



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE MATERIALES EN OBRAS VIALES

Helen Hilario-Teodoro

Lima, marzo de 2018

FACULTAD DE INGENIERÍA

Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial

Hilario, H. (2018). *Análisis del transporte de materiales en obras viales* (Tesis de Máster en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial). Universidad de Piura. Facultad de Ingeniería. Lima, Perú.



Esta obra está bajo una licencia

[Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

[Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura](#)

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA MÁSTER EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
INGENIERÍA VIAL



“Análisis del transporte de materiales en obras viales”

Tesis para optar el grado de máster en Ingeniería Civil con mención en Ingeniería Vial

Ing. Helen Michel Hilario Teodoro

Asesor: Mgtr. María Esther Pinedo del Aguila

Lima, marzo 2018

A mi madre Irene Teodoro, a quien debo todo en la vida.

A mi esposa Clara, mis hijos Matías y la que está en camino, quienes son mi motor y motivo de superación.

A mis tíos Saúl, Linder y toda mi familia, quienes celebran mis éxitos.

Prólogo

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), según el *Plan Operativo Institucional 2017*, tiene como objetivo estratégico mejorar, modernizar y optimizar la infraestructura de la red vial nacional, bajo estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad ambiental, que permitan fortalecer los corredores logísticos y la integración interna y externa del país. Asimismo, tiene como meta al 2021 pavimentar el 100% de la red vial nacional.

El titular del sector indica que al 2017 se tiene un 75% de la red vial pavimentada, dejando una brecha del 25% para culminar en los próximos 4 años, un aproximado de 6,625 km. Para lograr este objetivo y poder culminar todos los estudios (a nivel de perfil, factibilidad y otros a nivel de estudio definitivo) de los tramos sin pavimentar toca acelerar todo el proceso de los estudios hasta su ejecución en obra y puesta en funcionamiento. El tiempo que demora en la ejecución desde el perfil hasta el estudio definitivo es aproximadamente 3 años, por lo que a través de Provias Nacional (PVN) se viene realizando esfuerzos para reducir el tiempo de ejecución del estudio en cada etapa, acelerando los procesos de selección del consultor y exigiendo que se cumplan con los plazos de entrega de cada estudio. Podemos decir que el Perú está viviendo momentos importantes al tratar de cerrar la brecha existente de la red vial nacional pavimentada ya que se van a conectar los pueblos, se van a generar mayores actividades económicas, habrá mayor desarrollo y mejor calidad de vida de la población.

Los costos de los proyectos de infraestructura vial se han ido incrementando en los últimos años, principalmente debido a la gran cantidad de material a eliminar producto de excavación del terreno, a la escasez de canteras y depósitos de material excedente, o en su defecto se encuentran muy alejados de la zona del proyecto, haciendo que las distancias del transporte de materiales sean mayores, lo que influye directamente en el costo del proyecto.

Debido a la escasez de canteras, depósitos de material excedente, y sumado a esto que no se recupera el material de excavación de terreno, hace que el transporte de materiales sea una partida importante en los proyectos de infraestructura vial. Ahora, nace el interés de saber si los parámetros o variables que se usan en la elaboración de los expedientes técnicos son similares a los que se obtienen en obra (ratios de consumo de combustible de los volquetes, ciclo del volquete en el transporte de materiales, velocidades de los volquetes con carga y vacío, rendimientos por distancias, costos unitarios para distancias menores y mayores de 1 km). Asimismo un dato importante en infraestructura vial es conocer los costos por kilómetro de carreteras, según su ubicación (costa, sierra o selva) en el Perú.

Los resultados que se obtengan van a permitir a los que elaboran expedientes técnicos sincerar la base de cálculo del transporte de materiales.

En este trabajo se analiza el transporte de materiales y sus variables, buscando sincerar el costo de los proyectos de infraestructura vial.

Resumen

Para el análisis de la partida transporte de materiales se usó la información de la obra “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Canta – Huayllay”, se ha calculado y analizado todos los recursos y variables que se usan para su ejecución: ratios de consumo de combustible de los volquetes, ciclo del volquete en el transporte de materiales, velocidades de los volquetes con carga y vacío, rendimientos por distancias, costos unitarios para distancias menores y mayores de 1 km.

Se hizo un análisis detallado de 47 proyectos aprobados en Provias Nacional (PVN) durante el periodo 2011 – 2016 a través de la Unidad Gerencial de Estudios, se ha procesado la información para obtener los costos por kilómetro de carretera y la incidencia del transporte de materiales en los proyectos de infraestructura vial. Estos datos son importantes para obtener costos referenciales de forma rápida para proyectos futuros dependiendo de su ubicación (costa, sierra o selva).

Finalmente se ha concluido con un comparativo entre los resultados obtenidos en obras y variables que se usan en la elaboración del expediente técnico para la partida transporte de materiales. Dichos resultados van a permitir a los que elaboran expedientes técnicos sincerar la base de cálculo del transporte de materiales en proyectos futuros de infraestructura vial.

Este artículo de investigación fue aceptado y expuesto en acto público en el *I Congreso Internacional de Ingeniería y Dirección de Proyectos, III Congreso IPMA-LATNET*, llevado a cabo el 04 de agosto del 2017 en las instalaciones de la Universidad de Piura – Sede Lima.

Índice

	Pág.
Introducción.....	1
Artículo: Análisis del Transporte de Materiales en Obras Viales	4
<i>Resumen.....</i>	<i>4</i>
<i>Abstract.....</i>	<i>4</i>
<i>1. Introducción.....</i>	<i>5</i>
<i>2. Importancia.....</i>	<i>5</i>
<i>2.1 Proyectos del año 2015.....</i>	<i>5</i>
<i>2.2 Proyectos del año 2016.....</i>	<i>6</i>
<i>2.3 Costo por kilómetro de obras viales.....</i>	<i>6</i>
<i>2.4 Diagrama del transporte de materiales.....</i>	<i>7</i>
<i>3. Objetivos.....</i>	<i>8</i>
<i>3.1 Objetivo general.....</i>	<i>8</i>
<i>3.2 Objetivo específico.....</i>	<i>8</i>
<i>4. Metodología.....</i>	<i>8</i>
<i>4.1 Control de costos.....</i>	<i>8</i>
<i>4.2 Control de obra.....</i>	<i>8</i>
<i>4.2.1 Hoja de ruta del volquete.....</i>	<i>9</i>
<i>4.2.2 Parte diario de producción.....</i>	<i>9</i>
<i>4.2.3 Reportes de control.....</i>	<i>9</i>
<i>5. Resultados.....</i>	<i>9</i>
<i>5.1 Ratio de consumo de combustible.....</i>	<i>9</i>
<i>5.2 Ciclo y velocidad del volquete.....</i>	<i>10</i>
<i>5.2.1 Tiempo de carga y descarga.....</i>	<i>11</i>
<i>5.2.2 Cálculo de velocidad y vacío.....</i>	<i>11</i>
<i>5.2.3 Tiempo del ciclo.....</i>	<i>11</i>
<i>5.3 Rendimiento del volquete.....</i>	<i>12</i>
<i>5.4 Producción de un frente de trabajo.....</i>	<i>13</i>
<i>5.5 Costo del transporte de materiales.....</i>	<i>14</i>

<i>6. Conclusiones</i>	14
<i>Referencias Bibliográficas</i>	15
<i>Recomendaciones</i>	16

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1. Porcentaje de incidencia del transporte de materiales, proyectos año 2015	6
Figura 2. Porcentaje de incidencia del transporte de materiales, proyectos año 2016	6
Figura 3. Costo por kilómetro de carreteras – PVN (2011-2016)	7
Figura 4. Diagrama del transporte de materiales	8
Figura 5. Ratio de consumo de combustible (galón/hora)	10
Figura 6. Presupuesto según ET considerando R=8.79 gln/h vs R=3 gln/h	10
Figura 7. Velocidades de los volquetes por distancias	11
Figura 8. Rendimiento promedio diario de los volquetes, por distancias	13
Figura 9. Producción diaria del transporte de desechos y excedentes	13
Figura 10. Valorización de la producción mensual, con precios del expediente técnico	14
Figura 11. Costo unitario ponderado m ³ -km vs costo por hora	14

