

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

DISEÑO DE LA VÍA EXPRESA SUR POR LA NORMA DG-2014

Tesis para optar el Título de **Ingeniero Civil**, que presenta el bachiller:

Dennis Emerson López Ortecho

ASESOR: José Luis Reyes Ñique

Lima, Octubre de 2016

RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste en elaborar el diseño geométrico de la 3^{era} etapa de la Vía Expresa de Paseo de la República, conocida como el proyecto “Vía Expresa Sur”, con base fundamental en la normativa del Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2014)”, y con complemento de dos manuales especializados en el diseño de vías urbanas: “Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005 – VCHI” y “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - 2011- 6th Edition - AASHTO”. Además se plantea que al concluir el presente trabajo se logre obtener una metodología para el desarrollo de un anteproyecto de una vía pavimentada con base en la normativa mencionada y el empleo de cuatro programas para el diseño automatizado de una vía: Google Earth Pro, Global Mapper, Autocad Civil 3D y 3Ds Max Design.

Para lograr ello se ha dividido el desarrollo de la investigación en 5 capítulos:

El capítulo 1: Aspectos generales, contiene los objetivos, documentos normativos, software de diseño, antecedentes y características de la zona donde se proyectará la vía en estudio.

El capítulo 2: Parámetros y elementos básicos de diseño, detalla un abstracto de la normativa empleada mencionando los factores necesarios para analizar la geometría de las componentes de la vía a partir de su clasificación dentro del sistema vial.

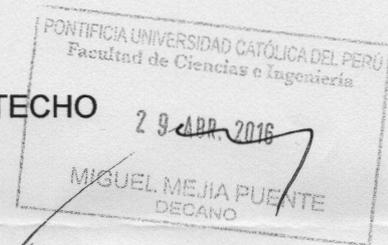
El capítulo 3: Diseño geométrico y consideraciones de la vía, detalla el estudio de tránsito, el tipo de pavimento, las obras principales y los parámetros elegidos que se emplearán en el diseño geométrico de la vía.

El capítulo 4: Metodología aplicada para el diseño computarizado de la vía, detalla el proceso a seguir para la creación del anteproyecto de la vía en estudio en un modelo digital mediante el uso de programas de diseño vial.

El capítulo 5: Conclusiones y recomendaciones, detalla el análisis de los resultados obtenidos y menciona sugerencias para mejorar el proceso de diseño geométrico de una vía.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Diseño de la Vía Expresa Sur por la norma DG-2014"
Área : Movilidad y Transporte
Asesor : Ing. José Luis Reyes Ñique
Alumno : DENNIS EMERSON LÓPEZ ORTECHO
Código : 2010.0943.412
Tema N° : # 49
Fecha : Lima, 28 de abril del 2016



RESUMEN

El presente trabajo de tesis consiste en elaborar el diseño geométrico de la 3^{era} etapa de la Vía Expresa de Paseo de la República, conocida como el proyecto "Vía Expresa Sur", con base fundamental en la normativa del Manual de Carreteras "Diseño Geométrico (DG-2014)", y con complemento de dos manuales especializados en el diseño de vías urbanas: "Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas - 2005 - VCHI" y "A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - 2011- 6th Edition - AASHTO". Además se plantea que al concluir el presente trabajo se logre obtener una metodología para el desarrollo de un anteproyecto de una vía pavimentada con base en la normativa mencionada y el empleo de cuatro programas para el diseño automatizado de una vía: Google Earth, Global Mapper, Autocad Civil 3D y 3Ds Max Design.

ANTECEDENTES

En el año 1967, a fin de ordenar el transporte público y privado, y descongestionar el tránsito vehicular de Lima Metropolitana, el Alcalde de Lima Luis Bedoya Reyes inició la construcción de la Vía Expresa del Paseo de la República, idea original del visionario Benjamin Doig. Esta consiste en 3 etapas:

1era Etapa

Esta etapa consiste en la construcción del tramo comprendido entre la Plaza Grau hasta la Avenida Javier Prado, terminando poco después donde es actualmente la Avenida Canaval y Moreyra. La construcción de este tramo se inicio en 1967 y concluyo en 1968.

2da Etapa

Esta etapa consiste en la construcción del tramo restante hasta la altura de la Avenida República de Panamá en el distrito de Barranco. La construcción de este tramo se inicio en 1969 y concluyo en 1970.

3era Etapa

En el 2012, la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML), como parte de su política de promoción de la inversión privada plantea la concesión de la referida vía del tramo comprendido entre la Avenida República de Panamá y la Panamericana Sur (Alt. Km. 22). El proyecto se enmarca dentro de la jurisdicción de los distritos de Barranco, Santiago de Surco y San Juan de Miraflores con un derecho de vía de 72 metros de ancho y una longitud de 5.3 km. de largo. El inicio de la construcción de este último tramo comenzará a



mediados del segundo semestre del 2016 y se tiene previsto que empiece a prestar servicios en el 2018.

OBJETIVOS

Objetivo Principal

- Desarrollar el diseño geométrico del proyecto "Vía Expresa Sur".

Objetivos Secundarios

- Contar con una metodología para la creación de un anteproyecto de una vía mediante el uso de manuales normativos para el diseño geométrico de vías y el empleo de software especializado para el diseño.
- Crear un modelo digital de la vía mediante el programa 3ds Max Design.

PROGRAMA DE TRABAJO

El desarrollo del presente trabajo de tesis se dividirá en las siguientes partes:

- a) Aspectos generales
- b) Parámetros y elementos básicos de diseño
- c) Diseño geométrico y consideraciones de la vía
- d) Metodología aplicada para el diseño computarizado de la vía
- e) Conclusiones y recomendaciones

METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología aplicada se divide en dos fases:

- La primera fase consiste en la recopilación de información y visita a campo, la cual tiene como objetivo observar e inspeccionar la zona donde se proyecta la vía.
- La segunda fase consiste en el procesamiento y análisis de la información, la cual comprende el procesamiento en gabinete para el diseño geométrico de la vía.

REVISIONES

1era Revisión:

- Aspectos Generales
- Parámetros y elementos básicos de diseño

2da Revisión:

- Diseño geométrico y consideraciones de la vía

3ra Revisión:

- Metodología aplicada para el diseño computarizado de la vía
- Conclusiones y recomendaciones

NOTA

Extensión máxima: 100 páginas



DEDICATORIA

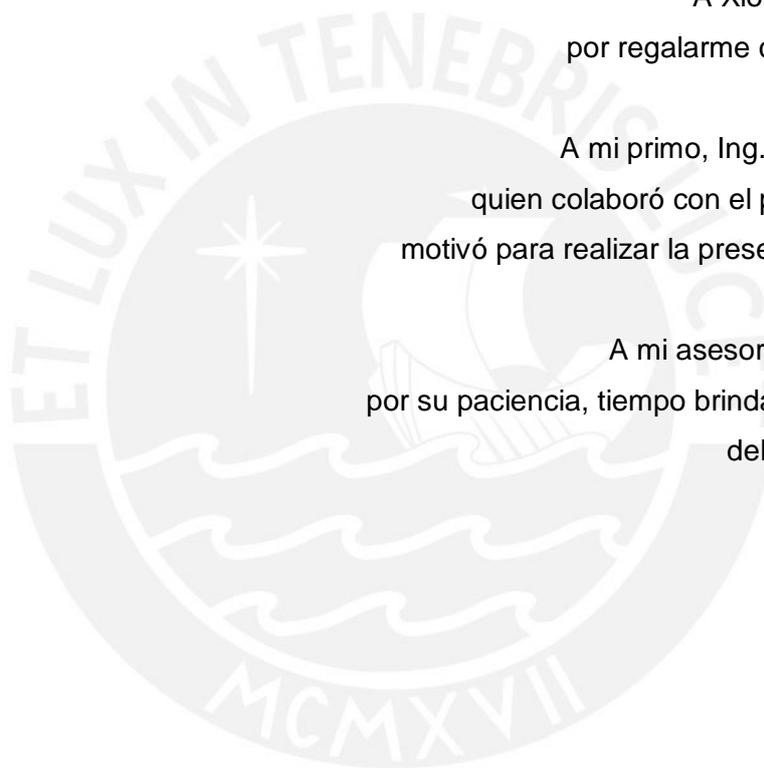
A Dios,
por guiarme por el camino correcto.

A mis padres, Emerson y Carmen;
a mi hermano, Aarón;
y a mi abuela, Elisenda,
por siempre brindarme su apoyo.

A Xiomara y Sebastian,
por regalarme calidez en mi vida.

A mi primo, Ing. Carlos Tarazona,
quien colaboró con el presente estudio y
motivó para realizar la presente investigación.

A mi asesor, Ing. José Reyes,
por su paciencia, tiempo brindado en la creación
del presente estudio.



ÍNDICE

ÍNDICE	I
LISTA DE FIGURAS.....	VII
LISTA DE TABLAS	IX
LISTA DE ACRÓNIMOS	XI
CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 DOCUMENTOS NORMATIVOS	1
1.2 SOFTWARE DE DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍAS.....	1
1.3 ANTECEDENTES.....	1
1.4 LOCALIZACIÓN	2
1.5 RELIEVE	3
1.6 ALTITUD.....	3
1.7 CLIMA	4
1.7.1 TEMPERATURA	4
1.7.2 PRECIPITACIÓN	5
1.7.3 HUMEDAD.....	5
1.8 ANÁLISIS DEL EJE DE LA VÍA	5
1.9 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PRINCIPALES DEL PROYECTO	6
1.9.1 EXPROPIACIÓN.....	6
1.9.2 IMPACTO AMBIENTAL.....	6
CAPITULO II: PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DE DISEÑO	7
2.1 CLASIFICACIÓN DEL SISTEMA VIAL	7
2.2 CRITERIOS Y CONTROLES BÁSICOS PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO	
10	
2.2.1 ESTUDIOS PRELIMINARES PARA EFECTUAR EL DISEÑO GEOMÉTRICO	10
2.2.1.1 <i>Criterios Básicos</i>	10
2.2.1.2 <i>Estudios Preliminares</i>	10
2.2.2 VEHÍCULO DE DISEÑO.....	11
2.2.2.1 <i>Características Generales</i>	11
2.2.2.2 <i>Dimensiones</i>	11

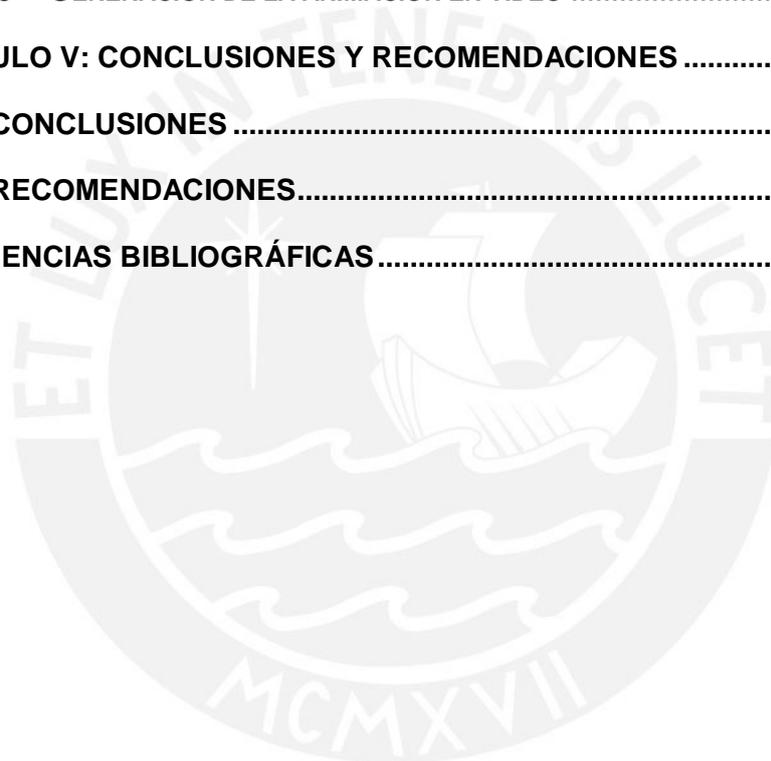
2.2.3	CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO	12
2.2.3.1	Generalidades	12
2.2.3.2	Índice Medio Diario Anual (IMDA)	13
2.2.3.3	Volumen horario de diseño (VHD).....	13
2.2.3.4	Crecimiento del tránsito	13
2.2.3.5	Flujo de Saturación (HCM-2000).....	14
a)	Flujo de saturación base	15
b)	Factores de ajuste	15
2.2.4	CAPACIDAD VIAL Y NIVELES DE SERVICIO	15
2.2.4.1	Condiciones Prevalcientes	15
2.2.4.2	Capacidad Vial	16
2.2.4.3	Niveles de Servicio	16
2.2.5	VELOCIDAD DE DISEÑO	19
2.2.5.1	Definición	19
2.2.5.2	Velocidad de diseño del tramo homogéneo	20
2.2.6	DISTANCIA DE VISIBILIDAD	20
2.2.6.1	Definición	20
2.2.6.2	Distancia de visibilidad de parada	21
2.2.6.3	Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento	21
2.3	DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA, PERFIL Y SECCIÓN TRANSVERSAL	22
2.3.1	DISEÑO GEOMÉTRICO EN PLANTA O ALINEAMIENTO HORIZONTAL.....	22
2.3.1.1	Generalidades	22
2.3.1.2	Tramos en Tangente	23
2.3.1.3	Curvas circulares	24
a)	Radio mínimos	25
b)	Relación del peralte, radio y velocidad específica de diseño.....	26
c)	Curvas en contraperalte	27
d)	Coordinación entre curvas circulares	27
2.3.1.4	Curvas de transición	28
a)	Generalidades	28
b)	Tipo de curva de transición	28
c)	Elementos y características de la curva de transición tipo Clotoide ..	29
d)	Determinación de la longitud de curva de transición.....	30
2.3.1.5	Sobreechancho	32
2.3.1.6	Banquetas de visibilidad	34

