

Transito en una carretera usando simulación

Wilmer Atoche

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, watoche@pucp.edu.pe

Jonatán Rojas

Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú, jrojas@pucp.edu.pe

ABSTRACT

This research can simulate the traffic on the road Kunturwasi in Cajamarca, Peru between kilometers 00 and 74 (K00 to K74). First determined the measurement points in the pathway of study, then proceeded to measure 24 hours a day for 14 consecutive days having as variables the type of vehicle, the time (hour and minute) passing through the measuring point, with this information you find average speeds for each type of vehicle and eventually built a simulation model using the Arena software version 13.9.

Relevant variables are: the type of vehicle, direction of traffic, geography of the road and the flow of the track, with the data processed and implemented in the model used to simulate traffic operations between posts measurement, identified and measured in the study of traffic and transport.

The investigation concluded, after evaluating the results the model gives us enough information to evaluate the average transport time by type of vehicle, date and time of day. Additionally you can project the impact of increased traffic on the road Kunturwasi.

Keywords: traffic, simulation

RESUMEN

Esta investigación permite simular el transito en la vía Kunturwasi en Cajamarca-Perú entre los kilómetros 00 y 74 (K00 hasta K74). Primero se determinó los puntos de medición en la vía de estudio, luego se procedió a la medición las 24 horas del día durante 14 días consecutivos teniendo como variables el tipo de vehículo, el instante (hora y minuto) de paso por el punto de medición; con esta información se encuentran las velocidades promedio para cada tipo de vehículo y finalmente se construyó un modelo de simulación empleando el software Arena versión 13.9.

Las variables relevantes en el modelo son: el tipo de vehículo, el sentido de transito, la geografía de la carretera y el flujo de la vía, con estos datos procesados e implementados en el modelo se usan para simular las operaciones de tránsito entre los puestos de medición, identificados y medidos en el estudio de tránsito y transporte.

La investigación concluye, luego de evaluar los resultados que el modelo nos brinda información suficiente para poder evaluar el tiempo promedio de transporte según el tipo de vehículo, día y hora del día. Adicionalmente se puede proyectar el impacto del incremento de tráfico en la vía Kunturwasi.

Palabras claves: transito, simulación

1. INTRODUCCIÓN

En los últimos años existe un incremento sustancial en la explotación de los minerales en muchas regiones de todo el territorio nacional, así como la de diversos proyectos en espera de su ejecución, sin embargo para reducir el impacto negativo tanto en el entorno ambiental, económico como social, estos tienen que cumplir estándares internacionales medioambientales, como también respetar el entorno social alrededor de los yacimientos mineros; lo cual hace indispensable un estudio exhaustivo de los diferentes agentes participantes previo a la ejecución de los mismos.

Mediante la simulación de escenarios posibles con el uso de la información levantada en campo, es posible simular situaciones antes de su ejecución y poder estimar factores relevantes a considerar y evitar; reduciendo así los riesgos durante la ejecución de las actividades.

El proyecto consiste en realizar un estudio de tráfico vehicular en el departamento de Cajamarca – Peru, en la ruta comprendida entre el poblado de Chilete a el Proyecto Minero Conga (vía carretera Kunturwuasi); así mismo luego de este estudio se desarrolla un modelo para la simulación del tráfico y transportación de esta ruta utilizando el Software de Simulación Arena Versión 13.9, simulación que servirá para poder diagnosticar indicadores para el uso eficiente de esta carretera.

Para el cumplimiento del objetivo de realizar la simulación del presente proyecto, se realizaran las siguientes tareas: Obtención de información de campo a través del conteo y clasificación vehicular del tránsito que circula en los sub-tramos de la carretera en estudio, procesar la información obtenida en campo, seguidamente determinar estadísticos sobre la base de datos resultado del conteo, así como de la aplicación de un factor de corrección estacional, con lo cual se establece la composición del tráfico vehicular y se procede a estructurar la matriz de origen-destino de los vehículos que servirá de datos de entradas a la simulación en Arena.

2. METODOLOGÍA

Como parte de la metodología seguida en el estudio, es necesario precisar la diferencia entre tráfico y tránsito vehicular. El tráfico se define como el desplazamiento de bienes y/o personas en los medios de transporte; mientras que, el tránsito viene a ser el flujo de vehículos que circulan por la carretera; este es el objeto de este estudio.

En el desarrollo del Estudio de Tráfico, se contemplan tres etapas: Recopilación de la información, Tabulación de la información y Análisis de la información, obtención de resultados y Elaboración del Modelo de Simulación.

