

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO

FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA**



**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL CAMINO DE CARGA
PESADA (HEAVY HAUL ROAD) PROYECTO MINERO LAS BAMBAS -
PAQUETE 03”**

TESIS

PRESENTADA POR:

ELVIS DERWIN TICONA CONDORI

PERCY ANIBAL CHOQUE MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

PUNO - PERÚ

2016

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA TOPOGRÁFICA Y
AGRIMENSURA

**“EVALUACIÓN DEL DISEÑO GEOMÉTRICO DEL CAMINO DE CARGA
PESADA (HEAVY HAUL ROAD) PROYECTO MINERO LAS BAMBAS-
PAQUETE 03”**

TESIS

PRESENTADA POR:

ELVIS DERWIN TICONA CONDORI

PERCY ANIBAL CHOQUE MAMANI

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

APROBADO POR EL JURADO REVISOR CONFORMADO POR:

PRESIDENTE

:



Ing. M.Sc. ALBERTO RAMOS VILCA

PRIMER MIEMBRO

:



Ing. VALERIANO CONDORI APAZA

SEGUNDO MIEMBRO

:



Ing. M.Sc. JORGE LUIS AROSTE VILLA

DIRECTOR DE TESIS

:



Ing. VICTOR CIPRIANO FLORES FLORES

ASESOR DE TESIS

:



Ing. WILLIAM FREDY CONDORI CANAHUA

PUNO - PERÚ

2016

ÁREA: Ciencias Sociales
TEMA: Diseño de Vías

DEDICATORIA

A mis padres Vicente e Irma, por su apoyo

Incondicional en todo momento de mi vida

Y en este trabajo.

A mi hija Alexya y Esposa Melania,

Por comprenderme y alentarme en

El proceso de este trabajo de

Investigación.

A mis docentes de la EPITA, por sus

Enseñanzas y así poder desarrollarme

Como profesional en esta carrera.

ELVIS DERWIN TICONA CONDORI

A mis padres, docentes y compañeros y

principalmente a Dios, por guiarme en

mi camino. También en mi desarrollo

como profesional y en este trabajo de

investigación.

PERCY ANIBAL CHOQUE MAMANI



AGRADECIMIENTO

A DIOS por su gracia divina, a nuestros docentes de la E.P.I.T.A, a nuestros padres y familia, y a la empresa contratista Mota-Engil Peru S.A. por las facilidades prestadas.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	14
ABSTRACT.....	16
INTRODUCCION.....	18
CAPÍTULO I	
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	21
1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	24
1.2.1 Antecedentes del proyecto	25
1.2.2 Antecedentes de la empresa contratista	26
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	27
1.3.1 Objetivo general.....	27
1.3.2 Objetivos específicos	27
CAPÍTULO II	
MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	
2.1 MARCO TEÓRICO.....	28
2.1.1 Definición de carretera.....	28
2.1.3 Fases o etapas de un proyecto de carretera	31
2.1.4 Fase de inversión o ejecución del proyecto de carretera.....	31
2.1.5 Trabajos topográficos en proyectos de caminos o carreteras.....	32
2.1.6 Filosofías de diseño.....	32
2.1.7 Factores condicionantes en el trazado de carreteras en estudios y obras.....	34

2.1.8	Evaluación del diseño geométrico de caminos	35
2.1.9	Trazado en planta	38
2.1.10	Factores condicionantes	40
2.1.12	Representación del perfil longitudinal	42
2.1.13	La sección transversal	45
2.1.14	Caminos de carga pesada	51
2.1.15	Vehículos de carga pesada	51
2.1.16	Caminos mineros.....	56
2.1.17	Evaluación del estado y recepción de los caminos	56
2.1.18	Teoría del control de variabilidad en proyectos de construcción.....	57
2.1.19	Topografía de construcción en carreteras (replanteo del proyecto)	60
2.2	HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	61
2.2.1	Hipótesis general.....	61
2.2.2	Hipótesis específicas	62

CAPÍTULO III

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

3.1	FASE 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DISEÑO GEOMÉTRICO	64
3.2	FASE 2: DISEÑO Y PROPUESTA DE VALOR	65

CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN.....	66
--	----

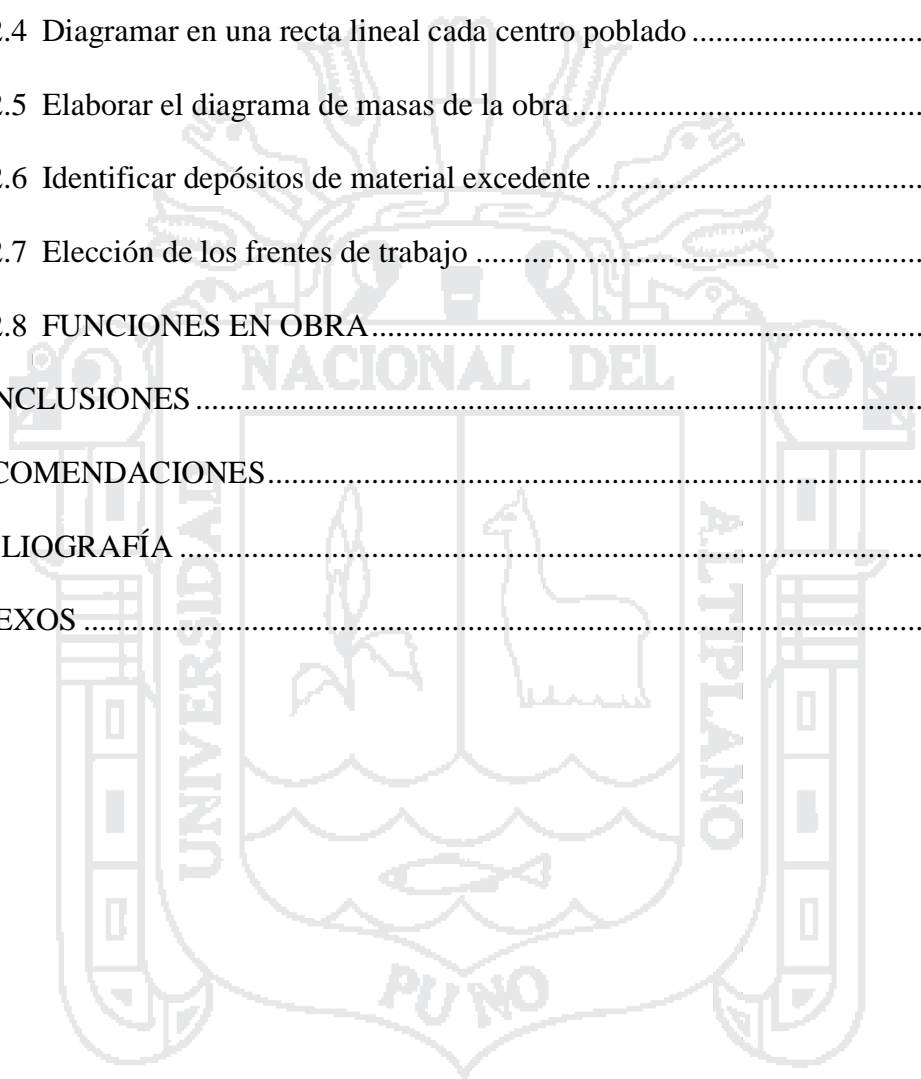
CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1	CONSIDERACIONES PARA DISEÑO EN HAUL ROAD	73
5.2	PENDIENTES Y CURVAS PELIGROSAS	74

5.3	CURVAS	74
5.4	MANTENIMIENTO.....	75
5.5	PROBLEMAS.....	76
5.6	PARAMETROS BASICOS Y CRITERIOS GEOMETRICOS MINIMOS DE DISEÑO PARA CAMINO DE CARGA PESADA PROYECTO MINERO LAS BAMBAS-PAQUETE 03.....	78
5.6.1	Clasificación de la vía y dimensiones de vehículos de diseño.....	78
5.7	ELEMENTOS GEOMETRICOS DE DISEÑO OBTENIDOS	80
5.8	CONSIDERACIONES COMPLEMENTARIAS DE DISEÑO CAMINOS DE CARGA PESADA.....	82
5.8.1	Paso vehicular	82
5.8.2	Ancho de rampa y caminos interiores mina.....	83
5.8.3	En caminos principales	84
5.8.4	En secciones con curvatura	86
5.8.5	Perfil longitudinal y pendientes	89
5.8.6	Criterio para curvas horizontales y verticales.....	90
5.8.7	Curvas verticales	91
5.9	PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN LA OBRA HEAVY HAUL ROAD	92
5.10	PROBLEMÁTICA Y VARIABILIDAD NO CONTROLADA EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN	94
5.10.1	Propuesta contractual del desarrollo de las obras	95
5.10.2	Mapeo de variabilidad.....	96
5.11	PROPUESTA DE VALOR.....	104
5.11.1	Desarrollo de la propuesta de valor	104

5.12	METODOLOGÍA DE ACCIÓN PARA CONTROL DE VARIABILIDAD ..	105
5.12.1	Conformación de grupo de trabajo.....	105
5.12.2	Funciones previas al inicio de obra.....	106
5.12.3	Identificar poblaciones como posibles restricciones sociales	106
5.12.4	Diagramar en una recta lineal cada centro poblado	107
5.12.5	Elaborar el diagrama de masas de la obra.....	108
5.12.6	Identificar depósitos de material excedente	108
5.12.7	Elección de los frentes de trabajo	109
5.12.8	FUNCIONES EN OBRA.....	109
	CONCLUSIONES	110
	RECOMENDACIONES.....	112
	BIBLIOGRAFÍA.....	114
	ANEXOS	117



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
FIGURA 1 VISTAS REPRESENTATIVAS DE UNA CARRETERA	37
FIGURA 2 TIPOS DE CURVAS EN PLANTA	39
FIGURA 3 ELEMENTOS DE TRAZADO EN ALZADO	42
FIGURA 4 PERFIL LONGITUDINAL	44
FIGURA 5 VARIABLES DE ENTORNO QUE INFLUYEN EN LA COMODIDAD DEL CONDUCTOR	48
FIGURA 6 PROCESOS DE IMPLEMENTACIÓN	57
FIGURA 7 ESTRATEGIAS DE MANEJO DE VARIABILIDAD	59
FIGURA 8 VEHÍCULO DE DISEÑO	80
FIGURA 9 ANCHO EN RAMPAS Y CAMINOS INTERIORES MINA.....	83
FIGURA 10 ANCHO EN RAMPAS Y CAMINOS INTERIORES MINA PARA CAMIONES	84
FIGURA 11 ANCHO EN CAMINOS PRINCIPALES.....	85
FIGURA 12 ANCHO EN CAMINOS PRINCIPALES - A	86
FIGURA 13 ANCHO DE CAMINO EN CURVAS HORIZONTALES	87
FIGURA 14 DISTANCIA DE FRENADO PARA EQUIPOS CON PESO BRUTO > 180.000 KG.....	90
FIGURA 15 LONGITUD DE CURVA VERTICAL	91
FIGURA 16 CIRCULACIÓN EN CURVA	93
FIGURA 17 DESARROLLO DE LA OBRA PROGRAMADA VS EJECUTADO ..	96
FIGURA 18 PORCENTAJE DE HORAS CONSUMIDAS	100
FIGURA 19 FUNCIONES PREVIAS.....	106
FIGURA 20 IDENTIFICACIÓN DE POBLACIONES.....	107

FIGURA 21 DIAGRAMA LINEAL 107

FIGURA 22 DIAGRAMA DE MASA 108

FIGURA 23 DIAGRAMA LINEAL DE MATERIAL EXCEDENTE..... 109

FIGURA 24 DIAGRAMA LINEAL DE FRENTES DE TRABAJO 109

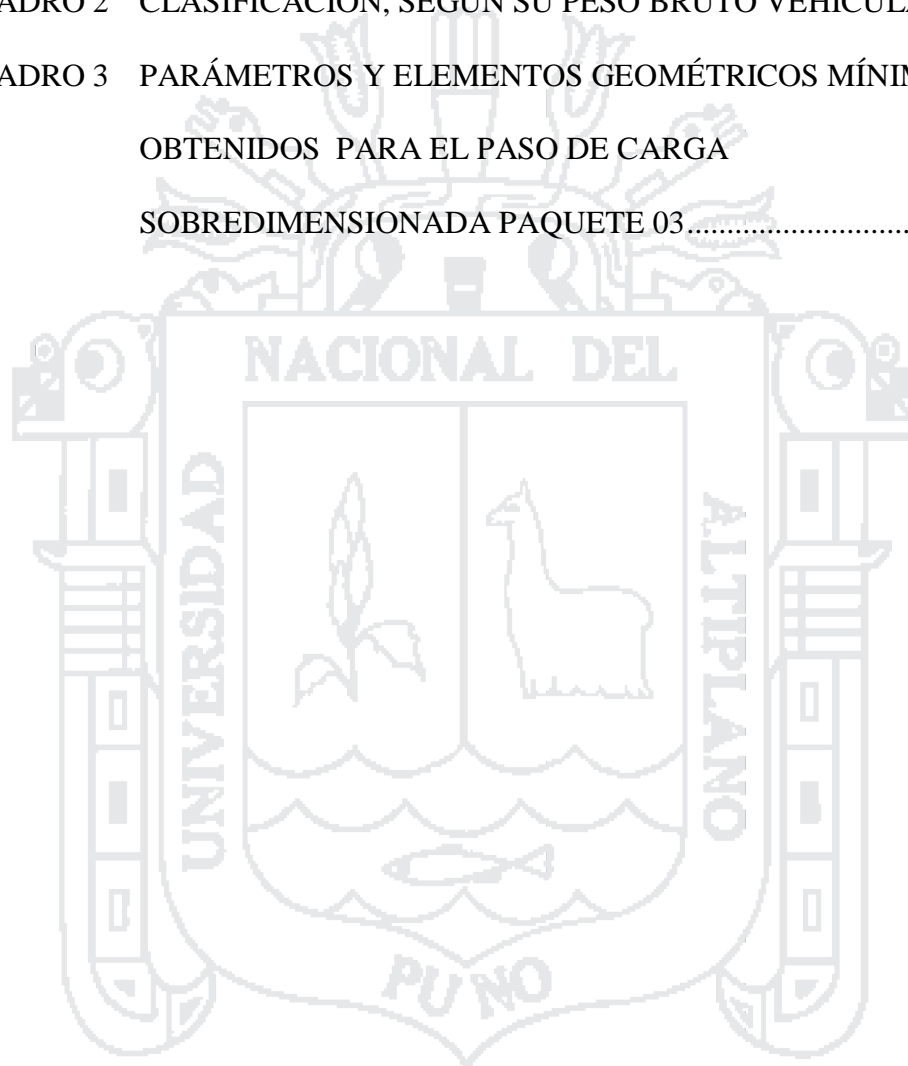


ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
TABLA 1 CATEGORIZACIÓN DE EQUIPOS DE TRANSPORTE POR PESO BRUTO (KG)	88
TABLA 2 DISEÑO DE ANCHO PARA VÍAS DE TRANSPORTE EN CURVA-CAMIONES SIMPLES	88
TABLA 3 RADIOS DE GIRO MÍNIMOS PARA CAMIONES DE EXTRACCIÓN EN ESCONDIDA.....	88
TABLA 4 CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL PERUANA Y SU RELACIÓN CON LA VELOCIDAD DE DISEÑO.....	89
TABLA 5 MAQUINARIA EMPLEADA.....	94
TABLA 6 HORAS CONSUMIDAS.....	100
TABLA 7 REGISTRO DE PARALIZACIONES.....	101
TABLA 8 PRESUPUESTO ESTIMADO.....	105

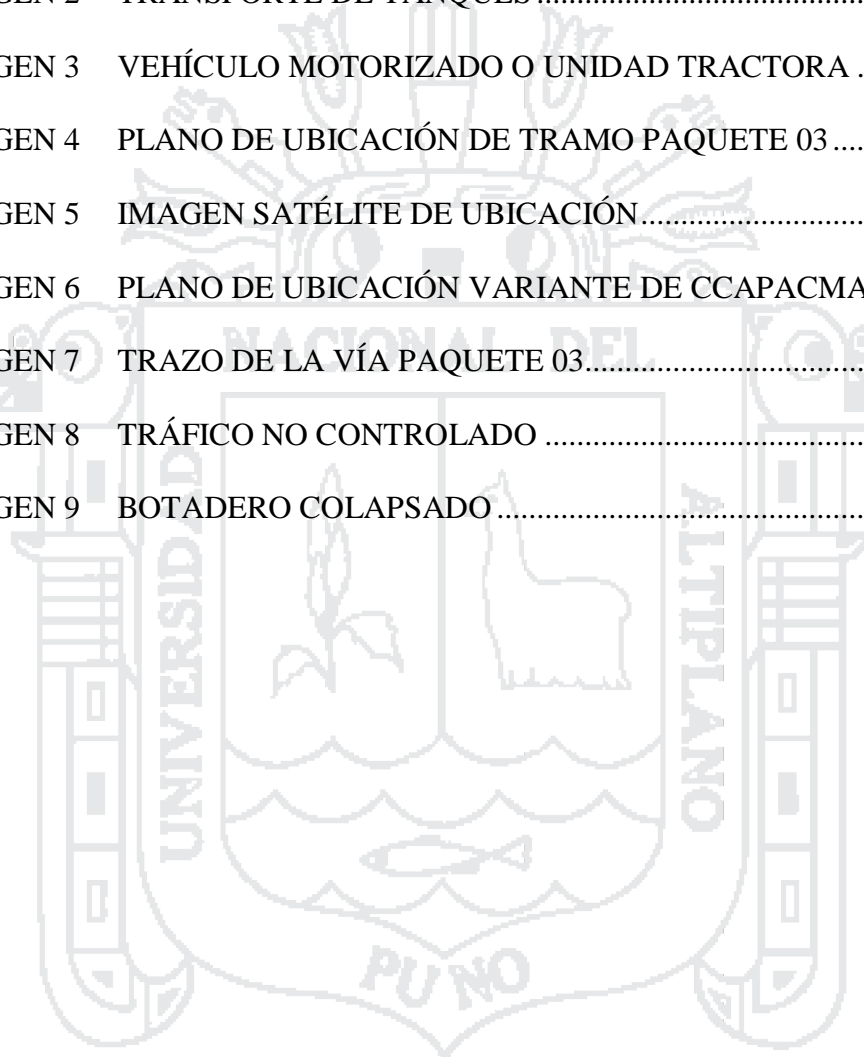
ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
CUADRO 1 CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA PESADA.....	54
CUADRO 2 CLASIFICACIÓN, SEGÚN SU PESO BRUTO VEHICULAR.....	55
CUADRO 3 PARÁMETROS Y ELEMENTOS GEOMÉTRICOS MÍNIMOS OBTENIDOS PARA EL PASO DE CARGA SOBREDIMENSIONADA PAQUETE 03.....	81



ÍNDICE DE IMÁGENES

	Pág.
IMAGEN 1 TRANSPORTE DE ESTRUCTURAS	53
IMAGEN 2 TRANSPORTE DE TANQUES	53
IMAGEN 3 VEHÍCULO MOTORIZADO O UNIDAD TRACTORA	55
IMAGEN 4 PLANO DE UBICACIÓN DE TRAMO PAQUETE 03	67
IMAGEN 5 IMAGEN SATÉLITE DE UBICACIÓN.....	67
IMAGEN 6 PLANO DE UBICACIÓN VARIANTE DE CCAPACMARCA.....	69
IMAGEN 7 TRAZO DE LA VÍA PAQUETE 03.....	95
IMAGEN 8 TRÁFICO NO CONTROLADO	98
IMAGEN 9 BOTADERO COLAPSADO	99



RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en el camino de acceso Cusco a Las Bambas, ubicado en los departamentos de Apurímac y Cusco, aproximadamente a 75 Km. al sur-oeste de Cusco y 300 Km. al nor-oeste de Arequipa. El tramo corresponde al comprendido entre el desvío Ccapacmarca – Puente Ichuray. Geográficamente está ubicada entre las coordenadas geográficas $72^{\circ}21'49.92''$ a $72^{\circ}21'39.99''$ de Longitud Oeste y $13^{\circ}45'29.13''$ a $13^{\circ}44'05.25''$ de Latitud Sur, entre las coordenadas UTM E784463.57 a E785022.77 y N8479932.90 a N 8477654.82, a una altitud promedio de 4,000.00 m.s.n.m.

El trabajo de investigación está orientado en una primera parte fundamentalmente a evaluar y/o determinar las incidencias geométricas o modificaciones en el trazo y diseño geométrico para el normal desarrollo en la etapa de ejecución de los componentes de un CASO ESPECIAL de CAMINO DE CARGA PESADA o HEAVY HAUL ROAD (en su acrónimo en inglés), que comprende desde el Km 91+000 hasta Km 161+400 de la vía Cusco (Puente Tinko) – Challhuahuacho, correspondiente al paquete 03 del proyecto minero Las Bambas, comparativo y modificaciones en el trazo y principalmente en las secciones transversales, que determinaron metrados y presupuestos de obra de acuerdo a los parámetros establecidos en el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras(2013), con la normativa para caminos de carga pesada y en una segunda parte orientado a analizar y cuantificar los eventos de variabilidad de ejecución, que conllevaron a paralizaciones en la etapa de obra como son el tema social, tráfico, falta de botaderos, canteras tomadas por poblaciones, falta de definición de ingeniería, etc., y propuesta de una metodología para controlar o mitigar estas paralización con énfasis en el tema social desde un punto de vista estratégico de avance de obra.

La investigación es del tipo descriptivo, las variables en estudio inicialmente fueron: Variables independientes: topografía del lugar en estudio, estudios geotécnicos, tipo de vehículo, y la Variable dependiente: diseño geométrico planimétrico y altimétrico para camino de carga pesada. El trabajo se realizó en dos fases, una de comprobación de campo con observación directa y recopilación de información, y otra de gabinete dedicada a la tabulación, procesamiento de información de campo, y diseño geométrico de carretera para vehículos de carga pesada. Como evaluación complementaria se tuvo el análisis de la “variabilidad” interna y externa, en los temas social, tráfico, falta de botaderos, canteras tomadas por poblaciones, falta de definición de ingeniería, etc., y una propuesta de valor para cada ítem con fines de controlar o mitigar estos aspectos con énfasis en el tema social desde un punto de vista estratégico de avance de obra.

Como resultados y conclusiones de la investigación, exponiendo las respuestas a las preguntas de investigación, objetivos e hipótesis, se ha determinado que no existe una guía específica para el diseño, hay algunos lineamientos de carácter general como por ejemplo el Reglamentos de Seguridad y Salud Ocupacional Minera D.S. N° 024-2016-EM, artículo 262, que hacen referencia a los estándares de operaciones mineras para operaciones a cielo abierto camino para carga pesada, con lo cual se obtiene el diseño con características geométricas: el ancho de plataforma del camino en 38.00 m., el giro mínimo para los vehículos del tipo THP/SL/12,14, los cuales transportarán las cargas extraordinarias que comprende un tracto camión de 04 ejes (14 neumáticos) con un peso bruto total vehicular de 176.068 T., y la propuestas de valor por cada ítem.

Palabras claves: Diseño, camino de acceso, topografía, carga pesada, variabilidad.

ABSTRACT

This research was conducted in the driveway Cusco to Las Bambas, located in the departments of Apurimac and Cusco, about 75 km south-southwest of Cusco and 300 km. northwest of Arequipa. The indicated section corresponds to the period from Ccapacmarca Forwarding - Ichuray Bridge. Geographically it is located between the geographical coordinates $72^{\circ}21'49.92''$ - $72^{\circ}21'39.99''$ west longitude and $13^{\circ}45'29.13''$ - $13^{\circ}44'05.25''$ south latitude and between UTM coordinates to E784463.57 E785022.77 and N 8477654.82 N8479932.90 at an average altitude of 4,000.00 meters.

