000			S1 = 1.27	S2 = 3.24	ETa3 = 2.07	6.58
5	T2S3	7000	11000	8300	8300	8300		S1 = 1.27	S2 = 3.24	ETr3 = 1.37	5.88
6	T3S3	7000	9000	9000	8300	8300	8300	S1 = 1.27	ETa2 = 2.07	ETr3 = 1.37	4.71

Fuente: Propia

Cálculo del factor de equivalencia de carga camión (FC<sub>real</sub>)

Cuadro N° 2.13

No	TIPO	FD	Pinnado (P%)	P <sub>contacto</sub> (P%)	FC <sub>PLL</sub> $0.21 \times 10^{-4} \times (P_{\text{contacto}})^{1.73427}$	FC <sub>real</sub> FD x FC <sub>PLL</sub>
1	B2	4.50	100	90	1.5	6.98
2	C2	4.50	100	90	1.5	0.90
3	C3	3.34	100	90	1.5	5.18
4	T2S2	6.58	100	90	1.5	10.17
5	T2S3	5.88	100	90	1.5	9.09
6	T3S3	4.71	100	90	1.5	7.29

Fuente: Propia

Cálculo de los Números de ejes equivalentes del camión (EAL)

Cuadro N° 2.14

No	TIPO	TASA (r %)	FACTOR CRECIMIENTO (FCREC)	IMD 2010 (AMBOS SENTIDOS)	EAL (10 años) 365 x FCREC x FC <sub>real</sub> x IMD
			$\frac{(1+r)^n - 1}{r}$ n = 10 AÑOS		
1	B2	1.4	10.05	4	1.00E+05
2	C2	3.7	11.84	2	5.95E+04
3	C3	3.7	11.84	2	4.48E+04
4	T2S2	3.7	11.84	1	5.08E+04
5	T2S3	3.7	11.84	1	4.54E+04
6	T3S3	3.7	11.84	10	3.15E+05

Fuente: Propia

## Número equivalente de diseño

$$W_{18} (\text{diseño}) = 3.08 \times 10^5$$

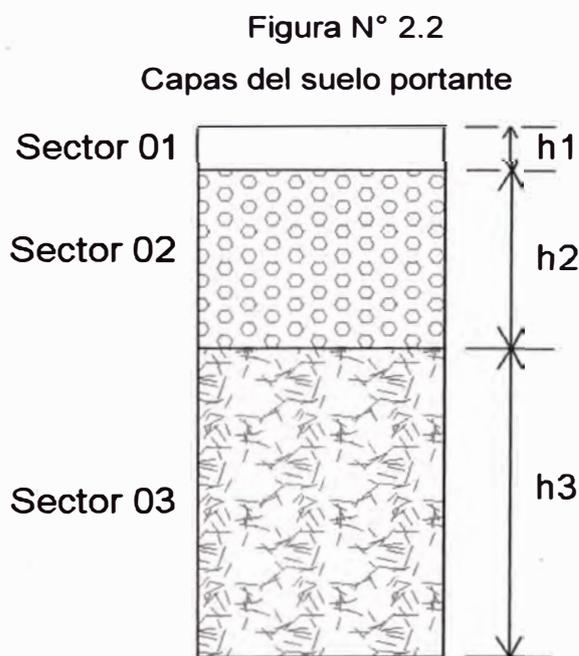
## 2.2 Estudio de suelos y canteras

### 2.2.1 Estudio de suelos

#### Trabajo de campo

El día Sábado 11 de abril del 2009 se realizó el trabajo de campo del tramo en estudio; se ejecutó un pozo exploratorio a "cielo abierto" de 1.20m de profundidad en la progresiva 167+540 lado izquierdo, ubicado en el Distrito de Alis, Provincia de Yauyos.

Se tomó un registro de los espesores, características de gradación y el estado de compactación de las capas del suelo portante, las que se muestran a continuación:



Cuadro N° 2.15  
Estado de compactación de cada capa de suelo

	Prof. (m)	Gradación	Compacidad relativa (%)
Sector 01	0.1	Material preparado	90
Sector 02	0.4	Grava limosa bien gradada	70
Sector 03	0.7	Combinación de Grava limosa con bolonería de hasta 0.30 m de diámetro.	70

Fuente: Propia

Cabe anotar que a la profundidad estudiada no se encontró la napa freática. Se llevó una muestra representativa para ser ensayada en el laboratorio de Mecánica de Suelos.

### Ensayos de laboratorio

La muestra de suelo fue clasificada y seleccionada siguiendo el procedimiento descrito en ASTM D-2488 "Práctica recomendada para la Descripción de suelos" La muestra fue sometida a los siguientes ensayos:

### Ensayos estándar

- Análisis Granulométrico por tamizado - (ASTM D-422)

Cuadro N° 2.16  
Análisis granulométrico

Tamiz	Abertura (mm)	(% ) Parcial retenido	% acumulado	
			Retenido	Pasa
3"	76.200	0	0	100
2"	50.300	4.4	4.4	95.6
1 1/2"	38.100	7.3	11.7	88.3
1"	25.400	10	21.7	78.3
3/4"	19.050	4.6	26.3	73.7
1/2"	12.700	9	35.3	64.7
3/8"	9.525	6.5	41.8	58.2
1/4"	6.350	7.2	49	51
N° 4	4.760	5.4	<b>54.4</b>	45.6
N° 10	2.000	10.5	64.9	35.1
N° 20	0.840	6	70.9	29.1
N° 30	0.590	1.8	72.7	27.3
N° 40	0.426	1.8	74.5	25.5
N° 60	0.250	3	77.5	22.5
N° 100	0.149	2.8	80.3	19.7
N° 200	0.074	0.8	<b>81.1</b>	18.9
N° 200>		-		

Fuente: Laboratorio de suelos y pavimentos - UNI

Cuadro N° 2.17  
Resumen granulométrico

% Grava :	54.4
% Arena :	26.7
% Finos :	18.9

Fuente: Laboratorio de suelos y pavimentos - UNI

- Límites de consistencia - (ASTM D-4318)

Cuadro N° 2.18

Límites de consistencia

Límite Líquido (%) :	43.93
Límite Plástico (%) :	NP
Índice Plástico (%) :	NP

Fuente: Laboratorio de suelos y pavimentos - UNI

- Clasificación SUCS – ASTM D-2487

**GM**

- Clasificación AASHTO M - 145

**A – 2 – 5 (0)**

**Ensayos especiales**

- CBR

Los valores del CBR para este estudio fueron tomados de ensayos realizados en el Proyecto Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga - Dv. Yauyos – Ronchas, 2008.

Cuadro N° 2.19

Análisis de CBR

Progresiva	Lado	CBR (%)	
		95% M.D.S	100% M.D.S
156+000	Derecho	17.5	32.5
162+000	Derecho	16.6	37.4
170+000	Izquierda	19	34.7
<b>CBR prom. :</b>		<b>17.7</b>	<b>34.9</b>

Fuente: MTC

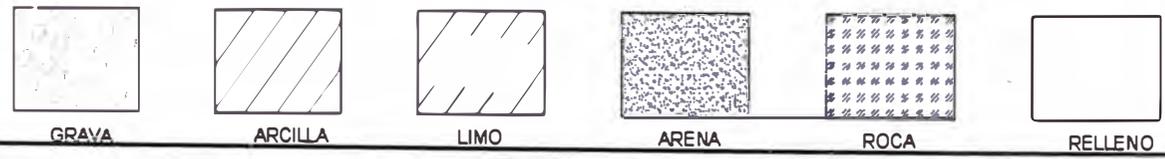
Con estos datos y los realizados en estudios anteriores por parte del MTC, se procede a presentar el Cuadro N° 20, el que detalla el perfil estratigráfico de la zona implicada.

Cuadro N° 2.20  
Perfil estratigráfico



Progresiva Actual	162+375	162+710	163+020	163+300	163+700	164+100	164+440	164+760	165+120	165+605	166+270	166+930	167+700	168+200	168+790	169+350	169+970	170+510	171+350	171+700
Profundidad 01	0.15	0.2	0.4	0.7	0.3	1.6	0.7	1.6	1.5	0.9	1.4	1.5	0.8	1.3	0.5	0.4	0.9	0.15	0.15	0.2
Clasificación AASHTO	R	R	R	R	R	A-1-b(0)	A-2-4(0)	A-1-b(0)		A-2-4(0)			A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-b(0)	A-1-b(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)	A-1-a(0)
Clasificación SUCS	R	R	R	R	R	GM	GC	SM	ROCA	SC-SM	ROCA	ROCA	GP	GP	SP	SP-SM	GP	GP	GP	GP
Profundidad 02	1.7	1.1	1.5	1.6	1.7		1.3			1.6			1.6	1.6	1.7	1.2	1.6	0.5	0.5	1.1
Clasificación AASHTO	A-4(7)	A-2-4(0)	A-1-a(0)	A-4(7)	A-2-4(0)		A-1-b(0)			A-1-b(0)			A-4(8)		A-6(9)	A-4(0)	A-1-b(0)			A-1-b(0)
Clasificación SUCS	CL	SC-SM	GP	CL	GC		GM			SP-SM			ML	SP	CL	SC-SM	SP	GP	GM	GC
Profundidad 03		1.5					1.4									1.6		1.6	1.5	1.5
Clasificación AASHTO							A-4(0)											A-2-4(0)	A-1-a(0)	
Clasificación SUCS		GC					SC									CL-ML		GM	ROCA	ROCA
Profundidad 04							1.7													
Clasificación AASHTO																				
Clasificación SUCS							GM													

CUADRO DE REFERENCIA



Fuente: MTC

### 2.2.2 Estudio de canteras

De estudios anteriores por parte del MTC, se tienen ubicadas algunas canteras existentes en la zona, las cuales se mencionarán en los siguientes cuadros.

#### Cantera para carpeta asfáltica

Se determinó que el agregado para la carpeta asfáltica lo podemos encontrar en las canteras que se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.21

Canteras para carpeta asfáltica

Cantera						Planta de asfalto y			Obra
Nombre	CBR	Vol (m3)	Rend (%)	Prog.	Acceso (m)	Nombre	Prog.	Acceso	Prog.
Cascajal	79	1,250,000	90	64+000	100	Huantan	138+000	0	167+550
Rio Cañete	73	15,000	90	81+850	80	Huantan	138+000	0	167+550
San Blas	65	540,000	90	234+500	600	San Blas	234+500	0	167+550

Fuente: MTC

Por la cercanía del lugar y considerando los factores técnicos, se concluye que se explotará la Cantera "Rio Cañete" y la planta de asfalto estará ubicada en Huantan.

Por lo tanto el agregado de la Carpeta asfáltica tendrá CBR = 73

#### Cantera para base

Se determinó que el agregado para la base lo podemos encontrar en las canteras que se describen en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.22

Canteras para base

Cantera						Obra
Nombre	CBR	Vol (m3)	Rend (%)	Prog.	Acceso (m)	Prog.
Cascajal	79	1,250,000	90	64+000	100	167+550
Rio Cañete	73	15,000	90	81+850	80	167+550
San Blas	65	540,000	90	234+500	600	167+550

Fuente: MTC

Además, los requisitos granulométricos que se indican en la [Tabla 305-1](#) de las Especificaciones técnicas del MTC, nos señalan que para las zonas con altitud

de 3000 msnm a más se deberá seleccionar la gradación "A"; por lo cual la única cantera que cumple con este requisito es la cantera "Cascajal".

Por lo tanto el agregado de la Base tendrá CBR = 79

### Cantera para sub-base

El agregado para la sub-base la podemos encontrar en las canteras que se describen en el siguiente cuadro

Cuadro N° 2.23  
 Canteras para sub-base

Cantera						Obra
Nombre	CBR	Vol (m3)	Rend (%)	Prog.	Acceso (m)	Prog.
Rumichaca I	54	105,000	90	136+200	70	167+550
Chaucha	48	150,000	90	187+000	12000	167+550
Shicuy	48	540,000	90	207+000	100	167+550

Fuente: MTC

Además, los requisitos granulométricos que se indican en la **Tabla 303-1** de las Especificaciones técnicas del MTC, nos señalan que para las zonas con altitud de 3000 msnm a más se deberá seleccionar la gradación "A"; por lo cual la única cantera que cumple con este requisito es la cantera "Rumichaca I".

Por lo tanto el agregado de la Sub-base tendrá CBR = 54

En el anexo 3 se presentan las canteras de agregados, para carpeta asfáltica, base granular y sub-base.

### 2.2.3 Fuentes de agua

El lugar más próximo y que además cumple los requisitos para el aprovechamiento de las aguas es Río Alis, ubicado en la progresiva 160+500.

En el anexo 3 se detalla la ubicación de las fuentes de agua

### 2.3 Voladura de roca

Una de las restricciones por lo cual el ancho de calzada es reducido es debido al manto rocoso que se ubica muy cercano a la vía, razón por la cual se debe de tratar este tema dentro del presente estudio.

Figura N° 2.3

Vista panorámica actual de la vía



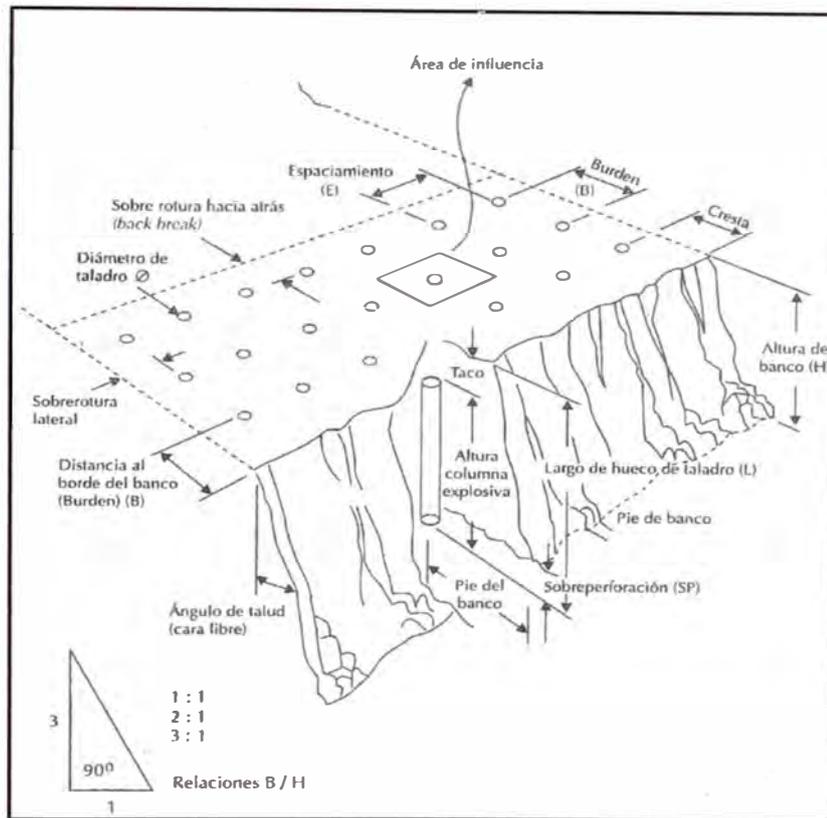
Fuente: Propia

#### 2.3.1 Definición de voladura

Aplicando el criterio de la mecánica de rotura, la voladura es un proceso tridimensional, en el cual las presiones generadas por explosivos confinados dentro de taladros perforados en la roca, originan una zona de alta concentración de energía que produce dos efectos dinámicos: fragmentación y desplazamiento. El primero se refiere al tamaño de los fragmentos producidos, a su distribución y porcentajes por tamaños, mientras que el segundo se refiere al movimiento de la masa de roca triturada.

Existe una serie de factores que intervienen directa o indirectamente en la voladura, que son mutuamente dependientes o que están relacionados uno a otro, siendo estos los parámetros de la roca, parámetros del explosivo y condiciones de la carga.

Figura N° 2.4  
Banco de voladura

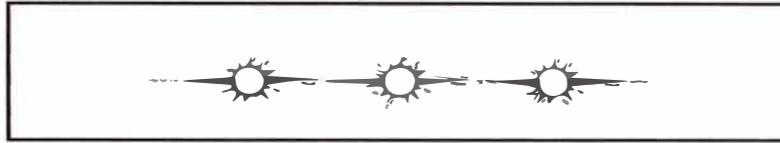


Fuente: EXSA

### Teoría del método

Una carga explosiva convencional acoplada, que llena completamente un taladro, al detonar crea una zona adyacente en la que la resistencia dinámica a compresión de la roca es ampliamente superada, triturándola y pulverizándola. Fuera de esa zona de transición, los esfuerzos de tracción asociados a la onda de compresión generan grietas radiales alrededor de todo el taladro, lo que se denomina fisuramiento radial. Cuando son dos las cargas que se disparan simultáneamente, esas grietas radiales tienden a propagarse por igual en todas las direcciones, hasta que por la colisión de las dos ondas de choque en el punto medio entre taladros, se producen esfuerzos de tracción complementarios perpendiculares al plano axial.

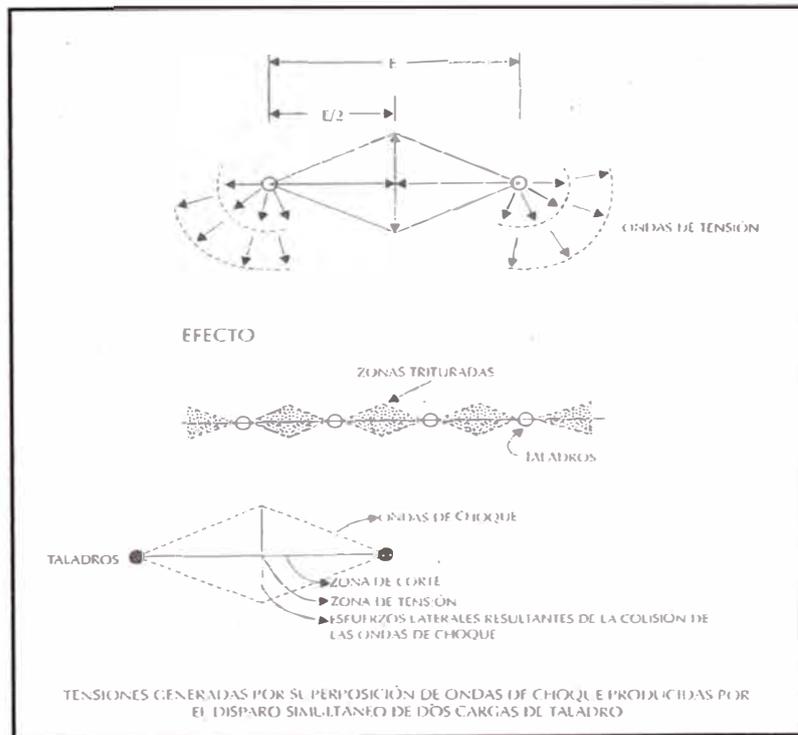
Figura N° 2.5  
Principio de fisuramiento lineal en la roca



Fuente: EXSA

Las tracciones generadas en ese plano superan la resistencia dinámica a tracción de la roca, creando un nuevo agrietamiento y favoreciendo la propagación de las grietas radiales en la dirección de corte proyectado, lográndose esto en especial cuando dos barrenos son cercanos. Posteriormente estas grietas se amplían y extienden porque el retacado no permite el escape de los gases de explosión, luego éstos se infiltran en las grietas; la propagación en el plano axial junto con el efecto de apertura por la presión de gases permiten obtener un plano de fractura definido, según esto el mecanismo de trabajo de una voladura de contorno comprende dos efectos diferentes: uno derivado de la acción de la onda de choque y otro derivado de la acción de los gases en expansión.

Figura N° 2.6  
Mecánica de corte lineal



Fuente: EXSA

## 2.3.2 Diseño de voladura

### Parámetros de diseño

Para conseguir un diseño eficiente de la perforación y voladura, es preciso conocer y calcular un grupo de variables, siendo estas:

#### **Diámetro del barreno**

Tiene especial importancia en un proyecto de perforación y voladuras, depende de numerosos factores y condiciona las otras variables posteriores.

Los criterios básicos para su elección son:

- Características geológico-geotécnicas del macizo rocoso.
- Altura de banco
- Configuración del explosivo dentro del barreno
- La granulometría deseada del material volado.
- Costo total de la operación de perforación y voladuras.

Cuando el diámetro del barreno es pequeño, el explosivo se encuentra mejor distribuido en el barreno y el consumo por m<sup>3</sup> del explosivo será bajo, pero el costo de operación aumentará.

En la alternativa de diámetros mayores, las ventajas son los mayores rendimientos de perforación por m<sup>3</sup> de material volado por ml perforado.

En el empleo de pequeños diámetros de perforación, concretamente la gama se encuentra comprendida entre los 65 y 125 mm, constituyendo una práctica habitual para los equipos existentes.

Para carreteras y autopistas, es típico utilizar la siguiente relación, para el cálculo del diámetro del barreno:

$$D = \frac{H}{60}$$

#### **Altura de banco (H)**

Es la distancia vertical desde la superficie horizontal superior (cresta) a la inferior estipulada. Debe determinarse en función del equipo de perforación disponible y del diámetro elegido para la ejecución del barreno.

Cuando la relación:

$$\frac{\text{Altura de banco (H)}}{\text{Burden (B)}}$$

- Si H es muy pequeño, cualquier variación del valor de B tiene una gran influencia en los objetivos que se intentan conseguir con la voladura.
- Si B es constante y H aumenta, el espaciamiento entre barrenos puede variar sin verse afectada la fragmentación que se quiere alcanzar.
- Para  $\frac{H}{B} = 1$ , se obtendría una fragmentación gruesa con problemas de sobre excavación, este problema desaparece con diseños geométricos en los que  $\frac{H}{B} = 3$ .
- No es aconsejable sobrepasar una altura de banco superior a los 15 m si no existen razones objetivas o condicionantes importantes para ello; por lo cual para alturas de banco mayores debe contemplarse la alternativa de dividir la zona de trabajo en dos o más bancos, por seguridad y mejora de los rendimientos en los equipos de perforación.

#### - **Inclinación de los barrenos ( $\alpha$ )**

Las ventajas e inconvenientes que supone emplear la perforación inclinada en una excavación por voladuras son:

##### Ventajas

- Mayor rendimiento de la perforación por  $m^3$  de roca removida.
- Taludes más seguros.
- Menor sobreperforación y mayor aprovechamiento de la energía desarrollada por el explosivo utilizado, aminorando los niveles de vibración.
- Menor consumo específico de explosivo.

##### Desventajas

- Mayor longitud de perforación, generalmente mayor costo total de operación.
- Cuando los barrenos son largos puede producirse una mayor desviación.
- Mayor desgaste en la maquinaria.

### - Longitud del barreno (L)

Viene dado por la siguiente expresión:

$$L = \frac{H}{\cos \alpha} + \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right) \times SP$$

### - Retacado (T)

El retacado del barreno tiene por finalidad confinar y retener los gases producidos por el explosivo una vez detonado, a efectos de desarrollar la máxima fragmentación de la roca. La longitud del retacado aumenta con el diámetro de perforación; su dimensionamiento es uno de los requisitos para obtener tamaños deseados de los bloques, de usarse en exceso la longitud de retacado producirá una gran cantidad de bloques pequeños y por el contrario si la longitud es deficiente aumenta el riesgo de posibles proyecciones de roca.

A efectos prácticos puede considerarse que la longitud de retacado aumenta si los parámetros de calidad del macizo rocoso empeoran, variando en la siguiente proporción:

$$25D < \text{Longitud de Retacado} < 60D$$

### - Burden (B) y espaciamento (E)

El burden es la distancia entre las filas de los taladros y el espaciamento es la distancia entre los barrenos de una línea, éstos dependen del diámetro de perforación, las propiedades geomecánicas de las rocas a volar, explosivos por utilizar y desplazamiento que se espera conseguir con la voladura.

En el cálculo de un esquema, una de las primeras variables que deben conocerse es el Burden, existen numerosas expresiones para su cálculo; siendo una de las más utilizadas en nuestro medio la siguiente:

#### Si $H > 100 D$

Los valores del burden y del espaciamento del cálculo inicial se pueden estimar según la resistencia a la compresión simple de la roca en MPa. En el siguiente cuadro se detalla las dimensiones recomendadas.

Cuadro N° 2.24  
Valores recomendados en la distribución de barrenos

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA (Mpa)	VARIABLES DE DISEÑO				
	BURDEN (B)	ESPACIAMIENTO (C)	LONGITUD DE CARGA DE FONDO (CF)	RETACADO (T)	SOBRE PERFORACIÓN (SP)
BLANDA < 70	39D	51D	30D	35D	10D
MEDIA 70 - 120	37D	47D	35D	34D	11D
DURA 120 - 180	35D	43D	40D	32D	12D
MUY DURA > 180	33D	38D	46D	30D	12D

Fuente: Informe de suficiencia UNI 2006

Si  $H < 100 D$

El valor del burden (B) puede estimarse a partir de la expresión:

$$B = \sqrt{\frac{Q_b}{\frac{E}{B} \times \frac{H}{\cos \alpha} \times C_e}}$$

Un espaciamiento (E) excesivo entre barrenos da lugar a una fracturación inadecuada, con resultados de bloques de gran tamaño y frentes irregulares. En caso que esta distancia sea pequeña daría como resultado aumento de fragmentación de la roca que podría utilizarse pero el frente libre de la roca estaría altamente fracturado, sobre excavaciones y presencia de lomos.

#### - Sobreperforación (SP)

Es la longitud del barreno por debajo de la horizontal inferior (rasante), para no producir lomos, en exceso produciría sobre excavación.

$$SP = 0.3 \times B$$

Como valores usuales de relación sobreperforación (SP) – burden (B) para voladuras en bancos, tenemos:

Cuadro N° 2.25  
Relación SP vs B en rocas y sus consecuencias

CALIDAD DE ROCA	RELACION (SP/B)	CARACTERISTICAS DE LOS LOMOS
ROCA BLANDA (70 Mpa)	0.1 - 0.2	Lomo poco probable
ROCA MEDIA (70 - 120 Mpa)	0.3	Lomos normales
ROCA DURA (> 120 Mpa)	0.4 - 0.5	Lomos de gran tamaño

Fuente: Informe de suficiencia UNI 2006

### - Explosivos

La elección del explosivo está ligado a las propiedades geológicas-geotécnicas de las rocas.

En rocas intensamente fracturadas o estratificadas, en donde la superficie total de discontinuidades representa un valor elevado respecto de la superficie específica que genera con la voladura, los explosivos de mayor eficacia resultan ser los de baja densidad y velocidad de detonación.

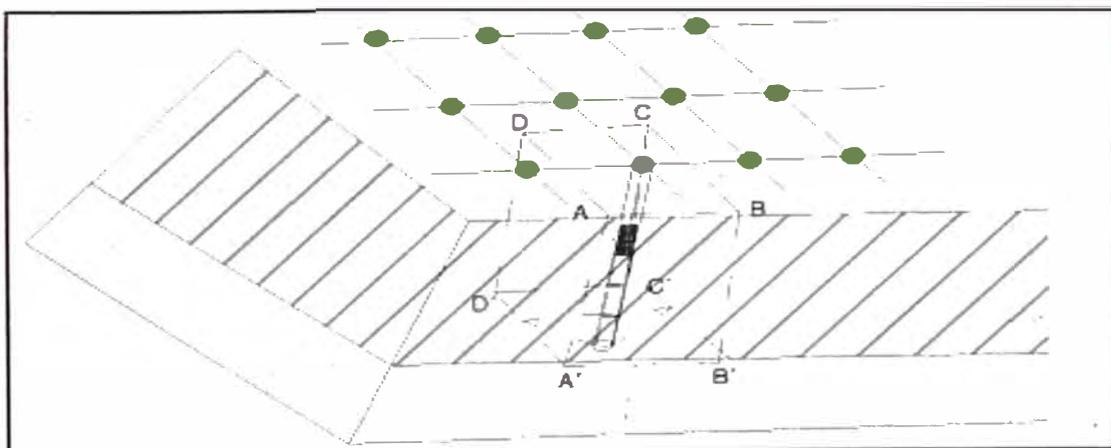
En rocas de tipo macizo con resistencia a la compresión simple de valores elevados ( $> 70$  MPa), deberán utilizarse los explosivos de mayor potencia y velocidad de detonación.

### - Posibilidad de utilizar varios tipos de explosivo dentro del barreno

La energía generada por el explosivo dentro de un barreno, debe alcanzar valores de tensión superior a la resistencia de tracción existente en el plano  $C'D'DC$  y a la resistencia al corte en el plano  $A'B'C'D'$ . Dado que esta última es superior a la primera, es preciso emplear una distribución de explosivo en el barreno de manera que la energía a desarrollar en torno al plano  $A'B'C'D'$  sea de 2 a 2.5 veces superior a la energía de columna, ello implica utilizar explosivos de mayor densidad y potencia en el fondo del barreno, que en los utilizados como carga de columna. La longitud de carga de fondo debe estar comprendida entre 25% y el 60% del valor del Burden.

Figura 2.7

Distribución del explosivo dentro de un barreno



Fuente: Propia

Para obras viales, las voladuras emplean comúnmente explosivos gelatinosos o hidrogeles como carga de fondo y ANFO como carga de columna.