2.1 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información básica para la elaboración del estudio procede de dos fuentes: primarias y secundarias.

La información primaria corresponde al levantamiento de información de campo, que permitirá actualizar, verificar y/o complementar la información secundaria disponible. Como información primaria se tiene: conteos de tráfico por día y semanal, para llevar a cabo esta actividad fue necesario realizar un trabajo previo de gabinete para la preparación de los instrumentos y la planificación del trabajo de campo, que incluiría el reconocimiento de las vías de acceso, tanto de entrada como de salida a lo largo de la carretera, para identificar las estaciones de control de tráfico.

Las fuentes secundarias corresponden a la información obtenida referente al tráfico u otra de carácter complementario proveniente de MIQ LOGISTICS

2.2 RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

La información básica para la elaboración del estudio procede de dos fuentes: primarias y secundarias.

La información primaria corresponde al levantamiento de información de campo, que permitirá actualizar, verificar y/o complementar la información secundaria disponible. Como información primaria se tiene: conteos de tráfico por día y semanal, para llevar a cabo esta actividad fue necesario realizar un trabajo previo de gabinete para la preparación de los instrumentos y la planificación del trabajo de campo, que incluiría el reconocimiento de las vías de acceso, tanto de entrada como de salida a lo largo de la carretera, para identificar las estaciones de control de tráfico.

Las fuentes secundarias corresponden a la información obtenida referente al tráfico u otra de carácter complementario proveniente de MIQ LOGISTICS

3.2.1. TRABAJO DE CAMPO.

Antes de realizar el trabajo de campo propiamente dicho, y con el propósito de identificar y precisar in situ las estaciones predeterminadas, se realizó el reconocimiento de la carretera desde Km. 00 hasta la bifurcación de la carretera Huandoy – Bambamarca, Así como desde Cajamarca hasta el Km 24 (Ubicación de las Instalaciones de Yanacocha). De esta forma, se ubico las estaciones donde las condiciones físicas permitieran realizar adecuadamente el levantamiento de información requerida.

Finalmente, el día miércoles 15/06/2011 a las 06:00 horas se dio inicio al trabajo de campo, consistente en la aplicación de los formatos para el conteo de tráfico.

El conteo volumétrico (Conteo de Trafico) se realizo en 8 estaciones de conteo: los siete (07) días de la semana durante las 24 horas del día, desde el día 15.06.2011 hasta el 28.06.2011. El conteo se efectuó para todos los vehículos (subida - bajada), en forma simultánea y continua durante el periodo mencionado.

Tabla 1: Puntos de medición en el estudio de tráfico

Estación	Ubicación
Punto 1	Vía Kunturwasi Km 0.2
Punto 2	Vía Kunturwasi Km 19
Punto 3	Vía Kunturwasi Km 48.6
Punto 4	Vía Kunturwasi Km 73
Punto 5	Vía a Bambamarca Km 25
Punto 7	Vía a Bambamarca Km 23
Punto 8	Vía a Bambamarca Km 13.5

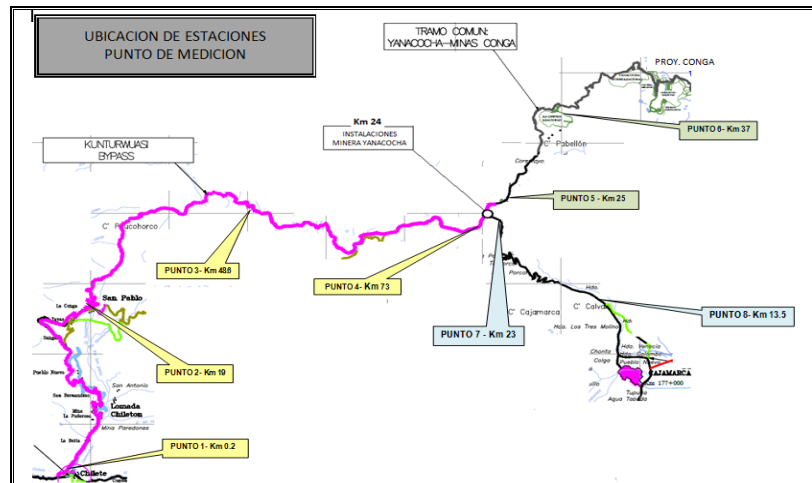


Gráfico 1: Puntos de medición en el estudio de tráfico.