The research work is oriented in a first part primarily to evaluate and / or determine geometric incidents or changes to the line and geometric design for normal development at the stage of implementation of the components of a SPECIAL CASE ROAD HEAVY LOAD or HEAVY HAUL ROAD (in its English acronym), comprising from Km 91 + 000 to Km 161 + 400 of the Cusco route (Puente Tinko) - Challhuahuacho corresponding to Package 03 Las Bambas mining project, comparative and modifications stroke and mainly in the cross sections, which determined metrados and labor budgets according to the parameters established in the Manual of Geometric Design of Highways, with the rules for haul roads and a second part aimed at analyzing and quantifying events variability that led to shutdowns at the stage of work such as social issues, traffic, lack of dumps, quarries made by populations, blur engineering, etc., and proposed a methodology to control or mitigate these paralysis with emphasis on social issues from a strategic point of view of completion. In the "value proposition" item by item develops each action to be taken to control events variability.

The research is the descriptive, the study variables were initially: Independent variables studied topography, geotechnical studies, vehicle type, and the Dependent variable:

planimetric and altimetric geometric design for heavy load path. The work was conducted in two phases, one field test with direct observation and data collection, and other cabinet dedicated to the tabulation, information processing field, and geometric design of road for heavy vehicles. Evaluation as a complementary analysis of internal and external "variability" in social issues, traffic, lack of dumps, quarries made by populations, blur engineering, etc., and a value proposition for each item to be had purposes of control or mitigate these aspects with emphasis on social issues from a strategic point of view of completion.

As results and conclusions of the investigation, exposing the answers to research questions, objectives and hypotheses, it has been determined that there is no specific guidance for the design, there are some general guidelines such as the Regulations Occupational Safety and Health Minera DS No. 024-2016-EM, Article 262, which refer to the standards of mining operations for operations open road heavy duty sky, which is obtained design with geometric characteristics: the width of the road platform in 8.60 m ., the minimum turning for vehicles type THP / SL / 12.14, which will carry extraordinary loads comprising a truck axles 04 (14 tires) with a gross vehicle weight of 176,068 Total T. tract, and the proposals value for each item.

Keywords: Design, driveway, topography, heavy load variability.

INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de un proyecto vial (camino o carretera), la localización de una ruta entre dos puntos, uno inicial y otro final, establecidos como condición previa, implica encontrar una franja de terreno cuyas características topográficas y factibilidad de uso, permitan asentar en ella un camino de condiciones operativas previamente determinadas.

La vía será funcional de acuerdo al uso, características geométricas y volúmenes de tránsito, de tal manera que ofrezca una adecuada movilidad a través de una suficiente velocidad de operación, los factores o requisitos del diseño a tener en cuenta se agrupan en externos o previamente existentes, e internos y propios de la vía y su diseño.

Los factores externos están relacionados, entre otros aspectos, con la topografía del terreno natural, la conformación geológica y geotécnica del mismo, el volumen y las características del tránsito actual y futuro, los valores ambientales, la climatología e hidrología de la zona, los desarrollos urbanísticos existentes y previstas, los parámetros socioeconómicos del área y la estructura de la propiedades entre otros.

Los factores internos del diseño contemplan las velocidades a tener en cuenta para el mismo, y los efectos operacionales de la geometría especialmente los vinculados con la seguridad exigida y los relacionados con la estética y armonía de la solución, el diseño geométrico es la parte más importante ya que a través de el se establece su configuración geométrica tridimensional, con el propósito de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

Al respecto la normativa para la implementación de proyectos de desarrollo lineal (carreteras o caminos) en el Perú, en los últimos años dio un giro 360 grados, debido a la implementación de nuevas leyes que amparan los derechos de las poblaciones, sobre las áreas que habitan o que tienen posición, en la actualidad en nuestro país los proyectos se rigen según las normas peruanas de diseño geométrico 2013.

Sin embargo para el desarrollo de mega proyectos, como el proyecto minero “Las Bambas” que genera muchos intereses “stakeholders”, que requiere caminos para vehículos de carga pesada, debe demandar mayor detalle en el análisis y diagnóstico de cada una de sus fases, etapas, y procesos para el desarrollo sistemático y continuo. Consultando antecedentes y bibliografía no se tienen investigaciones específicas, así como de modificaciones en la etapa de obra, por lo que se hace necesario ejecutar un estudio y/o investigación al respecto, en la determinación de factores principales, estimación de tiempo, costos, recursos y otros que pueden derivar del estudio.

Por tanto, se requiere en una segunda parte, desarrollar el diagnóstico de los eventos e impactos que genera la variabilidad geométrica no controlada, en este caso en la construcción del Heavy haul road o camino de carga pesada – Paquete 03, del Proyecto minero “Las Bambas”, construido por la empresa contratista Mota-Engil Perú S.A. en los años 2012 y 2013. En este caso los factores son también externos e internos que intervienen en la ejecución del proyecto en la etapa de ejecución de obra, así mismo desarrollar una propuesta de valor, con el objetivo de contribuir a mejorar o mitigar los indicadores de variabilidad, aplicados a la construcción de obras lineales sean estas carreteras, canales, minero ductos, gasoducto, oleoductos, vías Férreas, líneas de transmisión eléctrica, etc.

Se propone plantear alternativas de solución, elegir un sistema más conveniente y realizar el diseño adecuado para dar solución a los problemas presentados, todo ello considerando parámetros de costo-beneficio y costo-efectividad al mismo tiempo manteniendo un alto nivel de seguridad, garantizando el flujo vehicular continuo de carga pesada; para ello se realizaron los estudios de tráfico según los datos estadísticos recopilados de las personas que se encuentran en el área de estudio para los intervalos de tiempo más críticos, en la cual se presentan problemas para la circulación de vehículos, en el marco de las leyes, manuales y bases técnicas vigentes y aplicables al objeto en estudio.



CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En un proyecto de camino o carretera, el diseño geométrico es la parte más importante ya que a través de él se establece su configuración geométrica tridimensional con el propósito de que la vía sea funcional, segura, cómoda, estética, económica y compatible con el medio ambiente. La vía deberá ser compatible con el medio ambiente, adaptándola en lo posible a la topografía natural, a los usos del suelo y al valor de la tierra, y procurando mitigar o minimizar los impactos ambientales.

Sin embargo debido a la topografía irregular y en algunos casos por atravesar zonas de acceso a explotaciones mineras, se hace dificultoso el diseño convencional en planta, perfil, secciones y consiguientemente la obtención de metrados, costos y presupuestos que se ajusten a la realidad, y fundamentalmente que se ajusten a las normas de diseño geométrico vigentes, y al iniciar la ejecución de obra, estas secciones muchas veces no coinciden con el diseño geométrico.

Por otro lado desarrollar proyectos para diferentes fines como de producción, explotación, infraestructura, etc. actualmente en nuestro país están sujetos a la aprobación o validación de las poblaciones donde se desarrolla, sea esta de gran, media o pequeña escala, casos conocidos como el proyecto minero Conga de la región Cajamarca, de inversiones multimillonarias está detenido por variabilidad de temas sociales evidenciando la falta de previsión y análisis de los "stakeholders", de igual manera se puede decir del proyecto Tía María ubicando en la región Arequipa que recientemente lograron su aprobación del EIA, después de muchos años.

Este tipo de restricciones no es ajeno a la ejecución de obras, más aun tratándose de obras lineales donde se tiene que intervenir y lidiar con distintos interesados, en los distintos tramos donde se tiene que ejecutar las obras, en tal sentido la investigación se fundamenta en analizar los factores que intervienen en el diseño geométrico para vehículos de carga pesada y a la vez eventos de variabilidad que se presentan, en el transcurso del tiempo que demandan la ejecución de la obra, así como promover una metodología que ayude a mitigar los impactos negativos que genera el no prever un evento de variabilidad.

En el año 2011 la empresa contratista Mota-Engil Peru S.A. fue adjudicado para la construcción de Heavy haul road o "Construcción de los caminos de carga pesada" a desarrollarse entre los departamentos de Cusco y Apurímac, Los trabajos consistían en la construcción de 238 km. de caminos de carga pesada, con un valor de más de 200 millones de dólares divididos en cuatro paquetes:

- Paquete 02.- Ampliación de calzada de una extensión de 79 km.
- Paquete 03.- Ampliación de calzada de una extensión de 75 Km.
- Paquete 04.- Construcción de calzada de una extensión de 57 Km.

- Paquete 05.- Construcción de calzada de una extensión de 27 Km.

La empresa contratista Mota-Engil Peru S.A. tuvo varias restricciones en la construcción del Heavy haul road, o Camino carga pesada – Paquete 03, por la constante variabilidad geométrica no controlada, y otras variables conexas, en las distintas fases y procesos de la obra, que impactó de manera negativa en el cumplimiento del plazo de ejecución, en los costos previstos en el ingeniería de detalle de la obra, así como en el alcance de los trabajos a ejecutar.

Del problema expuesto y el problema de investigación, surge la siguiente pregunta de investigación general:

¿Las normas peruanas para el diseño de caminos vigentes son aplicables al transporte de carga pesada en el proyecto minero las bambas-paquete 03?

Así mismo las preguntas específicas fueron:

- ¿Existen normas específicas para el diseño geométrico horizontal y vertical para la construcción de caminos de carga pesada el tramo de progresivas desde la 91+000 al 161+400?
- ¿Los indicadores de diseño geométrico horizontal y vertical afectan de manera negativa en el plazo y costo de la obra de transporte pesado en la etapa de obra?
- ¿Una guía metodológica para el control de la variabilidad a los problemas encontrados en la etapa de obra permite plantear soluciones para mitigar los efectos negativos como paralizaciones de obra?

1.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación en diseño y ejecución de variantes o modificaciones en el trazo de carreteras para carga pesada aparentemente es escasa, teniéndose investigaciones aisladas especialmente por tesis como en la Universidad Nacional del Altiplano, así como trabajos prácticos o informes. Existe a nivel de tesis y trabajos práctico de la Sección Topografía y Agrimensura los trabajos titulados como:

- “Estudio y trazo definitivo de la variante Simarrona en la carretera Toquepala Moquegua”.
- “Estudio preliminar y trazo definitivo de la vía de acceso a la Estación Pampajase – Zepita”.
- “Trazo definitivo de la carretera Chua Chua – Camiraya Distrito de Zepita”
- “Movimiento de tierras y transporte en carreteras”.
- “Trazo y diseño geométrico preliminar de la vía de acceso a la comunidad de Llamaniyata con uso de cartografía digital”.
- “Optimización de costos en la carretera Ilave – Unidas Jilatas Calacota”.
- “Determinación de alternativas de rutas para el tendido de líneas aéreas eléctricas en 60 KV Uraca – Aplao –Huancarqui”.
- “Factores que afectan en el replanteo de la carretera Huarmey-Ayja-Recuay-Huaraz (sector 3, km 12+000 al km 15+000)”.

1.2.1 Antecedentes del proyecto

2004 Xstrata Copper adquiere el derecho para explorar Las Bambas a través de la una licitación pública internacional.

2008 Se completa la exploración de 306,908 metros de perforación acumulados.

2009 Se concluye el estudio de factibilidad.

2010 Se realiza la auditoria pública del EIA en el distrito de Challhuahuacho, provincia de Cotabambas Región Apurímac.

Se suscribe el contrato de transferencia de la titularidad de las concesiones mineras de Las Bambas con el estado, con una inversión prevista de más de USD 5,000 millones.

En agosto del 2010, se aprueba la construcción del proyecto.

2011 El estado aprueba el EIA previo dialogo con las comunidades aledañas. Se informa el incremento del recurso mineral de Las Bambas en más del 10%, equivalente a 1,710 millones de toneladas con una ley de cobre de 0.60%.

2012 Se desarrolla la *ingeniería de caminos* y componentes principales para el arranque de la futura operación.

Se inicia la construcción de la planta concentradora.

Se inicia la construcción del Heavy haul road, o Camino carga pesada.

Se tenía comprometido más del 60% de la inversión en la construcción de los componentes del proyecto.

2013 Glencore adquiere Las Bambas en el marco de la adquisición de Xstrata Copper.

Se tiene un avance en la construcción de los componentes del proyecto en 65% de caminos pioneros, 40% de la planta concentradora y 95% de la carretera de carga pesada.

Al cierre del periodo, la gerencia de Glencore aprobó ampliar la inversión a USD 5,895 millones; hasta la fecha la inversión estimada era de USD 4,182 millones. Se aprueba la primera modificatoria del EIA.

2014 El grupo Glencore vende toda su participación en Las Bambas al consorcio de MMG limited, GUOXIN International Investment Corporation Limited y CITIC Metal Co. Limited.

Actualmente se encuentra en más del 64% de avance en la construcción de los componentes del proyecto.

1.2.2 Antecedentes de la empresa contratista

En el año 2011 la empresa contratista Mota-Engil Peru S.A. fue adjudicado para la construcción de Heavy haul road o “Construcción de los caminos de carga pesada desarrollarse entre los departamentos de Cusco y Apurímac, Los trabajos consistían en la construcción de 238 km. de caminos de carga pesada, con un valor de más de 200 millones de dólares divididos en cuatro paquetes:

- Paquete 02.- Ampliación de calzada de una extensión de 79 km.
- Paquete 03.- Ampliación de calzada de una extensión de 75 Km.
- Paquete 04.- Construcción de calzada de una extensión de 57 Km.

- Paquete 05.- Construcción de calzada de una extensión de 27 Km.

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 Objetivo general

Determinar los factores de control según las normas peruanas en el diseño del camino de carga pesada en el proyecto minero las bambas-paquete 03.

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las normas específicas de diseño geométrico horizontal y vertical para caminos de carga pesada tramo de progresivas desde la 91+000 al 161+400.
- Determinar los indicadores de diseño geométrico horizontal y vertical que afectan de manera negativa en el plazo y costo de la obra de transporte pesado.
- Proponer una guía metodológica para el control de la variabilidad a los problemas encontrados en la etapa de obra, para mitigar los efectos negativos como paralizaciones de obra.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 MARCO TEÓRICO

2.1.1 Definición de carretera

BAÑÓN B., L. (2002), Define que geoméricamente, una carretera es un cuerpo tridimensional totalmente irregular, lo que en un principio hace complicada su representación, sin embargo, posee una serie de particularidades que simplifican y facilitan su estudio, estas particularidades permiten la adopción de un sistema de representación relativamente sencillo, de fácil interpretación y muy útil desde el punto de vista constructivo. En base a este sistema, la carretera queda totalmente definida mediante tres tipos de vistas: planta, perfil longitudinal y perfil transversal. No obstante, pueden emplearse otros tipos de representación como la perspectiva cónica de cara a realizar estudios más específicos sobre un determinado aspecto, como la visibilidad o el impacto ambiental. Son conceptos básicos los siguientes:

- **camino:** Vía terrestre para el tránsito de vehículos motorizados y no motorizados, peatones y animales, con excepción de las vías férreas.
- **camino de tierra:** Camino en que la superficie de rodadura es el terreno natural, nivelado y compactado mediante el uso de herramientas o maquinas simples.
- **camino vecinal:** Camino rural destinado fundamentalmente para acceso a las poblaciones pequeñas y predios rurales.
- **trocha:** Es un camino abierto en la maleza sin superficie de rodadura, de suelo natural o tierra y donde su trazo y geometría no cumplen con las normas de diseño de una carretera.
- **camino de herradura:** Vía terrestre para el tránsito de peatones y animales.
- **carretera:** Camino para el tránsito de vehículos motorizados, de por lo menos dos ejes, con características geométricas definidas de acuerdo a las normas técnicas vigentes en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones.
- **carretera afirmada:** Carretera cuya superficie de rodadura está constituida por una o más capas de AFIRMADO.
- **carretera no pavimentada:** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por gravas o afirmado, suelos estabilizados o terreno natural.
- **carretera pavimentada:** Carretera cuya superficie de rodadura está conformada por mezcla bituminosa (flexible) o de concreto Pórtland (rígida).
- **carretera sin afirmar:** Carretera a nivel de sub rasante o aquella donde la superficie de rodadura ha perdido el AFIRMADO.

2.1.2 Proyectos de carreteras

MINISTERIO DE TRANSPORTES (2008), indica que las vías de comunicación terrestre o carreteras, que puede ser para enlazar dos o más puntos de una región (construcción nueva), mejoramiento de una vía existente o (re-localización o re-construcción), propuestas de variantes, estimación de costos entre otras, se requiere de una serie de estudios específicos como topográficos, geomorfológicos, hidrología, etc.

Conceptualmente los proyectos de vías de comunicación terrestre (camino, carreteras, autopistas) ya sea para nuevas rutas (construcción nueva para enlazar dos o mas puntos de una región), mejoramiento o modernización de existentes (re-localización, re-construcción o mejoramiento), se ubican dentro de los proyectos de infraestructura y específicamente en infraestructura de comunicación, con objetivos, fines y propósitos como intercambio y apoyo a la actividad económica como la producción, comercialización, la reducción de los costos de transporte, el mayor acceso a los mercados para los cultivos y productos locales, el acceso a nuevos centros de empleo, el mayor acceso a la atención médica, la contratación de trabajadores locales en el proyecto, y otros servicios sociales, pero fundamentalmente el fortalecimiento de las economías locales, regionales y nacionales.

Estos proyectos de vías de comunicación que puede ser también para propuestas de variantes, mantenimiento, estimación de costos entre otras, requieren de una serie de estudios específicos como topográficos, geomorfología, hidrología, estudio de tráfico, estudio de impacto ambiental, etc., que proporcionan las bases para poder definir el tipo de camino a diseñar para alguna zona en particular, que debe incluir la confiabilidad bajo cualquier condición climática de la zona. Complementariamente se hacen varios estudios socioeconómicos para la justificación de la construcción de la misma, que

indican los beneficios socioeconómicos proporcionados por la implementación de dichos proyectos.

2.1.3 Fases o etapas de un proyecto de carretera

CENTRO REGIONAL DE AYUDA TECNICA (AID) (1999), señala que los proyectos de vías o caminos, como todo proyecto de ingeniería de mediana o mayor envergadura, requieren pasar por cuatro etapas como son:

- Planificación.
- Fase de pre-inversión (estudios).
- Fase de implementación o ejecución (construcción de camino o carretera).
- Fase de operación, funcionamiento o puesta en marcha (que incluye monitoreo o evaluación y mantenimiento).

2.1.4 Fase de inversión o ejecución del proyecto de carretera

Es la etapa de implementación, ejecución del proyecto o construcción a nivel de obra (concretización física que incluye diversas obras civiles), para lo cual se requiere la organización y gestión del proyecto, incluye la programación (gestión = administración = gerencia), elaboración de expedientes técnicos, determinación de administración directa o por licitación, negociación, ejecución física-financiera, aspectos legales, supervisión, control de procesos constructivos, evaluación de 4C (Calidad, cantidad, cronograma y costos), especificaciones técnicas, obras adicionales no previstas, informes finales y planos de obra, entrega de obra, liquidaciones, etc.

2.1.5 Trabajos topográficos en proyectos de caminos o carreteras

WOLF P. y BRINKER R. (2000), indica que los trabajos de topografía que se requieren difieren para las diferentes fases del proyecto de camino como son:

- Topografía para estudios (trazo y diseño geométrico, control planimétrico y altimétrico).
- Topografía para estudios de geología, geomorfología, hidrología, drenaje, etc.
- Topografía para levantamiento de detalles, estudio de canteras y obras de arte.
- Topografía en la construcción (ejecución de obras, control planimétrico y altimétrico).
- Topografía post construcción (planos de obra, liquidaciones de obra, mantenimiento).

Los estudios topográficos que se requieren en la etapa de pre-inversión como son los estudios de factibilidad o definitivos pueden ser para:

- Mejoramiento (mejoramiento de trazo, pendientes, etc.).
- Construcción nueva (nueva ruta de camino que unirá dos puntos).

2.1.6 Filosofías de diseño

Manual de Carreteras. (2009), manifiesta que comúnmente se han definido filosofías de diseño que tienden a ser simplistas y que ignoran los aspectos mencionados anteriormente, éstas filosofías de diseño persiguen una seguridad que deposita de manera excesiva sus argumentos en los modelos derivados de la dinámica de Newton.

La filosofía actual, se basa en la suposición de que cualquier diseño que se ajusta a las políticas establecidas para el Diseño Geométrico de la vía, es segura y que aquellas que no, serían inseguras.

Este planteamiento que a menudo es asumido por los diseñadores, es aceptado por los tribunales cuando se trata de toma de decisiones sobre cuestiones de responsabilidad.

A pesar de que han transcurrido varias décadas de investigación de la compleja relación entre vehículo, carretera, conductor y seguridad de funcionamiento, esta temática no siempre es bien comprendida, existen numerosos investigadores que han estudiado las relaciones entre las tasas de accidentes y los elementos específicos del diseño geométrico, los resultados obtenidos no siempre han sido suficientes para la aplicación práctica.

Este aspecto se debe concretamente a la limitada visión de las investigaciones realizadas, las cuales al examinar la relación entre los accidentes y los elementos de diseño individual, no toman en cuenta los efectos interactivos de otros parámetros, especialmente el factor humano, lo que podría conducir a la desvalorización de relaciones importantes.

Tomando en cuenta lo anteriormente expuesto, podemos concluir que se justifica la implementación de nuevas filosofías de diseño.

Esta nueva filosofía deberá tomar en cuenta dos niveles fundamentales. El primero, debe estar relacionado con la planificación geométrica, aspecto que pocas veces es expuesto en los Manuales de Diseño Geométrico de Carreteras. El segundo nivel del diseño geométrico es el que trata sobre la seguridad operacional en detalle. Este es el nivel en el que se centran los manuales, poniendo la misma atención en la

eficacia y la seguridad de los elementos de la carretera. Se propone que, en la nueva filosofía, la seguridad debe ser considerada como primordial. Sacrificar la seguridad en aras de la eficiencia y la economía no es una práctica aceptable.

Por lo tanto, una filosofía más integral, debe basarse en el concepto de reducir la probabilidad de errores al nivel más bajo posible y además debe tratar de reducir las consecuencias de estos errores que se producen. Para lograr este objetivo, los diseños deben comenzar con un claro entendimiento del propósito y funcionalidad de la vía, seguida de una apropiada selección de los elementos de diseño y su consecuente integración con la forma del terreno y su uso actual y futuro. Una marca particular de la capacidad del Profesional en Diseño debe basarse en su capacidad de prever y optimizar los objetivos en conflicto que son inherentes a cualquier proyecto.

2.1.7 Factores condicionantes en el trazado de carreteras en estudios y obras

BAÑÓN B., L. (2002), señala que en el caso de las obras de carreteras, existen una serie de factores que condicionan las posibles soluciones de trazado en planta de una vía tanto en la etapa de estudios como en obra. Podemos mencionar:

- a) **Puntos de paso forzoso:** Serie de puntos que, por diversos motivos condicionan y limitan la elección del trazado. Algunos de estos factores son:
 - Factores topográficos: Existen zonas que por presentar una determinada topografía –zonas montañosas, barrancos y depresiones, etc.- dificultan y encarecen la construcción de obras de carreteras.
 - Factores geológicos: La presencia de terrenos no aptos por su baja capacidad portante y la proximidad de zonas de extracción de áridos –una de las materias primas para la construcción de carreteras- son los más reseñables.

- Factores hidrológicos: La existencia de cauces hidráulicos y zonas inundables puede desaconsejar que el trazado discurra por dichas zonas.
- Factores urbanísticos: Los Planes de Ordenación aprobados o previstos, así como el uso del suelo, facilitarán o dificultarán la realización de un trazado u otro.
- Factores sociales: La comunicación de determinados núcleos de población puede condicionar en mayor o menor medida el trazado de la vía.