- **Consumo específico de explosivo (CE)**

Este parámetro nos indica la cantidad de explosivos necesarios para la voladura de 1 m<sup>3</sup> de roca, con cierta granulometría y en unas condiciones de diseño previstas. Mayor será el consumo específico cuando aumente el diámetro del barreno (D), mayor resistencia de la roca y una deficiente distribución de la carga. Algunos valores recomendables del consumo específico (CE) en diversas clases de rocas para voladura se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro N° 2.26

Consumo específico en diversas clases de rocas

RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE DE LA ROCA (Mpa)	VARIABLES DE DISEÑO	
	RELACIÓN E/B	CONSUMO ESPECÍFICO Kg/m <sup>3</sup>
BLANDA < 70	1.25	0.3
MEDIA 70 - 120	1.2	0.35
DURA 120 - 180	1.15	0.42
MUY DURA > 180	1.15	0.49

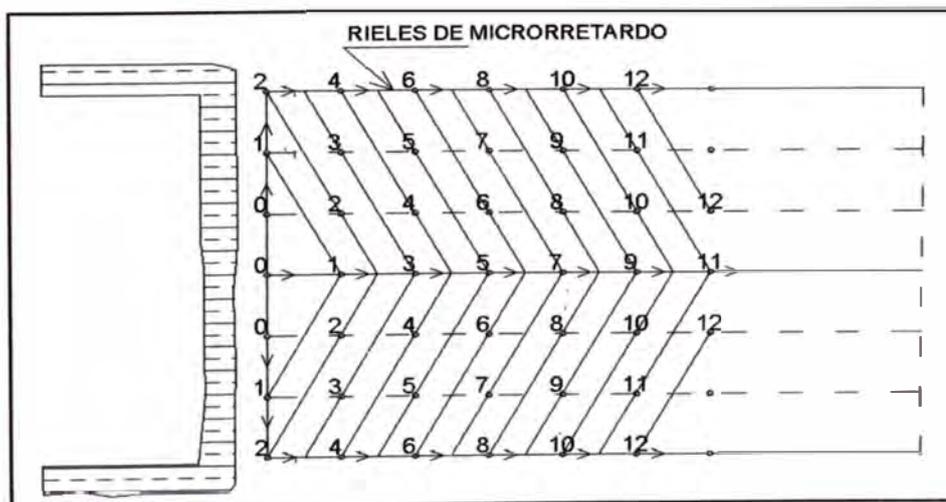
Fuente: Informe de suficiencia UNI 2006

- **Esquema de perforación**

El esquema viene determinado por el Burden (B) y Espaciamiento (E), para nuestro caso se presentan las de tipo rectangular y triangular con salida en V, las que se muestran a continuación:

Figura 2.8

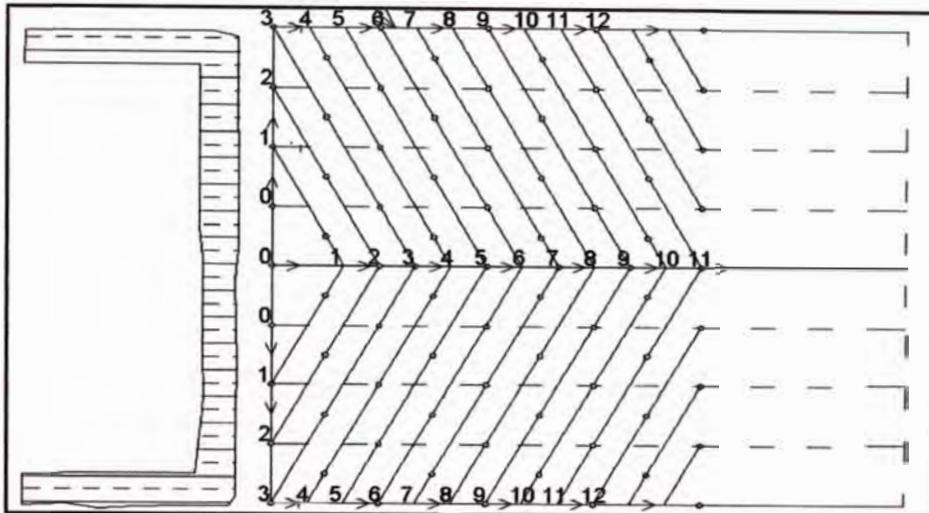
Secuencia de encendido de tipo rectangular con salida en V



Fuente: Propia

Figura 2.9

Secuencia de encendido de tipo triangular con salida en V



Fuente: Propia

Además se presentan los siguientes casos:

- Configuración de barrenos verticales paralelos o en abanico.
- Configuración de barrenos verticales y horizontales.
- Configuración de barrenos horizontales o zapateras.

En todos los casos es necesario conseguir una plataforma de trabajo para la etapa siguiente, la apertura inicial suele llevarse a cabo con los mismos equipos de perforación que se van a utilizar en la ejecución de la obra.

#### - **Tiempos de retardo y secuencia de encendido**

Los tiempos de retardo entre barrenos y las secuencias de encendido son parámetros o variables en el diseño de voladuras e influyen en lo siguiente:

- Disminución de las cargas operantes.
- Reducir los niveles de intensidad de las vibraciones.
- Aumenta la efectividad de los mecanismos de rotura.
- Controla la sobre excavación.
- Controla el desplazamiento de la roca.
- Ayuda a desaparecer las proyecciones.

Es recomendable que los tiempos de retardo entre barrenos (TRB) deben encontrarse entre 7 y 11 milisegundos por ml de piedra. En caso que el diseño

indique más de una fila el tiempo de retardo entre ellas (TRF) es de 2 a 3 veces el TRB.

### **2.3.3 Voladura controlada en superficie**

#### **Objetivo**

Es el de evitar el rompimiento de la roca fuera de límites previamente establecidos, es decir evitar la sobrerrotura. Es un método especial que permite obtener superficies de corte liso y bien definido, al mismo tiempo que evita el agrietamiento excesivo de la roca remanente, con lo que contribuye a mejorar su estabilidad.

#### **Descripción**

Consiste en el empleo de cargas explosivas lineales de baja energía colocadas en taladros muy cercanos entre sí, que se disparan en forma simultánea para crear y controlar la formación de una grieta o plano de rotura continuo, que limite la superficie final de un corte o excavación.

#### **Tipos**

Son varias las técnicas para este tipo de voladura, pero las más aplicadas son:

- Voladuras de precorte.
- Voladuras de recorte.
- Voladuras amortiguadas.

Cada una de éstas tiene una finalidad, ajustándose, para nuestra necesidad, las Voladuras de precorte.

#### **Voladuras controladas de precorte**

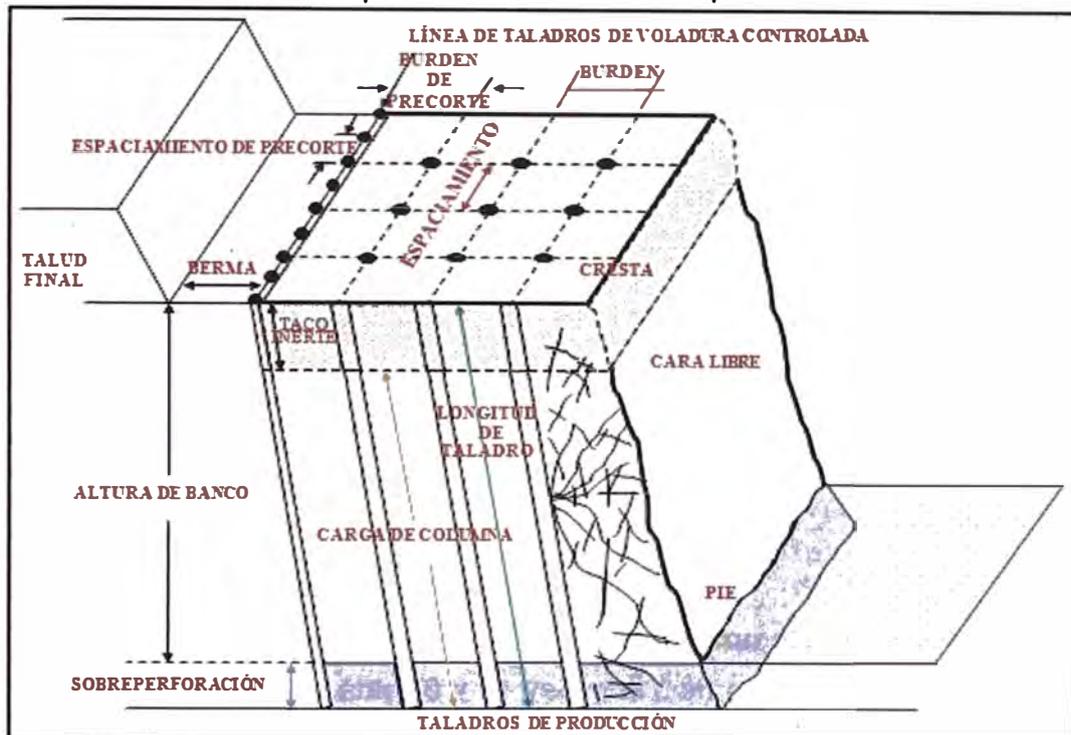
Consiste en crear en el cuerpo de la roca una discontinuidad o plano de fractura antes de disparar la voladura principal o de producción, mediante una fila de taladros generalmente de pequeño diámetro, muy cercanos, con cargas explosivas desacopladas y disparos instantáneos. El disparo de los taladros de precorte también puede hacerse simultáneamente con los de producción, pero adelantándonos una fracción de tiempo de 90 a 120 milisegundos, el disparo es pues en dos etapas.

El diámetro de perforación es muy variable, aunque los mejores resultados se alcanzan con los valores de 51, 62 y 76.

Es aplicado preferentemente en bancos superficiales, para delimitar sectores y así evitar sobrerrotura hacia atrás y obtener un talud final que no presente fracturamiento considerable. En la figura siguiente se observa el esquema de voladura de precorte:

Figura N° 2.10

Esquema de voladuras de precorte



Fuente: EXSA

A continuación presentaremos valores referenciales de los parámetros más importantes en el diseño de voladuras de precorte.

Cuadro N° 2.27

Relación de parámetros para voladuras de precorte

DIÁMETRO DEL BARRENO (mm)	CONCENTRACIÓN DE CARGA (g/m)	PRECORTE ESPACIAMIENTO (m)
30	120	0.25 - 0.50
37	150	0.30 - 0.50
44	170	0.30 - 0.50
50	250	0.45 - 0.70
62	350	0.55 - 0.80
75	500	0.60 - 0.9

Fuente: Informe de suficiencia UNI 2006

De los parámetros para el diseño de la voladura de precorte, los de mayor importancia son:

### Presión del Barreno ( $P_b$ )

Se genera por la detonación de un explosivo y deberá ser menor que la resistencia a la compresión ofrecida por la roca, logrando de esta manera atenuar la deformación de grandes grietas radiales y una notable reducción de las pequeñas grietas.

La presión en la pared de un barreno desacoplado con carga continua se obtiene:

$$P_b = 1.25 \times 10^{-4} \rho_e V_d^2 \left( \frac{d_c}{d_b} \right)^{2.4}$$

Donde:

$P_b$  : presión en el barreno.

$\rho_e$ : densidad del explosivo.

$V_d$  : velocidad de detonación del explosivo (m/s).

$d_c$  : diámetro de la carga (mm).

$d_b$  : diámetro del barreno (mm).

### El espaciamiento entre barrenos ( $E_0$ )

Debe ser normalmente inferior a 1 m, aunque como norma práctica general, debe estar comprendido entre 8 y 11 veces el diámetro del barreno de precorte.

El espaciamiento ha de cumplir:

$$E_0 \leq 10^{-3} d_b \left( \frac{P_b + \sigma_{tr}}{\sigma_{tr}} \right)$$

Donde:

$E_0$  : Espaciamiento.

$P_b$  : presión en el barreno.

$d_b$  : diámetro del barreno (mm).

$\sigma_{tr}$  : Resistencia a la tracción de la roca.

Se debe alcanzar la máxima carga posible del barreno sin que se llegue al límite de resistencia a la compresión de la roca, de esta manera se abarata el precorte con espaciamiento mayores.

Como regla general, la fila de precorte se separará de la voladura principal una cierta distancia que debe estar comprendida entre  $\frac{1}{2}$  y  $\frac{3}{4}$  el valor del Burden.

Como consecuencia de esta menor distancia, la fila de barrenos de la voladura principal más cercana a la línea de precorte se cargará aproximadamente con el 60% de la carga normal para evitar el agrietamiento y daño a la roca remanente. Además no es recomendable la sobreperforación en esta fila para no dañar la zona de asiento del banco.

La iniciación de la fila de precorte debe hacerse instantáneamente y de provocar problemas de vibración, la secuencia debe estar distanciada entre 20 y 30 milisegundos.

### **Tramos que requieren voladura**

Para la realización del diseño se debe conocer los tramos donde se requiere realizar voladuras. Con la ayuda del trazo geométrico, se ubicaron estos tramos, siendo los siguientes:

Tramo 01: Km 167+400 al 167+426

Se observa la presencia de rocas calizas en buen estado, se requiere cortar alturas entre 1.0 – 5.5 m. El afloramiento presenta algunas fracturas cerradas horizontales sin apertura.

Tramo 02: Km 167+507 al 167+640

Presenta los mismos aspectos geológicos que el tramo 01, pero con alturas hasta de 17.0 m.

Tramo 03: Km 167+690 al 167+700

Este tramo presenta características similares con alturas de 2.0 m

En general todo el tramo en estudio presenta roca caliza en buen estado.

### **2.3.4 Ejecución del diseño**

#### **Equipos disponibles**

Comenzaremos estableciendo los equipos a utilizar, los que limitaran algunos factores.

Máquina de perforación de los Barrenos:

Martillo neumático de 29 Kg con diámetro de 1"

Track Drill  $f = 4''$

Los explosivos que utilizaremos para la iniciación de los barrenos serán:

- Dinamita semigelatina

La cual presenta las siguientes características:

Cuadro N° 2.28  
Características de la dinamita semigelatina

CARACTERÍSTICAS	DINAMITA SEMIGELATINA 80
DENSIDAD RELATIVA (g/cm <sup>3</sup> )	1.2
VELOCIDAD DE DETONACIÓN (m/s) *	4800
PRESIÓN DE DETONACIÓN (Kbar)	94
POTENCIA RELATIVA EN PESO (%) **	76
PODER ROMPEDOR (mm)	23
VOLUMEN NORMAL DE GASES (l/Kg)	920
RESISTENCIA AL AGUA	MUY BUENA
CATEGORÍAS DE HUMO	PRIMERA

Fuente: EXSA

\* Velocidad de detonación sin confinar.

\*\* Potencia relativa referida a la Gelatina Explosiva con potencia convencional de 100.

La presentación de esta dinamita es en cartuchos de papel especial, adecuadamente parafinado y en diversas dimensiones, contenidos en cajas de cartón, las que se presentan en el cuadro siguiente:

Cuadro N° 2.29  
Dimensiones de la dinamita semigelatina

PRODUCTO	EMBALAJE	DIMENSIONES EXTERIORES (cm)	CONTENIDO NETO (Kg)	DIMENSIONES DE CARTUCHO (Ø x longitud)
DINAMITA SEMIGELATINA 80	CAJA CARTÓN	2.0 x 30.8 x 30.7	25	7/8" x 7"
				1" x 7"
				1 1/8" x 7"
				1" x 8"
				1 1/4" x 8"

Fuente: EXSA

- ANFO (nitrato de Amonio)

Será utilizado para la carga de columna del barreno, sus características son:

Cuadro N° 2.30  
Características del ANFO

CARACTERÍSTICAS		ANFO
DENSIDAD APARENTE (g/cm <sup>3</sup> ) *		0.73
DENSIDAD DE CARGA (g/cm <sup>3</sup> )		DEPENDE DE LA PRESIÓN DEL AIRE COMPRIMIDO
VELOCIDAD DE DETONACIÓN Confinado en tubo Fe Ø=2" (m/s)		3000
ENERGÍA TEORICA	POR PESO (Cal/g)	900
	POR VOLUMEN (Cal/cm <sup>3</sup> )	738
ENERGÍA RELATIVA	POR PESO (%)	100
	POR VOLUMEN (%)	100
PRESIÓN DE DETONACIÓN (Kbar)		32
RESISTENCIA AL AGUA		POBRE

Fuente: EXSA

Se presenta envasado en doble bolsa, conteniendo un peso de 25 kg.

- **Cordón detonante de 10 g/m**

Tiene las siguientes características:

Cuadro N° 2.31  
Características del cordón detonante

PESO DEL NUCLEO EXPLOSIVO	10 g/m
RESISTENCIA A LA TRACCIÓN	70 Kg
VELOCIDAD DE DETONACIÓN	7000 m/s

Fuente: EXSA

Se presenta enrollado en carretes de plástico, como se especifica a continuación:

Cuadro N° 2.32  
Dimensiones del cordón detonante

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	UND	EMBALAJE			PESO NETO (Kg)	PESO BRUTO
		TIPO	CONTENIDO	CAPACIDAD		
CORDÓN DETONANTE	m	CARTÓN	3ril. X 333.3	1000	19.5	21.5

Fuente: EXSA

- **Retardador de cordón detonante**

Se utilizará el retardador de 35 m el cual tiene las siguientes características de empaque:

**Cuadro N° 2.33**  
**Características del retardador**

DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO	UND	EMBALAJE			PESO NETO (Kg)	PESO BRUTO (Kg)	DIMENSIONES EXTERIORES (cm)
		TIPO	CONTENIDO	CAPACIDAD			
RETARDO CORDÓN	Pza.	CARTÓN	1 c.j. x 10	10	0.22	0.22	13 x 10.2 x 5.7
RETARDO CORDÓN	Pza.	CARTÓN	50 c.j. x 10	500	9.3	11.3	43 x 36 x 31.5

Fuente: EXSA

**Resumen de cálculos**

➤ **Diseño de un barreno con carga normal**

**Cuadro N° 2.34**  
**Cálculo de los parámetros de barrenos con carga normal**

		1er intervalo		2do intervalo	
	H (m)	2.5	3	10	15
	H (in)	98.4	118.1	393.7	590.6
Maquinaria para la perforación de los barrenos		Martillo neumático 29 Kg		Track Drill Ø = 4"	
Diámetro del barreno (Ø)	Ø ≤ H / 60 (m)	1.64	1.97	6.56	9.84
	Ø (in)	1	1	4	4
Comprobación	100Ø (in)	100	100	400	400
	H > 100Ø	si	si	si	si
Ángulo con la vertical	α = arctg (1/3)	18.43 °			
Burden (B)	B (m) = 35Ø	0.89	0.89	3.56	3.56
Sobreperforación (SP)	SP = 0.30 B	0.27	0.27	1.07	1.07
Longitud del taladro (L) (m)	L = H / (Cos α) + (1 - α/90) x SP	2.85	3.43	11.61	16.88
Espaciamiento (E)	E (m) = 43Ø	1.1	1.1	4.4	4.4
Volumen de roca (VR)	VR = E x B x L	2.8	3.3	180.3	262.2
Longitud de carga de fondo (CF)	CF (m) = 40Ø	1.02	1.02	4.06	4.06
Retacado (T)	T (m) = 32Ø	0.8128	0.8128	3.2512	3.2512

Fuente: Propia



➤ **Diseño de un barreno para precorte**

**Cuadro N° 2.36**

**Parámetros de la maquinaria a utilizar para el precorte**

	H (m)	2.5	3	10	15.5
Maquinaria para la perforación de los barrenos		Track Drill Ø = 4"			
	Ø (in)	4	4	4	4
Ángulo con la vertical	$\alpha = \arctg(1/3)$	7.12 °			
Longitud del taladro (L)	$L = H / (\cos \alpha) + (1 - \alpha/90) \times SP$	2.52	3.02	10.08	15.62

Fuente: Propia

La roca fija tiene los siguientes parámetros:

- Resistencia a la compresión ( $\sigma_c$ ) = 1300 Kg/cm<sup>2</sup> = 127 MPa
- Resistencia a la Tracción ( $\sigma_t$ ) = 63 Kg/cm<sup>2</sup> = 6.2 MPa
- Frecuencia sísmica (f) = 1800 m/s

Para la Carga de los Barrenos utilizaremos:

- Dinamita de 7/8" x 7"
  - Diámetro del explosivo (Øc) = 22.23 mm
  - Densidad del explosivo ( $\rho_o$ ) = 1.2 g/cm<sup>3</sup>
  - Velocidad de detonación ( $V_d$ ) = 4800 m/s
- Mecha de seguridad
- Cordón detonante de 10 g/m
  - Velocidad de detonación = 7000 milisegundos
- Retardo 35 milisegundos

**Cuadro N° 2.37**

**Dimensiones y cargas en los barrenos de precorte**

	H (m)	2.5	3	10	15.5
Sobreperforación (SP)	$P_b = 0.000125 \times \rho_o \times V_d^2 \times (\varnothing)^2$	90.04	90.04	90.04	90.04
	$P_b < \sigma_c$	cumple	cumple	cumple	cumple
Espaciamiento ( E )	$E (m) = 1000 \times \varnothing_b \times ((P_b + \sigma_t))$	1.6	1.6	1.6	1.6
Distancia a la fila anterior	$D = 0.5 \times B_{anterior}$	0.4	0.4	1.8	1.8
Retacado (T)	$T (m) = 32\varnothing_c$	0.7	0.7	0.7	0.7
Carga específica (Ce)	$C_e = 0.000085 \times \varnothing_b^2$	0.88	0.88	0.88	0.88
Carga explosiva (Qr)	$Q_r = C_e \times (L - T) \text{ (Kg)}$	1.6	2.0	8.2	13.1
Cantidad de cartuchos	$Q_r / W \text{ (und)}$	17	22	87	139

Fuente: Propia

**Etapas de volado de bancos**

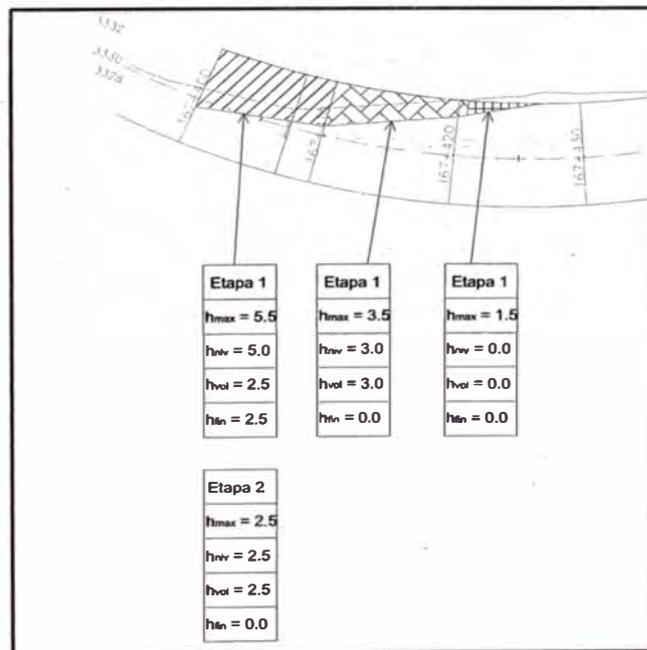
Al realizar el trazo geométrico, se puede observar que existen tres tramos que requieren voladuras, donde cada uno de éstos tiene anchos y alturas variables, por esta razón es que cada tramo se subdividió en zonas de alturas similares. Por las condiciones anteriormente descritas, aquellos bancos que tienen alturas entre 0 a 2 m se nivelará la totalidad con los equipos que se cuenten, para bancos de 2.5 a 3.0 m necesitará solo de un disparo, para alturas mayores a 3 y menores a 10 m, se realizarán en etapas, para alturas desde los 10 hasta los 15 m, podrán realizarse con un disparo y para alturas mayores se requerirá realizar en más de una etapa.

A continuación se presenta el esquema de voladura por cada sub tramo:

**Tramo 01: Km 167+400 al 167+426**

Pequeña franja de roca que será removida hasta en dos etapas.

Figura 2.11  
 Disparos en tramo 01



Fuente: Propia

**Tramo 02: Km 167+507 al 167+640**

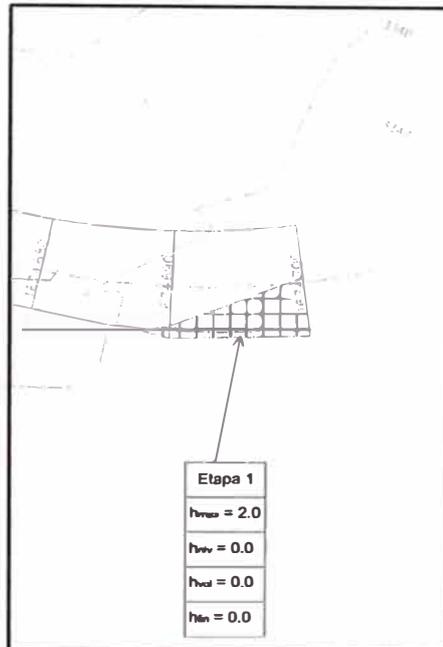
Franja de gran longitud, donde se tiene alturas del manto rocoso, hasta de 17 m. Este tramo se ejecutará hasta en tres etapas, las cuales se detallan a continuación:



**Tramo 03: Km 167+690 al 167+700**

Este tramo presenta pequeña altura de banco, menor a 2 m, por lo cual se realizará la nivelación hasta llegar a la rasante con los equipos mecánicos y sin explosivos.

Figura 2.13  
 Disparos en tramo 03



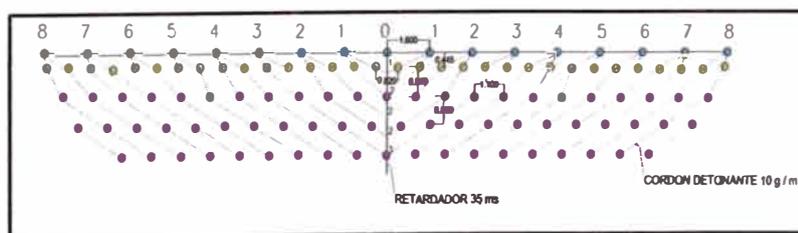
Fuente: Propia

**Esquema de perforación y encendido característico de los disparos**

Se tomó como esquema al tipo triangular con salida tipo "V", de acuerdo a la altura del banco a volar se tienen 2 esquemas característicos:

Para:  $H = 2.5$  y  $3.0$  m, se obtiene el siguiente esquema:

Figura 2.14  
 Esquema de perforación y encendido para 2.5 a 3.0 m

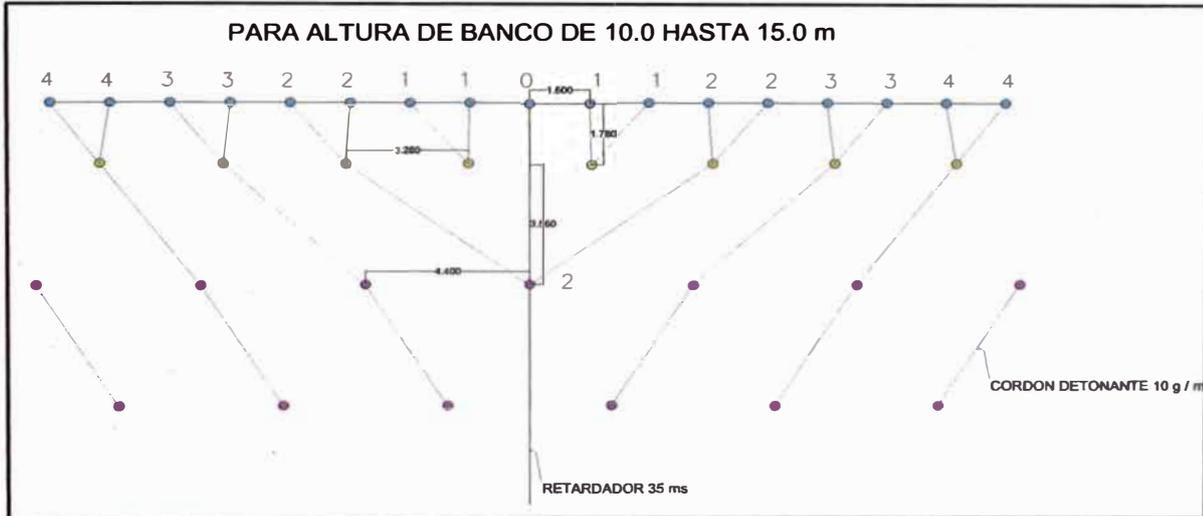


Fuente: Propia

Para:  $H = 10.0$  a  $15.0$  m, se obtiene el siguiente esquema:

Figura 2.15

Esquema de perforación y encendido para 10.0 a 15.0 m



Fuente: Propia

Donde:

- Barreno de precorte
- Barreno cercano a la línea de precorte
- Barreno de producción.

Los planos de voladura se encuentran en el anexo 01 y el metrado de explosivos en el anexo 02.

## 2.4 Diseño del pavimento

### 2.4.1 Método para el diseño del pavimento

El diseño del pavimento ha sido definido mediante la aplicación del Método AASHTO, versión 1993 (GUIDE FOR DESIGN OF PAVEMENT STRUCTURE 1993). Los cálculos se han realizado para un período de diseño total de 10 años.

#### Método AASHTO (1993)

El diseño del pavimento, utilizando el Método AASHTO, basado en AASHTO Road Test, consiste en determinar el Número Estructural (SN) en función del módulo resiliente de la subrasante ( $M_r$ ), número de ejes estándar anticipado (N), Confiabilidad (R%), Desviación Estándar total ( $S_0$ ), pérdida de serviciabilidad ( $\Delta$  PSI) e índices estructurales del pavimento.

