



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



COMPARACIÓN DE VELOCIDAD DISEÑO Y VELOCIDAD
OPERACIONAL DE VEHÍCULOS, EN LAS CURVAS
HORIZONTALES EN LA CARRETERA PUNO-MOQUEGUA

TESIS

PRESENTADA POR:

Bach. EDITH CARTAGENA QUISPE

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
INGENIERO TOPÓGRAFO Y AGRIMENSOR

PUNO - PERÚ

2022



DEDICATORIA

Primeramente, a Dios por permitirme llegar hasta estas instancias, por su bondad, su amor y por no abandonarme ni en los momentos más difíciles.

A mis padres José Luis y Lucila por encaminarme por un buen camino con buenos valores y educación, por sus grandes esfuerzos en el día a día desde que nací, sus recomendaciones y convertirme en la mejor que esperaban de mí y a mis hermanos por estar acompañándome y ayudándome cuando lo necesitaba en esta etapa de mi vida.

A todos los ingenieros y amigos que me han apoyado y guiado y han hecho que el trabajo se realice con éxito en especial a aquellos que me abrieron las puertas y compartieron sus conocimientos.

Edith



AGRADECIMIENTO

- *A la Universidad Nacional del Altiplano, por haberme acogido en sus claustros universitarios siendo pilar fundamental de mi formación profesional.*
- *A la Escuela Profesional de Ingeniería Topográfica y Agrimensura, en especial a los docentes, los cuales me guiaron con sus conocimientos a una mejor misión para el desarrollo de la sociedad.*
- *A mi familia; mis padres que, con su cariño, amor, su apoyo incondicional y sus fuerzas me ayudaron a nunca darme por vencida y sentir que siempre podía contar con su ayuda.*
- *A mis hermanos que siempre se preocuparon por mí, aún en la distancia.*
- *A mis tíos Yonson y Gonzalo, que siempre me apoyaron, aconsejaron, guiaron mi camino. A mis tías, Eulalia y Maritza, y a mi primo John, por darme todo su apoyo. A mis abuelos, a los que están y a los que se fueron, espero que estén orgullosos.*
- *A mis amigas, amigos y a los Ingenieros por darme animo cuando decaía y porque nunca dejaron que me rindiera.*

Edith



ÍNDICE GENERAL

Pág.

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

RESUMEN 14

ABSTRACT..... 15

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 17

1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMA 18

1.2.1. Pregunta general 18

1.2.2. Preguntas específicas 18

1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO..... 19

1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 20

1.4.1. Hipótesis general 20

1.4.2. Hipótesis específicas..... 20

1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN..... 21

1.5.1. Objetivo general 21

1.5.2. Objetivos específicos 21

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN 22



2.1.1. Antecedentes internacionales	22
2.1.2. Antecedentes nacionales.....	24
2.2. MARCO TEÓRICO.....	25
2.2.1. Carretera.	25
2.2.2. Velocidad del diseño o proyecto	25
2.2.3. Velocidad de diseño del tramo homogéneo.....	25
2.2.4. Velocidad específica.....	26
2.2.5. Velocidad de operación	27
2.2.6. Variables condicionantes de la velocidad de operación	29
2.2.7. La velocidad de operación y la geometría de la carretera	29
2.2.8. Variación entre la velocidad de diseño y operación	29
2.2.9. Importancia de la velocidad de operación (85) o percentil 85.	29
2.2.10. Modelos para la estimación de velocidad de operación en curvas	30
2.2.11. Características de tránsito.....	30
2.2.12. Volumen de tránsito	30
2.2.13. Índice medio diario anual (IMDA).....	30
2.2.14. Clasificación de carretera por demanda.....	30
2.2.15. Clasificación por orografía	31
2.2.16. Diseño geométrico de la carretera	33
2.2.17. Diseño geométrico en planta.	33
2.2.18. Tramos en tangente.....	33
2.2.19. Curvas horizontales circulares simples.....	34
2.2.20. Radios mínimos	37
2.2.21. Peralte para una curva horizontal	39
2.2.22. Curvas en vuelta	40
2.2.23. Anchos de calzada	41
2.2.24. Sobreechancho	42



2.2.25. Ancho de bermas	43
2.2.26. Transición de peraltes	43
2.2.27. Alineamiento vertical	45
2.2.28. Pendientes máximas y mínima	45
2.2.29. Despeje lateral- visibilidad de parada.....	45
2.2.30. Sección transversal	48
2.2.31. GPS diferencial.....	49
2.2.32. Método diferencial. (RTK, cinemático en tiempo real).....	49
2.2.33. Radar.....	49
2.2.34. Pistola radar	49
2.2.35. El funcionamiento de la pistola radar de medición de velocidades.....	51

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO	53
3.1.1. Ubicación Política	53
3.1.2. Ubicación en coordenadas UTM	53
3.1.3. Vía de comunicación y accesibilidad	53
3.2. MATERIALES Y EQUIPOS	55
3.2.1. Materiales	55
3.2.2. Equipos	55
3.2.3. Instrumentos	55
3.2.4. Software empleado	55
3.3. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	55
3.3.1. Enfoque de la investigación.....	55
3.3.2. Tipo de investigación	56
3.3.3. Nivel de investigación	56
3.3.4. Diseño de investigación.....	56



3.3.5. Población	57
3.3.6. Muestra	57
3.3.7. Cuadro de operacionalización de variables	57
3.4. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	57
3.4.1. Técnicas de recolección de datos.....	57
3.5. PROCESO PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN... 59	
3.5.1. Metodologías de toma de datos	59
3.5.2. Recolección de datos de velocidad.....	59
3.5.3. Formato para medición de velocidades en campo.....	60
3.6. PROCESO PARA LA DIFERENCIA DE VELOCIDADES..... 62	
3.6.1. Criterios de Lamm I.....	62
3.6.2. Criterio de Lamm II.....	63
3.7. PROPUESTA DE NUEVO DISEÑO GEOMÉTRICO..... 64	
3.7.1. Según de expediente técnico.....	64
3.7.2. Estudio trafico	65
3.7.3. Modelo de Lamm	65
3.7.4. Para determinar el estado del diseño según criterios de Lamm.....	66
3.7.5. Topografía	66
3.7.6. Trabajos de gabinete.....	67
3.7.7. Características técnicas de la carretera	67
3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO..... 68	
3.8.1. Planteamiento de la hipótesis	68
3.8.2. Error de la muestra y nivel de confianza	69
3.8.3. Los instrumentos de observancia.....	69
3.8.4. Prueba estadística	69



CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO	73
4.2. RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO.....	74
4.3. RESULTADOS PARA EL TERCER OBJETIVO ESPECIFICO.....	82
4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS Y EXPOSICIÓN.....	84
4.4.1. prueba estadística para velocidades sentido Puno - Moquegua.....	84
4.4.2. prueba estadística para velocidades sentido Moquegua -Puno.....	89
4.5. Discusión de los resultados	94
4.5.1. Discusiones del primer objetivo especifico	94
4.5.2. Discusiones del segundo objetivo especifico	94
4.5.3. Discusiones del tercer objetivo especifico.....	95
V. CONCLUSIONES	97
VI. RECOMENDACIONES	99
VII.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	100
ANEXOS.....	103

Área : Vías de transporte

Línea : Diseño de Vías y Gerencia de Vías

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 27 de mayo del 2022



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Tipos de terreno en carreteras	32
Figura 2 Elementos geométricos de una curva circular simple	35
Figura 3 Curvatura en el enlace de tramos rectos con una curva circular simple	36
Figura 4 Trayectoria de los vehículos en una curva circular	36
Figura 5 Peralte en zona rural (Tipo 3 ó 4).....	39
Figura 6 Alineamiento de salida y entrada en curva de vuelta	40
Figura 7 Sobre ancho en curvas.....	42
Figura 8 Transición de peralte	44
Figura 9 Distancia de visibilidad en curvas	46
Figura 10 Elementos de la sección transversal	48
Figura 11 Sección transversal tipo a media ladera para una autopista en tangente	48
Figura 12 La pistola radarica bushnell.....	50
Figura 13 Microondas emitidas por el vehículo vs pistola radar.....	51
Figura 14 Funcionamiento de la pistola Radar	52
Figura 15 Mapas de ubicación del proyecto	54
Figura 16 Reconocimiento de terreno y plan de trabajo.....	58
Figura 17 Reconocimiento de terreno y plan de trabajo.....	58
Figura 18 Trabajo de gabinete	58
Figura 19 Formato de medición de velocidades	61
Figura 20 Arreglo de datos para un diseño por bloques completos aleatorizados.....	70
Figura 21 Ingreso de datos para la prueba Bonferroni	72
Figura 22 La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Puno-Moquegua	77
Figura 23 La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Puno-Moquegua	77



Figura 24 La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Moquegua - Puno	78
Figura 25 La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Moquegua - Puno	78
Figura 26 El porcentaje de estados según el criterio I en sentido de Puno-Moquegua .	79
Figura 27 El porcentaje de estados según el criterio I en sentido de Moquegua-Puno .	79
Figura 28 Localización de la curva 1 y curva 2	82
Figura 29 Localización de la curva 5 y curva 7	83



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Criterios para tramos homogéneos para establecer velocidad de diseño.....	25
Tabla 2 Velocidad de diseño de tramos homogéneos (km/h).....	26
Tabla 3 Valores de velocidades máximas de operación(km/h)	28
Tabla 4 Clasificación de carretera por demanda según (MTC-2018).....	31
Tabla 5 Clasificación de carreteras por orografía	32
Tabla 6 longitudes de tramos en tangente.....	33
Tabla 7 Radio mínimos y peraltes máximos para el diseño de carretera.....	38
Tabla 8 Radio exterior mínimo correspondiente a un radio interior adoptado	41
Tabla 9 Ancho mínimos de calzada en tangente.....	41
Tabla 10 Anchos de bermas	43
Tabla 11 Pendientes máximas (%).....	45
Tabla 12 Distancia de visibilidad de parada (dp).....	47
Tabla 13 Ubicación en coordenadas UTM	53
Tabla 14 Carretera de acceso al lugar de estudio.....	53
Tabla 15 Cuadro de operacionalización de variables	57
Tabla 16 Primer criterio de Lamm.....	62
Tabla 17 Segundo criterio de Lamm.....	63
Tabla 18 Parámetros de diseño del expediente técnico	64
Tabla 19 Estudio tráfico del expediente técnico	65
Tabla 20 Calificación del diseño según modelo Lamm.....	65
Tabla 21 Puntos de control del proyecto de tesis.....	67
Tabla 22 Tabla de ANOVA en Diseño Bloques Completamente al Azar.....	71
Tabla 23 Resumen de velocidad de operación V(85)	73



Tabla 24 Velocidad de diseño según al radio	74
Tabla 25 Comparación de velocidades de operación (85) y diseño.....	75
Tabla 26 Comparación de velocidades de operación (85) y diseño.....	76
Tabla 27 Evaluación con el método de Lamm-criterio II	80
Tabla 28 Evaluación con el método de Lamm-criterio II	81
Tabla 29 Calificación del diseño según criterios de Lamm.....	82
Tabla 30 Clasificación de carretera.....	83
Tabla 31 Parámetros de diseño según la norma (DG-2018)	84
Tabla 32 Prueba estadística en sentido Puno-Moquegua.....	84
Tabla 33 Pruebas de Bonferroni para tipos de velocidades	85
Tabla 34 Pruebas de Bonferroni para tipos de vehículos de M-P.....	86
Tabla 35 Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de P - M	87
Tabla 36 Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de P - M	88
Tabla 37 Prueba estadística en sentido Moquegua-Puno.....	89
Tabla 38 Pruebas de Bonferroni para tipos de velocidades	89
Tabla 39 Pruebas de Bonferroni para tipos de vehículos de M-P.....	90
Tabla 40 Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de M-P	91
Tabla 41 Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de M-P	92
Tabla 42 Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de M-P	93



ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

- GPS** : Sistema de Posicionamiento Global
- V 85** : Percentil 85 de velocidad
- V D** : Velocidad de diseño
- Vd máx.** : Velocidad de diseño máxima
- IMDA** : Índice Medio Diario Anual
- ASTTO** : American Association of State Highway and Transportation Officials
(Asociación Americana de autoridades Estatales de Carreteras y transporte)
- DG** : Diseño geométrico
- VTR** : Velocidad de diseño de un tramo homogéneo
- DP** : Distancia de visibilidad de parada
- LCD** : liquid-crystal display (pantalla de cristal líquido)
- DBCA** : Diseño de bloques completamente al azar
- ΔD** : Diferencia de velocidades
- RC** : Radio de curvatura



RESUMEN

El presente trabajo de investigación titulada “Comparación de velocidades de diseño y velocidad operacional de vehículos en las curvas horizontales en la carretera Puno -Moquegua”, se realizó específicamente en el kilómetro 63+000 - 65+000 jurisdicción del distrito de Laraqueri, provincia de Puno, departamento de Puno, se determinó la diferencia de las velocidades de diseño y velocidad de operación de vehículos, para lo cual se realizó las mediciones de velocidades de operación por tipo de vehículos y en cada curva horizontal con la pistola radar de velocidades Bushnell en ambas direcciones Puno - Moquegua, Moquegua - Puno, para alcanzar el objetivo se utilizó los siguientes métodos velocidad de operación (V85) o percentil 85 y el método de desagregado de Lamm, la investigación es de diseño no experimental y de nivel o alcance explicativo, para determinar si existe diferencia entre la velocidad de operación y diseño, se utilizó la prueba estadística de diseño de bloques completamente al azar con el software SPSS, los resultados que muestra según los criterio de Lamm se observa las diferencias entre la velocidades que se desarrolló por cada curva horizontal ,se calificó como incoherente para los vehículos ligeros debido a que la diferencia es mayor a 20 km/h por otro lado se calificó como aceptable para vehículos pesados por que la diferencia es menor a 10 km/h, también se observa que en las curvas horizontales (1,2,5,7) su estado es deficiente, además el estudio de tráfico vehicular (IMDA) es más de 400 veh/día por lo tanto no cumple con los parámetros de diseño según la norma peruana DG-2018, también el tramo de estudio presenta curvas en vuelta los cuales no son recomendables porque no cumple con los parámetros de diseño.

Palabras claves: diseño geométrico, método Lamm, velocidad operación.



ABSTRACT

The present research work entitled "Comparison of design speeds and operational speed of vehicles in horizontal curves on the Puno -Moquegua highway", was carried out specifically at kilometer 63 + 000 - 65 + 000 jurisdiction of the Laraqueri district. , province of Puno, department of Puno, the design speeds and operating speed of vehicles were compared, for which operating speed measurements were made by type of vehicle and in each horizontal curve with the Bushnell speed radar gun in both directions Puno - Moquegua, Moquegua - Puno, to reach the objective the following methods of operation speed (V85) or percentile 85 and the Lamm disaggregation method were used, the research is of non-experimental design and of explanatory level or scope, To determine if there is a difference between the speed of operation and design, the completely randomized block design statistical test was used. With the SPSS software, the results shown according to Lamm's criteria show the differences between the speeds that developed for each horizontal curve, it was qualified as incoherent for light vehicles because the difference is greater than 20 km/h per On the other hand, it was qualified as acceptable for heavy vehicles because the difference is less than 10 km/h, it is also observed that in the horizontal curves (1,2,5,7) their condition is deficient, in addition to the study of vehicular traffic (IMDA) is more than 400 veh/day, therefore it does not meet the design parameters according to the Peruvian standard DG-2018, the study section also has curves in return which are not recommended because it does not meet the design parameters.

Keywords: geometric design, Lamm method, operating speed.



CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

La presente tesis tiene por objetivo determinar si la velocidad de operación es mayor a la velocidad diseño de vehículos en las curvas horizontales en la carretera Puno-Moquegua, se realizó las mediciones de la velocidad de operación de autos, camionetas, combis ,camiones, tráileres de dos ejes en el tramo comprendido entre los kilómetros 63+000 - 65+000 del corredor vial interoceánica sur Perú - Brasil, tramo 5 de la Ruta Puno-Moquegua, las velocidades medidas fueron comparadas con las velocidades de diseño de cada uno de los elementos del tramo, se analizaron en cada puntos de intersección de las curvas horizontales en los que la velocidad de operación varió de manera considerable sobre la velocidad de diseño en el tramo del estudio.

Las mismas que fueron evaluadas las velocidades de operación en otros países según los criterios de Lamm propuestos en base a estudios realizados en España en los cuales si hubo una disminución de accidentes por excesiva de velocidad de operación.

Finalmente respecto a la carretera en estudio se observó de que no cumplen con los parámetros de diseño según los estudio de velocidad de operación y el índice medio diario anual con el diseño geométrico actual de la carretera mediante por lo cual se propuso un nuevo diseño geométrico acuerdo con el manual del diseño geométrico (DG-2018) de la carretera actual.



1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La velocidad inapropiada es el factor más importante que contribuye problemas de accidentes en una carretera que enfrentan muchos países, el control de la velocidad es una herramienta muy importante para mejorar la seguridad vial, además influye el crecimiento del desarrollo económico, la globalización, la incursión de nuevas tecnologías en el desarrollo de vehículos, al igual que el costo de construcción de una carreteras , los mismos que condicionan la elección de la velocidad de diseño para que satisfaga las necesidades actuales al igual que las proyectadas hacia el futuro.

Los accidentes de tránsito son un problema nivel mundial, y causan problemas en la salud pública y el desarrollo, cada día en el mundo muere 3000 personas ,133 cada hora y 2 cada minuto como resultado del accidente tránsito, Perú no es ajeno a estos problemas según el Global Status Report on Road Safety 2018, elaborado por la organización mundial de la salud, Perú ocupa el puesto 107 de 175 en víctimas por accidentes de tránsito a nivel mundial, en Sudamérica está en el puesto 15 (de 18 países evaluados).

Según el último censo de comisarías del INEI indica que de cada 100 mil habitantes, 9 mueren en accidentes de tránsito, es decir más personas mueren en carreteras, se puede observar claramente que en las regiones del sur como son Ica, Cusco, Puno, Arequipa, Moquegua y Apurímac superan con distancia la tasa nacional y nivel regional de Puno en el año 2018 registró 254 víctimas de accidentes de tránsito fatales, quedando como la tercera región con mayor registro de accidentes de tránsito fatales después de Lima y la Libertad.

La carretera de Puno – Moquegua que tiene problemas relacionados sobre accidentes de tránsito, atropellos de los animales que son a causa de la excesiva velocidad que circulan los vehículos, además carecen con los parámetros de diseño geométrico esto por la antigüedad de la carretera , el tramo de estudio no es ajeno a estos problemas, se



ha podido observar que el tema geométrico también está incluido en los accidentes, sin embargo siempre se le echa la culpa al chofer por ocasionar accidentes , en este estudio se tomó en cuenta los antecedentes para estudiar la velocidad de operación con los diferentes tipos de vehículo en la carretera Puno-Moquegua.

1.2. FORMULACIÓN DE PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general

¿Cuál es la diferencia entre la velocidad de operación y la velocidad diseño de vehículos en las curvas horizontales en la carretera Puno- Moquegua?

1.2.2. Preguntas específicas

1. ¿Cuál es la diferencia entre la velocidad de operación (V_{85}) y velocidad de diseño en condiciones de flujo libre de vehículo en cada curva horizontal en los dos sentidos de marcha en la carretera Puno -Moquegua, tramo km 63+000 - km 65+000 ?
2. ¿cuál es la diferencia entre velocidad de diseño y velocidad de operación(V_{85}) de vehículos en condiciones de flujo libre según el método de desagregado de Lamm en la carretera Puno-Moquegua, tramo km 63+000 – km 65+000.
3. ¿Qué diseño geométrico es adecuado de las curvas horizontales de acuerdo al método desagregado de Lamm y el manual de carreteras diseño geométrico DG-2018?



1.3. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

Para que esta investigación sirva como base y sustento para el mejoramiento de las carreteras no solo del tramo de estudio sino de varios proyectos de carreteras en Perú, en muchos estudios técnicos de carreteras de la región de Puno no se cuenta con investigaciones respecto a las velocidades de operación a pesar de que este estudio es muy importante ya que permite conocer la funcionalidad del diseño geométrico en el desarrollo de las curvas horizontales.

El estudio si es factible por los accidentes de tránsito y atropellos de los animales son un problema a nivel nacional, la carretera Puno - Moquegua no es ajeno a estos problemas, se ha podido observar que el tema geométrico que está incluido en los accidentes.

En este estudio se tomó en cuenta los antecedentes para estudiar la velocidad de operación con los diferentes tipos de vehículo en la carretera Puno-Moquegua y se comparó con la velocidad de diseño, es muy importante proponer las curvas horizontales adecuadas según de manual de carreteras diseño geométrico DG-2018.



1.4. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Hipótesis general

la velocidad de operación es mayor a la velocidad diseño de vehículos en las curvas horizontales en la carretera Puno- Moquegua

1.4.2. Hipótesis específicas

1. la velocidad de operación $V(85)$ es mayor a la velocidad de diseño desarrollada en condiciones de flujo libre de vehículos en cada curva horizontal en los dos sentidos de marcha en la carretera Puno -Moquegua, tramo km 63+000 - km 65+000.
2. La velocidad de operación $V(85)$ es mayor a la velocidad de diseño de vehículos en condiciones de flujo libre según el método de desagregado de Lamm en la carretera Puno-Moquegua, tramo km 63+000 –km 65+000.
3. El diseño geométrico de las curvas horizontales según el método de desagregado de Lamm es deficiente de acuerdo al manual de carreteras diseño geométrico DG-2018.



1.5. OBJETIVOS DE INVESTIGACIÓN

1.5.1. Objetivo general

Determinar si la velocidad de operación es mayor a la velocidad diseño de vehículos en las curvas horizontales en la carretera Puno - Moquegua.

1.5.2. Objetivos específicos

1. Determinar si la velocidad de operación (V85) es mayor a la velocidad de diseño en condiciones de flujo libre de vehículo en cada curva horizontal en los dos sentidos de marcha en la carretera Puno -Moquegua, tramo km 63+000 - km 65+000.
2. Comparar la diferencia entre velocidad de diseño y velocidad de operación(V85) de vehículos en condiciones de flujo libre según el método de desagregado de Lamm en la carretera Puno-Moquegua, tramo km 63+000 – km 65+000.
3. Proponer un diseño geométrico adecuado de las curvas horizontales de acuerdo al método desagregado de Lamm y el manual de carreteras diseño geométrico DG-2018.



CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Los modelos que desarrollaron fueron calibrados para evaluar y modelar la velocidad de operación en carreteras convencionales sobre los datos medidos en campo, evaluó la velocidad operación o el percentil 85, la velocidad media y el percentil 15, de los vehículos pesados que desarrollaron en estado de flujo libre en curvas y rectas en carreteras convencionales, los datos obtuvieron con dispositivos GPS, concluyo que los radios y pendientes de una curva son vulnerables en las velocidades desarrolladas, mientras en tangentes la velocidad es mínima en la curva anterior, identifico dos variables diferentes con tipo de vehículos de los camiones cargados, se observaron que las velocidades de camiones descargados es menor (Gonzalez, 2018).

Para consistencia en carreteras bidireccionales utilizaron mediciones continuas de velocidad de operación de vehículos obtenidas con GPS, analizó el diseño geométrico y la seguridad vial a partir de la velocidad de operación , desarrollo también los modelos de Polus y perfiles para analizar el diseño geométrico de la carretera en velocidades continuos, en donde midiendo las velocidad y geometría con un GPS, los resultados que obtuvieron fueron los perfiles directos y la velocidad de diseño los datos procesaron con el programa filtro de Kalman también utilizaron el método LOESS, concluyo la velocidad operación se obtiene con ambos métodos para segmentos largos del trazado (Echaveguren, 2012).

Para la caracterización y modelización de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalística de la evolución de vehículos ligeros, para obtener los datos se tomó a los conductor, el vehículo y la infraestructura



vial o la carpeta asfáltica, los criterios que utilizo para la determinación del estado de la carretera están basados en la evaluación del perfil de velocidad de operación o percentil 85 en condiciones de flujo libre en un tramo de carretera, utilizo el dispositivos GPS para recolectar datos. los resultados que obtuvo son los perfiles continuos de velocidad de operación individuales de cada conductor (Perez, 2012).

El análisis del perfil de velocidades de operación del trayecto Tumaco – Pasto km 6+850 – km 25+000 mediante la utilización de radar, analizaron el perfil de velocidad de operación versus velocidad de diseño y las diferencias de velocidades entre curvas consecutivos, para ello utilizaron los criterios I - II de Lamm, también evaluaron el diseño vial de Nariño (Tumaco – Pasto) y las velocidades de operación en curvas y tangentes, estudiaron por diferentes tipos de vehículo y por ambos sentido, analizaron con el criterio I de Lamm, se concluyó con una buena consistencia vial para buses y camiones C2, pero para vehículos ligeros es regular y mala, manifestaron que la velocidad de diseño no cumple para todos los tipos de vehículos recorren el tramo de estudio (Cortes & Estrella, 2013).

Consistencia en el diseño geométrico de curvas sucesivas inversas, en función de la velocidad de diseño y velocidad de operación, emplearon la metodología de criterios de consistencia que definen si el diseño es bueno, regular o pobre, utilizo como muestra las velocidades de 80, 90 y 100 Km/hr en 7 radios, Indican que los diseños son buenas (Gallegos, 2013).

Los modelos de análisis de consistencia para curvas horizontales aisladas, para alcanzar el objetivo principal utilizo dos métodos como Lamm y Polus, concluyo que los modelos son complementarios y no similares tampoco son iguales para un trazo de una carretera llegaron a proponer que el método Lamm es el modelo el análisis de consistencia para curvas horizontales aisladas (Cardenas, 2014).



Para la consistencia del trazado en caminos de montaña, en la república de Guatemala, estudio la importancia de la consistencia del alineamiento horizontal para la seguridad vial de los conductores de vehículos, utilizo el método de Lamm para la medir las velocidades en curvas, concluye que el modelo sirvió para identificar los elementos geométricos que influyen las velocidades de operación en carreteras que se encuentran en zonas accidentadas son los radios y la tangente de cada curvas (Felipe, 2014).

La consistencia del diseño geométrico en una carretera de dos carriles en terreno llano desde km (12+938) vía la fortuna hasta el km (19+473) vía la Lizama en ambos sentidos en el departamento de Santander, para la consistencia utilizó el modelo de Lamm, para medir las utilizaron el equipo Vbox GPS al final compararon las velocidades de operación en vehículos pesados de curvas horizontales entre la velocidad de diseño, concluyeron que el tramo vial presenta un diseño geométrico bueno, muy pocos puntos con diseño geométrico pobre, también indico que el método de Lamm es más para velocidades de operación (Arias & Remolina, 2018).

2.1.2. Antecedentes nacionales

El análisis de velocidad de diseño y operación en la consistencia del diseño geométrico según DG-2018 en carretera Puno – Juliaca del tramo km 1349+000 – km 1353+000, midió las velocidades de operación de los vehículos pesados y ligeros, para evaluar utilizo la metodología de Lamm, para medir las velocidades de operación utilizo la pistola radar, se concluyó que en carretera los vehículos ligeros transitan a una diferenciade (24-30)Km/h a la velocidad de diseño por lo tanto consistencia es pobre, en los vehículos pesados la diferencia es (19-22)Km/h la consistencia es pobre, en caso de los camiones la diferencia es mayor a (13-18)Km/h es regular y finalmente en los tráileres la diferencia es menor a (6-12)Km/h es buena y aceptable (Turpo, 2018).

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Carretera.

Una carretera es una infraestructura del transporte especialmente acondicionada dentro de una franja de terreno denominada derecho de vía, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad (Cardenas, 2013).

2.2.2. Velocidad del diseño o proyecto

La velocidad de diseño o proyecto depende de la clasificación por demanda y orografía, es la que permite definir las características geométricas mínimas de una carretera como los radios mínimos de las curvas horizontales y la longitud mínima y máxima ver la tabla 1 (DG, 2018).

Tabla 1

Criterios para tramos homogéneos para establecer velocidad de diseño

Longitud mínima	Velocidad
3km	20 y 50 km/h
4km	60 y 120 km/h

La diferencia entre Tramos adyacentes no deberá ser > 20 km/h
En tramo de longitud menor no deberá ser > 10 km/h

Fuente: Manual de carreteras diseño geométrico (DG, 2018)

2.2.3. Velocidad de diseño del tramo homogéneo

Según el manual de carreteras diseño geométrico nos indica que la velocidad de diseño está definida en función de la clasificación por demanda u orografía de la carretera a diseñarse como indica en la tabla 2 (DG, 2018).

Tabla 2

Velocidad de diseño de tramos homogéneos (km/h)

Clasificación	Orografía	Velocidad de diseño de un tramo homogéneo VTR (km/h)														
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130				
Carretera de primera clase	plano															
	ondulado															
	accidentado															
	escarpado															
Carretera de segunda clase	plano															
	ondulado															
	accidentado															
	escarpado															
Carretera de tercera clase	plano															
	ondulado															
	accidentado															
	escarpado															

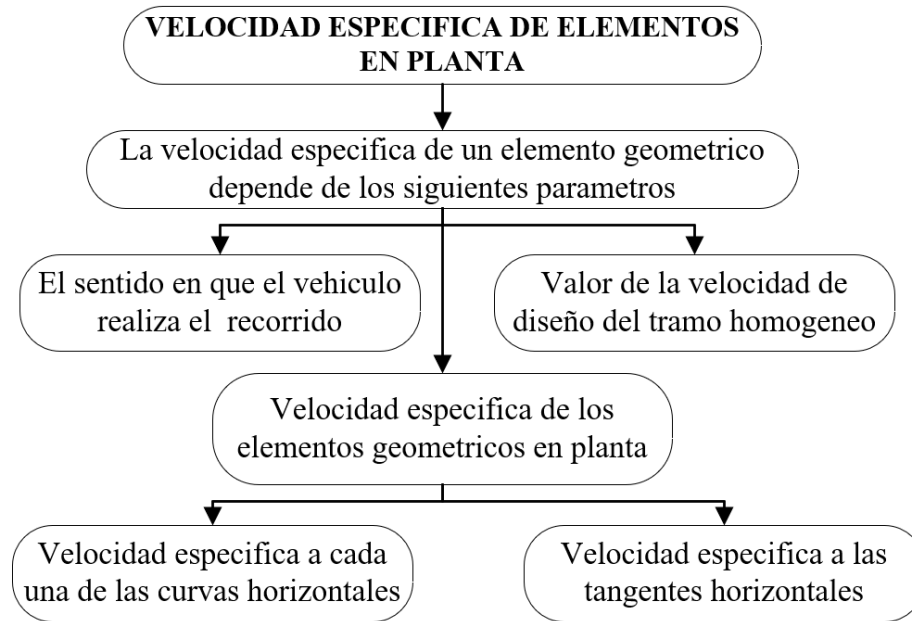
Fuente: Manual de carreteras diseño geométrico (DG, 2018)

2.2.4. Velocidad específica

La velocidad específica es aquella que se puede mantenerse en una curva horizontal considerando en condiciones de seguridad y comodidad (Cardenas, 2013).

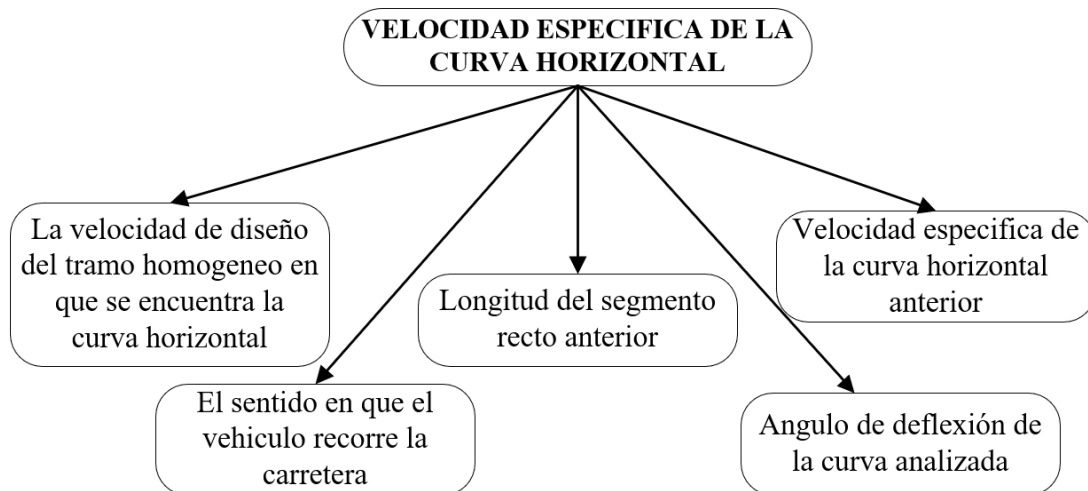
a. Velocidad específica de los elementos en planta y perfil

La velocidad específica de un vehículo en planta, está en función principal entre las oportunidades que ofrezca el trazo de la curva de una carretera, el estado de la superficie de la calzada, las condiciones climáticas, la intensidad del tráfico y las características del vehículo (Cardenas, 2013).



b. Velocidad específica de la curva horizontal

Para asignar la velocidad específica a las curvas horizontales debe ser la misma velocidad de la curva horizontal anterior, se tiene que consideran los siguientes parámetros (DG, 2018).



2.2.5. Velocidad de operación

La velocidad de operación es la velocidad a la cual circulan los vehículos en una vía bajo las condiciones de flujo libre, el estado de pavimento y las condiciones meteorología, esta velocidad no es constante sino dependerá de las de características

geométricas se sabe que las mismas geometrías de las vías influye la velocidad normalmente, hay muchas variaciones en las curvas también dependen de las características geométricas finalmente cada conductor ve el estilo de conducción, en la tabla 3 se muestran los valores máximas de velocidad de operación (DG, 2018).

Para la mejor estimación de la velocidad de operación, es el percentil 85, que consiste en determinar la velocidad bajo la cual circula el 85% de los vehículos (DG, 2018).

Tabla 3

Valores de velocidades máximas de operación(km/h)

Clasificación de la carretera		Vehículos ligeros	Vehículos pesados	
			Buses	Camiones
Autopista 1ra clase	(1)	130	100	90
	(2)	120	90	80
	(3)	100	80	70
	(4)	90	70	60
Autopista 2da clase	(1)	120	90	80
	(2)	120	90	80
	(3)	100	80	70
	(4)	90	70	60
Carretera 1ra clase	(1)	100	90	80
	(2)	100	80	70
	(3)	90	70	60
	(4)	80	60	50

Fuente: Manual de diseño geométrico (DG, 2018)

Nota: Orografía plana (1), Orografía ondulada (2), Orografía accidentada (3), Orografía escarpada (4), Para vehículos de transporte de mercancía la velocidad máxima de operación es 70 km/, como indica en la tabla 3 (DG, 2018).



2.2.6. Variables condicionantes de la velocidad de operación

variables más influyentes sobre la velocidad de operación se clasificadas en categorías.

Factores internos de la vía

La variable de los factores internos en una carreteras, son las características geométricas en una curvas horizontales como son los radios, el grado de curvatura, el ángulo de deflexión, la longitud de la curva y el pendiente longitudinal, el estado del pavimento que tienen mayor influencia sobre la velocidad de operación (Gonzalez, 2018).

Factores externos a la vía

La variable de los factores externos de una carretera son las condiciones meteorológicas, factor humano y las características del vehículo (González, 2008).

2.2.7. La velocidad de operación y la geometría de la carretera

La velocidad de operación está en función de la geometría de la carretera, para definir las distribución de velocidades de operación desarrolladas por los conductores en condiciones de flujo libre ,se define como el percentil 85 o la velocidad(85) (Perez, 2013).

2.2.8. Variación entre la velocidad de diseño y operación

La variación entre la velocidad de diseño y operación en el proceso de diseño geométrico con la normativa peruana en una carretera no se incluye al conductor , se define que la velocidad de diseño no coincide con la velocidad de operación, se le indica con señales verticales y horizontales la velocidad de diseño de acuerdo a la normativa, lo cual tiene ningún efecto (Felipe, 2014).

2.2.9. Importancia de la velocidad de operación (85) o percentil 85.

La importancia de la velocidad de operación o el percentil 85, es de gran incidencia para la elección de velocidad de diseño (Felipe, 2014).



2.2.10. Modelos para la estimación de velocidad de operación en curvas

La estimación de velocidad de operación en una curva circular debe ser constante además es utilizada en la calibración de los modelo y medida en punto medio de la curva, es estimado por que se presenta la velocidad mínima de la curva (Gonzalez, 2018).

2.2.11. Características de tránsito

Las características de tránsito en una carretera se basan en los volúmenes de tránsito y en las condiciones necesarias para transitar y la seguridad vial, ya que esto es necesario para los planes y desarrollos económico del transporte en una carretera (DG, 2018).

2.2.12. Volumen de transito

El volumen de tránsito es la cantidad de vehículos que transitan por un tramo de una carretera durante un tiempo específico que se puede expresarse en veh/año, veh/mes, veh/dia, veh/hora (DG, 2018).

2.2.13. Índice medio diario anual (IMDA)

El índice medio diario anual es el promedio aritmético de vehículos que circulara en un tramo de una carretera tanto hoy y en futuro, eso vendría ser el estudio tráfico que se realizan por tipo de vehículos que circulan por esa vía sea vehículos pesado o liviano, el estudio se realiza por día de acuerdo a eso se clasifica una carretera y los parámetros geométricos de la vía (DG, 2018).

2.2.14. Clasificación de carretera por demanda

las carreteras en Perú se clasifican de acuerdo a la función de la demanda y la necesidad operacional en diferentes niveles (DG, 2018).

- **Autopistas de primera clase:** Son autopistas que proporcionan flujos vehiculares continuos, sin cruces y con puentes peatonales en zonas urbanas.

- **Autopistas de segunda clase:** Son autopistas, con control parcial de accesos con flujos vehiculares continuos pueden tener cruces o pasos vehiculares y puentes peatonales en zonas urbanas y con separador mínimo con sistema de contención.
- **Carreteras de primera y segunda clase:** Estas carreteras so de calzada única, berma y sobreebancho de compactación para colocación de elementos de seguridad o de información, pueden tener cruces vehiculares y en zonas urbanas es recomendable que se cuente con puentes peatonales.
- **Carreteras de tercera clase:** Estas carreteras pueden funcionar con soluciones denominadas básicas o económicas, consistentes en la aplicación de estabilizadores de suelos, emulsiones asfálticas y/o micro pavimentos o en afirmado, en la superficie de rodadura. En caso de ser pavimentadas deberán cumplirse con las condiciones geométricas estipuladas para las carreteras de segunda clase.
- **Trochas carrozables:** Son vías transitables, que no alcanzan las características geométricas de una carretera.

Tabla 4

Clasificación de carretera por demanda según (MTC-2018)

Clasificación por demanda	IMDA (Veh/Día)
Autopista de primera clase	> 6000
Autopista de segunda clase	6000 - 4001
Carreteras de primera clase	4000 - 2001
Carreteras de segunda clase	2000 - 400
Carreteras de tercera clase	< 400
Trochas carrozables	< 200

Fuente: Manual de carreteras (DG, 2018)

2.2.15. Clasificación por orografía

Se clasifica según a la topografía que presentar el tramo de la carretera también se presentan en base a las pendientes longitudinales y transversales del terreno (DG, 2018).

En Perú los terrenos se clasifican por tipo:

Terreno plano (tipo 1)

Terreno ondulado (tipo 2)

Terreno accidentado (tipo 3)

Terreno escarpado (tipo4)

Cómo se indica en la tabla 5 las clasificaciones por orografía, pendiente transversal y pendiente longitudinal.

Tabla 5

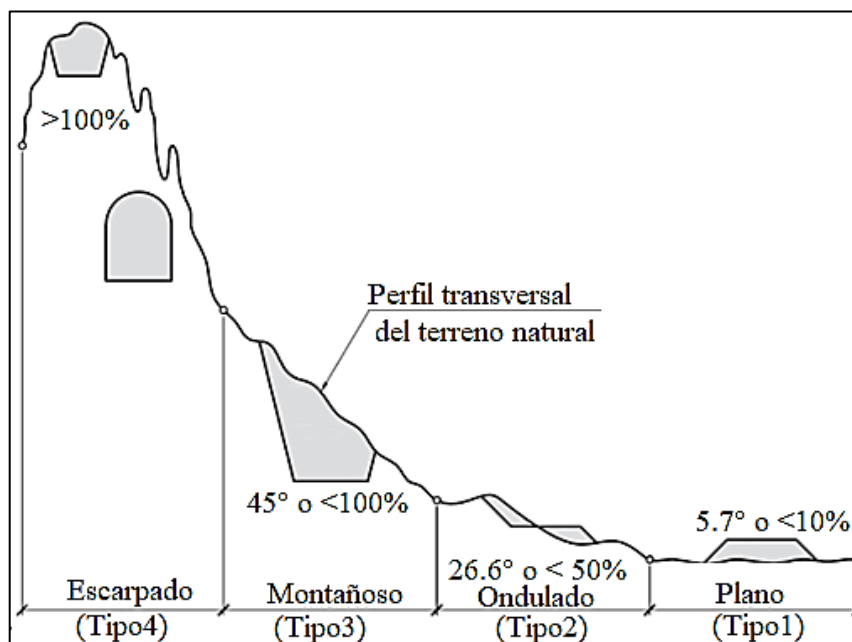
Clasificación de carreteras por orografía

Clasificación por orografía	Pendiente transversal	Pendiente longitudinal
Terreno plano (tipo 1)	$\leq 10\%$	$< 3\%$
Terreno ondulado (tipo 2)	11% - 50%	3%-6%
Terreno accidentado (tipo 3)	51% - 100%	6%-8%
Terreno escarpado (tipo 4)	$> 100\%$	8.0 %

Fuente: Manual de carreteras (DG, 2018)

Figura 1

Tipos de terreno en carreteras



Fuente: Diseño geométrico de carreteras(Cárdenas, 2013)

2.2.16. Diseño geométrico de la carretera

El diseño geométrico de una carretera esta la interrelación entre los elementos físicos que muestra en dicha carretera y las características de operación de los vehículos que transitan(Cárdenas, 2013)

2.2.17. Diseño geométrico en planta.

El diseño geométrico en planta o el alineamiento horizontal, está compuesto por alineamientos rectos, curvas horizontales y de grado de curvatura, deberá hacer posible que la operación de los vehículos sea en condición de flujo libre, se tendrá que mantener la misma velocidad de diseño, para control del radio en las curvas horizontales y la velocidad de diseño dependerán de la orografía del terreno (DG, 2018).

2.2.18. Tramos en tangente

Los tramos de tangente son las longitudes mínimas y máximas que dependerán de la velocidad de diseño ver la tabla 6 (DG, 2018).

Tabla 6

longitudes de tramos en tangente

V (km/h)	L mín. s (m)	L mín. o (m)	L máx. (m)
30	42	84	500
40	56	111	668
50	69	139	835
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
90	125	250	1503
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004
130	180	362	2171

Fuente: Manual de carreteras (DG,2018)



Dónde:

$L_{mín. s}$: Longitud mínima (m) son para curvas en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).

$L_{mín. o}$: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).

$L_{máx.}$: Longitud máxima deseable (m)

a) Longitudes mínimas:

curvas en “o” : 2.78 V se puede recorrer en 10 segundos como mínimo.

curvas en “S”: 1.39 V se puede recorrer en 5 segundos como mínimo.

b) Longitudes máximas:

Tramo tangente : 16.7 V se puede recorrer en 60 segundos como máximo.

Panamericana : $V=90$ km/h

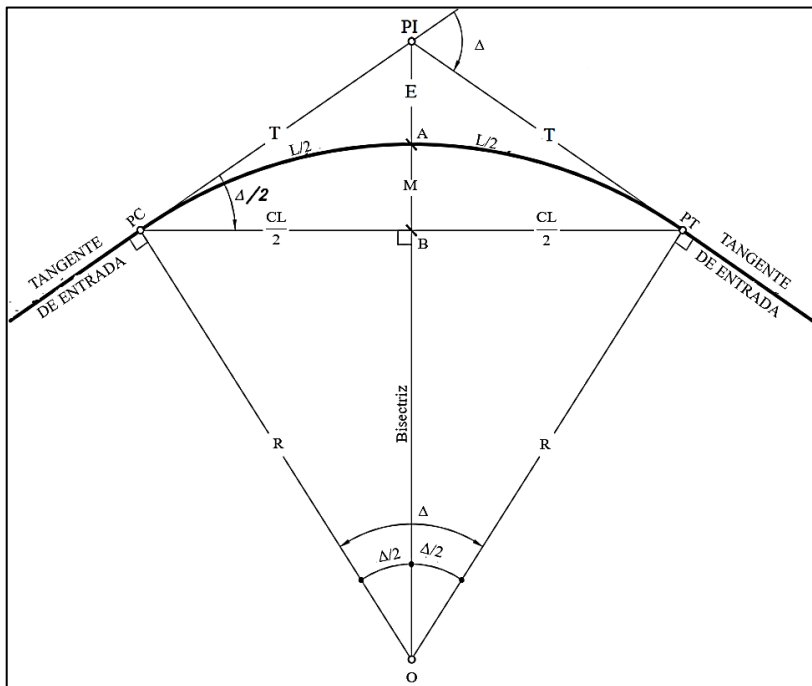
Longitud máxima : 1.5 km

2.2.19. Curvas horizontales circulares simples

las curvas circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales ver la figura 2, en la figura 4 se puede observar la circulación del vehículo (DG, 2018).