2.1.8 Evaluación del diseño geométrico de caminos

Cárdenas G., J. (2002), menciona que una carretera es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y en el tiempo, con niveles adecuados de seguridad, comodidad, sea funcional, estética, económica y compatible con el medio ambiente.

Una vía será funcional de acuerdo a su tipo, características geométricas y volúmenes de tránsito, de tal manera que ofrezca una adecuada movilidad a través de una suficiente velocidad de operación.

La vía será cómoda en la medida en que se disminuyan las aceleraciones de los vehículos y sus variaciones, lo cual se lograra ajustando la curvaturas de la geometría y sus transiciones a las velocidades de operación por las que optan los conductores a lo largo de los tramos rectos.

La vía será estética al adaptarlas al paisaje, permitiendo generar visuales agradables a las perspectivas cambiantes, produciendo en el conductor un recorrido fácil.

La vía será económica, cuando cumpliendo con los demás objetivos, ofrece el menor costo posible a la topografía natural, a los usos del suelo y el valor de la tierra, y procurando mitigar o minimizar los impactos ambientales.

ANÍBAL. (2003), indica que el diseño del eje de un camino se realiza casi siempre resolviendo primero su ubicación planimétrica y luego la altimétrica, algunas veces con escasa relación entre ambas. En tales casos, muy probablemente la línea espacial resultante presentará diversos defectos denominados genéricamente de coordinación planimétrica y altimétrica cuyas consecuencias pueden ser diversas, como ser: guiado visual pobre, pérdidas de trazado, etc., y con posibles derivaciones adversas sobre la seguridad de la conducción.

La consistencia en el diseño geométrico de un camino se refiere a conformar su geometría de acuerdo con las expectativas del conductor. Una inconsistencia en el diseño puede describirse como una característica geométrica, o combinación de ellas, con rasgos inusuales que los conductores pueden abordar de manera insegura. Esta situación puede llevar a errores en la selección de la velocidad o inapropiadas maniobras de manejo que pueden provocar accidentes. Existen métodos de evaluación de la consistencia del diseño basados en la velocidad de operación de los vehículos, las características del camino o la carga mental del conductor.

Las tres vistas más importantes de una carretera son:

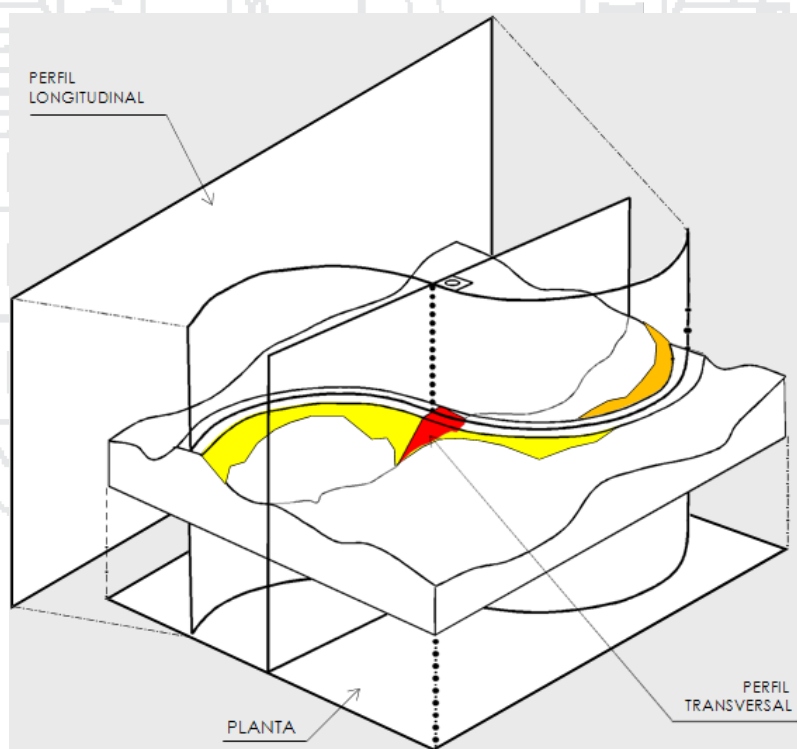
a) Planta: Es la vista más importante de todas, ya que sobre ella se representa de forma explícita la proyección horizontal de la carretera. Se emplea para la confección de planos que recojan información de diversa índole, útil para la correcta definición de la vía: trazado, replanteo, geología, topografía, pluviometría, señalización, uso del suelo, etc.

b) Perfil longitudinal: Es el desarrollo sobre un plano de la sección obtenida empleando como plano de corte una superficie reglada cuya directriz es el eje longitudinal de la carretera, empleando una recta vertical como generatriz. En esta vista se sintetiza gran parte de la información necesaria para la construcción de la carretera, expresada tanto de forma gráfica como numérica.

c) Perfil transversal: Se obtiene seccionando la vía mediante un plano perpendicular a la proyección horizontal del eje. En él se definen geoméricamente los diferentes elementos que conforman la sección transversal de la vía: taludes de desmonte y terraplén, cunetas, arcenes, pendientes o peraltes.

FIGURA 1

VISTAS REPRESENTATIVAS DE UNA CARRETERA



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998).“*Mine Road Design Manual*”.

BAÑÓN B., L. (2002), indica que geoméricamente, la carretera es un cuerpo tridimensional totalmente irregular, lo que en un principio hace complicada su

representación. Sin embargo, posee una serie de particularidades que simplifican y facilitan su estudio:

- El predominio de una de sus dimensiones respecto a las otras dos: la carretera es una obra lineal.
- La posibilidad de reproducirla fielmente mediante el desplazamiento de una sección transversal que permanece constante a lo largo de un eje que define su trayectoria.

Estas dos características permiten la adopción de un sistema de representación relativamente sencillo, de fácil interpretación y muy útil desde el punto de vista constructivo. En base a este sistema, la carretera queda totalmente definida mediante tres tipos de vistas: **planta**, **perfil longitudinal** y **perfil transversal**. No obstante, pueden emplearse otros tipos de representación –como la perspectiva cónica- de cara a realizar estudios más específicos sobre un determinado aspecto, como la visibilidad o el impacto ambiental.

Normalmente suelen tomarse varios perfiles a lo largo del eje, con un intervalo de separación constante y que viene condicionado por las condiciones topográficas del terreno. Una importante aplicación de estos perfiles es facilitar el cálculo el movimiento de tierras que acarrea la construcción de la carretera.

2.1.9 Trazado en planta

El trazado en planta suele ser el punto por el cual comienza a diseñarse geoméricamente una carretera, ya que al ser ésta una obra lineal, define perfectamente la forma y recorrido de la misma.

El eje de un camino se halla compuesto de una serie de formas geométricas entrelazadas, denominadas genéricamente alineaciones. Éstas pueden ser de tres tipos:

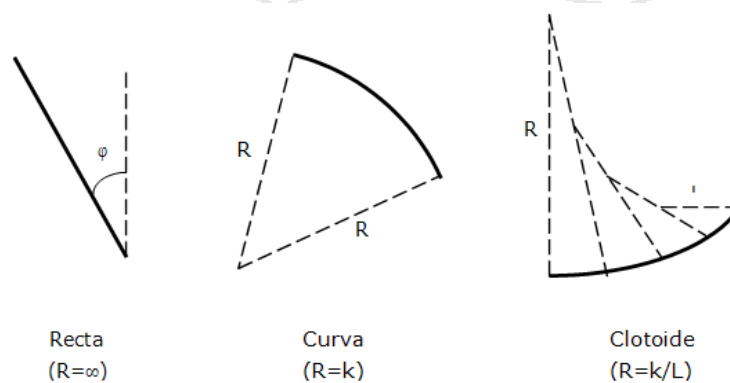
(a) Alineaciones rectas: Este tipo de alineaciones son las que definen grosso modo el trazado de la carretera. Se caracterizan por su ausencia de curvatura, lo que posibilita que en estos tramos sea donde a priori un vehículo pueda desarrollar su máxima velocidad.

(b) Alineaciones curvas: Están constituidas por curvas circulares, cuya principal misión es enlazar los tramos rectos, evitando quiebros bruscos en el trazado del camino. Se caracterizan por una curvatura constante, lo que obliga al conductor a efectuar maniobras de giro. Para neutralizar la fuerza centrífuga que aparece en este tipo de tramos, se dota transversalmente a la vía de una inclinación hacia el interior, denominada peralte.

(c) Curvas de transición: La finalidad de este tipo de alineaciones es servir de enlace entre las dos anteriores.

FIGURA 2

TIPOS DE CURVAS EN PLANTA



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

2.1.10 Factores condicionantes

En el caso de las obras de carreteras, existen una serie de factores que condicionan las posibles soluciones de trazado en planta de una vía, como son:

(a) Puntos de paso forzoso: Serie de puntos que, por diversos motivos condicionan y limitan la elección del trazado. Algunos de estos factores son:

- Factores topográficos: Existen zonas que por presentar una determinada topografía –zonas montañosas, barrancos y depresiones, etc.- dificultan y encarecen la construcción de obras de carreteras.
- Factores geológicos: La presencia de terrenos no aptos por su baja capacidad portante y la proximidad de zonas de extracción de áridos –una de las materias primas para la construcción de carreteras- son los más reseñables.
- Factores hidrológicos: La existencia de cauces hidráulicos y zonas inundables puede desaconsejar que el trazado discorra por dichas zonas.
- Factores urbanísticos: Los Planes de Ordenación aprobados o previstos, así como el uso del suelo, facilitarán o dificultarán la realización de un trazado u otro.
- Factores sociales: La comunicación de determinados núcleos de población puede condicionar en mayor o menor medida el trazado de la vía.

(b) Uniformidad y visibilidad: Se procurará dar la máxima visibilidad posible evitando grandes pendientes –sobre todo el trazado en *tobogán*- y variaciones bruscas de curvatura. Además, el trazado debe ser uniforme, para facilitar la adaptación del conductor al trazado de la vía.

(c) Monotonía: Un trazado donde predominan las grandes alineaciones rectas provoca en el conductor una sensación de monotonía y dispersión mental. Por ello, es recomendable proyectar trazados donde no proliferen este tipo de alineaciones, siendo la tendencia actual a realizarlos enlazando curvas de acuerdo exclusivamente.

(d) Zonas protegidas: A lo largo del trazado previsto pueden existir determinados enclaves que por su valor histórico-artístico, ecológico o de otro tipo estén protegidos por el Estado, no pudiendo expropiarse; este hecho obligará a un replanteo del trazado, al menos en el entorno de la zona afectada.

Por último son de vital importancia los factores de carácter económico, que atañen tanto al coste de construcción de la vía o inversión como al coste de explotación de la misma. La minimización de ambos costes en consonancia con los factores anteriormente tratados proporcionarán la solución de trazado óptima.

2.1.11 Trazado en alzado

El trazado en alzado de una carretera se lleva a cabo a través del estudio de su sección longitudinal que, como ya se ha dicho, se obtiene desarrollando en un plano el eje de dicha vía.

Al igual que el trazado en planta se componía de diversas alineaciones, el trazado en alzado de una vía lo conforman las **rasantes**, que definen la inclinación de la vía y dotan de cota a cada uno de sus puntos.

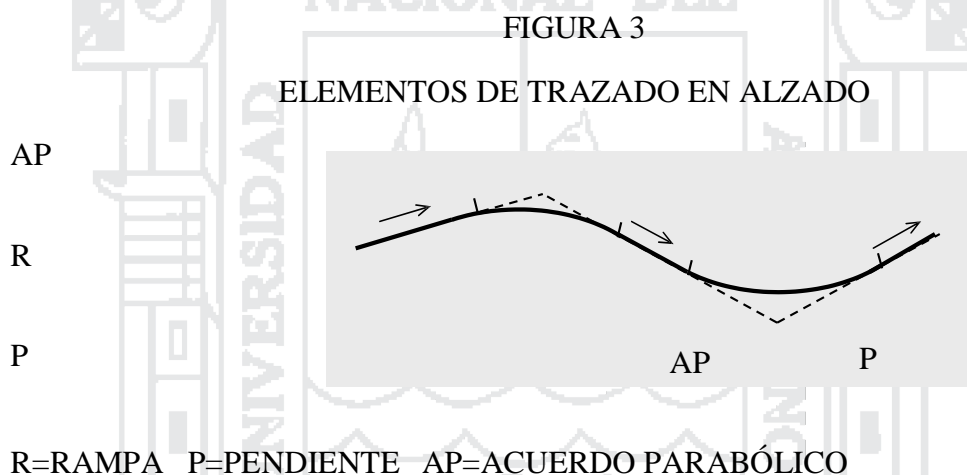
Pueden distinguirse los distintos tipos de elementos en alzado:

(a) Rampas: Tramos que poseen una inclinación positiva en el sentido de la marcha de los vehículos. Dicho de otro modo, son aquellos tramos de vía que el vehículo recorre *cuesta arriba*. En estas zonas se produce una reducción de la

velocidad de los vehículos, especialmente grave en la categoría de los pesados.

(b) Pendientes: Al contrario que los anteriores, son tramos de calzada de inclinación negativa en el sentido de la marcha. Este aspecto favorece un aumento de la velocidad de circulación de los vehículos.

(c) Acuerdos: Tramos de inclinación variable, empleados para efectuar una transición suave entre dos rasantes consecutivas. Generalmente suele emplearse la parábola como forma geométrica de acuerdo, por lo que se les da el nombre de acuerdos parabólicos.



El trazado en alzado suele adaptarse generalmente a las exigencias topográficas del terreno por el que discurre la carretera, para de esta forma minimizar el movimiento de tierras, y además procurando mantener el equilibrio entre los volúmenes de desmonte y terraplén.

2.1.12 Representación del perfil longitudinal

Como se indicó anteriormente, el perfil longitudinal de una carretera es uno de los elementos que mejor la definen, ya que a los datos geométricos añade una serie de datos numéricos adicionales mucho más precisos que concretan los anteriores. El

perfil longitudinal es uno de los elementos imprescindibles para la construcción de la carretera, ya que los datos que encierra se interpretan de forma clara, sencilla y precisa.

El contenido gráfico de este perfil consta no sólo de las diferentes rasantes y acuerdos que componen la vía, sino que viene acompañado del perfil topográfico del terreno preexistente. Además, sobre él se sitúan las distintas obras de fábrica que componen la obra –puentes, caños de drenaje o túneles- así como las infraestructuras que interceptan su trayectoria, –ferrocarriles, tendidos eléctricos, canales u otras carreteras- o accidentes naturales, como lagos o ríos.

Sobre el perfil longitudinal se representan mediante líneas verticales cada uno de los **perfiles transversales** –normalmente equidistantes unos de otros- que suelen referirse al punto kilométrico de la vía (PK) donde han sido tomados. Cada uno de los perfiles transversales lleva asociada una información numérica, que conforma la popularmente conocida como *guitarra*, y que consta de los siguientes apartados:

(a) Ordenadas del terreno: Esta cifra indica la cota o altura del terreno respecto al plano de comparación escogido, generalmente el nivel del mar.

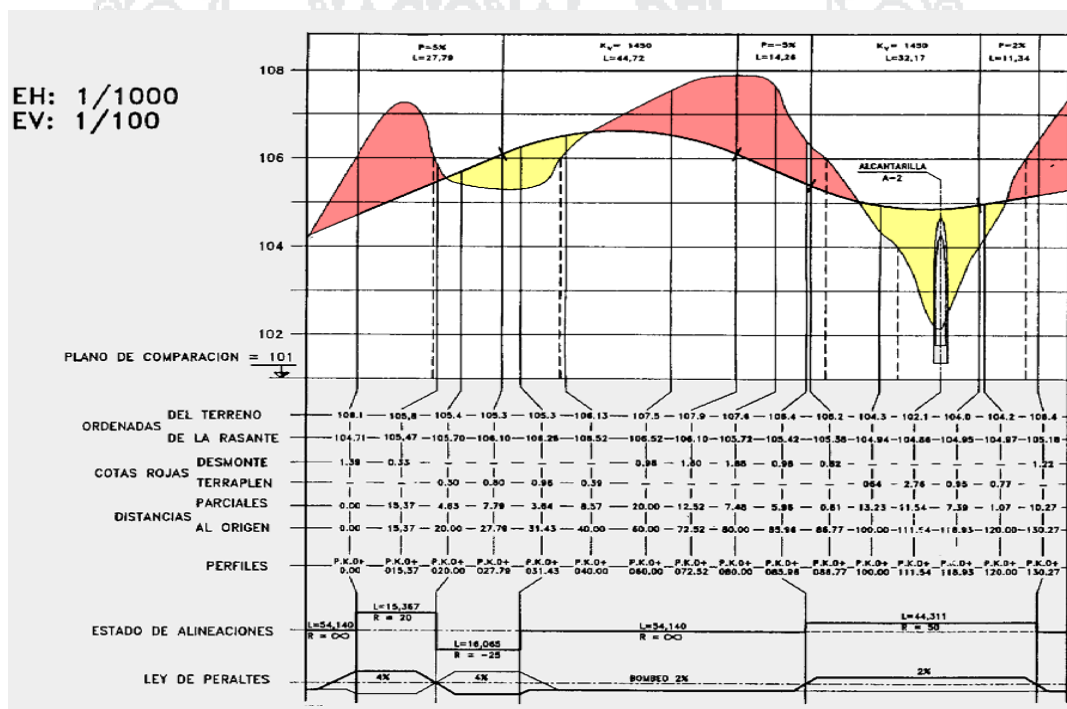
(b) Ordenadas de la rasante: Se refiere a la cota de la rasante proyectada respecto al mismo plano de comparación.

(c) Cotas rojas: Representa la diferencia de cota entre el terreno y la rasante, pudiendo ser de dos tipos, excluyentes entre sí:

- De desmonte: En este caso el terreno se halla por encima de la rasante.

- De terraplén: Define la altura a terraplenar sobre el terreno natural.
- (d) Distancias parciales: Cifra que indica la distancia existente –recorrida sobre el eje longitudinal- desde el anterior perfil hasta el actual.
- (e) Distancias al origen: A diferencia de la anterior, representa la distancia medida a lo largo del eje longitudinal de la vía- entre el origen de distancias y el perfil considerado.

FIGURA 4
PERFIL LONGITUDINAL



Fuente: PROYECTO MINERO LAS BAMBAS PAQUETE 03.

(f) Identificación del perfil: Con este apartado se pretende una enumeración ordenada de cada uno de los perfiles tomados, de forma que puedan ser fácilmente identificables en otro tipo de planos.

Los datos numéricos anteriormente expuestos suelen ir acompañados por dos esquemas que resumen otros parámetros geométricos definitorios de la carretera:

- Estado de alineaciones: Diagrama adimensional en el que se representan las curvaturas de las diferentes alineaciones. Así, las alineaciones rectas coinciden con el eje del diagrama; las curvas son rectas paralelas y las clotoides, rectas inclinadas de pendiente constante. Opcionalmente, se representan numéricamente la longitud y el radio o parámetro de la alineación correspondiente.
- Ley de peraltes: Representación gráfica de la pendiente transversal de la explanación. Para ello, se representan los bordes izquierdo y derecho de la explanación, asignando a cada uno de ellos una línea diferente.

Las **escalas** empleadas para la representación del perfil transversal varían en función de la magnitud de la obra; lo que suele hacerse es diferenciar la escala vertical de la horizontal, siendo del orden de diez veces superior a esta última.

2.1.13 La sección transversal

La sección transversal de una carretera es la vista idónea para definir perfectamente los diferentes elementos que la componen: plataforma, calzada, carriles, arcenes, mediana, cunetas, etc., ya descritos. Básicamente, la sección transversal proporciona información acerca de dos importantes aspectos de la vía: su anchura y su pendiente transversal.

La **anchura** de una carretera se halla íntimamente relacionada con la capacidad de la propia vía, así como con otro factor que influye en la calidad de la misma, como es la seguridad. En este sentido, la Instrucción de Carreteras española dicta una serie de normas destinadas a asegurar unos niveles de circulación aceptables, que serán objeto de estudio en un capítulo posterior.

También es importante el correcto diseño de las pendientes transversales existentes en la vía, ya que influyen en dos aspectos importantes:

- El sistema de drenaje del firme: En todo momento debe procurarse que el firme permanezca lo más seco posible; para ello, se dota a la calzada de una ligera pendiente –normalmente del 2%- a cada lado, denominada *bombeo*.
- La configuración del peralte: En las alineaciones curvas se hace necesario una mayor inclinación transversal de la vía para contrarrestar la fuerza centrífuga.

Además, en las curvas de transición debe realizarse una transición suave de dicho peralte.

Por otro lado, la **sección transversal** se emplea como vista auxiliar para efectuar la medición del movimiento de tierras necesario para la construcción de la plataforma sobre la que se asentará el firme. Para ello, se confeccionan planos con diferentes secciones de la vía tomadas a una distancia regular a lo largo de su trazado – puntos que a su vez se reflejan en el perfil longitudinal- en los que se incluye la sección transversal de la plataforma, los taludes de desmonte o terraplén empleados y el perfil del terreno natural preexistente. Cada perfil transversal suele ir acompañado de la superficie de tierras a desmontar o terraplenar en dicha sección, expresada en forma numérica.

A la hora de plantear el trazado de una determinada vía existen multitud de factores que influyen, en mayor o menor medida, en la optimización del mismo. Estos factores –o al menos los más relevantes- pueden agruparse en cuatro premisas fundamentales: comodidad, seguridad, economía y estética.

La comodidad experimentada por el conductor de un vehículo es uno de los aspectos que refleja la calidad que ofrece la vía por la que circula. El trazado de una carretera influye en algunos de los factores que definen la comodidad, a saber:

(a) Velocidad: La velocidad de circulación de los vehículos por una determinada vía está condicionada por su trazado. Este hecho se hace patente en ciertos puntos críticos, como las curvas, donde la geometría de la vía –radio y peralte de la curva- limitan la máxima velocidad a la que se puede transitar por ella, reduciendo en algunos casos la velocidad de un determinado porcentaje de vehículos y por tanto, su nivel de comodidad.

(b) Transiciones: Las curvas de transición juegan un papel importante a la hora de efectuar un aumento progresivo, no repentino, de la fuerza centrífuga que tiende a desplazar el vehículo hacia el exterior de la curva. De este modo, el conductor puede adaptar con mayor facilidad el vehículo a la nueva situación, aumentando su *confort*.

(c) Demoras: Para evitar el colapso o la reducción de velocidad de un cierto número de vehículos en determinados tramos, deben preverse trazados en los que los vehículos más rápidos dispongan de suficiente visibilidad y distancia como para efectuar el adelantamiento sobre otros más lentos.