Los valores del número estructural se determinan mediante la aplicación de la ecuación indicada a continuación:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_0 + 9.36 \times \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10}\left(\frac{\Delta PSI}{4.2-1.5}\right)}{-0.40 + \frac{1094}{SN^{5.19}}} + 2.32 \times \log_{10} M_R - 8.07$$

#### Confiabilidad (R%)

La confiabilidad es la probabilidad de que la sección del pavimento diseñada mediante el método indicado se comporte satisfactoriamente durante el periodo de diseño bajo las condiciones de tráfico determinadas.

Según el Cuadro N° 2.38 los valores para nuestro caso particular corresponden a una vía interestatal rural cuya confiabilidad varía entre 80 y 99.9, adoptaremos el valor de  $R = 85\%$  para el diseño para 10 años, ya que el tráfico de esta vía podría aumentar drásticamente por su importancia.

Cuadro 2.38  
Nivel de confiabilidad (Aplica en Perú)

CLASIFICACIÓN GENERAL	NIVEL DE CONFIABILIDAD RECOMENDADO POR AASHTO (%)	
	URBANO	RURAL
AUTOPISTAS Y CARRETERAS INTERESTATALES	85 - 99.9	80 - 99.9
OTRAS ARTERIAS PRINCIPALES	80 - 99	75 - 95
COLECTORAS	80 - 95	75 - 95
LOCALES	50 - 80	50 - 80

Fuente: AASHTO.

### Desviación Estándar Normal

Para el nivel de confiabilidad adoptado, la Desviación Estándar Normal resulta  $Z_R = -1.037$  para la confiabilidad de 85% (Tabla 2.40).

Tabla 2.39  
Desviación estándar

Confiabilidad R (%)	Desviación Estándar Normal, $Z_r$
50	0.000
60	-0.253
70	-0.524
75	-0.674
80	-0.841
85	-1.037
90	-1.282
91	-1.340
92	-1.405
93	-1.476
94	-1.555
95	-1.645
96	-1.751
97	-1.881
98	-2.054
99	-2.327
99.9	-3.090
99.99	-3.750

Fuente: AASHTO

### Desviación estándar total

El valor de Desviación Estándar Total varía entre 0.40 y 0.50 para pavimento flexible. Se adopta el valor promedio,  $S_0 = 0.45$ .

### Serviciabilidad

La serviciabilidad de un pavimento es su capacidad de servir al tipo de tráfico que usa la vía (ligero y pesado). La medida de serviciabilidad es el Índice de Serviciabilidad presente (PSI) que varía entre 0 (carretera intransitable) y 5 (carretera en perfectas condiciones).

Dadas las características del proyecto y su importancia se adoptan el índice de serviciabilidad inicial  $PSI_{inicial} = 4.2$  y el Índice de Serviciabilidad final  $PSI_{final} = 2.2$ , por lo que la pérdida del índice de serviciabilidad  $\Delta PSI = 2.0$

### Capacidad soporte de la subrasante.

Se utilizó las correlaciones del CBR y el Módulo Resiliente para encontrar esta capacidad de soporte.

## **CBR**

Es la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controlada. El ensayo permite obtener un número de la relación de soporte, que no es constante para un suelo dado, sino que se aplica solo al estado en el cual se encontraba el suelo durante el ensayo.

La capacidad de soporte de la subrasante está representada por los valores de CBR determinados mediante los ensayos de laboratorio realizados con las muestras de suelos obtenidas en el campo.

## **Módulo resiliente**

El módulo resiliente es un parámetro que se utiliza para comprobar el estado de una capa del pavimento. Nos da una idea de la calidad de la capa y de la durabilidad, ya que se obtiene al aplicar cargas cíclicas, lo cual origina un estado tensional similar al de servicio.

Este ensayo fue desarrollado a efectos de estudiar una propiedad del material que describa mejor el comportamiento del suelo bajo cargas dinámicas de ruedas. Una rueda que se mueve imparte un pulso dinámico a todas las capas de pavimento y a la subrasante. Como respuesta a este pulso dinámico, cada capa de pavimento sufre una deflexión. El pulso solicitante varía desde un valor muy bajo hasta un máximo en un breve periodo en función de la velocidad del vehículo.

El patrón de esfuerzos inducidos a una estructura de pavimento como resultado del tráfico de vehículos es muy complejo. Un elemento de pavimento está sujeto a pulsos de carga que involucran esfuerzos normales y cortantes.

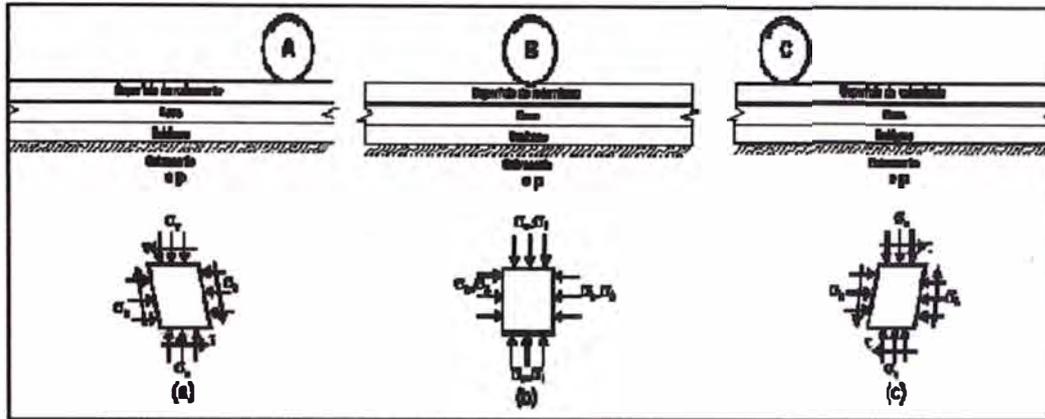
La Figura 2.16 muestra el esquema de una sección longitudinal de las capas de un pavimento, sobre el cual una carga se mueve a velocidad constante. El estado de esfuerzos experimentado por el punto P -debido a la carga en el punto A puede observarse en la Figura 2.16(a); en este punto actúan tanto esfuerzos normales como esfuerzos cortantes.

Cuando la carga se mueve al punto B, los esfuerzos cortantes son nulos y únicamente actúan los esfuerzos normales, como se presenta en la Figura 2.16 (b); en este punto se tiene un estado triaxial de esfuerzos, debido a que se presentan sólo esfuerzos normales.

La dirección de los esfuerzos cortantes originados en el punto C es contraria a la dirección de los esfuerzos originados en el punto A, como se muestra en la

Figura 2.16(c).

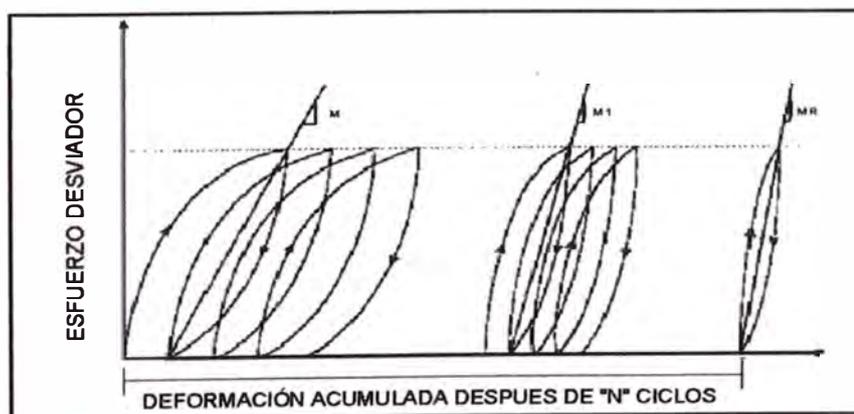
Figura N° 2.16  
Análisis de esfuerzos debido a cargas cíclicas



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc>

De acuerdo con el diseño estructural del pavimento, el tipo y la magnitud de las solicitaciones, repeticiones de carga acumuladas, características asociadas al clima y la localización de las diferentes capas de material; el comportamiento esfuerzo - deformación de un suelo puede ser de dos tipos: resiliente y plástico. Las deformaciones resilientes o elásticas son de recuperación instantánea y suelen denominarse plásticas a aquellas que permanecen en el pavimento después de cesar la causa deformadora. Bajo carga móvil y repetida, la deformación plástica tiende a hacerse acumulativa y puede llegar a alcanzar valores inadmisibles. Paradójicamente, este proceso suele ir acompañado de una “densificación” de los materiales, de manera que el pavimento fallado puede ser más resistente que el original.

Figura N° 2.17  
Diagrama cíclico de la deformación acumulada versus esfuerzos



Fuente: <http://upcommons.upc.edu/pfc>

El Método AASHTO requiere el uso del Módulo de Resiliencia, el cual se obtiene de la correlación con los CBR mediante las siguientes formulas:

Para los  $CBR < 7.2\%$

$$Mr = 1500 * CBR \text{ (psi)}$$

Para los  $20\% > CBR > 7.2\%$

$$Mr = 3000 * CBR^{0.65} \text{ (psi)}$$

Para los  $CBR > 20\%$

$$Mr = 4326 * \ln CBR + 241 \text{ (psi)}$$

En el Cuadro N° 2.40 se presentan los valores de CBR obtenidos en el laboratorio, así como los valores del Modulo Resiliente correspondientes, calculados con las fórmulas indicadas.

**CUADRO N° 2.40**  
 Capacidad soporte de la subrasante

TRAMO	CLASIFICACIÓN	CBR	Mr
		95 % MDS	
Km	SUCS	(%)	(PSI)
167+400 / 700	GM	17.7	19,422

Fuente: Propia

**Número de ejes equivalentes para el período de diseño**

El número de repeticiones de ejes equivalentes a 18,000 lb. (8.2 Tn) ha sido calculado en el estudio de tráfico realizado como parte del presente estudio. En el Cuadro N° 2.41 siguiente se presentan los valores de EAL para el periodo de diseño de 10 años.

**Cuadro N° 2.41**  
 Número de ejes equivalentes

TRAMO	W18
Km	
167+400 / 700	308000

Fuente: Propia

Reemplazando estos valores en la ecuación del diseño, tenemos que:

$$SN = 1.89$$

### 2.4.2 Determinación del espesor de las capas del pavimento

Una vez obtenido el número estructural del pavimento, se calcula el espesor de cada una de las capas del pavimento con la fórmula siguiente:

$$SN = a_1 \times D_1 + a_2 \times D_2 \times m_2 + a_3 \times D_3 \times m_3$$

Donde:

SN : Número estructural requerido.

$a_1, a_2$  y  $a_3$  : Coeficientes de aporte estructural.

$m_2$  y  $m_3$  : Coeficientes de drenaje.

$D_1, D_2$  y  $D_3$  : Espesores de carpeta asfáltica, base granular, sub-base.

#### Coeficiente de drenaje

Utilizando las recomendaciones de AASHTO – 93 utilizaremos la tabla N° 2.42 y considerando que el drenaje de esta vía será de característica bueno y estará expuesta a un nivel de humedad próxima a la saturación aproximadamente en 7% del año, tenemos que:  $m_2$  y  $m_3 = 1.10$

Cuadro N° 2.42  
 Características de drenaje

CARACTERÍSTICAS DE DRENAJE	AGUA ELIMINADA	Porcentaje de tiempo en el año que la estructura del Pavimento esta expuesta a un nivel de humedad próxima a la saturación.			
		< 1%	1% - 5%	5% - 25%	> 25%
Excelente	2 horas	1.40 - 1.35	1.35 - 1.30	1.30 - 1.20	1.20
Bueno	1 día	1.35 - 1.25	1.25 - 1.15	1.15 - 1.00	1.00
Regular	1 semana	1.25 - 1.15	1.15 - 1.05	1.00 - 0.80	0.80
Pobre	1 mes	1.15 - 1.05	1.05 - 0.80	0.80 - 0.60	0.60
Muy malo	No drena	1.05 - 0.95	0.95 - 0.75	0.75 - 0.40	0.40

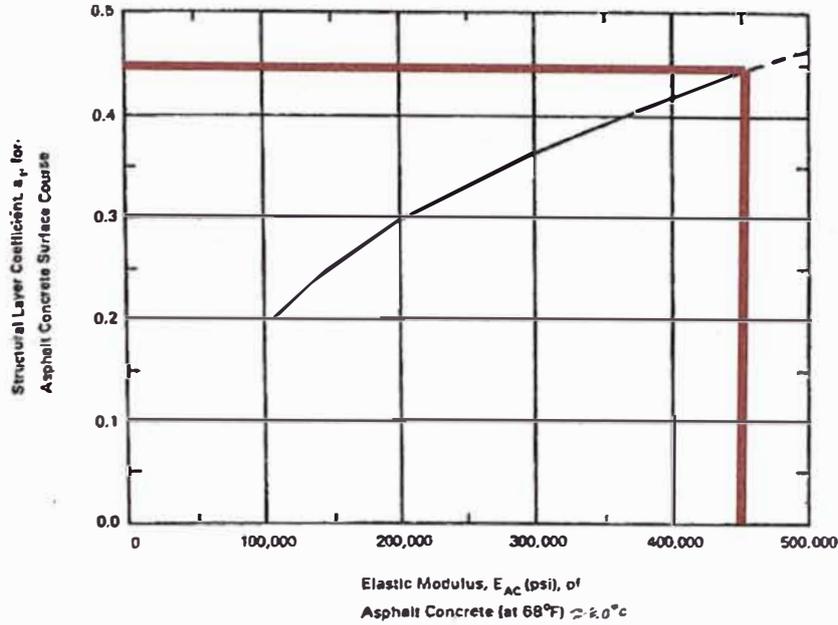
Fuente: Aashto

#### Coeficiente de aporte estructural

El valor del coeficiente de equivalencia de la carpeta asfáltica se obtiene de la figura 2.18, para un módulo elástico de la mezcla asfáltica estimada en 450,000 psi.

Figura N° 2.18

Coeficiente del aporte estructural de la mezcla asfáltica versus el módulo elástico.

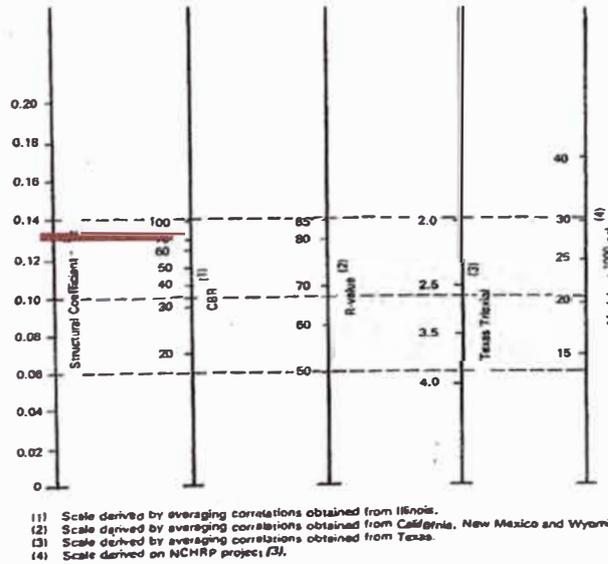


Fuente: AASHTO

El coeficiente de equivalencia de la base se obtiene relacionando el CBR del material de cantera en la carta de la guía Aashto, la que se muestra en la figura N° 2.19. El CBR del material seleccionado es de 79% (cuadro N° 2.22).

Figura N° 2.19

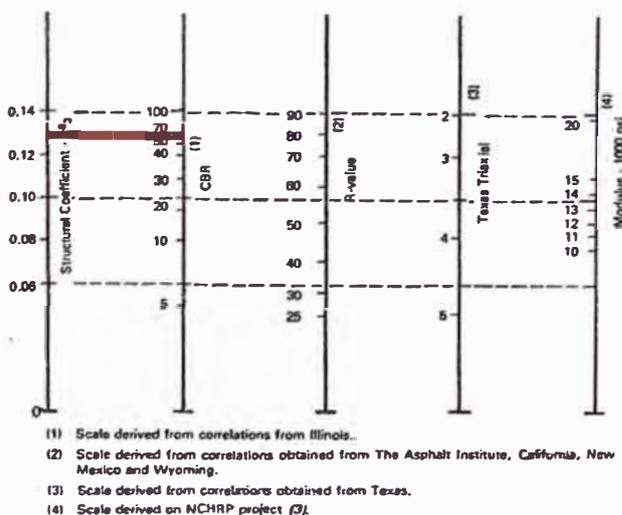
Coeficiente del aporte estructural de la base granular.



Fuente: AASHTO

El coeficiente de equivalencia de la sub-base se obtiene relacionando el CBR del material de cantera en la carta de la guía Aashto, la que se muestra en la figura N° 2.20. El CBR del material seleccionado es de 54% (cuadro N° 2.23).

Figura N° 2.20  
Coeficiente del aporte estructural de la sub-base



Fuente: AASHTO

De esta manera se tienen los siguientes coeficientes:

- a1 = 0.44/pulg - Carpeta asfáltica
- a2 = 0.13/pulg - Base granular
- a3 = 0.13/pulg - Sub-base granular

### Estructuración del Pavimento

Aplicando el "Criterio de espesores mínimos" propuestos por la AASHTO-93, el cual se presenta en el cuadro N° 2.43, para este caso  $W_{18} = 308,000.0$

Cuadro N° 2.43  
Espesores mínimos

RANGO DE TRÁFICO	CONCRETO ASFÁLTICO (PULGADAS)	BASE GRANULAR (PULGADAS)
Menos de 50,000	1.0 (Tratamiento Superficial)	4.0
50,001 - 150,000	2.0	4.0
150,001 - 500,000	2.5	4.0
500,001 - 2'000,000	3.0	6.0
2'000,001 - 7'000,000	3.5	6.0
Mayor a 7'000,000	4.0	6.0

Fuente: AASHTO

Del cuadro N° 2.44, podemos tomar los valores  $D_1 = 2.5$  y  $D_2 = 4.0$ . Reemplazando en la ecuación de Diseño, obtenemos el espesor de la sub-base ( $D_3$ ).

Cuadro N° 2.44  
 Estructura del pavimento

C.A	2.5	2.5	3.0
B.G	4.0	5.0	5.0
SB	1.5	0.0	0.0
SN	1.89	1.82	2.04
	Alternativa 01	Alternativa 02	Alternativa 03

Fuente: Propia

Con lo cual los espesores finales son los señalados en la Alternativa 03, debido a que cumplen estructuralmente y facilitan el proceso constructivo.

$$D_1 = 3.0$$

$$D_2 = 5.0$$

$$D_3 = 0.0$$

## **CAPÍTULO III: EXPEDIENTE TÉCNICO**

### **3.1 Memoria Descriptiva**

#### **3.1.1 Antecedentes**

El Estado Peruano ha invertido importantes recursos económicos en la Construcción, Mejoramiento, Rehabilitación y Mantenimiento de las carreteras de la Red Vial Nacional y en su logro ha ido sucesivamente racionalizando la gestión, habiendo en éste proceso llegado a crear PROVIAS NACIONAL (Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional), según D.S. N° 033-2002-MTC de fecha 12.07.02, entidad a la cual se le transfirió la administración y el mantenimiento de las carreteras de la Red Vial Nacional.

A la vez, PROVIAS NACIONAL mediante Resolución Ministerial N° 223-2007-MTC-02, modificada por Resolución Ministerial N° 408-2007-MTC/02 creó el Programa Proyecto Perú, el cual es un programa de infraestructura vial diseñado para mejorar las vías de integración de corredores económicos, conformando ejes de desarrollo sostenido con el fin de elevar el nivel de competitividad de las zonas rurales, en la Red Vial Nacional, Departamental y Vecinal.

Para propiciar el desarrollo de la provincia de Yauyos se realiza el presente estudio, ya que esta vía tiene deficiente capa de rodadura, insuficiente ancho de calzada y un trazo que no cumple la Norma DG – 2001.

#### **3.1.2 Alcances del estudio**

El Mejoramiento y Ampliación de la Carretera está orientado a mejorar su condición estructural y funcional. Se trata de aprovechar el terreno actual de la vía y sobre ésta diseñar la nueva estructura del pavimento.

Se realizará un estudio sectorizado, por tramos que tengan problemas similares, dando el tratamiento más adecuado a cada uno de ellos teniendo presente el factor rentabilidad para obtener un diseño definitivo óptimo.

#### **3.1.3 Objetivo**

El objetivo del estudio es Mejorar la Transitabilidad de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo, Tramo Km. 167+400 al Km. 167+700, para lo cual se requiere un cambio en la capa de rodadura, ampliar el ancho de calzada y

corregir el trazo geométrico a fin de que cumpla los requisitos mínimos exigidos por el Manual de diseño de Carreteras de Pavimentos de Bajo Tránsito y DG-2001. La alternativa de solución elegida será el diseño óptimo de la carretera que maximice la rentabilidad de los recursos financieros empleados.

#### **3.1.4 Ubicación del Proyecto**

Departamento: Lima

Provincia: Yauyos

Distrito: Alis

El tramo en estudio se encuentra ubicado entre las progresivas 167+400 al 167+700 de la Carretera Cañete – Yauyos – Huancayo, a una altitud de 3300msnm en promedio. Por el lado derecho del trazo actual de la vía se encuentran terrenos agrícolas y el cauce del río y por el lado izquierdo mantos rocosos. Dentro del tramo en estudio se encuentra un pontón de madera de aproximadamente 6 m en la progresiva 167+657.

La Población del Distrito de Alis se encuentra asentada al margen derecho de la vía.

#### **3.1.5 Descripción de la Carretera**

A continuación se citan los parámetros que describen el estado de la vía en Estudio:

Longitud:	300 m.
Red vial:	Ruta 22
Velocidad Directriz:	20-30 Km/h.
Ancho de vía:	4.00-5.00 m.
Bombeo:	2%.
Ancho de Cunetas:	0.50x0.50 m.
Tipo de superficie de rodadura:	Afirmada.
Topografía:	Accidentada.

En el recorrido de campo se observó que el tramo en estudio no presenta un trazo geométrico para doble vía que cumpla con el MDC PBT, además que el suelo portante presenta una baja compacidad y que la capa de rodadura aún estando en buen estado no es la adecuada si queremos integrar a Yauyos con un corredor de desarrollo.

### **3.1.6 Información Existente**

De la información existente en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones, hemos considerado la que nos dará un mayor aporte a los Estudios de Mejoramiento y rehabilitación; estos estudios son:

- Estudio de Factibilidad de la “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera: Lunahuana – Dv. Yauyos – Chupaca”. Junio 2005
- Estudio Definitivo de la “Conservación Vial de la Carretera Cañete – Lunahuana – Pacarán – Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zúñiga Dv. Yauyos – Ronchas”. Agosto 2008

### 3.2 Especificaciones Técnicas

En el presente informe se desarrollaron y clasificaron las especificaciones técnicas de los estudios de Suelos y Pavimentos que están vinculados con el proceso constructivo a emplear y están indicadas en el Cuadro N° 3.1, Las partidas del presupuesto de suelos y pavimentos de la Ampliación y Mejoramiento de la Carretera Cañete–Yauyos–Huancayo del km 167+400 al km 167+700.

**Cuadro N° 3.1**  
**Partidas del presupuesto de suelos y pavimentos**

Item	Descripción	Und.
<b>02</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>	
02.01	CORTE EN ROCA FUA	m3
02.02	EXCAVACION PARA TERRAPLENES	m3
02.03	PERFILADO, NIVELACION Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE	m2
02.04	CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES	m3
<b>03</b>	<b>BASE</b>	
03.01	BASE GRANULAR	m3
<b>04</b>	<b>PAVIMENTO ASFALTICO</b>	
04.01	IMPRIMACION ASFALTICA	m2
04.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE( E = 3" )	m3
04.03	CEMENTO ASFALTICO	gal
04.04	FILLER	kg
04.05	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	kg
<b>05</b>	<b>TRANSPORTES</b>	
05.01	TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA D ≤ 1 KM	m3-Km
05.02	TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA D > 1 KM	m3-Km
05.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA D ≤ 1 KM	m3-Km
05.04	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA D > 1 KM	m3-Km
05.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE D ≤ 1 KM	m3-Km
05.06	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE D > 1 KM	m3-Km

Fuente: Propia

Los detalles de las especificaciones técnicas se encuentran en el anexo 4

### 3.3 Planilla de Metrados.

La planilla de Metrados se indica a continuación:

**Cuadro N° 3.2**

Item	Descripción	Und.	Metrado
02	MOVIMIENTO DE TIERRAS		
02.01	CORTE EN ROCA FIJA	m3	2,378.08
02.02	EXCAVACION PARA TERRAPLENES	m3	2,254.27
02.03	PERFILADO, NIVELACION Y COMPACTADO DE LA SUBRASANTE	m2	710.33
02.04	CONFORMACIÓN DE TERRAPLENES	m3	3,337.87
03	BASE		
03.01	BASE GRANULAR	m3	233.15
04	PAVIMENTO ASFALTICO		
04.01	IMPRIMACION ASFALTICA	m2	519.75
04.02	CARPETA ASFALTICA EN CALIENTE( E = 3" )	m3	168.92
04.03	CEMENTO ASFALTICO	gal	6,030.40
04.04	FILLER	kg	7,770.26
04.05	ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA	kg	69.93
05	TRANSPORTES		
05.01	TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA D ≤ 1 KM	m3-Km	4,607.36
05.02	TRANSPORTE DE MATERIAL A OBRA D > 1 KM	m3-Km	27,496.22
05.03	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA D ≤ 1 KM	m3-Km	168.92
05.04	TRANSPORTE DE MEZCLA ASFÁLTICA D > 1 KM	m3-Km	4,822.63
05.05	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE D ≤ 1 KM	m3-Km	1,682.82
05.06	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE D > 1 KM	m3-Km	20,951.08

Fuente: Propia

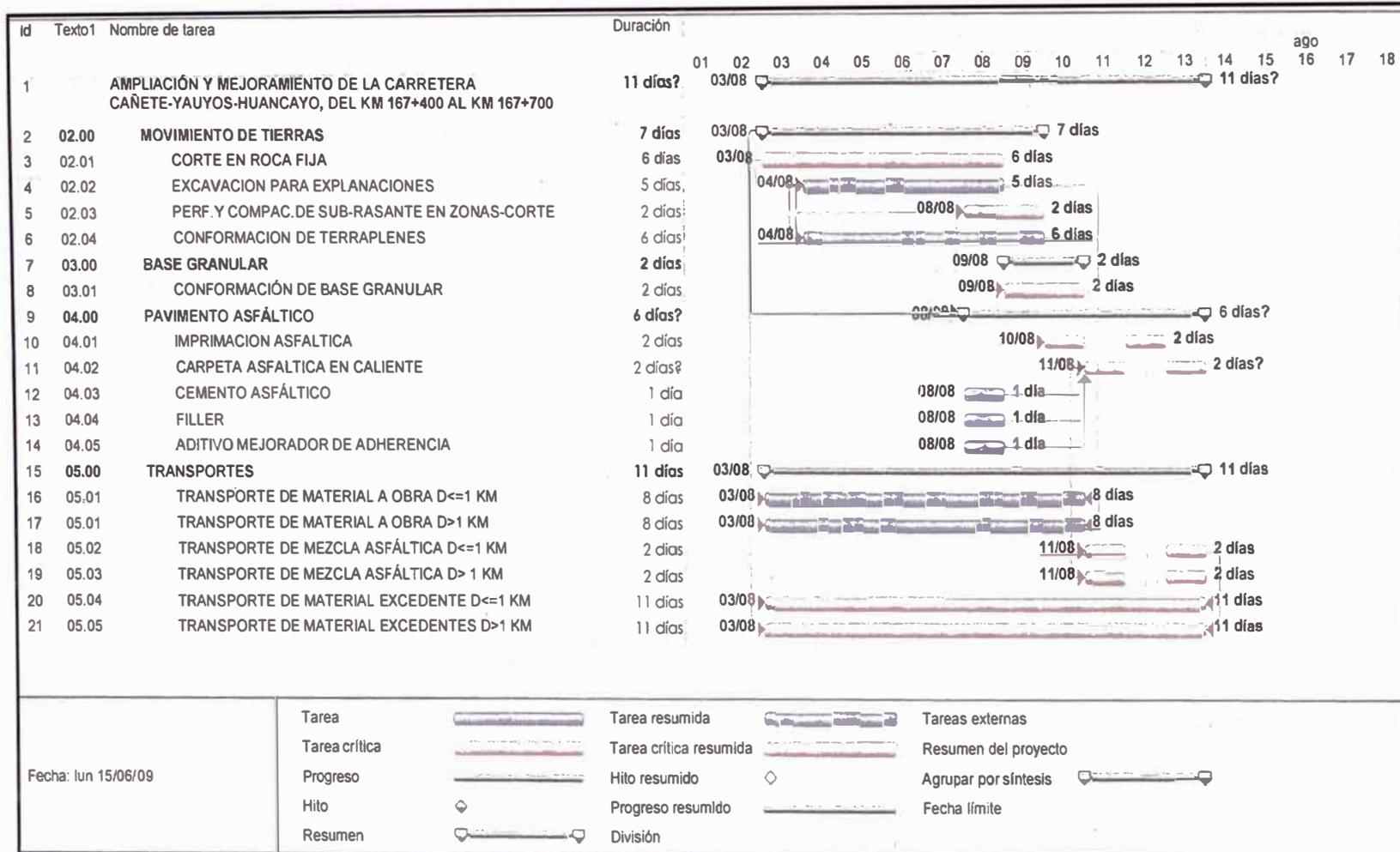
### 3.4 Programación

La programación de obra se realizó con el objetivo de encontrar la mayor eficiencia en la ejecución de la obra y a la vez que la vía siga prestando servicio, aunque el servicio será restringido.

Se iniciará la obra con los trabajos referentes a movimientos de tierra y la colocación de la base granular con interrupción parcial de la vía; a continuación se colocará la carpeta asfáltica en un primer carril y al día siguiente en el otro.