3.3 TABULACIÓN DE LA INFORMACIÓN

Esta actividad corresponde íntegramente al trabajo de gabinete. La información de los conteos de tráfico obtenidos en campo ha sido procesada en formatos Excel donde se registran el, número de vehículos por hora y día, por sentido (subida y bajada), tipo de vehículo, hora.

3.4 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN Y OBTENCIÓN DE RESULTADOS

Los conteos volumétricos realizados tienen por objeto conocer los volúmenes de tráfico que soporta la carretera en estudio, así como la composición vehicular y variación diaria y horaria. Para convertir el volumen de tráfico obtenido del conteo en Índice Medio Diario (IMD), se utilizo la siguiente fórmula:

$$IMD = \frac{3(PDL) + 2(DNL)}{7}$$

Donde:

PDL = Promedio de volumen de tránsito de días laborables

DNL = Promedio de volumen de tránsito de días no laborables

3. RESULTADOS DE LA MEDICIÓN

3.1 RESULTADOS DEL CONTEO

Los conteos de las estaciones se realizaron durante catorce días consecutivos de la semana y las 24 horas del día, desde el 15.06.2011 (06:00 horas) hasta el 29.06.2011.(06:00 horas) Los resultados del conteo de tráfico y la clasificación diaria para ambos sentidos para cada punto de medición correspondiente se muestran en la figura 1; este grafico esta basado en las 171844 mediciones.

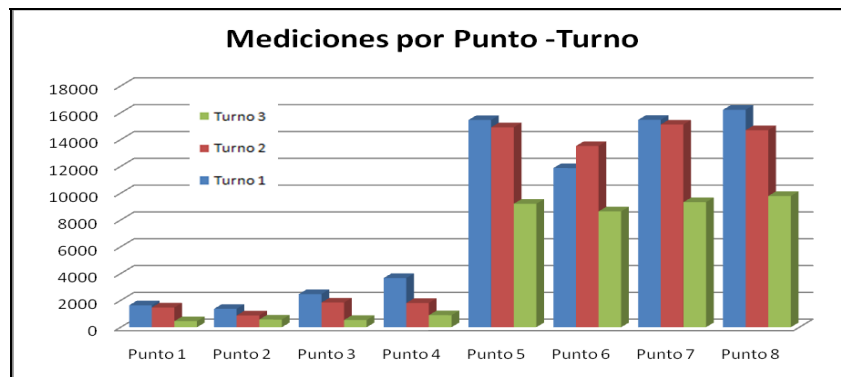


Grafico 2: Total de mediciones en cada punto estación, discriminadas por turno.

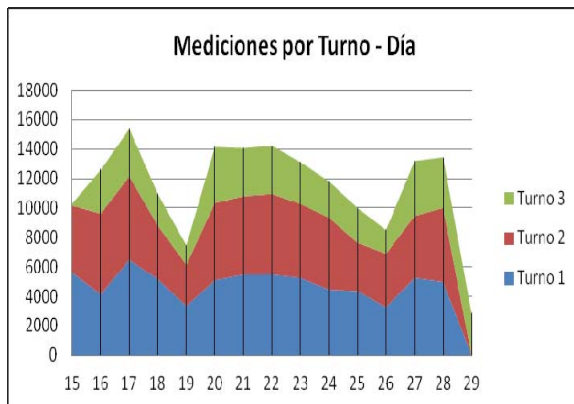


Grafico 3: Mediciones por Turno – Día

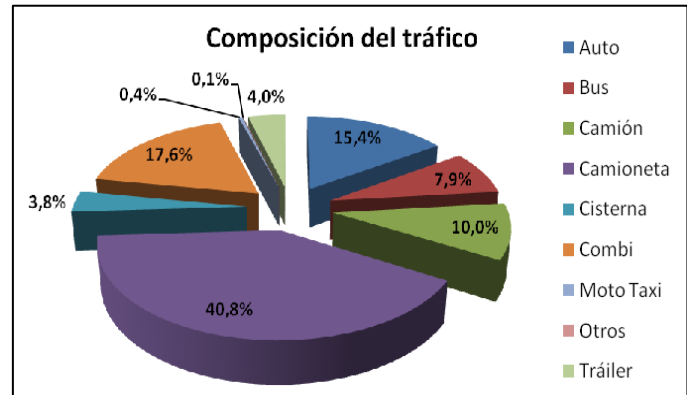


Grafico 4: Composición porcentual por tipo de vehículos

3.2 CONTEO DE TRÁFICO VEHICULAR

Luego de consolidar y dar consistencia a la información obtenida del conteo en cada una de las estaciones, se obtuvo los resultados de los volúmenes de tráfico en la vía, por tipo de vehículo y sentido, y el consolidado de ambos sentidos. El resumen del tráfico semanal y el IMD se muestran a continuación:

Tabla 2 - Índice Medio Diario - (IMD) – Junio 2011

TIPO	Día de medición															IMD	
	Mie 15	Jue 16	Vie 17	Sab 18	Dom 19	Lun 20	Mar 21	Mie 22	Jue 23	Vie 24	Sab 25	Dom 26	Lun 27	Mar 28	Mie 29	IMD	%
Auto	1688	1811	2270	1919	1861	1859	1709	1997	1905	1938	1838	2061	1703	1769	180	1893	15.4%
Bus	671	1096	1268	795	455	1118	1249	1095	1051	907	893	444	1051	1079	420	971	7.9%
Camión	1000	1065	1423	1303	712	1307	1261	1364	1548	1433	1145	750	1398	1223	195	1223	10.0%
Camioneta	4472	5476	6439	3942	2335	6025	6216	6261	5028	4380	3557	2947	5511	6166	1364	5009	40.8%
Cisterna	353	300	513	497	377	479	574	532	627	506	272	323	568	512	35	462	3.8%
Combi	1620	2172	2658	1923	1525	2652	2464	2386	2265	2070	1822	1650	2288	2234	600	2166	17.6%
Moto Taxi	40	55	77	37	61	37	22	25	42	67	57	70	34	33	7	47	0.4%
Tráiler	447	604	713	510	108	643	548	557	624	484	392	237	623	415	37	496	4.0%
Otros			3	12	7	9	3	2	9	10	15	11	6	6	2	7	0.1%
Total	10291	12579	15364	10938	7441	14129	14046	14219	13099	11795	9991	8493	13182	13437	2840	12275	100.0%

4. ELABORACIÓN DEL MODELO

Al modelo se incorporan las ubicaciones del campamento de Maqui-Maqui y el sitio de Conga (Conga Site). Se simula el flujo vehicular de acuerdo a la categorización de tipos de vehículo de la según Tabla 3.

Tabla 3: Categorización de vehículos

Número	Tipo
1	Mototaxi
2	Auto
3	Camioneta
4	Combi
5	Camión
6	Cisterna
7	Tráiler
8	Bus

A continuación se detallan los supuestos considerados por el modelo, las variables ingresadas al modelo y los indicadores operativos de resultados que se medirán a partir del mismo.

4.1 SUPUESTOS

El modelo incorpora los siguientes supuestos:

- La distancia entre el punto de medición 6 (kilómetro 37 vía Cajamarca-Bambamarca) y el Campamento Maqui-Maqui se asume equivalente a 20 kilómetros. La velocidad máxima permitida en este tramo es de 50km por hora.
- La distancia entre el Campamento Maqui-Maqui y la ubicación del proyecto Conga se asume equivalente a 20 kilómetros. La velocidad máxima permitida en este tramo es de 35km por hora.
- El tiempo promedio de recorrido partiendo de Cajamarca, ubicado en la salida a Bambamarca y hasta el punto de medición 8 (kilómetro 13.5, Porcon en la vía Cajamarca-Bambamarca) se estima en promedio en 25 minutos en función de los datos relevados durante la medición por el equipo de analistas.
- Los tiempos de tránsito entre los puntos de medición del estudio se calculan en función de la distancia entre los puntos y la velocidad de movimiento del vehículo. La velocidad se calculó partir de los datos relevados en el estudio. Las velocidades se diferencian por hora del día, tipo de vehículo, punto de medición y sentido del tránsito.
- Los flujos de vehículos ingresados al modelo se calculan para cada día y hora de la semana en función del promedio de los datos observados durante la medición.
- Las condiciones de la vía y dimensiones de los vehículos incorporan un efecto en la velocidad promedio de tránsito entre cada par de puntos dependiendo del sentido del movimiento.