2.3.1.7	<i>Islas</i>	35
2.3.1.8	<i>Canalización</i>	35
2.3.2	DISEÑO GEOMÉTRICO EN PERFIL O ALINEAMIENTO VERTICAL	35
2.3.2.1	<i>Generalidades</i>	35
2.3.2.2	<i>Consideraciones de diseño</i>	36
2.3.2.3	<i>Pendiente</i>	37
a)	<i>Consideraciones Generales</i>	37
b)	<i>Pendiente mínima</i>	37
c)	<i>Pendiente máxima</i>	38
2.3.2.4	<i>Curvas verticales</i>	38
a)	<i>Generalidades</i>	38
b)	<i>Elementos y características de curvas verticales</i>	39
c)	<i>Tipos de curvas verticales</i>	40
d)	<i>Longitud mínima de las curvas verticales convexas</i>	41
e)	<i>Longitud mínima de las curvas verticales cóncavas</i>	42
2.3.3	DISEÑO GEOMÉTRICO DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL	43
2.3.3.1	<i>Generalidades</i>	43
2.3.3.2	<i>Elementos de la sección transversal</i>	43
a)	<i>Derecho de Vía o faja de dominio</i>	44
b)	<i>Calzada o superficie de rodadura</i>	44
c)	<i>Bermas</i>	45
d)	<i>Bombeo</i>	46
e)	<i>Peralte</i>	46
f)	<i>Separadores</i>	47
g)	<i>Gálibo</i>	47
h)	<i>Sardineles</i>	48
i)	<i>Taludes</i>	48
j)	<i>Cunetas</i>	48
CAPITULO III: DISEÑO GEOMÉTRICO Y CONSIDERACIONES DE LA VÍA		49
3.1	ESTUDIO DE TRÁNSITO	49
3.2	PAVIMENTO	51
3.3	OBRAS PRINCIPALES O MAYORES	51
3.3.1	INTERSECCIÓN A DESNIVEL CON LA AV. REPÚBLICA DE PANAMÁ	52
3.3.2	INTERSECCIÓN A DESNIVEL AUTOPISTA PANAMERICANA SUR	53
3.4	OBRAS MENORES Y COMPLEMENTARIAS	54

3.5	PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DE DISEÑO	55
3.5.1	CLASIFICACIÓN DE LA VÍA	55
3.5.1.1	<i>Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2014)”</i>	<i>55</i>
3.5.1.2	<i>A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – 2011 - AASHTO 55</i>	
3.5.1.3	<i>Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005 – VCHI55</i>	
3.5.2	VELOCIDAD DE DISEÑO	55
3.5.3	VEHÍCULO DE DISEÑO	55
3.5.4	SECCIÓN TRANSVERSAL.....	55
3.5.4.1	<i>Tipo de sección</i>	<i>55</i>
3.5.4.2	<i>Derecho de Vía o faja de dominio</i>	<i>56</i>
3.5.4.3	<i>Calzada</i>	<i>56</i>
3.5.4.4	<i>Bermas.....</i>	<i>56</i>
3.5.4.5	<i>Bombeo</i>	<i>56</i>
3.5.4.6	<i>Peralte.....</i>	<i>57</i>
3.5.4.7	<i>Separadores o bermas centrales</i>	<i>57</i>
3.5.4.8	<i>Gálibo.....</i>	<i>57</i>
3.5.4.9	<i>Sardineles.....</i>	<i>57</i>
3.5.4.10	<i>Taludes</i>	<i>57</i>
3.5.4.11	<i>Secciones típicas en la VEPR.....</i>	<i>57</i>
3.5.5	PARÁMETROS DE DISEÑO EN PLANTA Y PERFIL	58
 CAPITULO IV: METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DISEÑO		
COMPUTARIZADO DE LA VÍA..... 59		
4.1	METODOLOGÍA APLICADA PARA LA CREACIÓN DE UN ANTEPROYECTO VIAL.....	59
4.1.1	FASE 1: RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN Y VISITA A CAMPO	59
4.1.2	FASE 2: PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN	59
4.2	SOFTWARE EMPLEADO PARA EL DISEÑO DE VÍA.....	60
4.2.1	GOOGLE EARTH PRO (GE).....	60
4.2.2	GLOBAL MAPPER (GM).....	61
4.2.3	AUTOCAD CIVIL 3D (AC3D)	61
4.2.4	3DS MAX DESIGN (3DMD)	61
4.3	SISTEMA DE PROYECCIÓN CARTOGRÁFICA.....	61
4.3.1	FORMA DE LA TIERRA - ELIPSOIDE WGS-84	61
4.3.2	SISTEMA DE COORDENADAS GEODÉSICAS O GEOGRÁFICAS	62

4.3.3	SISTEMA DE PROYECCIÓN UNIVERSAL TRANSVERSAL DE MERCATOR (UTM)	
	63	
4.3.4	DISTRIBUCIÓN DE HUSOS Y BANDAS DEL SISTEMA UTM	64
4.4	DISEÑO GEOMÉTRICO DE VÍA	65
4.4.1	GENERACIÓN DEL EJE O RUTA	65
4.4.2	GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE LA TOPOGRAFÍA DEL TERRENO	67
4.4.2.1	<i>Utilización de Global Mapper</i>	67
a)	<i>Configuración respecto a la zona UTM</i>	67
b)	<i>Abrir archivo KMZ del proyecto</i>	69
c)	<i>Conexión con servicios de Data de Elevación Online</i>	69
d)	<i>Generación de líneas de nivel a partir de superficie de terreno</i>	71
e)	<i>Exportación de archivo en formato DWG</i>	72
4.4.2.2	<i>Configuraciones iniciales del AC3D</i>	72
4.4.2.3	<i>Creación de superficie TIN</i>	73
4.4.2.4	<i>Generación de imagen satelital en el proyecto</i>	75
4.4.3	DISEÑO EN PLANTA	77
4.4.3.1	<i>Creación de Alineamiento Horizontal a partir del Eje</i>	77
4.4.3.2	<i>Regulación de Elementos de Alineamiento Horizontal</i>	79
4.4.4	DISEÑO EN PERFIL	79
4.4.4.1	<i>Creación del Perfil del Terreno</i>	79
4.4.4.2	<i>Creación de la Subrasante</i>	80
4.4.4.3	<i>Cálculo de Elementos de Alineamiento Vertical</i>	81
4.4.4.4	<i>Creación de la Rasante</i>	81
4.4.5	GENERACIÓN DE SOBREANCHOS Y PERALTES	82
4.4.5.1	<i>Creación de Sobreanchos</i>	82
4.4.5.2	<i>Creación de Peraltes</i>	83
4.4.6	GENERACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES	84
4.4.7	GENERACIÓN DEL CORREDOR	86
4.4.8	CREACIÓN DE LA SUPERFICIE DEL CORREDOR	87
4.4.9	GENERACIÓN DE LAS SECCIONES DEL CORREDOR	88
4.4.10	CÁLCULO DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS	89
4.4.11	GENERACIÓN DE LOS PLANOS	89
4.4.12	GENERACIÓN DE LA VISTA VIRTUAL EN AC3D	90
4.5	GENERACIÓN DE MODELO VIRTUAL EN 3DMD	91
4.5.1	EXPORTACIÓN DEL MODELO DE AUTOCAD CIVIL 3D A 3DS MAX DESIGN ...	91
4.5.2	CONFIGURACIÓN BÁSICA DEL 3DMD	91

4.5.3	CREACIÓN E INCORPORACIÓN DE IMAGEN SATELITAL A LA SUPERFICIE.....	93
4.5.4	CREACIÓN DE UN SISTEMA DE LUZ NATURAL Y UN FONDO DE AMBIENTE	93
4.5.5	CREACIÓN DE KIT DE RECURSOS PRIVADO	94
4.5.6	CREACIÓN DE MARCAS DE VÍA	94
4.5.7	CREACIÓN DE OBJETOS CARACTERÍSTICOS DE VÍA	95
4.5.8	CREACIÓN DE OBJETOS SEPARADORES DE VÍA	95
4.5.9	CREACIÓN DE OBJETOS DE EXTENSIÓN A LA VÍA	96
4.5.10	CREACIÓN DE OBJETOS CARACTERÍSTICOS DE VÍA	96
4.5.11	CREACIÓN DE EDIFICIOS	97
4.5.12	CREACIÓN DE CÁMARAS EN LA VÍA	97
4.5.13	GENERACIÓN DE LA ANIMACIÓN EN VIDEO	98
CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		99
5.1	CONCLUSIONES	99
5.2	RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....		101



LISTA DE FIGURAS

CAPITULO I

<i>Figura 1 - 1: Ubicación de la Vía Expresa Sur</i>	3
<i>Figura 1 - 2: Ruta de la Vía Expresa Sur en Google Earth</i>	3
<i>Figura 1 - 3: Poster informativo del proyecto – Zonas a expropiar</i>	6

CAPITULO II

<i>Figura 2 - 1: Distribución de alturas de vehículos ligeros</i>	12
<i>Figura 2 - 2: Factores de ajuste para el flujo de saturación base</i>	15
<i>Figura 2 - 3: Clasificación de los niveles de servicio</i>	19
<i>Figura 2 - 4: Curva Circular</i>	25
<i>Figura 2 - 5: Relación del peralte, radio y velocidad de diseño</i>	27
<i>Figura 2 - 6: Curva clotoide-circular-clotoide</i>	29
<i>Figura 2 - 7: Banquetas de visibilidad</i>	34
<i>Figura 2 - 8: Procedimiento alternativo a las banquetas de visibilidad</i>	34
<i>Figura 2 - 9: Capas del pavimento</i>	36
<i>Figura 2 - 10: Curvas convexas y cóncavas</i>	39
<i>Figura 2 - 11: Curvas convexas y cóncavas</i>	40
<i>Figura 2 - 12: Curvas simétricas y asimétricas</i>	40
<i>Figura 2 - 13: Sección transversal típica de una vía expresa tipo zanjón</i>	43

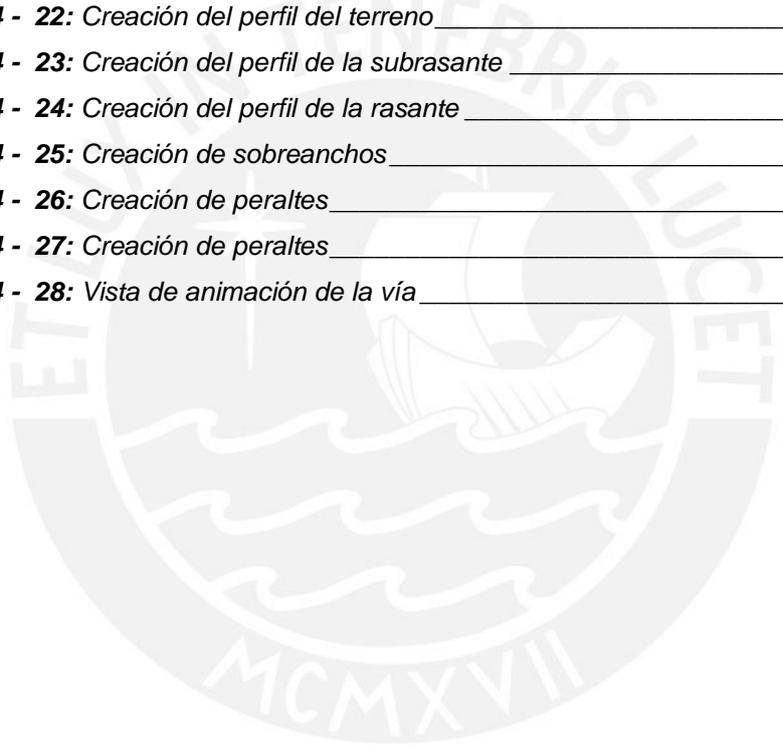
CAPITULO III

<i>Figura 3 - 1: Estructura de Av. Vía Expresa</i>	51
<i>Figura 3 - 2: Vista del Intercambio Vial tipo trébol - República de Panamá</i>	53
<i>Figura 3 - 3: Vista del Intercambio Vial Autopista Panamericana Sur – 4 enlaces</i>	54
<i>Figura 3 - 4: Secciones transversales típicas de una vía expresa tipo trinchera</i>	56
<i>Figura 3 - 5: Sección típica de la vía expresa existente</i>	58

CAPITULO IV

<i>Figura 4 - 1: Bosquejo del proceso de la metodología de trabajo</i>	60
<i>Figura 4 - 2: Elipsoide WGS-84</i>	62
<i>Figura 4 - 3: Sistema de Coordenadas Geodésicas - Elipsoide WGS-84</i>	63
<i>Figura 4 - 4: Sistema de proyección UTM</i>	64
<i>Figura 4 - 5: Distribución de Husos y Bandas del sistema UTM</i>	65
<i>Figura 4 - 6: Distribución de Husos del sistema UTM en Perú</i>	65
<i>Figura 4 - 7: Generación de la ruta en Google Earth</i>	66
<i>Figura 4 - 8: Opciones de la página de inicio de Global Mapper</i>	68
<i>Figura 4 - 9: Configuración por zona geodésica en Global Mapper</i>	68

Figura 4 - 10: Apertura del archivo KMZ en Global Mapper _____	69
Figura 4 - 11: Apertura del archivo KMZ en Global Mapper _____	69
Figura 4 - 12: Procedimiento para la conexión con Data de Elevación Online _____	70
Figura 4 - 13: Proyecto en GM establecida la conexión con Data de Elevación Online ____	71
Figura 4 - 14: Procedimiento para la generación de curvas de nivel_____	71
Figura 4 - 15: Procedimiento para la exportación de archivo en formato DWG _____	72
Figura 4 - 16: Configuración de zona del proyecto _____	73
Figura 4 - 17: Procedimiento para la creación de la superficie TIN en AC3D _____	74
Figura 4 - 18: Procedimiento para generar imagen satelital _____	75
Figura 4 - 19: Procedimiento para crear una superficie limitada _____	76
Figura 4 - 20: Creación de alineamiento horizontal _____	78
Figura 4 - 21: Creación de tabla con datos de alineamiento _____	78
Figura 4 - 22: Creación del perfil del terreno _____	80
Figura 4 - 23: Creación del perfil de la subrasante _____	80
Figura 4 - 24: Creación del perfil de la rasante _____	82
Figura 4 - 25: Creación de sobreeanchos _____	82
Figura 4 - 26: Creación de peraltes _____	84
Figura 4 - 27: Creación de peraltes _____	86
Figura 4 - 28: Vista de animación de la vía _____	98