Se adjunta la programación de obra:

Figura N° 3.1  
Programación de obra



Fuente: Propia

## CONCLUSIONES

- De acuerdo a la alternativa seleccionada, se requiere la ampliación del ancho de vía. Para esto es necesario realizar voladuras en el manto rocoso, colindante con el nuevo trazo geométrico, ya que la vía en este tramo se encuentra muy próximo al cauce del río.
- Se utilizará 1526.75 Kg de explosivo para la voladura de 2378 m<sup>3</sup> de roca, lo que da como resultado un consumo específico es de 0.64 Kg/m<sup>3</sup>, valor debajo del estándar; debido a que los barrenos de precorte deben ser de gran diámetro, para evitar el fracturamiento considerable en el talud.
- Una parte del material producto de la voladura será aprovechado para la conformación del terraplén en las zonas donde se requieran, siempre y cuando cumplan las especificaciones técnicas.
- La estructura elegida del nuevo pavimento tiene como espesores de base 5" y carpeta asfáltica 3", éstas son medidas estándares las que facilitan el proceso constructivo.

## RECOMENDACIONES

- El tráfico desviado representa un alto porcentaje del tráfico total proyectado, siendo este un parámetro probabilístico, razón por la cual debe realizarse un seguimiento del tráfico cada año.
  
- Previo a la colocación de los barrenos con explosivos en un banco, debe prepararse un área horizontal con la ayuda solo de los equipos con que se cuentan para la realización de voladuras y de esta manera formar secciones típicas que tengan alturas de banco similares.
  
- La ejecución de la voladura de roca debe ser realizada por personal capacitado y con experiencia en la materia, tomando las medidas de seguridad necesarias para evitar inconvenientes.
  
- Para lograr las expectativas de vida útil del pavimento se debe contar con sistema de drenaje apropiado, además de mantenimiento rutinario y periódico.

## BIBLIOGRAFÍA

Braja M. Das, Fundamentos de Ingeniería Geotécnica, Editorial Thomson-Learning, 2001, México.

EXSA S.A.; Manual Práctico de voladura; 3<sup>ra</sup> edición, 2001, Perú.

Huang, Yang H., Pavement Analysis and design, Editorial Pearson - Prentice Hall, 2004, Estados Unidos de Norteamérica.

Norma EG2000 y DG2001.

Oficina de apoyo Tecnológico – MTC, Rehabilitación de la Carretera Lunahuana-Pacarán, Sector Km. 4+000 – Km. 16+000, a nivel Definitivo 2005, Perú.

Provias Nacional - MTC; Proyecto Especial de Infraestructura de Transporte Nacional: Conservación vial de la Carretera Cañete-Lunahuana-Pacarán-Chupaca y Rehabilitación del Tramo Zuñiga-Dv. Yauyos-Ronchas, 2008, Perú.

Provias Nacional - MTC; Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Lunahuana-Dv. Yauyos-Chupaca, a nivel de Factibilidad 2005.

Rebaza Smith, Aldo; Informe de suficiencia “Diseño , procedimiento y control de voladuras en rocas”, UNI-FIC, 2006, Perú.

### Páginas Web:

Módulo Resiliente

[upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3252/10/50777-10.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/3252/10/50777-10.pdf)

Ficha técnicas de productos explosivos y accesorios

<http://www.famesa.com.pe/home.htm>

Ficha técnicas de productos explosivos y accesorios

<http://www.exsa.com.pe>

**ANEXOS:**

ANEXO 01: Planos para el diseño de voladuras

ANEXO 02: Cálculo de cargas de explosivos

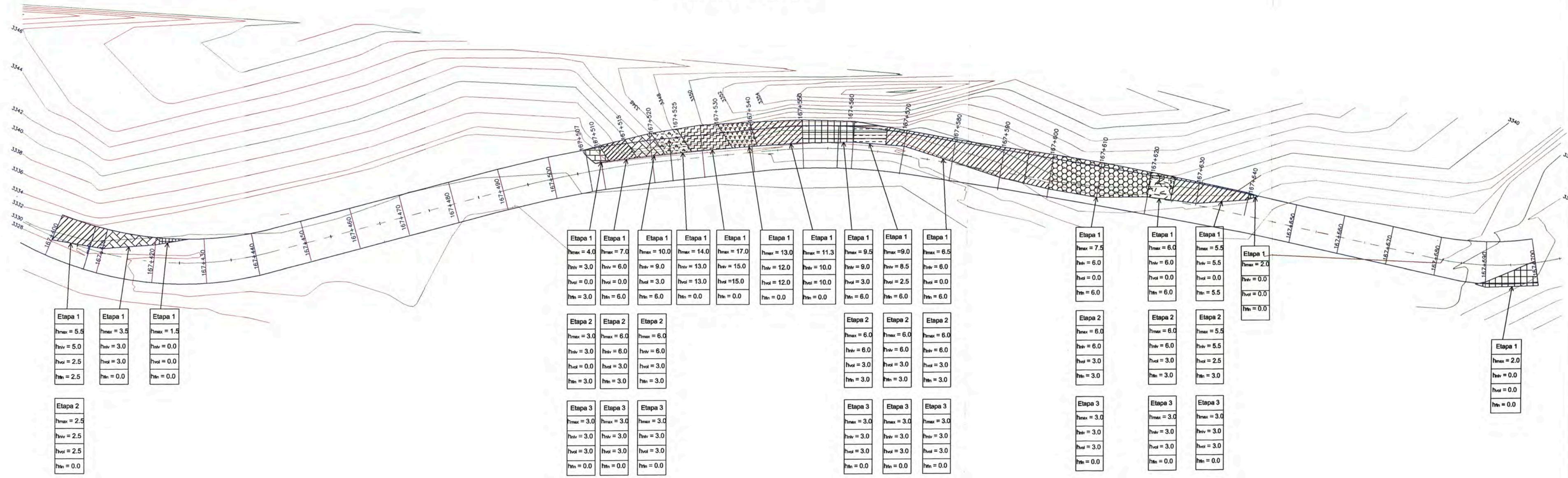
ANEXO 03: Ubicación de canteras y fuentes de agua

ANEXO 04: Especificaciones Técnicas

# **ANEXO N° 01**

**PLANO DE ETAPAS DE  
VOLADURA DE ROCA**

# ETAPAS DE DISPAROS



# **ANEXO N° 02**

## **CÁLCULO DE CARGAS DE EXPLOSIVOS**

## Desarrollo del cálculo detallado

### Diseño del barreno de carga normal

1° Elegimos el diámetro del barreno a perforar, dependiendo de la maquinaria y de la altura a volar.

Datos:

Altura a volar (H) = 3.00 m

Maquinaria: Compresora Neumática de 196 HP 600-690 PCM

Diámetro de Martillo Neumático ( $\emptyset$ ) = 1"

2° Verificamos la condición:  $\emptyset \leq \frac{H}{60}$

$$1" \leq \frac{3 * \frac{100}{2.54}}{60}$$

$$1" \leq 1.97" \quad (\text{CUMPLE})$$

3° Verificamos la condición:  $H \geq 100\emptyset$  o  $H < 100\emptyset$

$$H = 3 * \frac{100}{2.54} = 118.1"$$

$$118.1" \geq 100" \quad (\text{CUMPLE LA CONDICIÓN: } H \geq 100\emptyset)$$

4° Por tanto utilizaremos los parámetros propuestos en el cuadro 2.24, considerando que se realiza en roca dura.

Burden (B):  $B = 35\emptyset = 0.90$  m

Espaciamiento (E)  $E = 43\emptyset = 1.10$  m

Retacado (T)  $T = 32\emptyset = 0.80$  m

Longitud de carga de Fondo (CF)  $CF = 40\emptyset = 1.00$  m

Sobreperforación (SP)  $SP = 12\emptyset = 0.30$  m

5° Se ha recomendado que para conseguir una mejor fragmentación de la roca volada, los barrenos deben tener una inclinación con respecto a la vertical en la relación de 1:3, por tanto para calcular la longitud del barreno tenemos:

$$\alpha = \arctg\left(\frac{1}{3}\right) = 18.43^\circ$$

$$L = \frac{H}{\cos \alpha} + \left(1 - \frac{\alpha}{90}\right) x SP = 3.40 \text{ m}$$

6° Cálculo de la Longitud de la Carga de Columna (CC):

$$CC = L - (CF+T)$$

$$CC = 1.60 \text{ m}$$

7° Ahora establecemos los explosivos que se utilizarán en la voladura:

Dinamita de 7/8" x 7" (Semigelatina)

$$\text{Densidad del explosivo } (\rho_0) \quad \rho_0 = 1.20 \text{ g/cm}^3$$

$$\text{Peso de cada cartucho } (W) \quad W = 0.094 \text{ Kg/und}$$

ANFO

$$\text{Densidad del explosivo } (\rho_0) \quad \rho_0 = 0.80 \text{ g/cm}^3$$

Mecha de seguridad

Fulminante

Cordón detonante de 10 g/m

$$\text{Velocidad de detonación } 7000 \text{ m/s}$$

Retardos de 25 milisegundos

8° Ahora se calcula la carga específica y la carga explosiva en el barreno:

Para la Carga de Fondo (Con dinamita):

$$\text{Carga Específica } (C_{ef}) \quad C_{ef} = 0.34 \times \emptyset^2 \times \rho_0 = 0.34 \times 1 \times 12 \text{ Kg/m}$$

$$C_{ef} = 0.41 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga explosiva } (Q_f) \quad Q_f = CF \times C_{ef} = 0.41 \text{ Kg} \quad (4 \text{ cartuchos})$$

Para la Carga de Columna (Con ANFO):

$$\text{Carga Específica } (C_{ec}) \quad C_{ec} = 0.45 \times C_{ef}$$

$$C_{ec} = 0.19 \text{ Kg/m}$$

$$\text{Carga explosiva } (Q_c) \quad Q_c = CC \times C_{ec} = 0.30 \text{ Kg}$$

9° Para el retacado de los barrenos se empleará el material excedente de la perforación del mismo taladro, el cual se encuentra alrededor del mismo.

10° Los barrenos que se encuentran mas cercanos a la línea de precorte, se cargarán con una cantidad del 60% del explosivo del barreno de producción, a fin de evitar agrietamiento; además el espaciamiento también se reduce a los  $\frac{3}{4}$  del espaciamiento normal.

11° Para el armado de la malla como para la iniciación de los cebos (dinamitas se utilizará cordón detonante el cual nos garantizará una explosión simultanea de todos los taladros de cada fila, mas el retardo entre fila y fila deberá ser 10 milisegundos por metro de separación, para los barrenos menores de 3 m se utilizarán retardadores de 15milisegundos y para los mayores o iguales a 9 m se utilizarán retardadores de 35 milisegundos.

Además se ha estructurado la malla para que la voladura salga en forma secuencial "V", tomando en lo posible el eje de simetría.

La iniciación se realizará mediante el uso de la mecha de seguridad, la cual debe estar unida a un fulminante y a su vez al cordón detonante, el cual se activará debido a la explosión del fulminante.

### **Diseño del barreno de precorte**

1° Elegimos el diámetro del Barreno a perforar, dependiendo de la maquinaria disponible y de la altura a volar.

Altura a volar (H) = 3.0 m

Maquinaria: Track drill ( $\varnothing$ ) = 4"

2° Longitud del barreno (L)

$$L = \frac{H}{\cos \alpha} = \frac{3.0}{\cos 7.12^\circ}$$

$$L = 3.02 \text{ m}$$

El valor de  $\alpha = 7.12^\circ$  ya que es el  $\arctg(1/8)$ , donde 1:8 será el talud ubicado al lado contiguo a la nueva vía.

3° De la geología del lugar y de los explosivos a utilizar, mostramos los siguientes parámetros:

La roca fija tiene los siguientes parámetros:

Resistencia a la compresión  $\sigma_c = 1300 \text{ kg/cm}^2 = 127.4 \text{ MPa}$

Resistencia a la Tracción  $\sigma_t = 63 \text{ kg/cm}^2 = 6.2 \text{ MPa}$

Frecuencia Sísmica  $f = 1800 \text{ m/s}$

Para la carga de los barrenos, utilizaremos:

Dinamita de 7/8" x 7"      Diámetro del explosivo  $d_c = 22.20 \text{ mm}$

Densidad del explosivo  $p_e = 1.2 \text{ g/cm}^3$

Velocidad de detonación  $V_d = 4800.0 \text{ m/s}$

Mecha de seguridad

Cordón detonante de 10 g/m

Retardos de 35 milisegundos

4° Condición de presión del explosivo sobre la roca al detonar

$$P_b = 1.25 \times 10^{-4} \times p_e \times V_d^2 \times \left(\frac{d_c}{d_b}\right)^{2.4} = 90.04 \text{ MPa.}$$

Por tanto cumple la condición:  $P_b < \sigma_c$

5° Cálculo de Espaciamiento

$$E_0 \leq 10^{-3} \times d_b \times \left(\frac{P_b + \sigma_t}{\sigma_t}\right) = 1.60 \text{ m}$$

6° Se calcula la separación entre la última fila de barrenos con carga normal y la línea de precorte, donde esta deberá ser el 50% del burden.

$$D = 0.50B = 0.45 \text{ m}$$

7° El retacado debe ser suficiente para lograr el confinamiento de la explosión, de manera práctica se calcula así:

$$T = 32 \varnothing = 32 \times (7/8 \times 0.0254) = 0.71 \text{ m.}$$

8° La cantidad de carga explosiva se obtiene mediante el cálculo de la carga y la longitud correspondiente a la hilera de explosivos (dinamita) que se colocará.

$$C_e = 8.5 \times 10^{-5} \times \varnothing^2, \varnothing = 4''$$

$$C_e = 0.877 \text{ kg/m}$$

Por lo tanto la carga será de:

$$Q = C_e \times (L - T) = 0.877 \times (3.0 - 0.71)$$

$$Q = 2.00 \text{ Kg (22 cartuchos de dinamita)}$$

**CANTIDAD DE BARRENOS POR ETAPA DEL DISPARO, AL TURA Y TIPO.**

H (m)	1ER DISPARO (und)			2ER DISPARO (und)			3ER DISPARO (und)		
	PRECORTE	CERCANO	NORMAL	PRECORTE	CERCANO	NORMAL	PRECORTE	CERCANO	NORMAL
2.5	10	9	5	15	30	32	0	0	0
3	9	8	14	59	114	68	64	124	87
10	6	3	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	9	5	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	3	2	0	0	0	0	0	0	0

**TOTAL DE BARRENOS POR ALTURA**

H (m)	TIPO DE VOLADURA		
	PRECORTE	CERCANO	NORMAL
2.5	25	49	37
3	132	256	169
10	6	3	0
11	0	0	0
12	9	5	0
13	0	0	0
14	0	0	0
15	3	2	0

## METRADO DE LA CARGA DE DISPARO

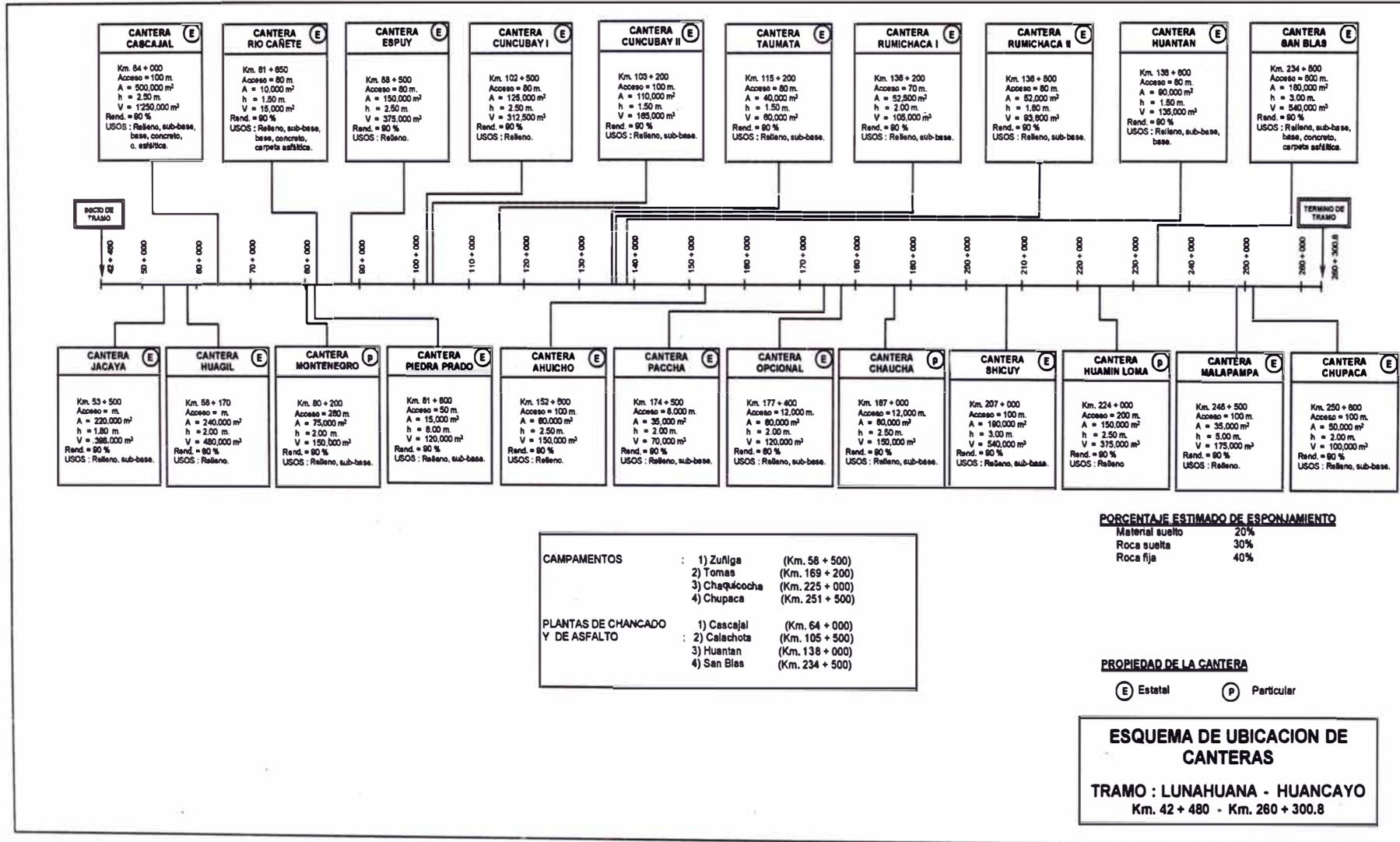
DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (und)	POR BARRENO		PARA EL DISPARO		
		CF (Kg)	CC (Kg)	CF (Kg)	CC (Kg)	CT (Kg)
<b>a. - Con carga normal</b>						
H = 15.00	0	4.06	9.56	0	0	0
H = 14.00	0	4.06	8.51	0	0	0
H = 13.00	0	4.06	7.45	0	0	0
H = 12.00	0	4.06	6.40	0	0	0
H = 11.00	0	4.06	5.35	0	0	0
H = 10.00	0	4.06	4.29	0	0	0
H = 3.00	169	1.02	1.60	171.70	270.41	442.12
H = 2.50	37	1.02	1.02	37.59	37.88	75.48
<b>b. - Cercano a la línea de precorte</b>						
H = 15.00	2	2.44	5.74	4.88	11.48	16.35
H = 14.00	0	2.44	5.11	0.00	0.00	0.00
H = 13.00	0	2.44	4.47	0	0	0
H = 12.00	5	2.44	3.84	12.19	19.20	31.39
H = 11.00	0	2.44	3.21	0.00	0.00	0.00
H = 10.00	3	2.44	2.58	7.32	7.73	15.04
H = 3.00	256	0.61	0.96	156.06	245.77	401.83
H = 2.50	49	0.61	0.61	29.87	30.10	59.97
<b>c. - Barrenos de precorte</b>						
H = 15.00	3	12.64	0	37.92	0.00	37.92
H = 14.00	0	11.76	0	0.00	0.00	0.00
H = 13.00	0	10.87	0	0	0	0
H = 12.00	9	9.99	0	89.88	0.00	89.88
H = 11.00	0	9.10	0	0.00	0.00	0.00
H = 10.00	6	8.22	0	49.31	0.00	49.31
H = 3.00	132	2.03	0	267.79	0.00	267.79
H = 2.50	25	1.59	0	39.66	0.00	39.66

<b>TOTAL DE CARGA :</b>	<b>1,526.75 Kg</b>
-------------------------	--------------------

# **ANEXO N° 03**

**Ubicación de canteras y  
fuentes de agua**

## ESQUEMA DE UBICACIÓN DE CANTERAS DE AGREGADOS



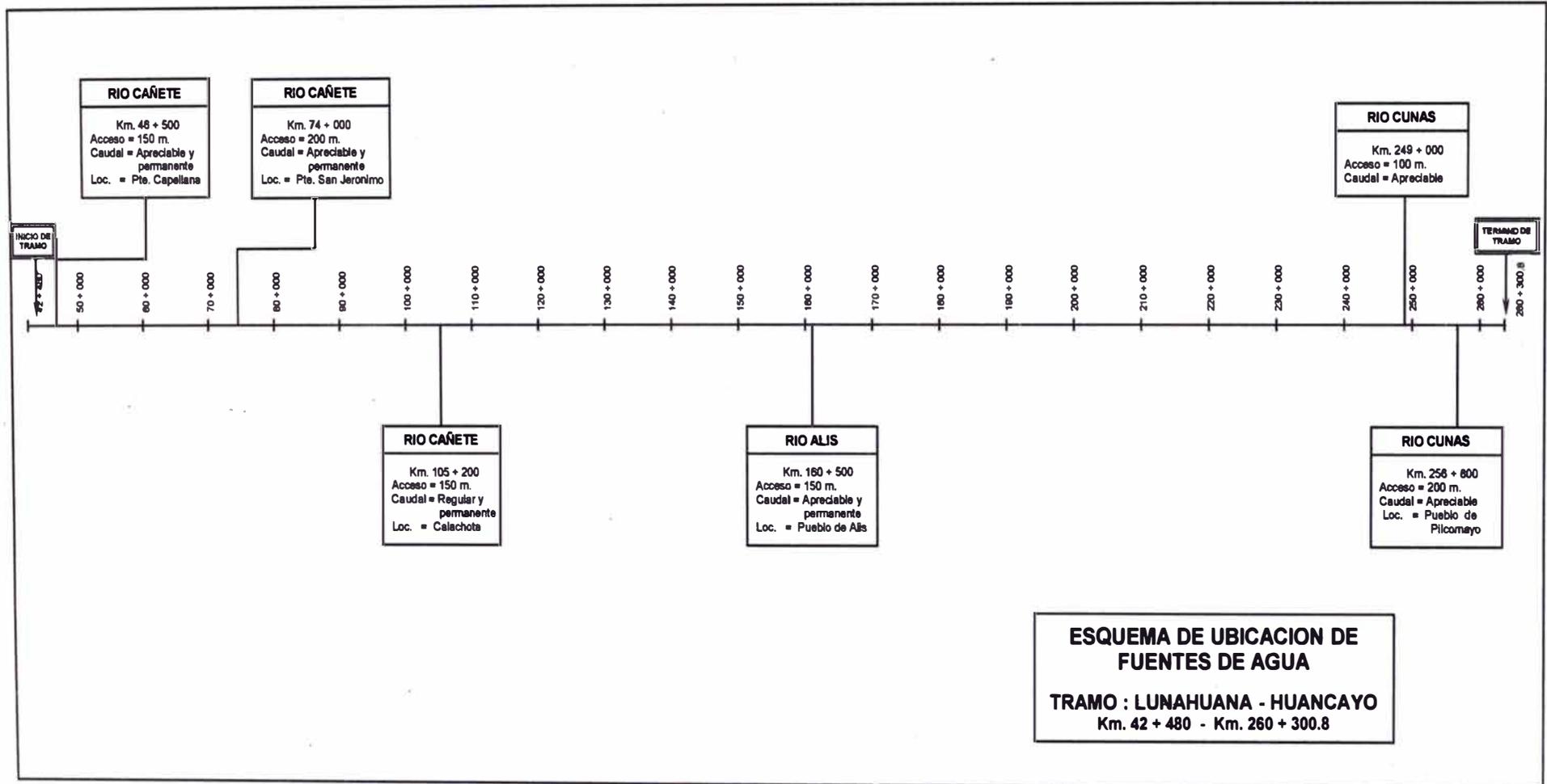
<b>CAMPAMENTOS</b>	1) Zufiga (Km. 58 + 500)
	2) Tomas (Km. 169 + 200)
	3) Chaquicocha (Km. 225 + 000)
	4) Chupaca (Km. 251 + 500)
<b>PLANTAS DE CHANCAO Y DE ASFALTO</b>	1) Cascajal (Km. 64 + 000)
	2) Calachota (Km. 105 + 500)
	3) Huantan (Km. 138 + 000)
	4) San Blas (Km. 234 + 500)

**PORCENTAJE ESTIMADO DE ESPONJAMIENTO**

Material suelto	20%
Roca suelta	30%
Roca fija	40%

**PROPIEDAD DE LA CANTERA**  
 (E) Estatal      (P) Particular

## ESQUEMA DE UBICACIÓN DE FUENTES DE AGUA



# **ANEXO N° 04**

## **Especificaciones Técnicas**

## **SECCIÓN: 200. MOVIMIENTO DE TIERRAS**

### **02.01. CORTE EN MATERIAL ROCOSO**

#### **02.01.01 DESCRIPCIÓN**

Esta partida consiste en la excavación y corte de material clasificado como roca fija, según lo indicado en los planos o las instrucciones del Supervisor.

#### **02.01.02 MÉTODO DE CONSTRUCCIÓN**

Se clasificará como roca fija a los materiales de gran cohesión y resistencia al rompimiento y que requieren necesariamente ser fragmentados mediante el uso de explosivos.

El material excavado que sea útil podrá ser empleado en los terraplenes.

El material sobrante o de desecho será eliminado fuera de los límites de la plataforma de la carretera a botaderos aprobados por el Supervisor.

El Contratista o ejecutor deberá tomar las precauciones necesarias contra, derrumbes y deslizamientos, porque de producirse éstas, serán de su entera responsabilidad, y no habrá ningún pago adicional, tampoco por sobre excavación.

Las voladuras deberán ser efectuadas por personal especializado a fin de evitar sobre excavación y/o daños a vehículos, instalaciones y personas.

Se construirá un acceso para ascender la pendiente de la roca que se tiene que volar, lo cual tendrá una pendiente de 45°, dicho material, además del proveniente de voladura podrá ser empleado en el relleno de los tramos que requieran, siempre que cumplan sus especificaciones. Se iniciará la voladura en forma ascendente.

#### **02.01.03 MÉTODOS DE MEDICIÓN**

El trabajo ejecutado se medirá en metros cúbicos (m<sup>3</sup>) de material excavado y aceptado por el Supervisor. Para tal efecto se calcularán los volúmenes excavados usando el método promedio de áreas extremas.

#### **02.01.04 BASES DE PAGO**

El pago se efectuará al precio unitario del Expediente Técnico por metro cúbico (m<sup>3</sup>) , entendiéndose que dicho precio y pago constituirá compensación total por toda la mano de obra, equipos, herramientas, materiales e imprevistos necesarios para la ejecución del trabajo.

## **02.02. EXCAVACIÓN PARA EXPLANACIONES**

### **DESCRIPCIÓN**

#### **02.02.01 Generalidades**

Este trabajo consiste en el conjunto de las actividades de excavar y remover los materiales provenientes de los cortes requeridos para la explanación indicados en los planos y secciones transversales del proyecto, con las modificaciones que ordene el Supervisor.

Comprende, además, la excavación y remoción de la capa vegetal y de otros materiales blandos, orgánicos y objetables, en las áreas donde se hayan de realizar las excavaciones de la explanación y terraplenes. La ampliación y mantenimiento de las explanaciones incluirá la conformación y perfilado de taludes.

#### **02.02.02 Clasificación**

##### **a. Excavación sin Clasificar**

Se refiere a los trabajos de excavación de cualquier material sin importar su naturaleza.

##### **b. Excavación en Roca Suelta**

Comprende la excavación de masas de rocas medianamente litificadas que, debido a su cementación y consolidación no requieren el empleo sistemático de explosivos, solo el uso de equipos mecánicos.

### **MATERIALES**

**02.02.03** Los materiales provenientes de excavación para la explanación se utilizarán, si reúnen las calidades exigidas, en la construcción de las obras de acuerdo con los usos fijados en los documentos del proyecto o determinados por el supervisor.

Los materiales provenientes de la excavación que presenten buenas características para uso en la construcción de la vía, serán reservados para colocarlos posteriormente.

Los materiales de excavación que no sean utilizables deberán ser colocados, donde lo indique el proyecto o de acuerdo con las instrucciones del Supervisor, en zonas aprobadas por éste.

Las Normas y Especificaciones de Carreteras del MTC forman las bases para estas Especificaciones y disposiciones especiales que las suplementan y adaptan a los requisitos de este Proyecto.

## **EQUIPO**

**02.02.04** El Contratista propondrá, para consideración del Supervisor, los equipos más adecuados para las operaciones por realizar, los cuales no deben producir daños innecesarios ni a construcciones ni a cultivos; y garantizarán el avance físico de ejecución, según el programa de trabajo, que permita el desarrollo de las etapas constructivas siguientes.

## **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

### **02.02.05 Excavación**

Las explanaciones serán efectuadas según el trazado, el perfil longitudinal, los taludes y las secciones transversales indicadas en los planos o como lo indique el Supervisor.