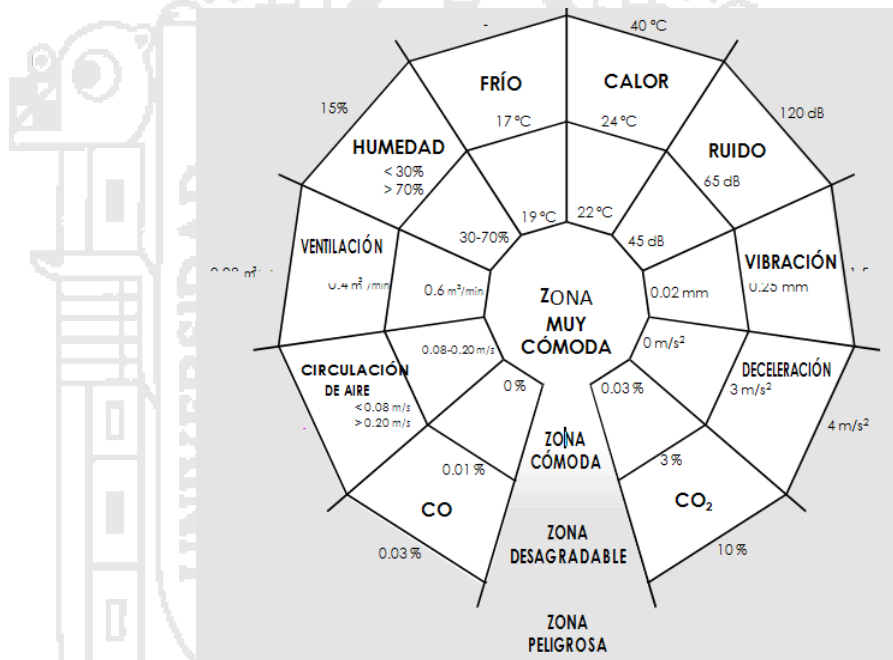
En circunstancias especiales, como en tramos con fuerte pendiente ascendente, es recomendable habilitar **vías lentas** de uso obligatorio para vehículos que no superen una determinada velocidad.

Todos estos factores, junto con otros muchos, se engloban en el **nivel de servicio**, indicador fundamental de la calidad de la vía. El grado de comodidad se identifica fielmente con el nivel de servicio, al mostrarnos este último la libertad de

movimiento de la que disponen los conductores en función de la densidad de tráfico existente.

Existen otra serie de variables físicas independientes del trazado, pero que influyen directamente en la comodidad experimentada por el conductor. El siguiente cuadro muestra un resumen de las mismas.

FIGURA 5
VARIABLES DE ENTORNO QUE INFLUYEN EN LA COMODIDAD DEL CONDUCTOR



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

Otro de los factores que también se halla íntimamente ligado a la calidad que ofrece una determinada vía es el nivel de seguridad que ofrece a sus usuarios. No debe restringirse el concepto de seguridad a la idea de un conjunto de elementos destinados a impedir o aminorar las consecuencias de un impacto; una carretera segura debe poseer unas características geométricas tales que eviten en la medida de lo posible la generación de accidentes.

La **seguridad** y la **comodidad** son dos factores íntimamente relacionados; por lo general, una conducción cómoda suele ser sinónimo de una conducción segura, y muchos de los parámetros descritos a continuación bien podrían aplicarse al anterior apartado.

Los factores que tienen una mayor influencia sobre la seguridad de la vía y que dependen en parte de su geometría son los siguientes:

(a) **Visibilidad:** Una correcta visibilidad del tramo de vía que el conductor recorrerá en los próximos segundos aumentará el grado de seguridad del mismo, al poder prever con cierto tiempo las maniobras a realizar ante las circunstancias existentes.

Existen determinados puntos críticos –como los cambios de rasante y las curvas- donde es necesario realizar estudios especiales de visibilidad.

(b) **Variación armónica del trazado:** La disposición geométrica de la vía debe ser estudiada de forma que no se produzcan excesivos contrastes entre el trazado de dos tramos consecutivos. Debe limitarse la longitud de las rectas tramos que no suelen requerir la intervención del conductor- para no crear una sensación de monotonía y relajación en el propio usuario.

De igual manera, han de procurarse variaciones no muy grandes entre los radios de dos alineaciones consecutivas, o emplear curvas de transición para su enlace. De esta forma, el conductor no se verá obligado a efectuar maniobras bruscas y repentinas, que acarrean un mayor riesgo de accidente.

(c) **Sección transversal adecuada:** Una adecuada anchura de los distintos elementos que conforman la vía –carriles, arcenes o medianas- no sólo aumentan su

capacidad, sino que también elevan el grado de seguridad de la misma.

En determinadas zonas de la calzada –curvas principalmente- es necesario aumentar ligeramente la anchura de los carriles para que el vehículo pueda efectuar el giro con mayor comodidad y seguridad. A este ensanchamiento gradual del carril se le denomina **sobreancho**.

(d) Evacuación de las aguas pluviales: El coeficiente de resistencia al deslizamiento neumático-firme se ve drásticamente reducido por la presencia de agua, con la consiguiente merma de las condiciones de seguridad en la vía. La solución de este problema pasa por el diseño de un dispositivo que permita la rápida evacuación del agua que pueda caer sobre el firme: el sistema de drenaje.

La base del sistema de drenaje de un firme se halla en la ligera inclinación transversal con la que se le dota, denominada **bombeo**, y que permite que el agua que cae sobre el firme escurra hacia los flancos de la vía.

Uno de los principales problemas que posee el transporte por carretera es el alto grado de **siniestralidad**, sin duda debido a su alta popularidad, a la heterogeneidad de sus usuarios –tanto conductores como vehículos- y a la escasa profesionalización existente entre los conductores, lo que provoca actitudes irresponsables, como la ingestión de alcohol o la conducción ininterrumpida durante largos períodos de tiempo.

Por todo ello, el trazado de carreteras debe estar especialmente estudiado para reducir a su mínima expresión el riesgo de accidentes. Lo que no debe permitirse bajo ningún concepto es que el trazado o cualquier otro componente intrínseco de la vía sea el causante directo de siquiera un solo accidente.

2.1.14 Caminos de carga pesada

Los caminos de acarreo de minas se utilizan para el transporte de productos en bruto de la mina a la planta de preparación y vertederos. Cada aspecto de la autopista e ingeniería, incluyendo la pendiente mínima inclinados, curvas peraltadas adecuadamente, y un drenaje adecuado, se deben seguir para facilitar la construcción de la caja fuerte y las carreteras de minas eficientes para el transporte rápido y económico del minado producto hasta su destino. Al mantener buenas carreteras de minas, tanto de camiones y el mantenimiento del equipo se mantiene al mínimo, lo que resulta en una reducción costos de extracción y los beneficios más altos posteriormente. Caminos de acarreo y rampas son los de línea de vida de la mina a cielo abierto.

El Diseño vial debe dar cabida a una serie de factores y las condiciones meteorológicas previstas, la más grande de vehículos en el lugar y la velocidad de las operaciones se tienen en cuenta en el proceso de diseño. Los parámetros de carretera están limitados por el más grande y por lo general menos del vehículo ágil en el sitio. Camiones de transporte suelen ser el vehículo más pesado, más lento y más grande para atravesar los caminos en el sitio. El camión de acarreo radio de giro, la capacidad de frenado y el mero tamaño debe ser considerado en el diseño de cualquier camino permanente plazo. Caminos de acarreo permanentes están diseñados con estos factores limitantes en la mente, dejando un amplio margen de seguridad para el resto de equipos de minería.

2.1.15 Vehículos de carga pesada

GÜÉMEZ S.,C.R (2011), Define los tipos de vehículos como sigue:

Vehículo de carga pesada.- vehículo utilizado para la carga de bienes y productos, cuyo peso total es mayor o igual a 8 toneladas.

Vehículos multipropósito.- vehículos principalmente destinados al transporte de personas, que incluyen a los sedanes, coupe, convertibles, familiares y rurales.

AASHTO.- Asociación Americana de Autopistas Estatales y Oficiales del Transporte, por sus siglas en inglés.

Tándem.- un eje compuesto de 2 ejes de forma tal que para efectos de análisis se les considera como uno solo.

Trídem.- un eje compuesto de 3 ejes de forma tal que para efectos de análisis se les considera como uno solo.

C2.- vehículo de carga unitario (no posee articulaciones) de 2 ejes.

C3.- vehículo de carga unitario de 3 ejes.

C4.- vehículo de carga unitario de 4 ejes.

T3S2.- vehículo de carga articulado que consta de un tractocamión de 3 ejes con un semirremolque de 2 ejes.

T3S3.- vehículo de carga articulado que consta de un tractocamión de 3 ejes con un semirremolque de 3 ejes.

IMAGEN 1

TRANSPORTE DE ESTRUCTURAS



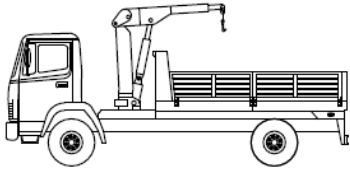
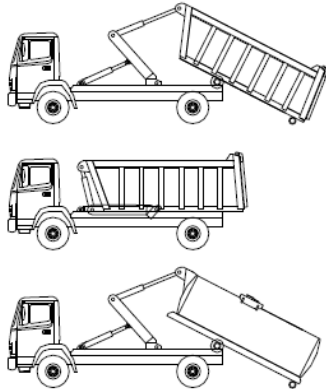
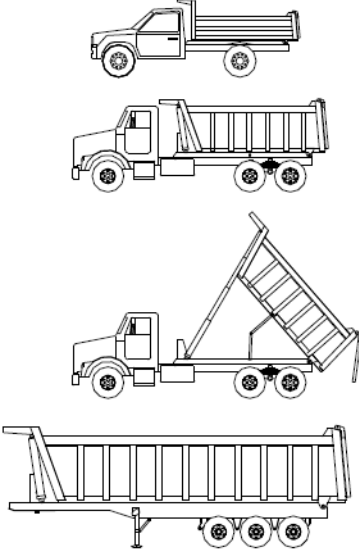
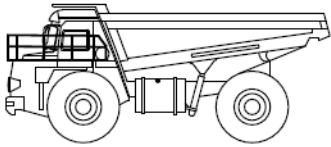
IMAGEN 2

TRANSPORTE DE TANQUES



MTC (2008), en la directiva 002-2006-MTC/15 “Clasificación vehicular y estandarización de características registrables vehiculares”, contempla los siguientes tipos de carrocería para vehículos de carga pesada.

CUADRO 1
CLASIFICACIÓN DE VEHÍCULOS DE CARGA PESADA

CCG	CAMIÓN GRÚA	N2 N3	Vehículo que cuenta con un dispositivo hidráulico que es utilizado para cargar, descargar ó posicionar la carga en el mismo vehículo.	
INT	INTERCAMBIADOR	N2 N3	Vehículo que cuenta con un dispositivo mecánico o hidráulico que permite cargar o descargar diferentes tipos de carrocerías, tales como tolvas o cisternas, siendo las mismas intercambiables entre sí.	
VOL	VOLQUETE	N1 N2 N3 O3 O4	Vehículo con carrocería abierta (tolva de volteo) para transporte de mercancías a granel, materiales de construcción, minerales ó desechos. Tiene sistema de volteo para la descarga.	
VFC	VOLQUETE FUERA DE CARRETERA	N3	Volquete de más de cincuenta (50) toneladas de peso bruto vehicular, de gran capacidad y robustez para soportar el trabajo en condiciones extremas transportando materiales ó minerales en minas ó grandes obras. No circulan dentro del SNTT y no son registrables.	

CBA	CAMA BAJA	O3 O4	Vehículo diseñado para el transporte de mercancías pesadas e indivisibles. Puede tener mayor cantidad de ejes o neumáticos en cada eje que los semiremolques convencionales. La altura máxima de la plataforma de carga es de 1.1 m.	
DOL	DOLLY	O2 O3 O4	Vehículo no motorizado que porta sobre su estructura una quinta rueda y es empleado para el acople de un semiremolque, soportando parte del peso del mismo.	

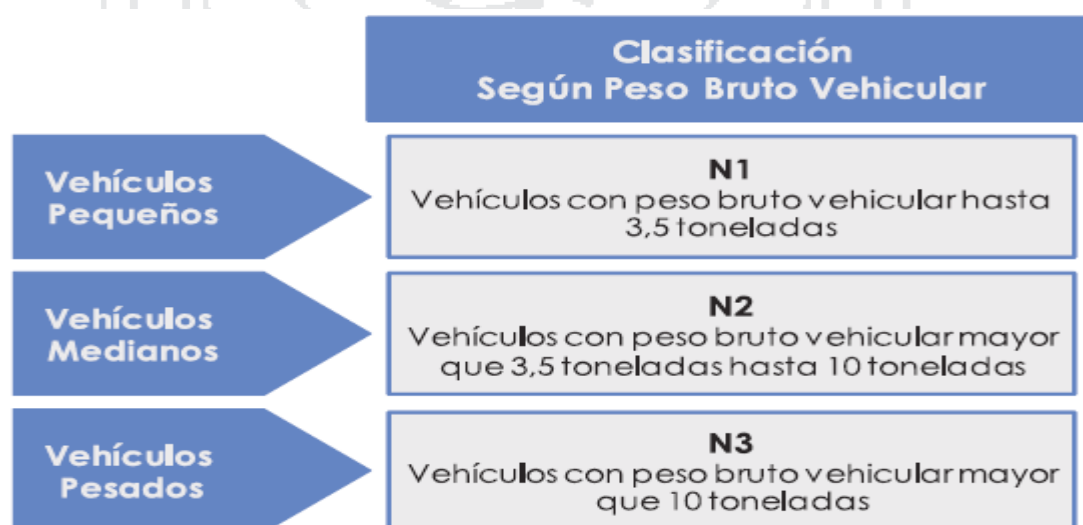
IMAGEN 3

VEHÍCULO MOTORIZADO O UNIDAD TRACTORA



CUADRO 2

CLASIFICACIÓN, SEGÚN SU PESO BRUTO VEHICULAR



2.1.16 Caminos mineros

Una mina es un sistema integrado de procesos, donde el transporte juega un rol fundamental al ser el recurso más costoso de la mina, teniendo así gran influencia en el costo operativo. Por otra parte, tiene gran implicancia en términos de seguridad e higiene, es por esto la importancia que tiene un buen diseño y mantención de las pistas mineras. Los caminos mineros forman parte de la operación diaria y rutinaria de cualquier mina, siendo un componente esencial del punto de vista de la eficiencia de la operación.

Es normal que la calidad de las pistas sea vea impactada por muchos elementos, y cada problema debe resolverse de manera particular, que dista un poco de la solución aplicada en la ingeniería de carreteras. Por un lado los vehículos y las solicitaciones transmitidas son muy distintos y por otra parte, las pistas mineras de operación son generalmente temporales.

Cada vez se toma más conciencia de la repercusión que tiene el estado de las pistas sobre el ciclo de transporte, en cuanto a: las velocidades de los equipos, los tiempos de interrupción por diseño o construcción inadecuados, desgaste y daños de neumáticos, el consumo de combustible, condiciones climáticas adversas y sobretodo en términos de la seguridad.

2.1.17 Evaluación del estado y recepción de los caminos

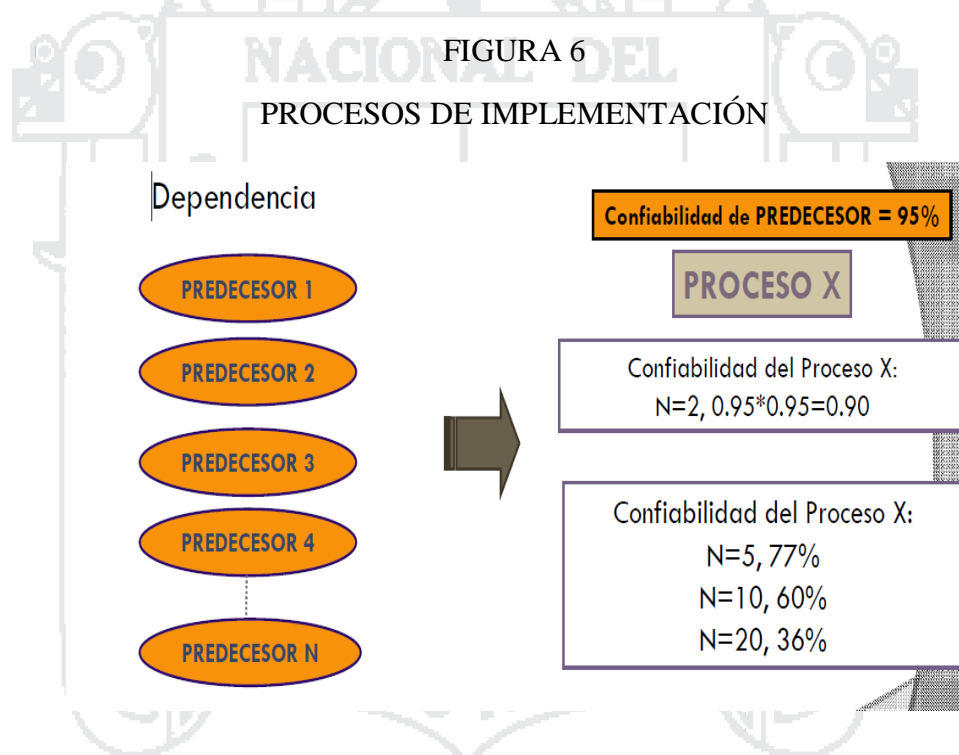
Existen múltiples formas de evaluar una pista de circulación, dependiendo de las características de cada mina, especialmente en lo que a condiciones climáticas se refiere, se ha propuesto la forma de evaluación descrita en el punto de categorización de caminos.

Una vez finalizada la reparación, el mantenimiento o conservación del camino se debe chequear el ancho de éste, la pendiente, el estado de la carpeta, de los peraltes, de los pretilos y las señales de tránsito.

2.1.18 Teoría del control de variabilidad en proyectos de construcción

¿QUÉ ES LA VARIABILIDAD?

La dependencia de los procesos involucrados en la producción, arrastran la variabilidad y la acumulan en los procesos finales.



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

Es por ello que debe existir algún sistema de control de la misma.

Siendo las principales causas de variabilidad.

- Ubicación en lugares remotos, riesgos climáticos, factores sociales, etc.
- Dependencia del Cliente por Ingeniería o Materiales.

- Velocidad Requerida De los proyectos.

VARIABILIDAD

La Variabilidad es la ocurrencia de eventos distintos a los previstos por efectos internos o externos al Sistema. Es una realidad de la vida y está presente en todos los Proyectos y se incrementa con la complejidad y velocidad de los mismos.

Es decir, sabemos que pueden ocurrir pero no sabemos con exactitud cuándo. No tomar en cuenta la Variabilidad hace que se incremente significativamente y su impacto sea mayor en el sistema de producción.

IMPORTANCIA DE LA VARIABILIDAD

La Variabilidad constituye la principal fuente de desperdicio en la construcción.
Sobrecosto de la Variabilidad.

Pobre productividad debido a:

- Baja utilización de recursos.
- Baja producción.
- Trabajar en condiciones no óptimas.

Costo controlado de la Variabilidad.

En base a uso de Buffers.

MANEJO DE LA VARIABILIDAD

Las estrategias deben estar orientadas a Manejar la Variabilidad.

Hay dos cosas que podemos hacer:

- Reducirla.
- Minimizar su impacto.

FIGURA 7

ESTRATEGIAS DE MANEJO DE VARIABILIDAD

***ESTRATEGIAS PARA EL MANEJO DE LA VARIABILIDAD***

Las principales herramientas para el manejo de variabilidad:

- Uso de Buffers.
- Reducción del Tamaño de Lote.
- Entender mejor los procesos.
- Reducir las dependencias entre procesos y actividades.
- Reorganización de procesos.
- Uso de procedimientos constructivos que reduzca la incertidumbre.

2.1.19 Topografía de construcción en carreteras (replanteo del proyecto)

INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION (13), señala que una vez que se tiene el estudio o proyecto definitivo de la carretera, la implementación o ejecución del proyecto por parte de la entidad ejecutora puede ser por diferentes modalidades como son:

- Por administración directa.
- Por encargo.
- Por convenio.
- Por contrato.
- Otros.

De acuerdo a la magnitud del proyecto, disponibilidad de recursos, época del año y otros, la ejecución puede ser por etapas para lo cual se necesitará el expediente técnico respectivo.

Una vez que se cuenta con el estudio definitivo o expediente técnico y juego de planos detallados respectivo se necesita de la TOPOGRAFIA de CONSTRUCCION o DE LOCALIZACION mediante el cual se ubican en el terreno las diferentes partes de la obra, en las posiciones relativas señaladas en el proyecto. El Ingeniero Topógrafo proporciona todas las marcas de referencia necesarias en sus aspectos funcionales y ornamentales.

Los trabajos topográficos para el inicio de cada parte de la nueva obra que será construida, consistirán en las marcas de sus posiciones horizontales y sus elevaciones, justo antes del momento que requiere el constructor generalmente diario y consiste:

- Control planimétrico puntos permanentes y eventuales.
- Control altimétrico - Chequeo de cotas (BMs del estudio).
- Replanteo planimétrico de ejes, alineamientos, curvas (estacado y tizado).
 - Estacado del eje de carretera.
 - Estacado de taludes de corte y relleno.
 - Estacas de referencia.
- Replanteo altimétrico.
 - Colocado de “plantillas” con nivel o niveletas en T.
 - Estacas de chaflan.
- Estacas para la construcción de Obras preliminares, obras complementarias, obras adicionales, de tierra, cimentaciones, muros, huecos de paso, estructuras, cubiertas, pisos y forjados, rampas y escaleras.
- Ejecución y elaboración de planillas de metrados.
- Elaboración de planos de obra, obras adicionales modificaciones topográficas.
 - Construcción.

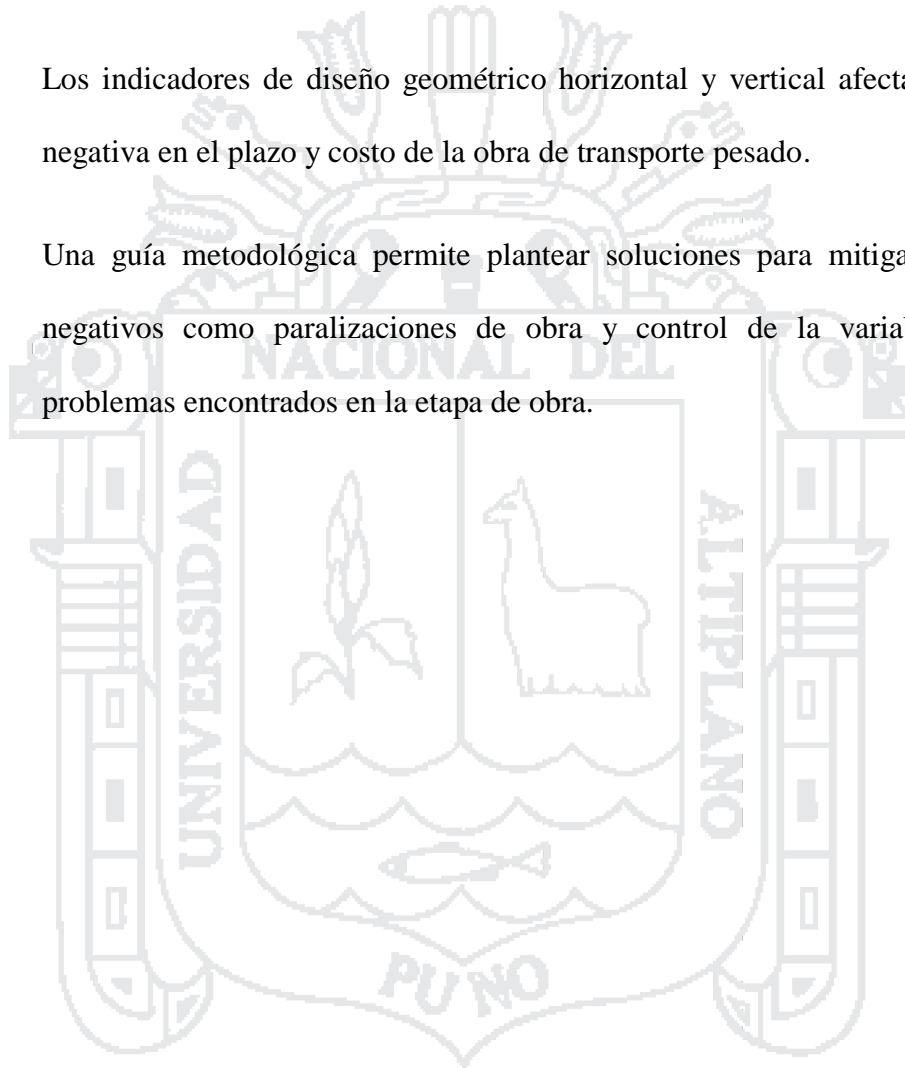
2.2 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

2.2.1 Hipótesis general

Los factores de control según las normas peruanas en el diseño del camino de carga pesada en el proyecto minero las bambas-paquete 03 determinan el diseño del camino.