En el modelo se reflejan diferentes posibles tramos de ruta los cuales se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4: Tramos de ruta a simular

Rutas (Ida y vuelta)
Chilete a Conga Site y Conga Site a Chilete
Chilete a Cajamarca y Cajamarca a Chilete
Cajamarca a Conga Site y Conga Site a Cajamarca
Cajamarca a Maqui- Maqui y Maqui- Maqui a Cajamarca
Chilete a Maqui- Maqui y Maqui- Maqui a Chilete

4.2 DATOS DE ENTRADA DEL MODELO

El modelo de simulación requiere los siguientes datos de entrada:

- Flujo de vehículos por tipo, por hora del día, por día de semana, por punto de medición, en cada sentido de tránsito.
- Velocidad de los vehículos por tipo, por hora del día, por día de semana, por punto de medición, en cada sentido de tránsito, expresada en kilómetros por hora.
- Matriz de distancias entre cada par de puntos de medición en kilómetros.
- Flujo de vehículos a intervalos de quince minutos en cada uno de los puntos de ingreso de flujo, es decir puntos de medición 1, 6 y 8.

4.3 VARIABLES DE RESULTADO

Se medirá en el modelo de simulaciones el tiempo de recorrido promedio en las rutas de interés identificadas como:

- Ruta entre Chilete y Conga Site (con el detalle de los puntos de paso a punto de medición 6 (kilómetro 37 vía Cajamarca-Bambamarca) y al campamento de Maqui-Maqui para los vehículos de transporte de material, de categorización pesada. (camiones, cisternas y tráileres)
- Ruta entre Cajamarca y Conga Site (con el detalle de los puntos de paso a punto de medición 6 (kilómetro 37 vía Cajamarca- Bambamarca) y al campamento de Maqui-Maqui para los vehículos de transporte de personal, es decir buses.
- Ruta entre Cajamarca y Conga Site (con el detalle de los puntos de paso a punto de medición 6 (kilómetro 37 vía Cajamarca- Bambamarca) y al campamento de Maqui-Maqui para los vehículos ligeros de personal, es decir camionetas
- Ruta entre Chilete y Conga Site (con el detalle de los puntos de paso a punto de medición 6 (kilómetro 37 vía Cajamarca- Bambamarca) y al campamento de Maqui-Maqui para los vehículos de transporte ligeros, es decir camionetas.

4.4 PARÁMETROS DE EJECUCIÓN DEL MODELO

Con el fin de obtener una buena estimación de los tiempos de recorrido el modelo realiza 400 réplicas cada una de la operación del tránsito en las vías definidas por un tiempo de 52 semanas, 24 horas al día los 7 días de la semana. Los indicadores de resultados mostrados se indican con el detalle del promedio del tiempo de recorrido en cada tramo de interés por hora y día de la semana. En el acápite siguiente se presentan dichos resultados.

4.5 RESULTADOS

Se presentan los resultados del estudio de simulación con los datos de la situación actual. Primero se presentan los tiempos de recorrido del tramo entre Chilete y la ubicación del Proyecto Conga, y luego los tiempos de recorrido entre Cajamarca y la ubicación del Proyecto Conga.

4.5.1 VELOCIDAD PROMEDIO VÍA KUNTURWUASI, ENTRE PUENTE CHILETE Y KM 24

Se presentan las velocidades promedio de vehículos ligeros y pesados en el tramo entre Puente Chilete y el KM 24. En la Tabla 5 se presentan los resultados de las velocidades partiendo del Puente Chilete hasta llegar a las Oficinas Administrativas de Yanacocha (KM 24 Vía Bambamarca) por hora del día; para la subida y para la bajada.

Tabla 5: Velocidad promedio de recorrido (en Km/hr), entre Puente Chilete y Oficinas Administrativas de Yanacocha (Km 24 vía a Bambamarca) por hora del día para transporte ligero y pesado

Vía Kunturwasi		Vehículo ligero		Vehículo pesado		Horas		Vehículo ligero		Vehículo pesado	
Horas		Subida	Bajada	Subida	Bajada	Horas		Subida	Bajada	Subida	Bajada
0:00	1:00	43.16	58.37	21.38	28.80	12:00	13:00	42.90	58.02	22.54	30.38
1:00	2:00	48.24	65.26	21.52	29.00	13:00	14:00	45.32	61.36	22.46	30.25
2:00	3:00	46.02	62.26	21.32	28.73	14:00	15:00	45.75	61.91	21.77	29.32
3:00	4:00	45.40	61.50	22.23	29.95	15:00	16:00	42.58	57.57	22.48	30.28
4:00	5:00	40.87	55.24	21.23	28.60	16:00	17:00	43.80	59.27	22.58	30.41
5:00	6:00	44.50	60.21	22.46	30.25	17:00	18:00	44.57	60.28	21.14	28.47
6:00	7:00	45.17	61.11	22.78	30.68	18:00	19:00	42.71	57.77	21.30	28.71
7:00	8:00	42.92	58.03	22.33	30.09	19:00	20:00	43.72	59.12	22.43	30.23
8:00	9:00	44.00	59.50	21.72	29.24	20:00	21:00	46.66	63.08	21.55	29.03
9:00	10:00	42.51	57.42	21.73	29.27	21:00	22:00	45.79	61.95	21.37	28.78
10:00	11:00	45.65	61.67	22.16	29.85	22:00	23:00	45.56	61.73	21.44	28.88
11:00	12:00	41.63	56.29	21.63	29.15	23:00	0:00	43.07	58.28	21.73	29.27