Las obras de excavación deberán avanzar en forma coordinada con las de drenaje del proyecto, tales como alcantarillas, desagües, alivios de cunetas y construcción de filtros. Además se debe garantizar el correcto funcionamiento del drenaje y controlar fenómenos de erosión e inestabilidad.

El Contratista tendrá que excavar y retirar de la explanación cualquier material que el Supervisor juzgue inaceptable y eliminarlo en lugares autorizados.

### **02.02.07 Limpieza Final**

Al terminar los trabajos de excavación, el Contratista deberá limpiar y conformar las zonas laterales de la vía, las de préstamo y las de disposición de sobrantes, de acuerdo con las indicaciones del Supervisor.

### **02.02.08 Aceptación de los Trabajos**

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- ✓ Verificar que el Contratista disponga de todos los permisos requeridos para la ejecución de los trabajos.
- ✓ Comprobar el estado y funcionamiento del equipo utilizado por el Contratista.
- ✓ Verificar el alineamiento, perfil y sección de las áreas excavadas.

- ✓ Comprobar que toda superficie para base de terraplén o subrasante mejorada quede limpia y libre de materia orgánica.
- ✓ Medir los volúmenes de trabajo ejecutado por el Contratista de acuerdo con la presente especificación.

El trabajo de excavación se dará por terminado y aceptado cuando el alineamiento, el perfil, la sección y la compactación de la subrasante estén de acuerdo con los planos del proyecto, estas especificaciones y las instrucciones del Supervisor.

## **MEDICIÓN**

**02.02.09** La unidad de medida será el metro cúbico (m<sup>3</sup>), aproximado al metro cúbico completo, de material excavado en su posición original y computada por el método de áreas medias.

No se medirán las excavaciones que el contratista haya efectuado por error o por conveniencia fuera de las líneas de pago del proyecto o las autorizadas por el Supervisor. Si dicha sobre-excavación se efectúa en la subrasante o en una calzada existente, el Contratista deberá rellenar y compactar los respectivos espacios, a su costo y usando materiales y procedimientos aceptados por el Supervisor. No se medirán ni se autorizarán pagos para los volúmenes de material removido de derrumbes, durante los trabajos de excavación de taludes, cuando a juicio del Supervisor fueren causados por procedimientos inadecuados o error del Contratista.

## **PAGO**

**02.02.10** El trabajo de excavación se pagará al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con el proyecto o las instrucciones del Supervisor.

Los precios unitarios del Contratista definidos para cada partida del presupuesto, cubrirán el costo de todas las operaciones relacionadas con la correcta ejecución de las obras.

<b>ÍTEM DE PAGO</b>	<b>UNIDAD DE PAGO</b>
202 Excavación para Explanaciones	Metro cúbico (M3)

## **02.03. PERFILADO, NIVELACIÓN Y COMPACTACIÓN DE LA SUBRASANTE**

### **DESCRIPCIÓN**

#### **02.03.01 Generalidades**

El trabajo comprende el conjunto de actividades de escarificación, conformación, nivelación y compactación de la subrasante en todo lo ancho de la plataforma sobre el cual ira la Sub Base granular.El origen de la zona a perfilar, nivelar y compactar, será resultado de la reconformación de terraplenes y a los trabajos realizados en zonas de corte.

### **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

**02.03.02** Al alcanzar el nivel de subrasante en la excavación, se deberá escarificar en una profundidad de cincuenta a cien milímetros (50 mm – 100 mm), conformar de acuerdo con las pendientes transversales especificadas y compactar, según las exigencias de compactación definidas más adelante en una profundidad mínima de ciento cincuenta milímetros (150 mm).

La superficie final de la excavación en roca deberá encontrarse libre de cavidades que permitan la retención de agua y tendrá, además, pendientes transversales y longitudinales que garanticen el correcto drenaje superficial.

#### **02.03.03 Aceptación de los Trabajos**

Durante la ejecución de los trabajos, el supervisor efectuará los controles indicados en la sub-sección 202.08.

La cota de cualquier punto de la subrasante conformada y terminada no deberá variar en más de treinta milímetros (30 mm) con respecto a la cota proyectada.

Todas las deficiencias que excedan las tolerancias mencionadas deberán ser corregidas por el contratista, a su costo, a plena satisfacción del supervisor.

La compactación de la subrasante, se verificará de acuerdo con los siguientes criterios:

La densidad de la subrasante compactada se efectuará en sitios elegidos al azar con una frecuencia de una (1) cada 250 m<sup>2</sup> de plataforma terminada y compactada.

Las densidades individuales del lote (Di) deben ser, como mínimo, el noventa y cinco por ciento (95%) de la máxima densidad en el ensayo próctor modificado de referencia (De).

$$D_i > 0.95 D_e$$

Una vez terminada la explanación se hará deflectometría cada 25 metros alternados en ambos sentidos, es decir, en cada uno de los carriles, mediante el empleo de la viga Benkelman o cualquier equipo de alta confiabilidad, antes de cubrir la subrasante con la subbase o con la base granular. Se analizará la deformada o curvatura de la deflexión obtenida de por lo menos tres mediciones por punto.

Los puntos de medición estarán referenciados con el estacado del proyecto, de tal manera que exista una coincidencia con relación a las mediciones que se efectúen a nivel de carpeta. Se requiere un estricto control de calidad tanto de los materiales como de los equipos, procedimientos constructivos y en general de todos los elementos involucrados en la puesta en obra de la subrasante. De dicho control forman parte la medición de las deflexiones que se menciona en el primer párrafo. Un propósito específico de la medición de deflexiones sobre la subrasante, es la determinación de problemas puntuales de baja resistencia que puedan presentarse durante el proceso constructivo, su análisis y la oportuna aplicación de los correctivos a que hubiere lugar.

## **MEDICIÓN**

**02.03.04** La unidad de medida será el metro cuadrado (m<sup>2</sup>), aproximado al metro cuadrado completo, de superficie perfilada y compactada.

Los ensayos deflectométricos serán efectuados por el Contratista. El Contratista proveyerá del camión y equipo necesario para efectuar el ensayo.

## **PAGO**

**02.03.05** El trabajo de perfilado y compactación se pagará al precio unitario del contrato por toda obra ejecutada de acuerdo con el proyecto o las instrucciones del supervisor.

Deberá cubrir, los costos de conformación, nivelación de la subrasante, su compactación en todo tipo de terreno, la limpieza final, conformación de las zonas laterales y las de préstamo y disposición de sobrantes.

El precio cubre todos los costos de personal, equipos y materias primas necesarios para la ejecución de los ensayos de calidad.

ÍTEM DE PAGO	UNIDAD DE PAGO
203 Perfilado, Nivelación y Compactación de Subrasante	Metro cuadrado (M2)

## **02.04. CONFORMACIÓN DE TERRAPLÉN**

### **DESCRIPCIÓN**

#### **02.04.01 Generalidades**

Se refiere a los rellenos se ejecutados para alcanzar las cotas necesarias para el proyecto

Rellenos con material seleccionado provenientes de excedentes de corte o canteras, en los lugares donde es necesario elevar la subrasante por la construcción de estructuras de drenaje, conformar la subrasante en las zonas de ensanche de acuerdo con estas especificaciones y en conformidad con las alineaciones, rasantes y dimensiones marcadas en los planos o en la forma que indique el Supervisor.

En los terraplenes se distinguirán tres partes o zonas constitutivas:

- ✓ Base, parte del terraplén que está por debajo de la superficie original del terreno, la que ha sido variada por el retiro de material inadecuado.
- ✓ Cuerpo, parte del terraplén comprendida entre la base y la corona.
- ✓ Corona (capa subrasante), formada por la parte superior del terraplén, construida en un espesor de treinta centímetros (30 cm), salvo que los planos del proyecto o las especificaciones especiales indiquen un espesor diferente.

En el caso en el cual el terreno de fundación se considere adecuado, la parte del terraplén denominado base no se tendrá en cuenta.

### **MATERIALES**

**02.04.02** Todo material usado en relleno deberá ser de calidad aceptable a juicio del supervisor y no contendrá materia orgánica ni elementos inestables o de fácil alteración.

El material para esta partida será aprobado por el supervisor de acuerdo a las especificaciones para el terraplén o relleno en particular, para lo cual dicho material será empleado.

### 02.04.03 Extracción de material de terraplén para relleno

Tabla N° 204-1  
Ensayos y Frecuencias

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia (1)	Lugar de Muestreo
Terraplén	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 27	1 cada 1000 m³	Cantera
	Límites de Consistencia	MTC E 111	D 4318	T 89	1 cada 1000 m³	Cantera
	Contenido de Mat. Orgánica	MTC E 118	-	-	1 cada 3000 m³	Cantera
	Abrasión Los Ángeles	MTC E 207	C 131	T 96	1 cada 3000 m³	Cantera
	Densidad - Humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	1 cada 1000 m³	Pista
	Compactación	Base y Cuerpo	MTC E 117	D 1556	T 191	1 cada 500 m²
MTC E 124			D 2922	T 238		
Corona					1 cada 250 m²	

Fuente: EG – 2000

(1) O antes, si por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico - mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada propiedad y/o característica.

### EQUIPO

**02.04.04** El equipo empleado para la construcción de terraplenes deberá ser compatible con los procedimientos de ejecución adoptados y requiere aprobación previa del Supervisor, teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de los trabajos y al cumplimiento de las exigencias de la presente especificación.

El Contratista mediante un tractor sobre orugas u otra máquina que sea aceptada por la Supervisión procederá a la extracción de material de cantera y a su apilamiento en lugar adecuado, escogido para tal fin con la finalidad de ser llevado a obra para la conformación de terraplenes, rellenos estructurales y mejoramientos.

### REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN

**02.04.05** El procedimiento para determinar los espesores de compactación deberán incluir pruebas aleatorias longitudinales, transversales y en profundidad

verificando que se cumplen con los requisitos de compactación en toda la profundidad propuesta.

El espesor propuesto deberá ser el máximo que se utilice en obra, el cual en ningún caso debe exceder de trescientos milímetros (300 mm). La secuencia de construcción de los terraplenes deberá ajustarse a las condiciones estacionales y climáticas que imperen en la región del proyecto. Cuando se haya programado la construcción de las obras de arte previamente a la elevación del cuerpo del terraplén, no deberá iniciarse la construcción de éste antes de que las alcantarillas y muros de contención se terminen en un tramo no menor de quinientos metros (500 m) adelante del frente del trabajo, en cuyo caso deberán concluirse también, en forma previa, los rellenos de protección que tales obras necesiten. En las zonas de ensanche de terraplenes existentes o en la construcción de éstos sobre terreno inclinado, previamente preparado, el talud existente o el terreno natural deberán cortarse en forma escalonada, de acuerdo con los planos o las instrucciones del Supervisor, para asegurar la estabilidad del terraplén nuevo.

Si el terraplén hubiere de construirse sobre turba o suelos blandos, se deberá asegurar la eliminación total o parcial de estos materiales, su tratamiento previo o la utilización de cualquier otro medio propuesto por el Contratista y autorizado por el Supervisor, que permita mejorar la calidad del soporte, hasta que éste ofrezca la suficiente estabilidad para resistir esfuerzos debidos al peso del terraplén terminado.

#### **02.04.06 Base y Cuerpo del terraplén**

El material del terraplén se colocará en capas de espesor uniforme, el cual será lo suficientemente reducido para que, con los equipos disponibles, se obtenga el grado de compactación exigido. Los materiales de cada capa serán de características uniformes. No se extenderá ninguna capa, mientras no se haya comprobado que la subyacente cumple las condiciones de compactación exigidas. Será responsabilidad del Contratista asegurar un contenido de humedad que garantice el grado de compactación exigido en todas las capas del cuerpo del terraplén.

#### **02.04.07 Corona del terraplén**

Salvo que los planos del proyecto o las especificaciones particulares establezcan

algo diferente, la corona deberá tener un espesor compacto mínimo de treinta centímetros (30 cm) construidos en dos capas de igual espesor.

Los terraplenes se deberán construir hasta una cota superior a la indicada en los planos, en la dimensión suficiente para compensar los asentamientos producidos por efecto de la consolidación y obtener la rasante final a la cota proyectada.

Al terminar cada jornada, la superficie del terraplén deberá estar compactada y bien nivelada, con declive suficiente que permita el escurrimiento de aguas lluvias sin peligro de erosión.

Deberá prohibirse la acción de todo tipo de tránsito sobre las capas en ejecución, hasta que se haya completado su compactación. Si ello no resulta posible, el tránsito que necesariamente deba pasar sobre ellas se distribuirá de manera que no se concentren huellas de rodadura en la superficie.

El Contratista responderá, hasta la aceptación final, por la estabilidad de los terraplenes construidos con cargo al contrato y asumirá todos los gastos que resulten de sustituir cualquier tramo que, a juicio del Supervisor, haya sido mal construido por descuido o error atribuible a aquel.

#### **02.04.08 Aceptación de Trabajos**

Los trabajos para su aceptación estarán sujetos a lo siguiente por el supervisor:

- ✓ El estado y funcionamiento de todo el equipo utilizado por el Contratista.
- ✓ Supervisar la correcta aplicación de los métodos de trabajo aceptados.
- ✓ Comprobar que los materiales por emplear cumplan los requisitos de calidad exigidos.
- ✓ Verificar la compactación de todas las capas del terraplén.
- ✓ Realizar medidas para determinar espesores y levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.
- ✓ **Calidad de los materiales**

De cada procedencia de los suelos empleados para la construcción de terraplenes y para cualquier volumen previsto, se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

- ✓ Granulometría
- ✓ Límites de Consistencia.
- ✓ Abrasión.

✓ Clasificación.

✓ Calidad del producto terminado

Cada capa terminada de terraplén deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a la rasante y pendientes establecidas.

Los taludes terminados no deberán acusar irregularidades a la vista.

La cota de cualquier punto de la subrasante en terraplenes, conformada y compactada, no deberá variar en más de diez milímetros (10 mm) de la cota proyectada.

✓ Compactación

Las determinaciones de la densidad de cada capa compactada se realizarán según se establece en la Tabla 204-2 y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad. Los sitios para las mediciones se elegirán al azar.

Las densidades individuales del tramo ( $D_i$ ) deberán ser, como mínimo, el noventa por ciento (90%) de la máxima densidad obtenida en el ensayo próctor modificado de referencia ( $D_e$ ) para la base y cuerpo del terraplén y el noventa y cinco por ciento (95%) con respecto a la máxima obtenida en el mismo ensayo, cuando se verifique la compactación de la corona del terraplén.

$D_i > 0.90 D_e$  ; (base y cuerpo)

$D_i > 0.95 D_e$  ; (corona)

La humedad del trabajo no debe variar en  $\pm 2\%$  respecto del Optimo Contenido de Humedad obtenido con el próctor modificado.

El incumplimiento de estos requisitos originará el rechazo del tramo.

## **MEDICIÓN**

**02.04.09** La unidad de medida para los volúmenes de conformación de terraplenes será el metro cúbico ( $m^3$ ), aproximado al metro cúbico completo, de material compactado, aceptado por el Supervisor, en su posición final.

Para el cálculo de volúmenes de terraplenes se usará el método del promedio de áreas extremas, en base a la determinación de las áreas en secciones transversales consecutivas, su promedio y multiplicado por la longitud entre las secciones a lo largo de la línea del eje de la vía. El volumen así resultante constituye el volumen a pagar cuando sea aprobado por el Supervisor.

Dichas áreas están limitadas por las siguientes líneas de pago:

✓ Las líneas del terreno (terreno natural, con capa vegetal removida, afirmado existente, cunetas y taludes existentes).

✓ Las líneas del proyecto (nivel de subrasante, cunetas y taludes proyectados).

No se medirán los terraplenes que haga el Contratista en sus caminos de acceso y obras auxiliares que no formen parte de las obras del proyecto.

## **PAGO**

**02.04.10** El trabajo de terraplenes se pagará al precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada satisfactoriamente de acuerdo con la presente especificación y aceptada por el Supervisor.

El precio unitario que figura en el presupuesto incluye la mano de obra y equipo necesario para la colocación y extracción del material procedente de la excavación del material adecuado o de préstamo de cantera.

<b>ÍTEM DE PAGO</b>	<b>UNIDAD DE PAGO</b>
204 Conformación de Terraplén	Metro cúbico (M3)

## **SECCIÓN: 03.00. BASES**

### **03.01. CONFORMACIÓN DE BASE GRANULAR**

#### **DESCRIPCIÓN**

##### **03.01.01 Generalidades**

Este trabajo consiste en el suministro, transporte, colocación y compactación de material de base granular aprobado sobre una subbase, afirmado o subrasante, en una o varias capas, conforme con las dimensiones, alineamientos y pendientes señalados en los planos del proyecto u ordenados por el Supervisor.

#### **MATERIALES**

**03.01.02** Los materiales para base granular triturada solo provendrán de canteras autorizadas y será obligatorio el empleo de un agregado que contenga una fracción producto de trituración mecánica.

En ambos casos, las partículas de los agregados serán duras, resistentes y durables, sin exceso de partículas planas, blandas o desintegrables y sin materia orgánica, terrones de arcilla u otras sustancias perjudiciales. En el caso de la

cimentación rocosa, no es necesario cumplir el espesor de base, pero si debe existir por lo menos una capa de 5 cm (2") de base, denominada capa de transición. Sus condiciones de limpieza dependerán del uso que se vaya a dar al material.

Además, deberán ajustarse a las siguientes especificaciones de calidad:

#### a. Granulometría

La composición final de la mezcla de agregados presentará una granulometría continua y bien graduada (sin inflexiones notables) según una fórmula de trabajo de dosificación aprobada por el Supervisor y según uno de los requisitos granulométricos que se indican en la Tabla 302-1. Para las zonas como el tramo en estudio, con altitud de 3000 msnm se deberá seleccionar la gradación "A".

Tabla 03.01-1

#### Requerimientos Granulométricos para Base Granular

Tamiz	Porcentaje que Pasa en Peso			
	Gradación A	Gradación B	Gradación C	Gradación D
50 mm (2")	100	100	—	—
25 mm (1")	—	75 – 95	100	100
9.5 mm (3/8")	30 – 65	40 – 75	50 – 85	60 – 100
4.75 mm (Nº 4)	25 – 55	30 – 60	35 – 65	50 – 85
2.0 mm (Nº 10)	15 – 40	20 – 45	25 – 50	40 – 70
4.25 um (Nº 40)	8 – 20	15 – 30	15 – 30	25 – 45
75 um (Nº 200)	2 – 8	5 – 15	May-15	8 – 15

Fuente: EG 2000

El material de Base Granular deberá cumplir además con las siguientes características físico-mecánicas y químicas que a continuación se indican:

Valor Relativo de Soporte, CBR	Tráfico Ligero y Medio	Mín 80%
	Tráfico Pesado	Mín 100%

Para prevenir segregaciones y garantizar los niveles de compactación y resistencia exigidos por la presente especificación, el material que produzca el Contratista deberá dar lugar a una curva granulométrica uniforme, sensiblemente paralela a los límites de la franja por utilizar, sin saltos bruscos de la parte superior de un tamiz a la inferior de un tamiz adyacente o viceversa.

## b. Agregado Grueso

Se denominará así a los materiales retenidos en la Malla N° 4, los que consistirán de partículas pétreas durables y trituradas capaces de soportar los efectos de manipuleo, extendido y compactación sin producción de finos contaminantes.

Deberán cumplir las siguientes características:

Tabla 03.01-2  
Requerimientos Agregado Grueso

Ensayo	Norma MTC	Norma ASTM	Norma AASHTO	Requerimientos	
				Altitud	
				< Menor de 3000 msnm	≥ 3000 msnm
Partículas con una cara fracturada	MTC E 210	D 5821		80% min.	80% min.
Partículas con dos caras fracturadas	MTC E 210	D 5821		40% min.	50% min.
Abrasión Los Angeles	MTC E 207	C 131	T 96	40% máx	40% max
Partículas Chatas y Alargadas (1)	MTC E 221	D 4791		15% máx.	15% máx.
Sales Solubles Totales	MTC E 219	D 1888		0.5% máx.	0.5% máx.
Pérdida con Sulfato de Sodio	MTC E 209	C 88	T 104	--	12% máx.
Pérdida con Sulfato de Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	--	18% máx.

Fuente: EG 2000

(1) La relación ha emplearse para la determinación es: 1/3 (espesor/longitud)

## c. Agregado Fino

Se denominará así a los materiales pasantes la malla N° 4 que podrá provenir de fuentes naturales o de procesos de trituración o combinación de ambos.

Tabla 03.01-3  
Requerimientos Agregado Grueso

Ensayo	Norma	Requerimientos	
		< 3 000 m.s.n.m.	> 3 000 m.s.n.m
Indice Plástico	MTC E 111	4% máx	2% máx
Equivalente de arena	MTC E 114	35% mín	45% mín
Sales solubles totales	MTC E 219	0,55% máx	0,5% máx
Indice de durabilidad	MTC E 214	35% mín	35% mín

Fuente: EG 2000

## EQUIPO

**03.01.03** El equipo será el más adecuado y apropiado para la explotación de los materiales, su clasificación, trituración de ser requerido, lavado de ser necesario,

equipo de carga, descarga, transporte, extendido, mezcla, homogeneización, humedecimiento y compactación del material, así como herramientas menores.

## **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

### **03.01.04 Explotación de materiales y elaboración de agregados**

Las fuentes de materiales, así como los procedimientos y equipos utilizados para la explotación de aquellas y para la elaboración de los agregados requeridos, deberán tener aprobación previa del Supervisor, la cual no implica necesariamente la aceptación posterior de los agregados que el Contratista suministre o elabore de tales fuentes, ni lo exime de la responsabilidad de cumplir con todos los requisitos de cada especificación.

La mezcla de agregados deberá salir de la planta con la humedad requerida de compactación, teniendo en cuenta las pérdidas que puede sufrir en el transporte y colocación.

Definida la fórmula de trabajo de la base granular, la granulometría deberá estar dentro del rango dado por el huso granulométrico adoptado.

### **03.01.05 Preparación de la superficie existente**

El Supervisor sólo autorizará la colocación de material de base granular cuando la superficie sobre la cual debe asentarse tenga la densidad y las cotas indicadas o definidas por el Supervisor. Además deberá estar concluida la construcción de las cunetas, desagües y filtros necesarios para el drenaje de la calzada.

Si en la superficie de apoyo existen irregularidades que excedan las tolerancias determinadas en las especificaciones respectivas, de acuerdo con lo que se prescribe en la unidad de obra correspondiente, el Contratista hará las correcciones necesarias a satisfacción del Supervisor.

### **03.01.06 Tramo de Prueba**

Se aplica lo descrito en la Sub sección 301.06 de este documento.

### **03.01.07 Transporte y colocación de material**

Se aplica lo indicado en la Sub sección 301.12 de este documento

### **03.01.08 Extensión y mezcla del material**

Se podrá extender con terminadora mecánica o el uso de motoniveladora.

En caso de que sea necesario humedecer o airear el material para lograr la humedad de compactación, el Contratista empleará el equipo adecuado y aprobado, de manera que no perjudique a la capa subyacente y deje una humedad uniforme en el material. Este, después de mezclado, se extenderá en una capa de espesor uniforme que permita obtener el espesor y grado de compactación exigidos, de acuerdo con los resultados obtenidos en el tramo de prueba.

#### **03.01.09 Compactación**

Se utilizarán los rodillos autopropulsados de 8 a 10 Tn, realizándose esta operación cuando el material se encuentra con humedad adecuada y nivelada. .

#### **03.01.10 Apertura al tránsito**

Sobre las capas en ejecución se prohibirá la acción de todo tipo de tránsito mientras no se haya completado la compactación. Si ello no es factible, el tránsito que necesariamente deba pasar sobre ellas, se distribuirá de forma que no se concentren ahuellamientos sobre la superficie. El Contratista deberá responder por los daños producidos por esta causa, debiendo proceder a la reparación de los mismos con arreglo a las indicaciones del Supervisor.

#### **03.01.11 Conservación**

Si después de aceptada la subbase granular, el Contratista demora por cualquier motivo la construcción de la capa inmediatamente superior, deberá reparar, a su costo, todos los daños en la subbase y restablecer el mismo estado en que se aceptó.

#### **03.01.12 Aceptación de los Trabajos**

##### **a. Controles**

- Ejecutar ensayos de compactación en el laboratorio.
- Verificar la densidad de las capas compactadas efectuando la corrección previa por partículas de agregado grueso, siempre que ello sea

necesario. Este control se realizará en el espesor de capa realmente construido de acuerdo con el proceso constructivo aplicado.

- Tomar medidas para determinar espesores y levantar perfiles y comprobar la uniformidad de la superficie.

### b. Calidad de los agregados

De cada procedencia de los agregados y para cualquier volumen previsto se tomarán cuatro (4) muestras y de cada fracción se determinarán los ensayos con las frecuencias que se indican en la Tabla 302-3.

Tabla 302.3  
Ensayos y Frecuencias

Material o Producto	Propiedades y Características	Método de Ensayo	Norma ASTM	Norma AASHTO	Frecuencia	Lugar de Muestreo
Base Granular	Granulometría	MTC E 204	D 422	T 88	7500 m <sup>3</sup>	Cantera
	Límite Líquido	MTC E 110	D 4318	T 89	750 m <sup>3</sup>	Cantera
	Índice de Plasticidad	MTC E 111	D 4318	T 89	750 m <sup>3</sup>	Cantera
	Desgaste Los Angeles	MTC E 207	C 131	T 96	2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Equivalente de Arena	MTC E 114	D 2419	T 176	2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Sales Solubles	MTC E 219	D 1888		2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	CBR	MTC E 132	D 1883	T 193	2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Partículas Fracturadas	MTC E 210	D 5821		2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Partículas Chatas y Alargadas	MTC E 221	D 4791		2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Pérdida en Sulfato de Sodio / Magnesio	MTC E 209	C 88	T 104	2000 m <sup>3</sup>	Cantera
	Densidad – Humedad	MTC E 115	D 1557	T 180	750 m <sup>3</sup>	Pista
	Compactación	MTC E 117	D 1556	T 191	250 m <sup>3</sup>	Pista
		MTC E 124	D 2922	T 238		

Fuente. EG 2000

(1) O antes, si por su génesis, existe variación estratigráfica horizontal y vertical que originen cambios en las propiedades físico - mecánicas de los agregados. En caso de que los metrados del proyecto no alcancen las frecuencias mínimas especificadas se exigirá como mínimo un ensayo de cada Propiedad y/o Característica.

No se permitirá que a simple vista el material presente restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores del máximo especificado.

#### 03.01.13 Calidad del producto terminado

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje de proyecto y el borde de la capa no podrá ser inferior a la señalada en los planos o la definida

por el Supervisor quien, además, deberá verificar que la cota de cualquier punto de la base conformada y compactada, no varíe en más de diez milímetros (10 mm) de la proyectada.

Así mismo, deberá efectuar las siguientes comprobaciones:

#### **a. Compactación**

Las determinaciones de la densidad de la base granular se efectuarán en una proporción de cuando menos una vez por cada doscientos cincuenta metros cuadrados (250 m<sup>2</sup>) y los tramos por aprobar se definirán sobre la base de un mínimo de seis (6) medidas de densidad, exigiéndose que los valores individuales (Di) sean iguales o mayores al cien por cientos (100%) de la densidad máxima obtenida en el ensayo próctor (De)

$$D_i \geq D_e$$

La humedad de trabajo no debe variar en  $\pm 1.5\%$  respecto del Optimo Contenido de Humedad obtenido con el próctor modificado.

En caso de no cumplirse estos requisitos se rechazará el tramo.

Siempre que sea necesario, se efectuarán las correcciones por presencia de partículas gruesas. Previamente al cálculo de los porcentajes de compactación.

#### **b. Espesor**

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, se determinará el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed) más o menos 10 milímetros  $\pm 10$  mm).

$$e_m \geq e_d \pm 10 \text{ mm}$$

Además el valor obtenido en cada determinación individual ( ei ) deberá ser, como mínimo, igual al noventa y cinco por ciento ( 95% ) del espesor de diseño, so pena del rechazo del tramo controlado.

$$e_i > 0.95 e_d$$

Todas las irregularidades que excedan las tolerancias mencionadas, así como las áreas en donde la base granular presente agrietamientos o segregaciones, deberán ser corregidas por el Contratista, a su costa, y a plena satisfacción del Supervisor.

### **c. Lisura**

La uniformidad de la superficie de la obra ejecutada, se comprobará con una regla de tres metros (3 m) de longitud, colocada tanto paralela como normalmente al eje de la vía, no admitiéndose variaciones superiores a diez milímetros (10 mm) para cualquier punto. Cualquier irregularidad que exceda esta tolerancia se corregirá con reducción o adición de material en capas de poco espesor, en cuyo caso, para asegurar buena adherencia, será obligatorio escarificar la capa existente y compactar nuevamente la zona afectada.

#### **03.01.14 Ensayo de deflectometría sobre la base terminada**

Una vez terminada la explanación se hará deflectometría cada 25 metros alternados en ambos sentidos, es decir, en cada uno de los carriles, mediante el empleo de la viga Benkelman el FWD o cualquier equipo de alta confiabilidad, antes de cubrir la subrasante con la subbase o con la base granular. Se analizará la deformada o curvatura de la deflexión obtenida de por lo menos tres mediciones por punto.