2.2.2 Hipótesis específicas

- Existen normas específicas de diseño geométrico horizontal y vertical para la optimización de caminos de carga pesada en el tramo de progresivas desde la 91+000 al 161+400.
- Los indicadores de diseño geométrico horizontal y vertical afectan de manera negativa en el plazo y costo de la obra de transporte pesado.
- Una guía metodológica permite plantear soluciones para mitigar los efectos negativos como paralizaciones de obra y control de la variabilidad a los problemas encontrados en la etapa de obra.



CAPÍTULO III

MÉTODO DE INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación corresponde al método de investigación descriptivo-exploratorio, por ello se puede prescindir de hipótesis, sin embargo de acuerdo al protocolo de investigación las variables en estudio inicialmente fueron: Variables Independientes: parámetros de diseño para vehículos de carga pesada, topografía del lugar en estudio, estudios geotécnicos entre otros, y la Variable Dependiente: diseño geométrico planimétrico y altimétrico para caminos de carga pesada, con lo cual se determinaron los costos y presupuestos.

El trabajo se realizó en dos fases, una de comprobación de campo con observación directa y recopilación de información para: La propuesta de diseño geométrico, y análisis de los eventos de variabilidad, y otra de gabinete dedicada a la tabulación, procesamiento de información de campo, diseño geométrico de carretera y propuesta de valor.

Por otro lado el alcance de los objetivos de la investigación se limita estrictamente a dar solución al diseño geométrico para vehículos de carga pesada, y al diagnóstico de los eventos de variabilidad ocurridos en la construcción del Heavy haul road, o Camino carga pesada – Paquete 03, en el periodo de Enero 2012 hasta diciembre

de 2013, dejando a otras evaluaciones los problemas de maniobrabilidad, distancia de frenado, tipos de transmisión, tipos de combustible, colores, sistemas de señalización, entre otras.

3.1 FASE 1: RECOLECCIÓN DE INFORMACIÓN Y DISEÑO GEOMÉTRICO

En principio para el diseño geométrico del proyecto, se ha seguido las recomendaciones estipuladas en el Manual de Carreteras Diseño Geométrico DG-2014 del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que actualiza el Manual de Diseño Geométrico de Carreteras del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, que se encuentra vigente y aprobado por Resolución Ministerial N° 303-2008-MTC/02 de fecha 04 de Abril del 2008, el mismo que presenta las técnicas de diseño Vial a través de normalización de las características geométricas de las diferentes vías que se construyen a nivel nacional, recomendando una serie de valores y/o controles cuyo uso tiene por objeto producir los servicios de la vías que representan la mejor practica acorde a la técnica contemporánea.

Fue necesario recolectar la mayor cantidad de información referente al diseño de carreteras para carga pesada, con sus componentes asociados, paralelo a lo anterior, se indagaron antecedentes históricos referentes a los avances y desarrollos para diseño de caminos de carga pesada.

Se consultó información acerca de las normas peruanas para el diseño de carreteras como fueron:

- Manual de diseño geométrico de carreteras, modificado Abril 2008. Volumen I.
- Guía de diseño geométrico, modificado Abril 2008. Volumen II.

- Normas para la presentación del informe final de los proyecto, modificado Abril 2008. Volumen III.
- Manual para el diseño de carreteras pavimentadas de bajo volumen de tránsito, Abril 2008.
- Manual para el diseño de carreteras no pavimentadas de bajo volumen de tránsito, Abril 2008.

3.2 FASE 2: DISEÑO Y PROPUESTA DE VALOR

En el diseño geométrico se ha utilizado una velocidad de diseño racional de acuerdo a la manifestación topográfica y orográfica del terreno, para lograr el mejor grado de seguridad, comodidad, flujo y eficiencia deseada.

Por tratarse de una investigación descriptiva, se compara los parámetros de diseño para vehículos de carga pesada. Para este caso se utilizó el MANUAL PARA EL DISEÑO DE CARRETERAS NO PAVIMENTADAS DE BAJO VOLUMEN DE TRÁNSITO, 2014, que actualiza el manual de abril 2008.

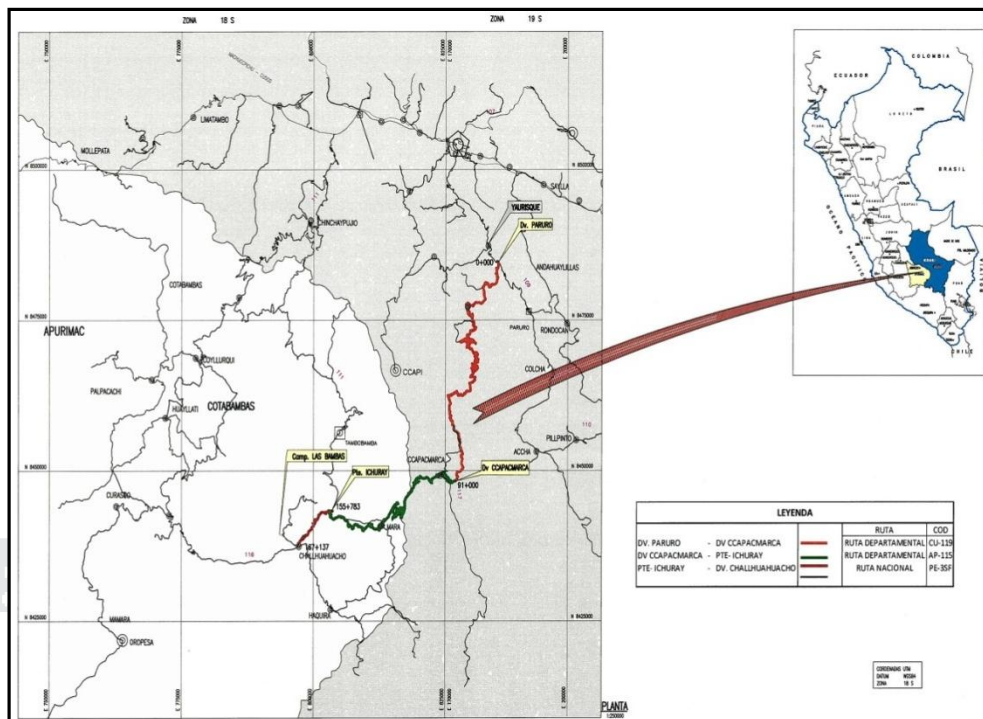
CAPÍTULO IV

CARACTERIZACIÓN DEL ÁREA DE INVESTIGACIÓN

El proyecto minero “Las Bambas” es un yacimiento cuprífero situado entre las provincias de Cotabambas y Grau, Región Apurímac, a 175 Km al suroeste de la ciudad de Cusco y 300 km. al noroeste de Arequipa, a más de 4.000 m.s.n.m.

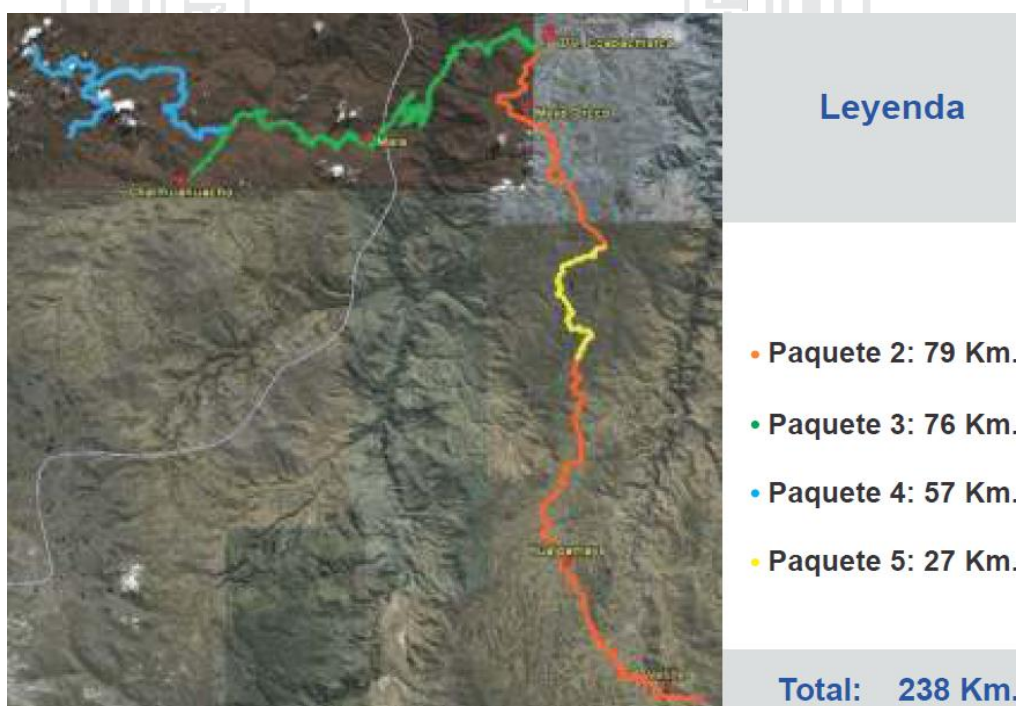
El tramo en estudio forma parte de la Ruta 5: Dv. Paruro – Puente Ichuray, que inicia en el Dv. Ccapacmarca (Km.91+000) culminando en el Dv. Challhuahuacho (Km.161+400), el mismo que comprende una variante denominada “Evitamiento Ccapacmarca” que circunda el poblado del mismo nombre con una longitud de 3.47 Km. desde el Km.98+843.56 al Km.101+300.00 de la Ruta principal.

IMAGEN 4
PLANO DE UBICACIÓN DE TRAMO PAQUETE 03



Fuente: PROYECTO MINERO LAS BAMBAS PAQUETE 03.

IMAGEN 5
IMAGEN SATÉLITE DE UBICACIÓN



Fuente: PROYECTO MINERO LAS BAMBAS PAQUETE 03.

El Proyecto minero Las Bambas consiste en la construcción y operación de todas las instalaciones necesarias para procesar el mineral proveniente de tres yacimientos de mineral de cobre denominados Ferrobamba, Chalcobamba y Sulfobamba. La explotación comprende el procesamiento de un total de 900 millones de toneladas de mineral a una tasa de 140 000 toneladas de mineral por día, durante un mínimo de 18 años de vida útil. No existen instalaciones industriales en las cercanías del sitio que puedan ser usadas para apoyar el desarrollo u operación del Proyecto Minero. El Proyecto minero incluye todas las instalaciones e infraestructuras requeridas para llevar a cabo las operaciones de extracción y procesamiento de minerales.

Dentro del plan de desarrollo de la infraestructura minera, Las Bambas determinó que la movilización de recursos desde y hacia la mina durante las operaciones debería realizarse a través de la ruta “Las Bambas – Antapaccay” y “Las Bambas-Cusco”, esta última que para efectos del proyecto minero, se utilizará como vía principal para el tráfico de vehículos que permitan el transporte de insumos y personal durante las operaciones del mencionado proyecto minero.

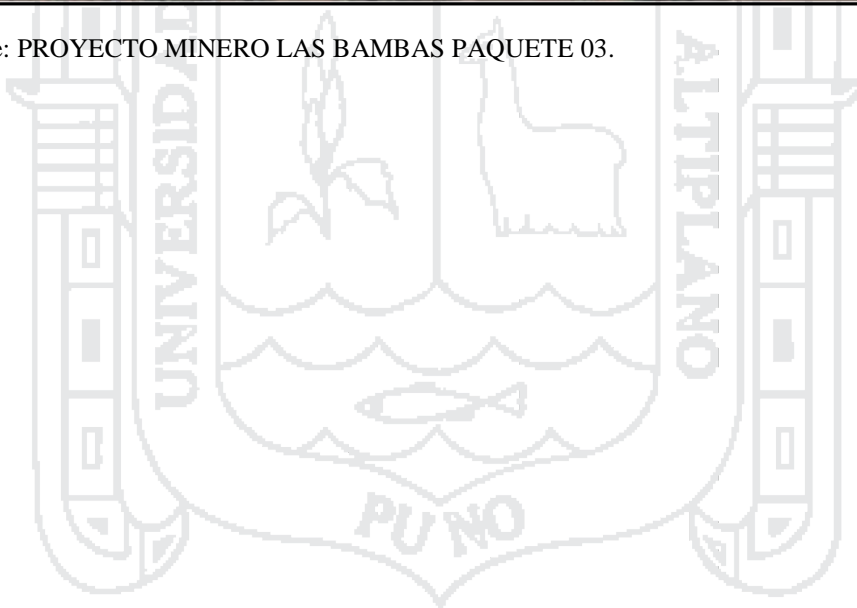
Para tal fin, encargó a la empresa CESEL S.A., el desarrollo de la Ingeniería de Detalles para el Camino de Acceso “Las Bambas – Antapaccay” dentro del cual está comprendida la elaboración del Expediente Técnico de la “Variante Ccapacmarca”, la cual permitirá que no se circule a través de la zona urbana del Distrito de Ccapacmarca; y a la empresa GMI S.A. Ingenieros Consultores desarrollar la ingeniería de detalles para el Mejoramiento del Camino de Acceso “Cusco - Las Bambas”, dentro del cual está comprendido la elaboración del Expediente Técnico del tramo entre el Dv. Ccapacmarca al Puente Ichuray – Dv. Challhuahuacho. Tramo sobre el cual se desarrolló la presente investigación.

IMAGEN 6

PLANO DE UBICACIÓN VARIANTE DE CCAPACMARCA



Fuente: PROYECTO MINERO LAS BAMBAS PAQUETE 03.



CAPÍTULO V

EXPOSICIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

La documentación normativa general al respecto recopilada, que constituye como guía considerada en la presente investigación es la siguiente:

- Normas Peruanas para el Diseño de Carreteras (1968-1970).
- Normas Técnicas para el Diseño de Caminos Vecinales.
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG 2001 R.M. N° 305-2008-MTC/02 04/04/2008.
- Volumen I Manual de diseño geométrico.
- Volumen II Guía de diseño geométrico.
- Volumen III Normas para la presentación del informe final de los proyectos.
- Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de bajo Volumen de Tránsito R.M. N° 305-2008-MTC/02 04/04/2008.

- Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de bajo Volumen de Tránsito
R.M. N° 305-2008-MTC/02 04/04/2008.
- Manual de Carreteras Diseño Geométrico (DG-2013).
- Manual de Carreteras Diseño Geométrico (DG-2014).
- Informes técnicos y recomendaciones de empresas Minero-constructoras:
 - ✓ Golder Associates.
 - ✓ Stracon GyM.
 - ✓ PPI Ingeniería y Construcción.

Complementariamente el manual ASSHTO “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets GDHS” 2004, rige en todo aquello aplicable que no es considerado en el Manual de Diseño geométrico para carreteras DG-2001.

Las "Normas Peruanas para el Diseño de Carreteras" elaboradas desde 1968 por la Dirección de Infraestructura Vial del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, fueron adoptadas de las investigaciones realizadas en 1965 por la Junta de Investigaciones Viales de los Estados Unidos, éstas normas se basan en el tráfico y en las condiciones viales de los Estados Unidos, este sistema resultó incompatible con el terreno accidentado y los vehículos pesados (camiones) que predominan en sierra y selva del Perú.

El actual Ministerio de Transportes Vivienda y Construcción ha elaborado el Manual de Diseño de Caminos Pavimentados de Bajo Volumen de Tránsito; definiendo que estos caminos son aquellos que tienen demandas proyectadas hasta 350 vehículos/día que corresponderán al Sistema Nacional de Carreteras. Este Manual es de

aplicación obligatoria por las autoridades competentes, según corresponda, en todo el territorio nacional para los proyectos de vialidad de uso público. También, por razones de seguridad vial, todos los proyectos viales de carácter privado deberán en lo aplicable ceñirse como mínimo a la normativa.

De acuerdo a la revisión bibliográfica, antecedentes, proyectos y otros, en el país no existe una guía específica para el diseño. Hay algunos lineamientos de carácter general, que se debe tener en cuenta por ejemplo las normativas nacionales como el Reglamento de Seguridad y Salud Ocupacional Minera, el D.S. N°055 – 2010, artículo 228° y el D.S. N° 024-2016-EM, artículo 262, que hacen referencia a los estándares de operaciones mineras para operaciones a cielo abierto.

Existen manuales técnicos y guías internacionales como el Guidelines for Mine Haul Road Design (D. Tannant / B. Regensburg) y las experiencias propias de las empresas, que rigen y establecen las pautas y criterios vinculados a los catálogos de los equipos mineros, esto ayuda en la resolución de problemas de diseño geométrico y operacional y funcional”.

De acuerdo a las experiencias en los caminos mineros o haul road las secciones típicas consideran dos vías por aspectos operativos y de seguridad, salvo que las condiciones geométricas del terreno la limiten en algunos tramos a un solo carril en cuyo caso debe considerarse vías de alivio o cruceros. “El ancho operativo de la vía depende del tamaño de los camiones y del número de carriles considerados y del alineamiento, es decir si son tramos rectos o curvas.

5.1 CONSIDERACIONES PARA DISEÑO EN HAUL ROAD

- La capa de rodadura de los caminos mineros **son afirmados y no asfaltados** debido a que estos van variando de acuerdo a la dinámica de la operación y explotación el tajo.
- Al ser estas vías parte de la operación, consideran una capa de rodadura afirmadas, justamente por ser dinámicas, pues van cambiando cada 4 a 5 meses; por lo tanto **no tiene sentido** hacer una inversión muy alta como la de colocar una **carpeta asfáltica**.
- Para estas adecuaciones, no se interrumpe las operaciones mineras, debido a que está planificada desde el inicio. En este caso cuando se habla de diseño de este tipo de caminos estos pueden ser de **largo y mediano plazo**. Los primeros por ejemplo son los que no intervienen en el área de influencia de la operación, mientras que los segundos están constantemente cambiando. Es allí donde debemos se debe hacer revisiones de la etapa de diseño en lo referido especialmente a la geometría de las vías como las pendientes y secciones.
- Experiencias de empresas indican que efectivamente estos caminos van **entrando y saliendo de operación** en algunos centros mineros donde se tienen varios yacimientos. “Esto pasa en Yanacocha, por ejemplo, que se ha ido expandiendo con el tiempo, por ende algunos caminos se van cerrando y otros se van construyendo.
- Al tener una buena planificación, los haul road se van desarrollando secuencialmente y van entrando en operación”.

5.2 PENDIENTES Y CURVAS PELIGROSAS

- Dentro de los caminos mineros se debe tener especial cuidado en el tema de las pendientes y las curvas. En el primer caso el camino tiene una limitante de pendiente, el cual debería ser máximo de 10% de pendiente que permite tener un óptimo desarrollo operacional. Si se sobrepasa este porcentaje, el camión (con carga) realizará un sobreesfuerzo para continuar su trayecto, que conlleva a una reducción en el rendimiento de la operación minera.
- En ese aspecto, lo que se aconseja es que estos caminos no se diseñen con una pendiente mayor al 10%, aunque lo ideal sería una pendiente de 8 %. Sin embargo debido a la topografía del lugar podrían diseñarse accesos con una pendiente mayor, pero se rompería la barrera de la seguridad. Ejemplo el riesgo que significaría el que un camión (cargado) con **650 tn** de peso pierda el control en su trayecto de bajada.
- Aunque en algunos proyectos mineros, donde se tienen pendientes altas, se diseña a un lado de la vía una rampa con aproximadamente 20% de inclinación, hacia donde el conductor puede virar (en caso pierda el control del equipo pesado) para detener el vehículo.

5.3 CURVAS

- En lo que respecta al diseño de las curvas, se debe hacer un peralte adecuado debido a que el vehículo cuando entra a un giro, lo que lo mantiene adherido a la vía, además de su peso y la fricción de los neumáticos, es la fuerza centrípeta. “Cuando se ingresa a una curva tienes una fuerza centrífuga, la cual es contrarrestada por la fuerza centrípeta. El peralte de la vía debe tener un 4 % de

inclinación aproximadamente para que se produzca la fuerza centrípeta que se necesita”.

- En cuanto al diseño de las curvas, dijo, se debe tener en cuenta, la velocidad, los radios de giro y las fuerzas laterales que ejercen los neumáticos, aspectos claves en la vida útil de los equipo.
- Efectivamente al no contemplarse la fuerza lateral en una curvatura hace que las llantas se desgasten rápidamente. Al no considerarse los peraltes en el camino, se ocasionará un desgaste, acumulación de agua superficial durante las precipitaciones elevando los riesgos por accidentes y los costos operacionales. Cabe indicar que para esto es necesario tener un buen diseño geométrico que permita adecuar curvas apropiadas en el trazo.

5.4 MANTENIMIENTO

- El mantenimiento de vías debe ser permanente. Para ello se estable un programa específico para cada una de ellas, en función a la frecuencia de uso, condiciones climáticas, inspecciones rutinarias y optimización de rutas de acarreo.
- Por ejemplo en los proyectos como La Arena, Shahuindo, La Zanja y Constanza, ubicados en la sierra del Perú, se ven impactados en la temporada de lluvias por 4 a 5 meses aproximadamente. Por tal motivo, se emplea un sistema de drenaje de vías, de manera que las filtraciones discurran por las cunetas y sangrías, evitando el empozamiento y potencial deslizamiento de taludes.
- Al respecto la empresa Golder Associates, no construye los caminos, pero sí los diseña y brinda el servicio de supervisión de construcción y se enfocan principalmente en la gestión de calidad de la construcción.

- Golder Associates verifica que los diseños se cumplan, cotejando un cumplimiento estricto de los materiales especificados, al igual que el seguimiento de las buenas practicas durante el proceso constructivo. Este es un aspecto en el que la Supervisión cumple un rol importante, pues representa en la obra a los intereses del cliente y debe demandar al contratista su cumplimiento estricto, porque la inversión que el cliente realiza, tiene que verla reflejada en su flujo, y el retorno de capital dependerá qué tan rápido puede entrar en operación una mina y el gasto de operación debe ser el mínimo posible, y eso se alcanza con diseños apropiados, control de calidad durante la construcción y un plan de operaciones bien planificado”.

5.5 PROBLEMAS

- PPI Ingeniería y Construcción, indica que lo más complicado en la ejecución de estos proyectos es la topografía de la zona porque uno puede encontrar zonas muy agrestes, en donde puede haber escasez de materiales idóneos para hacer la base y sub base del camino mismo o para la capa de rodadura.
- Asimismo explica que antes de iniciar el proyecto se deben tomar en cuenta los resultados del estudio de suelos, la topografía, la hidrología, entre otros. Dependiendo del tipo de suelo uno puede plantear alternativas desde el punto de vista costo beneficio. A veces es preferible hacer distancias muy largas buscando el suelo más adecuado, que cortas en suelos malos, pues estos requerirán un mayor refuerzo.
- Igualmente hay que tomar en cuenta el lugar donde se ubican las canteras, pues si éstas están muy lejos, encarece el proyecto. se tiene que ver si las canteras de la zona tendrán la capacidad para suministrar ese material competente. En caso

no se tuviera se debe buscar las más próximas. Lo recomendable es que el diseño se ajuste a la cantera y no al revés, por eso es importante un buen estudio de canteras antes de entrar a la ingeniería de detalle del camino.