Figura 2

Elementos geométricos de una curva circular simple



Elementos geométricos que caracterizan a una curva

PC : punto de inicio de la curva

PI : punto de intersección

PT : punto de tangencia

E : distancia a externa (m.)

M : distancia de la ordenada media (m.)

R : longitud del radio de la curva (m.)

T : longitud de la subtangente (P.C. a P.I. a P.T.) (m.)

L : longitud de la curva (m.)

LC : longitud de la cuerda (m.)

∇ : ángulo de deflexión

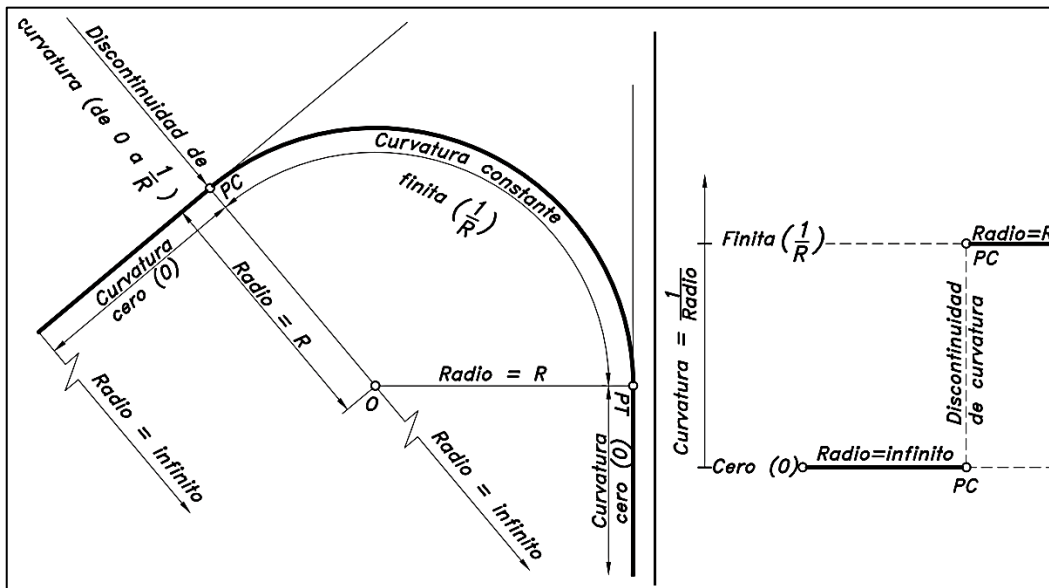
Expresiones que relacionan los elementos geométricos

- $T = R \tan \frac{\Delta}{2}$

- $LC = 2R \sec \frac{\Delta}{2}$
- $L = 2\pi R \frac{\Delta}{360}$
- $M = R[1 - \cos(\Delta/2)]$
- $E = R[\sec(\Delta/2) - 1]$

Figura 3

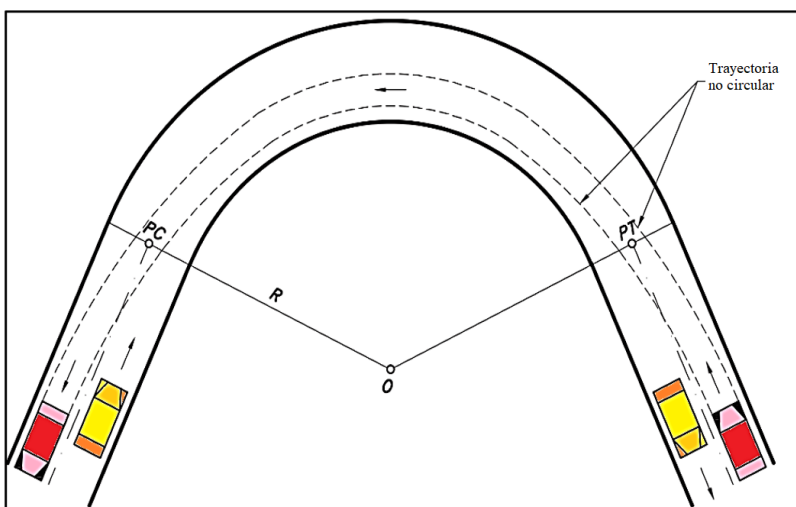
Curvatura en el enlace de tramos rectos con una curva circular simple



Fuente : Diseño geométrico de carreteras(Cárdenas, 2013)

Figura 4

Trayectoria de los vehículos en una curva circular



Fuente: Diseño geométrico de carreteras (Cárdenas, 2013)



2.2.20. Radios mínimos

Los radios mínimos en curvatura horizontal se clasifican de acuerdo a la orografía y la velocidad de diseño que son permitidos para los giros de los vehículos en condiciones de flujo libre (DG, 2018).

$$R_{\min} = \frac{V^2}{127(P_{\max} - f_{\max})}$$

Dónde:

R mín : radio mínimo

V : velocidad de diseño

P max : peralte máximo asociado a V

f máx : coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V

Tabla 7

Radio mínimos y peraltes máximos para el diseño de carretera

Ubicación de la vía	Velocidad de diseño	P máx.	F máx.	Radio calculado	Radio redondeado
Área rural (con peligro de hielo)	30	6	0.17	30.8	30
	40	6	0.17	54.8	55
	50	6	0.16	89.5	90
	60	6	0.15	135	135
	70	6	0.14	192.9	195
	80	6	0.14	252.9	255
	90	6	0.13	437.4	335
	100	6	0.12	560.4	440
	110	6	0.11	755.9	560
	120	6	0.09	950.5	755
Área rural (plano u ondulada)	130	6	0.08	1.187.2	950
	30	8	0.17	28.3	30
	40	8	0.17	50.4	55
	50	8	0.16	82	90
	60	8	0.15	123.2	135
	70	8	0.14	175.4	195
	80	8	0.14	229.1	255
	90	8	0.13	303.7	335
	100	8	0.12	393.7	440
	110	8	0.11	501.5	560
Área rural (accidentada o escarpada)	120	8	0.09	667	755
	130	8	0.08	831.7	950
	30	12	0.17	24.4	25
	40	12	0.17	43.4	45
	50	12	0.16	70.3	70
	60	12	0.15	105	105
	70	12	0.14	148.4	150
	80	12	0.14	193.8	195
	90	12	0.13	255.1	255
	100	12	0.12	328.1	330
110	12	0.11	414.2	415	
120	12	0.09	539.9	540	
130	12	0.08	665.4	665	

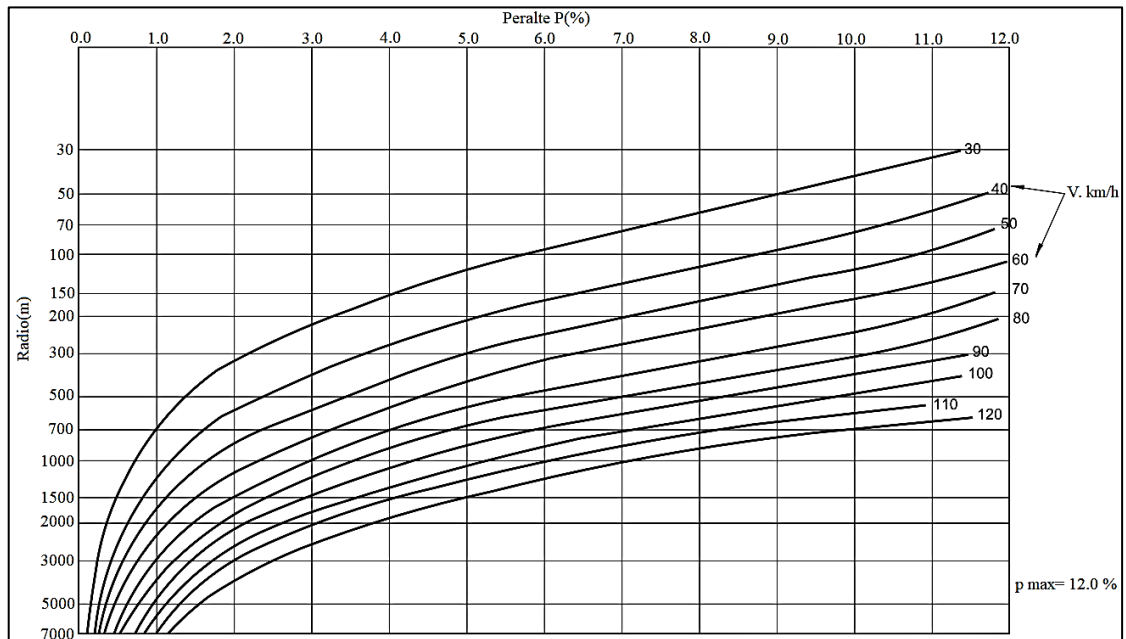
Fuente: Manual de carreteras (DG, 2018)

2.2.21. Peralte para una curva horizontal

El peralte para una curva está relacionado en función al radio y velocidad de diseño ver la figura 3.

Figura 5

Peralte en zona rural (Tipo 3 ó 4)



Fuente: Manual de carreteras (DG, 2018)

Parámetros mínimos y deseables

En las curvas curva circular se tomará en cuenta la siguiente formula:

$$R = \frac{V^2}{12.96 g(p_{\max} + f_{\min})}$$

Para que la presencia de una curva de transición resulte fácilmente perceptible por el conductor, se deberá cumplir que:

$$\frac{R}{3} \leq A \leq R$$

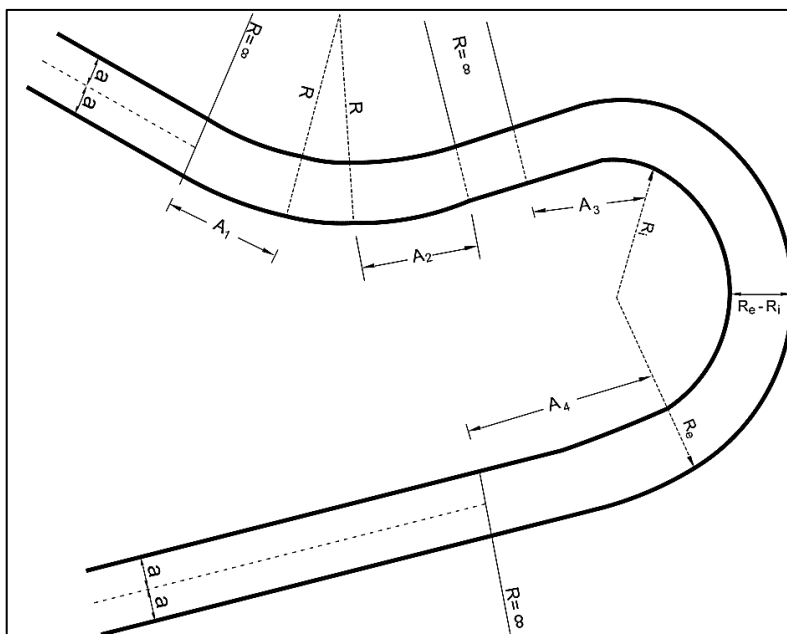
- ✓ La condición $A > R / 3$ corresponde al parámetro mínimo. Ello implica utilizar un valor $t_{\min} > 3.5g$
- ✓ La condición $A < R$ asegura la adecuada percepción de la existencia de la curva circular.

2.2.22. Curvas en vuelta

Las curvas en vuelta son las que se proyectan sobre orografía accidentado y escarpados con pendientes pronunciadas, se tomara en cuenta las pendientes máximas, son las que no se pueden proyectar trazos como alternativa, el radio interior mínimo es 20 m, los alineamientos pueden ser paralelas, en la figura 6 se muestra la curva de vuelta está definido por dos radios o arcos circulares como el radio interior (R_i) y radio exterior (R_e) (DG, 2018).

Figura 6

Alineamiento de salida y entrada en curva de vuelta



Fuente: Manual de carreteras,(DG, 2018).

En la tabla 8 se muestra los radios de interior y exterior (R_i y R_e) para tipos de vehículo T2S2 C2, C2, C2 + C2 (DG, 2018).

T2S2 C2 : Un camión semirremolque

C2 : Un camión de 2 ejes puede describir la curva simultáneamente con un vehículo ligero (automóvil o similar)

C2+C2 : Dos camiones de dos ejes pueden describir la curva simultáneamente

Tabla 8

Radio exterior mínimo correspondiente a un radio interior adoptado

Radio interior (m)	Radio exterior mínimo Re (m) según maniobras previstas		
	T2S2	C2	C2+C2
6.0	14.00	15.75	17.50
7.0	14.50	16.50	18.25
8.0	15.25	17.25	19.00
10.0	16.75	18.75	20.50
12.0	18.25	220.50	22.25
15.0	21.00	23.25	24.75
20.0	26.00	28.00	29.25

Fuente: Manual de carreteras,(DG, 2018).

- El radio interior de 8 m, representa un mínimo normal.
- El radio interior de 6 m, representa un mínimo absoluto y sólo podrá ser usado en forma excepcional.

2.2.23. Anchos de calzada

El ancho de calzada o superficie de rodadura varía de acuerdo al tráfico vial, tipo orografía, velocidad de diseño y la clasificación de la carretera (DG, 2018).

Tabla 9

Ancho mínimos de calzada en tangente

Clasificación	Carretera				Carretera				Carretera			
	Tráfico vehicular/día				Tráfico vehicular/día				Tráfico vehicular/día			
	4.000- 2.001				2.000- 400				< 400			
Tipo Orografía	Primera Clase				Segunda Clase				Tercera Clase			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30 km/h											6,00	6,00
40 km/h								6,60	6,60	6,60	6,00	
50 km/h			7,20	7,20			6,60	6,60	6,60	6,60	6,00	
60 km/h	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	6,60	6,60	6,60	6,60		
70 km/h	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	7,20	6,60		6,60	6,60		
80 km/h	7,20	7,20	7,20		7,20	7,20			6,60	6,60		

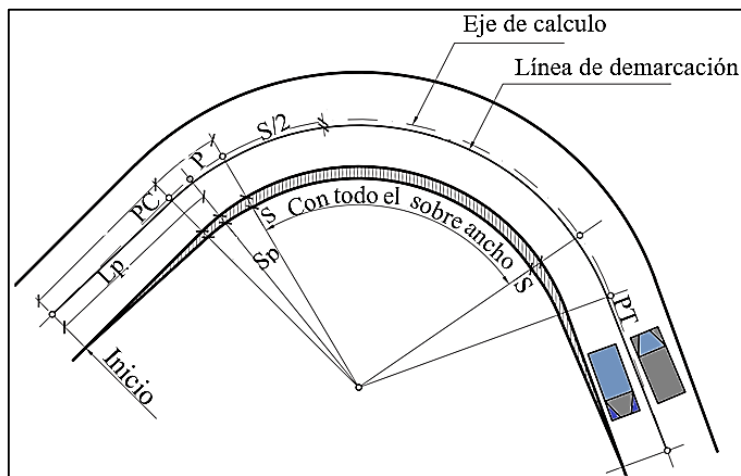
Fuente: Manual de carreteras (DG, 2018)

2.2.24. Sobreancho

El sobreancho es el ancho que se adicional de la superficie de rodadura de la carretera en las en curvas, para que el vehículo permanezca en el carril del tramo de trayectoria ver la figura 7, para calcular el sobreancho se requiere las longitudes del tipo vehículo que se tomó para el diseño (DG, 2018).

Figura 7

Sobre ancho en curvas



Fuente: Diseño geométrico de carreteras (Cárdenas, 2013).

El sobreancho variará en función al tipo de vehículo, radio de curvatura circular, velocidad de diseño y el número de carriles, se calculará con la siguiente fórmula:

$$Sa = n \left(R - \sqrt{R^2 - L^2} \right) + \frac{V}{10\sqrt{R}}$$

Dónde:

- Sa = sobreancho (m)
- n = número de carriles
- R= radio de curvatura circular (m)
- L = distancia entre eje posterior y parte frontal (m)
- V = velocidad de diseño (km/h)

2.2.25. Ancho de bermas

Los anchos de berma dependen de la clasificación de la carretera, tráfico vial, orografía y la velocidad de diseño ver la tabla 10 (DG, 2018).

Tabla 10

Anchos de bermas

Clasificación	Carretera				Carretera				Carretera			
	4.000- 2.001				2.000- 400				< 400			
Tráfico vehicular/día característica	Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30 km/h											0,50	0,50
40 km/h								1,20	1,20	0,90	0,50	
50 km/h			2,60	2,60			1,20	1,20	1,20	0,90	0,50	
60 km/h	3,00	3,00	2,60	2,60	2,00	2,00	1,20	1,20	1,20	1,20		
70 km/h	3,00	3,00	3,00	3,00	2,00	2,00	1,20		1,20	1,20		
80 km/h	3,00	3,00	3,00		2,00	2,00			1,20	1,20		
90 km/h	3,00	3,00			2,00				1,20	1,20		
100 km/h	3,00				2,00							
110 km/h												
120 km/h												
130 km/h												

Fuente : Manual carreteras (DG, 2018)

2.2.26. Transición de peraltes

Transición de peraltes es la inclinación de la calzada o también conocido como longitud de transición sucede en los cambios de tramos tangente a la curva en las curvas circulares, el objetivo es compensar la fuerza centrífuga del vehículo, este cambio no se puede desarrollarse bruscamente sino de manera gradual (Cardenas, 2013).

Lt=Longitud de transición.

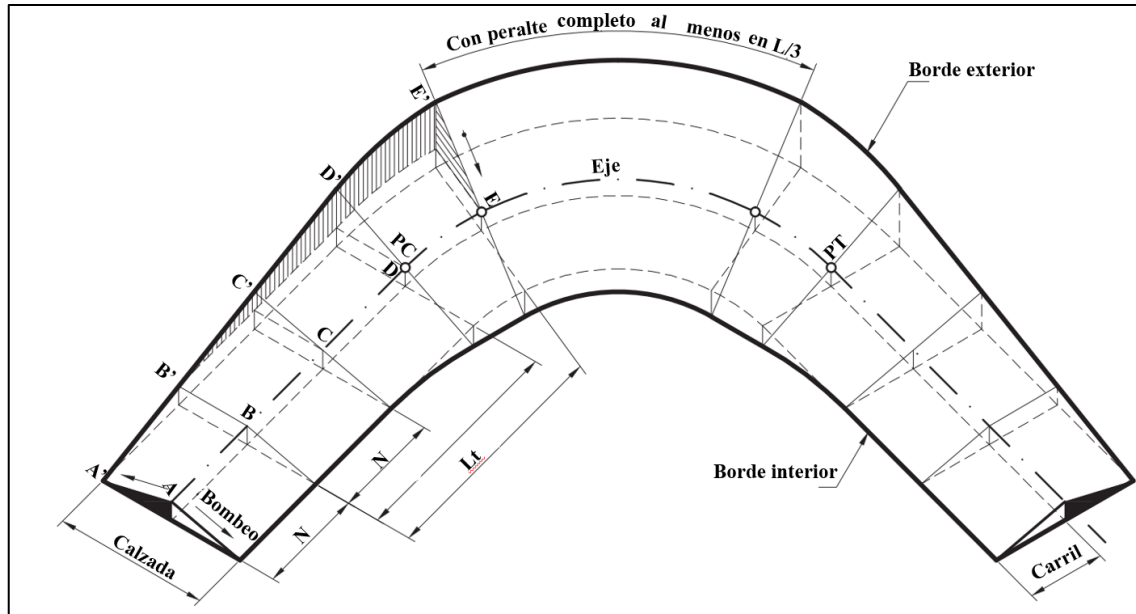
N=longitud de aplanamiento.

L=longitud de la curva circular.

e = peralte necesario de la curva circular.

Figura 8

Transición de peralte



Fuente: Diseño geométrico de carreteras (Cardenas, 2013)

Fórmula para peraltes máximos:

$$ip_{max} = 1.8 - 0.01 V$$

Dónde:

ip_{max} : Máxima inclinación de cualquier borde de la calzada respecto al eje de la vía (%).

V : Velocidad de diseño (km/h)

longitud mínima del tramo para la transición del peralte definida por la siguiente

fórmula:

$$L_{min} = \frac{p_f - p_i}{ip_{max}} B$$

Dónde:

L_{min} : Longitud mínima del tramo de transición del peralte (m).

p_f : Peralte final con su signo (%)

p_i : Peralte inicial con su signo (%)

B : Distancia del borde de la calzada al eje de giro del peralte (m)

2.2.27. Alineamiento vertical

2.2.28. Pendientes máximas y mínima

Las pendientes máximas se definen de acuerdo al tipo orografía, clasificación de la carretera y la velocidad de diseño y la pendiente mínima es 0.5%, para pendiente 0% se tendrá al bombeo 2.5% se tendrá que anular al pendiente transversal, las pendientes son para que pueda drenar el agua sin problemas por la calzada y así no pueda perjudicar la carpeta asfáltica (DG, 2018).