Los puntos de medición estarán referenciados con el estacado del proyecto, de tal manera que exista una coincidencia con relación a las mediciones que se efectúen a nivel de carpeta. Se requiere un estricto control de calidad tanto de los materiales como de los equipos, procedimientos constructivos y en general de todos los elementos involucrados en la puesta en obra de la subrasante. De dicho control forman parte la medición de las deflexiones que se menciona en el primer párrafo. Un propósito específico de la medición de deflexiones sobre la subrasante, es la determinación de problemas puntuales de baja resistencia que puedan presentarse durante el proceso constructivo, su análisis y la oportuna aplicación de los correctivos a que hubiere lugar.

### **MEDICIÓN**

**03.01.15** La unidad de medida será el metro cúbico (m<sup>3</sup>), aproximado al entero, de material o mezcla suministrada, colocada y compactada, a satisfacción del Supervisor, de acuerdo con lo que exija la especificación respectiva, las dimensiones que se indican en el Proyecto o las modificaciones ordenadas por el Supervisor.

El volumen se determinará por el sistema promedio de áreas extremas, utilizando las secciones transversales y la longitud real, medida a lo largo del eje del proyecto.

No se medirán cantidades en exceso de las especificadas ni fuera de las dimensiones de los planos y del Proyecto, especialmente cuando ellas se produzcan por sobreexcavaciones de la subrasante por parte del Contratista.

## **PAGO**

**03.01.16** El pago se hará por metro cúbico al respectivo precio unitario del contrato, por toda obra ejecutada de acuerdo tanto con esta Sección como con la especificación respectiva y aceptada a satisfacción por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de permisos ambientales para la explotación de los suelos y agregados; las instalaciones provisionales; los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos de explotación, selección, trituración, lavado, transportes dentro de las zonas de producción, almacenamiento, clasificación, desperdicios, carga, transporte del material al punto de aplicación, descarga, mezcla, colocación, nivelación y compactación de los materiales utilizados; y los de extracción, bombeo, transporte y distribución del agua requerida.

El precio unitario deberá incluir, también, los costos de ejecución de los tramos de prueba y, en general, todo costo relacionado con la correcta ejecución de la capa respectiva

ÍTEM DE PAGO	UNIDAD DE PAGO
302 Conformación de Base Granular	Metro cúbico (M3)

## **SECCIÓN: 400. PAVIMENTOS**

### **04.01. IMPRIMACIÓN ASFÁLTICA**

#### **DESCRIPCIÓN**

##### **04.01.01 Generalidades**

401.01 Bajo este ítem "Imprimación", el Contratista debe suministrar y aplicar material bituminoso a una base o superficie del camino preparada con anterioridad, de acuerdo con las Especificaciones y de conformidad con los planos o como sea designado por el Ingeniero Supervisor.

#### **MATERIALES**

**04.01.02** El material bituminoso a aplicar en este trabajo será el siguiente:

(a) Emulsiones Asfálticas de curado rápido (CRS-1, CRS-2) diluido con agua, de acuerdo a la textura de la Base.

(b) Podría ser admitido el uso de Asfalto líquido, de grados MC-30, MC-70 ó MC-250 que cumpla con los requisitos de la Tabla N° 401-1.

El tipo de material a utilizar deberá ser establecido en el Proyecto o según lo indique el Supervisor. El material debe ser aplicado tal como sale de planta, sin agregar ningún solvente o material que altere sus características.

La cantidad por m<sup>2</sup> de material bituminoso, debe estar comprendido entre 0,7 - 1,5 lt/m<sup>2</sup> para una penetración dentro de la capa granular de apoyo de 7 mm por lo menos, verificándose esto cada 25 m.

Tabla N° 04.01-1

Requisitos de Material Bituminoso Diluido de Curado Medio

Características	Ensayo	MC-30		MC-70		MC-250	
		Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.
Viscosidad Cinemática a 60°C, mm <sup>2</sup> /s	MTC E 301	30	60	70	140	250	500
Punto de Inflamación (TAG, Copa abierta) °C	MTC E 312	38		38		66	
Destilación, volumen total destilado hasta 360°C, %Vol	MTC E 313	40	25	0	20	0	10
➤ A 190°C		75	70	20	60	15	55
➤ A 225°C			93	65	90	60	87
➤ A 260°C							
➤ A 315°C							
Residuo de la destilación a 315°C		50		55		67	
Pruebas sobre el residuo de la destilación	MTC E 306	100	-	100		100	-
➤ Ductilidad a 25°C, 5 cm/min., cm. Penetración a 25°C, 100 gr., 5 seg. (*)	MTC E 304	120	250 120	120 30	250 120	120 30	250 120
➤ Viscosidad absoluta a 60°C, Pa.s		30					
➤ Solubilidad en tricloetileno, %	MTC E 302	99		99		99	
Contenido de agua, % del volumen		-	0,2	-	0,2	-	0,2

Fuente: EG – 2000

Antes de la iniciación del trabajo, el Supervisor aprobará la tasa de aplicación del material de acuerdo a los resultados del tramo de prueba.

### EQUIPO

**04.01.03** Todos los equipos empleados deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptados y requieren la aprobación previa del Supervisor teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad de la presente especificación y de la correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

Para los trabajos de imprimación se requieren elementos mecánicos de limpieza y carrotaques irrigadores de agua y asfalto.

El equipo para limpieza estará constituido por una barredora mecánica y/o una sopladora mecánica. La primera será del tipo rotatorio y ambas serán operadas mediante empuje o arrastre con tractor. Como equipo adicional podrán utilizarse compresores, escobas, y demás implementos que el Supervisor autorice.

El carrotanque imprimador de materiales bituminosos deberá cumplir exigencias mínimas que garanticen la aplicación uniforme y constante de cualquier material bituminoso, sin que lo afecten la carga, la pendiente de la vía o la dirección del vehículo. Sus dispositivos de irrigación deberán proporcionar una distribución transversal adecuada del ligante. El vehículo deberá estar provisto de un velocímetro calibrado en metros por segundo (m/s), o pies por segundo (pie/s), visible al conductor, para mantener la velocidad constante y necesaria que permita la aplicación uniforme del asfalto en sentido longitudinal.

El carrotanque deberá aplicar el producto asfáltico a presión y para ello deberá disponer de una bomba de impulsión, accionada por motor y provista de un indicador de presión. También, deberá estar provisto de un termómetro para el ligante, cuyo elemento sensible no podrá encontrarse cerca de un elemento calentador.

Para áreas inaccesibles al equipo irrigador y para retoques y aplicaciones mínimas, se usará una caldera regadora portátil, con sus elementos de irrigación a presión, o una extensión del carrotanque con una boquilla de expansión que permita un riego uniforme. Por ningún motivo se permitirá el empleo de regaderas u otros dispositivos de aplicación manual por gravedad.

## **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

### **04.01.04 Clima**

La capa de imprimación debe ser aplicada solamente cuando la temperatura atmosférica a la sombra este por encima de los 10°C y la superficie del camino esté razonablemente seca y las condiciones climáticas, en la opinión de la Supervisión, se vean favorables (no lluviosos, ni muy nublado).

### **04.01.05 Preparación de la Superficie**

La superficie de la base que debe ser imprimada (impermeabilizada) debe estar en conformidad con los alineamientos, gradientes y secciones típicas mostradas en los planos y con los requisitos de las Especificaciones relativas a la Base Granular.

Antes de la aplicación de la capa de imprimación, todo material suelto o extraño debe ser eliminado por medio de una barredora mecánica y/o un soplador mecánico, según sea necesario. Las concentraciones de material fino deben ser removidas por medio de la cuchilla niveladora o con una ligera escarificación. Cuando lo autorice el Supervisor, la superficie preparada puede ser ligeramente humedecida por medio de rociado, inmediatamente antes de la aplicación del material de imprimación.

#### 04.01.06 Aplicación de la Capa de Imprimación

Durante la ejecución el Contratista debe tomar las precauciones necesarias para evitar incendios, siendo el responsable por cualquier.

El material bituminoso de imprimación debe ser aplicado sobre la base completamente limpia, por un distribuidor a presión que cumpla con los requisitos indicados anteriormente. El Contratista dispondrá de cartones o papel grueso que acomodará en la Base antes de imprimir, para evitar la superposición de riegos, sobre un área ya imprimada, al accionar la llave de riego debiendo existir un empalme exacto. El material debe ser aplicado uniformemente a la temperatura y a la velocidad de régimen especificada por el Supervisor. En general, el régimen debe estar entre 0,7 a 1,5 lts/m<sup>2</sup>, dependiendo de cómo se halle la textura superficial de la base.

La temperatura del material bituminoso en el momento de aplicación, debe estar comprendida dentro de los límites establecidos en la Tabla N° 401-2, y será aplicado a la temperatura que apruebe el Supervisor.

Tabla N° 04.01-2  
Rangos de Temperatura de Aplicación (°C)

Tipo y Grado del Asfalto	Rangos de Temperatura	
	En Esparcido o Riego	En Mezclas Asfálticas (1)
<b>Asfaltos Diluidos:</b>		
MC-30	30-(2)	-
RC-70 o MC-70	50-(2)	-
RC-250 o MC-250	75-(2)	60-80(3)
RC-800 o MC-800	95-(2)	75-100(3)
<b>Emulsiones Asfálticas</b>		
CRS-1	50-85	-
CRS-2	60-85	-
CMS-2	40-70	50-60
CMS-2h; CSS-1; CSS-1h	20-70	20-70
<b>Cemento Asfáltico</b>		
Todos los grados	140 máx (4)	140 máx (4)

- (1) Temperatura de mezcla inmediatamente después de preparada.
- (2) Máxima temperatura en la que no ocurre vapores o espuma.
- (3) Temperatura en la que puede ocurrir inflamación. Se deben tomar precauciones para prevenir fuego o explosiones.
- (4) Se podrá elevar esta temperatura de acuerdo a las cartas temperatura-viscosidad del fabricante.

Al aplicar la capa de imprimación, el distribuidor debe ser conducido a lo largo de un filo marcado para mantener una línea recta de aplicación. El Contratista debe determinar la tasa de aplicación del ligante y hacer los ajustes necesarios. Algún área que no reciba el tratamiento, debe ser inmediatamente imprimada usando una manguera conectada al distribuidor.

Si las condiciones de tráfico lo permiten, la aplicación debe ser hecha sólo en la mitad del ancho de la Base. Debe tenerse cuidado de colocar la cantidad correcta de material bituminoso a lo largo de la junta longitudinal resultante. Inmediatamente después de la aplicación de la capa de imprimación, ésta debe ser protegida por avisos y barricadas que impidan el tránsito durante el período de curado (4 días aprox.).

#### **04.01.07 Apertura al Tráfico y Mantenimiento**

El área imprimada debe airearse, sin ser arenada por un término de 24 horas, a menos que lo ordene de otra manera el Supervisor. Si el clima es frío o si el material de imprimación no ha penetrado completamente en la superficie de la base, un período más largo de tiempo podrá ser necesario. Cualquier exceso de material bituminoso que quede en la superficie después de tal lapso debe ser retirado usando arena, u otro material aprobado que lo absorba y como lo ordene el Supervisor, antes de que se reanude el tráfico.

El Contratista deberá conservar satisfactoriamente la superficie imprimada hasta que la capa de superficie sea colocada. La labor de conservación debe incluir, el extender cualquier cantidad adicional de arena u otro material aprobado necesario para evitar la adherencia de la capa de imprimación a las llantas de los vehículos y parchar las roturas de la superficie imprimada con mezcla bituminosa. En otras palabras, cualquier área de superficie imprimada que resulte dañada por el tráfico de vehículos o por otra causa, deberá ser reparada antes de que la capa superficial sea colocada, a costo del Contratista.

#### **04.01.08 Aceptación de los trabajos**

##### **a. Controles**

Durante la ejecución de los trabajos, el Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- ✓ Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el Contratista.
- ✓ Verificar que las plantas de asfalto y de trituración estén provistas de filtros, captadores de polvo, sedimentadores de lodo y otros aditamentos que el Supervisor considere adecuados y necesarios para impedir emanaciones de elementos particulados y gases que puedan afectar el entorno ambiental.
- ✓ Efectuar ensayos para verificar las dosificaciones de ligante en riegos de liga e imprimaciones.
- ✓ Para cada tramo imprimado será registrado la temperatura ambiente.

##### **b. Calidad del material asfáltico**

El Supervisor se abstendrá de aceptar el empleo de suministros de material bituminoso que no se encuentren respaldados por la certificación de calidad del fabricante. En el caso de empleo de asfalto diluido, el Supervisor comprobará mediante muestras representativas (mínimo una muestra por cada 9000 galones o antes si el volumen de entrega es menor), el grado de viscosidad cinemática del producto, mientras que si está utilizando emulsión asfáltica, se comprobará su tipo, contenido de agua y penetración del residuo. En todos los casos, guardará una muestra para ensayos ulteriores de contraste, cuando el Contratista o el fabricante manifiesten inconformidad con los resultados iniciales.

##### **c. Dosificación**

El Supervisor se abstendrá de aceptar áreas imprimadas donde la dosificación varíe de la aprobada por él en más de diez por ciento (10%).

#### **MEDICIÓN**

**04.01.09** El método de medición se hará en dos formas y por separado: superficie imprimada y aprobada por el Ingeniero Supervisor en metros cuadrados (m<sup>2</sup>), y galones de asfalto líquido empleado en la imprimación, que se pagará con la partida 422 Asfalto Diluido Tipo MC-30.

## **PAGO**

**04.01.10** De acuerdo a lo indicado anteriormente, se pagará con la partida 401 Imprimación Asfáltica, los metros cuadrados de superficie imprimada y aprobada por el Ingeniero Supervisor. Este precio incluirá compensación total por todo el trabajo especificado en esta partida, mano de obra, herramientas, equipos, materiales con excepción del asfalto, e imprevistos necesarios para completar el trabajo.

Los galones de asfalto líquido empleado en la imprimación se pagarán en la partida 404 Asfalto Diluido Tipo MC-30.

ÍTEM DE PAGO	UNIDAD DE PAGO
401 Imprimación Asfáltica	Metro cuadrado (M2)

## **04.02. CARPETA ASFÁLTICA EN CALIENTE**

### **DESCRIPCIÓN**

#### **04.02.01 Generalidades**

Esta partida consistirá en la colocación de carpeta asfáltica en caliente y colocada sobre la base granular imprimada, a todo lo ancho de la vía incluyendo las bermas existente, de acuerdo a los planos y detalles del proyecto.

Las mezclas asfálticas en caliente estarán compuestas de agregados minerales gruesos, finos y material bituminoso. El uso de filler y aditivos mejoradores de adherencia, estarán sujetos a requerimiento del diseño de mezcla y calidad de los agregados.

### **MATERIALES**

**04.02.02** Los materiales a utilizar serán los que se especifican a continuación:

#### **a. Agregados Minerales Gruesos**

La proporción de los agregados retenidos en la malla N° 4, se designará Agregado Grueso y deberá proceder de la trituración de roca o grava, o por una combinación de ambas. Dichos materiales serán limpios, compactos y durables, no estarán recubiertos de arcilla, limo u otras sustancias perjudiciales.

No se utilizarán en capas de superficie, agregados con tendencia a pulimentarse por acción del tráfico.

Tabla N° 04.02-1

Requerimientos para los Agregados Gruesos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000	> 3000
Durabilidad (al Sulfato de Sodio)	MTC E 209	12% máx.	10% máx.
Durabilidad (al Sulfato de Magnesio)		18 máx.	15% máx.
Abrasión Los Angeles	MTC E 207	40% máx..	35% máx.
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35% mín.	35% mín.
Partículas chatas y alargadas	MTC E 221	10% máx.	10% máx.
Caras fracturadas	MTC E 210	Según Tabla 402-2	
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC E 206	1.00%	Según Diseño
Adherencia	MTC E 519	95	

Fuente: EG 2000

Tabla N° 04.02-2

Requerimientos para Caras Fracturadas

Tráfico en Ejes Equivalentes (millones)	Espesor de Capa	
	< 100 mm	> 100 mm
≤ 3	65/40	50/30
> 3 – 30	85/50	60/40
> 30	100/80	90/70

Fuente: EG 2000

Nota: La notación "60/40" indica que el 60% del agregado grueso tiene una cara fracturada y que el 40% tiene dos caras fracturadas.

**b. Agregados minerales finos**

La proporción de los agregados que pasan la malla N° 4, se designará Agregado Fino y estará constituido por arena de trituración o una mezcla de ella con arena natural. El material deberá estar libre de cualquier sustancia que impida la adhesión del asfalto y deberá satisfacer los requisitos de calidad indicados.

Tabla N° 04.02-3

Requerimientos para los Agregados Finos

Ensayos	Norma	Requerimiento	
		Altitud (m.s.n.m.)	
		< 3000	> 3000
Equivalente de Arena	MTC E 209	Según Tabla 402-4	
Angularidad del agregado fino	MTC E 222	Según Tabla 402-5	
Adhesividad (Riedel Weber)	MTC E 220	4% mín.	6% mín.
Índice de Plasticidad (malla N°40)	MTC E 111	NP	NP
Índice de Durabilidad	MTC E 214	35 mín.	35 mín.
Índice de Plasticidad (malla N°200)	MTC E 111	Max 4	NP
Sales Solubles Totales	MTC E 219	0.5% máx.	0.5% máx.
Absorción	MTC E 205	0.50%	Según Diseño

Fuente: EG -2000

Los granos del agregado fino deberán ser duros, limpios y de superficie rugosa y angular. No se utilizarán en capas de superficie agregados con tendencia a pulimentarse por el tráfico.

Tabla N° 04.02-4

Requerimientos del Equivalente de Arena

Tráfico en Ejes Equivalentes (millones)	Porcentaje de Equivalente Arena (mínimo)
< 3	45
> 3 – 30	50
> 30	55

Fuente: EG -2000

Tabla N° 04.02-5

Requerimientos del Equivalente de Arena

Tráfico en Ejes Equivalentes (millones)	Espesor de Capa	
	< 100 mm	> 100 mm
< 3	30 mín.	30 mín.
> 3 – 30	40 mín.	40 mín.
> 30	40 mín.	40 mín.

Fuente: EG -2000

### c. Gradación

La gradación de los agregados pétreos para la producción de la mezcla asfáltica en caliente serán establecidos por el Contratista y aprobado por el Supervisor.

Además de los requisitos de calidad que debe tener el agregado grueso y fino según lo establecido en el acápite (a) y (b) de esta Sub sección el material de la mezcla de los agregados debe estar libre de terrones de arcilla y se aceptará como máximo el uno por ciento (1%) de partículas deleznable según ensayo. MTC E 212. Tampoco deberá contener materia orgánica y otros materiales deletéreos.

La gradación de la mezcla asfáltica normal (MAC) deberá responder a alguno de los siguientes husos granulométricos especificados.

Tabla N° 04.02-6

Husos Granulométricos

Tamiz	Porcentaje que pasa		
	MAC -1	MAC-2	MAC-3
25,0 mm (1")	100	-	-
19,0 mm (3/4")	80 - 100	100	-
12,5 mm (1/2")	67- 85	80 - 100	-
9,5 mm (3/8")	60 - 77	70 - 88	100
4,75 mm (N° 4)	43 - 54	51 - 68	65 - 87
2,00 mm (N° 10)	29 - 45	38 - 52	43 - 61
425 mm (N° 40)	14 - 25	17- 28	16 - 29
180 mm (N° 80)	8-17	8-17	9-19
75 mm (N° 200)	4-8	4-8	5-10

Fuente: EG -2000

#### **d. Filler o Polvo Mineral**

El relleno mineral que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante de la mezcla asfáltica o como mejorador de adherencia será de preferencia la cal hidratada que deberá cumplir los requisitos que se especifican en la norma AASHTO-M303.

Con mayor precaución y con la aprobación del Supervisor sujeto a pruebas y ensayos de la mezcla podrá utilizarse polvo calcáreo procedente de trituración de rocas. En este caso, se deberá cumplir la siguiente granulometría:

Tabla N° 04.02-7  
Granulometría filler

<b>Malla</b>	<b>% Retenido (en peso)</b>
Residuo máximo en la malla de 600 $\mu\text{m}$ (N° 30)	3%
Residuo máximo en la malla de 75 $\mu\text{m}$ (N° 200)	20%

Fuente: EG -2000

De no ser cal, será polvo de roca.

La cantidad a utilizar se definirá en la fase de diseños de mezcla según el Método Marshall.

#### **e. Cemento Asfáltico**

El cemento asfáltico a emplear en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente, será clasificado por su viscosidad absoluta y por su penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico, las consideraciones del Proyecto y las indicaciones del Supervisor.

El cemento asfáltico a emplear en los riegos de liga y en las mezclas asfálticas elaboradas en caliente será clasificado por viscosidad absoluta y por penetración. Su empleo será según las características climáticas de la región, la correspondiente carta viscosidad del cemento asfáltico y tal como lo indica la Tabla N° 402-8, las consideraciones del Proyecto y las indicaciones del Supervisor.

Tabla N° 04.02-8

Tipo de Cemento Asfáltico Clasificado según Penetración

<b>Temperatura Media Anual</b>			
<b>24°C o más</b>	<b>24°C – 15°C</b>	<b>15°C - 5°C</b>	<b>Menos de 5°C</b>
40 – 50 ó	60-70	85 – 100	Asfalto Modificado
60-70 ó		120 - 150	
Modificado			

Fuente: EG -2000

El cemento asfáltico debe presentar un aspecto homogéneo, libre de agua y no formar espuma cuando es calentado a temperatura de 175 °C.

**f. Fuentes de Provisión o Cantera**

El Supervisor deberá verificar y aprobar el uso de las canteras de donde se extraerá los materiales que se emplearán en la mezcla asfáltica.

**EQUIPO**

**04.02.03** Todos los equipos empleados deberán ser compatibles con los procedimientos de construcción adoptada, y requieren la aprobación previa del Supervisor teniendo en cuenta que su capacidad y eficiencia se ajusten al programa de ejecución de las obras y al cumplimiento de las exigencias de calidad de la presente especificación y de la correspondiente a la respectiva partida de trabajo.

Adicionalmente se deberá considerar lo siguiente:

**a. Equipo para la Elaboración de los Agregados Triturados**

La planta de trituración constará de una chancadora primaria y secundaria, de una zaranda vibratoria para la arena y de una zaranda de gravedad para la piedra.

**b. Planta Mezcladora**

La mezcla de concreto asfáltico se fabricará en plantas adecuadas de tipo continuo o discontinuo, capaces de manejar simultáneamente en frío el número de agregados que exija la fórmula de trabajo adoptada.

Las plantas productoras de mezcla asfáltica deberán cumplir con lo establecido en la reglamentación vigente sobre protección y control de calidad del aire.

Las tolvas de agregados en frío deberán tener paredes resistentes y estar provistas de dispositivos de salida que puedan ser ajustados exactamente y

mantenidos en cualquier posición. El número mínimo de tolvas será función del número de fracciones de agregados por emplear y deberá tener aprobación del Supervisor.

En las plantas del tipo tambor secador-mezclador, el sistema de dosificación de agregados en frío deberá ser ponderal y tener en cuenta su humedad para corregir la dosificación en función de ella. En los demás tipos de plantas de aceptarán sistemas de dosificación de tipo volumétrico.

La planta estará dotada de un secador que permita el secado correcto de los agregados y su calentamiento a la temperatura adecuada para la fabricación de la mezcla. El sistema de extracción de polvo deberá evitar su emisión a la atmósfera o el vertido de lodos a cauces de agua o instalaciones sanitarias.

Las plantas que no sean del tipo tambor secador-mezclador, estarán dotadas, así mismo, de un sistema de clasificación de los agregados en caliente, de capacidad adecuada a la producción del mezclador, en un número de fracciones no inferior a tres (3) y de tolvas de almacenamiento de las mismas, cuyas paredes serán resistentes y de altura suficiente para evitar contaminaciones. Dichas tolvas en caliente estarán dotadas de un rebosadero, para evitar que el exceso de contenido se vierta en las contiguas o afecte el funcionamiento del sistema de clasificación; de un dispositivo de alarma, claramente perceptible por el operador, que avise cuando el nivel de la tolva baje del que proporcione el caudal calibrado y de un dispositivo para la toma de muestras de las fracciones almacenadas.

La instalación deberá estar provista de indicadores de la temperatura de los agregados, situados a la salida del secador y en las tolvas en caliente.

El sistema de almacenamiento, calefacción y alimentación del asfalto deberá permitir su recirculación y su calentamiento a la temperatura de empleo.

En el calentamiento del asfalto se emplearán, preferentemente, serpentines de aceite o vapor, evitándose en todo caso el contacto del ligante con elementos metálicos de la caldera que estén a temperatura muy superior a la de almacenamiento. Todas las tuberías, bombas, tanques, etc., deberán estar provistos de dispositivos calefactores o aislamientos. La descarga de retorno del ligante a los tanques de almacenamiento será siempre sumergida. Se dispondrán termómetros en lugares convenientes, para asegurar el control de la temperatura del ligante, especialmente en la boca de salida de éste al mezclador y en la entrada del tanque de almacenamiento. El sistema de circulación deberá

estar provisto de una toma para el muestreo y comprobación de la calibración del dispositivo de dosificación.

En nuestro caso que se incorporará aditivos a la mezcla, la instalación deberá poseer un sistema de dosificación exacta de los mismos. La instalación estará dotada de sistemas independientes de almacenamiento y alimentación del llenante de recuperación y adición, los cuales deberán estar protegidos contra la humedad.

Las instalaciones de tipo discontinuo deberán estar provistas de dispositivos de dosificación por peso cuya exactitud sea superior al medio por ciento (0,5%). Los dispositivos de dosificación del llenante y ligante tendrán, como mínimo, una sensibilidad de medio kilogramo (0,5 kg). El ligante deberá ser distribuido uniformemente en el mezclador, y las válvulas que controlan su entrada no deberán permitir fugas ni goteos.

En las instalaciones de tipo continuo, las tolvas de agregados clasificados calientes deberán estar provistas de dispositivos de salida, que puedan ser ajustados exactamente y mantenidos en cualquier posición. Estos dispositivos deberán ser calibrados antes de iniciar la fabricación de cualquier tipo de mezcla, en condiciones reales de funcionamiento.

El sistema dosificador del ligante deberá disponer de dispositivos para su calibración a la temperatura y presión de trabajo. En las plantas de mezcla continua, deberá estar sincronizado con la alimentación de los agregados pétreos y el llenante mineral.

En las plantas continuas con tambor secador-mezclador se deberá garantizar la difusión homogénea del asfalto y que ésta se realice de manera que no exista ningún riesgo de contacto con la llama ni de someter al ligante a temperaturas inadecuadas.

En las instalaciones de tipo continuo, el mezclador será de ejes gemelos.

Si la planta posee tolva de almacenamiento de la mezcla elaborada, su capacidad deberá garantizar el flujo normal de los vehículos de transporte.

En la planta mezcladora y en los lugares de posibles incendios, es necesario que se cuente con un extintor de fácil acceso y uso del personal de obra.

Los trabajadores y operarios más expuestos al ruido, gases tóxicos y partículas deberán estar dotados con elementos de seguridad industrial y adaptados a las condiciones climáticas tales como: gafas, tapa oídos, tapabocas, casco, guantes, botas y otras que se crea pertinente.

### **c. Equipo para el transporte**

Tanto los agregados como las mezclas se transportarán en volquetes debidamente acondicionadas para tal fin. La forma y altura de la tolva será tal, que durante el vertido en la terminadora, el volquete sólo toque a ésta a través de los rodillos previstos para ello.

Los volquetes deberán estar siempre provistos de dispositivos que mantengan la temperatura, así como para proteger debidamente asegurado, tanto para proteger los materiales que transporta, como para prevenir emisiones contaminantes.

### **d. Equipo para la extensión de la mezcla**

La extensión y terminación de las mezclas densas en caliente se hará con una pavimentadora autopropulsada, adecuada para extender y terminar la mezcla con un mínimo de precompactación de acuerdo con los anchos y espesores especificados. La pavimentadora estará equipada con un vibrador y un distribuidor de tornillo sinfín, de tipo reversible, capacitado para colocar la mezcla uniformemente por delante de los enrasadores. Poseerá un equipo de dirección adecuado y tendrá velocidades para retroceder y avanzar. La pavimentadora tendrá dispositivos mecánicos compensadores para obtener una superficie pareja y formar los bordes de la capa sin uso de formas. Será ajustable para lograr la sección transversal especificada del espesor de diseño u ordenada por el Supervisor.

Asimismo, deberá poseer sensores electrónicos para garantizar la homogeneidad de los espesores.

Si se determina que el equipo deja huellas en la superficie de la capa, áreas defectuosas u otras irregularidades objetables que no sean fácilmente corregibles durante la construcción, el Supervisor exigirá su inmediata reparación o cambio.

Cuando la mezcla se realice en planta portátil, la misma planta realizará su extensión sobre la superficie.

### **e. Equipo de compactación**

Se deberán utilizar rodillos autopropulsados de cilindros metálicos, estáticos o vibratorios, triciclos o tándem y de neumáticos. El equipo de compactación será aprobado por el Supervisor, a la vista de los resultados obtenidos en la fase de experimentación. Para Vías de Primer orden los rodillos lisos se restringen a los

denominados tipos tándem, no permitiéndose el uso de los que poseen dos llantas traseras neumáticas. Para otros tipos de vías se aconseja el uso de equipos tándem, mas no restringe exclusivamente a éste.

Los compactadores de rodillos no deberán presentar surcos ni irregularidades. Los compactadores vibratorios dispondrán de dispositivos para eliminar la vibración al invertir la marcha, siendo aconsejable que el dispositivo sea automático. Además, deberán poseer controladores de vibración y de frecuencia independientes. Los de neumáticos tendrán ruedas lisas, en número, tamaño y disposición tales, que permitan el traslapo de las huellas delanteras y traseras y, en caso necesario, faldones de lona protectora contra el enfriamiento de los neumáticos.