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 1. Costo por kilómetro de carreteras – PVN (2011-2016)	7
Tabla 2. Incidencia del transporte de materiales en el presupuesto	9
Tabla 3. Tiempo promedio de carga con excavadora y descarga con volquete	11
Tabla 4. Ciclo teórico de los volquetes según distancia de transporte	12
Tabla 5. Rendimiento mensual y promedio diario de los volquetes	12

Introducción

El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), según el *Plan Operativo Institucional 2017*, tiene como objetivo estratégico mejorar, modernizar y optimizar la infraestructura de la red vial nacional, bajo estándares de calidad, seguridad y sostenibilidad ambiental, que permitan fortalecer los corredores logísticos y la integración interna y externa del país. Asimismo, tiene como meta al 2021 pavimentar el 100% de la red vial nacional.

El titular del sector indica que al 2017 se tiene un 75% de la red vial pavimentada, dejando una brecha del 25% para culminar en los próximos 4 años, un aproximado de 6,625 km.

Para lograr este objetivo y poder culminar con los estudios de los tramos sin pavimentar se tiene que acelerar todo el proceso del ciclo del proyecto (perfil, factibilidad y definitivo) hasta su ejecución en obra y puesta en funcionamiento.

El tiempo que demora en la ejecución desde el perfil hasta el estudio definitivo es aproximadamente 3 años, por lo que a través de Provias Nacional (PVN) se viene realizando esfuerzos para reducir el tiempo de ejecución del estudio en cada etapa, acelerando los procesos de selección de la empresa que va a realizar el estudio y exigiendo a los consultores que cumplan con el plazo de entrega del estudio.

Los costos de los proyectos de infraestructura vial se han ido incrementando en los últimos años, principalmente debido a la gran cantidad de material a eliminar producto de excavación del terreno, a la escasez de canteras y depósitos de material excedente, o en su defecto estas dos últimas se encuentran muy alejados de la zona del proyecto, haciendo que las distancias del transporte de materiales sean mayores, lo que influye directamente en el costo del proyecto.

Debido a la escasez de canteras, depósitos de material excedente, y sumado a esto que no se recupera el material de excavación de terreno, el transporte de materiales es una partida importante en los proyectos de infraestructura vial.

Dado que se ha comprobado en 47 proyectos aprobados en Provias Nacional, que el transporte de materiales es una partida importante e incidente, nace la inquietud de saber si los parámetros o variables que se usan en la elaboración de los expedientes técnicos son similares a los que se obtienen en obra, en particular del transporte de materiales (ratios de consumo de combustible de los volquetes, ciclo del volquete en el transporte de materiales, velocidades de los volquetes con carga y vacío, rendimientos por distancias, costos unitarios para distancias menores y mayores de 1 km).

Asimismo un dato importante en infraestructura vial es conocer los costos por kilómetro de carreteras, según su ubicación (costa, sierra o selva) en el Perú.

En los expedientes técnicos, el valor del ratio de consumo de combustible del volquete que se usa es de 8.79 gln/hora tomado como referencia del libro *El Equipo y sus Costos de Operación* del Ing. Jesús Ramos Salazar publicado por la Cámara Peruana de la Construcción (CAPECO), pero no se tiene la certeza si es la correcta.

No se han encontrado investigaciones del ratio de consumo de combustible del volquete ni análisis del transporte de materiales en el Perú, se ha buscado tesis de pre y post grado de las principales universidades (Universidad Nacional de Ingeniería, Universidad Federico Villareal, Universidad de Piura y Pontificia Universidad Católica del Perú) y en las principales revistas especializadas (Costos, Constructivo y Capeco).

Dado que el transporte de materiales es una partida importante e incidente, se hace necesario conocer el valor de los parámetros o variables reales en obra, tales como: ratios de consumo de combustible de los volquetes, ciclo del volquete en el transporte de materiales, velocidades de los volquetes con carga y vacío, rendimientos por distancias, costos unitarios para distancias menores y mayores de 1 km.

Asimismo para poder estimar los costos de los proyectos en forma inmediata, es necesario conocer los costos por kilómetro de carretera según su ubicación: costa, sierra o selva.

La investigación se realiza a la partida transporte de materiales, para la ejecución de esta partida se necesitan básicamente dos equipos: el equipo que carga (excavadora o cargador frontal) y el equipo que transporta (volquete). Los resultados van a ser válidos para ambos equipos, en condiciones similares a la obra “Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Canta – Huayllay” (ubicada en la parte central del país, en los departamentos de Lima, Junín y Pasco, pertenece a la ruta N° 018 de la red vial nacional y se extiende sobre los departamentos de Lima, Junín y Pasco, provincias de Canta, Yauli y Pasco entre 2,800 msnm. y 4,680 msnm, con topografía accidentada, ejecutada en los años 2014 – 2015).

Algunas limitaciones que se tuvo son los trabajos a medio tiempo por las neblinas densas o lluvias que se presentaron en la zona del proyecto, reduciendo las 8 horas de trabajo y el control del rendimiento diario que se realizaba, los datos de estos días no han sido tomados en cuenta.

No se han considerado todos los equipos que se usan en la obra, sólo se ha tenido en cuenta el volquete, la excavadora y el cargador frontal.

Se han revisado sólo los proyectos aprobado en Provias Nacional en el periodo 2011 – 2016, un total de 47 proyectos.

Conocer los parámetros o variables del transporte de materiales, va a permitir sincerar la base de cálculo del transporte de materiales en la elaboración de los expedientes técnicos, además va a sincerar el costo de futuros proyectos de infraestructura vial.

Asimismo, conocer el costo por kilómetro de carretera, va a permitir saber en forma rápida estimar el costo del proyecto dependiendo de su ubicación.

Conociendo el ratio de consumo de combustible del volquete será un pequeño aporte para actualizar los ratios de consumo de todos los equipos de construcción y sus rendimientos, ya que actualmente para el caso de los rendimientos venimos usando los aprobados con Resolución Ministerial N° 0001-87-TC/VMT de fecha 05 de enero de 1987, es lógico pensar que desde 1987 a la fecha los equipos han tenido mejoras en su fabricación, han aumentado sus rendimientos y reducido sus consumos de combustible.

El presente trabajo pretende ser un pequeño aporte en la optimización de costos de los proyectos de infraestructura vial.

Para el análisis de la partida transporte de materiales se ha usado la información de la obra “Rehabilitación y mejoramiento de la carretera Canta – Huayllay”. La toma de datos en obra es a través de partes diarios de producción (donde se anota los recursos usados: mano de obra, materiales, equipos y producción del día), y otro formato es la hoja de ruta del volquete (donde se anota todo el ciclo del volquete: tiempo de carguío, tiempo de transporte cargado, tiempo de descarga y tiempo de retorno vacío, además kilómetro inicial y final, tipo de material que se traslada, entre otros). Con estos datos se ha procesado en gabinete y se han calculado todos los parámetros o variables del transporte de materiales.

Se hizo un análisis detallado de 47 proyectos aprobados en Provias Nacional (PVN) durante el periodo 2011 – 2016 a través de la Unidad Gerencial de Estudios, se ha recopilado los presupuestos de cada proyecto, luego se ha clasificado por zonas y finalmente con cuadros estadísticos se ha procesado la información para obtener los costos por kilómetro de carretera y la incidencia del transporte de materiales en los proyectos de infraestructura vial.

Finalmente se va a concluir con un comparativo entre los resultados de las variables obtenidos en obra versus lo considerado en el expediente técnico para la partida transporte de materiales.

I CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERÍA Y DIRECCIÓN DE PROYECTOS

III CONGRESO IPMA-LATNET

ANÁLISIS DEL TRANSPORTE DE MATERIALES EN OBRAS VIALES

Helen Michel Hilario Teodoro ^a

^a Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería, Calle Mártir Olaya 162 – Miraflores, Lima, Perú.

Correspondencia: maycol318@gmail.com

Palabras claves: transporte de materiales, obras viales, movimiento de tierras, carreteras, análisis de riesgo, confiabilidad.

RESUMEN

En la construcción de carreteras, el transporte de materiales es una de las partidas más incidentes en el presupuesto de obra por lo que merece un análisis especial, vamos a demostrar la incidencia con una estadística de proyectos históricos elaborados en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC).

Aparentemente la partida transporte de materiales es muy sencillo ya que consiste en transportar un material de un lugar a otro, sin embargo tiene sus particularidades que van a ser analizados a detalle.

Para el análisis del transporte de materiales usaremos la información de la obra "Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Canta – Huayllay", se evaluarán todos los recursos que se usan para su ejecución, los rendimientos por distancias, ratios de consumo de combustible de los equipos, costos unitarios reales para distancias menores y mayores a 1 km, velocidades de transporte tanto cargados como vacíos, y finalmente el análisis de riesgo de la partida que nos permitirá identificar el recurso más incidente para tomar decisiones de mejora o superar deficiencias.

Todos los resultados obtenidos en el análisis, serán comparados con el expediente técnico aprobado, planteando las recomendaciones necesarias.

Keywords: transportation of materials, roadworks, earthworks, roads, risk analysis, reliability.

ABSTRACT

In the construction of roads, the transportation of materials is one of the most incidental items in the budget of work for which it deserves a special analysis, we are going to demonstrate the incidence with a statistic of historical projects which were elaborated in the Ministry of Transport and Communications (MTC).

Apparently, the transport of materials is very simple because it consists of transporting materials from one place to another; however, it has its particularities that are going to be analyzed in detail.

For the analysis of the transportation of materials, we will use the information of the work "Rehabilitation and Improvement of the Highway Canta - Huayllay", all the resources that are used for its execution will be evaluated, the yields by distances, fuel consumption, ratios of the equipment, real unit costs for distances that are less than and greater than 1 km, empty and loaded transportation speed, and finally the analysis of risk of the project that will allow

us to identify the most incident resource to take decisions of improving or overcoming deficiencies.

All the results obtained in the analysis, will be compared with the approved technical report, proposing the necessary recommendations.

1. Introducción

El transporte de materiales en las obras de infraestructura vial es importante debido a la gran cantidad de material que se tiene que trasladar de un punto a otro, por ejemplo en el movimiento de tierras (excavación de material suelto, roca suelta y roca fija, terraplenes, mejoramientos, derrumbes, etc.), en el pavimento (sub base granular, base granular, concreto asfáltico, etc.), en las obras de drenaje (cunetas, alcantarillas, muros, sub drenes, pases vehiculares, zanjas de coronación, gaviones, etc.), en los puentes, en los túneles entre otros.

Además en obra se tiene las canteras y depósitos de material excedente ubicados en diferentes puntos del tramo y con capacidades limitadas, haciendo que el transporte de materiales sea una partida que incide en el presupuesto de obra, por lo tanto merece que se analice a detalle.

Con este fin, se va a analizar todos los recursos (mano de obra, materiales y equipos) que se usan para desarrollar el transporte de materiales, los rendimientos en obra, el ciclo y velocidad del volquete para diferentes distancias, el consumo de combustible, los costos y riesgos.

Finalmente estos resultados lo vamos a comparar con el expediente técnico aprobado.

2. Importancia

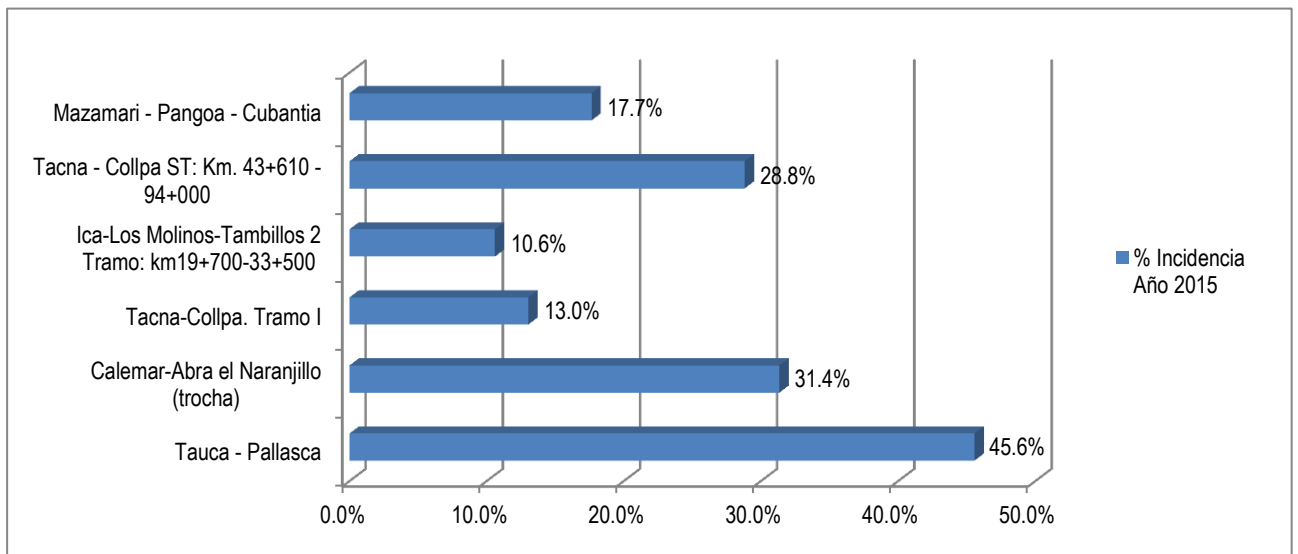
Para demostrar que el transporte de materiales es importante en las obras de infraestructura vial, vamos a usar la información histórica de los proyectos aprobados por el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Provias Nacional¹ y conocer la incidencia con respecto al costo directo del proyecto.

2.1 Proyectos del Año 2015

En la figura 1, se muestran los proyectos aprobados durante el año 2015 donde el porcentaje de incidencia del costo del transporte de materiales varía de 10.6% a 45.6% con respecto al costo directo del proyecto.

¹ Información tomado de los expediente técnicos aprobados en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Provias Nacional, de la página web en la parte de “Expedientes Técnicos” en el link: <http://www.proviasnac.gob.pe/frmConcursosyLicitaciones.aspx?idmenu=565#>

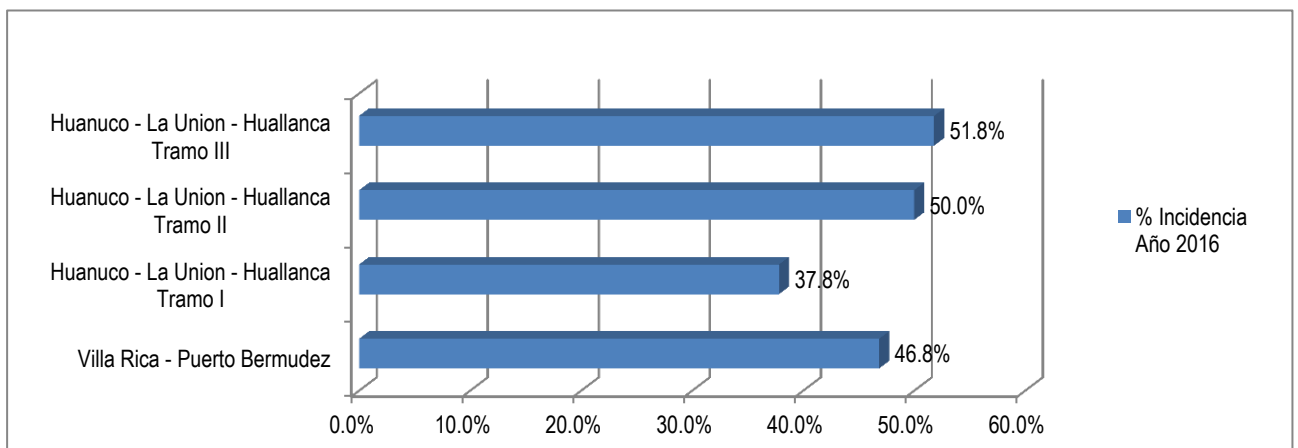
Figura 1: Porcentaje de Incidencia del Transporte de Materiales, proyectos año 2015.