4.5.2 VELOCIDAD PROMEDIO VÍA BAMBAMARCA, ENTRE CAJAMARCA Y KM 24

Se presentan las velocidades promedio de vehículos ligeros y pesados en el tramo entre Cajamarca y el KM 24. En la Tabla 6 se presentan los resultados de las velocidades entre Cajamarca y las Oficinas Administrativas de Yanacocha (KM 24 Vía Bambamarca) por hora del día; para la subida y bajada.

Tabla 6: Velocidad promedio de recorrido (en Km/hr) entre Cajamarca y Oficinas Administrativas de Yanacocha (KM 24 vía a Bamabamarca) por hora del día para transporte ligero y pesado

Vía Kunturwasi		Vehículo ligero		Vehículo pesado		Horas		Vehículo ligero		Vehículo pesado	
Horas		Subida	Bajada	Subida	Bajada	Horas		Subida	Bajada	Subida	Bajada
0:00	1:00	38.61	46.33	23.40	28.08	12:00	13:00	36.20	43.43	21.94	26.32
1:00	2:00	41.37	49.64	25.07	30.08	13:00	14:00	34.07	40.88	20.65	24.78
2:00	3:00	36.20	43.43	21.94	26.32	14:00	15:00	34.07	40.88	20.65	24.78
3:00	4:00	38.61	46.33	23.40	28.08	15:00	16:00	36.20	43.43	21.94	26.32
4:00	5:00	36.20	43.43	21.94	26.32	16:00	17:00	34.07	40.88	20.65	24.78
5:00	6:00	41.37	49.64	25.07	30.08	17:00	18:00	32.17	38.61	19.50	23.40
6:00	7:00	41.37	49.64	25.07	30.08	18:00	19:00	32.17	38.61	19.50	23.40
7:00	8:00	34.07	40.88	20.65	24.78	19:00	20:00	32.17	38.61	19.50	23.40
8:00	9:00	32.17	38.61	19.50	23.40	20:00	21:00	34.07	40.88	20.65	24.78
9:00	10:00	41.37	49.64	25.07	30.08	21:00	22:00	41.37	49.64	25.07	30.08
10:00	11:00	41.37	49.64	25.07	30.08	22:00	23:00	32.17	38.61	19.50	23.40
11:00	12:00	41.37	49.64	25.07	30.08	23:00	0:00	34.07	40.88	20.65	24.78

4.5.3 VELOCIDAD PROMEDIO VÍA BAMBAMARCA, ENTRE KM 24 Y KM 37

Se presentan las velocidades promedio de vehículos ligeros y pesados en el tramo entre el KM24 y el KM37. En la Tabla 7 se presentan los resultados de las velocidades entre las Oficinas Administrativas de Yanacocha (KM 24 Vía Bambamarca) y el KM 37 de la misma vía por hora del día; para la subida y bajada.

Tabla 7: Velocidad promedio de recorrido (en Km/hr) entre las Oficinas Administrativas de Yanacochoa (KM 24 vía a Bamabamarca) y el KM 37; por hora del día para transporte ligero y pesado.