Las presiones lineales estáticas o dinámicas, y las presiones de contacto de los diversos compactadores, serán las necesarias para conseguir la compactación adecuada y homogénea de la mezcla en todo su espesor, pero sin producir roturas del agregado ni arrollamiento de la mezcla a las temperaturas de compactación.

#### **f. Equipo accesorio**

Estará constituido por elementos para limpieza, preferiblemente barredora o sopladora mecánica. Así mismo, se requieren herramientas menores para efectuar correcciones localizadas durante la extensión de la mezcla.

Al término de obra se desmontarán las plantas de asfalto, dejando el área limpia y sin que signifique cambio alguno al paisaje o comprometa el medio ambiente.

### **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

#### **04.02.04 Mezcla de Agregados**

Las características de calidad de la mezcla asfáltica, deberán estar de acuerdo con las exigencias según al tipo de mezcla que se produzca, de acuerdo al diseño del proyecto y lo indicado por el Supervisor.

**Tabla N° 04.02-9**  
**Requisitos para Mezcla de Concreto Bituminoso**

Parámetro de Diseño	Clase de Mezcla		
	A	B	C
Marshall (MTC E 504)			
1.Estabilidad (min)	8 kN (815 Kg)	5,34 kN (544 Kg)	4,45 kN (453 Kg)
2.Flujo 0.25 mm	8 – 14	8 – 16	8 – 2
3.Porcentaje de vacios con aire (1) (MTC E 505)	3 – 5	3 - 5	3 - 5
4.Vacios en el agregado mineral	Ver Tabla 402-10		
5.Compactación, núm. de golpes en cada capa de testigo	75	50	50
c. Inmersión – Compresión (MTC E 518)			
1.Resistencia a la compresión Mpa min.	2,1	2,1	1,4
2.Resistencia retenida % (min)	70	70	70
d. Resistencia Conservada en la Prueba de Tracción indirecta (min) (MTC E 521)	70	70	70
e. Relación Polvo – Asfalto	0,6 – 1,3	0,6 – 1,3	0,6 – 1,3
f. Relación Est./flujo (2)	1700 – 2500		

Fuente: EG – 2000

(1) A la fecha (1999) se tienen tramos efectuados en el Perú que tienen el rango 2% a 4% (es deseable que tienda al menor) 2% con resultados satisfactorios en climas fríos por encima de 3 000 msnm. que se recomienda en estos casos.

(2) Para zonas de clima frío es deseable que la relación Est./flujo sea de la menor magnitud posible tendiéndose hacia el límite inferior.

**Tabla N° 04.02-10**  
**Vacios mínimos en el agregado mineral (VMA)**

Tamiz	Vacíos mínimos en agregado mineral %	
	Marshall	Superpave
2,36 mm. (N° 8)	21	-
4,75 mm. (N° 4)	18	-
9,5 mm. (3/8")	16	15
12,5 mm. (1/2")	15	14
19 mm. (3/4")	14	13
25 mm. (1")	13	12
7,5 mm. (1 1/2")	12	11
50 mm. (2")	11.5	10.5

Fuente: EG – 2000

El Índice de Compactabilidad mínimo será 5.

El Índice de Compactabilidad se define como:

$$\frac{1}{\text{GEB 50 y GEB 5}}$$

Siendo GB50 y GEB5, las gravedades específicas bulk de las briquetas a 50 y 5 golpes.

#### **04.02.05      Fórmula de Obra**

##### **a. Gradación**

La Gradación de la mezcla será la que se indica en el Proyecto, cumpliendo las especificaciones para mezcla asfáltica normal (MAC).

##### **b. Aplicación de la fórmula de mezcla en obra y tolerancias**

Todas las mezclas provistas deberán concordar con la fórmula de mezcla en obra, fijada por el Supervisor, dentro de las tolerancias establecidas.

Diariamente el Supervisor extraerá muestras para verificar la uniformidad requerida de dicho producto (en un mínimo de una para los inertes y dos para la mezcla).

##### **c. Métodos de Comprobación**

Cuando se compruebe la existencia de un cambio en el material o se deba cambiar el lugar de su procedencia, se deberá preparar una nueva fórmula para la mezcla en Obra, que será presentada y aprobada antes de que se entregue la mezcla que contenga el material nuevo.

##### **d. Composición de la Mezcla de Agregados**

La mezcla se compondrá en proporciones tales que se produzca una curva continua, aproximadamente paralela y centrada al huso granulométrico especificado y elegido. La fórmula de la mezcla de obra con las tolerancias admisibles, producirá el huso granulométrico de control de obra, debiéndose producir una mezcla de agregados que no escape de dicho huso; cualquier variación deberá ser investigada y las causas serán corregidas.

Las mezclas con valores de estabilidad muy altos y valores de flujos muy bajos, no son adecuadas cuando las temperaturas de servicio fluctúan sobre valores bajos.

##### **e. Tolerancias**

Las tolerancias admitidas en las mezclas son absolutamente para la fórmula de trabajo, estarán dentro del huso de especificación y serán las siguientes:

Tabla N° 04.02-11

Tolerancias

<b>Parámetros de Control</b>	<b>Variación permisible en % en peso total de áridos</b>
N° 4 o mayor	± 5%
N°8	± 4%
N°30	± 3%
N°200	± 2%
Asfalto	± 0.3%

Fuente: EG – 2000

**04.02.06 Limitaciones Climáticas**

Las mezclas asfálticas en caliente se colocarán únicamente cuando la base a tratar se encuentre seca, la temperatura atmosférica a la sombra sea superior a 10°C en ascenso y el tiempo no esté neblinoso ni lluvioso; además la base preparada debe estar en condiciones satisfactorias.

Para casos de pavimentos bituminosos ubicados en zonas con altitud mayor de 3 000 msnm. en que generalmente existen climas severos con alta pluviosidad y gradientes térmicas diarias altas, situación climática muy frecuente en el país, es preciso tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- ✓ Se deberá proporcionar una mezcla rica en cemento asfáltico, de ser posible superior a 6%, sin embargo, ello dependerá de las condiciones propias de obra.
- ✓ El diseño de la mezcla deberá ser claramente indicado en el proyecto.
- ✓ Se recomienda el uso de cal hidratada, como material aglomerante, espesante de mezcla y mejorador de adhesividad.
- ✓ En caso de requerirse aditivos mejoradores de adhesividad del par agregado-bitumen será indicado en el Proyecto.

Estas recomendaciones prevalecerán sobre los usos, costumbre y criterios empleados rutinariamente para el proporcionamiento y diseño de mezclas asfálticas en caliente.

**04.02.07 Preparación de la Superficie Existente**

La mezcla no se extenderá hasta que se compruebe que la superficie sobre la cual se va a colocar tenga la densidad apropiada y las cotas indicadas en los

planos, o definidas por el Supervisor. Todas las irregularidades que excedan de las tolerancias establecidas en la especificación respectiva, deberán ser corregidas de acuerdo con lo establecido en ella.

Antes de aplicar la mezcla, se verificará que haya ocurrido el curado del riego previo, no debiendo quedar restos de fluidificante ni de agua en la superficie. Si hubiera transcurrido mucho tiempo desde la aplicación del riego, se comprobará que su capacidad de liga con la mezcla no se haya mermado en forma perjudicial; si ello ha sucedido, el Contratista deberá efectuar un riego adicional de adherencia, a su costa, en la cuantía que fije el Supervisor.

#### **04.02.08      Elaboración de la Mezcla**

Los agregados se suministrarán fraccionados. El número de fracciones deberá ser tal que sea posible, con la instalación que se utilice, cumplir las tolerancias exigidas en la granulometría de la mezcla. Cada fracción será suficientemente homogénea y deberá poderse acopiar y manejar sin peligro de segregación, observando las precauciones que se detallan a continuación.

Cada fracción del agregado se acopiará separada de las demás para evitar intercontaminaciones. Si los acopios se disponen sobre el terreno natural, no se utilizarán los ciento cincuenta milímetros (150 mm) inferiores de los mismos. Los acopios se construirán por capas de espesor no superior a un metro y medio (1,5 m), y no por montones cónicos. Las cargas del material se colocarán adyacentes, tomando las medidas oportunas para evitar su segregación.

Cuando se detecten anomalías en el suministro, los agregados se acopiarán por separado, hasta confirmar su aceptabilidad. Esta misma medida se aplicará cuando se autorice el cambio de procedencia de un agregado.

La carga de las tolvas en frío se realizará de forma que éstas contengan entre el cincuenta por ciento (50%) y el cien por ciento (100%) de su capacidad, sin rebosar. En las operaciones de carga se tomarán las precauciones necesarias para evitar segregaciones o contaminaciones.

Las aberturas de salida de las tolvas en frío se regularán en forma tal, que la mezcla de todos los agregados se ajuste a la fórmula de obra de la alimentación en frío. El caudal total de esta mezcla en frío se regulará de acuerdo con la producción prevista, no debiendo ser ni superior ni inferior, lo que permitirá mantener el nivel de llenado de las tolvas en caliente a la altura de calibración.

Los agregados preferentemente secos se calentarán antes de su mezcla con el asfalto. El secador se regulará de forma que la combustión sea completa, indicada por la ausencia de humo negro en el escape de la chimenea. Si el polvo recogido en los colectores cumple las condiciones exigidas al filler y su utilización está prevista, se podrá introducir en la mezcla; en caso contrario, deberá eliminarse. El tiro de aire en el secador se deberá regular de forma adecuada, para que la cantidad y la granulometría del filler recuperado sean uniformes. La dosificación del filler de recuperación y/o el de aporte se hará de manera independiente de los agregados y entre sí.

En las plantas que no sean del tipo tambor secador-mezclador, deberá comprobarse que la unidad clasificadora en caliente proporcione a las tolvas en caliente agregados homogéneos; en caso contrario, se tomarán las medidas necesarias para corregir la heterogeneidad. Las tolvas en caliente de las plantas continuas deberán mantenerse por encima de su nivel mínimo de calibración, sin rebosar.

Los agregados preparados como se ha indicado anteriormente, y eventualmente el llenante mineral seco, se pesarán o medirán exactamente y se transportarán al mezclador en las proporciones determinadas en la fórmula de trabajo.

Si la instalación de fabricación de la mezcla es de tipo continuo, se introducirá en el mezclador al mismo tiempo, la cantidad de asfalto requerida, a la temperatura apropiada, manteniendo la compuerta de salida a la altura que proporcione el tiempo teórico de mezcla especificado. La tolva de descarga se abrirá intermitentemente para evitar segregaciones en la caída de la mezcla a la volqueta.

Si la instalación es de tipo discontinuo, después de haber introducido en el mezclador los agregados y el llenante, se agregará automáticamente el material bituminoso calculado para cada bachada, el cual deberá encontrarse a la temperatura adecuada y se continuará la operación de mezcla durante el tiempo especificado.

En ningún caso se introducirá en el mezclador el agregado caliente a una temperatura superior en más de cinco grados Celsius ( $5^{\circ}$  C) a la temperatura del asfalto.

El cemento asfáltico será calentado a una temperatura tal, que se obtenga una viscosidad comprendida entre 75 y 155 SSF (según Carta Viscosidad-

Temperatura proporcionado por el fabricante) y verificada en laboratorio por la Supervisión.

En mezcladores de ejes gemelos, el volumen de materiales no será tan grande que sobrepase los extremos de las paletas, cuando éstas se encuentren en posición vertical, siendo recomendable que no superen los dos tercios (2/3) de su altura.

A la descarga del mezclador, todos los tamaños del agregado deberán estar uniformemente distribuidos en la mezcla y sus partículas total y homogéneamente cubiertas. La temperatura de la mezcla al salir del mezclador no excederá de la fijada durante la definición de la fórmula de trabajo.

Se rechazarán todas las mezclas heterogéneas, carbonizadas o sobrecalentadas, las mezclas con espuma, o las que presenten indicios de humedad. En este último caso, se retirarán los agregados de las correspondientes tolvas en caliente. También se rechazarán aquellas mezclas en las que la envuelta no sea perfecta.

#### **04.02.09 Transporte de la Mezcla**

La mezcla se transportará a la obra en volquetes hasta una hora de día en que las operaciones de extensión y compactación se puedan realizar correctamente con luz solar. Sólo se permitirá el trabajo en horas de la noche si, a juicio del Supervisor, existe una iluminación artificial que permita la extensión y compactación de manera adecuada.

Durante el transporte de la mezcla deberán tomarse las precauciones necesarias para que al descargarla sobre la máquina pavimentadora, su temperatura no sea inferior a la mínima que se determine como aceptable durante la fase del tramo de prueba.

Al realizar estas labores, se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material, si esto ocurriese se deberá de realizar las acciones correspondientes para la limpieza del mismo por parte y responsabilidad del contratista.

#### **04.02.10 Extensión de la mezcla**

La mezcla se extenderá con la máquina pavimentadora, de modo que se cumplan los alineamientos, anchos y espesores señalados en los planos o determinados por el Supervisor.

A menos que se ordene otra cosa, la extensión comenzará a partir del borde de la calzada en las zonas por pavimentar con sección bombeada, o en el lado inferior en las secciones peraltadas. La mezcla se colocará en franjas del ancho apropiado para realizar el menor número de juntas longitudinales, y para conseguir la mayor continuidad de las operaciones de extendido, teniendo en cuenta el ancho de la sección, las necesidades del tránsito, las características de la pavimentadora y la producción de la planta.

La colocación de la mezcla se realizará con la mayor continuidad posible, verificando que la pavimentadora deje la superficie a las cotas previstas con el objeto de no tener que corregir la capa extendida. En caso de trabajo intermitente, se comprobará que la temperatura de la mezcla que quede sin extender en la tolva o bajo la pavimentadora no baje de la especificada; de lo contrario, deberá ejecutarse una junta transversal. Tras la pavimentadora se deberá disponer un número suficiente de obreros especializados, agregando mezcla caliente y enrasándola, según se precise, con el fin de obtener una capa que, una vez compactada, se ajuste enteramente a las condiciones impuestas en esta especificación.

En los sitios en los que a juicio del Supervisor no resulte posible el empleo de máquinas pavimentadoras, la mezcla podrá extenderse a mano. La mezcla se descargará fuera de la zona que se vaya a pavimentar, y distribuirá en los lugares correspondientes por medio de palas y rastrillos calientes, en una capa uniforme y de espesor tal que, una vez compactada, se ajuste a los planos o instrucciones del Supervisor, con las tolerancias establecidas en la presente especificación.

Al realizar estas labores, se debe tener mucho cuidado que no se manche la superficie por ningún tipo de material, si esto ocurriese se deberá de realizar las acciones correspondientes para la limpieza del mismo por parte y responsabilidad del contratista.

No se permitirá la extensión y compactación de la mezcla en momentos de lluvia, ni cuando haya fundado temor de que ella ocurra o cuando la temperatura ambiente a la sombra y la del pavimento sean inferiores a diez grados Celsius (10 °C).

#### **04.02.11 Compactación de la mezcla**

La compactación deberá comenzar una vez extendida la mezcla, a la temperatura más alta posible con que ella pueda soportar la carga a que se somete sin que se produzca agrietamientos o desplazamientos indebidos, según haya sido dispuesto durante la ejecución del tramo de prueba y dentro del rango establecido en la carta viscosidad - temperatura.

La compactación deberá empezar por los bordes y avanzar gradualmente hacia el centro, excepto en las curvas peraltadas en donde el cilindrado avanzará del borde inferior al superior, paralelamente al eje de la vía y traslapando a cada paso en la forma aprobada por el Supervisor, hasta que la superficie total haya sido compactada. Los rodillos deberán llevar su llanta motriz del lado cercano a la pavimentadora, excepto en los casos que autorice el Supervisor, y sus cambios de dirección se harán sobre la mezcla ya compactada.

Se tendrá cuidado en el cilindrado para no desplazar los bordes de la mezcla extendida; aquellos que formarán los bordes exteriores del pavimento terminado, serán chaflanados ligeramente. La compactación se deberá realizar de manera continua durante la jornada de trabajo y se complementará con el trabajo manual necesario para la corrección de todas las irregularidades que se puedan presentar. Se cuidará que los elementos de compactación estén siempre limpios y, si es preciso, húmedos. No se permitirán, sin embargo, excesos de agua.

La compactación se continuará mientras la mezcla se encuentre en condiciones de ser compactada hasta alcanzar la densidad especificada y se concluirá con un apisonado final que borre las huellas dejadas por los compactadores precedentes.

#### **04.02.12 Apertura al Tránsito**

Alcanzada la densidad exigida, el tramo pavimentado podrá abrirse al tránsito tan pronto la capa alcance la temperatura ambiente.

#### **04.02.13 Reparaciones**

Todos los defectos no advertidos durante la colocación y compactación, tales como protuberancias, juntas irregulares, depresiones, irregularidades de alineamiento y de nivel, deberán ser corregidos por el Contratista, a su costa, de acuerdo con las instrucciones del Supervisor. El Contratista deberá proporcionar

trabajadores competentes, capaces de ejecutar a satisfacción el trabajo eventual de correcciones en todas las irregularidades del pavimento construido.

#### **04.02.14 Aceptación de los Trabajos**

##### **a. Controles**

Durante la ejecución de los trabajos, se efectuará los siguientes controles principales:

- ✓ Verificar la implementación para cada fase de los trabajos.
- ✓ Verificar el estado y funcionamiento de todo el equipo empleado por el Contratista.
- ✓ Verificar que las plantas de asfalto y de trituración estén provistas de filtros, captadores de polvo, sedimentadores de lodo y otros aditamentos que el Supervisor considere adecuados y necesarios para impedir emanaciones de elementos particulados y gases que puedan afectar el entorno ambiental.
- ✓ Comprobar que los materiales por utilizar cumplan todos los requisitos de calidad.
- ✓ Supervisar la correcta aplicación del método aceptado como resultado del tramo de prueba, en cuanto a la elaboración y manejo de los agregados, así como la manufactura, transporte, colocación y compactación de la mezcla asfáltica.
- ✓ Ejecutar ensayos de control de mezcla, de densidad de las probetas de referencia, de densidad de la mezcla asfáltica compactada in situ, de extracción de asfalto y granulometría; así como control de las temperaturas de mezclado, descarga, extendido y compactación de la mezcla.
- ✓ Vigilar la regularidad en la producción de los agregados y mezclas durante el período de ejecución de las obras.
- ✓ Efectuar pruebas para verificar la eficiencia de los productos mejoradores de adherencia, siempre que ellos se incorporen.
- ✓ Realizar las medidas necesarias para determinar espesores, levantar perfiles, medir la textura superficial y comprobar la uniformidad de la superficie, siempre que ello corresponda.

El Contratista rellenará inmediatamente con mezcla asfáltica, a su costo, todos los orificios realizados con el fin de medir densidades en el terreno y compactará

el material de manera que su densidad cumpla con los requisitos indicados en la respectiva especificación.

#### **b. Calidad del Cemento Asfáltico**

El Supervisor efectuará las siguientes actividades de control:

- (1) Comprobar, mediante muestras representativas de cada entrega y por cada carro termotanque, la curva viscosidad - temperatura y el grado de penetración del asfalto. En todos los casos, guardará una muestra para eventuales ensayos ulteriores de contraste, cuando el Contratista o el proveedor manifiesten inconformidad con los resultados iniciales.
- (2) Efectuar los controles con la frecuencia que se indica o, antes siempre que se sospechen anomalías.
- (3) Efectuar los ensayos necesarios para determinar la cantidad de cemento asfáltico incorporado en las mezclas que haya aceptado a satisfacción.

#### **c. Calidad de los Agregados Pétreos y el Polvo Mineral**

De cada procedencia de los agregados pétreos y para cualquier volumen previsto, se tomarán seis (6) muestras y de cada fracción de ellas se determinarán:

- (1) Desgaste en la máquina de Los Ángeles, MTC E 207.
- (2) Pérdidas en el ensayo de solidez en sulfato de sodio o de magnesio, MTC E 209.
- (3) Equivalente de arena, MTC E 114.
- (4) Plasticidad, MTC E 111.
- (5) Sales solubles Totales, MTC E 219
- (6) Adherencia entre el agregado y el bitumen, MTC E 220/MTC E 517.

Durante la etapa de producción, el Supervisor examinará las descargas a los acopios y ordenará el retiro de los agregados que, a simple vista, presenten restos de tierra vegetal, materia orgánica o tamaños superiores al máximo especificado. También, ordenará acopiar por separado aquellos que presenten alguna anomalía de aspecto, tal como distinta coloración, segregación, partículas alargadas o aplanadas, y plasticidad, y vigilará la altura de todos los acopios y el estado de sus elementos separadores.

Si existe incorporación independiente de filler mineral, sobre él se efectuarán las siguientes determinaciones:

Granulometría y peso específico, una (1) prueba por suministro.

#### **a. Composición de la Mezcla**

##### **(1) Contenido de Asfalto**

Por cada jornada de trabajo se tomará un mínimo de dos (2) muestras y se considerará como lote, el tramo constituido por un total de cuando menos seis (6) muestras, las cuales corresponderán a un número entero de jornadas.

El porcentaje de asfalto residual promedio del tramo (ART %) tendrá una tolerancia de dos por mil (0.2%), respecto a lo establecido en la fórmula de trabajo (ARF %).

$$\text{ARF \%} - 0.2 \% < \text{ART \%} < \text{ARF \%} + 0.2 \%$$

A su vez, el contenido de asfalto residual de cada muestra individual (ARI %), no podrá diferir del valor medio del tramo (ART %) en más de cinco por mil (0.5%), admitiéndose un (1) solo valor fuera de ese intervalo.

$$\text{ART \%} - 0.5 \% < \text{ARI \%} < \text{ART \%} + 0.5 \%$$

Un número mayor de muestras individuales por fuera de los límites implica el rechazo del tramo.

##### **(2) Granulometría de los Agregados**

Sobre las muestras utilizadas para hallar el contenido de asfalto, se determinará la composición granulométrica de los agregados.

La curva granulométrica de cada ensayo individual deberá ser sensiblemente paralela a los límites de la franja adoptada, ajustándose a la fórmula de trabajo con las tolerancias permitidas.

#### **b. Calidad de la Mezcla**

##### **(1) Resistencia**

Con un mínimo de dos (2) muestras se moldearán probetas (dos por muestra), para verificar en el laboratorio su resistencia en el ensayo Marshall (MTC E 504); paralelamente se determina la densidad media de las cuatro probetas moldeadas (De).

La estabilidad media de las cuatro (4) probetas (Em) deberá ser como mínimo el noventa y cinco por ciento (95%) de la estabilidad de la mezcla de la fórmula de trabajo (Et).

$$E_m > 0.95 E_t.$$

Además, la estabilidad de cada probeta (Ei) deberá ser igual o superior al noventa por ciento (90%) del valor medio de estabilidad, admitiéndose:

$$E_i > 0.9 E_m$$

El incumplimiento de alguna de estas exigencias acarrea el rechazo del tramo representado por las muestras.

## **(2) Flujo**

El flujo medio de las probetas sometidas al ensayo de estabilidad (Fm) deberá encontrarse entre el noventa por ciento (90%) y el ciento diez por ciento (110%) del valor obtenido en la mezcla aprobada como fórmula de trabajo (Ft), pero no se permitirá que su valor se encuentre por fuera de los límites establecidos.

$$0.90 F_t < F_m < 1.10 F_t$$

Si el flujo medio se encuentra dentro del rango establecido, pero no satisface la exigencia recién indicada en relación con el valor obtenido al determinar la fórmula de trabajo, el Supervisor decidirá, al compararlo con las estabilidades, si el tramo debe ser rechazado o aceptado.

### **c. Calidad del Producto Terminado**

La capa terminada deberá presentar una superficie uniforme y ajustarse a las rasantes y pendientes establecidas. La distancia entre el eje del proyecto y el borde de la capa que se esté construyendo, excluyendo sus chaflanes, no podrá ser menor que la señalada en los planos o la determinada por el Supervisor. La cota de cualquier punto de la mezcla densa compactada en capas de base o rodadura, no deberá variar en más de cinco milímetros (5 mm) de la proyectada. Además, el Supervisor en los tramos de reparaciones donde se coloque carpeta nueva en una longitud continua mayor a los 250 m, estará obligado a efectuar las siguientes verificaciones:

#### **(1) Compactación**

Las determinaciones de densidad de la capa compactada se realizarán en una proporción de cuando menos una (1) por cada doscientos cincuenta metros

cuadrados (250 m<sup>2</sup>) y los tramos por aprobar se definirá sobre la base de un mínimo de seis (6) determinaciones de densidad.

La densidad media del tramo (Dm) deberá ser, cuando menos, el noventa y ocho por ciento (98%) de la media obtenida al compactar en el laboratorio con la técnica Marshall, las cuatro (4) probetas por jornada de trabajo (De).

$$Dm > 0.98 De$$

Además, la densidad de cada testigo individual (Di) deberá ser mayor o igual al noventa y siete por ciento (97%) de la densidad media de los testigos del tramo (Dm).

$$Di > 0.97 Dm$$

El incumplimiento de alguno de estos dos requisitos implica el rechazo del tramo por parte del Supervisor.

La toma de muestras testigo se hará de acuerdo con norma MTC E 509 y las densidades se determinarán por alguno de los métodos indicados en las normas MTC E 506, MTC E 508 Y MTC E 510.

## **(2) Espesor**

Sobre la base de los tramos escogidos para el control de la compactación, el Supervisor determinará el espesor medio de la capa compactada (em), el cual no podrá ser inferior al de diseño (ed).

$$em > ed$$

Además, el espesor obtenido en cada determinación individual (ei), deberá ser, cuando menos, igual al noventa y cinco por ciento (95%) del espesor de diseño.

$$ei > 0.95 ed$$

El incumplimiento de alguno de estos requisitos implica el rechazo del tramo.

## **(3) Lisura**

La superficie acabada no podrá presentar zonas de acumulación de agua, ni irregularidades mayores de cinco milímetros (5 mm) en capas de rodadura o diez milímetros (10 mm) en capas de base y bacheos, cuando se compruebe con una regla de tres metros (3 m) colocada tanto paralela como perpendicularmente al eje de la vía, en los sitios que escoja el Supervisor, los cuales no podrán estar afectados por cambios de pendiente.

#### **(4) Textura**

En el caso de mezclas compactadas como capa de rodadura, el coeficiente de resistencia al deslizamiento (MTC E1004) luego del curado de la mezcla deberá ser, como mínimo, de cuarenta y cinco centésimas (0.45) en cada ensayo individual, debiendo efectuarse un mínimo de dos (2) pruebas por jornada de trabajo.

#### **(5) Regularidad Superficial o Rugosidad**

La regularidad superficial de la superficie de rodadura será medida y aprobada por el Supervisor, para lo cual, por cuenta y cargo del contratista, deberá determinarse la rugosidad en unidades IRI.

Para la determinación de la rugosidad podrán utilizarse métodos topográficos, rugosímetros, perfilómetros o cualquier otro método aprobado por el Supervisor.

La medición de la rugosidad sobre la superficie de rodadura terminada, deberá efectuarse en toda su longitud y debe involucrar ambas huellas por tramos de 4.5 km, en los cuales las obras estén concluidas, registrando mediciones parciales por 0.9 para cada kilómetro. La rugosidad al momento de recepcionar la obra tendrá un valor máximo de 2.5 m/km en términos IRI. En el evento de no satisfacer este requerimiento, deberá revisarse los equipos y procedimientos de esparcido y compactado, a fin de tomar las medidas correctivas que conduzcan a un mejoramiento del acabado de la superficie de rodadura.

#### **(6) Medición de Deflexiones sobre la Carpeta Asfáltica Terminada**

Se efectuarán mediciones de deflexión en los dos carriles, en ambos sentidos cada 50 m y en forma alternada. Se analizará la deformada o la curvatura de la deflexión obtenida de por lo menos tres valores por punto y se obtendrán indirectamente los módulos de elasticidad de la capa asfáltica. Además, la deflexión característica obtenida por sectores homogéneos se comparará con la deflexión admisible para el número de repeticiones de ejes equivalentes de diseño.

Para efecto de la medición de deflexiones podrá emplearse la viga Benkelman o el FWD; los puntos de medición estarán referenciados con el estacado del proyecto, de tal manera que exista una coincidencia con relación a las mediciones que se hayan efectuado a nivel de subrasante.

Se requiere un estricto control de calidad tanto de los materiales como de la fabricación de la mezcla asfáltica, de los equipos para su extensión y compactación, y en general de todos los elementos involucrados en la puesta en obra de la mezcla asfáltica. De dicho control forma parte la medición de las deflexiones y el subsecuente cálculo de los módulos elásticos de las capas. La medición de deflexiones sobre la carpeta asfáltica terminada tiene como finalidad la evaluación, diagnóstico y complementación de los diferentes controles que deben realizarse a la carpeta asfáltica, asimismo, determinar las deflexiones características por sectores homogéneos, cuyos resultados, según lo previsto en el diseño, deberán teóricamente ser menores a la deflexión admisible en los próximos 5 años.

La medición de deflexiones sobre la carpeta asfáltica terminada, se efectuará al finalizar la obra como control final de calidad del pavimento terminado y para efectos de recepción de la obra.

## **MEDICIÓN**

**04.02.15** Esta partida se medirá por metro cúbico (m<sup>3</sup>) de mezcla asfáltica debidamente colocada y compactada en obra a satisfacción del Supervisor.

Para determinar la cantidad de asfalto por pagar, se calculará el peso de la mezcla asfaltada en su posición final, mediante el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra y aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas del volumen de mezcla aceptada en cada jornada de ejecución.