LISTA DE TABLAS

CAPITULO I

Tabla 1 - 1: Temperatura promedio anual de Lima _____	4
Tabla 1 - 2: Parámetros climáticos absolutos y medios de Lima _____	4
Tabla 1 - 3: Precipitación total anual de Lima _____	5
Tabla 1 - 4: Humedad relativa promedio anual de Lima _____	5

CAPITULO II

Tabla 2 - 1: Clasificación de las carreteras según demanda _____	9
Tabla 2 - 2: Clasificación de las carreteras por orografía _____	9
Tabla 2 - 3: Dimensiones de vehículos ligeros _____	12
Tabla 2 - 4: Alturas de vehículos ligeros _____	12
Tabla 2 - 5: Velocidad de diseño en tramos homogéneos _____	20
Tabla 2 - 6: Coeficientes de fricción longitudinales _____	21
Tabla 2 - 7: Distancias de visibilidad de paso o adelantamiento _____	22
Tabla 2 - 8: Longitudes de tramos en tangente _____	23
Tabla 2 - 9: Longitudes de tramos en tangente _____	24
Tabla 2 - 10: Radios mínimos para áreas urbanas _____	26
Tabla 2 - 11: Coordinación entre curvas circulares _____	27
Tabla 2 - 12: Variación uniforme de aceleración normal y máxima _____	30
Tabla 2 - 13: Radios que permiten prescindir de la curva de transición _____	32
Tabla 2 - 14: Factor de reducción para Sobreanchos _____	33
Tabla 2 - 15: Capas del Pavimento _____	36
Tabla 2 - 16: Pendientes máximas _____	38
Tabla 2 - 17: Longitud mínima de curvas convexas _____	42
Tabla 2 - 18: Ancho de calzada mínimo para autopistas de primera y segunda clase _____	44
Tabla 2 - 19: Ancho de calzada mínimo para vías expresas _____	45
Tabla 2 - 20: Ancho mínimo de bermas para autopistas _____	45
Tabla 2 - 21: Pendientes transversales de bombeo _____	46
Tabla 2 - 22: Radios mínimos para prescindir del peralte en una curva _____	46
Tabla 2 - 23: Radios y velocidades para asumir peralte mínimo de 2% _____	47
Tabla 2 - 24: Radios y velocidades para asumir peralte mínimo de 2% _____	47
Tabla 2 - 25: Desarrollo de transición mínima de peralte en tangente _____	47
Tabla 2 - 26: Taludes de corte _____	48
Tabla 2 - 27: Taludes de relleno _____	48

CAPITULO III

Tabla 3 - 1: Obtención del IMDA para el proyecto VES _____	49
---	----

Tabla 3 - 2: Niveles de servicio del proyecto VES _____	50
Tabla 3 - 3: Características y especificaciones técnicas del pavimento _____	51
Tabla 3 - 4: Características y especificaciones técnicas de las obras principales del proyecto VES _____	52
Tabla 3 - 5: Características y especificaciones técnicas de las obras principales del proyecto VES _____	54
Tabla 3 - 6: Parámetros de diseño de la Vía Expresa _____	58
CAPITULO IV	
Tabla 4 - 1: Coordenadas de las obras principales _____	67



LISTA DE ACRÓNIMOS

VEPR	:	Vía Expresa del Paseo de la República
VES	:	Vía Expresa Sur
DG-2014	:	Diseño Geométrico 2014
COSAC	:	Corredor Segregado de Alta Capacidad
HCM	:	High Capacity Manual
GE	:	Google Earth
GM	:	Global Mapper
AC3D	:	Autocad Civil 3D
3DMD	:	3Ds Max Design



CAPITULO I: ASPECTOS GENERALES

Objetivos

El objetivo principal del presente estudio es desarrollar el diseño geométrico del proyecto “*Vía Expresa Sur*”. Además, se tiene como objetivos secundarios contar con una metodología para la creación de un anteproyecto de una vía mediante el uso de manuales normativos para el diseño geométrico de vías y el empleo de software especializado para el diseño, y crear un modelo digital de la vía mediante el programa 3ds Max Design, el cual permitirá una visualización de alta calidad del funcionamiento de la vía.

1.1 Documentos normativos

Esta investigación se realizó con base fundamental en la normativa del Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2014)”, y con complemento de dos manuales especializados en el diseño de vías urbanas: “Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005 – VCHI” y “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - 2011- 6th Edition - AASHTO”.

1.2 Software de diseño geométrico de vías

En el presente proyecto, se utilizarán cuatro programas especializados en el diseño automatizado de vías: Google Earth Pro, Global Mapper, Autocad Civil 3D y 3ds Max Design. Cada uno de ellos cumple una función especializada en el proceso de diseño geométrico de una vía. La función y el uso de estos se explayarán en el capítulo “Metodología Aplicada”.

1.3 Antecedentes

En 1858, el presidente Ramón Castilla propuso la creación de una línea férrea que uniría la ciudad de Lima con el balneario de Chorrillos. Posteriormente, en 1868 el presidente José Balta ordenó la demolición de las murallas de la ciudad, para lo cual se decidió utilizar la línea férrea como guía para la creación de la Av. que tomaría el nombre de Paseo de la República. Conforme transcurría los años, la Av. Paseo de la República fue uniendo sucesivos distritos.

En el año 1967, a fin de ordenar el transporte público y privado, y descongestionar el tránsito vehicular de Lima Metropolitana, el Alcalde de Lima Luis Bedoya Reyes inició la construcción de la Vía Expresa del Paseo de la República, idea original del visionario Benjamin Doig. Esta consiste en 3 etapas:

- **1era Etapa**

Esta etapa consiste en la construcción del tramo comprendido entre la Plaza Grau hasta la Av. Javier Prado, terminando poco después donde es actualmente la Av. Canaval y Moreyra. La construcción de este tramo se inició en 1967 y concluyó en 1968.

- **2da Etapa**

Esta etapa consiste en la construcción del tramo restante que abarca desde la Av. Canaval y Moreyra hasta la Av. República de Panamá en el distrito de Barranco. La construcción de este tramo se inició en 1969 y concluyó en 1970.

- **3era Etapa**

En el 2012, la Municipalidad Metropolitana de Lima (MML), como parte de su política de promoción de la inversión privada plantea la concesión de la tercera etapa de la vía comprendida entre la Av. República de Panamá y la autopista Panamericana Sur (Alt. Km. 22). Esta posee una longitud aproximada de 4.91 Km y reserva un derecho de vía de 72 metros de ancho. Cabe precisar que el diseño de la ampliación de la vía expresa, reservará un área en la parte central de 17 m. para la ampliación y construcción del Corredor Segregado de Alta Capacidad (COSAC). Según la MML, el inicio de la construcción de este último tramo comenzará a mediados del segundo semestre del 2016 y se tiene previsto que empiece a prestar servicios en el 2018.

1.4 Localización

La vía proyectada se desarrolla a lo largo de los distritos de Barranco, Santiago de Surco y San Juan de Miraflores, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Geográficamente se encuentra comprendido entre 12.13° y 12.15° de Latitud Sur, y 77.01° y 76.98° de Longitud Oeste. El punto inicial (Km. 0+000) del tramo de estudio se encuentra en la Vía Expresa Paseo de la República Alt. cruce con la Av. República de Panamá (Zona: 18L – Abscisa: 280405.99 m E– Norte: 8657606.61 m S). Por otro lado, el punto final (Km. 4+992.67) se encuentra a Alt. de la Autopista Panamericana Sur (Zona: 18L – Abscisa: 284140.29 m E– Norte: 8655382.78 m S). En la **Figura 1-1** y **Figura 1-2** se puede apreciar la ubicación y el trazo del proyecto en estudio.

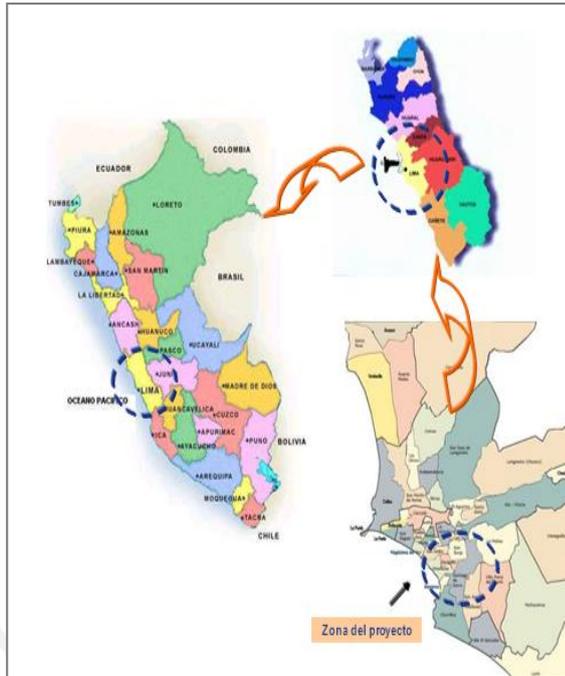


Figura 1 - 1: Ubicación de la Vía Expresa Sur
Fuente: Elaboración propia



Figura 1 - 2: Ruta de la Vía Expresa Sur en Google Earth
Fuente: Elaboración propia

1.5 Relieve

El área de la vía proyectada se encuentra dentro de la zona urbana de Lima en la región costa. Esta está representada por parques, pampas desérticas, canales de regadío, diversas edificaciones, vías (locales, colectoras, arteriales y expresas), etc.

1.6 Altitud

La altitud de la zona de estudio es relativamente baja debido a su proximidad con la costa peruana. La altitud del eje de la vía varía entre 75 y 90 m.s.n.m.

1.7 Clima

El clima en la región costa de la ciudad de Lima es variado según las estaciones del año; por ejemplo, el clima es templado, húmedo y con alta nubosidad en la estación de invierno, y caliente, árido y abrazador en el verano. Las precipitaciones en la zona son escasas y se producen en forma de lloviznas, a excepción de los años excepcionales y durante el verano, donde se producen lluvias de intensidad media pero de corta duración.

1.7.1 Temperatura

La temperatura promedio anual en la ciudad de Lima se muestra en la **Tabla 1-1**. Como se observa la temperatura promedio anual se encuentra entre los 18.5 °C y los 19.5 °C.

Tabla 1 - 1: Temperatura promedio anual de Lima
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Año	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Temperatura (°C)	19.0	19.0	18.7	19.4	18.1	19.5	19.5	18.8	19.1	19.8	18.7

Por otro lado, las temperaturas máximas y mínimas por mes se muestran en la **Tabla 1-2**.

Tabla 1 - 2: Parámetros climáticos absolutos y medios de Lima
Fuente: Weatherbase: Historical Weather for Lima, ed. (2013)

Parámetros climáticos promedio de Lima 													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Temperatura máxima absoluta (°C)	31	31	32	31	30	28	30	26	26	26	27	31	32
Temperatura máxima media (°C)	26	26	26	24	22	20	19	18	19	20	22	24	22
Temperatura mínima media (°C)	20	20	20	18	17	16	15	15	15	16	17	18	17
Temperatura mínima absoluta (°C)	16	17	16	13	12	11	10	10	10	10	8	10	8

En esta tabla se visualiza que las temperaturas máximas y mínimas son dependientes al inicio de estaciones de verano e invierno. Las temperaturas más rescatables son las siguientes:

- Temperatura máxima absoluta anual(°C) = 32 °C
- Temperatura máxima media anual (°C) = 22 °C

- Temperatura mínima media anual (°C) = 17 °C
- Temperatura mínima absoluta anual (°C) = 8 °C

1.7.2 Precipitación

Las precipitaciones en la ciudad de Lima suelen ser escasas y de baja intensidad. En la **Tabla 1-3**, se muestran las precipitaciones totales anuales de Lima. Como se observa la precipitación es muy variada debido a que está relacionada con el fenómeno del niño. La precipitación elegida en el presente estudio es la del año 2013 (8.6 mm/año).

Tabla 1 - 3: Precipitación total anual de Lima
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Precipitación (mm/año)	3.0	3.4	2.9	7.7	9.4	15.3	6.9	10.2	7.2	8.6

1.7.3 Humedad

La humedad atmosférica en la ciudad de Lima suele ser alta. En la **Tabla 1-4**, se muestran una recopilación de las humedades relativas en Lima por año. Como se observa la humedad es de porcentaje alto y casi constante. Esta oscila entre 84 y 89 por ciento.

Tabla 1 - 4: Humedad relativa promedio anual de Lima
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI)

Año	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Humedad (%)	89	85	84	87	84	86	85	85	86	86

1.8 Análisis del eje de la vía

El eje de la vía ha sido diseñado tal que guarde concordancia con las etapas antecesoras de la Vía Expresa. En la **Figura 1-2** se observa que el eje de la vía vista en planta sigue una ruta casi recta con contados cambios de trayectoria ocasionados por la intersección con avenidas principales, por lo que se prevé que el alineamiento horizontal del terreno no presentará mucha sinuosidad. Por otro lado, se observó mediante la evaluación actual de la zona del proyecto que la vía se desarrolla en un terreno semi-plano debido a que la pendiente a lo largo del eje al nivel de terreno natural no sobrepasa el 5%. Finalmente, se visualiza que el derecho de vía no ha sido respetado en ciertos sectores, por lo cual se considera expropiar estructuras ubicadas dentro del recorrido de la vía.

1.9 Características técnicas principales del proyecto

1.9.1 Expropiación

En los dos primeros años de ejecución, se deberán expropiar 300 predios, para lo cual se tienen presupuestados 57 millones de dólares. Dentro del trazo de expropiación se encuentran ubicados diversas edificaciones tales como la Escuela de Fútbol “El Potrero”, la Villa Militar FAP y colegios tradicionales como el Hiram Bingham y el Champagnat. En la **Figura 1-3** se muestra un poster informativo del proyecto describiendo las principales zonas a expropiar a lo largo de su recorrido.