- Existen diseños geométricos y estructurales que se hacen sin tomar en cuenta lo que se tiene alrededor, por eso es recomendable hacer un diseño conceptual y generar un perfil para determinar la geometría y poder estimar los volúmenes de tierra que se van a mover y cuánto de relleno se va a requerir.
- Al respecto Stracon GyM indica que el material utilizado para la conformación de las vías debe ser de canteras próximas o del mismo material de mina (estéril) que pasa por una previa evaluación y recomendación de las áreas geotecnia, medio ambiente y de control de calidad.
- Asimismo refirió que el método constructivo es muy simple, pues con el soporte de la maquinaria se procede con el corte y relleno del material según la demarcación topográfica hasta tener las vías de acuerdo a diseño. “Una de las consideraciones muy importantes que Stracon GyM aplica en términos de seguridad, es tener los taludes correctamente perfilados y con los ángulos de acuerdo a diseño. Del mismo modo es necesaria la implementación de canales de coronación que eviten la erosión o inestabilidad de taludes”, dijo, no sin antes mencionar que la empresa es especialista en construcción y operación de mina a tajo abierto y subterráneo de la región.

5.6 PARAMETROS BASICOS Y CRITERIOS GEOMETRICOS MINIMOS DE DISEÑO PARA CAMINO DE CARGA PESADA PROYECTO MINERO LAS BAMBAS-PAQUETE 03

Los parámetros y elementos básicos de diseño se han tomado de acuerdo a diferentes factores funcionales, geométricos, de demanda y geográficos, que permiten definir claramente la categoría y jerarquización de una vía en el Perú, a fin de permitir el uso de características geométricas acordes con la importancia de la carretera en estudio.

5.6.1 Clasificación de la vía y dimensiones de vehículos de diseño

Según su función se ha decidido optar por tres (03) tramos:

1. Puente Ychuray-Desvío Challhuahuacho comprendido en el Sistema Nacional.
2. Desvío Ccapacmarca-Puente Ychuray comprendido en el sistema departamental de Apurímac.
3. Desvío Paruro –Desvío Ccapacmarca comprendido en el sistema departamental del Cusco.

De acuerdo al estudio de tránsito para el tramo de vía analizado, el mismo se ubica en una topografía ondulada a accidentada, con sinuosidades un poco marcadas y con presencia de algunas curvas de vuelta. El IMDA se encuentra entre 400 – 2000 veh./día, por tanto, según la clasificación de acuerdo a la demanda estaría comprendida en una carretera de 2da clase.

El tramo estudiado pocas deficiencias en características como la geometría, la superficie de rodadura, pendientes, drenaje y taludes de corte, gran parte cumple con las normas de diseño de acuerdo a la categoría que le corresponde.

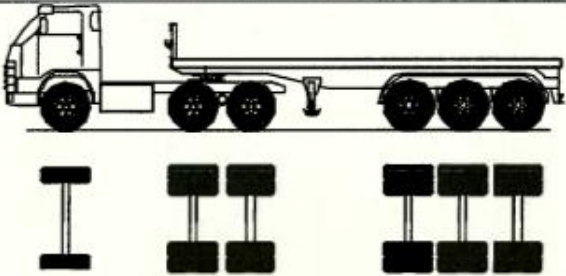
El ancho de vía varía entre 6.0 a 8.0 m. con una superficie de rodadura afirmada.

Los valores de diseño que se indican en el presente estudio son mínimos normales, es decir representan el límite inferior de tolerancia deseable en el diseño. Por tanto, ellos constituyen una norma mandataria, sin embargo, en caso específicos donde existe la necesidad de reducción de estos valores y previa justificación técnica económica debe contar con la autorización expresa de autoridad vial correspondiente a la carretera en estudio, así como de BECHTEL y XSTRATA.

Las dimensiones de los vehículos más grandes así como los pesos transportados mayores, se han obtenido de proyectos existentes de características similares:

- a) Dimensiones máximas vehículo:
 - Ancho: 6.0 m.
 - Largo: 22 m.
- b) Dimensiones equipo (o pieza de equipo) máximas a transportar
 - Largo: 18 m.
 - Ancho 8.6 m.
 - Alto: 5.5 m.
 - Peso: 176.068 Ton.

FIGURA 8
VEHÍCULO DE DISEÑO

CONFIGURACIÓN VEHICULAR	DESCRIPCIÓN GRÁFICA DEL VEHÍCULO	LONGITUD MÁXIMA
T3-S3		20.70 m

5.7 ELEMENTOS GEOMETRICOS DE DISEÑO OBTENIDOS

En base a las condicionantes se ha determinado los parámetros y elementos geométricos de diseño, considerados como referenciales, en todo caso se rigen los de mayor exigencia que se establezcan de la aplicación de los manuales de diseño indicados.

La velocidad de diseño estará determinada por el tipo de equipo de transporte, sus características particulares que determinan la velocidad máxima posible en cada instancia, bajando cargado, viajando cargado en plano o subiendo una rampa. Dicha velocidad, además del equipo está determinada también por la geometría y las consideraciones propias de seguridad asociadas al camino.

El trazado de cada camino obedece a la necesidad de transporte de los diferentes tipos de materiales, al origen y destino, a la geometría del rajo, a la topografía y a un sin número de variables que determinan dicho trazado, ya sea en plano o en altimetría. Dentro de las posibilidades se deben evitar el exceso de curvas y contra curvas y la sinuosidad en el trazado planimétrico; si esto no es posible en caminos existentes se debe suavizar dichos trazados con el fin de hacerlos lo menos perceptibles para el conductor y buscando el máximo de productividad.

CUADRO 3
PARÁMETROS Y ELEMENTOS GEOMÉTRICOS MÍNIMOS OBTENIDOS PARA
EL PASO DE CARGA SOBREDIMENSIONADA PAQUETE 03

DESCRIPCION	CRITERIO
Clase tráfico veh./día	400-2000 veh./día
Clase orográfica (según topografía y pend. Long.)	Variable entre 2,3 y 4
Vehículo de diseño	Ruta Antapacay-Las Bambas
Velocidad de diseño (Km/h)	Variable entre 25 y 40
Velocidad de diseño en curvas de volteo (Km/h)	Variable entre 15 y 20
Superficie de rodadura	Afirmado
Ancho de calzada (m)	8.00
Ancho de bermas (m)	1.0
Ancho de vía (pista + berma) zona de tangente mínimo (m)	7.0
Ancho de plataforma (Ancho de vía) + Ancho de barrido(R. interno + R. barrido) Z. de tangente (m)	11.0
Bombeo de calzada (%)	3.0
Ancho de banqueta de corte (m)	3.0
Cuneta triangular en corte profundidad y ancho (m)	0.20 - 0.5 y 0.5 - 1.0
Radio mínimo normal (m)	30
Radio mínimo interior en curvas de volteo (m)	Entre 12 y 16
Peralte máximo	8.0
Sobrecancho máx. normal según maniobra del TPH (m)	3.5
Sobrecancho máx. en curvas de volteo según maniobra del TPH (m)	4.5
Pendiente longitudinal máxima (%)	8.0
Pendiente mínima longitudinal máxima en corte (%)	$8.0 < i < 10.0$
Longitud mínima de curva vertical según maniobra del TPH (m) Zona urbana/rural	40/60
Talud de relleno	Cuadro acorde a DG-2001
Talud de corte	Cuadro acorde a DG-2002
Ancho de banqueta de corte (m)	3.00
Pendiente transversal de banqueta (%)	2
Superficie de rodadura	Afirmado
Vida útil del pavimento	5 años
Plazo mantenimiento periódico	3 años
Mantenimiento rutinario	Si
Normas aplicables a materiales y construcción	EG-2000 y EM 2000

**Cuadro Elementos de diseño de caminos de carga pesada en el proyecto minero
las Bambas**

Elemento de diseño	Tipo de camino		
	Manual de diseño geométrico	Recomendaciones Haul Road	Diferencias
- pendiente longitudinal máxima (%)	<10	<15	<15
- curvas horizontales (m)	>25	>10m	>10
- pendiente transversal (%)	3-5	3-5	-
- ancho plataforma (m)	8	6	4
- ancho calzada (m)	5	4	4
- carpeta estabilizada (cm)	25-40	20-30	-
- talud corte, tierra	1:2	1:2	1:2
- talud corte roca	1:4	1:4	1:4
- ancho cuneta (m)	1	0,5-1	-
- tipo alcantarilla menor	t.c.c.	madera	madera

5.8 CONSIDERACIONES COMPLEMENTARIAS DE DISEÑO CAMINOS DE CARGA PESADA

5.8.1 Paso vehicular

Se ha adoptado una de las consideraciones descritas en la norma DG-2001 según la cual en el caso de operación de un vehículo de dimensiones mayores al normal sobre una curva denominada de volteo, el resto de los vehículos menores que transitan en sentido contrario esperarán en tangente hasta que el vehículo haya completado la curva.

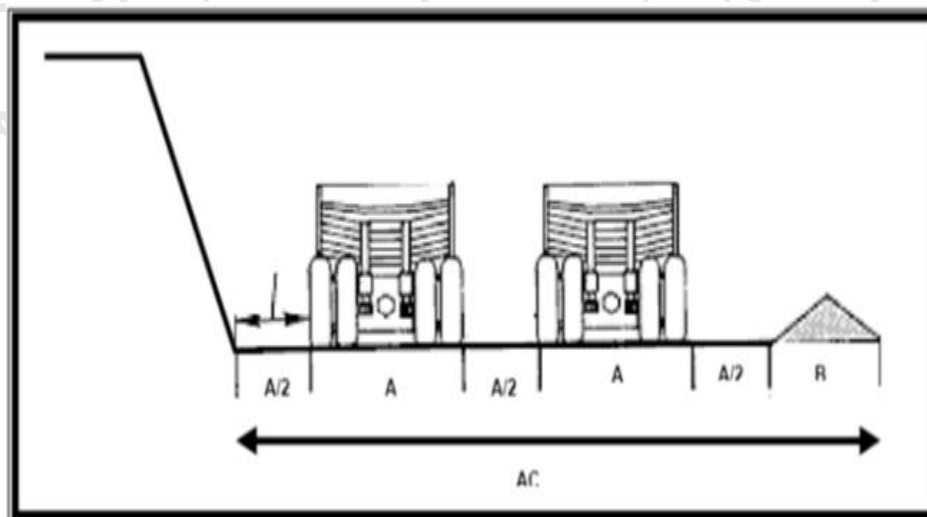
Por lo reducido del ancho final de la plataforma (zona intervenida) y por el ancho de la carga a transportar durante el paso de los vehículos de transporte de carga

extraordinaria, no existirá la opción de que dos vehículos puedan circular en sentido contrario y en simultáneo sobre una misma sección de vía.

5.8.2 Ancho de rampa y caminos interiores mina

En estas pistas se considera el criterio del espacio libre a cada lado del camión igual a la mitad del ancho del mismo. Y da como resultado que el ancho total del camino debe ser 3,5 veces el ancho del camión más el pretil, como se puede ver en las Figuras 9 y 10:

FIGURA 9
ANCHO EN RAMPAS Y CAMINOS INTERIORES MINA



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

La fórmula N°1 para el ancho en rampas y caminos será:

$$AC = 3.5 * A + B$$

Donde:

A = ancho del camión más grande en la operación

B = ancho de la berma con pretil de seguridad

Aplicando la fórmula en nuestra operación minera, se tiene que:

$$A = 9,15 \text{ metros (Camión 797)}$$

$$B = 5,7 \text{ metros}$$

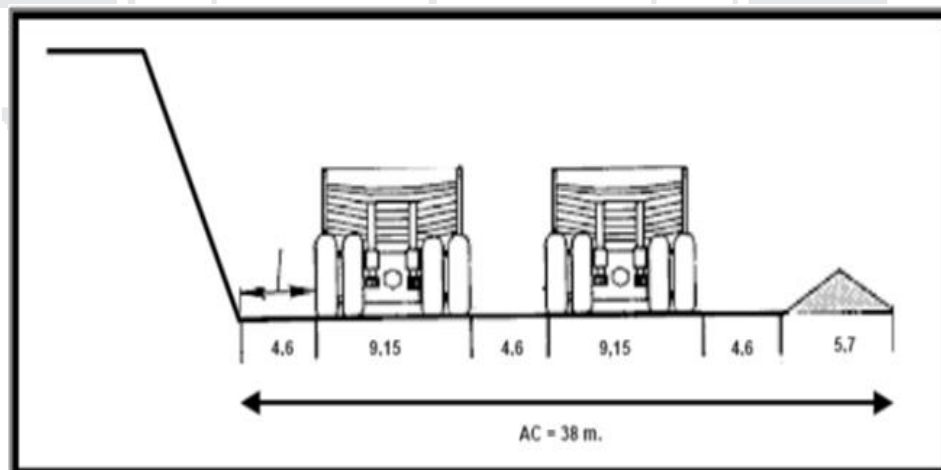
$$AC = 3,5 * A + B$$

$$AC = 3,5 * 9,15 + 5,7$$

$$AC = 37,7 \text{ m. } \approx 38 \text{ m.}$$

FIGURA 10

ANCHO EN RAMPAS Y CAMINOS INTERIORES MINA PARA CAMIONES

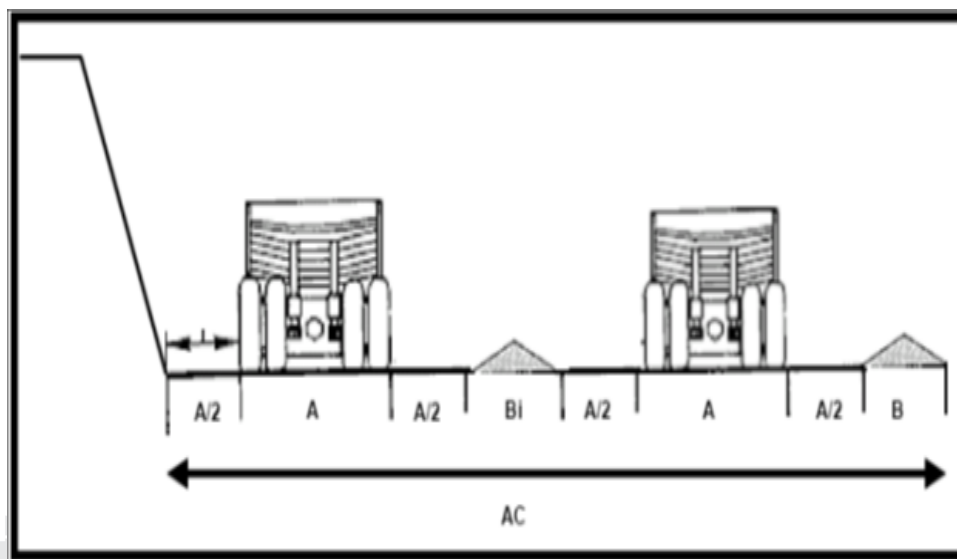


Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

5.8.3 En caminos principales

En estas rutas se considera el criterio del espacio libre a cada lado del camión igual a la mitad del ancho del mismo. Y da como resultado que el ancho total del camino debe ser 4 veces el ancho del camión más el pretil más la berma intermedia, como se puede ver en las Figuras N°11 y 12 y Fórmula N°2.

FIGURA 11
ANCHO EN CAMINOS PRINCIPALES



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

La fórmula N° 2 para el ancho en caminos principales será

$$AC = 4 * A + Bi + B$$

Donde:

A = ancho del camión más grande en la operación

B = ancho berma con pretil de seguridad

Bi = ancho berma intermedia

Aplicando la fórmula en nuestra operación minera, se tiene que:

A = 9,15 metros (Camión 797)

B = 5,7 metros Bi = 5,7 metros

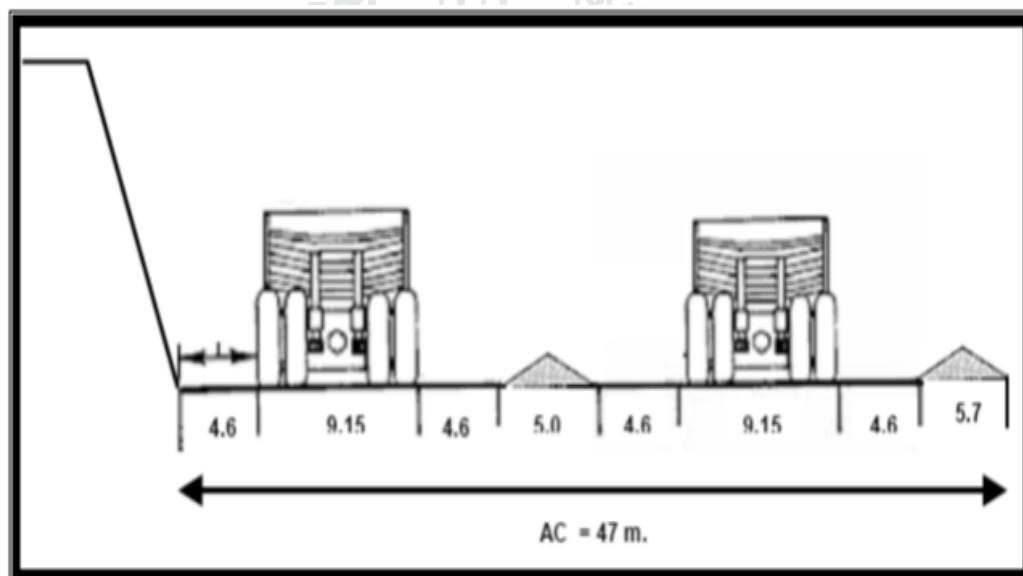
AC = 4 * A + Bi + B

$$AC = 4 * 9,15 + 5,0 + 5,7$$

$$AC = 47,3 \text{ m.} \approx 47 \text{ m.}$$

FIGURA 12

ANCHO EN CAMINOS PRINCIPALES - A



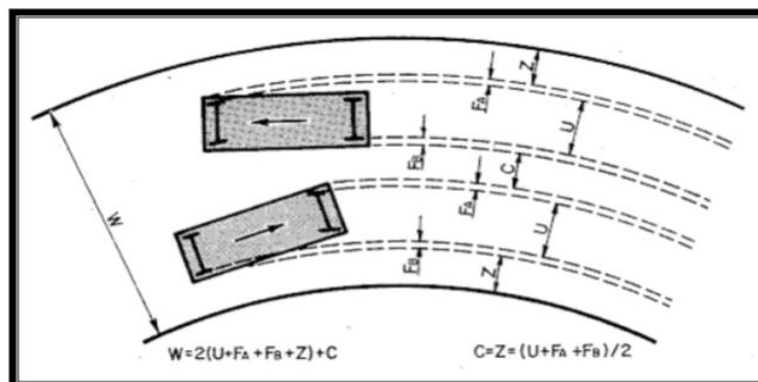
Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

5.8.4 En secciones con curvatura

El ancho de camino requerido en las curvas toma en cuenta el efecto saliente que ocurre en el equipo en su parte frontal y trasera cuando toma una curva. El procedimiento para determinar el ancho de camino en curvas que considera el efecto recién mencionado, el espacio libre lateral entre las pistas de transporte y el extra ancho que permite acomodarse a las condiciones difíciles en la conducción en las curvas se muestra en la Figura N°13.

FIGURA 13

ANCHO DE CAMINO EN CURVAS HORIZONTALES



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

Donde:

U = ancho de la pista del equipo (desde centro a centro de neumáticos)

F_A = ancho frontal saliente del equipo

F_B = ancho trasero saliente del equipo

C = espacio libre lateral total

Z = ancho extra asignado debido a las dificultades de conducción en curvas

Puesto que el ancho de camino en curvas varía para los equipos según las distintas categorías de peso y diferentes radios de curvatura, se recomiendan los anchos dados en la Tabla N°1. Esta tabla debería ser usada como una guía para establecer el mínimo ancho de camino a lo largo de curvas horizontales.

Como los camiones de extracción que operan se encuentran en un rango de peso >180.000 Kg. pertenecen a la categoría de equipo N°4 (Ver Tabla N° 01).

TABLA 1

CATEGORIZACIÓN DE EQUIPOS DE TRANSPORTE POR PESO BRUTO (KG)

Categoría equipo	Peso Bruto Equipo (Kg.)	Radio mínimo (m.)
1	< 45,000	5.8
2	45,000 a 90,000	7.3
3	> 90,000 a 180,000	9.4
4	> 180,000	11.9

Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

Por lo tanto, en la Tabla N° 02 se debe buscar el radio de giro de la curva en metros, luego buscar el ancho de camino para 1,2, 3 o 4 pistas y finalmente tomar el valor ubicado en la categoría de equipo N°4.

TABLA 2

DISEÑO DE ANCHO PARA VÍAS DE TRANSPORTE EN CURVA-CAMIONES SIMPLES

(R) Radio Curvatura en el borde interior (m.)	1 pista de transporte, Categoría del vehículo				2 pistas de transporte, Categoría del vehículo				3 pistas de transporte, Categoría del vehículo				4 pistas de transporte, Categoría del vehículo			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
7.6	8.2	10.4	13.4	20.7	14.6	18.3	23.2	36.3	20.7	28.2	33.2	51.8	27.1	33.8	43.3	67.4
15.2	7.6	9.4	12.5	19.2	13.4	16.5	21.9	33.5	19.2	23.5	31.4	48.2	25.0	30.5	40.8	62.5
30.5	7.3	8.8	11.9	18.0	12.8	15.5	21.0	31.4	18.3	22.3	30.2	44.8	23.8	29.0	39.0	58.5
45.7	7.3	8.8	11.9	17.7	12.5	15.2	20.7	30.8	18.0	21.9	29.6	44.2	23.5	28.7	38.4	57.3
61.0	7.0	8.8	11.6	17.4	12.5	15.2	20.4	30.8	18.0	21.6	29.3	43.9	23.2	28.3	38.1	57.0

Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

Como referencia los radios de giro mínimos para los camiones de extracción con que actualmente se opera son los que se muestran en la Tabla N°3.

TABLA 3

RADIOS DE GIRO MÍNIMOS PARA CAMIONES DE EXTRACCIÓN EN ESCONDIDA

Marca	Modelo	Radio Curvatura (m)
Caterpillar	797	16.0
Caterpillar	793	16.3
Komatsu	830E	14.2

Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

TABLA 4

CLASIFICACIÓN DE LA RED VIAL PERUANA Y SU RELACIÓN CON LA VELOCIDAD DE DISEÑO

CLASIFICACIÓN	SUPERIOR				PRIMERA CLASE				SEGUNDA CLASE				TERCERA CLASE			
TRAFICO VEH/DIA (1)	> 4000				4000 – 2001				2000-400				< 400			
CARACTERÍSTICAS	AP (2)		MC		DC				DC				DC			
OROGRAFÍA TIPO	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
VELOCIDAD DE DISEÑO:																
30 KPH																
40 KPH																
50 KPH																
80 KPH																

Fuente: BHP ENGINEERING. (1998).“*Mine Road Design Manual*”.

Una vez definidas las condiciones geométricas (geomorfología y pendiente), condiciones iniciales se realizaron las siguientes consideraciones, de acuerdo con los resultados obtenidos, la mayoría de los parámetros geométricos, salvo la pendiente, las curvas horizontales que afectan el comportamiento del vehículo, por lo tanto los valores geométricos que se definieron fueron:

5.8.5 Perfil longitudinal y pendientes

El perfil longitudinal del camino debe considerar en el trazado de la rasante una compensación entre el corte y el relleno a realizar para satisfacer las necesidades del diseño. A lo largo de una rasante se tienen diferentes valores para las pendientes (%), siendo el valor máximo permitido en un 10% para los caminos mineros y rampas principales; y para rampas auxiliares es de un 8% como máximo.