2.2 Proyectos del Año 2016

En la figura 2, se muestran los proyectos aprobados durante el año 2016 donde el porcentaje de incidencia del costo del transporte de materiales varía de 37.8% a 51.8% con respecto al costo directo del proyecto.

Figura 2: Porcentaje de Incidencia del Transporte de Materiales, proyectos año 2016.



2.3 Costo por Km de Obras Viales

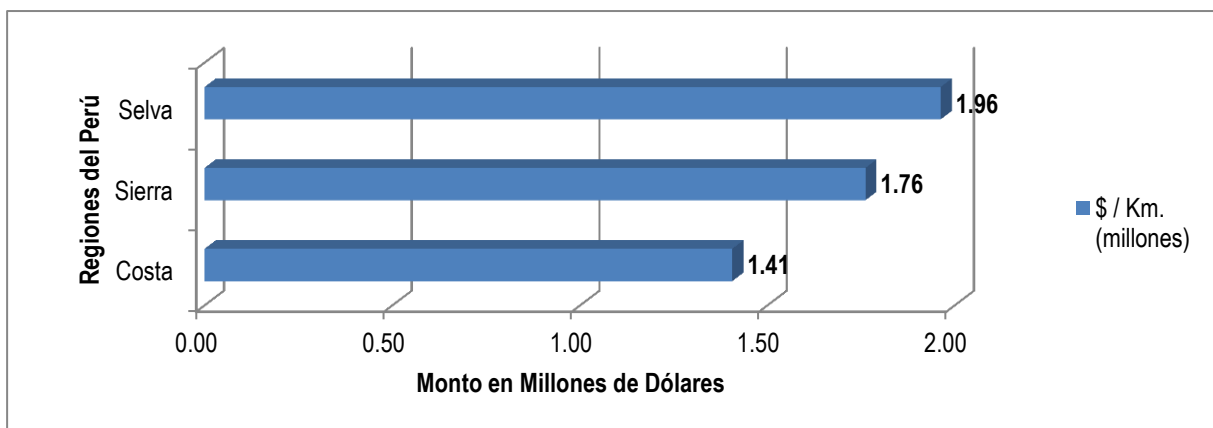
Con los presupuestos de proyectos aprobados en el Ministerio de Transportes y Comunicaciones – Provias Nacional, se calculó el costo por kilómetro de carretera.

Con el fin de comparar los costos por kilómetro de carretera de los proyectos, aprobados entre los años 2011 y 2016, con fecha de corte diciembre 2016, se actualizó los costos usando los datos de inflación del Banco Central de Reservas del Perú y para la conversión el tipo de cambio 3.398 del Ministerio de Economía y Finanzas.

Tabla 1: Costo por Kilómetro de Carreteras - PVN (2011 - 2016)

ITEM	DESCRIPCIÓN	SOLES (S/.)	DOLARES (\$)
1	COSTA	S/. 4,778,403.50	\$1,406,239.99
2	SIERRA	S/. 5,987,102.20	\$1,761,948.85
3	SELVA	S/. 6,669,716.45	\$1,962,835.92
PROMEDIO			\$1,710,341.59

Tipo de Cambio - MEF: 3.398 (http://www.mef.gob.pe/contenidos/tipo_cambio/tipo_cambio.php)

Figura 3: Costo por Kilómetro de las Carretera – PVN (2011-2016)

En la tabla 1 y en la figura 3, se muestra lo siguiente:

En los proyectos de la costa, el ratio del costo por Km de carretera es de 1.41 millones de dólares, un dato consistente porque representa a 12 proyectos.

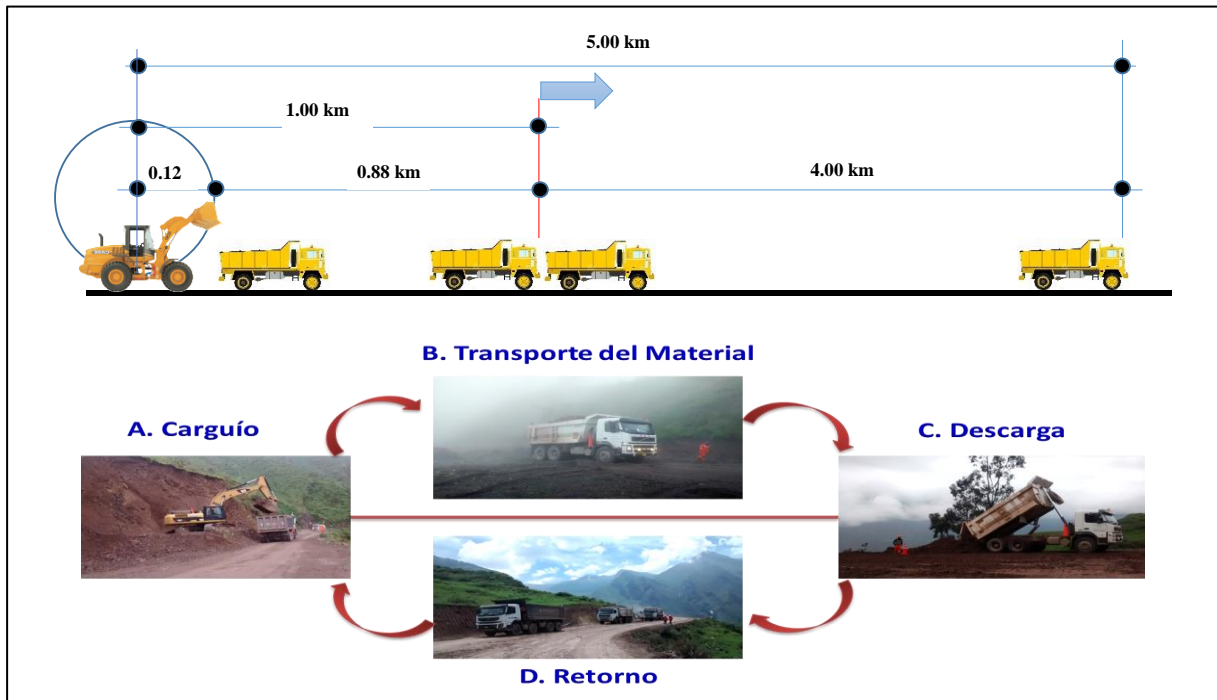
En los proyectos de la sierra, entre 2300 a 3800 msnm, el ratio del costo por Km de carretera es de 1.76 millones de dólares, un dato consistente porque representa a 14 proyectos. El ratio aumenta debido a la falta de depósitos de material excedente, lo cual genera un incremento en los costos de transporte de desechos y excedentes.

En los proyectos de la selva, el ratio del costo por Km de carretera es de 1.96 millones de dólares, un dato consistente porque representa a 13 proyectos. El ratio se eleva, debido a la falta de agregados en la zona del proyecto, incrementando los costos de transporte de agregados.