Tabla 11

Pendientes máximas (%)

Demanda	Carretera				Carretera				Carretera			
Vehículos/día	4.000-2.001				2.000-400				< 400			
Características	Primera clase				Segunda clase				Tercera clase			
Tip. de orografía	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
30 km/h											10,00	10,0
40 km/h								9,00	8,00	9,00	10,00	
50 km/h			7,00	7,00			8,00	9,00	8,00	8,00	8,00	
60 km/h	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	7,00	8,00	9,00	8,00	8,00		
70 km/h	6,00	6,00	7,00	7,00	6,00	6,00	7,00		7,00	7,00		
80 km/h	6,00	6,00	6,00		6,00	6,00			7,00	7,00		
90 km/h	5,00	5,00			6,00				6,00	6,00		
100 km/h	5,00				6,00							
110 km/h												
120 km/h												
130 km/h												

Fuente: Manual de carreteras (DG, 2018)

2.2.29. Despeje lateral- visibilidad de parada

2.2.29.1. Despeje lateral

El despeje lateral que tienen las secciones transversales dentro de una curva circular para proporcionar la visibilidad de parada o adelantamiento necesaria, se mide en

forma transversal desde el eje central del carril interno de la curva, lo cual implicará cortes adicionales de material ver la figura 10 (DG, 2018).

$$L = R \left[1 - \cos \left(\frac{90 Dv}{\pi R} \right) \right]$$

Donde:

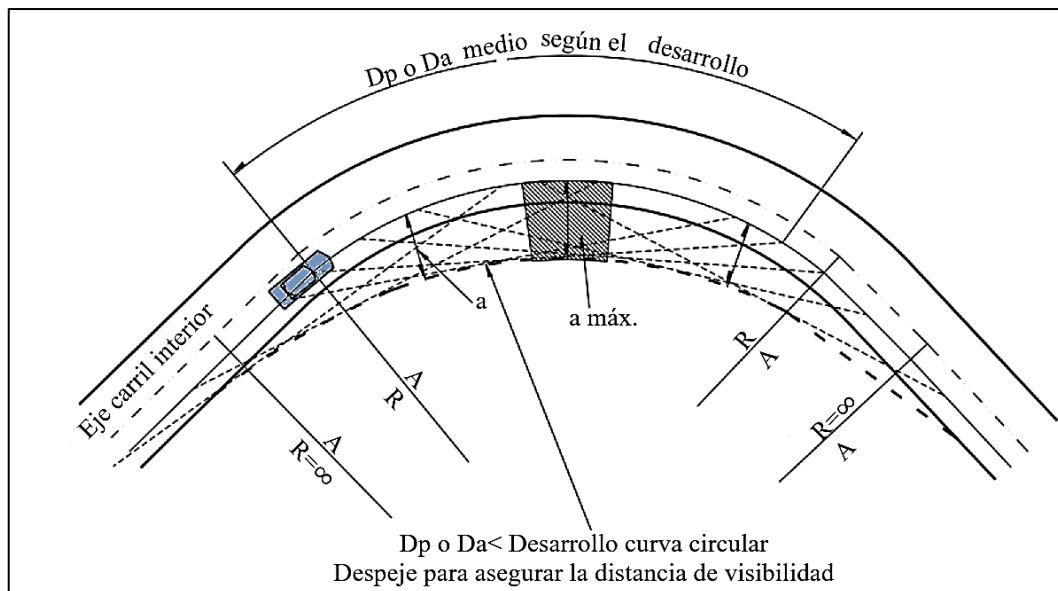
L : Despeje lateral máximo (m)

R : Radio de la curva (m)

Dv : Distancia de visibilidad de parada ó de adelantamiento (Dp ó Da)

Figura 9

Distancia de visibilidad en curvas



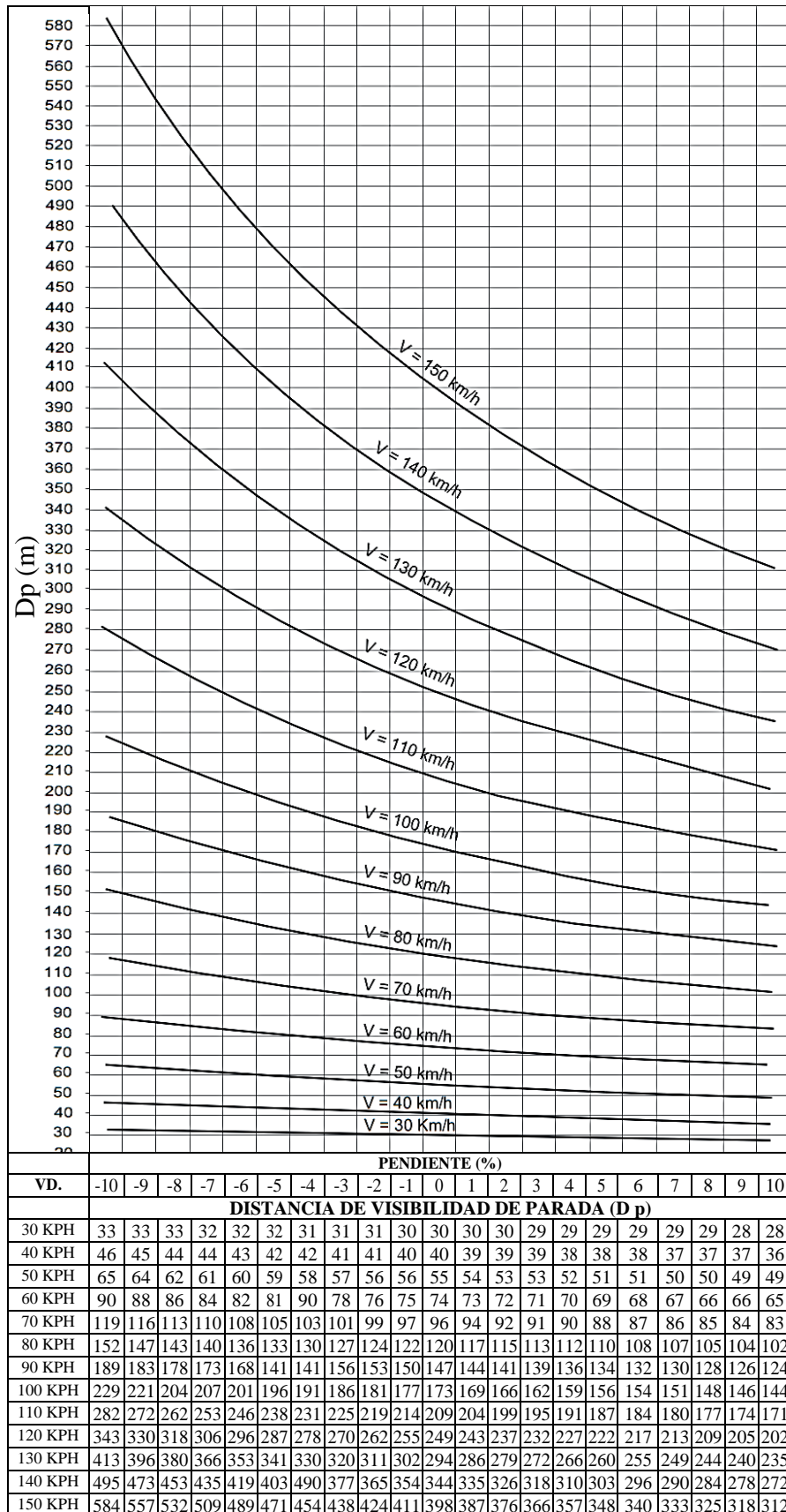
Fuente: Diseño geométrico de carreteras (Cárdenas, 2013)

2.2.29.2. Visibilidad de parada

La visibilidad de parada es la distancia necesaria para que se pare un vehículo en marcha antes de que pueda alcanzar el otro vehículo que se encuentra en su carril, se calcula de acuerdo a la pendientes y la velocidad de diseño ver la tabla 12 (DG, 2018).

Tabla 12

Distancia de visibilidad de parada (dp)



Fuente: Manual de carreteras (DG, 2018)

2.2.30. Sección transversal

la sección transversal consiste en identificar o definir los elementos de la carretera como son carriles, superficie de rodadura, bermas, cunetas, taludes en una sección de la carretera versus con el terreno natural ver la figura 10 y 11 (Cardenas, 2013).

Figura 10

Elementos de la sección transversal

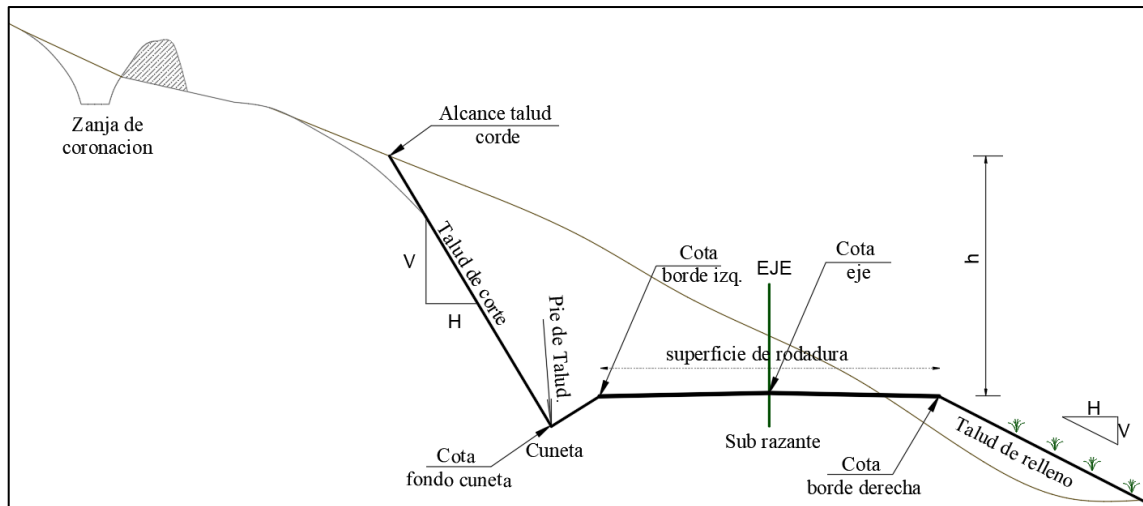
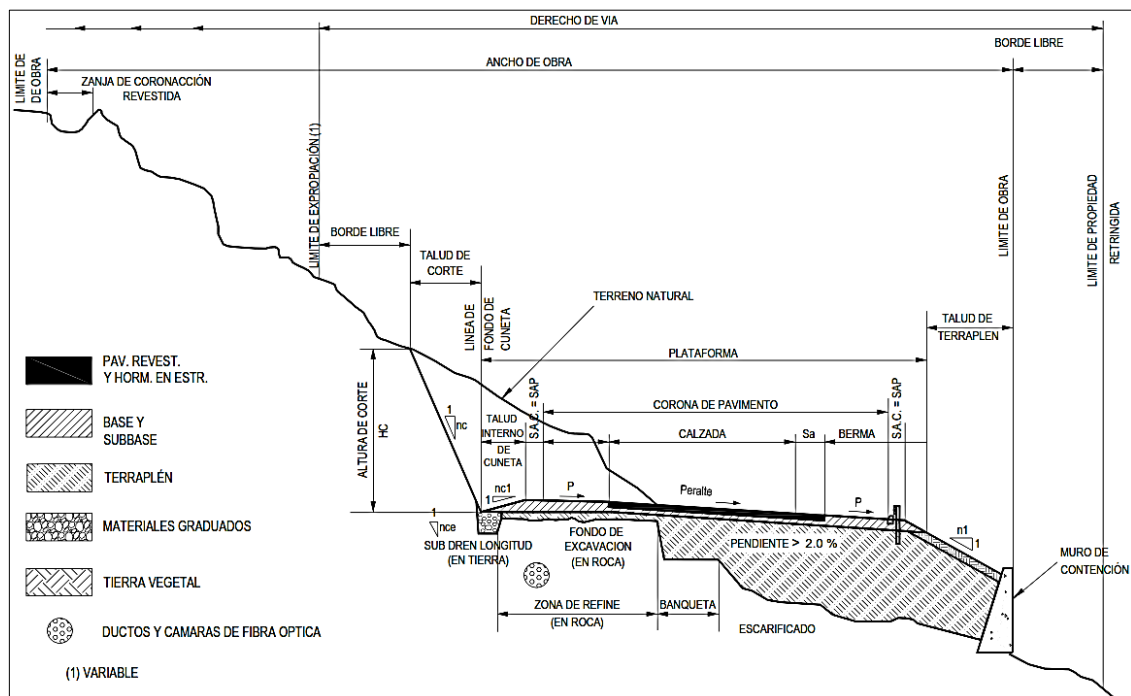


Figura 11

Sección transversal tipo a media ladera para una autopista en tangente



Fuente: Manual de carreteras (DG,2018)

2.2.31. GPS diferencial

GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de errores de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de proporcionar una mayor precisión en la posición calculada (Torres, 2018).

2.2.32. Método diferencial. (RTK, cinemático en tiempo real)

Este método RTK aplica el principio del método en tiempo real, esta técnica exige la disponibilidad de por lo menos una estación base, con las coordenadas conocidas y está dotada de un receptor GNSS y un receptor móvil, la estación genera y transmite las correcciones diferenciales a las estaciones móviles que usan los datos para determinar precisamente sus posiciones, la exactitud alcanzada dependerá de la recepción de las correcciones de la base y de la distancia de la línea base, las correcciones pueden transmitir vía radio o vía internet (Torres, 2018).

2.2.33. Radar

El radar es un acrónimo que significa para la detección de radio y van (RADAR). utiliza ondas de radio para rebotar en un objeto distante como un vehículo por el tiempo que tardan las señales a volver (Arteaga & Ortega, 2015).

Medidores con el principio Doppler.

Los principios Doppler envían señal hacia un objeto en movimiento, el cambio de frecuencia entre la señal transmitida y la señal reflejada es proporcional a la velocidad del vehículo en movimiento, algunos equipos que funcionan bajo el principio Doppler son las pistolas radar que envían una señal de radio, y luego recibe la misma señal que se ha reflejado en un blanco (Arteaga & Ortega, 2015).

2.2.34. Pistola radar

El instrumento mide la diferencia entre la frecuencia de las microondas señal transmitida por el pistola radar y la de la señal reflejada por el vehículo, que luego es

derivada a velocidad en kilómetros por hora, la pistolas radar operan en las bandas X, K, Ka, banda IR (infrarroja), la ventaja de usar estos dispositivos es que si se ubican en una buena posición en la que el aparato no sea percibido por los conductores se reduce el cambio del comportamiento de estos, además, lo importante de una pistola radar es su bajo precio y su maniobrabilidad (Arteaga & Ortega, 2015).

Figura 12

La pistola radarica bushnell



Fuente: https://www.amazon.es/Bushnell-LYSB004EHUK5A-ELECTRNCS-BUSHNELL-BSH101911/dp/B004EHUK5A/ref=cts_lu_1_vtp

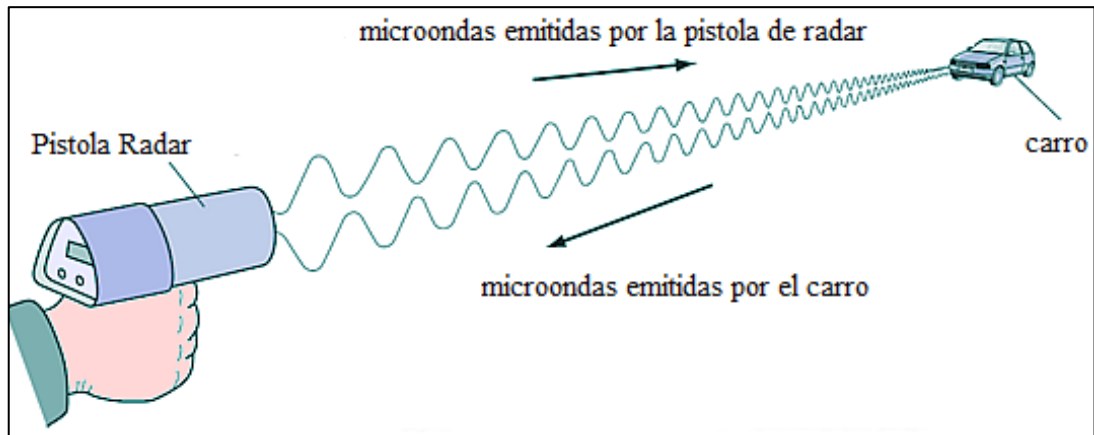
Especificaciones referenciales

- Rendimiento de la velocidad: pelota: 10 a 110 MPH a 90 pies / 16-177 KPH a 27 metros
- Vehículos : 10-200 MPH a 1.500 Pies / 16-322 KPH a 457 metros
- Precisión: +/- 1 MPH
- Tipos de pila: C (2)
- Tiempo de funcionamiento: hasta 20 horas
- Gama de temperatura de funcionamiento : 32-104 F / 0-40 C

2.2.35. El funcionamiento de la pistola radar de medición de velocidades

Figura 13

Microondas emitidas por el vehículo vs pistola radar



Fuente: <https://www.cyberphysics.co.uk/Q&A/KS4/waves/A2.html>

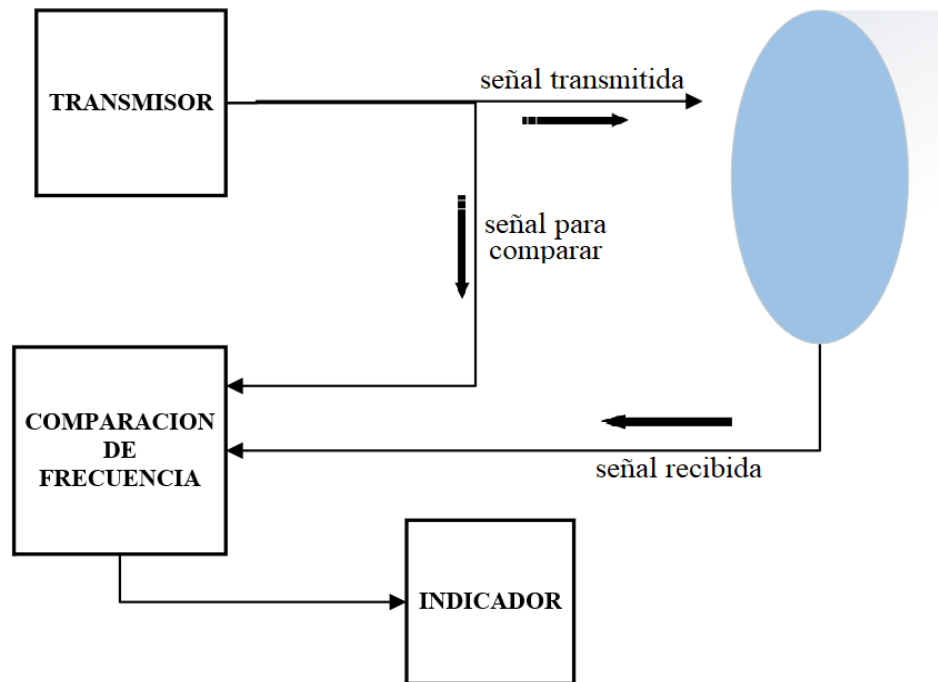
Los detectores de velocidad de radar hacen rebotar una radiación de microondas sobre el vehículo en movimiento y detectan las ondas reflejadas, estas ondas están desplazadas en frecuencia por el efecto Doppler, y la frecuencia de batido entre las ondas dirigidas y reflejadas, proporcionan una medida de la velocidad del vehículo ver la figura 13 y 14 (Arteaga & Ortega, 2015).

Como funciona:

- Transmisor o radio de frecuencias
- Un receptor y Comparación de frecuencias de la misma banda
- Una pantalla que indica la velocidad estimada de vehículos que se aproxima
- Una antena transmisora receptora con reflector parabólico

Figura 14

Funcionamiento de la pistola Radar



Funciona de la siguiente manera la señal producida por el transmisor es enfocada por (Tara) y regresa a la antena y estos serán simplificadas en el receptor , en el comparador se compara las muestra de señal transmitida si ambas son idénticas en cuanto a su frecuencia la señal indicara cero velocidades , si hay diferencia en la frecuencia que se refleja en el vehículo la pantalla indicara un valor de velocidad ver la figura 14 (<https://www.youtube.com/watch?v=ETLbemtbzI>).



CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. ZONA DE ESTUDIO

La presente investigación está ubicada en la parte oeste de la región de Puno, en la carretera Puno – Moquegua que comprende del kilómetro km 63+000 – km 65+000.

3.1.1. Ubicación Política

- Región : Puno
- Provincias : Puno
- Distritos : Pichacani
- Carretera : Puno - Moquegua

3.1.2. Ubicación en coordenadas UTM

La zona de investigación está ubicada al oeste de la región Puno, comprendida en el sistema de coordenadas UTM - WGS 84, zona del esferoide 19 sur.