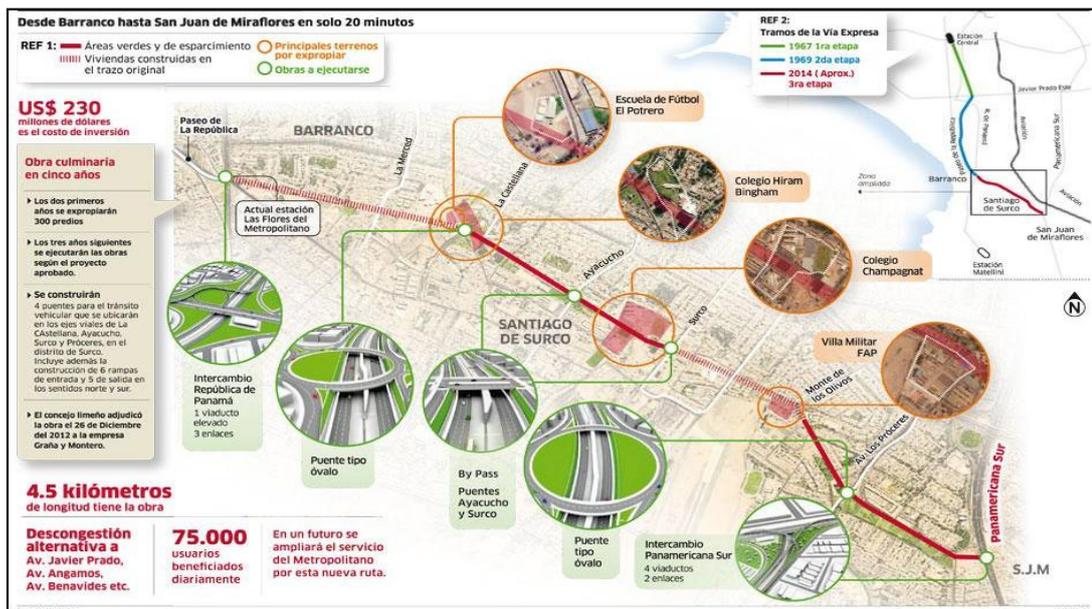


Figura 1 - 3: Poster informativo del proyecto – Zonas a expropiar
Fuente: Diario La República (2013)

1.9.2 Impacto ambiental

Los impactos ambientales son muchos ante proyectos viales pero pueden evitarse o disminuirse con modificaciones especiales del diseño de la acción propuesta. De estos impactos se ha logrado enumerar los siguientes:

- **Riesgo Físico:** por afectación de la calidad de vida y seguridad de la población, afectación a la salud de la población, afectación a las actividades económicas de la población.
- **Impactos sobre la Calidad Ambiental:** por cambios en la calidad del aire, peligros de aumento de contaminación.
- **Impactos sobre el Hábitat:** por modificación de los procesos fundamentales de funcionamiento de una zona urbana, pérdida del uso y disfrute de los espacios públicos, alteración de los estilos de vida y de hábitos cotidianos.

CAPITULO II: PARÁMETROS Y ELEMENTOS BÁSICOS DE DISEÑO

En este capítulo se presenta la normativa y el abstracto de conceptos básicos respecto al Diseño Geométrico para el desarrollo de la Vía Expresa Sur. El Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC), quien es el órgano encargado de normar sobre la gestión de la infraestructura de caminos, puentes y ferrocarriles en el territorio nacional, ha elaborado el Manual de Carreteras “Diseño Geométrico”. Este manual es el documento técnico normativo de cumplimiento obligatorio a nivel nacional, regional y local. Para el presente estudio, se utilizará el Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2014)”, aprobado por R.D. N° 028-2014-MTC/14 (30.10.2014). Sin embargo, esta normativa no posee las suficientes consideraciones técnicas para ser aplicado a vías urbanas, por lo que es necesario complementar esta normativa con manuales para el Diseño Geométrico en Vías Urbanas. En tal sentido, la Comunidad Ingenieril Nacional ha considerado que el “Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005 – VCHI (DGVU-2005)” y el manual norteamericano “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - 2011- 6th Edition – AASHTO (AASHTO-2011)”, son los más adecuados complementos del Manual DG-2014.

2.1 Clasificación del Sistema Vial

Al clasificar las vías que se encuentran dentro de las ciudades, se debe tomar en cuenta la función específica a las que están destinadas. Según el Manual para Vías Urbanas, esta especialización se basa en tres puntos:

- **Capacidad y nivel de servicio**
A medida que la ciudad crece y se desarrolla, los desplazamientos urbanos son mayores, y, por lo tanto, el tiempo empleado al transportarse tiene un valor más significativo. Conseguir velocidades altas en estas circunstancias puede ahorrar mucho tiempo a los usuarios. Esto se logra cuando las vías se proyectan de forma adecuada, logrando así otorgar la capacidad y nivel de servicio deseados por los usuarios.
- **Seguridad**
La seguridad es un factor sustancial en estas vías, debido a que la alta intensidad y velocidad de los vehículos, aumenta rápidamente el índice de accidentes.
- **Criterio funcional**
El criterio funcional corresponde a la jerarquía y predominancia de las vías principales al de las vías locales, en las que se debe evitar el tráfico intenso y rápido.

En este contexto, las vías expresas al ser consideradas como principales son caracterizadas por el control total de accesos (baja accesibilidad) y por no existir tránsito total (alta movilidad). Además de ello, las vías expresas se caracterizan por los siguientes factores:

- Velocidad máxima operacional igual a 80 km/h (se rige a lo establecido en el artículo 162 del Reglamento Nacional de Tránsito (RNT) vigente).
- El flujo es ininterrumpido.
- Presencia mayoritaria de vehículos ligeros.
- Solo se permite vehículos pesados con permiso especial.
- No se permite la circulación de vehículos menores (bicicletas), ni circulación de peatones.
- Control total de accesos.
- Los cruces peatonales y vehiculares se realizan a desnivel.
- Conexión distante con otras vías expresas o arteriales mediante enlaces.
- En casos especiales, se permite la conexión con vías colectores, a través de vías auxiliares.
- Posee 3 o más carriles bidireccionales.
- Vías auxiliares adyacentes para permitir el ingreso y salida a propiedades laterales.
- El servicio de transporte público se permite en carriles exclusivos con paraderos distantes.
- No se permite estacionamiento, ni carga y descarga de materiales, salvo en emergencias.

La función de las vías expresas es establecer una relación entre el sistema interurbano y el urbano. Estas sirven para el tránsito de paso (origen y destino distante entre sí) de grandes volúmenes de vehículos entre zonas de alto tráfico, con circulación de alta velocidad y baja accesibilidad. Este tipo de vías también son llamadas “autopistas urbanas”.

Según el DGVU-2005, cuando las vías expresas se encuentran en el área central urbana el espaciamiento deseable entre los corredores será de 4 km. Por otro lado, si el caso corresponde a expansión urbana, el espaciamiento será de 10 km.

Por otro lado, en la norma DG-2014, se explica que la clasificación de las carreteras se fija según su demanda y orografía. La clasificación según su demanda consiste básicamente en el valor de un indicador que se denomina Índice Medio Diario Anual (IMDA), el cual se explicará en una sección aparte.

En la **Tabla 2-1**, se muestra la clasificación de carreteras en función a la demanda.

Tabla 2 - 1: Clasificación de las carreteras según demanda
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

TIPO	IMDA	TAMAÑO DEL SEPARADOR CENTRAL	NUMERO DE CARRILES POR CALZADA	ANCHO MÍNIMO DEL CARRIL	TIPO DE SUPERFICIE DE RODADURA
AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE	IMDA > 6000 veh/día,	S.C. ≥ 6m.	NRO. CARRILES > 2	3.60 m.	PAVIMENTADA
AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE	4001 ≤ IMDA ≤ 6000 veh/día,	1m. ≤ S.C. ≤ 6m.	NRO. CARRILES > 2	3.60 m.	PAVIMENTADA
CARRETERAS DE PRIMERA CLASE	2001 ≤ IMDA ≤ 4000 veh/día,	NO INDISPENSABLE	NRO. CARRILES = 2	3.60 m.	PAVIMENTADA
CARRETERAS DE SEGUNDA CLASE	400 ≤ IMDA ≤ 2000 veh/día,	NO INDISPENSABLE	NRO. CARRILES = 2	3.30 m.	PAVIMENTADA
CARRETERAS DE TERCERA CLASE	IMDA < 400 veh/día,	NO INDISPENSABLE	NRO. CARRILES = 2	3.00 m. ó 2.50 m. (si posee sustento técnico)	ESTABILIZADORES DE SUELOS, EMULSIONES ASFÁLTICAS Y/O MICRO PAVIMENTOS
TROCHAS CARROSABLES	IMDA < 200 veh/día,	NO INDISPENSABLE	ANCHO MÍNIMO DE CALZADA = 4.00 m.		AFIRMADA O SIN AFIRMAR

En la **Tabla 2-1**, se aprecia que las vías expresas o autopistas urbanas guardan similitud con las características generales de las autopistas de primera y segunda clase, es por lo cual el presente capítulo se enfocará en las condiciones para el diseño de estos tipos de autopistas dentro del manual DG-2014. Cabe señalar que la principal diferencia entre estos dos tipos de autopistas se basa en el IMDA que tenga la vía.

Además de la clasificación según demanda, las carreteras son diferenciadas por la orografía de su ruta, la cual consiste en las pendientes transversales y longitudinales (valor en porcentaje) predominantes por donde discurre su trazado. En la **Tabla 2-2** se muestra la clasificación de carreteras por orografía.

Tabla 2 - 2: Clasificación de las carreteras por orografía
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

TIPO DE TERRENO	PENDIENTE TRANSVERSAL	PENDIENTE LONGITUDINAL
PLANO (TIPO 1)	P.T. ≤ 10%	P.L. < 3%
ONDULADO (TIPO 2)	11% < P.T. < 50%	3% < P.L. < 6%
ACCIDENTADO (TIPO 3)	51% < P.T. < 100%	6% < P.L. < 8%
ESCARPADO (TIPO 4)	P.T. > 100%	P.L. > 8%

2.2 Criterios y Controles Básicos para el Diseño Geométrico

2.2.1 Estudios Preliminares para efectuar el Diseño Geométrico

2.2.1.1 Criterios Básicos

Según la norma DG-2014, para el diseño de una carretera deben evaluarse y seleccionarse los siguientes parámetros que definirán las características del proyecto:

1. La Categoría que le corresponde a la carretera según su clasificación por demanda.
2. La velocidad de diseño (Vd).
3. La sección transversal definida.

Estos serán seleccionados en función a los estudios preliminares que se obtengan en dicha vía.

2.2.1.2 Estudios Preliminares

Los estudios preliminares (pre-inversión) deben resolver las siguientes solicitudes:

- 1 Definición preliminar de las características y parámetros de diseño.
- 2 Identificación de rutas posibles.
- 3 Anteproyectos preliminares de las rutas posibles.
- 4 Selección de rutas.

Dentro de los estudios preliminares podemos encontrar los siguientes:

- a) Geodesia y topografía: sirve para georeferenciar el proyecto mediante el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), que opera referido al Sistema Geodésico Global de 1984 (WGS-84).
- b) Hidrología, hidráulica y drenaje: sirve para proporcionar los parámetros de diseño necesarios para dimensionar las obras que solucionen los problemas originarios de escurrimientos superficiales, elevaciones de nivel de agua, etc.
- c) Geología y Geotecnia: sirve para identificar las rutas donde se detecte zonas conflictivas desde el punto de vista geotécnico.
- d) Aspectos ambientales: sirve para identificar, evitar y/o solucionar problemas ambientales que puedan surgir debido a los elementos de las actividades, productos o servicios que el proyecto pueda causar.
- e) Seguridad vial: sirve para prevenir los accidentes de tránsito o minimizar los efectos de los mismos en la vida y salud de sus tripulantes.
- f) Reconocimiento del terreno: consiste en la comprobación y confirmación de los puntos de control seleccionados sobre la carta geográfica.

- g) Derecho de vía o faja de dominio: sirve para definir la faja del terreno dentro del cual tendrá lugar las obras complementarias, servicios, áreas para futuras obras de ensanche o mejoramiento y zona de seguridad.

2.2.2 Vehículo de Diseño

2.2.2.1 Características Generales

Las características del vehículo de diseño condicionan los distintos aspectos del dimensionamiento geométrico y estructural de una carretera. Esto sucede debido a lo siguiente:

- El ancho del vehículo adoptado incide en el ancho del carril, calzada, bermas y sobreebanco de la sección transversal, el radio mínimo de giro, intersecciones y gálibo.
- La distancia entre los ejes influyen en el ancho y los radios mínimos internos y externos de los carriles en los ramales.
- La relación de peso bruto total/potencia, guarda relación con el valor de las pendientes admisibles.

La clasificación del tipo de vehículo según encuesta de origen y destino, empleada por el Sistema Nacional de Inversión Pública (SNIP) para el costo de operación vehicular (VOC), es la siguiente:

- **Vehículos de pasajeros**
 - Jeep (VL)
 - Auto (VL)
 - Bus (B2, B3, B4 Y BA)
 - Camión C2
- **Vehículos de carga**
 - Pick-up (equivalente a Remolque Simple T2S1)
 - Camión C2
 - Camión C3 y C2CR
 - T3S2

Debido a que la vía en estudio corresponde a una vía expresa, los vehículos de enfoque serán los categorizados como vehículos ligeros (VL): Jeep y Auto.

2.2.2.2 Dimensiones

En la **Tabla 2-3**, se resumen los datos básicos de los vehículos ligeros.

Tabla 2 - 3: Dimensiones de vehículos ligeros

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

TIPO DE VEHÍCULO	Vehículo Ligero
NOMENCLATURA	VL
ALTO TOTAL	1.30 m.
ANCHO TOTAL	2.10 m.
VUELO LATERAL	0.15 m.
ANCHO EJES	1.80 m.
LARGO TOTAL	5.80 m.
VUELO DELANTERO	0.90 m.
SEPARACIÓN EJES	3.40 m.
VUELO TRASERO	1.50 m.
RADIO MÍN. RUEDA EXTERIOR	7.30 m.