2.4 Diagrama del Transporte de Materiales

En la figura 4 se muestra el diagrama de transporte de materiales: el carguío, transporte, y la descarga del material, y el retorno del volquete.

Figura 4: Diagrama del Transporte de Materiales



3. Objetivos

3.1 Objetivo General

- Comparar y analizar los criterios que se usan para elaborar el expediente técnico y los resultados obtenidos en obra, del transporte de materiales en obras viales.

3.2 Objetivo Específico

- Determinar la incidencia del transporte de materiales en obras viales.
- Determinar el costo por km de obras viales.
- Determinar los ratios de consumo de combustible y ciclo de los volquetes.
- Determinar las velocidades y rendimientos de los volquetes.
- Determinar los costos unitarios para distancias menores y mayores de 1 km.

4. Metodología

La metodología que se va a usar para lograr nuestro objetivo es la observación, donde a través de controles en obra del transporte de materiales vamos a recolectar la información necesaria y luego procesar.

4.1 Control de Costos

El costo de la partida de transporte de materiales, es la suma del costo de todos los recursos que se usan para ejecutar la actividad: mano de obra, materiales y equipos.

El costo unitario resulta del costo total entre la producción del día.

4.2 Controles de Obra

Para obtener los datos de obra, es necesario usar formatos o reportes que personal capacitado debe anotar a diario, entre estos tenemos:

Hoja de Ruta del Volquete: para obtener los datos del operador, del volquete, cantidad de combustible suministrado al volquete, tipo de material a transportar, capacidad del volquete, kilómetro inicial y final del recorrido, tiempo de inicio de carga del material, tiempo de salida del punto de carguío, tiempo de llegada al punto de descarga, tiempo de salida del punto de descarga, tiempo de llegada al punto de carguío, motivo de demora o paralización.

Las distancias y los tiempos son anotados en cada viaje que realiza el volquete, y el formato es llenado por el operador del volquete, quien es capacitado para su correcto llenado.

Asimismo nos permite saber la producción del día de cada volquete, a nivel de volumen del material transportado (m³) que luego en gabinete será procesado para el cálculo en m³-km.

Parte Diario de Producción: para obtener los recursos usados como mano de obra, materiales, equipos y producción diaria por frente de trabajo.

Este formato es llenado por el controlador de campo, quien cruza información de la producción con el operador del volquete.

Reportes de Control: Toda la información que se toma en campo debe ser procesado en gabinete por los ingenieros en una base de datos, que nos permita calcular todos los datos que requerimos.

5. Resultados

Todos los resultados son de la obra “Rehabilitación y Mejoramiento de la Carretera Canta – Huayllay”, obtenidos entre el 2014 y 2015 durante mi permanencia en obra.

La carretera Canta – Huayllay se encuentra ubicada en la parte central del país, en los departamentos de Lima, Junín y Pasco, pertenece a la Ruta N° 018 de la Red Vial Nacional y se extiende sobre los departamentos de Lima, Junín y Pasco, provincias de Canta, Yauli y Pasco entre 2,800 m.s.n.m. y 4,680 m.s.n.m. (según expediente técnico).

Tabla 2: Incidencia del Transporte de Materiales en el Presupuesto.

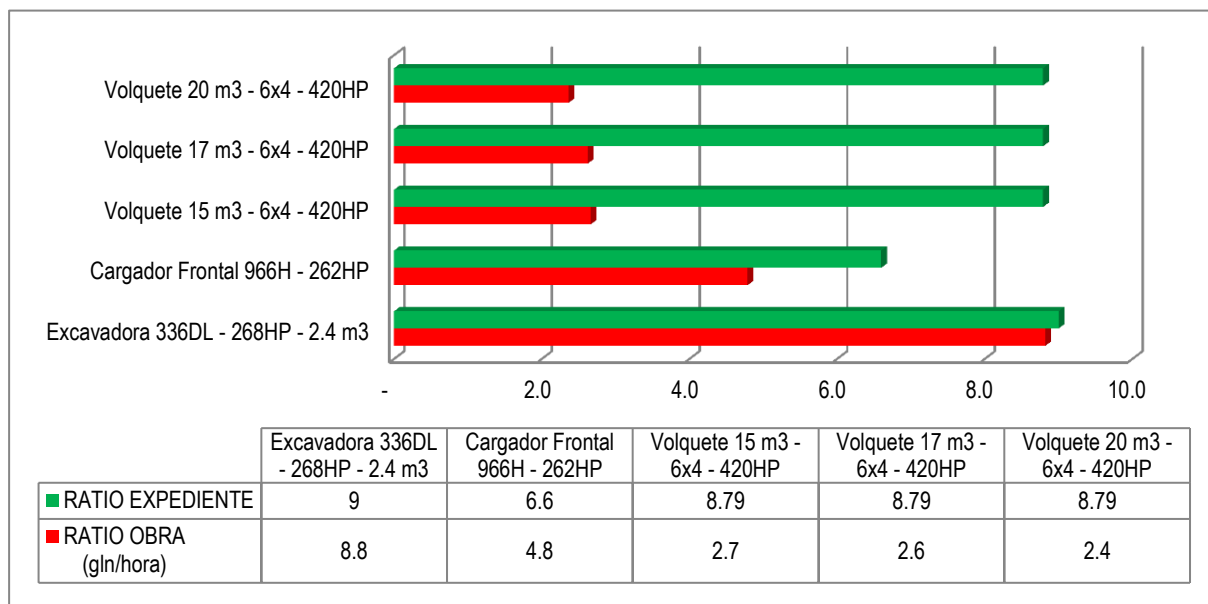
ITEM	DESCRIPCIÓN	MONTO (S/.)	%
100	OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES	2,714,779.52	0.9%
200	MOVIMIENTO DE TIERRAS	50,302,941.49	17.3%
300	BASES Y SUB-BASES	21,679,967.71	7.5%
400	PAVIMENTO ASFALTICO	52,369,502.57	18.0%
600	OBRAS DE ARTE	31,819,732.02	10.9%
700	TRANSPORTES	88,510,010.20	30.4%
800	SEÑALIZACION Y SEGURIDAD VIAL	34,202,140.25	11.8%
900	PROTECCION AMBIENTAL	5,342,738.15	1.8%
1100	PONTONES	3,917,372.10	1.3%
		290,859,184.01	100.00%

Fuente de datos: Expediente Técnico (www.proviasnac.gob.pe)

5.1 Ratio de Consumo de Combustible

El ratio de consumo de combustible de los equipos resulta de la cantidad total de combustible (galones) entre las horas de trabajo del equipo durante un largo periodo de tiempo.

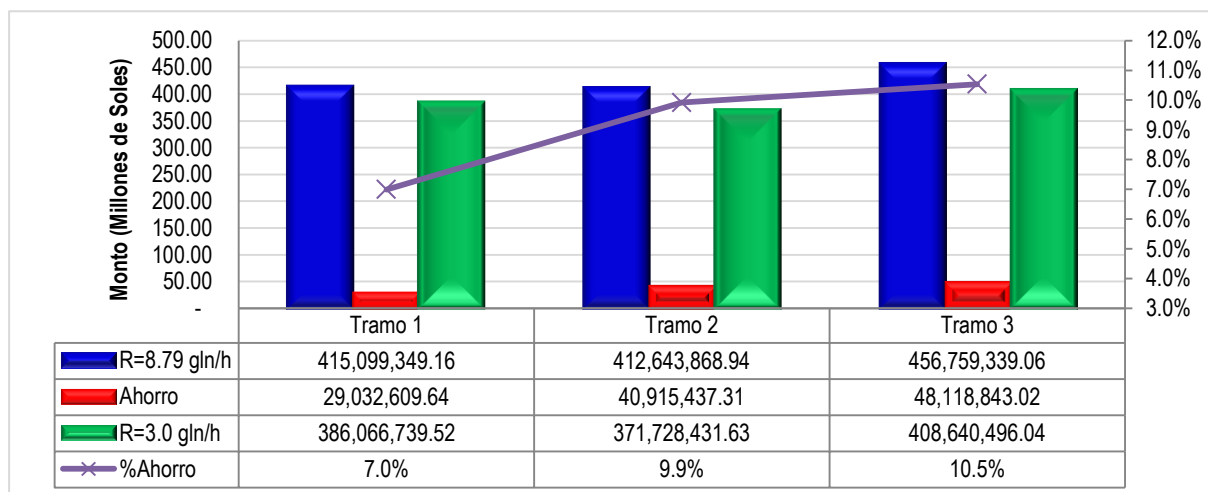
Figura 5: Ratio de Consumo de Combustible (galón/hora)



En la figura 5 se puede observar que el ratio del consumo del combustible del volquete en obra es como máximo de 2.7 gln/hora y en el expediente técnico se considera 8.79 gln/hora.