Tabla 13

Ubicación en coordenadas UTM

km 63+000		km 65+000	
Norte	8199152.000	Norte	8199579.000
Este	372232.000	Este	372014.000

3.1.3. Vía de comunicación y accesibilidad

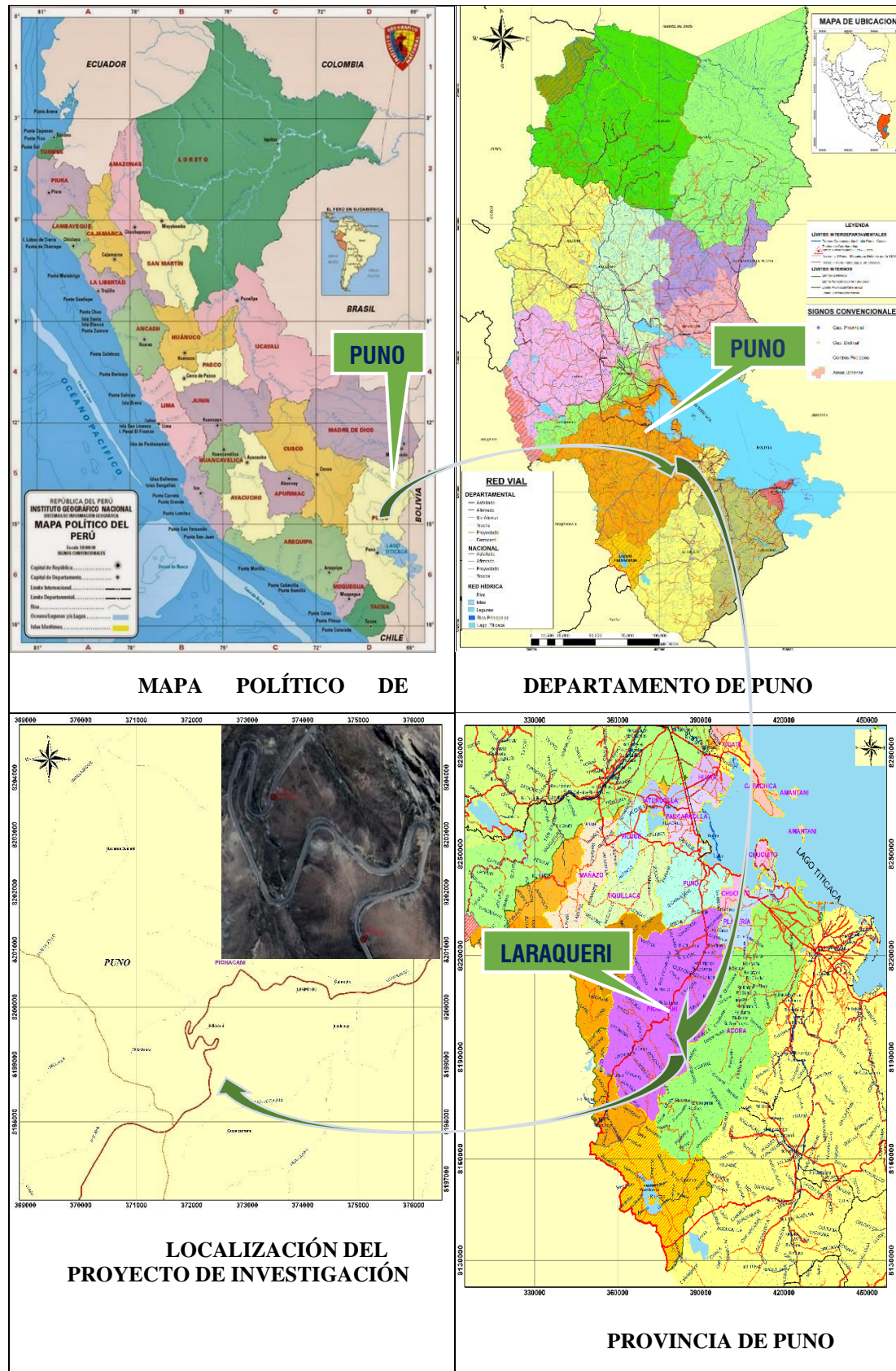
Tabla 14

Carretera de acceso al lugar de estudio

Tramo	Tipo de carretera	distancia (km)	Tiempo (h)
Puno-Moquegua	Asfaltado	63 km	2:15:00 h

Figura 15

Mapas de ubicación del proyecto





3.2. MATERIALES Y EQUIPOS

3.2.1. Materiales

- Fichas para recolección de datos
- Libreta de campo
- Materiales de escritorio

3.2.2. Equipos

- GPS diferencial (Anexo 3)
- Laptop

3.2.3. Instrumentos

- Pistola radárica de Velocidad de Bushnell II (Anexo 2)
- Cámara fotográfica
- Flexómetro

3.2.4. Software empleado

- Civil 3d (educativo)
- AutoCAD (educativo)
- Google earth (libre)
- IBM SPSS Statistics (libre)

3.3. METODOLOGÍA Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

3.3.1. Enfoque de la investigación

Según el enfoque de la investigación es cuantitativa porque se busca comprobar la hipótesis a base de recolección de datos, además se emplean datos números que son medibles, demostrados y los resultados estadísticos son exactos y medibles.

Según el autor del libro de metodología de la investigación, en el enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para contestar las preguntas de investigación y probar la hipótesis establecidas con todos los principios de medición numérica, y



análisis estadístico para establecer con exactitud patrones de comportamiento de población (Hernández, 2014).

3.3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación es una investigación aplicada por que se basa teorías existentes para solucionar el problema.

Según el grado de intervención del investigación es “observacional” porque no existe la intervención del investigación sobre la variable, tampoco hay intención del investigación de modificar los resultados, los datos reflejan son de evolución natural de los eventos, ajena a la voluntad del investigación (Supo, 2012).

Según la planificación del grado de control de mediciones es “prospectivo” por qué se requiere de mediciones planeadas para el estudio además son recogidos a propósito de la investigación (Supo, 2012).

Según el número de mediciones sobre la variable de estudio es “transversal “es porque las variables fueron medidas en una sola ocasión, por ello de realizar comparaciones, se trata de muestras independientes (Supo, 2012).

Según el número de variables de interés tiene dos variables por lo tanto es “analítico” el análisis estadístico por lo menos es bivariado, porque plantea y tiene prueba hipótesis (Supo, 2012).

3.3.3. Nivel de investigación

El nivel de investigación es explicativo por ser el estudio de causa-efecto que requiere de control, porque además tuvo como fin de comparar las velocidades de operación y diseño (Supo, 2012).

3.3.4. Diseño de investigación

El diseño de investigación es de diseño no experimental, según el control los sesgos de medición son prospectivo por que el número de mediciones sobre el variable

de estudio es transversal, por lo cual se obtendrá los datos de velocidad de operación de los vehículos que transiten sin ninguna dificultad en el trayecto del tramo de estudio (Hernandez et al., 2014).

3.3.5. Población

En el presente trabajo de investigación la población de estudio es la velocidad de operación de vehículos en la ruta nacional con código vial N° 32 A, carretera Puno-Moquegua.

3.3.6. Muestra

La muestra estadística es no probabilística o muestreo por conveniencia, que es elegido como la velocidad de operación de vehículos en la carretera de Puno - Moquegua, en el kilómetro Km 63+000 – Km 65+000, se tomó los datos de velocidad vehículos por tipo de vehículo en cada curva horizontal que están en el tramo de estudio.

3.3.7. Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 15

Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Indicadores	Índice	Unidad	Tipo de variables
Dependiente	Velocidad de diseño	Kilómetros por hora	km/h.	Variable analítica
Independiente	Velocidad de operación	Kilómetros por hora	km/h.	Variable analítica

3.4. MÉTODOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS

3.4.1. Técnicas de recolección de datos

a) Método directo

Primero se realizó el levantamiento topográfico con GPS diferencial en modo RTK los siguientes detalles de la vía eje, la superficie de rodadura, obras de arte, luego se verifico las curvas horizontales ubicando los puntos para proceder con la medición de

velocidades con la pistola radarica para hacer su respectiva comparación de velocidades de diseño y operacional.

Figura 16

Reconocimiento de terreno y plan de trabajo

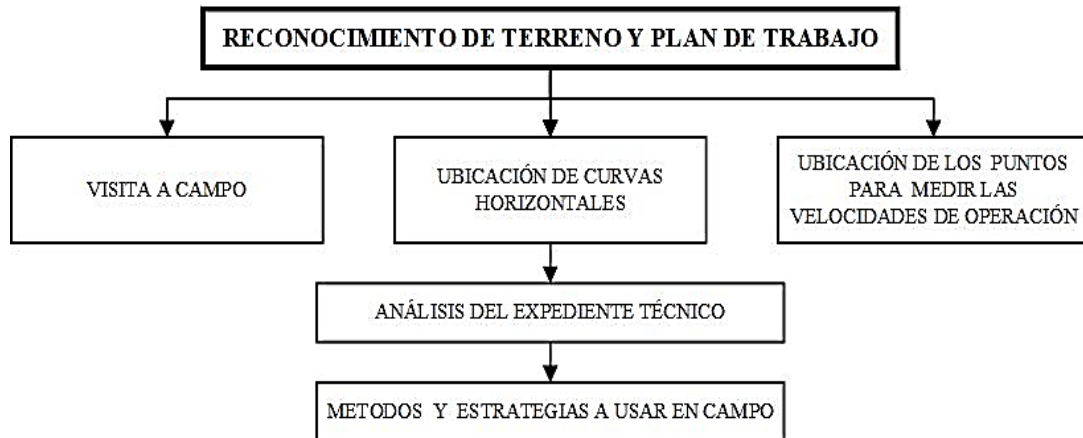


Figura 17

Reconocimiento de terreno y plan de trabajo

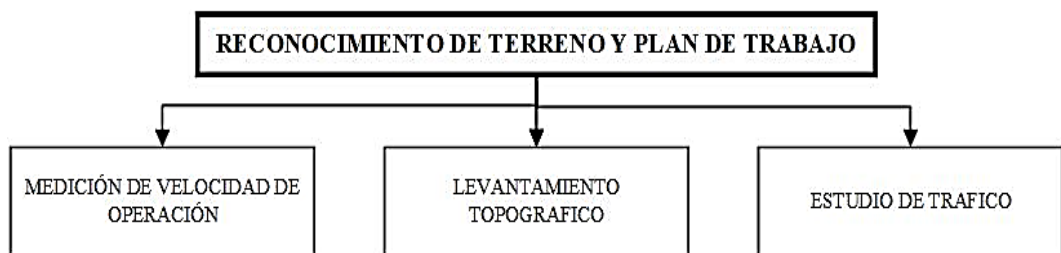
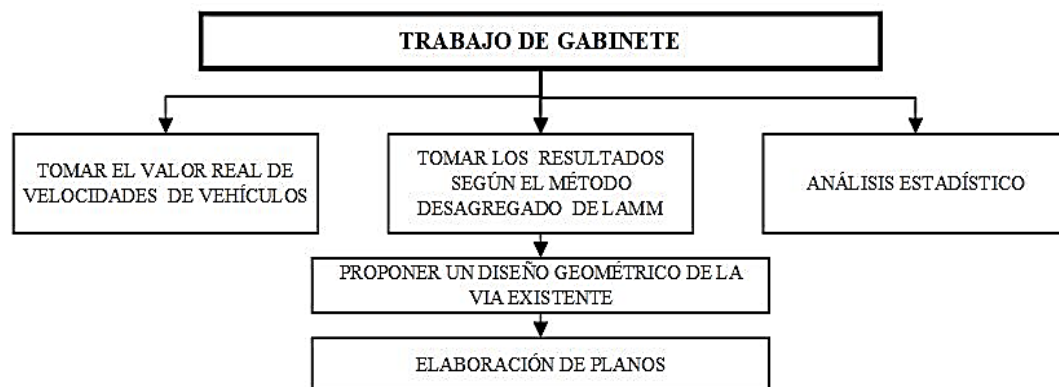


Figura 18

Trabajo de gabinete





b) Método indirecto

Se tomó como referencia el expediente técnico del tramo de estudio y el manual de carreteras de diseño geométrico DG-2018.

3.5. PROCESO PARA DETERMINAR LA VELOCIDAD DE OPERACIÓN

3.5.1. Metodologías de toma de datos

La recolección de los datos de velocidad de operación de vehículos con el instrumento pistola radar fue de forma manual, para registrar la velocidad de operación de un vehículo se utilizó la pistola de radar, el operador del equipo observó la pantalla LCD del dispositivo y otra persona debe de registrar los datos leídos en el formato de mediciones, al utilizar pistolas radar los operadores se tendrá que ubicar fuera de la carretera que sea posible visualizar el punto de medida de velocidad para evitar las modificaciones del comportamiento de los conductores.

3.5.2. Recolección de datos de velocidad

- **Proyecto:** Se registro el nombre del proyecto de investigación.
- **Ubicación:** Se registro la ubicación del proyecto de investigación.
- **Código de estación:** Se registro el número de cada curva horizontal.
- **Estado del pavimento:** El estado de la carretera del tramo de estudio debe estar en buenas condiciones ya que este es un factor que influye en las variaciones de las velocidades de operación que desarrollan los vehículos.
- **Condición climática:** La condición climática es importante ya que este tipo de investigación se debe realizar en condiciones favorables (no presencia de lluvia).
- **Tesista:** Se registro el nombre del investigador.
- **Sentido De Marcha:** El estudio se realizó en los dos sentidos de marcha (Dirección: Puno – Moquegua y Moquegua - Puno).
- **Fecha:** Se registro de acuerdo al día de la realización de toma de datos (día–mes–año).



- **Hora:** se registró inicio y fin de recolección de los datos de velocidad de operación.
- **Tipo De Vehículos:** Los vehículos seleccionados para la investigación se tomaron en cuenta los siguientes automóviles: autos, camionetas, combis, buses, camiones y Tráileres.

3.5.3. Formato para medición de velocidades en campo

Para hacer el estudio de medición de velocidades de operación se elaboró un formato en el que se registra algunas de las características del elemento al cual se le consigna el valor de los datos de mediciones de las velocidades de operación de vehículos en cada curva horizontal con el instrumento pistola radárica de velocidad de Bushnell ver la figura 19.

Figura 19

Formato de medición de velocidades

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA TOPOGRAFICA Y AGRIMENSURA	
FORMATO PARA EL ESTUDIO DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN	
HOJA N°: _____	
PROYECTO : _____	SENTIDO: _____
UBICACIÓN : _____	FECHA: _____
COD ESTACION : _____	HORA DE INICIO: _____
ESTADO DEL PAVIMENTO : _____	HORA FINAL : _____
CONDICION CLIMATICA : _____	
TESISTA : _____	

DIAGRAMA VEHICULAR	AUTO	STATION WAGON	COMBI	CAMION	TRAYLERS
N°					
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					
v(85)					

3.5.3.1. Determinación de la velocidad de operación V (85)

Después de haber obtenido los datos de velocidad de operación de vehículos en campo bajo las condiciones de flujo libre en cada curva horizontal en el tramo de investigación km 63+000 – km 65+000, se ha agrupado los vehículos en: autos, camionetas, buses, camiones y tráileres, se procede al cálculo de la velocidad de

operación (V85) o el percentil 85 para ello es necesario ordenar de menor a mayor los datos obtenidos de velocidad de operación y posteriormente identificar el valor que equivale al 85% de los datos.

$$V_{85} = \frac{85xN}{100}$$

Donde:

V85: Velocidad de operación en el percentil 85

N: Numero de Muestras de Velocidad

3.6. PROCESO PARA LA DIFERENCIA DE VELOCIDADES

3.6.1. Criterios de Lamm I

El criterio I del método desagregado de Lamm evalúa la diferencia entre la velocidad de operación (V85) y la velocidad de diseño o proyecto en una carretera en curva horizontal (Cárdenas & Echaveguren, 2015).

Criterio I. Comparación entre la velocidad de diseño y la de operación de vehículos

El criterio I, se evalúo la diferencia entre la velocidad de operación (V85) y la velocidad de diseño o proyecto (Vd) de cada curva horizontal con respecto al radio (R), peralte máximo ($p_{max}=6.0$) y coeficiente de fricción transversal máximo ($f_{max} = 0.15$), presenta buena consistencia cuando la diferencia entre velocidad de operación V(85) y velocidad de diseño Vd es inferior a 10 km/h, es aceptable cuando la diferencia entre la V(85) y Vd este en el intervalo de velocidades (ΔV) sea de 10 km/h a 20 km/h, mientras que es pobre cuando la diferencia es superior a 20 km/h (Llopis & Camacho, 2021).

Tabla 16

Primer criterio de Lamm

Criterio	Descripción	Condición	Estado
I	$V_D - V_{85}$	≤ 10 km/h	Bueno
		$10\text{km/h} < \Delta V \leq 20\text{km/h}$	Regular
		> 20 km/h	Malo




Fuente : Primer criterio de desagregado Lamm (Lamm et al., 2011)

3.6.2. Criterio de Lamm II

El criterio II de método desagregado Lamm se basa en la comparación entre velocidades de operación entre elementos consecutivos del alineamiento de curvas horizontales, el criterio trata de identificar principalmente qué curvas horizontales están causando decrementos significativos de la velocidad de operación, cuando el estado es buena cuando la diferencia entre velocidad de operación $V(85)$ y velocidad de diseño V_d es inferior a 10 km/h, es aceptable cuando la diferencia entre la $V(85)$ y V_d este en el intervalo de velocidades (ΔV) sea de 10 km/h a 20 km/h, mientras que es pobre cuando la diferencia es superior a 20 km/h ver la tabla 17 (Felipe, 2014).

Tabla 17

Segundo criterio de Lamm II

Criterio	Descripción	Condición	Estado	
II	$V^2_{85}-V^1_{85}$	≤ 10 km/h	Bueno	
		10 km/h $< \Delta V \leq 20$ km/h	Regular	
		> 20 km/h	Malo	

Fuente : Primer criterio de desagregado Lamm (Lamm et al., 2011)

Estado 1: Diseño bueno

En las curvas horizontales de la carretera si existe coherencia del alineamiento horizontal entre sucesivos elementos de diseño y el alineamiento horizontal no crea incoherencias en las velocidades de operación del vehículo, no son necesarias las modificaciones del alineamiento (Felipe, 2014).

Estado 2: Diseño tolerable

En las curvas horizontales de la carretera pueden presentar por lo menos incoherencias menores en el diseño geométrico entre sucesivos elementos de diseño, se procede a regulaciones de la velocidad, pero sin rediseños (Felipe, 2014).

Estado 3: Diseño pobre

En las curvas horizontales de la carretera si presentan incoherencias fuertes en el diseño geométrico horizontal entre sucesivos elementos de diseño, lo cual puede conducir a críticas frecuencias y gravedades de accidentes, con rediseño (Felipe, 2014).

3.7. PROPUESTA DE NUEVO DISEÑO GEOMÉTRICO

3.7.1. Según de expediente técnico

Según el expediente técnico establecieron los siguientes parámetros con referencia normativa del manual de diseño geométrico de carreteras (DG-2001) del ministerio de transportes y comunicaciones y que fueron aprobadas mediante Resolución Directoral N° 143-2001-MTC/15.17 del 12 de marzo del 2001.

Tabla 18

Parámetros de diseño del expediente técnico

Parámetro	Valores
Velocidad	50 km/h
Velocidad para curvas de vuelta	30 km/h
Ancho de plataforma	7.40 m
Ancho de berma	0.70 m
Radio mínimo	60.00 m
Pendiente máxima longitudinal	7.00 %
Longitud mínima de curva vertical	50.00 m
Ancho de la superficie de rodadura	6.00 m
Bombeo de la calzada	De acuerdo
Peralte máximo	al manual de diseño
Sobreancho máximo	de carreteras del
Talud de relleno $H < 3$ m	MTC. versión DG-
Talud de relleno $H > 3$ m	2001
Talud de corte	

Fuente: concesionaria Vial del Sur S.A.

3.7.2. Estudio tráfico

La carretera Puno - Moquegua, forma parte del tramo 5: Ilo – Moquegua – Puno – Juliaca y Matarani – Arequipa – Juliaca – Azángaro del corredor vial interoceánico sur, Perú – Brasil, entregado en concesión al Consorcio Concesionaria vial interoceánica Sur.

Tabla 19

Estudio tráfico del expediente técnico

Sector I3: Pte Gallatini - Puno		
Año	2013	2018
IMDA	248	319

Fuente: concesionaria Vial del Sur S.A.

3.7.3. Modelo de Lamm

Calificación del estado de diseño geométrico del tramo de estudio según el método de desagregado de Lamm, para todos los radios de las curvas horizontales, el procedimiento para la calificación del modelo consta de cinco etapas: 1) identificación el alineamiento de la curva horizontal a evaluar, 2) identificar del número de curvas horizontales a evaluar, 3) calcular las variables de diseño, 4) definir las velocidades de operación, 5) la calificación del estado de diseño geométrico, el estado es buena cuando el resultado de IC es inferior a 10 km/h, es aceptable cuando la diferencia entre la IC este en el intervalo de 10 km/h a 20 km/h, mientras que es pobre IC es superior a 20 km/h ver la tabla 20 y 21 (Felipe, 2014).

Tabla 20

Calificación del diseño geométrico según método de desagregado Lamm

Criterio	Elemento geométrico	Criterio de consistencia	Estado del diseño
1	Curvas	$IC1 \leq 10 \text{ km/h}$	Bueno
	horizontales	$10 < IC1 \leq 20 \text{ km/h}$	Regular
	aislados	$IC1 > 20 \text{ km/h}$	Malo

Fuente: En la tabla el modelo de Lamm para la calificación del diseño (Cardenas, 2014).

Tabla 21*Calificación del diseño geométrico según método de desagregado Lamm*

Criterio	Elemento geométrico	Criterio de consistencia	Estado del diseño
2	Curvas de inflexión en "S"	$IC2 \leq 10$ km/h	Bueno
		$10 < IC2 \leq 20$ km/h	Regular
		$IC2 > 20$ km/h	Malo

Fuente: En la tabla el modelo de Lamm para la calificación del diseño (Cardenas, 2014).

3.7.4. Para determinar el estado del diseño según el método de Lamm

- Velocidad de operación en principio de curva (V85-PK) en km/h

Para calcular la velocidad de operación de tomo la siguiente formula curva horizontal sobre pendiente ($4\% < i < 9\%$) (DG, 2018).

$$V_{85} = 96.61 - \frac{2752.19}{R}$$

$$V_{85-PK} = 51.31 + 0.524 V_{85} - \frac{1811.9}{R}$$

- Velocidad de operación en mitad de curva (V85-MC) en km/h

$$V_{85-MC} = V_{85-PK} - 61.31 \frac{1}{\sqrt{R}}$$

- Velocidad de operación en fin de curva (V85-FK) en km/h

$$V_{85-FK} = 1.05 V_{85-MC} + 0.103 \sqrt{R}$$

- la calificación del diseño geométrico de la curva horizontal de la carretera según el método de desagregado de Lamm.

$$IC1 = |VD - V_{85-MC}|$$

3.7.5. Topografía

Establecimiento de puntos de control

Para la presente investigación se colocó puntos de control con GPS diferencial, tomando como punto referencial BM's en el tramo de investigación.

Tabla 22

Puntos de control del proyecto de tesis

Punto	Norte	Este	Elevación	Descripción
1	8199461.849	372163.211	4436.791	PC1
2	8199260.101	372391.909	4457.429	PC2

Levantamiento topográfico

El levantamiento topográfico se realizó con GPS diferencial en modo RTK , se procedió al seccionamiento de la franja de carretera tomando puntos de relleno a partir de los puntos de control, fueron tomados básicamente de los bordes y el eje de la carretera existente, las cunetas, pies de taludes de corte y relleno.

3.7.6. Trabajos de gabinete

Los datos recolectados con GPS diferencial en modo RTK, se procedió con la descarga con el apoyo del software TOPLINK con una extensión csv (delimitado por comas), posteriormente se realizó la importación de los datos al civil 3D, llegando a obtener el nube de puntos, por último se realizó diseño geométrico de las curvas horizontales que no cumplen según el criterio Lamm, teniendo como producto final los planos.