Además de las características mostradas en la **Tabla 2-3**, se deben definir alturas que cubran las situaciones más favorables en cuanto a visibilidad, a fin de calcular las distancias de visibilidad de parada y de adelantamiento. En la **Tabla 2-4**, se describe y define estas alturas.

Tabla 2 - 4: Alturas de vehículos ligeros

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

SÍMBOLO	DEFINICIÓN	VEHÍCULO LIGERO
h	Altura faros delanteros	0.60 m.
h1	Altura ojos del conductor	1.07 m.
h2	Altura obstáculo fijo en la carretera	0.15m.
h4	Altura luces traseras o menor altura perceptible de carrocería	0.45m.
h5	Altura del techo	1.30m.

En la **Figura 2-1**, se ilustra la distribución de las alturas en el vehículo de diseño.

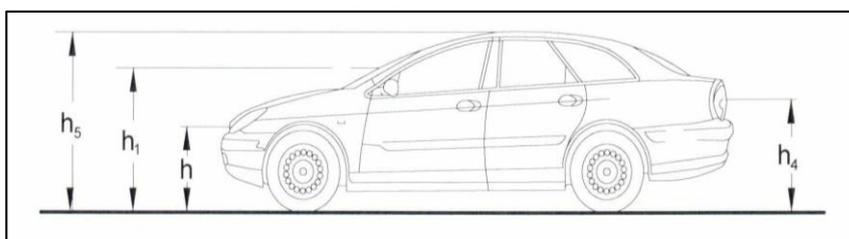


Figura 2 - 1: Distribución de alturas de vehículos ligeros

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

2.2.3 Características del Tránsito

2.2.3.1 Generalidades

El tráfico que se presentará en la vía es un factor que se debe tener en cuenta como base en el diseño geométrico de la vía. En tal contexto, el estudio de tráfico debe ser

evaluado conjuntamente con la proyección que considere el desarrollo futuro de la zona tributaria de la carretera y la utilización que tendrá cada tramo del proyecto vial.

2.2.3.2 Índice Medio Diario Anual (IMDA)

El Índice Medio Diario Anual (IMDA) es un indicador que estima el volumen vehicular que transcurre en una vía expresada en unidades de vehículos por día. El IMDA es obtenido mediante un promedio aritmético de los conteos volumétricos diarios de todo un año. Cabe señalar que este indicador define la importancia de la vía de manera cuantitativa.

2.2.3.3 Volumen horario de diseño (VHD)

El Volumen Horario de Diseño (VHD) es quien determina las características que deben emplearse en el diseño de carreteras de alto tránsito como las autopistas, y no el IMDA. El VHD es obtenido mediante el ordenamiento decreciente de los mayores volúmenes horarios registrados a lo largo de todo un año. Usualmente, se considera optar por el volumen asociado a la trigésima hora de mayor demanda debido a que se establece como el volumen horario de demanda máxima normal. El VHD se encuentra asociado mediante una relación empírica con el IMDA en caminos de tránsito mixto, correspondiendo un porcentaje (K) entre el 8% y el 12% del IMDA estimado en vías urbanas (HCM, 2000).

2.2.3.4 Crecimiento del tránsito

Para el diseño de una vía no solo es necesario obtener el IMDA o el VHD, sino que además se debe estimar el tránsito futuro que transcurrirá en dicha vía según el crecimiento que este tenga. La DG-2014 especifica que el crecimiento del tránsito se debe calcular utilizando la siguiente fórmula:

$$P_f = P_o(1 + T_c)^n$$

Dónde:

- P_f : Tránsito final
- P_o : Tránsito inicial (año base)
- T_c : Tasa de crecimiento anual por tipo de vehículo
- n : Años a estimarse

El valor de los años a estimarse es dependiente al tiempo transcurrido entre el inicio del proyecto y el fin de su vida útil. Por otro lado, la tasa de crecimiento dependerá del tipo de vehículo de diseño que se haya escogido. La DG-2014 aconseja que la

proyección para vehículos de pasajeros crece aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población y la proyección de vehículos de carga crece aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Esta tasa de crecimiento se puede obtener de valores estadísticos dependientes de la región donde se encuentre el proyecto.

2.2.3.5 Flujo de Saturación (HCM-2000)

Para el caso específico de que una vía se encuentre dentro de una zona urbana, se puede estimar que el IMDA guarda relación con el flujo o volumen vehicular que satura la vía. Según el High Capacity Manual v. 2000 (HCM-2000), es posible estimar el flujo de saturación de la vía a partir de un flujo de saturación base y factores de ajuste dependientes de las particularidades de la vía. El flujo de saturación se define como la cantidad máxima de vehículos que pueden pasar por el grupo de carriles de la vía asumiendo que la fase de la luz verde en el semáforo está disponible el 100 por ciento del tiempo. La siguiente ecuación detalla la obtención del flujo de saturación:

$$S = S_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU} f_{LT} f_{RT} f_{Lpb} f_{Rpb}$$

Esta ecuación puede ser reducida a la siguiente debido a las particularidades de la vía expresa:

$$S = S_0 N f_w f_{HV} f_g f_p f_{bb} f_a f_{LU}$$

Dónde:

- S : Flujo de saturación del grupo de carriles (veh/h)
- S₀ : Flujo de saturación base por carril (pc/h/carril)
- N : Número de carriles en el grupo
- f_w : Factor de ajuste por ancho de carriles
- f_{HV} : Factor de ajuste por vehículos pesados
- f_g : Factor de ajuste por pendiente de acceso
- f_p : Factor de ajuste por estacionamientos adyacentes al grupo de carriles
- f_{bb} : Factor de ajuste por bloqueo de buses que paran cerca de la intersección
- f_a : Factor de ajuste por tipo de área
- f_{LU} : Factor de ajuste por uso de carriles

a) Flujo de saturación base

El flujo de saturación base que establece el HCM-2000 es 1900 “passenger-car” por hora por carril (pc/h/carril). El factor “passenger-car” se define como el número de pasajeros desplazados en un vehículo de un tipo en particular bajo específicas condiciones de vía, tráfico y control.

b) Factores de ajuste

La obtención de los factores de ajuste que se emplean en la ecuación de flujo de saturación se muestra en la **Figura 2-2**.

Factor	Formula	Definition of Variables	Notes
Lane width	$f_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9}$	W = lane width (m)	W ≥ 2.4 If W > 4.8, a two-lane analysis may be considered
Heavy vehicles	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \% HV(E_T - 1)}$	% HV = % heavy vehicles for lane group volume	E _T = 2.0 pc/HV
Grade	$f_g = 1 - \frac{\% G}{200}$	% G = % grade on a lane group approach	-6 ≤ % G ≤ +10 Negative is downhill
Parking	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N _m = number of parking maneuvers/h	0 ≤ N _m ≤ 180 f _p ≥ 0.050 f _p = 1.000 for no parking
Bus blockage	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N = number of lanes in lane group N _B = number of buses stopping/h	0 ≤ N _B ≤ 250 f _{bb} ≥ 0.050
Type of area	f _a = 0.900 in CBD f _a = 1.000 in all other areas		
Lane utilization	f _{LU} = v _g / (v _{g1} N)	v _g = unadjusted demand flow rate for the lane group, veh/h v _{g1} = unadjusted demand flow rate on the single lane in the lane group with the highest volume N = number of lanes in the lane group	

Figura 2 - 2: Factores de ajuste para el flujo de saturación base

Fuente: High Capacity Manual v.2000

2.2.4 Capacidad Vial y Niveles de Servicio

2.2.4.1 Condiciones Prevalcientes

La capacidad de una vía se define para condiciones prevalcientes, los cuales son factores que al variar la modifican. Estos se agrupan en tres tipos generales.

a) Condiciones de infraestructura vial

Son las características físicas de la vía (p.e.: tránsito continuo o discontinuo, con o sin control de accesos, de dos o más carriles, etc.), el desarrollo de su entorno, las características geométricas, y el tipo de terreno donde se aloja la obra

b) Condiciones de tránsito

Se refiere a la distribución de tránsito en el tiempo y en el espacio, y a su composición en tipos de vehículos según el sistema de clasificación vehicular adoptado.

c) Condiciones de control

Hace referencia a los dispositivos para el control de tránsito (p.e.: semáforos y señales restrictivas).

2.2.4.2 Capacidad Vial

Al diseñar una vía, la demanda de tránsito, presente o futura, es un valor conocido y dado por los usuarios de la vía (demanda) usualmente definida por el IMDA o el VHD. Por otro lado, la capacidad u oferta que brinda un sistema vial es un valor que será dependiente del diseño de la misma. La capacidad se define el volumen máximo de vehículos que puede soportar una vía, o dicho de otra manera, es el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado. La estimación de la capacidad se obtiene mediante la siguiente fórmula:

$$C = S \cdot \frac{g}{C}$$

Dónde:

- C : Capacidad (veh/h)
- S : Flujo de saturación (veh/h)
- g : Tiempo del intervalo verde en el semáforo (seg)
- C : Longitud del ciclo del semáforo (seg)

Al evaluar una vía expresa, se debe tener en cuenta que corresponde a una vía de circulación continua, debido a que no tiene elementos fijos externos al flujo de tránsito (p.e.: semáforos). Por tal motivo, el valor "g/C" en la fórmula antes descrita será 1 ya que la fase verde en el ciclo del semáforo abarcará el 100%.

2.2.4.3 Niveles de Servicio

Los niveles de servicio son una medida cualitativa de la calidad del flujo vehicular. Su calificación depende de la percepción que tengan los usuarios sobre los factores internos (p.e.: la velocidad, el volumen, la composición del tránsito, etc.) y los externos (p.e.: anchura de los carriles, distancia libre lateral, pendientes, etc.).

El Manual de Capacidad de Carreteras de 1985, Special Report 209, del TRB, estableció seis niveles de servicio denominados: A, B, C, D, E y F, que van del mejor al peor. La **Figura 2-3** indica las condiciones de operación de estos niveles para sistemas viales de circulación continua.

A continuación, se detallará la clasificación de los niveles de servicio enfocado en las vías expresas.

a. Nivel de Servicio A

Se considera de flujo libre debido a que los usuarios poseen libertad completa para seleccionar sus velocidades y maniobrar dentro del tránsito, y los vehículos están virtualmente exentos de los efectos de la presencia de otros en la circulación. El nivel general de comodidad y conveniencia proporcionado para la circulación es considerado excelente. La velocidad de servicio mínima en este nivel para una vía expresa será de 95 km/h; es decir, se acepta velocidades inferiores a la máxima velocidad de 110 km/h. Adicionalmente, se requiere características geométricas ideales y poco tráfico. Asumiendo que la capacidad máxima por carril para una vía expresa es de 2000 veh/h, entonces el volumen de servicio será de menor a 700 veh/h, por carril en condiciones ideales para obtener el Nivel de Servicio < 0.35 ($0.35 = 700/2000$).

b. Nivel de servicio B

Se considera dentro del rango del flujo estable, pese a que los usuarios comiencen a observar otros vehículos integrantes a la circulación. Disminuye la libertad de maniobra en relación al nivel de servicio A. El nivel de comodidad y conveniencia puede ser categorizado como bueno. La velocidad de servicio en vías expresas será desde 80 hasta 95 km/h, y entonces el volumen de servicio será un promedio de 1000 veh/h, por carril en condiciones ideales para obtener el Nivel de Servicio < 0.50 ($0.50 = 1000/2000$).

c. Nivel de servicio C

Se considera un flujo estable, pero marca el dominio de la dependencia de conducción del usuario con terceros. La selección de velocidad y la libertad de maniobra se ven afectadas. El nivel de comodidad y conveniencia puede ser categorizado como regular. La velocidad de servicio en vías expresas será desde 70 hasta 80 km/h, y entonces el volumen de servicio será un promedio de 1400 veh/h, por carril en condiciones ideales para obtener el Nivel de Servicio < 0.70 ($0.70 = 1400/2000$).

d. Nivel de servicio D

Se considera un flujo estable, pero con densidad elevada. La selección de velocidad y la libertad de maniobra se ven seriamente restringidas. El nivel de comodidad y conveniencia puede ser categorizado como malo. La velocidad de servicio en vías

expresas será desde 60 hasta 70 km/h, y entonces el volumen de servicio será mayor que 1800 veh/h, por carril en condiciones ideales para obtener el Nivel de Servicio < 0.90 ($0.90 = 1800/2000$). Este tipo de nivel es muy sensible a cualquier incidente que pueda provocar paradas o cambios bruscos de velocidad.

e. Nivel de Servicio E

La vía se encuentra al límite de su capacidad. La velocidad y la libertad de maniobra son muy bajas. La velocidad de servicio en vías expresas será desde 45 hasta 60 km/h, y entonces el volumen de servicio será mayor que 2000 veh/h, por carril en condiciones ideales para obtener el Nivel de Servicio < 1 ($1 = 2000/2000$). Este tipo de nivel está muy condicionado por la capacidad de los puntos críticos.