Un 8% o menos de pendiente es lo recomendable a utilizar cuando no causa un excesivo stripping o cuando el trazado del camino es demasiado complicado. Esta pendiente entrega mayor flexibilidad en la etapa de construcción del camino y es

adecuada en algunos sectores de la mina tales como la entrada de un banco, acercamientos a botaderos o donde por las características de la operación se estime pertinente.

5.8.6 Criterio para curvas horizontales y verticales

Los parámetros de cálculo involucrados en este ítem deben considerar el vehículo de menor dimensión (camionetas) en cuanto a distancia de visibilidad y la longitud mayor de distancia de frenado en los equipos mayores (camiones), luego la que sea mayor debe prevalecer para conservar las mejores condiciones de seguridad en el tráfico.

Para determinar la distancia de frenado se tienen pruebas que indican que para equipos con Peso Bruto entre 180.000 y 300.000 Kg que es nuestro caso con los camiones de extracción, la distancia de frenado considerando una velocidad inicial de 32 Km/h sería de 53 metros. También se puede recurrir a curvas que han investigado el comportamiento de este índice como los de la Figura N°14.

FIGURA 14

DISTANCIA DE FRENADO PARA EQUIPOS CON PESO BRUTO > 180.000 KG



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

5.8.7 Curvas verticales

Las curvas verticales son usadas para proveer una transición suave desde una pendiente a otra. La longitud de estas curvas debe ser adecuada para la confortable conducción y además entregar amplias distancias de visibilidad en el diseño. Generalmente la longitud de las curvas verticales es mayor que lo deseable y resulta en grandes distancias de visibilidad. Sin embargo, excesivas longitudes en ellas pueden resultar en largas secciones planas que impiden un buen drenaje y frecuentemente conducen a puntos blandos y baches. La longitud de las curvas verticales que entregarán adecuadas distancias de visibilidad son las que se describen en la Figura N°14.

FIGURA 15
LONGITUD DE CURVA VERTICAL

$L = 2S - \frac{200 (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$	Cuando S es mayor que L
$L = \frac{AS^2}{100 (\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$	Cuando S es menor que L

Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "*Mine Road Design Manual*".

Donde:

L = Longitud de la curva vertical (metros)

S = Distancia de frenado alcanzable del equipo (metros)

A = Diferencia algebraica entre las pendientes (%)

h1 = altura del ojo del conductor arriba del terreno (metros)

h2 = altura del objeto sobre la superficie del camino (metros)

Las Figuras N°11 y 12 muestran los mínimos largos de curvas verticales versus distancias de frenado para varias diferencias algebraicas de pendientes (%). Se debe considerar además otro dato que es la altura del ojo del conductor, que para los camiones 797 es de 6 metros y para los 793 es de 5 metros.

5.9 PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO EN LA OBRA HEAVY HAUL ROAD

Heavy Haul Road

Son caminos realizados para tránsito pesado, teniendo parámetros de diseño muy por encima de lo normalmente considerado.

Una carretera de alto pesaje es una vía de dominio y uso público, proyectada y construida fundamentalmente para la circulación de vehículos de carga pesada. Las carreteras se distinguen de un simple camino porque están especialmente concebidas para la circulación de vehículos de transporte.

Actividades a desarrollar

Para la elaboración de proyectos de este tipo se requiere describir las fases más importantes en costo y tiempo:

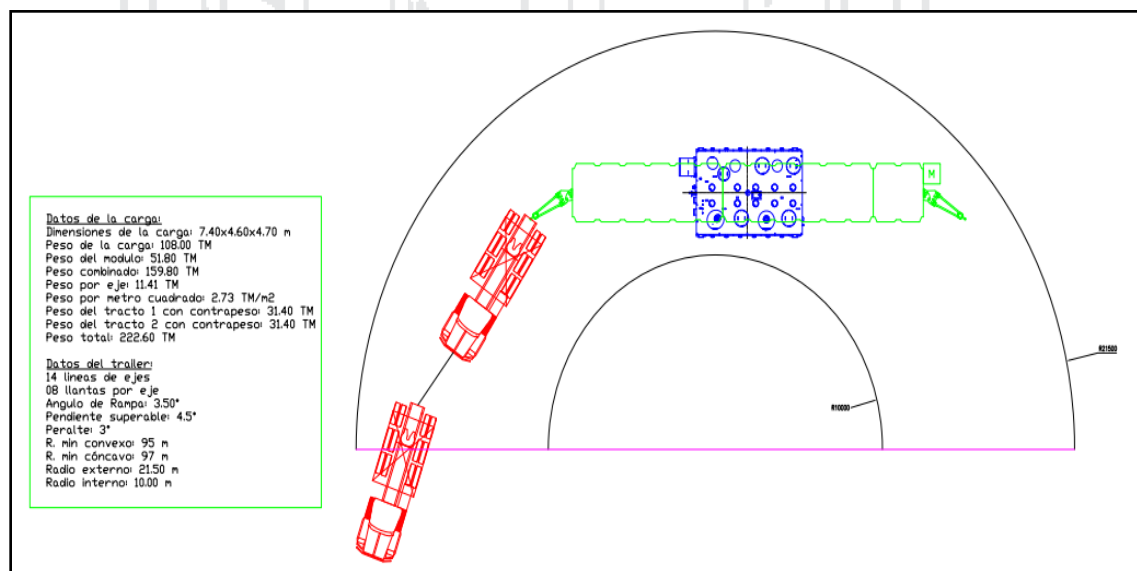
- 1.- Corte de terreno con maquinaria pesada
- 2.- Relleno de terreno con maquinaria pesada
- 3.- Conformación de la vía con material de cantera

Las unidades de transporte usadas en obra son:

- 1.- Cama baja

- 2.- Cama alta
 - 3.- Camión de Baranda
 - 4.- Camiones cisterna (agua, combustible y termotanques).
 - 5.- Camión Imprimador.
 - 6.- Camión mixer.
 - 7.- Camión Volquete
- 4.- Obras de arte (cunetas, badenes, alcantarillado, etc.)

FIGURA 16
CIRCULACIÓN EN CURVA



Fuente: BHP ENGINEERING. (1998). "Mine Road Design Manual".

TABLA 5
MAQUINARIA EMPLEADA

Clase	Cantidad
Tractor de Orugas D6	12
Tractor de Orugas D8	4
Excavadora sobre Orugas	20
Cargador Frontal	15
Retroexcavadora	11
Minicargador	5
Volquete 15 m3	18
Volquete 20 m3	55
Volquete 15 m3 Roquero	2
Motoniveladora	11
Rodillo Liso	15
Perforadora Hidraulica	1
Track Drill	2
Compresora 750 pcm	2
Camión cisterna de agua	0
Camión grua	0
Camión Concretero Mixer	0
Chancadora Primaria	1
Chancadora Secundaria	1
Zaranda Vibratoria	2

5.10 PROBLEMÁTICA Y VARIABILIDAD NO CONTROLADA EN LA ETAPA DE CONSTRUCCIÓN

La empresa contratista Mota-Engil Peru S.A. tuvo varias restricciones en la construcción del Heavy haul road, o Camino carga pesada – Paquete 03, por la constante variabilidad no controlada, en las distintas fases y procesos de la obra, que impacto de manera negativa en el cumplimiento del plazo de ejecución, en los costos

previstos en el ingeniería de detalle de la obra, así como en el alcance de los trabajos a ejecutar.

5.10.1 Propuesta contractual del desarrollo de las obras

La ejecución de la obra estaba previsto iniciar en el Km 91+000 y finalizar en el Km 161+400.

IMAGEN 7
TRAZO DE LA VÍA PAQUETE 03



Fuente: PROYECTO MINERO LAS BAMBAS PAQUETE 03.

El proyecto fue desarrollado de una manera lineal, quedando a merced de todos los Stakeholders que se aparecieron en el camino, oponiéndose al avance de las obras. La variabilidad por este tema fue el detonante para llegar a la ampliación de plazo, afectando al Tiempo y Costo del mismo.

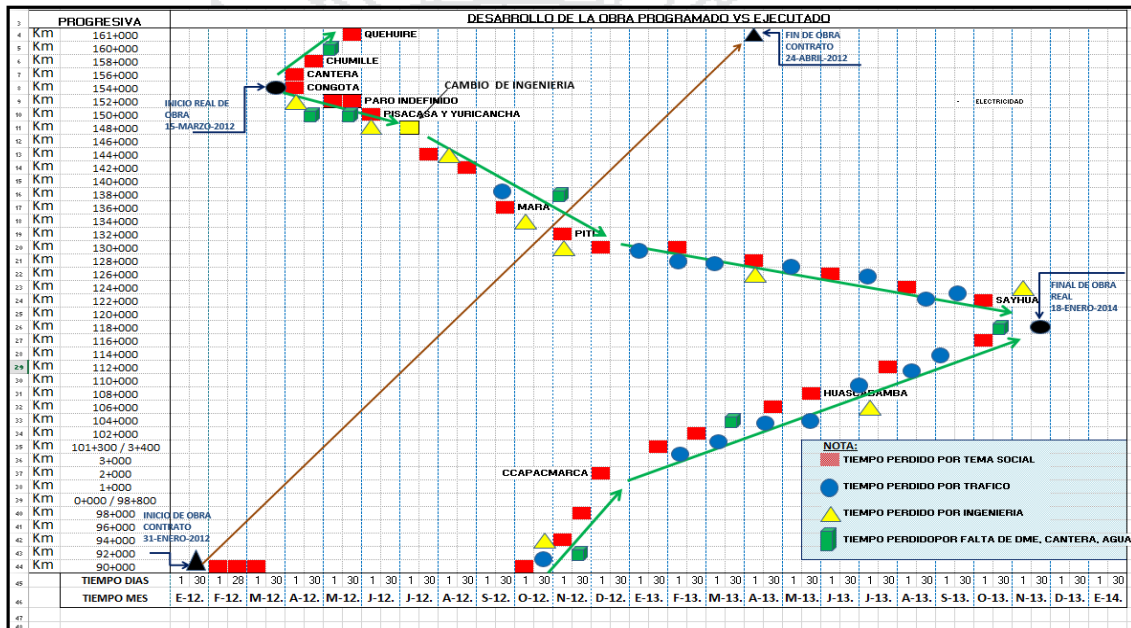
Normalmente no se hace un análisis de Variabilidad por Stakeholders antes de iniciar los proyectos de este tipo, dejando a un lado el factor más importante para que se puedan desarrollar como se tiene programado.

5.10.2 Mapeo de variabilidad

Utilizando un Brainstorming, se vaca la información de todos los agentes más significativos por temas de variabilidad al desarrollo de toda la obra, teniendo como resultado lo siguiente:

FIGURA 17

DESARROLLO DE LA OBRA PROGRAMADA VS EJECUTADO



Fuente: PROYECTO MINERO LAS BAMBAS PAQUETE 03.

Se obtienen 04 variables significativas que afectaron el proyecto en Tiempo y Costo:

1. Factor Social.
2. Tráfico no controlado.
3. Mala Ingeniería.
4. Carencia de Botaderos.

1. Factor Social.

Se considera que el problema general del Proyecto es un problema de credibilidad. La empresa minera que va a ejecutar el proyecto es Xstrata Las Bambas. Esta empresa se instaló hace varios años en el lugar y por muchos años ha tenido precedentes negativos en los poblados cercanos a su desarrollo. Estos antecedentes hacen que la población no crea en sus propuestas de mejorar las vías y ayudarlos con mejorar su calidad de vida.

Otro factor no menos importante es el lucro personal, puesto que las vías de acceso obligatoriamente van a cruzar terrenos y/o casas ya existente, los propietarios de estos predios se proyectan y ven que pueden sacar un buen fajo de dinero, haciendo que las negociaciones se tornen muy tediosas y con ello los plazos del proyecto se modifican de manera sustancial.

2. Tráfico no controlado.

Se considera que el problema del tráfico no controlado se vió dado porque no se tomaron las medidas necesarias para poder mitigar, el hecho que las obras traen nuevos negocios y por ende mayor afluencia vehicular en poblados que antes no lo tenían.

No pensando en ello se tuvo grandes horas perdidas por temas de esta índole.

IMAGEN 8

TRÁFICO NO CONTROLADO



Fuente: PROYECTO MINERO LAS BAMBAS PAQUETE 03.

3. Mala Ingeniería.

El diseño vial del tramo propuesto por las empresas GMI y CESEL fue elaborado en base a la normativa establecida en el “Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2001”, aprobada por Resolución Directoral No 143-2001-MTC/15.17 del 12.Marzo.01.

Sin embargo, en atención a las condiciones técnicas mínimas exigidas para el paso de la carga sobre dimensionada y a la imperante necesidad de cumplir con el plazo de entrega de los hitos establecidos, se trató de optimizar la construcción del Heavy Haul Road procurando de sacar el máximo provecho a la infraestructura vial ya instalada, cambiando el diseño geométrico hasta en dos oportunidades.

Otro detonante para entrar en retraso frente al proyecto desarrollado.

4. Carencia de Botaderos.

Este factor va de la mano con la mala ingeniería, puesto que los diseños inicialmente propuestos tenían una cierta cantidad de volumen de corte y relleno en los terrenos. Haciendo colapsar los botaderos ya considerados en gran cantidad y por ende un factor de retraso.

IMAGEN 9
BOTADERO COLAPSADO



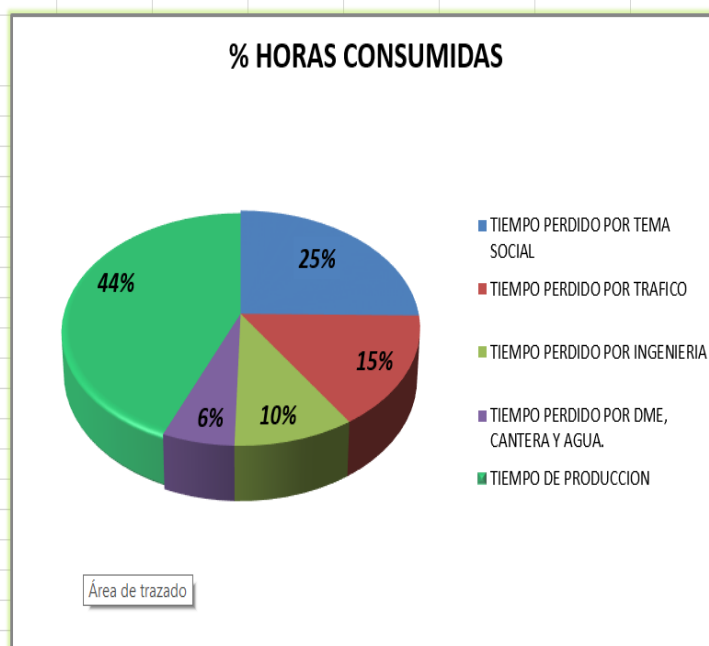
Fuente: Proyecto Minero las Bambas – Paquete 03.

Hecha la identificación de los agentes más significativos, se procede a la evolución del evento más reiterativo de la obra.

TABLA 6
HORAS CONSUMIDAS

% HORAS CONSUMIDAS				
ITEM	VARIABLE	CANTIDAD	%	Hrs Consumidas
1	TIEMPO PERDIDO POR TEMA SOCIAL	26	25%	1701
2	TIEMPO PERDIDO POR TRAFICO	16	16%	1047
3	TIEMPO PERDIDO POR INGENIERIA	10	10%	654
4	TIEMPO PERDIDO POR DME, CANTERA Y AGUA.	6	6%	393
5	TIEMPO DE PRODUCCION	45	44%	2945
		103		
	INICIO DE OBRA REAL	15-03-12		
	FIN DE OBRA REAL	18-01-14	674	
	HORA DE TRABAJO PROGRAMADO		10	
	TOTAL HORAS CONSUMIDAS		6740	

FIGURA 18
PORCENTAJE DE HORAS CONSUMIDAS



Según registros obtenidos por paralizaciones se tiene:

TABLA 7

REGISTRO DE PARALIZACIONES

DIAS	TIEMPO	Supervisor Responsable Paquete 03	Ubicación de progresiva	PARALIZACIÓN POR TEMA SOCIAL
PARALIZACION POR PARTE DE LAS COMUNIDADES				
FECHA	HORAS ACUMULADAS			DESCRIPCIÓN
28/05/2012	36.00	Ing. Ronald Ramos	160+500	Quejas de ingreso a propiedades; comunera lanzaba piedras a la maquinaria que se encontraba trabajando, paralizando el trabajo, e indicaba que la Empresa Xstrata no había cumplido el compromiso suscrito con ella en relación a las negociaciones pactadas por su propiedad.
27/04/2012	134.00	Ing. Daniel Prado	157+300	Paralización de trabajos por Xstrata, terreno que no había liberado
08/04/2012	50.00	Ing. Daniel Prado	156+200	Paralización de trabajos por comuneros que mencionaron que Xstrata no culminó acuerdos por el arreglo de la vía alterna de Huaruma
10/04/2012	24.00	Ing. Ronald Ramos	154+700	Queja de ingreso a propiedades: Trabajos de topografía paralizados Trabajos autorizados en cantera y luego paralizados por negociación incompleta, paralizando los trabajos el comunero Carlos Osorio
02/05/2012	22.00	Ing. Carlos Vértiz	151+800	Paralización de trabajos (construcción de poza para cisternas) por Xstrata, teniendo MEP los permisos correspondientes
26/05/2012	148.00	Ing. Daniel Prado	151+300	Paralización por manifestantes del SUTEP
02/06/2012	21.50	Ing. Kenny Toledo	149+900	Queja de ingreso a propiedades, trabajos autorizados en cantera y luego paralizados por negociación incompleta, nuevamente por la presencia del Sr. Carlos Osorio
27/07/2012	18.50	Ing. Ronald Ramos	145+600	Queja de ingreso a propiedades, donde se presentó el propietario Sr. Demetrio Ñauhui Holguín, manifestando que su propiedad no se había negociado con Xstrata.
30/08/2012	12.00	Ing. Daniel Prado	141+300	Paralización trabajos por comunero ebrio
27/09/2012	82.00	Ing. Carlos Vértiz	135+800	Queja de ingreso a propiedades, terreno no negociado. Los propietarios del terreno indicaron que no habrían negociado su terreno con Xstrata, oponiéndose al libre desarrollo de los trabajos de acondicionamiento de DME.

02/10/2012	45.00	Ing. Carlos Vértiz	91+650	Reclamos ambientales, quejas de riego y uso de fuente de agua. Comuneros de las comunidades de Yuricancha y Andrés Avelino Cáceres, paralizaron los trabajos de regado de la carretera, reclamando que los riegos fueran con mayor frecuencia ya que el polvo que se genera desde las 3 de la mañana afecta a sus viviendas, sus animales y la salud de los comuneros además de ello reclaman que vehículos particulares utilizan el cauce de su riachuelo para lavar su vehículos contaminando la toma de agua.
01/11/2012	49.00	Ing. Daniel Prado	132+104	Paralización realizada por comuneros debido a pedido no autorizado por cliente. La solicitud comunal no estaba coordinado ni pedido por Bechtel, por lo que no se les apoyó, ante esa respuesta los comuneros, intempestivamente, ingresaron al área de trabajo, en la que la excavadora con martillo hidráulico (picotón) estaba trabajando, por lo que se tuvo que paralizar las operaciones en dicho sector
02/11/2012	58.50	Ing. Ronald Ramos	91+410	Queja de ingreso a propiedades, terreno no negociado. El propietario Sr. Carlos Osorio junto al RRCC de Xstrata Sr. Arturo Cáceres paralizaron las actividades de un sector no negociado, al día siguiente el Sr. Osorio junto a otros comuneros paralizaron todo el frente, acumulando 2.5 horas de paralización en la zona durante los días 3 y 4 de agosto.
26/11/2012	28.00	Ing. Carlos Vértiz	98+100 98+020 97+100	Queja de ingreso a propiedades; paralización trabajos a topografía
02/12/2012	24.00	Ing. Carlos Vértiz	131+410	Queja de ingreso a propiedades, por la Sra. Maruja Escalante, mayor área de corte no negociado
03/12/2012	74.50	Ing. Daniel Prado	002+120	Paralización trabajos por comunera ebria
08/01/2013 11/01/2013	21.00	Ing. Ronald Ramos	101+320	Retrasos de producción por festividades y terrenos no negociados
04/02/2013	24.50	Ing. Marco Santos	132+154	En horas de la tarde se interrumpieron las actividades de Corte Top Soil por la familia Mantilla Enriquez del centro poblado Quehuire
26/02/2013	24.00	Ing. Marco Santos	102+560	En horas de la tarde, se volvieron a interrumpir las actividades de Corte Top Soil por la familia Mantilla Enriquez del centro poblado Quehuire
03/04/2013	134.00	Ing. Marco Santos	128+250	No hay aprobación de los comuneros de la zona para utilizar el Botadero km. 1+450. A pesar de que MEP solicitó la liberación de dicho botadero a tiempo y según todas las exigencias de Bechtel.
28/04/2013	47.00	Ing. Marco Santos	107+152	No hay aprobación de los comuneros de la zona para utilizar el Botadero km. 1+450. A pesar de que MEP solicitó la liberación de dicho botadero a tiempo y según todas las exigencias de Bechtel.

29/05/2013	112.50	Ing. Marco Santos	109+300	No hay aprobación de los comuneros de la zona para utilizar el Botadero km. 1+450. A pesar de que MEP solicitó la liberación de dicho botadero a tiempo y según todas las exigencias de Bechtel.
06/06/2013	94.00	Ing. Marco Santos	125+856	Paralización de Trabajos por comunidad de Qehuire debido a una reunión de la comunidad
27/07/2013	148.50		114+264	Huelga masiva realizada por los pobladores de la comunidad de Ichuray, el cual no permitió a los frentes de Pumamarca - Quehuira y Quehuira - Pumamarca llegar a sus lugar de trabajo.
Del 07/08/2013 al 10/09/2013	84.00	Ing. Marco Santos	Km 125+400 : Nuevo trazo Fuerabamba	A las 7: 00 a.m se inició la visita en campo en el Km 8 + 400, debido a la paralización de los trabajos en obra, por tercer día consecutivo, debido a que la comunidad de Sinagua (Ahuire) presenta un conflicto interno sobre los límites de terreno, con la comunidad de Antuyo. Las coordinaciones para la resolución del conflicto se realizarán entre Xstrata y la comunidad. Se paro el Tractor Komatsu D155 T070/102 Esta visita se realizó con la presencia del Ing. Marco Santos, el Ing. Javier Alvarado SSOMA, Uriel Huayta, ayudante de campo, Sr Simeon área de calidad y Elizabeth Ramirez Leyton, Coordinadora de Responsabilidad Social del paquete 04.
06/10/2013	136.50	Ing Wilber Flores	122+288	Se paralizaron los trabajos de Mota Engil en el frente de trabajo, debido a que los Comuneros de Choqueca han colocado piedras y cerco de malla bloqueando el ingreso del Km 18 +800 hacia el Km 12.
04/10/2013	48.00	Ing Wilber Flores	117+254	El día de hoy a las 11:00 horas, la Comunidad de Choqueca levanto el cerco que impedía trabajar en el tramo del Km.

Total Horas paralizados	1701.0
--------------------------------	---------------

*Las horas contabilizadas por paralizaciones son relativas, oficina técnica deberá remitir la información para su validación.

Se observa que el tema de Variabilidad por Factor Social es el más representativo en la ejecución de obras y se procede a profundizar su análisis.

5.11 PROPUESTA DE VALOR

La propuesta de valor se orienta a cumplir el objetivo del proyecto de investigación, que es mejorar el control de la variabilidad y el impacto negativo que generó en la ejecución de obra.