Considerando el resultado anterior, en la figura 6 se muestra cuál es la incidencia cuando se considera una ratio de consumo de combustible (R) del volquete de 3 gln/hora en 3 proyectos que se han aprobado en el periodo 2016 – 2017 en Provias Nacional.

Figura 6: Presupuesto según ET considerando R=8.79 gln/h vs R=3 gln/h



Proyectos: Estudio definitivo para el mejoramiento de la carretera Huánuco – Conococha, sector Huánuco – La Unión – Huallanca, ruta PE-3N. Tramos 1, 2 y 3 (Fuente: Provias Nacional)

5.2 Tiempo del Ciclo y Velocidad del Volquete

El tiempo del ciclo de volquete es la suma del tiempo de carga, el tiempo de transporte, el tiempo de descarga, y el tiempo de retorno del volquete.

Tiempo de carga y descarga: se considera como equipo que carga una excavadora sobre oruga Caterpillar 336DL de 2.40 m³ y 268 HP, los volquetes de descarga un volquete Volvo FM12 6x4 de 15 m³ y 17 m³. En la tabla 3 se muestran los tiempos obtenidos en obra.

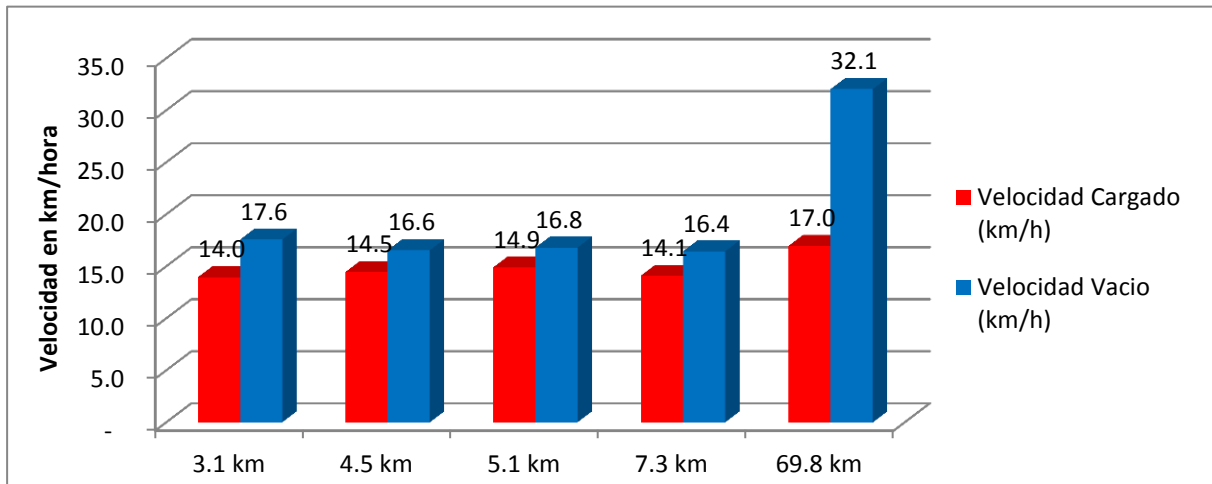
Tabla 3: Tiempo promedios de carga con excavadora y descarga con volquetes.

ITEM	DESCRIPCIÓN	N° DE VIAJES	TIEMPO PROM. DE CARGA (min)	TIEMPO PROM. DE DESCARGA (min)
1	Febrero 2015	7,879.00	02:14	01:53
2	Marzo 2015	9,202.00	02:37	01:43
3	Abril 2015	14,532.00	02:34	01:44
4	Mayo 2015	2,992.00	02:30	01:24
		34,605.00	00:02:29	00:01:41

Según el expediente técnico en la partida de Transporte de Desechos y Excedentes, el tiempo de carga es de 7.5 minutos y el tiempo de descarga es de 4.0 minutos.

Cálculo de velocidad cargado y vacío: la velocidad es el resultado de la distancia entre el tiempo de recorrido, en la figura 7 se muestran las velocidades obtenidas en obra.

Figura 7: Velocidades de los Volquetes, por distancias.



En el expediente técnico se considera velocidad cargado de 20 km/h y velocidad vacío de 30 km/h para distancias menores a 1 km, y velocidad cargado de 25 km/h y velocidad vacío de 35 km/h para distancias mayores a 1 km.

Tiempo del Ciclo: ya habiendo obtenido los tiempos de carga y descarga, y las velocidades, elaboramos la tabla 4, el ciclo teórico del volquete para diferentes distancias.

Tabla 4: Ciclo teórico de los volquetes según distancia de transporte.

Distancia (km)	Vel. Cargado (km/h)	Vel. Vacío (km/h)	Tiempo Carga (min)	Tiempo Ida (min)	Tiempo Descarga (min)	Tiempo Retorno (min)	Ciclo (min)
0.5 km	14	17	3	2.1	2	1.8	8.9
1.0 km	14	17	3	4.3	2	3.5	12.8
2.0 km	14	17	3	8.6	2	7.1	20.7
3.0 km	14	17	3	12.9	2	10.6	28.5
4.0 km	14	17	3	17.1	2	14.1	36.2
5.0 km	14	17	3	21.4	2	17.6	44
6.0 km	14	17	3	25.7	2	21.2	51.9
7.0 km	14	17	3	30	2	24.7	59.7
8.0 km	14	17	3	34.3	2	28.2	67.5
9.0 km	14	17	3	38.6	2	31.8	75.4
10.0 km	14	17	3	42.9	2	35.3	83.2

En el expediente técnico se considera un ciclo de 16.5 minutos para 1 km.