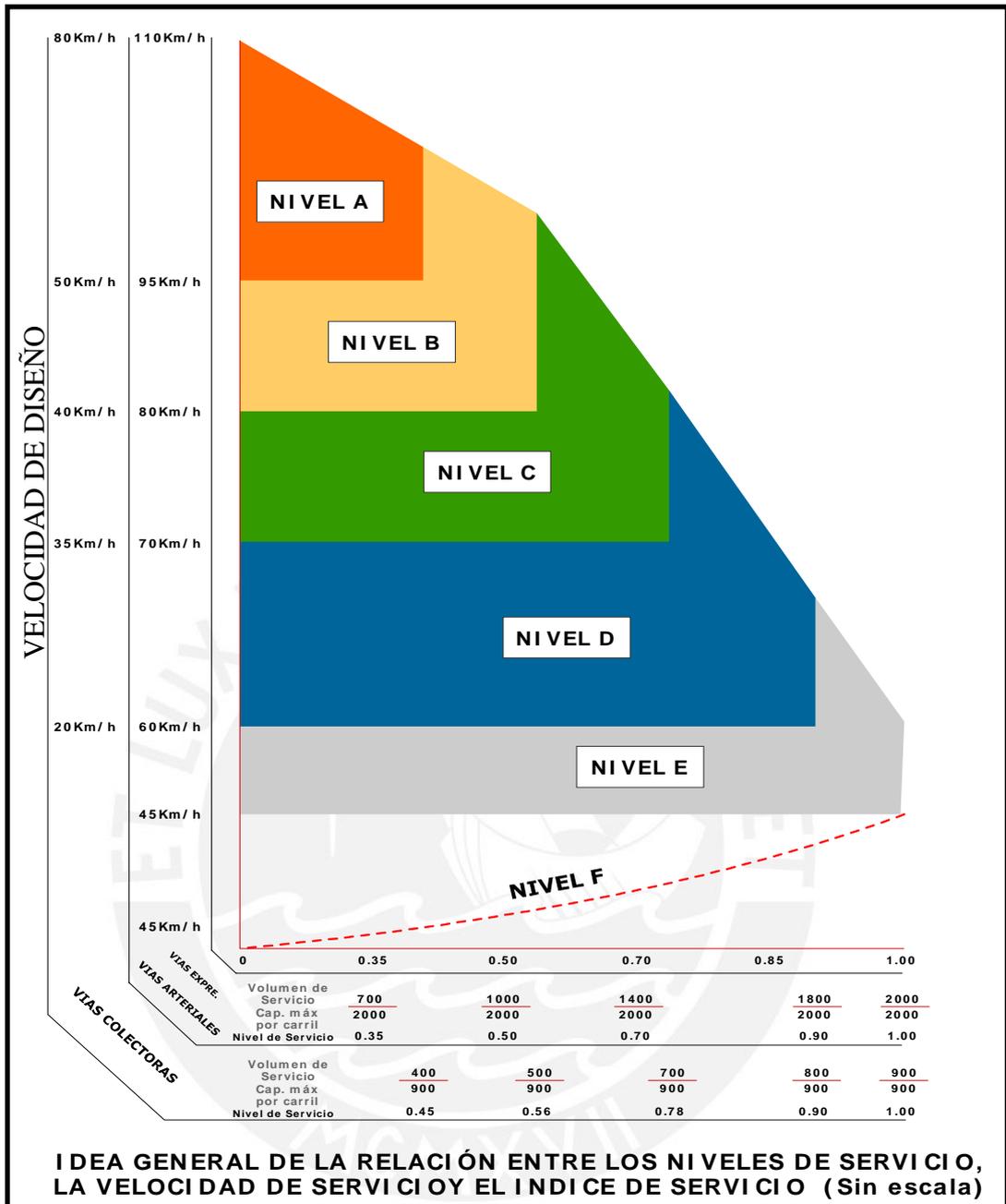
f. Nivel de Servicio F

Este nivel se produce cuando el volumen de vehículos (demanda) supera la capacidad (oferta) brindada por la vía. En este caso, se presentan ondas de parada y arranque, extremadamente inestables. La velocidad de servicio varía de 0 a 45 km/h. Las intensidades dependen de la capacidad del tramo que produce el embotellamiento.

Las medidas de eficiencia para la definición de los niveles de servicio en vías expresas son la densidad (veh.lig./km/carril), la velocidad media de recorrido (km/h) y las tasas de flujo (veh.lig./h).

En una vía expresa se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El tipo de tráfico permitido solo será de vehículos ligeros.
- Los estacionamientos deben ser prohibidos salvo por accidente o avería, siendo usados en esos casos, retiros especiales.
- El tránsito de peatones debe ser prohibido contemplando dispositivos especiales de impedimento de paso, tales como: barandas, muretes, etc.
- No debe contemplarse ningún tipo de intersección a nivel, y los puntos de entrada y salida ocurren a través de ramales que forman trenzado a un lado, con longitud mínima de 300 metros.



IDEA GENERAL DE LA RELACIÓN ENTRE LOS NIVELES DE SERVICIO, LA VELOCIDAD DE SERVICIO Y EL ÍNDICE DE SERVICIO (Sin escala)

Figura 2 - 3: Clasificación de los niveles de servicio
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas

2.2.5 Velocidad de Diseño

2.2.5.1 Definición

El manual DG-2014 especifica que la velocidad directriz o de diseño es la escogida para el diseño, entendiéndose que será la máxima para mantener con seguridad sobre una sección determinada de la vía, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

La selección de la velocidad de diseño es una consecuencia de un análisis técnico-económico de alternativas de trazado, que deberán tener en cuenta la orografía del

territorio. En territorios planos el trazado puede aceptar altas velocidades a bajo costo de construcción; pero en territorios muy accidentados será muy costoso mantener una velocidad alta de diseño, porque habría que realizar obras muy costosas para mantener un trazo seguro.

La velocidad de diseño es muy importante para establecer las características del trazado en planta, elevación y sección transversal de la vía. Se admite una diferencia máxima de veinte kilómetros por hora (20 km/h) entre velocidades directrices de tramos contiguos, y cada tramo debe tener longitud mínima de tres kilómetros (3km) para velocidades entre veinte y cincuenta kilómetros por hora (20 y 50 km/h), y de cuatro kilómetros (4km) para velocidades entre sesenta y ciento veinte kilómetros por hora (60 y 120 km/h).

2.2.5.2 Velocidad de diseño del tramo homogéneo

La velocidad de diseño es definida por el tipo de orografía y la demanda de la vía a diseñar. El rango de velocidades de diseño en el tramo homogéneo se indica en la **Tabla 2-5**.

Tabla 2 - 5: Velocidad de diseño en tramos homogéneos
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

CLASIFICACIÓN	OROGRAFÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO VTR (km/h)										
		30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
AUTOPISTAS DE PRIMERA CLASE	PLANO (TIPO 1)											
	ONDULADO (TIPO 2)											
	ACCIDENTADO (TIPO 3)											
	ESCARPADO (TIPO 4)											
AUTOPISTAS DE SEGUNDA CLASE	PLANO (TIPO 1)											
	ONDULADO (TIPO 2)											
	ACCIDENTADO (TIPO 3)											
	ESCARPADO (TIPO 4)											

2.2.6 Distancia de Visibilidad

2.2.6.1 Definición

La distancia de visibilidad es la longitud continua visible hacia delante de la vía desde la vista del conductor que brinda al usuario del vehículo la posibilidad de ejecutar con seguridad diversas realizar maniobras tales como parar y adelantarse de manera segura.

2.2.6.2 Distancia de visibilidad de parada

La distancia de parada es la mínima longitud que necesita un vehículo, que transcurre con la velocidad de diseño, para que se detenga a fin de evitar la coalición con un objetivo inmóvil que se encuentra en su trayectoria.

La DG-2014 especifica que la distancia de parada sobre una alineación recta de pendiente uniforme se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Dp = \frac{V_o t_{pr}}{3.6} + \frac{V_o^2}{254(f \pm i)}$$

Dónde:

- D_p : Distancia de parada (m)
- V : Velocidad de diseño (km/h)
- t_p : Tiempo de percepción + reacción (s)
- f : Coeficiente de fricción, pavimento húmedo (%).
- i : Pendiente longitudinal (tanto por uno)
- $+i$: Subidas respecto al sentido de circulación
- $-i$: Bajadas respecto al sentido de circulación

El primer término de la fórmula representa a la distancia recorrida durante el tiempo de percepción más acción. Por otro lado, el segundo representa la distancia recorrida durante el frenado hasta la detención. El tiempo de percepción + reacción (s) mínimo adecuado será por lo menos de 2.0 segundos, pero por seguridad se adopta un tiempo de 2.5 segundos.

La **Tabla 2-6** muestra los valores comunes del coeficiente de fricción longitudinal según la velocidad de circulación.

Tabla 2 - 6: Coeficientes de fricción longitudinales
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
f	0.40	0.38	0.35	0.33	0.31	0.30	0.30	0.29	0.28	0.28

2.2.6.3 Distancia de visibilidad de paso o adelantamiento

La distancia de visibilidad de paso o adelantamiento es la mínima longitud que debe poseer el conductor para que sobrepase a otro vehículo, que transcurre por delante con una velocidad menor, de manera segura y cómoda. Este adelantamiento no debe causar alteración en la velocidad de un tercer vehículo que viaja en sentido contrario

y que se hace visible cuando se ha iniciado la maniobra de sobrepaso. Las condiciones de velocidad de los tres vehículos son las siguientes:

- Velocidad del vehículo que desea adelantarse: Velocidad de diseño
- Velocidad del vehículo que será sobrepasado: Velocidad de diseño – 15 km/h
- Velocidad del vehículo en dirección contraria: Velocidad de diseño

Según la DG-2014, la distancia de visibilidad de adelantamiento será determinada por la **Tabla 2-7**.

Tabla 2 - 7: Distancias de visibilidad de paso o adelantamiento
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
Da (m)	200	270	345	410	485	540	615	670	730	775	815

Para las autopistas de primera y segunda clase, la máxima longitud sin visibilidad de paso o adelantamiento en sectores conflictivos es de 1,500 m.

2.3 Diseño Geométrico en Planta, Perfil y Sección Transversal

Los elementos geométricos principales componen una carretera son el alineamiento horizontal (planta), el alineamiento vertical (perfil) y la sección transversal. En el diseño geométrico se debe buscar que estas tres componentes guarden coherencia y relación entre sí, a fin de obtener un tránsito ininterrumpido. Para comenzar con el diseño geométrico, se necesita seleccionar la velocidad de diseño para cada tramo homogéneo en estudio dentro de los criterios técnico – económicos que se encuentre el proyecto. Posteriormente, se debe de guardar una interdependencia entre la geometría de la carretera, el movimiento de los vehículos, la visibilidad y capacidad de reacción del conductor a fin de asegurar que el usuario tenga suficiente tiempo para adecuar su conducción a la geometría de la carretera y a las eventualidades que puedan presentarse. A continuación, se detallará las condiciones que se deben tener en cuenta en el diseño geométrico en Planta, Perfil y Sección Transversal.

2.3.1 Diseño Geométrico en Planta o Alineamiento Horizontal

2.3.1.1 Generalidades

El diseño geométrico en planta, también llamado alineamiento horizontal, está constituido por alineamientos rectos, curvas circulares y de grado de curvatura variable. A continuación, se presentan las consideraciones básicas que se debe tener en el diseño del alineamiento horizontal:

- En general, el radio de las curvas horizontales y la velocidad de diseño son controladas por el relieve del terreno.
- En proyectos de carreteras de calzadas separadas, se considerará la posibilidad de trazar las calzadas a distinto nivel o con ejes diferentes a fin de adecuarse a las características del terreno.
- La definición del trazado en planta se referirá a un eje, que define un punto en cada sección transversal. Para el presente caso, se optará por el centro del separador central.
- Deben evitarse tramos con alineamientos rectos demasiados largos, debido a que son monótonos durante el día, y aumenta el deslumbramiento de las luces del vehículo en sentido opuesto por la noche. Es recomendable reemplazar estos alineamientos por curvas con grandes radios. Para el presente estudio, el trazado deberá ser una combinación de curvas de radios amplios y tangentes no extensas debido a los tramos rectos de larga longitud que posee la Vía Expresa.
- En el caso de ángulos de deflexión Δ pequeños ($\Delta \leq 5^\circ$), los radios deberán ser suficientemente grandes para proporcionar longitud de curva mínimo L obtenida con la fórmula siguiente:

$$L > 30(10 - \Delta), \Delta < 5^\circ$$

(L en metros; Δ en grados)

No se usará nunca ángulos de deflexión menores de 59 minutos.

La longitud mínima de curva (L) será igual a seis veces la velocidad de diseño (6V) para Autopistas de primer y segunda clase.

2.3.1.2 Tramos en Tangente

Según la norma DG-2014, las longitudes mínimas admisibles y máximas deseables de los tramos en tangente, en función de la velocidad de diseño, serán las indicadas en la **Tabla 2-8**.

Tabla 2 - 8: Longitudes de tramos en tangente

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)	L máx (m)
60	83	167	1002
70	97	194	1169
80	111	222	1336
100	139	278	1670
110	153	306	1837
120	167	333	2004

Dónde:

- $L_{\text{mín.s}}$: Longitud mínima (m) para trazados en “S” (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura de sentido contrario).
- $L_{\text{mín.o}}$: Longitud mínima (m) para el resto de casos (alineamiento recto entre alineamientos con radios de curvatura del mismo sentido).
- $L_{\text{máx}}$: Longitud máxima deseable (m).
- V : Velocidad de diseño (km/h).

Las longitudes de tramos en tangente presentada en la **Tabla 2-8**, están calculadas con las siguientes fórmulas:

$$\begin{aligned}L_{\text{mín.s}} &: 1.39V \\L_{\text{mín.o}} &: 2.78V \\L_{\text{máx}} &: 16.70V\end{aligned}$$

Por otro lado, el manual de vías urbanas, sugiere rectas con longitud mínima de 100 a 200 m, por razones de confort y seguridad. Si no es posible el diseño con estas longitudes mínimas, el manual propone que se adopten las mostradas en la **Tabla 2-9** para las vías expresas.

Tabla 2 - 9: Longitudes de tramos en tangente
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas

V (km/h)	L mín.s (m)	L mín.o (m)
50	50	35
60	60	45
80	80	60

2.3.1.3 Curvas circulares

Las curvas horizontales circulares simples son arcos de circunferencia de un solo radio que unen dos tangentes consecutivas, conformando la proyección horizontal de las curvas reales o espaciales. Los elementos de la Curva Circular, se ilustran en la **Figura 2-4**.