## **PAGO**

**04.02.16** El volumen de carpeta asfáltica ejecutado será pagado al precio de contrato de la partida 402 Carpeta asfáltica en caliente.

El precio unitario deberá incluir todos los costos de adquisición, obtención de permisos y derechos de explotación o alquiler de fuentes de materiales y canteras; obtención de licencias ambientales para la explotación de los agregados y la elaboración de las mezclas; las instalaciones provisionales, los costos de arreglo o construcción de las vías de acceso a las fuentes y canteras; la preparación de las zonas por explotar, así como todos los costos relacionados con la explotación, selección, trituración, lavado, suministro de los materiales pétreos, desperdicios, elaboración de las mezclas, cargas, transporte interno y

descargas de agregados y mezclas; así como el transporte al punto de aplicación, la colocación, nivelación y compactación de las mezclas elaboradas.

El precio unitario deberá incluir, además, los costos de la definición de la fórmula de trabajo, y todo costo relacionado con la correcta ejecución de cada trabajo.

Se excluyen del precio unitario el suministro del producto asfáltico para la mezcla, el cual se pagará de acuerdo con la especificación respectiva. En caso de requerirse filler como aglomerante de mezcla y mejorador de adherencia, también estará excluido del precio unitario de la mezcla.

El asfalto sólido necesario para la ejecución de esta partida se medirá y pagará mediante la partida 403 Cemento Asfáltico. El filler (cal hidratada) necesario para la ejecución de esta partida se medirá y pagará mediante la partida 405 Filler Mineral. El aditivo mejorador de adherencias necesario para la ejecución de esta partida se medirá y pagará mediante la partida 406 Aditivo Mejorador de Adherencia.

El transporte de la mezcla asfáltica se medirá y pagará con las partidas 703 Transporte de Mezcla asfáltica para  $d \leq 1$  km y 704 Transporte de Mezcla asfáltica para  $d > 1$  km.

Para determinar la cantidad de asfalto por pagar, se calculará el peso de la mezcla asfaltada en su posición final, mediante el producto del volumen aprobado por su densidad media en obra y aplicando a este valor el porcentaje de asfalto promedio que resulte de los ensayos de extracción sobre muestras representativas del volumen de mezcla aceptada en cada jornada de ejecución.

ÍTEM DE PAGO	UNIDAD DE PAGO
402 Carpeta Asfáltica en Caliente	Metro cúbico (M3)

Tabla N° 04.02-12  
Ensayos y Frecuencias

Material o Producto	Propiedades o Características	Método de Ensayo	Frecuencia	Lugar de muestreo			
Agregado	Granulometría	MTC E 204	200 m³	Tolva en frío			
	Plasticidad	MTC E 110	200 m³	Tolva en frío			
	Partículas Fracturadas	MTC E 210	500 m³	Tolva en frío			
	Equivalente arena	MTC E 114	1000 m³	Tolva en frío			
	Indices de aplanamiento y alargamiento agregado Grueso		500 m³	Tolva en frío			
	Desgaste Los Angeles	MTC E 207	1000 m³	Tolva en frío			
	Angularidad del agregado fino	MTC 222	1000 m³	Tolva en frío			
Perdida en sulfato de sodio	MTC E 209	1000 m³	Tolva en frío				
Mezcla Asfáltica	Contenido de Asfalto	MTC E 502	2 por día	Pista/planta			
	Granulometría		2 por día	Pista/planta			
	Ensayo Marshall	MTC E 504	2 por día	Pista/planta			
	Temperatura		Cada volquete	Pista/planta			
	Densidad		MTC E 506, MTC E 508 y MTC E 510	1 cada 250 m²	Pista compactada		
		Espeor	MTC E 507			Cada 250 m²	Pista compactada
		Resistencia al deslizamiento	MTC E 1004			1 por día	Pista compactada
Cemento Asfáltico	Según 410.18(b)		$\sqrt{n}$ (*)	Tanques Térmicos al llegar a obra			

Fuente: EG – 2000

(\*) N representa el número de tancadas de 30,000 lt de cemento asfáltico requeridos en la obra.

### 04.03. CEMENTO ASFALTICO

#### DESCRIPCIÓN

##### 04.03.01 Generalidades

420.01 Esta especificación se refiere al suministro de cemento asfáltico en el sitio de colocación de mezclas asfálticas en caliente, riegos de liga, tratamientos superficiales y sello arena-asfalto en el que se utilice este material.

#### MATERIALES

**04.03.02** El material por suministrar será cemento asfáltico clasificado por viscosidad o por grado de penetración de acuerdo con las características del proyecto y que cumpla los requisitos de calidad establecidos en la Subsección 400.02(b) de la Sección 400 de la EG-2000.

Los materiales por suministrar generan emisiones debido al proceso de calentamiento, por lo que se recomienda ubicar los tanques que contienen dichos elementos en zonas alejadas de centros urbanos o asentamientos humanos con el propósito de que dichas emisiones no afecten la salud de las

personas. En caso de que los materiales sean vertidos accidentalmente, deberán recogerse incluyendo el suelo contaminado y colocarlos en las áreas de disposición de desechos que hayan sido autorizados por la autoridad correspondiente o donde el Supervisor estime conveniente.

## **EQUIPO**

**04.03.03** En adición a las consideraciones generales de la Sección 400 de la EG-2000 que resulten aplicables, deberá tenerse en cuenta lo siguiente:

### **(a) Vehículos de transporte**

El transporte del cemento asfáltico desde la planta de producción a la planta mezcladora, deberá efectuarse en caliente y a granel, en carros termotanques con adecuados sistemas de calefacción y termómetros ubicados en sitios visibles.

Deberán estar dotados, además, de los medios mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento.

Antes de cargar los termotanques se debe examinar el contenido y remover todo el remanente de transportes anteriores que puedan contaminar el material. Las válvulas de abastecimiento deben llevar un precinto de seguridad del proveedor.

### **(b) Depósitos de almacenamiento**

El almacenamiento que requiera el cemento asfáltico, antes de su uso, se realizará en tanques con dispositivos de calentamiento que permitan mantener la temperatura necesaria del asfalto para su mezcla con los agregados. Los tanques de almacenamiento deben ser destinados para un determinado tipo de producto asfáltico, que debe estar identificado con una inscripción en el tanque que así lo indique.

### **(c) Protección al personal**

Es necesario dotar con elementos de seguridad al personal de obra tales como tapabocas, cascos, guantes, y otros que se crean pertinentes, a fin de evitar sean afectados por la emisión de gases tóxicos así como por las probables quemaduras que pueda ocurrir al realizar estas actividades.

### **(d) Elementos de seguridad**

Se debe disponer para el personal de obra un botiquín, y un extintor de manera tal que pueda ser accesible y utilizado de manera fácil. Por otro lado, el

contratista debe proteger los cruces con cuerpo de agua y colocar barreras que impidan la contaminación del drenaje natural.

## **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

**04.03.04** El Contratista suministrará el cemento asfáltico cumpliendo las disposiciones legales al respecto, en especial las referentes a las dimensiones y pesos de los vehículos de transporte y al control de la contaminación ambiental. El empleo del cemento asfáltico en la elaboración de mezclas asfálticas se hará conforme lo establece la Sección correspondiente a la partida de trabajo de la cual formará parte.

### **04.03.05 Aceptación de los Trabajos**

#### **(a) Controles**

El Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- ✓ Exigir un certificado de calidad del producto, así como la garantía del fabricante de que el producto cumple las condiciones especificadas en la Sub sección 400.02 (b) de la EG-2000.
- ✓ Verificar el estado y funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento.
- ✓ Verificar que durante el vaciado de los termotanques no se lleven a cabo manipulaciones que puedan afectar la calidad del producto y la seguridad de las personas.
- ✓ Tomar, cada vez que lo estime conveniente, muestras para los ensayos que exige la Sub sección 04.03.15 (b) de las Especificaciones Técnicas Especiales, y efectuar las respectivas pruebas.
- ✓ Verificar que el calentamiento del asfalto, antes de su mezcla con los agregados pétreos, impida la oxidación prematura del producto y se ajuste a las exigencias del ítem en ejecución.
- ✓ Tomar cada vez que lo estime conveniente, las pruebas respectivas.

## **MEDICIÓN**

**04.03.06** La unidad de medida del cemento asfáltico será el kilogramo (kg) incorporado en la mezcla en caliente, debidamente aceptada por el Supervisor. La misma unidad se adoptará para el caso de riegos de liga y tratamientos superficiales de utilizarse este material.

## PAGO

**04.03.07** El pago se hará al precio unitario del contrato, por el cemento asfáltico efectivamente incorporado en las mezclas en caliente en su posición final, riegos de liga y tratamientos superficiales recibidos a satisfacción por el Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos de suministro del asfalto en obra, manejo, almacenamiento, calentamiento y transportes entre la planta de producción del asfalto y el sitio de colocación final. Además, deberá cubrir los costos por concepto de desperdicios y, en general, todo costo necesario para el correcto cumplimiento de esta especificación.

ÍTEM DE PAGO	UNIDAD DE PAGO
403 Cemento Asfaltico	Galones (GAL)

## 04.04. FILLER

### DESCRIPCIÓN

#### 04.04.01 Generalidades

Esta especificación está referida a la utilización de un relleno mineral en las mezclas asfálticas preparadas y distribuidas en caliente.

### MATERIALES

**04.04.02** El relleno mineral que sea necesario emplear como relleno de vacíos, espesante de la mezcla asfáltica o como mejorador de adherencia será de preferencia la cal hidratada que deberá cumplir los requisitos que se especifican en la norma AASHTO-M303.

Con mayor precaución y con la aprobación del Supervisor sujeto a pruebas y ensayos de la mezcla podrá utilizarse cemento hidráulico tipo I o polvo calcáreo procedente de trituración de rocas. En este caso, se deberá cumplir la siguiente granulometría:

Tabla N° 04.04-1

Malla	% Retenido (en peso)
Residuo máximo en la malla de 600 $\mu\text{m}$ (N° 30)	3%
Residuo máximo en la malla de 75 $\mu\text{m}$ (N° 200)	20%

Fuente: EG -2000

## **EQUIPO**

**04.04.03** Se deberá cumplir:

### **(a) Empaque**

Para su traslado al sitio de las obras, el filler mineral podrá empacarse en bolsas o a granel.

### **(b) Vehículos de transporte**

Si el suministro se hace en bolsas, el transporte podrá efectuarse en cualquier camión convencional. El vehículo deberá disponer de lonas o cobertores adecuados, debidamente asegurados a su carrocería, que protejan al aditivo durante su transporte.

Si el suministro se realiza a granel, deberán emplearse camiones adecuados para tal fin, dotados de dispositivos mecánicos que permitan el rápido traslado de su contenido a los depósitos de almacenamiento.

En todos los casos, los vehículos deberán cumplir las disposiciones legales vigentes en relación con pesos, dimensiones y control de contaminación ambiental.

### **(c) Depósitos de almacenamiento**

El depósito para el filler mineral suministrado en bolsas deberá ser ventilado y cubierto y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto contra los agentes atmosféricos, particularmente la humedad proveniente tanto del suelo como de las paredes del almacén.

Los silos de almacenamiento de filler suministrados a granel deberán estar completamente aislados contra la humedad y dispondrán de sistemas apropiados para su rápido llenado y vaciado.

## **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

**04.04.04** La incorporación del filler mineral a las mezclas asfálticas en caliente se hará en la proporción definida en el diseño de éstos.

El abastecimiento se hará en la misma planta de asfalto utilizando tolvas especiales para el material y sistemas que impidan la pérdida. La dosificación debe ser uniforme y constante durante todo el proceso de elaboración de la mezcla.

#### **04.04.05 Aceptación de los Trabajos**

##### **(a) Controles**

El Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- ✓ Llevar un registro detallado del período de almacenamiento de cada lote, impidiendo el empleo de cualquier material con posterioridad a su fecha de vencimiento.
- ✓ Verificar el estado y funcionamiento de los equipos de transporte, almacenamiento y abastecimiento a la planta.
- ✓ Verificar que durante el manejo del filler mineral no se efectúen manipulaciones y traslados que puedan afectar su calidad.
- ✓ Comprobar la correcta incorporación del filler mineral en la mezcla.
- ✓ Tomar, cada vez que lo estime conveniente, muestras del producto para la ejecución eventual de pruebas de control.

##### **(b) Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

El Supervisor deberá comprobar que con la cantidad de filler mineral efectivamente incorporado en la mezcla se obtiene la cohesividad y comportamiento de la mezcla.

#### **MEDICIÓN**

**04.04.06** La unidad de medición será el kilogramo. La determinación del metrado en Obra será mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Frm} = \frac{\text{Wasfx Vasfx Prm (\%)}}{100}$$

Donde:

Fr.m. : Peso del Relleno Mineral a pagar (Kg.).

Wasf : Peso Unitario de la Mezcla Asfáltica (Kg/cm<sup>3</sup> ) en plataforma.

Vasf : Volumen (m<sup>3</sup> a valorizar en el mes) de Carpeta Asfáltica y/o Base Asfáltica en su posición final de colocación.

Pr.m. : Porcentaje en peso del relleno mineral por m<sup>3</sup> de Mezcla Asfáltica, establecido en la fórmula de trabajo.

Los valores Wasf, Vasf y Pr.m. se determinan por el promedio del mes en concordancia con los ensayos diarios de laboratorio, los cuales no excederán por ningún concepto lo estipulado en las fórmulas de diseño aprobadas por la Supervisión.

## **PAGO**

**04.04.07** El peso determinado en la forma descrita anteriormente, se pagará por kilogramo (Kg.), con el precio unitario del contrato. Este precio será compensación total por la adquisición, carguío, transporte a obra, descarga, acopio, almacenaje y desperdicio del material.

<b>ÍTEM DE PAGO</b>	<b>UNIDAD DE PAGO</b>
405 Filler	Kilogramos (KG)

## **04.05. ADITIVO MEJORADOR DE ADHERENCIA**

### **DESCRIPCIÓN**

#### **04.05.01 Generalidades**

Esta especificación se refiere al suministro de mejoradores de adherencia en el sitio de colocación de tratamientos o mezclas asfálticas, elaboradas de conformidad con lo establecido en las Secciones correspondientes de estas especificaciones, a plena satisfacción del Supervisor.

## **MATERIALES**

**04.05.02** Para el mejoramiento de la adherencia entre los productos bituminosos y los agregados pétreos se podrán emplear:

- ✓ Aditivos producidos comercialmente, líquidos estables ante el incremento de temperatura.
- ✓ Cemento tipo Portland (AASHTO M85) o cenizas (fly ash) (AASHTO M 295)
- ✓ Cal (AASHTO M 216).

El mejorador seleccionado, previamente en el Expediente Técnico, deberá garantizar el grado de afinidad requerido entre el par asfalto-agregado, según el tratamiento o mezcla que se irá a ejecutar. En el caso de los aditivos líquidos el Contratista deberá adjuntar la documentación sobre la efectividad del producto ofrecido, bien sea en trabajos de campo o experiencias de laboratorio.

Debe entenderse que en la selección de los mejoradores de adherencia, primarán los factores inherentes en cada uno de los diseños de mezclas

asfálticas, es decir, el par asfalto-agregado deberá cumplir los requerimientos respectivos en cada especificación.

## **EQUIPO**

**04.05.03** Se deberá cumplir:

### **(a) Empaque**

Para su traslado al sitio de las obras, el aditivo podrá empacarse en bolsas o bidones. Las bolsas sólo podrán emplearse cuando el aditivo sea sólido.

### **(b) Vehículos de transporte**

Si el suministro se hace en bolsas o bidones, el transporte podrá efectuarse en cualquier camión convencional. El vehículo deberá disponer de lonas o cobertores adecuados, debidamente asegurados a su carrocería, que protejan al aditivo durante su transporte.

En todos los casos, los vehículos deberán cumplir las disposiciones legales vigentes en relación con pesos, dimensiones y control de contaminación ambiental.

### **(c) Depósitos de almacenamiento**

El depósito de los aditivos suministrados en bolsas o bidones deberá ser ventilado y cubierto y disponer de los elementos que aseguren la protección del producto contra los agentes atmosféricos, particularmente la humedad proveniente tanto del suelo como de las paredes del almacén.

## **REQUERIMIENTOS DE CONSTRUCCIÓN**

**04.05.04** La incorporación de los mejoradores de adherencia en los tratamientos y mezclas se hará en la proporción definida en el diseño de éstos.

La adición de cemento, ceniza fly (ash) o cal deberá realizarse previamente en un mezclador de suelo, agregando el porcentaje de diseño a uno de los agregados de la mezcla asfáltica, preferiblemente el más fino. El porcentaje será comprobado mediante ensayos granulométricos antes y después del mezclador.

Para garantizar la homogeneidad durante construcción de los aditivos mejoradores de adherencia, se deberán usar tanques verticales con agitadores mecánicos, en los cuales se almacenará la mezcla bitumen-aditivo en las proporciones definidas en la fórmula de trabajo.

## **Aceptación de los Trabajos**

### **(a) Controles**

El Supervisor efectuará los siguientes controles principales:

- ✓ Llevar un registro detallado del período de almacenamiento de cada lote, impidiendo el empleo de cualquier aditivo con posterioridad a su fecha de vencimiento.
- ✓ Verificar el estado y funcionamiento de los equipos de transporte y almacenamiento.
- ✓ Verificar que durante el manejo del aditivo no se efectúen operaciones que puedan afectar su calidad.
- ✓ Comprobar la correcta incorporación del aditivo en el tratamiento o mezcla.
- ✓ Tomar, cada vez que lo estime conveniente, muestras del producto para la ejecución eventual de pruebas de control.

### **(b) Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

El Supervisor deberá comprobar que con la cantidad de aditivo efectivamente incorporada en el tratamiento o mezcla se obtiene la adhesividad exigida y no se admitirá al respecto ninguna tolerancia.

## **MEDICIÓN**

**04.05.05** La unidad de medición será el kilogramo (kg) de aditivo mejorador de adherencia que se deba incorporar en los tratamientos o mezclas que lo requieran, para garantizar el cumplimiento de las exigencias de adhesividad de la respectiva especificación.

## **PAGO**

**04.05.06** El peso determinado en la forma descrita anteriormente, se pagará por kilogramo (Kg.), con el precio unitario del contrato. Este precio será compensación total por la adquisición, carguío, transporte a obra, descarga, acopio, almacenaje y desperdicio del material.

ÍTEM DE PAGO	UNIDAD DE PAGO
406 Aditivo Mejorador de Adherencia	Kilogramos (KG)

## **SECCIÓN: 07.00. TRANSPORTES**

### **DESCRIPCIÓN**

**07.00.01** Bajo estas partidas se considera el material en general que requieren ser transportados de un lugar a otro de la obra.

**07.00.02** El transporte se clasifica según el material transportado, que puede ser:

- (a) Proveniente de cantera para la reconformación de bases granulares.
- (b) Mezcla asfáltica proveniente de la planta de asfalto.
- (c) Proveniente de excedentes de corte a depósitos de deshechos.
- (d) Escombros a ser depositados en los lugares de depósitos de deshechos.
- (e) Proveniente de excavaciones para estructuras y otros.

El transporte interno, es aquel que se realiza desde la zona de extracción y apilamiento a la zona de proceso (zarandeo y/o chancado). En el caso que el procesamiento esté dentro del área de explotación de la cantera, no se reconocerá pago alguno por el transporte interno, pues está siendo reconocido dentro del precio unitario de la partida del material procesado.

El criterio general para las partidas de transporte, es que el esponjamiento del material a transportar está incluido en los precios unitarios y el carguío está considerado en la partida Transporte hasta 1 km.

### **MATERIALES**

**07.00.03** Los materiales a transportarse son:

#### **(a) Material de Cantera**

Forma parte de este grupo todos los materiales granulares naturales, procesados o mezclados que son destinados a formar terraplenes, capas granulares de estructuras de pavimentos, tratamientos superficiales y sellos de arena-asfalto.

Se excluyen los materiales para concretos hidráulicos, rellenos estructurales, solados, filtros para subdrenes y todo aquel que esté incluido en los precios de sus respectivas partidas.

**(b) Material Excedente**

Este material corresponde a los escombros de remoción de plataforma, demolición de estructuras, y limpieza de alcantarillas. Estos materiales deben ser trasladados y dispuestos en los Depósitos de Deshecho indicados en el Proyecto o autorizados por el Supervisor.

Los materiales transportados, de ser necesarios, deberán ser humedecidos adecuadamente (sea piedras o tierra, arena, etc.) y cubiertos para evitar la dispersión de la misma. La cobertura deberá ser de un material resistente para evitar que se rompa o se rasgue y estar sujeta a las paredes exteriores del contenedor o tolva, en forma tal que caiga sobre el mismo por lo menos 30 cm a partir del borde superior del contenedor o tolva.

**(c) Roca**

Forma parte de este grupo, la roca proveniente de cantera requerida para el enrocado a que hace referencia la Sección 638 Enrocado, de las presentes especificaciones.

**(d) Mezcla Asfáltica**

Transporte de la mezcla asfáltica desde la planta de asfalto hasta la zona donde se conformará la carpeta asfáltica.

**EQUIPO**

**07.00.04** Los vehículos para el transporte de materiales estarán sujetos a la aprobación del Supervisor y deberán ser suficientes para garantizar el cumplimiento de las exigencias de esta especificación y del programa de trabajo. Deberán estar provistos de los elementos necesarios para evitar contaminación o cualquier alteración perjudicial del material transportado y su caída sobre las vías empleadas para el transporte.

Todos los vehículos para el transporte de materiales deberán cumplir con las disposiciones legales referentes al control de la contaminación ambiental.

Ningún vehículo de los utilizados por el Contratista podrá exceder las dimensiones y las cargas admisibles por eje y totales fijadas en el Reglamento

de Pesos y Dimensión Vehicular para Circulación en la Red Vial Nacional (D.S. 013-98-MTC).

Cada vehículo deberá, mediante un letrero visible, indicar su capacidad máxima, la cual no deberá sobrepasarse.

Los vehículos encargados del transporte deberán en lo posible evitar circular por zonas urbanas. Además, debe reglamentarse su velocidad, a fin de disminuir las emisiones de polvo al transitar por vías no pavimentadas y disminuir igualmente los riesgos de accidentalidad y de atropellamiento.

Todos los vehículos, necesariamente tendrán que humedecer su carga (sea piedras o tierra, arena, etc.) y demás, cubrir la carga transportada para evitar la dispersión de la misma. La cobertura deberá ser de un material resistente para evitar que se rompa o se rasgue y deberá estar sujeta a las paredes exteriores del contenedor o tolva, en forma tal que caiga sobre el mismo por lo menos 30 cm a partir del borde superior del contenedor o tolva.

Todos los vehículos deberán tener incorporado a su carrocería, los contenedores o tolvas apropiados, a fin de que la carga depositada en ellos quede contenida en su totalidad en forma tal que se evite el derrame, pérdida del material húmedo durante el transporte. Esta tolva deberá estar constituida por una estructura continua que en su contorno no contenga roturas, perforaciones, ranuras o espacios, así también, deben estar en buen estado de mantenimiento.

El equipo de construcción y maquinaria pesada deberá operarse de tal manera que cause el mínimo deterioro a los suelos, vegetación y cursos de agua. De otro lado, cada vehículo deberá, mediante un letrero visible, indicar su capacidad máxima, la cual no deberá sobrepasarse.

El mantenimiento de los vehículos debe considerar la perfecta combustión de los motores, el ajuste de los componentes mecánicos, balanceo, y calibración de llantas.

El lavado de los vehículos deberá efectuarse de ser posible, lejos de las zonas urbanas y de los cursos de agua.

Los equipos pesados para la carga y descarga deberán tener alarmas acústicas y ópticas, para operaciones en reverso en las cabinas de operación, no deberán viajar ni permanecer personas diferentes al operador.

Se prohíbe la permanencia de personal en la parte inferior de las cargas suspendidas.

## **REQUERIMIENTOS DE TRABAJO**

**07.00.05** La actividad de la presente especificación implica solamente el transporte de los materiales a los sitios de utilización o desecho, según corresponda, de acuerdo con el proyecto y las indicaciones del Supervisor, quien determinará cuál es el recorrido más corto y seguro para efectos de medida del trabajo realizado.

### **07.00.06 Aceptación de los trabajos**

Los trabajos serán recibidos con la aprobación del Supervisor considerando:

#### **(a) Controles**

- ✓ Verificar el estado y funcionamiento de los vehículos de transporte.
- ✓ Comprobar que las ruedas del equipo de transporte que circule sobre las diferentes capas de pavimento se mantengan limpias.
- ✓ Exigir al Contratista la limpieza de la superficie en caso de contaminación atribuible a la circulación de los vehículos empleados para el transporte de los materiales. Si la limpieza no fuere suficiente, el Contratista deberá remover la capa correspondiente y reconstruirla de acuerdo con la respectiva especificación, a su costo.
- ✓ Determinar la ruta para el transporte al sitio de utilización o desecho de los materiales, siguiendo el recorrido más corto y seguro posible.

#### **(b) Condiciones específicas para el recibo y tolerancias**

El Supervisor sólo medirá el transporte de materiales autorizados de acuerdo con esta especificación, los planos del proyecto y sus instrucciones. Si el Contratista utiliza para el transporte una ruta diferente y más larga que la aprobada por el Supervisor, éste solamente computará la distancia más corta que se haya definido previamente.

## **MEDICIÓN**

**07.00.07** Las unidades de medida para el transporte de mezcla asfáltica y de materiales granulares, serán las siguientes:

La unidad de pago de esta partida será el metro cúbico - kilómetro (m<sup>3</sup> - km) trasladado, o sea, el volumen en su posición final de colocación, por la distancia

real de transporte. El contratista debe considerar en los precios unitarios de su oferta los esponjamientos y las contracciones de los materiales, diferenciando los volúmenes correspondientes a distancias menores a 1 km y distancias mayores a 1 km

A continuación se precisa los métodos de cómputo según el origen del material a transportar:

**(a) Material de Cantera**

Se considera el transporte del material desde el centro de gravedad de la cantera hasta el centro de gravedad correspondiente a su posición final compactado, descontando la distancia libre de transporte (120 m).

$$T = V_{i-j} \times (c+d)$$

Donde:

T Transporte a pagar (m<sup>3</sup> -km)

V<sub>i-j</sub> Volumen de capa de base en su posición final de colocación entre progresivas i - j. (m<sup>3</sup>).

C Distancia desde el centro de gravedad de la cantera a la carretera (km)

D Distancia entre la salida de la cantera hasta el centro de gravedad entre progresivas i - j (km)

**(b) Material excedente**

Se pagará el transporte desde el centro de gravedad del corte (determinado en el campo y aprobado por la Supervisión), desde el kilómetro entre las Progresivas i - j descontando los volúmenes propios (compensados dentro de los 120 m) y la distancia de acarreo libre (120 m), hasta el centro de gravedad correspondiente de la disposición final del material que pueden ser terraplenes o depósitos de desechos, aprobado por la Supervisión.

$$T = V_{i-j} \times (c+d)$$

Donde:

T Transporte a pagar (m<sup>3</sup> -km)

V<sub>i-j</sub> Volumen de material excedente a eliminar en su posición inicial, entre progresivas i - j. (m<sup>3</sup>) descontando los volúmenes propios.

C Distancia desde el centro de gravedad del depósito de materiales excedentes a la carretera (km)

D                    Distancia entre la salida del depósito de materiales excedentes hasta el centro de gravedad entre progresivas i – j (km)

**(c) Roca**

Se aplica el mismo criterio que el especificado para material granular.

**(d) Mezcla Asfáltica**

Se considera el transporte de mezcla asfáltica desde el centro de gravedad de la Planta de Asfalto hasta el centro de gravedad correspondiente a su posición final compactado, descontando la distancia libre de transporte (120 m).

$$T= V_{i - j} \times (c+d)$$

Donde:

T                    Transporte a pagar (m<sup>3</sup> -km)

V<sub>i – j</sub>                Volumen de capa de base en su posición final de colocación entre progresivas i - j. (m<sup>3</sup>).

C                    Distancia desde el centro de gravedad de la cantera a la carretera (km)

D                    Distancia entre la salida de la cantera hasta el centro de gravedad entre progresivas i – j (km)

**PAGO**

**07.00.08**        El pago de las cantidades de transporte de materiales determinados en la forma indicada anteriormente, se hará al precio unitario pactado en el contrato, por unidad de medida, conforme a lo establecido en esta Sección y a las instrucciones del Supervisor.

El precio unitario deberá cubrir todos los costos por concepto de mano de obra, equipo, herramientas, acarreo, carga, descarga, tiempos muertos, y en general, todo costo relacionado para ejecutar correctamente los trabajos aquí contemplados.

El criterio general para las partidas de transporte, es que el esponjamiento del material a transportar está incluido en los precios unitarios y el carguío está considerado en las partidas de transporte menor a 1 km.

ÍTEM DE PAGO	UNIDAD DE PAGO
701 Transporte de Material a Obra $D \leq 1$ Km	Metro cúbico - kilómetro (M3-KM)
702 Transporte de Material a Obra $D > 1$ Km	Metro cúbico - kilómetro (M3-KM)
703 Transporte de Mezcla Asfáltica $D \leq 1$ Km	Metro cúbico - kilómetro (M3-KM)
704 Transporte de Mezcla Asfáltica $D > 1$ Km	Metro cúbico - kilómetro (M3-KM)
705 Eliminación de Material Excedente $D \leq 1$ Km	Metro cúbico - kilómetro (M3-KM)
706 Eliminación de Material Excedente $D > 1$ Km	Metro cúbico - kilómetro (M3-KM)