3.7.7. Características técnicas de la carretera

Según la norma diseño geométrico, se estableció las características generales de diseño en el siguiente cuadro correspondiente al estudio de índice medio diario y la orografía

a) clasificación de la carretera

Según el estudio de tráfico se estimó que este tramo tiene un Índice Medio Diario anual ligeramente mayor a 400 vehículos por día.

b) Velocidad Directriz



La velocidad de diseño se planteó de acuerdo a la clasificación de la vía según el manual de carreteras DG-2018, una vez seleccionada la clasificación de la vía y determinado la velocidad directriz en el tramo de estudio, podemos determinar las características geométricas de la carretera a adoptar.

c) Radio mínimo en curvas horizontales

En el caso de radios se empleó en función de la velocidad diseño y del peralte, a continuación, se muestran los radios mínimos adoptados según la velocidad directriz de nuestro estudio, para zona rural accidentada o escarpada:

$$V_d = 40 \text{ km/hr}$$

$$p_{\max} = 12\%$$

$$R_{\min} = 45 \text{ m}$$

d) Ancho de la Calzada

El ancho de calzada de la carretera es el ancho de la superficie de rodadura y varía de acuerdo a su uso, terreno y del estudio de tráfico.

e) Sobreancho

Los valores de sobreancho están en función de la velocidad diseño y del radio de cada curva horizontal además se tomó en cuenta el tipo de vehículo, el radio de la curva horizontal y la velocidad directriz.

f) Pendientes máximas

De acuerdo con la Tabla 14 la pendiente máxima normal para altitudes de hasta 3,000 msnm y para una vía de segunda clase como la nuestra es de 9%.

3.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

3.8.1. Planteamiento de la hipótesis

H_0 : la velocidad de operación es menor que la velocidad de diseño

H_a : la velocidad de operación es mayor que la velocidad de diseño



3.8.2. Error de la muestra y nivel de confianza

Para el análisis estadístico de la presente investigación se consideró un error muestral 0.05 o 5% con un nivel de confianza de 0.95 o 95%.

3.8.3. Los instrumentos de observancia

Los datos utilizados en la presente investigación serán primarios por que se tomó las propias mediciones con pistola radar de velocidad y el levantamiento topográfico con GPS diferencial, también se utilizó el manual de diseño geométrico y el expediente técnico para lo cual será el secundario.

3.8.4. Prueba estadística

La prueba estadística empleada es el diseño de bloques completamente al azar con el software SPSS ,se utilizó porque en este diseño los tratamientos se asignan al azar a los bloques , la prueba de hipótesis implica una comparación de las diferencias entre tratamientos, siendo las muestras independientes (muestras diferentes) o dependientes (una muestra evaluada en dos momentos distintos), las variables ingresadas como los resultados de las velocidades de operación según el tipo de vehículo en cada curva horizontal y la velocidad de diseño.

El diseño de bloques completamente al azar busca determinar diferencias entre tratamientos, es aplicado en cada bloque, el número de unidad de experimentales por bloques es constante, Cuando el diseño se utiliza, en la tabla ANOVA se reduce y mejora la probabilidad de rechazar la hipótesis nula (Melo & Lopez, 2020).

Figura 20

Arreglo de datos para un diseño por bloques completos aleatorizados

Bloques	Tratamientos						Total	Medias
	1	2	...	i	...	t		
1	y_{11}	y_{21}	...	y_{i1}	...	y_{t1}	$y_{.1}$	$\bar{y}_{.1}$
2	y_{12}	y_{22}	...	y_{i2}	...	y_{t2}	$y_{.2}$	$\bar{y}_{.2}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
j	y_{1j}	y_{2j}	...	y_{ij}	...	y_{tj}	$y_{.j}$	$\bar{y}_{.j}$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
b	y_{1b}	y_{2b}	...	y_{ib}	...	y_{tb}	$y_{.b}$	$\bar{y}_{.b}$
Total	$y_{1.}$	$y_{2.}$	...	$y_{i.}$	...	$y_{t.}$	$y_{..}$	
Medias	$\bar{y}_{1.}$	$\bar{y}_{2.}$	...	$\bar{y}_{i.}$	...	$\bar{y}_{t.}$		$\bar{y}_{..}$

EL MODELO ESTADÍSTICO

$$y_{i.} = \sum_{j=1}^b y_{ij}, y_{.j} = \sum_{i=1}^t y_{ij}, \bar{y}_{i.} = \frac{1}{b} \sum_{j=1}^b y_{ij}, \bar{y}_{.j} = \frac{1}{t} \sum_{i=1}^t y_{ij}, \bar{y}_{..} = \frac{1}{tb} \sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^b y_{ij}.$$

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} =variable de respuesta

μ = media global

T_i = efecto del tratamiento

β_j = efecto del bloque

ϵ_{ij} =error aleatorio

DESCOMPOSICIÓN DE LA SUMA DE CUADRADOS

suma de cuadrados total

$$SCT = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^b (y_{.j} - \bar{y})^2$$

suma de cuadrados de los tratamientos

$$SCTR = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^b (\bar{y}_{.j} - \bar{y})^2$$

suma de cuadrados de los bloques

$$SCB = \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^b (\bar{y}^i - \bar{y})^2$$

suma de cuadrados de los bloques

$$SCE = SCT - SCTR - SCBL$$

PRUEBA DE HIPÓTESIS

Tabla 23

Tabla de ANOVA en Diseño Bloques Completamente al Azar

Modelo	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media cuadrática	Fc	p-value
Bloque	SCB	b-1			
Tratamiento	SCTR	t-1	MCB=SCB/(b-1)	$\frac{MCB}{MCE}$	P(F>F0)
Error	SCE	GL _T -(t-1)-(b-1)	MCTR=SCTR/(t-1)	$\frac{MCTR}{MCE}$	P(F>F0)
Total	SCT	n-1	MCE=SCE/(n-b-t+1)		

Reglas para el rechazo de H₀

✓ Fijar α y rechaza H₀ si $F_C > F_{1-\alpha}(t-1, n-b-t+1)$

✓ Rechace H₀ si valor - p < 0.05, donde valor -p = P(F > F_c)

PRUEBA DE BONFERRONI

La prueba de Bonferroni permite comparar las medias de los niveles de un factor después de haber rechazado la hipótesis nula (H₀) de igualdad de medias mediante la técnica ANOVA. (Dagnino, 2014).

El método de Bonferroni, al hacer varias comparaciones planeadas se puede compensar el aumento de la probabilidad de obtener significación por azar, disminuyendo el nivel de α requerido para dar por significativo el resultado pero limitan a un máximo de 5 % la probabilidad (Dagnino, 2014).

Figura 21

Ingreso de datos para la prueba Bonferroni

Factores inter-sujetos

Variable dependiente: kmh (Velocidades)

Factores fijos: tipos de velocidad, tipos de vehículo

Factores aleatorios:

Covariables:

Ponderación MCP:

8,00 curva 8 10
9,00 curva 9 10

Univariados: Comparaciones múltiples post hoc para las medias observadas

Factores: TipVelocidad, TipVehículo, TipCurvas

Pruebas post hoc para: TipVelocidad, TipVehículo, TipCurvas

Asumiendo varianzas iguales

DMS S-N-K Waller-Duncan
 Bonferroni Tukey Tukey-b
 Sidak Scheffe Duncan Dunnett
 R-E-G-W-F GT2 de Hochberg Prueba
 R-E-G-W-Q Gabriel Bilateral Control Control

Tasa de errores tipo I (tipo II): 100

Categoría de control: Último

No asumiendo varianzas iguales

T2 de Tamhane T3 de Dunnett Games-Howell C de Dunnett

Continuar Cancelar Ayuda

Pruebas de efectos inter-sujetos

Variable dependiente: kmh

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2544,844 ^a	13	195,757	14,219	,000
Intersección	107892,844	1	107892,844	7836,193	,000
TipVelocidad	1922,844	1	1922,844	139,668	,000
TipVehículo	460,044	4	115,011	8,354	,000

CAPITULO IV






RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RESULTADOS PARA EL PRIMER OBJETIVO ESPECIFICO

En la tabla 24 se observa el resumen velocidades de operación (V85) o el percentil (85) que se realizó por tipo de vehículos, autos, camionetas, combis, camiones y tráileres de cada curva horizontal, por lo tanto se observó que las velocidades de operación (V85) es mayor que la velocidad de diseño que se menciona en la tabla 18 según los parámetros del expediente técnico, se observa que las velocidades de operación de autos y camionetas y combis a lo largo de todo el tramo de estudio son mayores a las velocidades de operación de camiones y tráileres, de lo anterior se deduce que los automóviles ligeros desarrollan velocidades superiores a las velocidades de vehículos pesados para las cuales que ha sido diseñada la vía, y por consiguiente esta no satisface las expectativas de los usuarios.

Tabla 24

Resumen de velocidad de operación V(85)

Diagrama Vehicular	Auto		Camionetas		Combi		Camión		Tráiler	
										
Nº	Ida	Vuelta	Ida	Vuelta	Ida	Vuelta	Ida	Vuelta	Ida	Vuelta
Curva 1	48	48	63	48	46	40	30	43	34	34
Curva 2	55	42	57	45	48	44	31	25	33	25
Curva 3	43	51	49	51	47	61	30	41	38	38
Curva 4	43	54	49	51	48	61	36	41	30	38
Curva 5	48	58	46	61	45	60	40	44	30	38
Curva 6	61	52	61	53	54	54	54	55	49	44
Curva 7	54	43	56	39	39	62	40	48	49	45
Curva 8	44	54	60	43	56	60	30	43	38	38
Curva 9	57	66	55	69	59	64	30	42	42	41



V (85)	56	58	61	61	56	62	40	48	49	44
--------	----	----	----	----	----	----	----	----	----	----

4.2. RESULTADOS PARA EL SEGUNDO OBJETIVO ESPECIFICO

Según el primer criterio I de Lamm, se observa las diferencia existente entre la velocidad de operación (85) y la velocidad de diseño que se desarrolló por cada curva horizontal ,se calificó como pobre y aceptable para los vehículos ligeros como los autos ,camionetas y combis debido a que la diferencia es mayor a 20 km/h por otro lado se calificó como buena y aceptable para vehículos pesados como los camiones y tráileres por que la diferencia es menor a 10 km/h en los ambos sentidos de Puno-Moquegua, Moquegua- Puno del tramo de investigación km 63+000 – km 65+000.

Tabla 25

Velocidad de diseño según al radio

N°	Sentido	Radio de	Velocidad asociada a Rc
		curvatura (Rc)	(km/h)
1	D	33.6	29.9
2	I	25.9	26.3
3	I	180	69.3
4	I	41	33.1
5	D	39	32.3
6	I	82	46.8
7	D	24.5	25.6
8	D	45	34.6
9	I	72	43.8

Tabla 26

Comparación de velocidades de operación (85) y diseño

		Ida: Puno- Moquegua				Vuelta: Moquegua -Puno			
Nr. curvas	Tipos de Vehículos	Vel. diseño (Vd)	Vel. operación (V85)	Vd-V85	Rango consistencia	Vel. diseño (Vd)	Vel. operación (V85)	VD-V85	Rango consistencia
Curva N°1	auto	29.9	48	18.1	Aceptable	29.9	48	18.1	Aceptable
	camioneta	29.9	63	33.1	Pobre	29.9	48	18.1	Aceptable
	combi	29.9	46	16.1	Aceptable	29.9	40	10.1	Aceptable
	camión	29.9	30	0.1	Buena	29.9	43	13.1	Aceptable
	tráiler	29.9	34	4.1	Buena	29.9	34	4.1	Buena
Curva N°2	auto	26.3	55	28.7	Pobre	26.3	42	15.7	Aceptable
	camioneta	26.3	57	30.7	Pobre	26.3	45	18.7	Aceptable
	combi	26.3	48	21.7	Pobre	26.3	44	17.7	Aceptable
	camión	26.3	31	4.7	Buena	26.3	25	-1.3	Buena
	tráiler	26.3	33	6.7	Buena	26.3	25	-1.3	Buena
Curva N°3	auto	69.3	43	-26.3	Buena	69.3	51	-18.3	Buena
	camioneta	69.3	49	-20.3	Buena	69.3	51	-18.3	Buena
	combi	69.3	47	-22.3	Buena	69.3	61	-8.3	Buena
	camión	69.3	30	-39.3	Buena	69.3	41	-28.3	Buena
	tráiler	69.3	38	-31.3	Buena	69.3	38	-31.3	Buena
Curva N°4	auto	33.1	43	9.9	Buena	33.1	54	20.9	Pobre
	camioneta	33.1	49	15.9	Aceptable	33.1	51	17.9	Aceptable
	combi	33.1	48	14.9	Aceptable	33.1	61	27.9	Pobre
	camión	33.1	36	2.9	Buena	33.1	41	7.9	Buena
	tráiler	33.1	30	-3.1	Buena	33.1	38	4.9	Buena
Curva N°5	auto	32.3	48	15.7	Aceptable	32.3	58	25.7	Pobre
	camioneta	32.3	46	13.7	Aceptable	32.3	61	28.7	Pobre
	combi	32.3	45	12.7	Aceptable	32.3	60	27.7	Pobre
	camión	32.3	40	7.7	Buena	32.3	44	11.7	Aceptable
	tráiler	32.3	30	-2.3	Buena	32.3	38	5.7	Buena

Tabla 27

Comparación de velocidades de operación (85) y diseño

Numero de Curvas	Tipos de Vehículos	Ida: Puno- Moquegua				Vuelta: Moquegua -Puno			
		Vel. diseño (Vd)	Vel. operación (V85)	Vd-V85	Rango consistencia	Vel. diseño (VD)	Vel. operación (V85)	VD-V85	Rango consistencia
Curva N°6	auto	46.8	61	14.2	Aceptable	46.8	52	5.2	Buena
	camioneta	46.8	61	14.2	Aceptable	46.8	53	6.2	Buena
	combi	46.8	54	7.2	Buena	46.8	54	7.2	Buena
	camión	46.8	54	7.2	Buena	46.8	55	8.2	Buena
	tráiler	46.8	49	2.2	Buena	46.8	44	-2.8	Buena
Curva N°7	auto	25.6	54	28.4	Pobre	25.6	43	17.4	Aceptable
	camioneta	25.6	56	30.4	Pobre	25.6	39	13.4	Aceptable
	combi	25.6	39	13.4	Aceptable	25.6	62	36.4	Pobre
	camión	25.6	40	14.4	Aceptable	25.6	48	22.4	Pobre
	tráiler	25.6	49	23.4	Pobre	25.6	45	19.4	Aceptable
Curva N°8	auto	34.6	44	9.4	Aceptable	34.6	54	19.4	Aceptable
	camioneta	34.6	60	25.4	Pobre	34.6	43	8.4	Buena
	combi	34.6	56	21.4	Pobre	34.6	60	25.4	Pobre
	camión	34.6	30	-4.6	Buena	34.6	43	8.4	Buena
	tráiler	34.6	38	3.4	Buena	34.6	38	3.4	Buena
Curva N°9	auto	43.8	57	13.2	Aceptable	43.8	66	22.2	Pobre
	camioneta	43.8	55	11.2	Aceptable	43.8	69	25.2	Pobre
	combi	43.8	59	15.2	Aceptable	43.8	64	20.2	Pobre
	camión	43.8	30	-13.8	Buena	43.8	42	-1.8	Buena
	tráiler	43.8	42	-1.8	Aceptable	43.8	41	-2.8	Buena

En los siguientes gráficos se muestran las diferencias de velocidades de operación y la velocidad de diseño del tramo de investigación km 63+000 - km 65+000 en sentido de ida Puno-Moquegua, en donde se muestran que en las curvas horizontales los vehículos ligeros exceden las velocidades son los autos, camionetas y combis que están en estado

de pobre y aceptable según el criterio I y también se puede mostrar que los vehículos pesados como los camiones y tráileres están en estado de buena.

Figura 22

La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Puno-Moquegua

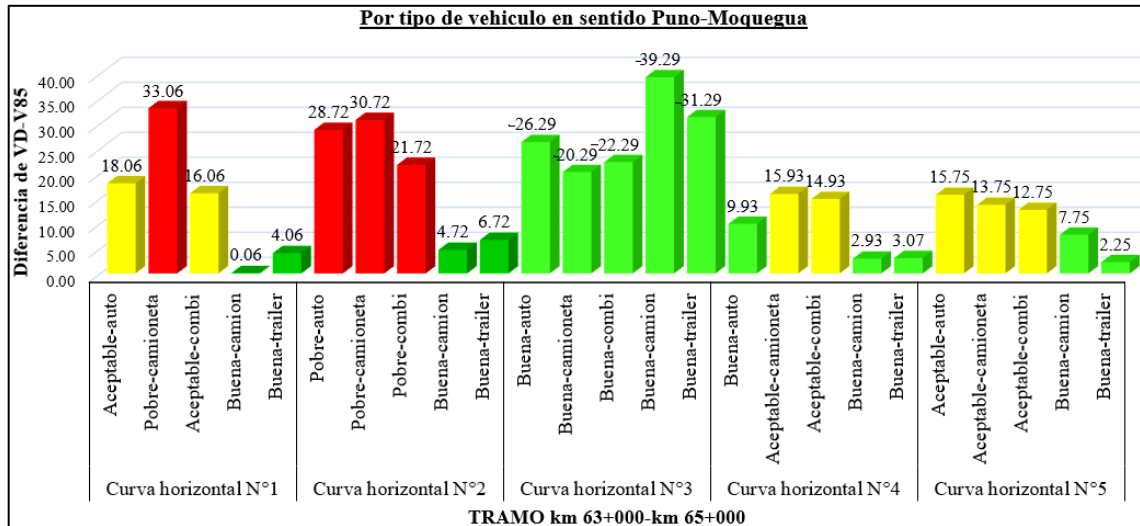
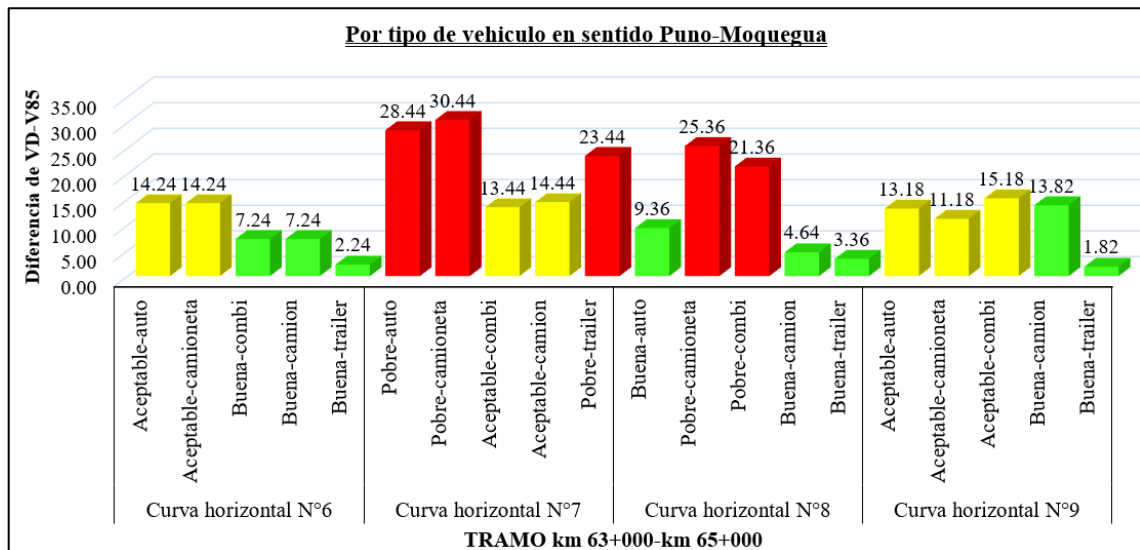


Figura 23

La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Puno-Moquegua



En los siguientes gráficos se muestran las diferencias de velocidades de operación y la velocidad de diseño del tramo de investigación km 63+000 – km 65+000 en sentido de vuelta Moquegua - Puno, en donde se muestran que en las curvas horizontales los vehículos ligeros que exceden la velocidad son los autos, camionetas y combis que están

en estado de pobre y aceptable según el criterio I y también se puede mostrar que los vehículos pesados como los camiones y tráileres están en estado buena y aceptable.