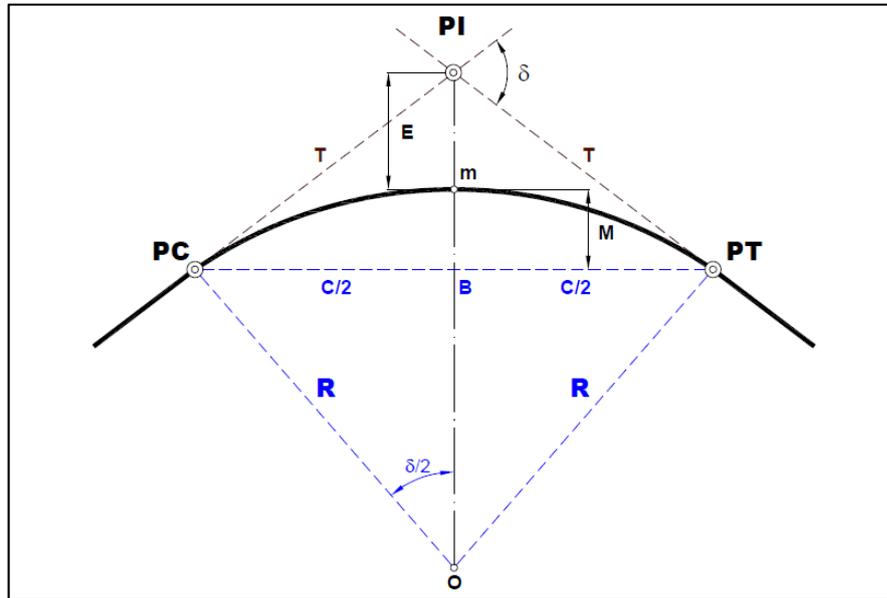


Figura 2 - 4: Curva Circular

Fuente: Guía de Autocad Civil 3D –
Laboratorio de Ingeniería de Carreteras PUCP (2013)

Dónde,

- PC : Punto de inicio de la curva (tangente – curva).
- PI : Punto de intersección de las tangentes.
- PT : Punto de término de la curva (curva – tangente).
- O : Centro de la curva circular.
- δ : Ángulo de deflexión de las tangentes, es igual al ángulo central subtendido por el Arco PCoPT.
- R : Radio de la curva circular simple.
- T : Tangente; es la distancia desde el PI al PC o desde el PI al PT.
- C : Cuerda; es la distancia entre dos puntos pertenecientes a la curva circular.
- E : Externa; es la distancia desde el PI al punto medio de la curva (m).
- M : Ordenada media; es la distancia desde el punto medio de la curva (m) al punto medio de la cuerda PCoPT

a) Radios mínimos

Los radios mínimos de curvatura horizontal son aquellos que pueden recorrerse con la velocidad de diseño y la tasa máxima de peralte, en condiciones aceptables de seguridad y comodidad, para cuyo cálculo puede utilizarse la siguiente fórmula:

$$R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127(P_{\text{máx}} + f_{\text{máx}})}$$

Dónde:

- $R_{\text{mín}}$: Radio mínimo (m).
- V : Velocidad de diseño (km/h).

- $P_{\text{máx}}$: Peralte máximo asociado a V (%).
- $f_{\text{máx}}$: Coeficiente de fricción transversal máximo asociado a V (%).

El coeficiente máximo de fricción transversal asumido para las vías rápidas urbanas se definirá con fórmulas obtenidas del gráfico 3-4 del manual AASHTO-2011. Las formulas a emplear se muestran a continuación:

- Para $30 \text{ km/h} \leq V_d \leq 80 \text{ km/h}$

$$f_{\text{máx}} = 0.188 - 0.0006V$$

- Para $80 \text{ km/h} < V_d \leq 130 \text{ km/h}$

$$f_{\text{máx}} = 0.236 - 0.0012V$$

Debido a que la vía es categorizada como Vía Expresa, el peralte máximo absoluto en coherencia a lo indicado en la DG-2014 y la DGVU-2015 será 6%.

Con las consideraciones antes mencionadas para zonas urbanas, el resultado de la aplicación de la fórmula para obtener el radio mínimo se aprecia en la **Tabla 2-10**.

Tabla 2 - 10: Radios mínimos para áreas urbanas

Fuente: Elaboración propia

TIPO DE VÍA	VELOCIDAD DE DISEÑO	$P_{\text{máx}}$ (%)	$f_{\text{máx}}$	Radio Calculado (m)	Radio Redondeado (m)
VÍA EXPRESA	30	6.00	0.17	30.8	35
	40	6.00	0.16	56.2	60
	50	6.00	0.16	90.3	95
	60	6.00	0.15	133.7	135
	70	6.00	0.15	187.3	190
	80	6.00	0.14	252.0	255
	90	6.00	0.13	339.3	340
	100	6.00	0.12	447.4	450
	110	6.00	0.10	580.9	585
	120	6.00	0.09	746.0	750
	130	6.00	0.08	950.5	955

b) Relación del peralte, radio y velocidad específica de diseño

La **Figura 2-5**, permite obtener el peralte y el radio, para una curva que se desea proyectar a partir de una velocidad de diseño y el peralte máximo a usar.

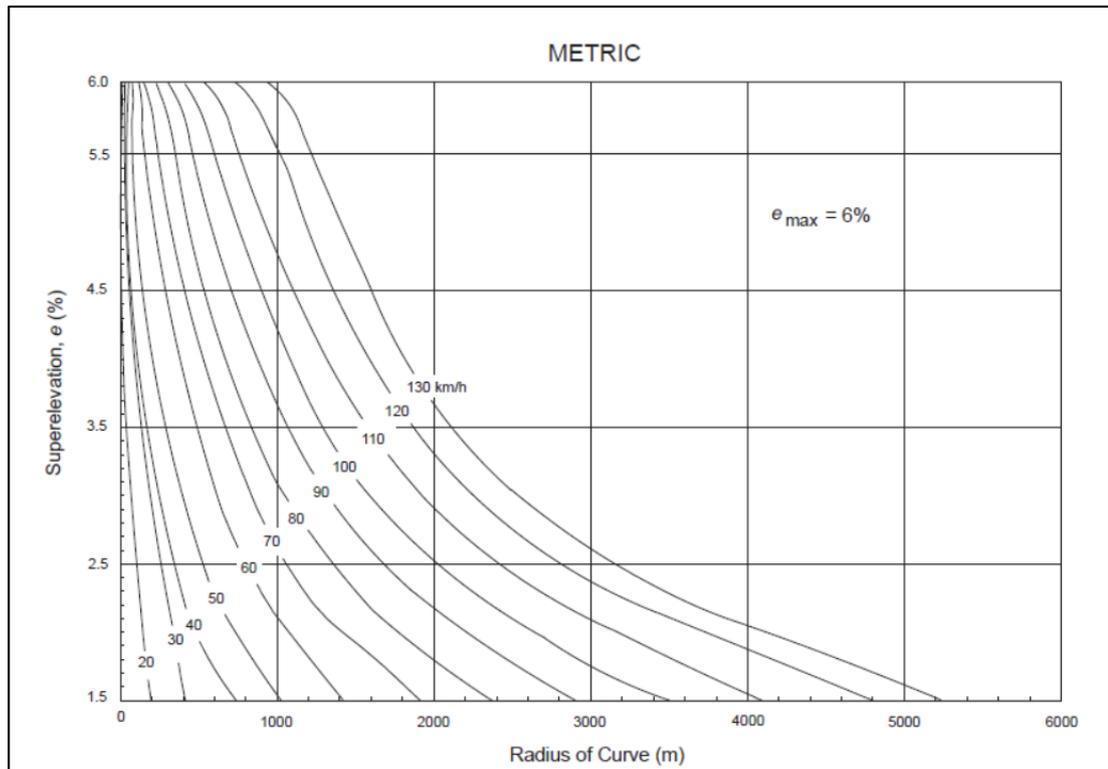


Figura 2 - 5: Relación del peralte, radio y velocidad de diseño
Fuente: Geometric Design Highways and Streets –AASHTO-2011 (Figure 3-10)

c) Curvas en contraperalte

Sobre ciertos valores del radio, es posible mantener el bombeo normal de la vía, resultando una curva que presenta, en uno o en todos sus carriles, un contraperalte en relación al sentido de giro de la curva. Sin embargo, esto no es recomendable en vías expresas debido a la gran distribución de velocidades que se pueden tener sobre estas.

d) Coordinación entre curvas circulares

Cuando se enlacen curvas circulares consecutivas sin tangente intermedia, así como mediante tangente de longitud menor o igual a 200 m, la relación de radios de las curvas circulares no sobrepasará los valores mostrados en la **Tabla 2-11** para Autopistas y carreteras de Primera Clase.

Tabla 2 - 11: Coordinación entre curvas circulares
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Radio Entrada (m)	Radio Salida (m)		Radio Entrada (m)	Radio Salida (m)		Radio Entrada (m)	Radio Salida (m)	
	Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo		Máximo	Mínimo
250	375	250	560	1015	369	1120	> 1720	588
260	390	250	570	1051	375	1140	> 1720	593
270	405	250	580	1089	381	1160	> 1720	598
280	420	250	590	1128	386	1180	> 1720	602
290	435	250	600	1170	392	1200	> 1720	607
300	450	250	610	1214	398	1220	> 1720	611

310	466	250	620	1260	403	1240	> 1720	616
320	481	250	640	1359	414	1260	> 1720	620
330	497	250	660	1468	424	1280	> 1720	624
340	513	250	680	1588	434	1300	> 1720	628
350	529	250	700	1720	444	1320	> 1720	632
360	545	250	720	> 1720	453	1340	> 1720	636
370	562	250	740	> 1720	462	1360	> 1720	640
380	579	253	760	> 1720	471	1380	> 1720	644
390	596	260	780	> 1720	479	1400	> 1720	648
400	614	267	800	> 1720	488	1420	> 1720	651
410	633	273	820	> 1720	495	1440	> 1720	655
420	652	280	840	> 1720	503	1460	> 1720	659
430	671	287	860	> 1720	510	1480	> 1720	662
440	692	293	880	> 1720	517	1500	> 1720	666
450	713	300	900	> 1720	524	1520	> 1720	669
460	735	306	920	> 1720	531	1540	> 1720	672
470	758	313	940	> 1720	537	1560	> 1720	676
480	781	319	960	> 1720	544	1580	> 1720	679
490	806	326	980	> 1720	550	1600	> 1720	682
500	832	332	1000	> 1720	558	1620	> 1720	685
510	859	338	1020	> 1720	561	1640	> 1720	688
520	887	345	1040	> 1720	567	1660	> 1720	691
530	917	351	1060	> 1720	572	1680	> 1720	694
540	948	357	1080	> 1720	578	1700	> 1720	697
550	981	363	1100	> 1720	583	1720	> 1720	700

2.3.1.4 Curvas de transición

a) Generalidades

Las curvas de transición son secciones de espirales que tienen por finalidad suavizar el cambio brusco que se presenta en la transición del alineamiento recto a la curva circular o viceversa dentro del alineamiento horizontal. Esta deberá brindar al conductor condiciones de seguridad, comodidad y estética en la vía.

A fin de suavizar la transición del bombeo, propio del alineamiento horizontal, al peralte y sobreechancho, propio de la curva circular, es necesario generar un elemento que posea la longitud suficiente para realizar dicha transición de manera gradual, el cual se le conoce como longitud de transición.

b) Tipo de curva de transición

En la mayoría de casos se optará por la **Clotoide** o **Espiral de Euler** como curva de transición, cuyas ventajas son las siguientes:

- El crecimiento lineal de su curvatura permite una marcha uniforme y cómoda para el usuario manteniendo velocidad constante y sin abandonar su carril ante variaciones de la fuerza centrífuga.

- La aceleración transversal no compensada, propia de una trayectoria en curva, puede controlarse graduando su incremento a una magnitud que no produzca molestia a los ocupantes del vehículo.
- El desarrollo del peralte se logra en forma también progresiva, consiguiendo que la pendiente transversal de la calzada aumente en la medida que aumenta la curvatura.
- La flexibilidad de la clotoide permite acomodarse al terreno sin romper la continuidad, mejorando la armonía y apariencia de la carretera.

La ecuación de la clotoide (Euler) está dada por:

$$RL = A^2$$

Dónde:

- R : Radio de curvatura en un punto cualquiera (m).
- L : Longitud de la curva entre su punto de inflexión ($R=\infty$) y el punto de radio R (m).
- A : Parámetro de la clotoide, característico de la misma (m).

c) Elementos y características de la curva de transición tipo Clotoide

Los elementos y las características generales de la curva de transición tipo clotoide se ilustra en la **Figura 2-6**.

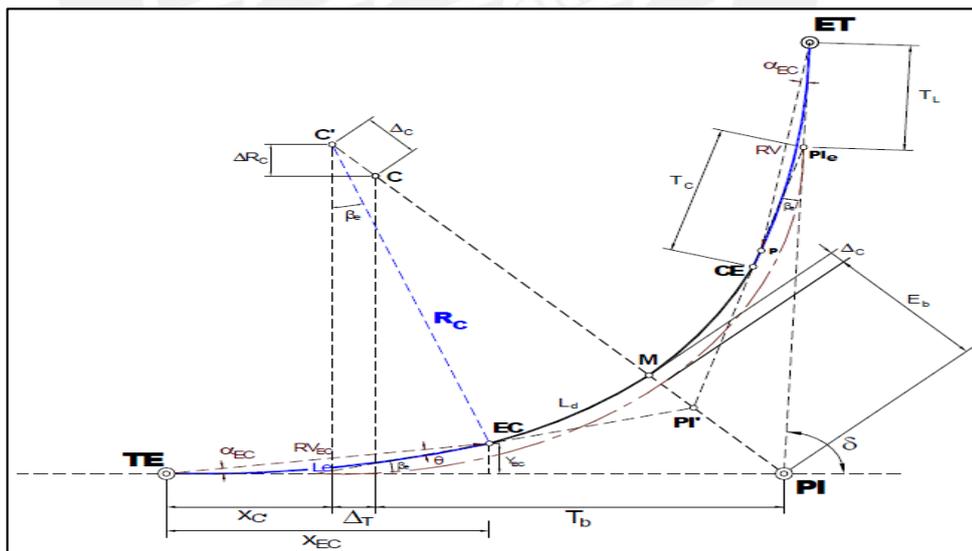


Figura 2 - 6: Curva clotoide-circular-clotoide

Fuente: Guía de Autocad Civil 3D – Laboratorio de Ingeniería de Carreteras PUCP (2013)

Dónde,

- PI : Punto de intersección de las tangentes principales.
- PI' : Punto de intersección de las tangentes a la curva circular desplazada.
- TE : Punto donde termina la tangente de entrada y empieza la espiral de entrada.