Vía Kunturwuasi		Vehículo ligero		Vehículo pesado		Horas		Vehículo ligero		Vehículo pesado	
Horas		Subida	Bajada	Subida	Bajada	Horas		Subida	Bajada	Subida	Bajada
0:00	1:00	56.05	58.29	33.97	35.33	12:00	13:00	60.72	63.15	36.80	38.27
1:00	2:00	66.24	68.89	40.15	41.75	13:00	14:00	66.24	68.89	40.15	41.75
2:00	3:00	56.05	58.29	33.97	35.33	14:00	15:00	52.05	54.13	31.54	32.80
3:00	4:00	56.05	58.29	33.97	35.33	15:00	16:00	52.05	54.13	31.54	32.80
4:00	5:00	60.72	63.15	36.80	38.27	16:00	17:00	56.05	58.29	33.97	35.33
5:00	6:00	52.05	54.13	31.54	32.80	17:00	18:00	56.05	58.29	33.97	35.33
6:00	7:00	52.05	54.13	31.54	32.80	18:00	19:00	52.05	54.13	31.54	32.80
7:00	8:00	52.05	54.13	31.54	32.80	19:00	20:00	66.24	68.89	40.15	41.75
8:00	9:00	56.05	58.29	33.97	35.33	20:00	21:00	60.72	63.15	36.80	38.27
9:00	10:00	66.24	68.89	40.15	41.75	21:00	22:00	60.72	63.15	36.80	38.27
10:00	11:00	66.24	68.89	40.15	41.75	22:00	23:00	56.05	58.29	33.97	35.33
11:00	12:00	66.24	68.89	40.15	41.75	23:00	0:00	56.05	58.29	33.97	35.33

4.6 ANÁLISIS DE VENTANAS DE TIEMPO

Se presentan los horarios sugeridos para iniciar el traslado de materiales y el traslado de personal hasta Conga

4.6.1 TRASLADO DE CARGA: PUENTE CHILETE A PROYECTO CONGA

Tomando en cuenta la restricción que los traslados de carga desde el Puente Chilete a Proyecto Conga deben realizarse durante horas en las cuales aún se tenga luz diurna. Considerando dicha restricción se consideran como recorridos viables los detallados en la Tabla 8. En dicha tabla se resumen el tiempo de tránsito promedio partiendo a cada hora factible en el intervalo mencionado. En función a estos resultados se sugiere iniciar el traslado de carga a la hora de inicio que permita minimizar el tiempo total de traslado. La Tabla 9 resume el tiempo de inicio de movimiento sugerido para los días de lunes a viernes y para los fines de semana.

Tabla 8: Tiempo promedio de recorrido en horas con luz diurna por hora y día de la semana para transporte de carga ancha

Hora	LUN-VIE	SAB-DOM
6:00	4.91	4.86
7:00	4.97	4.91
8:00	4.89	4.84
9:00	4.99	4.93
10:00	5.01	4.95
11:00	4.87	4.82
12:00	4.89	4.83
13:00	5.03	4.96

Tabla 9: Horas sugeridas para iniciar el traslado desde Puente Chilete a Proyecto Conga para transporte de carga ancha

Día de la semana	Hora recomendada de salida	Tiempo promedio de recorrido (minutos)	Hora de llegada estimado
Lunes a Viernes	08:00 a 12:00	297	13:00 a 17:00
Sábado y Domingo	07:00 a 11:00	291	12:00 a 16:00

4.6.2 TRASLADO DE PERSONAL: CAJAMARCA A CONGA

Tomando en cuenta la restricción que los traslados a personal deben partir de Cajamarca y llegar al sitio de Conga a más tardar a la hora de inicio de actividades que corresponde a las 7:00 horas. Considerando dicha restricción se consideran como recorridos viables los detallados en la Tabla 10. En dicha tabla se resumen el tiempo de tránsito promedio partiendo a cada hora factible en el intervalo mencionado. En función a estos resultados se sugiere iniciar el traslado de personal a la hora de inicio que permita minimizar el tiempo total de traslado. La Tabla 11 resume el tiempo de inicio de movimiento sugerido para los días de la semana.

Tabla 10: Tiempo promedio de recorrido en horas previas a la hora de ingreso de personal desde Cajamarca a Conga

Hora	LUN-VIE	SAB-DOM
3:00	2.75	2.74
4:00	2.71	2.69
5:00	2.73	2.74

Tabla 11: Horas sugeridas para iniciar el traslado desde Cajamarca a Conga

Día de la semana	Hora recomendada de salida	Tiempo de recorrido (minutos)	Hora de llegada estimado
Lunes a Viernes	04:18	162	07:00
Sábado y Domingo	04:22	158	07:00

4.7 DENSIDAD DE TRÁFICO

Se define la densidad de tráfico como el número de vehículos que hay por unidad de longitud de la carretera. Se calcularon en los dos sentidos por medio de ponderación de vehículos ligeros y pesados; se muestra en la Tabla 12

Tabla 12: Densidad de tráfico.