Figura 24

La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Moquegua - Puno

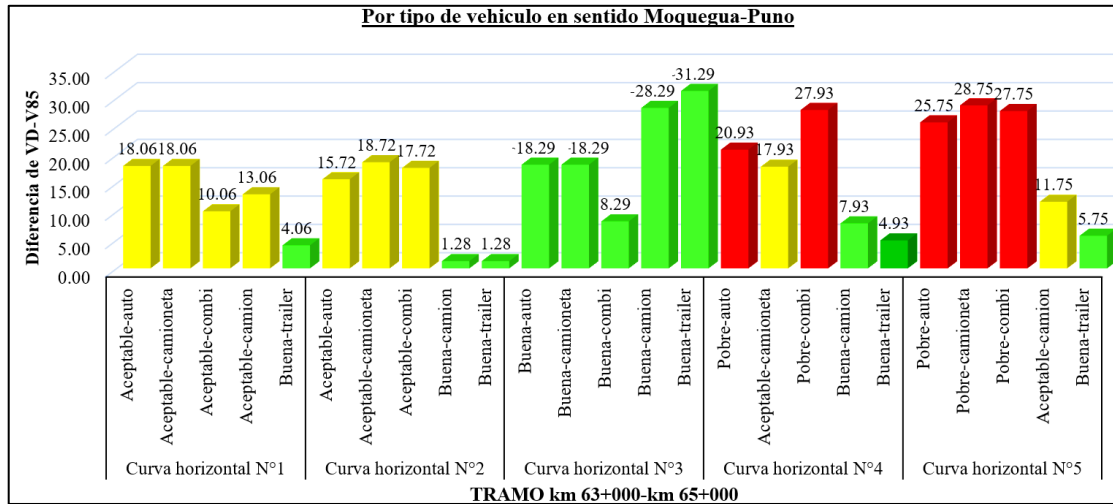
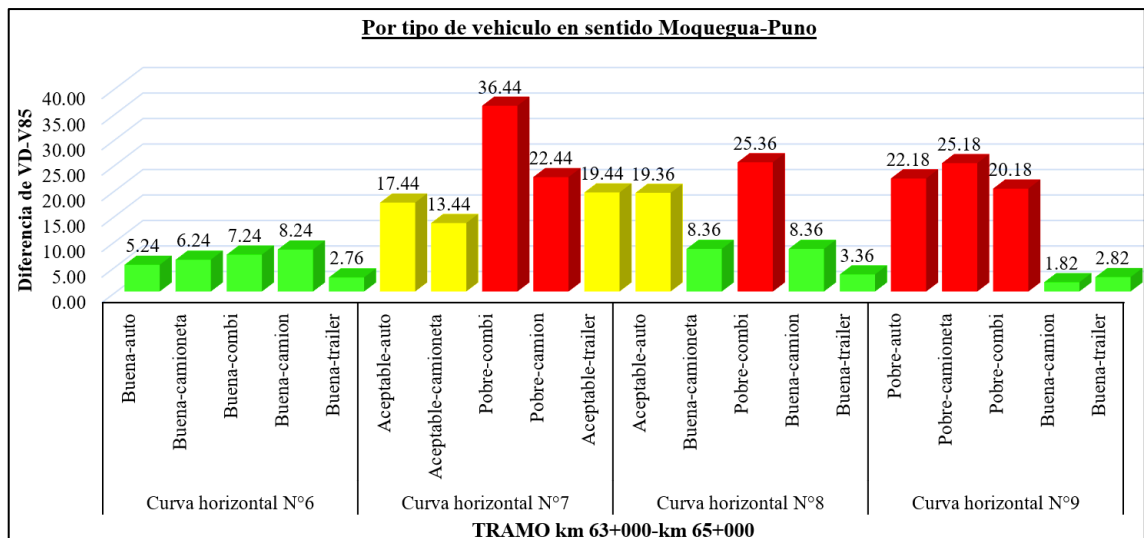


Figura 25

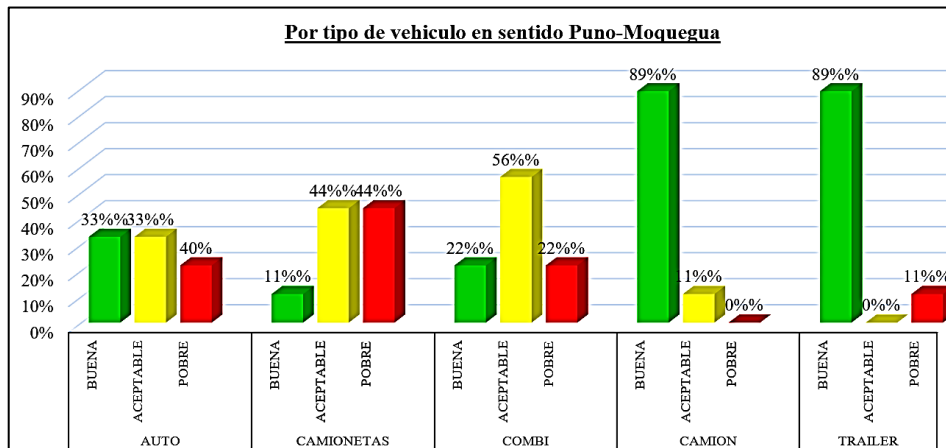
La diferencia de VD-V85 en sentido de ida Moquegua - Puno



En los siguientes gráficos se observa el porcentaje de vehículos que están en estado de buena aceptable y pobre según las diferencias de velocidades de operación y la velocidad de diseño del tramo de investigación km 63+000- km 65+000 de sentido de Puno – Moquegua, según el criterio I del método desagregado Lamm

Figura 26

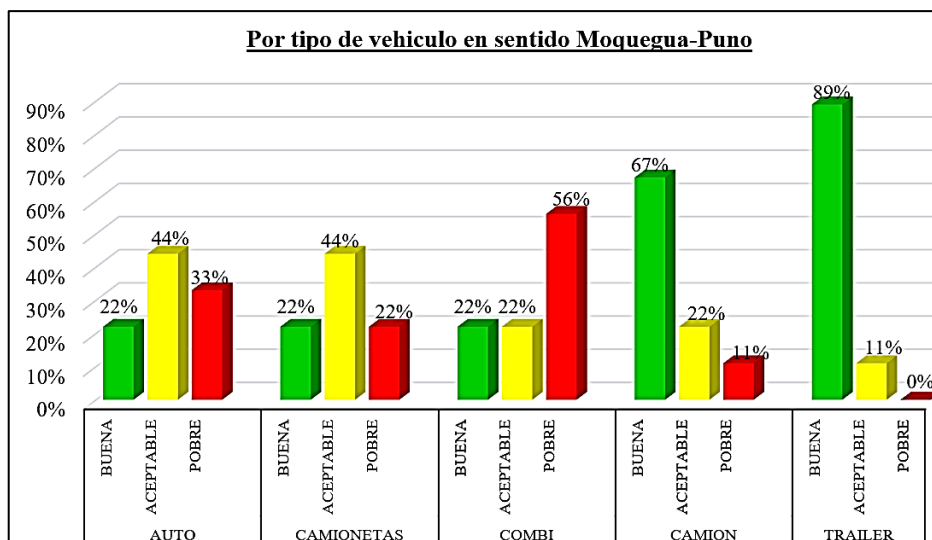
El porcentaje de estados según el criterio I en sentido de Puno-Moquegua



En los siguientes gráficos se observa el porcentaje de vehículos que están en estado de buena aceptable y pobre según las diferencias de velocidades de operación y la velocidad de diseño del tramo de investigación km 63+000 - km 65+000 de sentido de Moquegua – Puno, según el criterio I del método desagregado Lamm.

Figura 27

El porcentaje de estados según el criterio I en sentido de Moquegua-Puno



según el segundo criterio de Lamm se calificó las diferencias de las velocidades de operación (85) del elementos posterior y el elemento a evaluar, se estudió para cada tipo de vehículo como son autos , camionetas , combis, camiones y tráileres ,según su

estado es buena y aceptable por que la diferencia fue menor o 10 km/h , por lo tanto no se crea incoherencias en las velocidades de operación del vehículo, no son necesarias adaptaciones o correcciones, también se observa que en el elemento C7 - C8 su estado es pobre, lo cual puede conducir a críticas frecuencias y gravedades de accidentes.

Tabla 28

Evaluación con el método de Lamm-criterio II

		Ida: Puno-Moquegua			Vuelta: Moquegua-Puno		
Tipo de vehículos	Numero de curvas	Vel. operación (V85)	$V(85)_{i+1} - V(85)_i$	Rango consistencia	Vel. operación (V85)	$V(85)_{i+1} - V(85)_i$	Rango consistencia
autos	C1	48	7	buena	48	6	buena
	C2	55	12	aceptable	42	9	buena
	C3	43	0	buena	51	3	buena
	C4	43	5	buena	54	4	buena
	C5	48	13	aceptable	58	6	buena
	C6	61	7	buena	52	9	buena
	C7	54	10	buena	43	11	aceptable
	C8	44	13	aceptable	54	12	aceptable
	C9	57	6	buena	66	18	aceptable
camionetas	C1	63	6	buena	48	3	buena
	C2	57	8	buena	45	6	buena
	C3	49	0	buena	51	0	buena
	C4	49	3	buena	51	10	aceptable
	C5	46	15	aceptable	61	8	buena
	C6	61	5	buena	53	14	aceptable
	C7	56	4	buena	39	4	buena
	C8	60	5	buena	43	26	pobre
	C9	55	9	buena	69	29	pobre

Tabla 29

Evaluación con el método de Lamm-criterio II

		Ida: Puno-Moquegua			Vuelta: Moquegua-Puno		
Tipo de vehículos	Numero de curvas	Velocidad operación (V85)	$V(85)_{i+1} - V(85)_i$	Rango consistencia	Velocidad operación (V85)	$V(85)_{i+1} - V(85)_i$	Rango consistencia
combis	C1	46	2	buena	40	4	buena
	C2	48	1	buena	44	17	aceptable
	C3	47	1	buena	61	0	buena
	C4	48	3	buena	61	1	buena
	C5	45	9	buena	60	6	buena
	C6	54	15	aceptable	54	8	buena
	C7	39	17	aceptable	62	2	buena
	C8	56	3	buena	60	4	buena
	C9	59	29	pobre	64	21	pobre
camión	C1	30	1	buena	43	18	aceptable
	C2	31	1	buena	25	16	aceptable
	C3	30	6	buena	41	0	buena
	C4	36	4	buena	41	3	buena
	C5	40	14	aceptable	44	11	aceptable
	C6	54	14	aceptable	55	7	buena
	C7	40	10	buena	48	5	buena
	C8	30	0	buena	43	1	buena
	C9	30	4	buena	42	8	buena
tráiler	C1	34	1	buena	34	9	buena
	C2	33	5	buena	25	13	aceptable
	C3	38	8	buena	38	0	buena
	C4	30	0	buena	38	0	buena
	C5	30	19	aceptable	38	6	buena
	C6	49	0	buena	44	1	buena
	C7	49	11	aceptable	45	7	buena
	C8	38	4	buena	38	3	buena
	C9	42	8	buena	41	7	buena

4.3. RESULTADOS PARA EL TERCER OBJETIVO ESPECIFICO

Tabla 30

Calificación del diseño según criterios de Lamm

N° curvas	Angulo de deflexión			VD (Km/H)	R (M)	P (%)		Calificación de diseño
Curva 1	89°	10'	32"	29.90	33.6	0.82	35	deficiente
Curva 2	81°	42'	1"	26.30	25.9	5.45	62	deficiente
Curva 3	43°	25'	20"	69.30	180	4.72	-10	bueno
Curva 4	135°	12'	7"	33.10	41	5.38	20	regular
Curva 5	116°	32'	15"	32.30	39	2.35	24	deficiente
Curva 6	114°	9'	48"	46.80	82	5.76	-9	bueno
Curva 7	83°	42'	12"	25.60	24.5	2.93	69	deficiente
Curva 8	59°	21'	29"	34.60	45	5.65	14	regular
Curva 9	102°	54'	30"	43.80	72	5.52	-6	bueno

Nota: La calificación del diseño geométrico se realizó de acuerdo al radio de cada curva

horizontal según los criterios de Lamm

Se observa que según el criterio de desagregado de Lamm la calificación de diseño geométrico del tramo de estudio es mala las siguientes curvas (1,2,5,7) con una velocidad de diseño 30 km/h y los radios que indica, entonces se concluye que con proponer el nuevo trazo de alineamiento de las curvas horizontales que están en condiciones malas

Figura 28

Localización de la curva 1 y curva 2



Figura 29

Localización de la curva 5 y curva 7



Según el estudio de tráfico que se realizó, se estima que este tramo tiene un índice medio diario anual ligeramente mayor a 400 vehículos por día, por lo tanto, se propuso un nuevo diseño de las curvas horizontales. Se estableció algunos parámetros según el manual de carreteras de diseño geométrico (DG-2018), se muestra en el siguiente cuadro correspondiente el estudio de índice medio diario y la orografía.

Tabla 31

Clasificación de carretera

Según su función	Red Vial Primaria (Sistema Nacional)
Según la demanda	2da. Clase (IMDA entre 400 y 2000 veh/día)
Según condiciones orográficas	Tipos 4.

Para nuestro trabajo se propuso los siguientes parámetros de diseño para la curvas horizontales teniendo la clasificación vial y la orografía que es la zona es escarpada y se plantea la velocidad de diseño a 40 km/hora, para una vía de segunda clase (IMD entre 400 y 2000 veh/día), de dos carriles y para orografías tipos 4, el ancho de calzada a adoptar es de 6.60m y el sobreebanco es de 1.80m, para los pendientes se tomó los valores de las altitudes que son mayores a 3,000 msnm, la pendiente máxima normal es de 8%.

Tabla 32*Parámetros de diseño según la norma (DG-2018)*

Parámetro	Valores
Velocidad	40 km/Hora
Ancho de la Plataforma	6.60 m
Ancho de la Berma	1.20 m
Radio Mínimo	45 m
Pendiente máxima longitudinal	9.00%
Longitudes máximas de tramos en tangente	668.00 m
Ancho de la superficie de rodadura	6.60 m
Bombeo de la calzada	De acuerdo al Manual de
Peralte máximo	Diseño Geométrico de Carreteras
Sobreancho máximo	del MTC. Versión DG-2018

4.4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE RESULTADOS Y EXPOSICIÓN

4.4.1. prueba estadística para velocidades sentido Puno - Moquegua.

Tabla 33*Prueba estadística en sentido Puno-Moquegua*

Origen	suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	sig
Modelo corregido	2901,322 ^a	14	207,237	22,531	0,000
Intersección	87565,760	1	87565,760	9520,319	0,000
Tipos velocidad	2279,322	2	1139,661	123,906	0,000
Tipos vehículos	816,395	4	204,099	22,190	0,000
Curvas horizontales	148,941	8	18,618	2,024	0,055
Error	689,833	75	9,198		
Total	111474,00	90			
Total corregido	3591,156	89			

Interpretación 1: En la tabla 33 se indica los resultados de la prueba estadística ANOVA, teniendo grupos de investigación las cuales son las velocidades de operación y la velocidad de diseño según el tipo de vehículo y el número de curvas horizontales donde se toma como datos el promedio de velocidad de operación medida con pistola radar en sentido Puno - Moquegua y la velocidad de diseño obtenida del expediente técnico se encuentra una diferencia significativa en la comparación de estas 02 variables, realizando los cálculos de suma de cuadrados, grados de libertad, promedio de cuadrados se obtiene como resultado la F es igual a 123,906, que el nivel de significancia es igual a 0.000 y es menor al 0.05, por lo cual se rechaza la hipótesis nula (H_0) se acepta a favor de la hipótesis de alterna (H_a), con un nivel de confianza del 95%.

PRUEBAS BONFERRONI DE TIPOS DE VELOCIDAD EN SPSS

Tabla 34

Pruebas de Bonferroni para tipos de velocidades

Tipos de velocidad (I)	Tipos de velocidad (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Velocidad operación	Velocidad de diseño	9,2444*	0,74710	0,000	7,4149	11,0740
Velocidad diseño	velocidad operación	-9,2444*	0,74710	0,000	-11,0740	-7,4149

Interpretación 2: Según las comparaciones de Bonferroni para tipos de vehículos con una seguridad de 95% se aprecian diferencias significativas entre las velocidades de operación en la velocidad diseño.

Pruebas post hoc -Tipos de vehículos

Tabla 35

Pruebas de Bonferroni para tipos de vehículos de M-P

Tipos de vehículos (I)	Tipos de vehículos (J)	Diferencias medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
autos	camionetas	-1,1111	1,0109	1,000	-4,0352	1,8129
	combis	0,7778	1,0109	1,000	-2,1463	3,7018
	camiones	4,7222*	1,0109	0,000	1,7982	7,6463
	tráileres	3,8889*	1,0109	0,002	,9648	6,8129
camionetas	autos	1,1111	1,0109	1,000	-1,8129	4,0352
	combis	1,8889	1,0109	0,656	-1,0352	4,8129
	camiones	5,8333*	1,0109	0,000	2,9093	8,7574
	tráileres	5,0000*	1,0109	0,000	2,0759	7,9241
combis	autos	-0,7778	1,0109	1,000	-3,7018	2,1463
	camionetas	-1,8889	1,0109	0,656	-4,8129	1,0352
	camiones	3,9444*	1,0109	0,002	1,0204	6,8685
	tráileres	3,1111*	1,0109	0,029	,1871	6,0352
camiones	autos	-4,7222*	1,0109	0,000	-7,6463	-1,7982
	camionetas	-5,8333*	1,0109	0,000	-8,7574	-2,9093
	combis	-3,9444*	1,0109	0,002	-6,8685	-1,0204
	tráileres	-0,8333	1,0109	1,000	-3,7574	2,0907
tráileres	autos	-3,8889*	1,0109	0,002	-6,8129	-,9648
	camionetas	-5,0000*	1,0109	0,000	-7,9241	-2,0759
	combis	-3,1111*	1,0109	0,029	-6,0352	-,1871
	camiones	0,8333	1,0109	1,000	-2,0907	3,7574

Interpretación 3: Según las comparaciones de Bonferroni para tipos de vehículos con una seguridad de 95% se aprecian diferencias significativas entre las velocidades de operación en los vehículos en sentido de ida Puno a Moquegua hay diferencias en nivel de significativas en autos, camionetas, combis, camiones y tráileres

Pruebas post hoc -Curvas horizontales

Tabla 36

Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de P - M

Curvas (I)	Tip. Curvas (J)	Dif. de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
curva 1	curva 2	1,0000	1,3563	1,000	-3,5039	5,5039
	curva 3	0,7000	1,3563	1,000	-3,8039	5,2039
	curva 4	1,1000	1,3563	1,000	-3,4039	5,6039
	curva 5	-0,2000	1,3563	1,000	-4,7039	4,3039
	curva 6	-2,6000	1,3563	1,000	-7,1039	1,9039
	curva 7	-1,5000	1,3563	1,000	-6,0039	3,0039
	curva 8	1,7000	1,3563	1,000	-2,8039	6,2039
	curva 9	-1,3000	1,3563	1,000	-5,8039	3,2039
	curva 2	curva 1	-1,0000	1,3563	1,000	-5,5039	3,5039
curva 3		-0,3000	1,3563	1,000	-4,8039	4,2039
curva 4		0,1000	1,3563	1,000	-4,4039	4,6039
curva 5		-1,2000	1,3563	1,000	-5,7039	3,3039
curva 6		-3,6000	1,3563	0,349	-8,1039	,9039
curva 7		-2,5000	1,3563	1,000	-7,0039	2,0039
curva 8		0,7000	1,3563	1,000	-3,8039	5,2039
curva 9		-2,3000	1,3563	1,000	-6,8039	2,2039
curva 3	curva 1	-0,7000	1,3563	1,000	-5,2039	3,8039
	curva 2	0,3000	1,35630	1,000	-4,2039	4,8039
	curva 4	0,4000	1,35630	1,000	-4,1039	4,9039
	curva 5	-0,9000	1,35630	1,000	-5,4039	3,6039
	curva 6	-3,3000	1,35630	0,625	-7,8039	1,2039
	curva 7	-2,2000	1,35630	1,000	-6,7039	2,3039
	curva 8	1,0000	1,35630	1,000	-3,5039	5,5039
	curva 9	-2,0000	1,35630	1,000	-6,5039	2,5039
curva 4	curva 1	-1,1000	1,35630	1,000	-5,6039	3,4039
	curva 2	-0,1000	1,35630	1,000	-4,6039	4,4039
	curva 3	-0,4000	1,35630	1,000	-4,9039	4,1039
	curva 5	-1,3000	1,35630	1,000	-5,8039	3,2039
	curva 6	-3,7000	1,35630	0,286	-8,2039	,8039
	curva 7	-2,6000	1,35630	1,000	-7,1039	1,9039
	curva 8	0,6000	1,35630	1,000	-3,9039	5,1039
	curva 9	-2,4000	1,35630	1,000	-6,9039	2,1039
curva 5	curva 1	0,2000	1,35630	1,000	-4,3039	4,7039
	curva 2	1,2000	1,35630	1,000	-3,3039	5,7039
	curva 3	0,9000	1,35630	1,000	-3,6039	5,4039
	curva 4	1,3000	1,35630	1,000	-3,2039	5,8039
	curva 6	-2,4000	1,35630	1,000	-6,9039	2,1039
	curva 7	-1,3000	1,35630	1,000	-5,8039	3,2039
	curva 8	1,9000	1,35630	1,000	-2,6039	6,4039
	curva 9	-1,1000	1,35630	1,000	-5,6039	3,4039

Tabla 37

Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de P - M

Curvas (I)	Tip. Curvas (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
curva 6	curva1	2,6000	1,3563	1,000	-1,9039	7,1039
	curva 2	3,6000	1,3563	0,349	-,9039	8,1039
	curva 3	3,3000	1,3563	0,625	-1,2039	7,8039
	curva 4	3,7000	1,3563	0,286	-,8039	8,2039
	curva 5	2,4000	1,3563	1,000	-2,1039	6,9039
	curva 7	1,1000	1,3563	1,000	-3,4039	5,6039
	curva 8	4,3000	1,3563	0,079	-,2039	8,8039
	curva 9	1,3000	1,3563	1,000	-3,2039	5,8039
	curva 7	curva1	1,5000	1,3563	1,000	-3,0039	6,0039
curva 2		2,5000	1,3563	1,000	-2,0039	7,0039
curva 3		2,2000	1,3563	1,000	-2,3039	6,7039
curva 4		2,6000	1,3563	1,000	-1,9039	7,1039
curva 5		1,3000	1,3563	1,000	-3,2039	5,8039
curva 6		-1,1000	1,3563	1,000	-5,6039	3,4039
curva 8		3,2000	1,3563	0,753	-1,3039	7,7039
curva 9		0,2000	1,3563	1,000	-4,3039	4,7039
curva 8		curva1	-1,7000	1,3563	1,000	-6,2039	2,8039
	curva 2	-0,7000	1,3563	1,000	-5,2039	3,8039
	curva 3	-1,0000	1,3563	1,000	-5,5039	3,5039
	curva 4	-0,6000	1,3563	1,000	-5,1039	3,9039
	curva 5	-1,9000	1,3563	1,000	-6,4039	2,6039
	curva 6	-4,3000	1,3563	0,079	-8,8039	,2039
	curva 7	-3,2000	1,3563	0,753	-7,7039	1,3039
	curva 9	-3,0000	1,3563	1,000	-7,5039	1,5039
	curva 9	curva1	1,3000	1,3563	1,000	-3,2039	5,8039
curva 2		2,3000	1,3563	1,000	-2,2039	6,8039
curva 3		2,0000	1,3563	1,000	-2,5039	6,5039
curva 4		2,4000	1,3563	1,000	-2,1039	6,9039
curva 5		1,1000	1,3563	1,000	-3,4039	5,6039
curva 6		-1,3000	1,3563	1,000	-5,8039	3,2039
curva 7		-0,2000	1,3563	1,000	-4,7039	4,3039
curva 8		3,0000	1,3563	1,000	-1,5039	7,5039

4.4.2. prueba estadística para velocidades sentido Moquegua -Puno.

Tabla 38

Prueba estadística en sentido Moquegua-Puno

Origen	suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3691,536 ^a	14	263,681	12,950	0,000
Intersección	89749,691	1	89749,691	4407,890	0,000
Tip. velocidades	2832,203	2	1416,101	69,549	0,000
Tip. vehículos	880,639	4	220,160	10,813	0,000
Tip. curvas	296,471	8	37,059	1,820	0,086
Error	1527,086	75	20,361		
Total	117014,000	90			
Total corregido	5218,622	89			

Nota: prueba estadística de efectos de velocidades de operación y velocidad de diseño

Interpretación 4: En la tabla 38 se indica los resultados de la prueba estadística ANOVA, teniendo grupos de investigación las cuales son las velocidades de operación y la velocidad de diseño según el tipo de vehículo y el número de curvas horizontales donde se toma como datos el promedio de velocidad de operación medida con pistola radar en sentido Moquegua - Puno y la velocidad de diseño obtenida del expediente técnico, se obtiene como resultado la F es igual a 69,549 que el nivel de significancia es igual a 0,000 y es menor al 0,05, por lo cual se rechaza la hipótesis nula (H_0) se acepta a favor de la hipótesis de alterna (H_a), con un nivel de confianza del 95%.