5.3 Rendimiento del Volquete

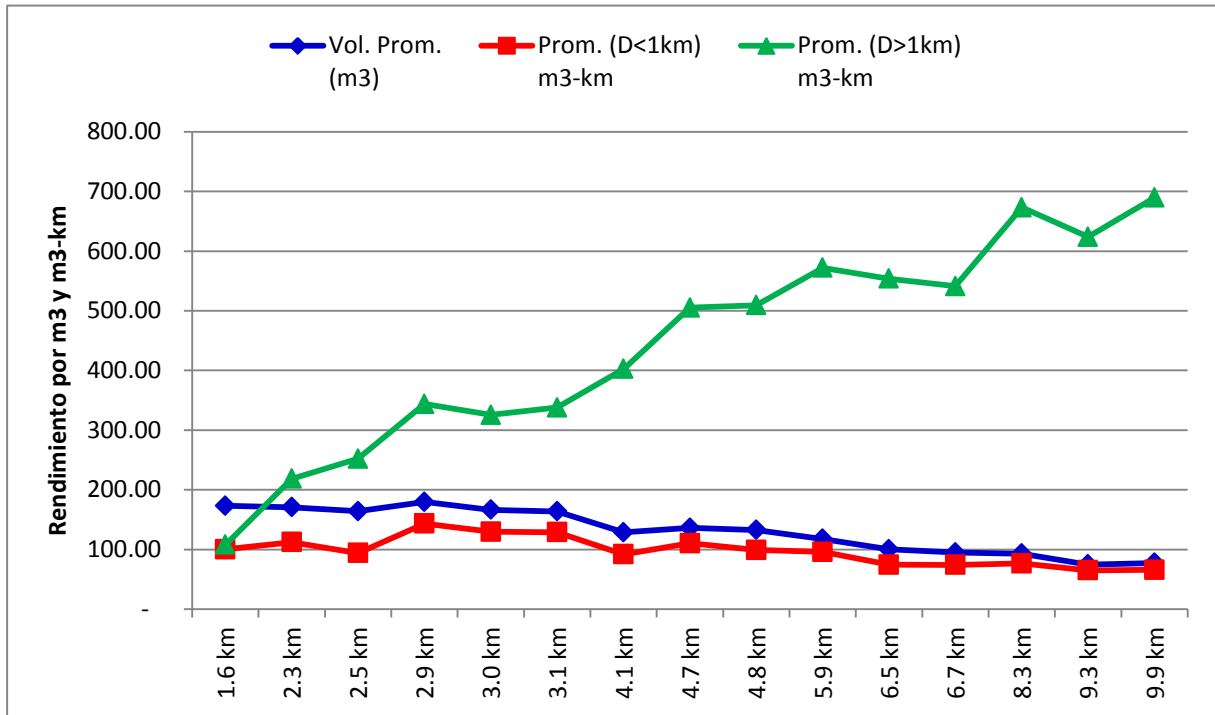
Según el expediente técnico, el rendimiento diario para el transporte de desechos y excedentes, es de 300 m³-km y de 1,212 m³-km para distancias menor y mayor a 1 km. En obra se obtuvo rendimientos promedios máximos de 143 m³-km y 689 m³-km para distancias menor y mayor a 1 km respectivamente, tal como se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Rendimiento mensual y promedio diario de los volquetes.

Nº	Código del Volquete	Vol. Total (m ³)	Total (D<1km) m ³ -km	Total (D>1km) m ³ -km	Nº días	Vol. Prom. (m ³)	Prom. (D<1km) m ³ -km	Prom. (D>1km) m ³ -km	Distancia Prom.
1	VOLD31	4,500.00	2,607.04	2,804.69	26	173.08	100.27	107.87	1.6 km
2	VOLD10	4,097.00	2,691.44	5,243.56	24	170.71	112.14	218.48	2.3 km
3	VOLD01	4,267.00	2,442.73	6,551.23	26	164.12	93.95	251.97	2.5 km
4	VOLD32	4,845.00	3,868.52	9,280.52	27	179.44	143.28	343.72	2.9 km
5	VOLD18	3,995.00	3,110.83	7,815.33	24	166.46	129.62	325.64	3.0 km
6	VOLD17	4,420.00	3,480.07	9,124.65	27	163.70	128.89	337.95	3.1 km
7	VOLD14	3,213.00	2,294.78	10,064.56	25	128.52	91.79	402.58	4.1 km
8	VOLD20	3,536.00	2,871.30	13,133.64	26	136.00	110.43	505.14	4.7 km
9	VOLD07	3,451.00	2,573.29	13,238.76	26	132.73	98.97	509.18	4.8 km
10	VOLD11	2,941.00	2,395.47	14,303.51	25	117.64	95.82	572.14	5.9 km
11	VOLD03	2,703.00	2,007.07	14,951.13	27	100.11	74.34	553.75	6.5 km
12	VOLD09	2,465.00	1,928.71	14,073.89	26	94.81	74.18	541.30	6.7 km
13	VOLD04	2,414.00	1,992.91	17,503.40	26	92.85	76.65	673.21	8.3 km
14	VOLD19	1,870.00	1,624.95	15,594.20	25	74.80	65.00	623.77	9.3 km
15	VOLD08	2,091.00	1,774.46	18,621.46	27	77.44	65.72	689.68	9.9 km

En la figura 8, se muestra el rendimiento promedio diario de los volquetes, según distancias, que se han obtenido en obra.

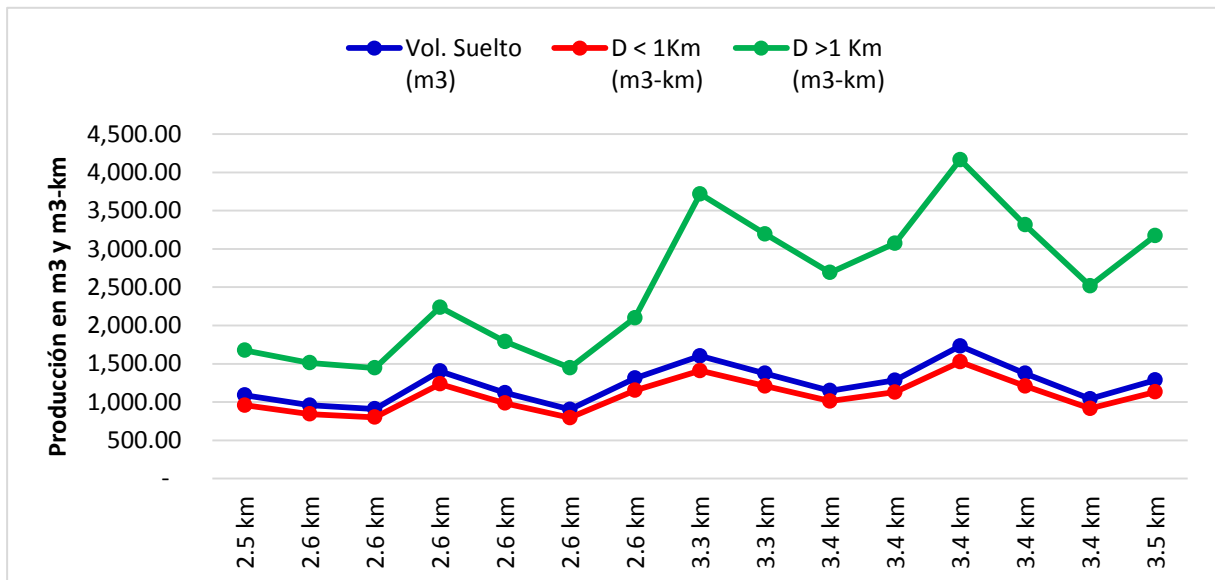
Figura 8: Rendimiento promedio diario de los volquetes, por distancias.



5.4 Producción de un Frente de Trabajo

En obra, el transporte de desechos y excedentes se realiza por frentes de trabajo, en donde se tienen asignados varios volquetes.

Figura 9: Producción diaria del transporte de desechos y excedentes.



Por frente de trabajo, se obtiene rendimientos diarios para distancias entre 2.5 km a 3.5 km de 1,000 m3-km para distancias menores a 1 km y un promedio de 3,000 m3-km para distancias mayores a 1 km, tal como se muestra en la figura 9.

5.5 Costo de Transporte de Materiales

De acuerdo a la producción mensual de cada volquete, se realiza su valorización con los precios del expediente técnico, obteniendo los resultados de la figura 10.

Figura 10: Valorización de la producción mensual, con precios del Expediente Técnico.