Ruta Ida y Vuelta	KMS	Porcentajes		Densidad de tráfico [Vehículos/Km]		
		Ligeros	Pesados	Ligeros	Pesados	Promedio
Chilete-KM24	74	63%	37%	30	14	24
Cajamarca-KM 24	24	77%	23%	26	12	23
KM24-KM37	13	73%	27%	28	12	24

Intensidad de tráfico: Se llama intensidad de tráfico al número de vehículos que pasa a través de una sección fija de la carretera por unidad de tiempo.

$$I = V_{med} D$$

I : Intensidad de tráfico;

V_{med} : Velocidad media del tramo de la vía en Kilómetros / hora

D : Densidad de tráfico del tramo en Vehículos / Kilómetro

La tabla 13 muestra la intensidad de tráfico promedio para cada tramo en estudio.

Tabla 13: Intensidad de tráfico.

Ruta Ida y Vuelta	KMS	Velocidad media		Intensidad de tráfico [Vehículos/hora]		
		Ligeros	Pesados	Ligeros	Pesados	Promedio
Chilete-KM24	74	48	31	1440	434	1070
Cajamarca-KM 24	24	45	34	1170	408	998
KM24-KM37	13	56	42	1568	504	1286

La capacidad de la vía se define como la intensidad máxima de tráfico; en nuestro caso es la intensidad de tráfico promedio ponderado por vehículos ligeros y pesados; si se considera un factor de corrección de 0.9 y se tienen las capacidades y las intensidades por tramo en porcentajes usados y no usados, mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14: Capacidad de tráfico e intensidad de tráfico porcentual.

Ruta Ida y Vuelta	Capacidad [vehículos/hora]	Intensidad de tráfico [Porcentaje usado]	Intensidad de tráfico [Porcentaje no usado]
Chilete-KM24	963	1.3%	98.7%
Cajamarca-KM 24	899	13.3%	86.7%
KM24-KM37	1156	9.5%	90.5%

5. CONCLUSIONES

- La geografía tiene importancia en los tiempos de traslados para todos los tipos de vehículos; el tiempo en todos los casos es mayor si se va hacia a Conga y es el tiempo es menor si se regresa desde Conga.
- Si el vehículo se traslada por la vía Kunturwuasi del Km. 00 (puente Chilete) hasta Conga site. El tiempo promedio que toma un vehículo pesado es de 4.96 horas y un vehículo liviano es de 3.25 horas; en el retorno los tiempos son 3.64 horas y 2.78 horas para vehículos pesados y livianos respectivamente.
- Si el vehículo se traslada por la vía a Cajamarca- Bambamarca del Km. 00 (Cajamarca) hasta Conga. El tiempo promedio que toma un vehículo de personal es de 2.7 horas y un vehículo liviano es de 2.15 horas; en el retorno los tiempos son 2.38 horas y 2.07 horas para vehículos de personal y livianos respectivamente.
- Los escenarios propuestos con incremento y decremento de flujo (+10%, +20%;-10%-20%); no alteran el tiempo que tarda un vehículo de ir de un punto de la ruta a otro; esto se debe básicamente a que todas las vías están operando por debajo de su capacidad.
- Los resultados pueden ser útiles para programar el transporte de carga, sin alterar la capacidad promedio de las vías.
- El adecuado uso de este estudio podría impactar positivamente en el uso de la vía Kunturwuasi.
- Dos unidades es el número máximo de vehículos de gran tamaño que conforman un convoy para la vía Kunturwuasi, para desplazarse desde el KM 00 en el Puente Chilete hacia el proyecto en minas Conga.
- La capacidad de la vía está muy por encima de la intensidad pico actual, en todos los tramos.

REFERENCIAS

- Ballou, Ronald (2004). Logística: Administración de la Cadena de Suministros. 5° edición. Pearson Educación, México.
- Eppen, G., F. Gould, C. Schmidt, H. Moore y L. Weatherford (2004). Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa: construcción de modelos para la toma de decisiones con hojas de cálculo electrónicas. 5° edición Prentice Hall, México.
- Winston, Wayne (2005). Investigación de Operaciones: Aplicaciones y Algoritmos. 4° edición. Thomson, México.
- Hillier F. S. / Lieberman G.J (2002) Investigación de operaciones, Mexico:McGraw-Hill.
- Ross, S. M. (1999) Simulación, Mexico: Prentice Hall.

Authorization and Disclaimer

Authors, Wilmer Atoche & Jonatán Rojas, authorize LACCEI to publish the paper in the conference proceedings. Neither LACCEI nor the editors are responsible either for the content or for the implications of what is expressed in the paper.