PRUEBAS BONFERRONI DE TIPOS DE VELOCIDAD EN SPSS

Tabla 39

Pruebas de Bonferroni para tipos de velocidades

Tipos velocidades (I)	Tipos velocidades (J)	Dif. medias (I-J)	Desv. Error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Velocidad operación	Velocidad diseño	10,4889*	1,11157	0,00	7,7668	13,2110
Velocidad operación	Velocidad diseño	10,4889*	1,23455	0,00	7,4657	13,5121
Velocidad diseño	Velocidad operación	-10,4889*	1,11157	0,00	-13,2110	-7,7668
Velocidad diseño	Velocidad operación	-10,4889*	1,23455	0,00	-13,5121	-7,4657

Interpretación 5: Según las comparaciones de Bonferroni para tipos de vehículos con una seguridad de 95% se aprecian diferencias significativas entre las velocidades de operación en los vehículos en sentido de ida Moquegua a Puno hay diferencias en nivel de significativas.

Tabla 40

Pruebas de Bonferroni para tipos de vehículos de M-P

Tipos vehículos (I)	Tipos vehículos (J)	Diferencias medias (I-J)	Desv. error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
autos	camionetas	-,6667	1,5041	1,000	-5,0172	3,6839
	combis	-1,9444	1,5041	1,000	-6,2950	2,4061
	camiones	3,8333	1,5041	0,129	-,5172	8,1839
	tráileres	3,9444	1,5041	0,106	-,4061	8,2950
camionetas	autos	,6667	1,5041	1,000	-3,6839	5,0172
	combis	-1,2778	1,5041	1,000	-5,6283	3,0728
	camiones	4,5000*	1,5041	0,038	,1494	8,8506
	tráileres	4,6111*	1,5041	0,030	,2605	8,9617
combis	autos	1,9444	1,5041	1,000	-2,4061	6,2950
	camionetas	1,2778	1,5041	1,000	-3,0728	5,6283
	camiones	5,7778*	1,5041	0,003	1,4272	10,1283
	tráileres	5,8889*	1,5041	0,002	1,5383	10,2395
camiones	autos	-3,8333	1,5041	0,129	-8,1839	0,5172
	camionetas	-4,5000*	1,5041	0,038	-8,8506	-,1494
	combis	-5,7778*	1,5041	0,003	-10,1283	-1,4272
	tráileres	,1111	1,5041	1,000	-4,2395	4,4617
tráileres	autos	-3,9444	1,5041	0,106	-8,2950	0,4061
	camionetas	-4,6111*	1,5041	0,030	-8,9617	-0,2605
	combis	-5,8889*	1,5041	0,002	-10,2395	-1,5383
	camiones	-,1111	1,5041	1,000	-4,4617	4,2395

Interpretación 6: Según las comparaciones de Bonferroni para tipos de vehículos con una seguridad de 95% se aprecian diferencias significativas entre las velocidades de

operación en los vehículos en sentido de ida Puno a Moquegua hay diferencias en nivel de significativas en camionetas, combis, camiones y tráileres

Tabla 41

Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de M-P

Curva horizontal (I)	Curva horizontal (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
curva 1	curva 2	2,2000	2,0179	1,00	-4,5011	8,9011
	curva 3	-2,6000	2,0179	1,00	-9,3011	4,1011
	curva 4	-2,6000	2,0179	1,00	-9,3011	4,1011
	curva 5	-3,2000	2,0179	1,00	-9,9011	3,5011
	curva 6	-3,1000	2,0179	1,00	-9,8011	3,6011
	curva 7	-,4000	2,0179	1,00	-7,1011	6,3011
	curva 8	-1,5000	2,0179	1,00	-8,2011	5,2011
	curva 9	-4,5000	2,0179	1,00	-11,2011	2,2011
	curva 2	curva 1	-2,2000	2,0179	1,00	-8,9011	4,5011
curva 3		-4,8000	2,0179	0,72	-11,5011	1,9011
curva 4		-4,8000	2,0179	0,72	-11,5011	1,9011
curva 5		-5,4000	2,0179	0,33	-12,1011	1,3011
curva 6		-5,3000	2,0179	0,38	-12,0011	1,4011
curva 7		-2,6000	2,0179	1,00	-9,3011	4,1011
curva 8		-3,7000	2,0179	1,00	-10,4011	3,0011
curva 9		-6,7000	2,0179	0,05	-13,4011	,0011
curva 3		curva 1	2,6000	2,0179	1,00	-4,1011	9,3011
	curva 2	4,8000	2,0179	0,72	-1,9011	11,5011
	curva 4	,0000	2,0179	1,00	-6,7011	6,7011
	curva 5	-,6000	2,0179	1,00	-7,3011	6,1011
	curva 6	-,5000	2,0179	1,00	-7,2011	6,2011
	curva 7	2,2000	2,0179	1,00	-4,5011	8,9011
	curva 8	1,1000	2,0179	1,00	-5,6011	7,8011
	curva 9	-1,9000	2,0179	1,00	-8,6011	4,8011
	curva 4	curva 1	2,6000	2,0179	1,00	-4,1011	9,3011
curva 2		4,8000	2,0179	0,72	-1,9011	11,5011
curva 3		,0000	2,0179	1,00	-6,7011	6,7011
curva 5		-,6000	2,0179	1,00	-7,3011	6,1011
curva 6		-,5000	2,0179	1,00	-7,2011	6,2011
curva 7		2,2000	2,0179	1,00	-4,5011	8,9011
curva 8		1,1000	2,0179	1,00	-5,6011	7,8011
curva 9		-1,9000	2,0179	1,00	-8,6011	4,8011

Tabla 42

Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de M-P

Curva horizontal (I)	Curva horizontal (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
curva 5	curva 1	3,2000	2,0179	1,00	-3,5011	9,9011
	curva 2	5,4000	2,0179	0,32	-1,3011	12,1011
	curva 3	,6000	2,0179	1,00	-6,1011	7,3011
	curva 4	,6000	2,0179	1,00	-6,1011	7,3011
	curva 6	,1000	2,0179	1,00	-6,6011	6,8011
	curva 7	2,8000	2,0179	1,00	-3,9011	9,5011
	curva 8	1,7000	2,0179	1,00	-5,0011	8,4011
	curva 9	-1,3000	2,0179	1,00	-8,0011	5,4011
	curva 6	curva 1	3,1000	2,0179	1,00	-3,6011	9,8011
curva 2		5,3000	2,0179	0,38	-1,4011	12,0011
curva 3		,5000	2,0179	1,00	-6,2011	7,2011
curva 4		,5000	2,0179	1,00	-6,2011	7,2011
curva 5		-,1000	2,0179	1,00	-6,8011	6,6011
curva 7		2,7000	2,0179	1,00	-4,0011	9,4011
curva 8		1,6000	2,0179	1,00	-5,1011	8,3011
curva 9		-1,4000	2,0179	1,00	-8,1011	5,3011
curva 7		curva 1	,4000	2,0179	1,00	-6,3011	7,1011
	curva 2	2,6000	2,0179	1,00	-4,1011	9,3011
	curva 3	-2,2000	2,0179	1,00	-8,9011	4,5011
	curva 4	-2,2000	2,0179	1,00	-8,9011	4,5011
	curva 5	-2,8000	2,0179	1,00	-9,5011	3,9011
	curva 6	-2,7000	2,0179	1,00	-9,4011	4,0011
	curva 8	-1,1000	2,0179	1,00	-7,8011	5,6011
	curva 9	-4,1000	2,0179	1,00	-10,8011	2,6011

Tabla 43

Pruebas de Bonferroni para cada curva horizontal de M-P

Curva horizontal (I)	Curva horizontal (J)	Diferencia de medias (I-J)	Desv. error	Sig.	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
curva 8	curva 1	1,5000	2,0179	1,00	-5,2011	8,2011
	curva 2	3,7000	2,0179	1,00	-3,0011	10,4011
	curva 3	-1,1000	2,0179	1,00	-7,8011	5,6011
	curva 4	-1,1000	2,0179	1,00	-7,8011	5,6011
	curva 5	-1,7000	2,0179	1,00	-8,4011	5,0011
	curva 6	-1,6000	2,0179	1,00	-8,3011	5,1011
	curva 7	1,1000	2,0179	1,00	-5,6011	7,8011
	curva 9	-3,0000	2,0179	1,00	-9,7011	3,7011
	curva 9	curva 1	4,5000	2,0179	1,00	-2,2011
curva 2		6,7000	2,0179	0,05	-,0011	13,4011
curva 3		1,9000	2,0179	1,00	-4,8011	8,6011
curva 4		1,9000	2,0179	1,00	-4,8011	8,6011
curva 5		1,3000	2,0179	1,00	-5,4011	8,0011
curva 6		1,4000	2,0179	1,00	-5,3011	8,1011
curva 7		4,1000	2,0179	1,00	-2,6011	10,8011
curva 8		3,0000	2,0179	1,00	-3,7011	9,7011



4.5. Discusión de los resultados

4.5.1. Discusiones del primer objetivo específico

Según el primer objetivo específico, determinar la velocidad de operación (V85) en condiciones de flujo libre de vehículo en cada curva horizontal en los dos sentidos de marcha en la carretera Puno -Moquegua, tramo km 63+000- km 65+000, los resultados obtenidos en la tabla 24 se observa las velocidades de operación (85) o el percentil (85) que se realizó por tipo de vehículos, autos, camionetas, combis, camiones y tráileres en cada curva horizontal, se observó que las velocidades de operación (85) es mayor a la velocidad de diseño que es 30 km/h también se deduce que los automóviles ligeros desarrollan velocidades superiores a las velocidades de vehículos pesados para las cuales que ha sido diseñada la carretera , y por consiguiente esta no satisface las expectativas de los usuarios, datos que al ser comparados con lo encontrado, tal como menciona (Turpo, 2018) “Análisis de velocidad de diseño y operación en la consistencia del diseño geométrico según DG-2018 en carretera Puno – Juliaca, tramo km 1349+000 – km 1353+000” concluye que la velocidad de operación y velocidad de diseño en la carretera Puno – Juliaca, tiene una diferencia significativa estadísticamente entre ambas velocidades, donde la velocidad de operación es mayor a la velocidad de diseño, donde menciona que uno de causas para los accidentes de tránsito es el exceso de velocidad.

4.5.2. Discusiones del segundo objetivo específico

Según el segundo objetivo específico, comparar la diferencia entre velocidad de diseño y velocidad de operación (85) de vehículos en condiciones de flujo libre según el método de desagregado de Lamm en la carretera Puno - Moquegua, tramo km 63+000 – km 65+000.

- los resultados obtenidos en la tabla 26 y 28 Según el primer criterio I, se observa la diferencia existente entre la velocidad de operación (85) y la velocidad de diseño que

se desarrolló para cada curva horizontal ,se calificó como pobre o mala para los vehículos ligeros como los autos ,camionetas y combis debido a que la diferencia es mayor a 20 km/h por otro lado se calificó como buena y aceptable para vehículos pesados como los camiones y tráileres por que la diferencia es menor a 10 km/h .

- los resultados obtenidos En la tabla 28 y 29, según el segundo criterio de Lamm se evalúa las diferencias de las velocidades de operación (85) del elementos posterior y el elemento a evaluar, se estudió para cada tipo de vehículo como son autos , camionetas , combis, camiones y tráileres ,según su estado es buena y aceptable por que la diferencia fue menor o 10 km/h , por lo tanto no se crea incoherencias en las velocidades de operación del vehículo, no son necesarias a adaptaciones o correcciones, también se observa que en el elemento C8 - C9 su estado es pobre, lo cual puede conducir a críticas frecuencias y gravedades de accidentes.

Tal como menciona (Arteaga & Ortega, 2015)“Estudio de la velocidad de operación y análisis del perfil de velocidades mediante la utilización de radar para la evaluación de la consistencia en el tramo comprendido entre los kilómetros 38 al 53 de la ruta 25 Pasto – Ipiales” concluye con la evaluación de la consistencia por el segundo criterio de Lamm permite apreciar la existencia de puntos críticos, los cuales presentan una diferencia de velocidad significativa entre elementos consecutivos, evidenciándose de esta manera la carencia de condiciones de comodidad y seguridad para los usuarios.

4.5.3. Discusiones del tercer objetivo específico

Según el tercer objetivo específico, proponer un diseño geométrico de las curvas horizontales adecuadas según el manual de carreteras diseño geométrico DG-2018, los resultados obtenidos según los criterios de Lamm no cumplen con los parámetros de diseño las curvas horizontales 1,2,5,7 y el estudios de tráfico se estima que este tramo tiene un índice medio diario anual mayor a 400 vehículos por día por lo tanto, se propuso



un nuevo diseño de las curvas horizontales, se estableció algunos parámetros según el manual de carreteras de diseño geométrico (DG-2018), que se muestra clasificación vial en la tabla 31 y los parámetros de diseño tabla 32.

Según los autores (García et al., 2013) “Nuevo proceso de diseño geométrico seguro de carreteras convencionales” quien concluyo con un nuevo proceso de diseño geométrico de carreteras convencionales que incorpora el análisis la operación vehicular para obtener unas carreteras más seguras, mientras que con el proceso tradicional de diseño se consigue garantizar la seguridad nominal de la vía, basada únicamente en los criterios y preceptos recogidos en las guías y normativas, el nuevo proceso verifica el diseño desde la dimensión de la seguridad sustantiva, es decir, cuantificable, contrastable y comparable, se ha presentado el diagrama de flujo para el diseño de una carretera de nuevo trazado, así como su adaptación para la fase de planeamiento o para el rediseño de una carretera existente.

Con estos resultados se afirma que la carretera actual tiene deficiencias en los parámetros de diseño, para tener resultados más exactos y próximos a la realidad, se debería realizar los estudios velocidad de operación y los estudios de tráfico.



V. CONCLUSIONES

En la presente investigación se tiene las siguientes conclusiones:

- Según el objetivo específico 1 se determinó la velocidad de operación (V85) en condiciones de flujo libre de vehículo en cada curva horizontal en los dos sentidos de marcha en la carretera Puno - Moquegua, tramo km 63+000 - km 65+000 ,tiene una diferencia significativa entre ambas velocidades, en la tabla 29 se observó que las velocidades de operación (V85) o el percentil 85 son mayores a la velocidad de diseño, se observa las diferencias por tipo de vehículo en autos 26 km/h, camionetas 31 km/h, combis 28 km/h, camión 10 km/h, tráiler 14 km/h, con lo que se concluye que uno de las causas para los accidentes de tránsito es el exceso de velocidad.
- Según el objetivo específico 2, se comparó la diferencia entre velocidad de diseño y velocidad de operación (V85) de vehículos en condiciones de flujo libre según el método de desagregado de Lamm en la carretera Puno-Moquegua, tramo km 63+000 – km 65+000, para el primer criterio se observó la diferencia de la velocidad de operación versus a la velocidad de diseño para los vehículos ligeros como los autos ,camionetas y combis la diferencia es mayor a 20 km/h por lo tanto se calificó como en condiciones mala, para vehículos pesados como los camiones y tráileres la diferencia es menor a 10 km/h para este tipo de vehículo se calificó como buena o aceptable, para el segundo criterio se evalúa las diferencias del elementos posterior y el elemento a evaluar según su estado es aceptable por que la diferencia fue 10 km/h, también se observa que en el elemento C7 - C8 su estado es pobre, lo cual puede conducir accidentes de tránsito.
- Según el objetivo específico 3, se propuso el diseño geométrico de las curvas horizontales adecuadas según el manual de carreteras diseño geométrico DG-2018, mediante los estudios realizados de velocidad de operación y el estudio de tráfico



vehicular de la carretera, se demostró que el diseño geométrico en la carretera carece con los parámetros de diseño según la norma peruana DG-2018, esto debido a la antigüedad de la carretera, el tramo de estudio también presenta curvas en vueltas los cuales no son recomendables porque no cumple con los parámetros de diseño aborde al manual vigente del diseño geométrico de carreteras DG-2018.



VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar los métodos de desagregado Lamm para la evaluación de las velocidades de operación y los puntos críticos y para evaluación de parámetros del diseño geométrico de las carreteras ya existentes , sería muy bueno utilizar en la etapa de proyecto y durante la ejecución de una obra vial, debido a que muchos de los proyectistas o ejecutores no aplican las metodologías por lo cual tienen la responsabilidad de que las vías ejecutadas deben dar la mayor comodidad y seguridad a los usuarios.
- Para tener resultados más exactos y próximos a la realidad, se recomienda realizar estudios de velocidades de operación vehicular y los estudios de tráfico en la carretera ya existente para que sean lo suficientemente representativos a la realidad, además se recomienda tomar en cuenta el segundo criterio de Lamm para las carreteras ya existentes.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, J. I. M., & Remolina, I. C. T. (2018). *Análisis de consistencia del diseño geométrico en una carretera de dos carriles en terreno llano desde km (12+938) vía la fortuna hasta el km (19+473) vía la lizama en ambos sentidos en el departamento de santander* [Tesis de Grado, Universidad Pontificia Bolivariana]. <http://hdl.handle.net/20.500.11912/5622>
- Arteaga, M. F. P., & Ortega, D. M. O. (2015). *Estudio de la velocidad de operacion y analisis del perfil de velocidades mediante la utilizacion de radar para la evaluacion de la consistencia en el tramo comprendido entre los kilometros 38 al 53 de la ruta 25 Pasto – Ipiales* [Trabajo de grado, Universidad de Nariño]. <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/91268.pdf>
- Cárdenas, D., & Echaveguren, T. (2015). Comparación de modelos de análisis de consistencia para curvas horizontales aisladas en carreteras de dos carriles. *DYNA*, 82(194), 57–65. <https://doi.org/10.15446/dyna.v82n194.44476>
- Cardenas, E. D. A. (2014). Modelos de análisis de consistencia para curvas horizontales aisladas [Tesis de Maestria, Universidad de concepcion]. In *Repositorio Bibliotecas UdeC*. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/1690>
- Cardenas, J. (2013). *diseño geometrico de carreteras* (E. Ecoe (ed.); 2nd ed.).
- Cortes, R. N. S., & Estrella, C. J. C. (2013). Estudio de velocidad de operacion y analisis del perfil de velocidad del trayecto Tumaco – Pasto K6+850 – K 25+000 mediante la utilizacion radar [Trabajo de Grado, Universidad de Nariño]. In *Sistema institucional de recursos digitales* (Vol. 26, Issue 4). <http://biblioteca.udenar.edu.co:8085/atenea/biblioteca/89721.pdf>
- Dagnino, J. (2014). Comparaciones multiples. *Revista Chilena de Anestesia*, 43, 311–312. <https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n04.08>.



- DG. (2018). *Dirección General De Caminos Y Ferrocarriles - manual de carreteras diseño geometrico DG-2018* [R.D. N° 028 de 2014]. Enero de 2018.
- Echaveguren, T. (2012). Análisis de consistencia de caminos bidireccionales usando mediciones continuas de velocidad de operación obtenidas con GPS. *Revista Ingeniería de Construcción*, 27(2), 55–70. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50732012000200004>
- Felipe, E. A. C. (2014). *Análisis de consistencia del trazado en caminos de montaña, en la República de Guatemala* (Vol. 3) [Tesis de Maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/5047>
- Gallegos, G. E. A. (2013). *Análisis de consistencia en el diseño geometrico de curvas sucesivas inversas* [Tesis de pregrado, Universidad del Bio-Bio]. <http://repobib.ubiobio.cl/jspui/handle/123456789/390>
- García, A., Camacho, F., Pérez, A., & Moreno, A. (2013). *Nuevo proceso de diseño geométrico para unas carreteras convencionales mas seguras* (Vol. 6). Plataforma Tecnológica de la Carretera. <https://doi.org/10.13140/2.1.4553.0569>
- Gonzalez, B. D. H. (2018). *Desarrollo de modelos para la estimacion de la velocidad de operacion de vehiculos pesados en carreteras convencionales a partir de datos naturalisticos* [Trabajo final de Master, Universidad de Politecnica de Valencia]. <https://riunet.upv.es/handle/10251/107603>
- González, E. M. (2008). *Manual de Uso de SPSS*. <http://creativecommons.org/licenses/by-?-nc-?-nd/3.0/es/>
- Hernandez, S., Fernandez, C., & Baptista, P. (2014). *Metodologia de la investigacion* (Vol. 6). McGraw Hil. <https://www.todostuslibros.com/autor/hernandez-sampieri>
- Lamm, R., Psariano, B., & Mailaender, T. (2011). *Manual de diseño vial e ingenieria de seguridad de transito*.



- Llopis, D., & Camacho, F. (2021). Análisis de la seguridad vial mediante modelos locales de consistencia. *Ingeniería e Infraestructura de Los Transportes, 1*.
<http://hdl.handle.net/10251/165886>
- Melo, O., & Lopez, L. (2020). Diseño de experimentos métodos y aplicaciones. In *Coordinación de publicaciones - Facultad de ciencias* (2nd ed.).
http://ciencias.bogota.unal.edu.co/fileadmin/Facultad_de_Ciencias/Publicaciones/Imagenes/Portadas_Libros/Estadistica/Diseno_de_Experimentos/DisenodeExperimentos.pdf
- Perez, A. M. Z. (2012). Caracterización y modelización de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalística de la evolución de vehículos ligeros [Tesis Doctoral, Universidad Pontificia de Valencia]. In *Universidad Pontificia de Valencia*. <https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/16701>
- Perez, A. M. Z. (2013). *Caracterización y modelización de la velocidad de operación en carreteras convencionales a partir de la observación naturalística de la evolución de vehículos ligeros* [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Valencia].
<https://doi.org/10.4995/Thesis/10251/16701>
- Supo, J. (2012). Seminarios de investigación Científica. *Análisis de Datos Clínicos y Epidemiológicos*. <https://doi.org/http://red.unal.edu.co>
- Torres, M. (2018). *Levantamiento mediante gps*.
- Turpo, D. (2018). Análisis de velocidad de diseño y operación en la consistencia del diseño geométrico según DG-2018 en carretera Puno – Juliaca, tramo KM 1349+000 – KM 1353+000 [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. In *Repositorio Institucional*. <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/9766>



ANEXOS