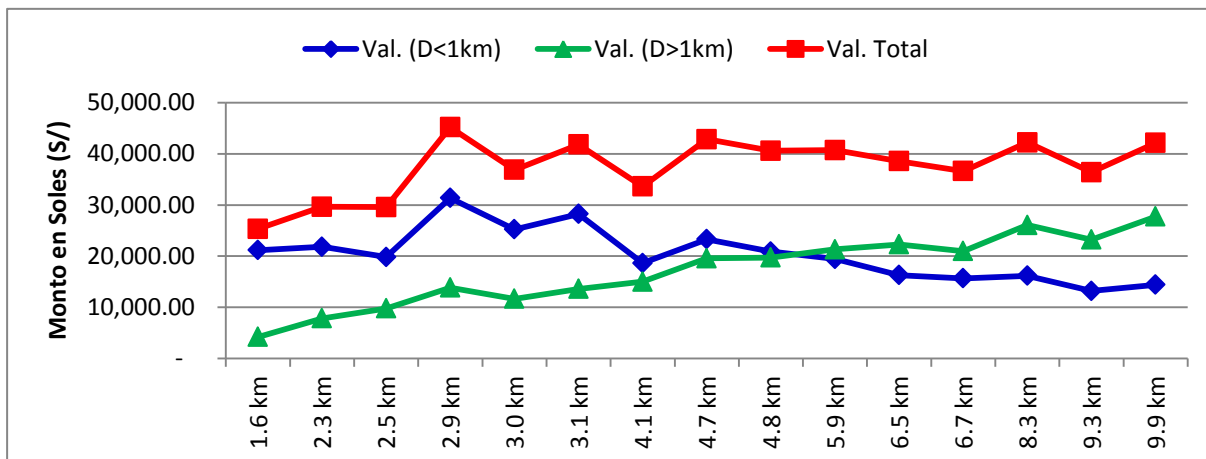
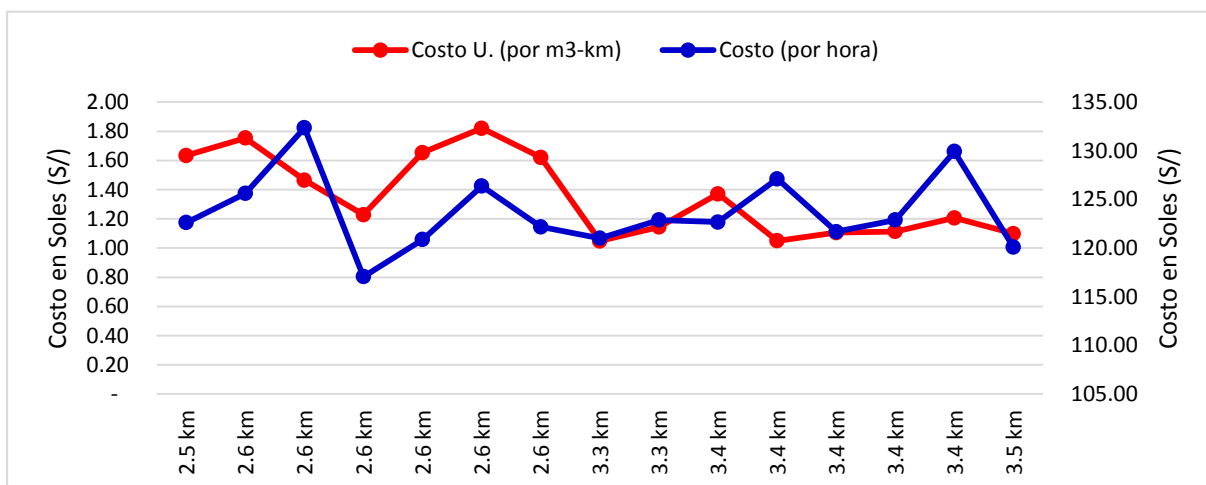


Figura 11: Costo Unitario ponderado m3-km vs Costo por hora.



El costo unitario ponderado por m3-km del expediente técnico de la partida de transporte de materiales y excedentes es de S/ 1.85 mientras que en obra obtenemos un costo unitario promedio de S/ 1.35. Asimismo, calculamos como referencia el costo de producción por hora, teniendo un promedio de S/ 124 por hora, tal como se muestra en la figura 11.

6. Conclusiones

- El análisis de transporte de materiales que se realizó es un comparativo entre los criterios que se utilizan en el expediente técnico elaborado en gabinete y los resultados obtenidos en obra.
- El transporte de materiales es importante en las obras de infraestructura vial, porque incide hasta en un 50% del costo directo del proyecto.

- En obra, el ratio de consumo de combustible del volquete es de 2.70 gln/h como máximo y difiere mucho del expediente técnico que considera 8.79 gln/h. Considerando un ratio de 3.0 gln/h en 3 proyectos aprobados, el presupuesto se reduce hasta en un 10%.
- Los tiempos de carga y descarga en obra es de 2.5 y 1.68 minutos respectivamente, mientras que en el expediente técnico se considera 7.50 y 4 minutos. Además, las velocidades cargado y vacío en obra del volquete son de 14 y 17 km/h respectivamente y se obtiene hasta 17 y 30 km/h, En el expediente técnico se consideran velocidades cargado y vacío de 20 y 30 km/h respectivamente y llegando hasta 25 y 35 km/h.
- Los rendimientos por volquete en obra son de 143 y 689 m³-km para distancias menor y mayor a 1 km respectivamente, en el expediente técnico se consideran rendimientos de 300 y 1,212 m³-km respectivamente. Los rendimientos por frente de trabajo considerando entre 5 y 6 volquetes oscila entre 1,087.33 y 2,536.40 m³-km para distancias menores y mayores de 1 km.
- Los costos unitarios ponderados en obra se obtuvo S/ 1.35 por m³-km y en el expediente técnico resulta S/ 1.85 por m³-km. El costo ponderado, resulta de dividir el costo total de los recursos entre la suma de metrados, para distancias menor y mayor a 1 km. Asimismo, en obra se obtiene el costo de producción promedio de S/ 124 por hora de cada volquete.

Referencias Bibliográficas

1. Caterpillar (Enero 2016). *Manual de Rendimiento Caterpillar*. (46ava Edición). Peoria, Illinois, EE.UU.: Caterpillar Inc.
2. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (Junio 2013). *Manual de Carreteras "Especificaciones Técnicas Generales para Construcción EG-2013"*. Lima, Perú. Obtenido de http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/manuales.html
3. Peurifoy, R. L., Schexnayder, C. J. & Shapira, A. (2006). *Construction Planning, Equipment and Methods*. (7th Edition). New York: The McGraw-Hill Companies.
4. Provias Nacional (2017). *Expedientes Técnicos*. Lima, Perú: Obtenido de: <http://www.proviasnac.gob.pe/frmConcursosyLicitaciones.aspx?idmenu=565#>
5. Provias Nacional (2017). Expediente Técnico, Licitaciones, 2013. *Mejoramiento, Rehabilitacion y Conservacion por Niveles de Servicio del Corredor Vial Lima – Canta – Huayllay – Dv. Cochamarca – Empalme PE 3N*. Lima, Perú: Obtenido de: <http://gis.proviasnac.gob.pe/Expedientes/2013/LPI%200002-2013/Expediente%20Canta%20-%20Huayllay/>
6. Ramos Salazar, J. (Octubre 2011) *El Equipo y sus Costos de Operación*. (Quinta Edición) Fondo Editorial CAPECO.
7. Ministerio de Transportes y Comunicaciones (2016). *Plan Operativo Institucional 2017*. Lima, Perú. Obtenido de http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/P_recientes/9497.pdf

Recomendaciones

Se debe hacer un estudio detallado del transporte de materiales en los expedientes técnicos, a fin de optimizar los costos del proyecto. Mucho depende de las distancias y capacidad de las canteras y depósitos de material excedente.

Sincerar el ratio de consumo de combustible en los expedientes técnicos, ya que se puede reducir el presupuesto hasta en un 10% de los proyectos.

Sincerar los tiempos de carguío y descarga en los expedientes técnicos, ya que se demostró que en obra se obtiene hasta el 50% del considerado.

A fin de aumentar las velocidades cargadas y vacías de los volquetes en obra, se debe realizar el mantenimiento de la vía. Esta actividad nos permite reducir el ciclo del transporte de materiales y aumentar la producción, reduciendo los costos.