Por otra parte, así como en la obra que se analizó y en muchas obras que se desarrollan en el país; usualmente no se planifican, programan ni controlan convenientemente; por un desconocimiento de las metodologías existentes. De ahí que muchas empresas fracasen por no tener claramente definido los objetivos.

En ese sentido nuestra propuesta de valor para controlar la variabilidad, está orientada a desarrollar una guía metodológica de gestión, que permita sincronizar las funciones y responsabilidades de las distintas áreas de una obra con el objetivo de controlar los eventos de variabilidad tanto internos como externos.

5.11.1 Desarrollo de la propuesta de valor

Nuestra propuesta de valor se desarrollara en tres etapas:

Primera Etapa: Previo al inicio de obra.

- Trabajos de campo por un grupo multidisciplinario.
- Funciones previas al inicio de Obra.

Segunda Etapa: Diagnostico y Planeamiento estratégico de obra.

- Identificación de Posibles restricciones sociales.
- Identificación de posibles frentes de trabajo.
- Definición de frentes de trabajo.

Tercera Etapa: Seguimiento durante la ejecución de obra.

- Seguimiento de los procesos de liberación de los terrenos por Xstrata (propietario).
- Seguimiento de las actividades próximas a ejecutar con anticipación.
- Coordinar accesos de equipo técnico y maquinarias con staff de producción.

5.12 METODOLOGÍA DE ACCIÓN PARA CONTROL DE VARIABILIDAD

5.12.1 Conformación de grupo de trabajo

La conformación del grupo de trabajo está orientado a atender:

Trabajo de campo

Conformar cuadrilla de personal técnico (Ing. Civil, Topógrafo, Sociólogo, Chofer) previo al inicio de los trabajos a realizar y desenvolverse durante toda la obra delante.

TABLA 8
PRESUPUESTO ESTIMADO

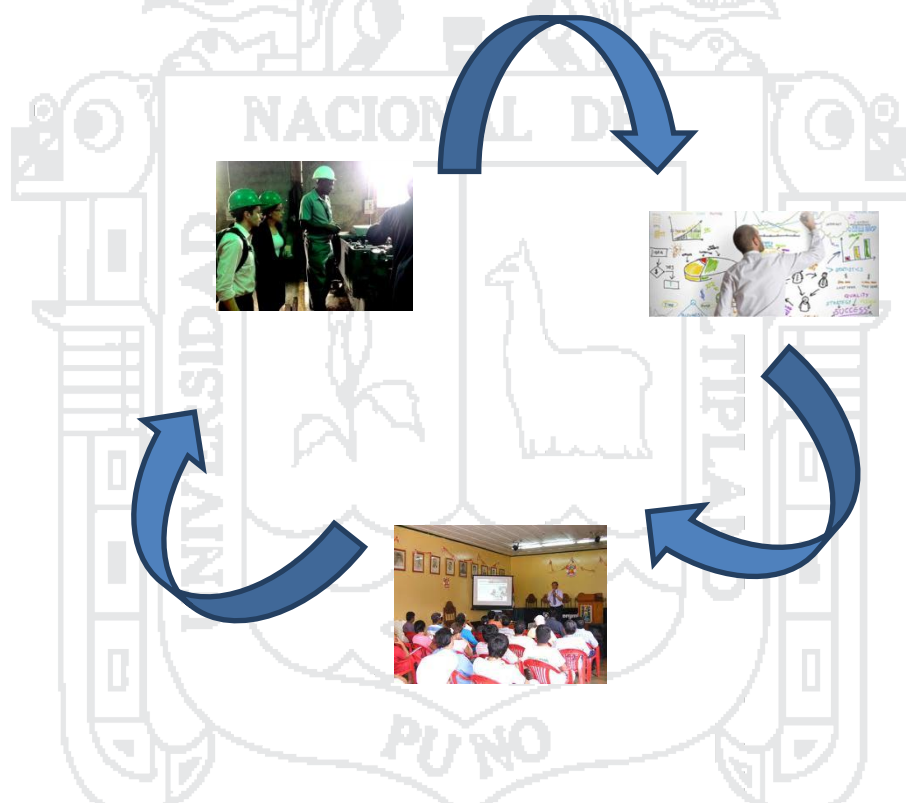
Item	Tecnico	Factor	Mes	Etapa	Etapa
				Pre-Obra	Obra
				Tiempo	Tiempo
1	Ingeniero Civil	0.5	6000	2	6
2	Sociólogo	1	3500	6000	18000
3	Topógrafo	1	3500	7000	21000
4	Ayudante Top.	1	2800	5600	16800
5	Chofer	1	2900	5800	17400
6	Camioneta	1	4320	8640	25920
7	Equipo	1	2500	5000	15000
PARCIALES				45040	+ 135120
TOTAL				S/. 180,160.00	

Cuadro: Presupuesto Estimado.

5.12.2 Funciones previas al inicio de obra

- Recopilación de antecedentes de todo el tramo en estudio.
- Identificación y mapeo tentativo de zonas conflictivas de prevención.
- Trabajos de concientización de las poblaciones (conformar alianzas).

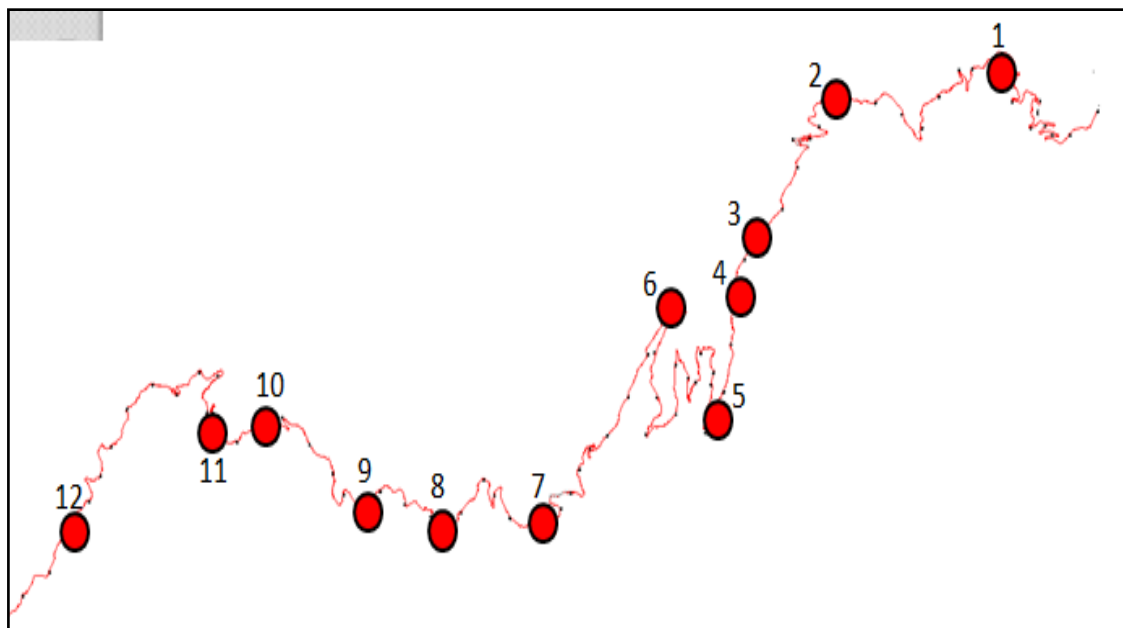
FIGURA 19
FUNCIONES PREVIAS



5.12.3 Identificar poblaciones como posibles restricciones sociales

Identificar cada centro poblado, por donde está proyectado el trazo de la obra lineal y codificarlos sobre plano en planta de acuerdo al abscisado.

FIGURA 20
IDENTIFICACIÓN DE POBLACIONES

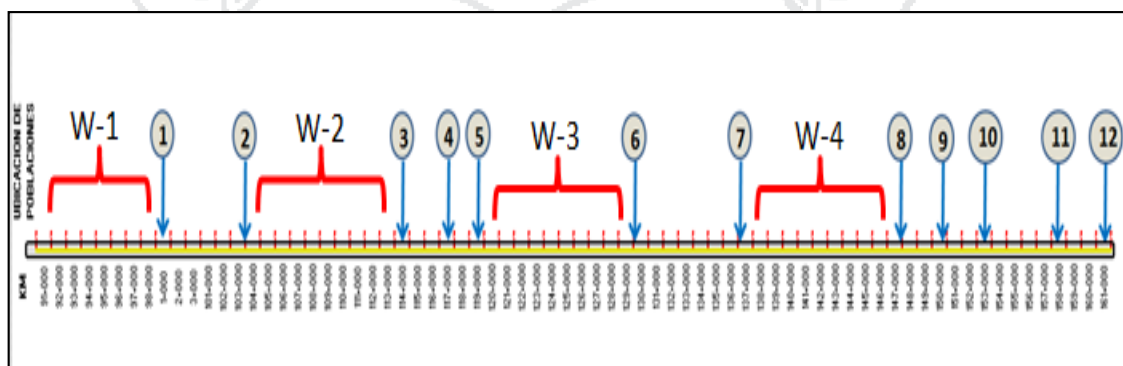


Fuente: Proyecto Minero las Bambas – Paquete 03.

5.12.4 Diagramar en una recta lineal cada centro poblado

En el ítem se propone diagramar todos los centros poblados identificados sobre una recta lineal, esta diagrama permitirá identificar los tramos libres de poblaciones y a su vez idear posibles frentes de trabajo.

FIGURA 21
DIAGRAMA LINEAL



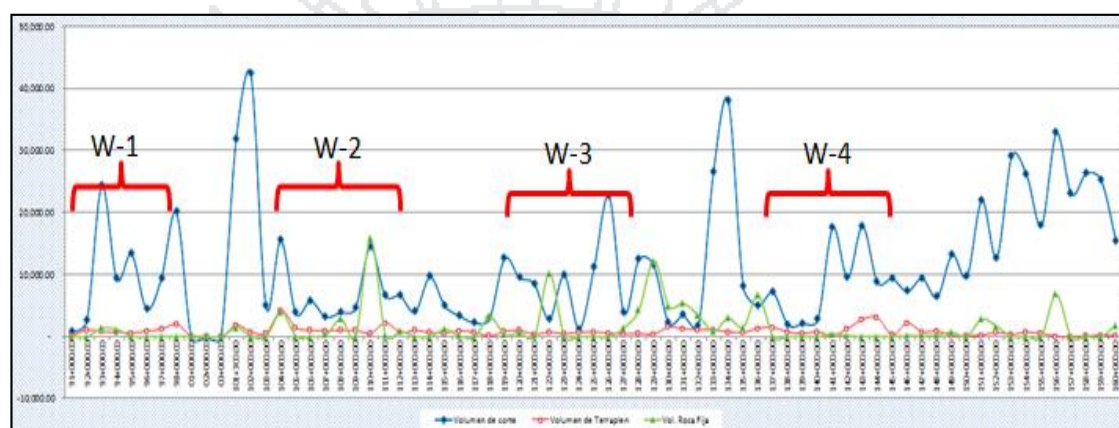
Fuente: Proyecto Minero las Bambas – Paquete 03.

5.12.5 Elaborar el diagrama de masas de la obra

El objetivo con el diagrama de masas es identificar los tramos de mayor demanda de trabajo de movimiento de tierra, y a su vez montar en dicho diagrama de masas los posibles frentes de trabajo que se identificaron en el ítem 4.2.3.

FIGURA 22

DIAGRAMA DE MASA

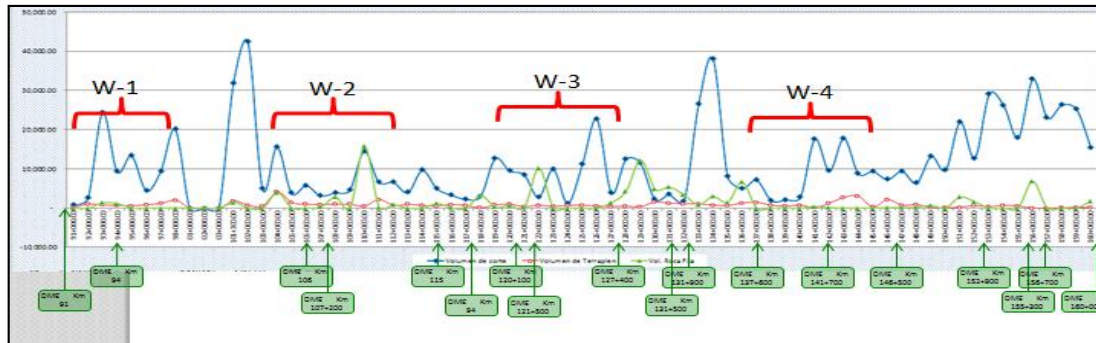


Fuente: Proyecto Minero las Bambas – Paquete 03.

5.12.6 Identificar depósitos de material excedente

Se propone identificar todos depósitos de material excedente de la obra con el fin de compatibilizar los posibles frentes de trabajos libres de restricciones. Ya que en diagnóstico realizado se identificó que uno de los factores de variabilidad eran los DME.

FIGURA 23
DIAGRAMA LINEAL DE MATERIAL EXCEDENTE

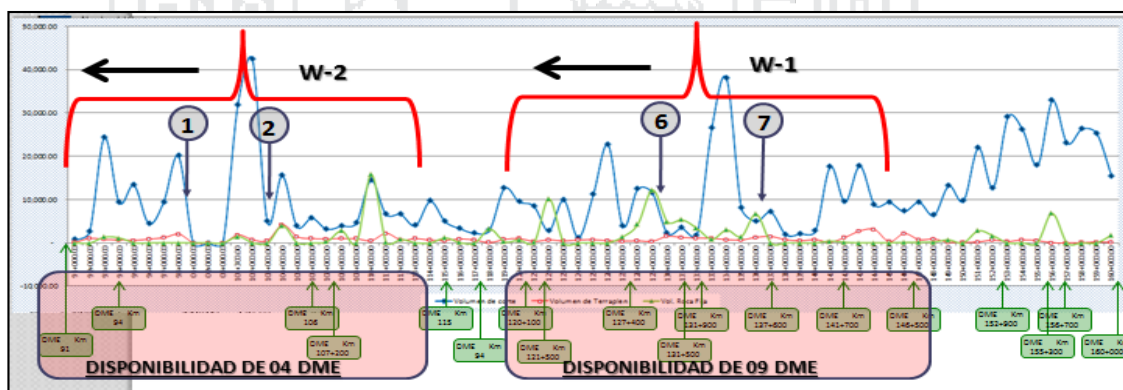


Fuente: Proyecto Minero las Bambas – Paquete 03.

5.12.7 Elección de los frentes de trabajo

En este ítem se propone elegir los frentes de trabajo que debe ser la base para el planeamiento de obra y su organización para implementada.

FIGURA 24
DIAGRAMA LINEAL DE FRENTES DE TRABAJO



Fuente: Proyecto Minero las Bambas – Paquete 03.

5.12.8 FUNCIONES EN OBRA

- Seguimiento de los procesos de liberación de los terrenos por el cliente.
- Seguimiento de las actividades próximas a ejecutar con anticipación.
- Coordinar accesos de equipo técnico y maquinarias con staff de producción.

CONCLUSIONES

PRIMERA: Revisando la bibliografía existente, para la implementación de proyectos viales (diseño de geométrico y construcción) de un HEAVY HAUL ROAD, o camino de carga pesada en el Perú, no existe normativa específica.

SEGUNDA: El transporte de carga pesada por las compañías mineras en las zonas de operación, es generalmente regulada por las normas y guías (que incluye el diseño geométrico de las vías) son propias y adoptadas por la empresa, en concordancia y cumplimiento de la legislación nacional y estándares internacionales vigentes, como en el caso de Antamina, Pierina entre otros, de las cuales en los tramos 91+000 al 161+400, no existen alguna similitud con la Norma Peruana (DG 2014), pero si se puede tomar en cuenta los métodos para realizar el trazo y replanteo en estas, mas no el diseño geométrico.

TECERA: En el proyecto analizado del diseño geométrico del camino de carga pesada se llega a concluir que existen gran variabilidad en lo respecto de normas de diseño, para esto necesitamos de especialistas que lleguen a disolver la mala ingeniería aplicada en este proyecto minero las Bambas paquete – 03, pero en la etapa de implementación o construcción y mantención de caminos mineros no ha recibido la atención necesaria de acuerdo a su incidencia en los costos y cumplimiento de metas de producción el cual para ello se llegó a tener unos resultados muy insatisfechos.

CUARTA: Se llega a demostrar que la obra en estudio estuvo bien planificada internamente con los plazos de entrega, pero existieron agentes externos que hicieron variar de manera considerable el resultado del proyecto en un 21%. Con la propuesta de valor y una guía metodológica considerada, se demuestra que haciendo un análisis de los agentes externos producidos por la variabilidad del factor social, tendríamos una

efectividad del 71.7% en el avance físico del movimiento de masas para la obra analizada.



RECOMENDACIONES

PRIMERA: El diseño de vías o caminos para carga pesada extraordinaria a futuro debe tener en cuenta las evaluaciones en la etapa de operación de las empresas en funcionamiento, y recomendaciones para el diseño geométrico que tengan en cuenta este tipo de transporte.

SEGUNDA: Se recomienda que en obras lineales se evalúe cada ítem descrito en nuestra puesta, ya que está demostrado que no solo es implementar recursos a una obra si no, que estos recursos pueda producir sin tener restricciones externas.

TERCERA: El factor social generalmente no considerado por las empresas, es un tema que debe ser analizado y/o estudiado. En la presente investigación es un gran detonante de pérdida, generando retrasos en horas máquina y horas hombre, por ende todos los gastos generales se han visto afectados de los cuales se recomienda hacer análisis profundo con especialistas en el tema.

CUARTA: Al analizar diversos aspectos asociados al comportamiento de algunos de los vehículos de carga pesada permitidos, se recomienda la seguridad vial asociados a sus características y a la geometría de la carretera. En primera instancia, los ejemplos de los problemas de maniobrabilidad revelan que el diseño de las carreteras en algunas zonas no es adecuado para su circulación, puesto que no facilita que tales vehículos puedan acomodarse convenientemente cuando circulan por las rotondas o algunas de las rampas de acceso a las carreteras. Por el contrario, no se hallaron conflictos entre las distancias de frenado y la distancia de visibilidad.

QUINTA: Se recomienda a su vez que tengan especialistas en mecánica de las cuales eviten otros factores como el mal estado de las llantas, mal ajuste del sistemas de frenos, sobrepeso y cercanía de los vehículos cuando transitan por las carreteras, lo cual

evidencia que hace falta establecer o reforzar las políticas y controles en carretera que busquen regular tales aspectos.

SÉXTA: Los estudios del comportamiento dinámico no solo sirven para evaluar problemas de seguridad vial asociados a la conducción de los vehículos de carga pesada, sino que también se pueden aplicar para evaluar si es posible aumentar la altura máxima de aquellos vehículos que son utilizados para transportar productos de baja densidad, o para establecer clasificaciones de rutas para No obstante

SÉTIMA: Para ello se hace necesario incorporar en las normas de pesos y dimensiones aspectos asociados al comportamiento dinámico de los vehículos de carga pesada, tales como la amplificación de aceleración lateral y el umbral de volcadura, por lo que se recomienda realizar estudios pertinentes que permitan establecer tales normativas.

OCTAVA: Se recomienda una evaluación de los daños que puede generar la sobrecarga al pavimento para tomar medidas correctivas al respecto, ya que con esto se reduce la vida útil de los pavimentos que han sido diseñados para un periodo determinado.

BIBLIOGRAFÍA

- AASHTO. (1993). *Curso de actualización de diseño estructural de caminos método AASHTO 93*. Escuela de Ingeniería de Caminos.
- ANÍBAL. (2003). *Herramienta para la evaluación del diseño geométrico de caminos*. Argentina, Escuela de Ingeniería de Caminos de Montaña.
- ARCE, H. (s.f). *Consideraciones sobre la normativa de pesos y dimensiones para vehículos y transporte de carga en Costa Rica*. Recuperado el 26-04-2011 de http://www.mopt.go.cr/planificacion/centrotransferencia/RTM_06/Pesos%20y%20Dimensiones.pdf
- BAÑON BLAZQUEZ, Luis. (2002). *Manual de Carreteras*. New York: McGraw-Hill Book Co., 2002.
- BHP ENGINEERING. (1998). "*Mine Road Design Manual*".
- CALLOHUANCA, Manuel. (2003). *Metodología de la Investigación*. Curso de Actualización 2003. Universidad Nacional del Altiplano. Puno Perú.
- CÁRDENAS Grisales James, *Diseño Geométrico de Carreteras*, Ediciones ECO, Bogotá 2002.
- CENTRO REGIONAL DE AYUDA TÉCNICA (AID). (1999) *Manual de Caminos Vecinales*
- CIVIL 3D. (2009). *Manual de referencia del AutoCAD Civil 3D Land Desktop Companion 2009*.

- CORONADO, José María (2006) “*Condicionantes territoriales en el proyecto de una variante*”, en Planificación y diseño de variantes y travesías, Cuadernos de Ingeniería y Territorio, nº 6, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos. UCLM.
- DE COS C, M. (1995), “*Teoría general de proyectos*”. Editorial Síntesis. Madrid. España.
- FUENTES, A. L. (1980) *Caminos I*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- GORDER, L., SANCHEZ, H y TAYPE R. (2006). *Diseño de carreteras*, Editorial Omega. México.
- GÜÉMEZ SHEDDEN, C.R. (2013), *Comportamiento dinámico de los vehículos de carga pesada en el cantón de San José (2011-2012)*. Consejo de Seguridad Vial (COSEVI) San José, Costa Rica.
- GUERRA, Carlos. (1997) *Carreteras, Ferrocarriles, Canales. Manual de Proyectos*. IPID. Tercera edición. Lima Perú.
- HERCE VALLEJO, Manuel (2005), “*Variante de la carretera y forma de ciudad*”. Tesis Doctoral Presentada en la E.T.S.I. de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, UPC. España.
- INSTITUTO DE LA CONSTRUCCION Y GERENCIA-ICG. (2002). II CONGRESO NACIONAL OBRAS DE INFRAESTRUCTURA VIAL *Carreteras, Puentes e Ingeniería de Transportes*
- MANUAL DE CARRETERAS DEL PARAGUAY. (2009). *Normas para la Evaluación de Proyectos y Geometría Vial*. Tomo I. Volumen II.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES, VIVIENDA Y CONSTRUCCIÓN. (2008). *Manual de Diseño Geométrico de Carreteras* (DG 2001). Segunda Edición.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES. (2008). *Manual para el Diseño de Carreteras No Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. 2008.

MINISTERIO DE TRANSPORTES, COMUNICACIONES. (2008). *Manual para el Diseño de Carreteras Pavimentadas de Bajo Volumen de Tránsito*. 2008.

NARVAEZ, D.E. (1995) *Manual de Topografía General*

OBRAS DE INGENIERIA. (2008) *Informe final 2007*.

ROAD CALC. (2003). *Manual de referencia de Eagle Point Software* Copyright Q4. 2003.

SERPA, Carlos. (2007) *Carreteras, Artículo: Control Topográfico En proyectos Y Obras Viales del Instituto de la Construcción y Gerencia -Perú*

TAYPE, Vidal. (2008), *Estabilidad de Taludes en obras de Ingeniería Civil*, Editorial Artículos Originales, Perú (UNMSM).

W. Hustrulid, M. Kuchta. "Open Pit Mine Planning and Design" Vol.1 Fundamentals.

Walter W. Kaufman, James C. Ault. United States Department of the Interior. Bureau of Mines. "Design of Surface Mine Haulage Roads – A Manual".

WOLF P. Y BRINKER R., (2000) *Topografía*. Novena Edición Alfa.



ANEXOS

- PLANOS, PLANTA, PERFIL LONGITUDINAL, Y SECCIONES DE 1 KM.