- EC : Punto donde termina la espiral de entrada y empieza la curva circular.
- CE : Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral de salida.
- ET : Punto donde termina la espiral de salida y empieza la tangente de salida.
- δ : Angulo de deflexión entre las tangentes principales.
- RC : Radio de la curva circular.
- R : Radio de curvatura de la espiral en el punto P.
- Lc : Longitud total de la espiral, desde el TE al EC o desde el CE al ET.

d) Determinación de la longitud de curva de transición

Existen distintos métodos y limitaciones relacionados a la longitud de curva de transición, los cuales se encuentran asociados a distintos conceptos. A continuación, se resume lo explicado en la norma:

i. Determinación de la longitud de la curva de transición

La norma DG-2014, propone que el valor mínimo de longitud de curva se determine con la siguiente fórmula:

$$L_{\min} = \frac{V}{46.656 J} \left[\frac{V^2}{R} - 1.27p \right]$$

Dónde:

- V : Velocidad de diseño (km/h).
- R : Radio de curvatura (m).
- J : Variación uniforme de la aceleración (m/s³).
- p : Peralte correspondiente a V y R (%).

Esta fórmula corresponde al cálculo de una clotoide que cumpla la función de distribuir la aceleración transversal no compensada, a una tasa "J" compatible con la seguridad y comodidad requerida. Se adoptarán para "J" los valores indicados en la

Tabla 2-12.

Tabla 2 - 12: Variación uniforme de aceleración normal y máxima

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

lo	V < 80	80 < V < 100	100 < V < 120	V > 120
J (m/s ³)	0.5	0.4	0.4	0.4
Jmáx (m/s ³)	0.7	0.8	0.5	0.4

Sólo se utilizarán los valores de "Jmáx" en casos debidamente justificados.

Por otro lado, el Manual de Vías Urbanas aplica la siguiente fórmula:

$$L_{\min} = \frac{V^3}{R(da/dt)}$$

Dónde:

- V : Velocidad de diseño (km/h).
- R : Radio de curvatura (m).
- da/dt : Variación de aceleración no compensada en la unidad de tiempo. El valor aconsejado es 0.5m/seg³, el que se puede variar desde 0.3 m/seg³ y hasta excepcionalmente a 0.6 m/seg³.

ii. Limitación de la variación de la aceleración centrífuga en el plano horizontal

Para que la curva de transición asegure la correcta distribución de la aceleración transversal no compensada por el peralte a una tasa uniforme “J”, se debe cumplir lo siguiente:

$$R = \frac{V^2}{12.96g(p_{\text{máx}} + f_{\text{mín}})}$$

iii. Limitación de la variación por estética y guiado óptico

Para que la curva de transición resulte fácilmente perceptible por el conductor, esta deberá cumplir la siguiente condición:

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

La condición $A \geq R/3$, asegura la percepción del conductor de la existencia de la curva de transición. Por otro lado, la condición $A \leq R$ asegura una apropiada percepción de la curva circular.

iv. Condición de desarrollo de peralte

Para curvas circulares diseñadas de acuerdo al criterio de las normas, el límite para prescindir de la curva de transición puede también expresarse en función del peralte de la curva:

- Si R requiere $p > 3\%$. Se debe usar curva de transición.
- Si R requiere $p < 3\%$. Se puede prescindir de la curva de transición para $V < 100$ km/h.
- Si R requiere $p < 2.5\%$. Se puede prescindir de la curva de transición para $V \geq 110$ km/h.

Para efectos de la presente norma, la máxima inclinación de cualquier borde de la calzada respecto al eje de la vía se calcula con la siguiente fórmula:

$$ip_{\text{máx}} = 1.8 - 0.01V$$

Dónde:

- $i_{p_{m\acute{a}x}}$: Máxima inclinación de cualquier borde de la calzada respecto al eje de la vía (%).
- V : Velocidad de diseño (km/h).

La longitud del tramo de transición del peralte tendrá por tanto una longitud mínima definida por la fórmula:

$$L_{m\acute{i}n} = \frac{p_f - p_i}{i_{p_{m\acute{a}x}}} B$$

Dónde:

- $L_{m\acute{i}n}$: 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).

v. Valores límites

La longitud máxima de cada curva de transición, no será superior a 1.5 veces su longitud mínima obtenida por fórmulas. En ningún caso se optará por una longitud de transición menor a 30 m.

e) Radios que permiten prescindir de la curva de transición

Los radios circulares límite calculados, aceptando un $J_{m\acute{a}x}$ de 0.4 m/s^3 y considerando que al punto inicial de la curva circular se habrá desarrollado sólo un 70% de peralte necesario, son los que se muestran en la **Tabla 2-13**.

Tabla 2 - 13: Radios que permiten prescindir de la curva de transición

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

V(km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130
R (m)	80	150	225	325	450	600	750	900	1200	1500	1800

2.3.1.5 Sobreechancho

El sobreechancho es aquel ancho complementario (holguras) que se otorga a los tramos de curva para compensar el espacio adicional requerido por los vehículos debido a la dificultad en mantener el vehículo dentro del carril en tramos curvos. El sobreechancho se distribuye en el lado interno de la curva. A continuación, se presenta las condiciones más relevantes en la norma:

- Los valores calculados son redondeados a múltiplos de 0.10 metros.
- El valor mínimo de sobreebanco es 0.40 m.
- Normalmente la longitud para desarrollar el sobreebanco será de 40 m.
- Si la curva de transición es mayor o igual a 40 m, el inicio de la transición se ubicará 40 m, antes del principio de la curva circular.
- Si la curva de transición es menor a 40 m, el desarrollo del sobreebanco se ejecutará en la longitud de la curva de transición disponible.

El sobreebanco se calculará con la siguiente fórmula:

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

Dónde:

- S_a : Sobreebanco (m).
- N : Número de carriles.
- R : Radio (m).
- L : Distancia entre eje posterior y parte frontal (m).
- V : Velocidad de diseño (km/h).

El primer término de la fórmula depende de la geometría y el segundo de consideraciones empíricas.

El valor del sobreebanco, estará limitado para curvas de radio menor a lo indicado en la **Tabla 2-14** (asociado a $V \leq 80$ km/h) y se debe aplicar solamente en el borde interior de la calzada. Para radios mayores, asociados a velocidades mayores de 80 km/h, el valor del sobreebanco será calculado para cada caso.

Tabla 2 - 14: Factor de reducción para Sobreebanchos
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Radio (R) (m)	Factor de Reducción	Radio (R) (m)	Factor de Reducción
25	0.86	90	0.6
28	0.84	100	0.59
30	0.83	120	0.54
35	0.81	130	0.52
37	0.8	150	0.47
40	0.79	200	0.38
45	0.77	250	0.27
50	0.75	300	0.18
55	0.72	350	0.12
60	0.7	400	0.07
70	0.69	450	0.08
80	0.63	500	0.05

2.3.1.6 Banquetas de visibilidad

En las curvas horizontales deberán asegurarse la visibilidad a la distancia mínima de parada, de acuerdo a lo indicado en la norma. El control de este requisito y la determinación del ancho máximo ($a_{\text{máx}}$) de la banqueteta de visibilidad, se definirá luego de verificar si una curva provee o no la distancia de visibilidad requerida, de acuerdo con la **Figura 2-7**.

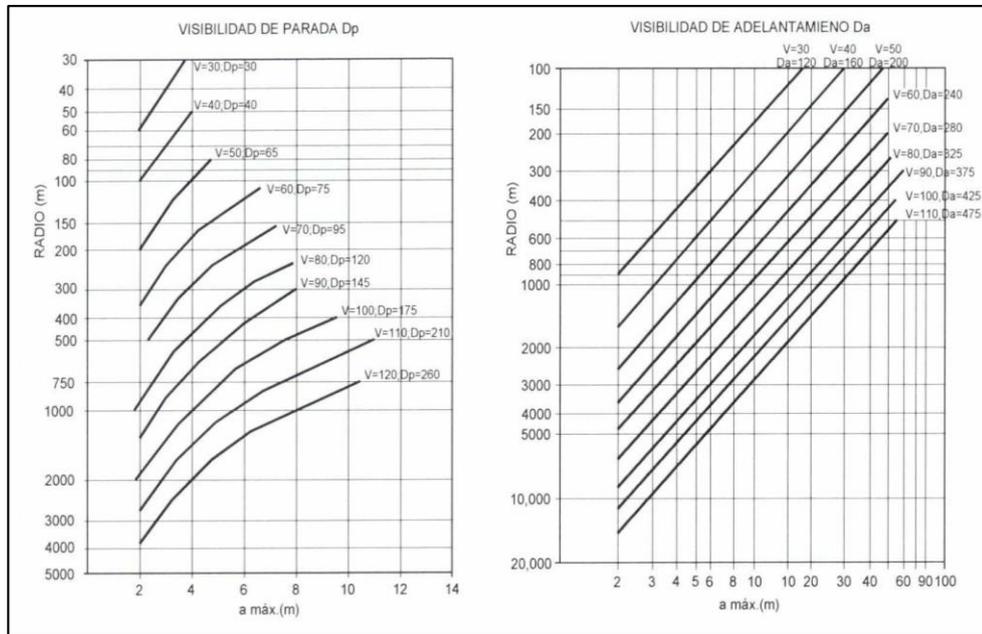


Figura 2 - 7: Banquetas de visibilidad

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Si la verificación indica que no se tiene la visibilidad requerida y no es posible o económico aumentar el radio de la curva, se recurrirá al procedimiento de la **Figura 2-8**.

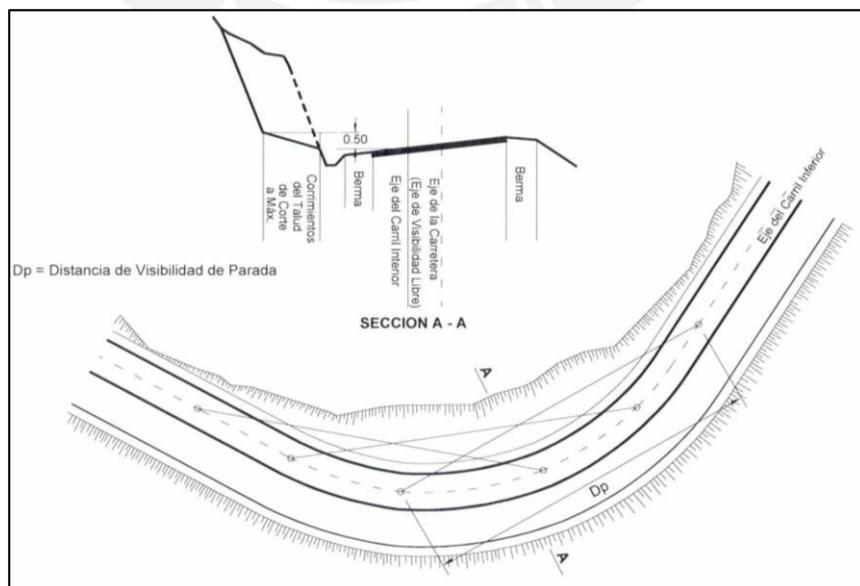


Figura 2 - 8: Procedimiento alternativo a las banquetetas de visibilidad

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

2.3.1.7 Islas

Las islas son aquellos espacios canalizados de tráfico que sirven para guiar el movimiento de los vehículos o de refugio para los peatones. Estas pueden ser delimitadas por sardineles o barreras.

2.3.1.8 Canalización

La canalización sirve para separar los movimientos de tráfico dispersos y segregarlos en recorridos de circulación definida. Esto se logra a partir de dispositivos de aislamiento tales como sardineles, islas, marcas en el pavimento, señales, etc. La canalización dentro de la vía en estudio se presenta para el Corredor Segregado de Alta Capacidad (COSAC), también conocido como Metropolitano.

2.3.2 Diseño Geométrico en Perfil o Alineamiento Vertical

2.3.2.1 Generalidades

El diseño geométrico en perfil o alineamiento vertical está constituido por una serie de rectas (tangentes) conectadas por curvas parabólicas verticales. En el desarrollo del diseño se conoce como pendientes positivas a aquellas que implican un aumento de cotas y negativas las que producen una disminución de cotas. En general, la topografía del terreno es el elemento que determina el tipo de curvas verticales, las cuales pueden ser cóncavas o convexas.

El diseño del alineamiento vertical para una vía pavimentada se plantea a partir del **“perfil longitudinal”** de la vía. Esta describe la altimetría que posee la ruta a lo largo del alineamiento horizontal planteado. Posteriormente, se define la línea perfil llamada **“subrasante”**, la cual será la línea guía para el corte o relleno (movimiento de tierras) que se proponga en la vía. Sobre la línea de subrasante se construirá la estructura del pavimento; es decir, esta servirá como cimiento del pavimento por lo cual necesita ser debidamente tratada para soportar el peso propio de la estructura y la carga que actúa sobre esta. Finalmente, se genera la línea de **“rasante”** que define el nivel altitudinal de la superficie de rodadura. Generalmente, el pavimento está constituido por tres elementos o capas, las cuales son descritas y definidas en la **Tabla 2-15** e ilustradas en la **Figura 2-9**. La definición del rango de profundidades se realizó para un tipo de vía urbana común.

Tabla 2 - 15: Capas del Pavimento
Fuente: Elaboración propia

Capa	Características	Rangos de Profundidad (cm)	
		Pavimento Flexible	Pavimento Rígido
Carpeta de Rodadura o Pavimento	Pueden ser de dos tipos: *Pavimento flexible (concreto asfáltico) *Pavimento rígido (losa de concreto hidráulico)	4-15	20-32
Base	Capa de elemento granular de buena gradación (GW).	5-30	NO NECESITA BASE
Subbase	Capa de elemento granular compactada entre el 95% y 100% de su máxima densidad seca determinado por el ensayo de compactación PROCTOR.	15-30	NO ES IMPRESCINDIBLE EL USO DE SUBBASE

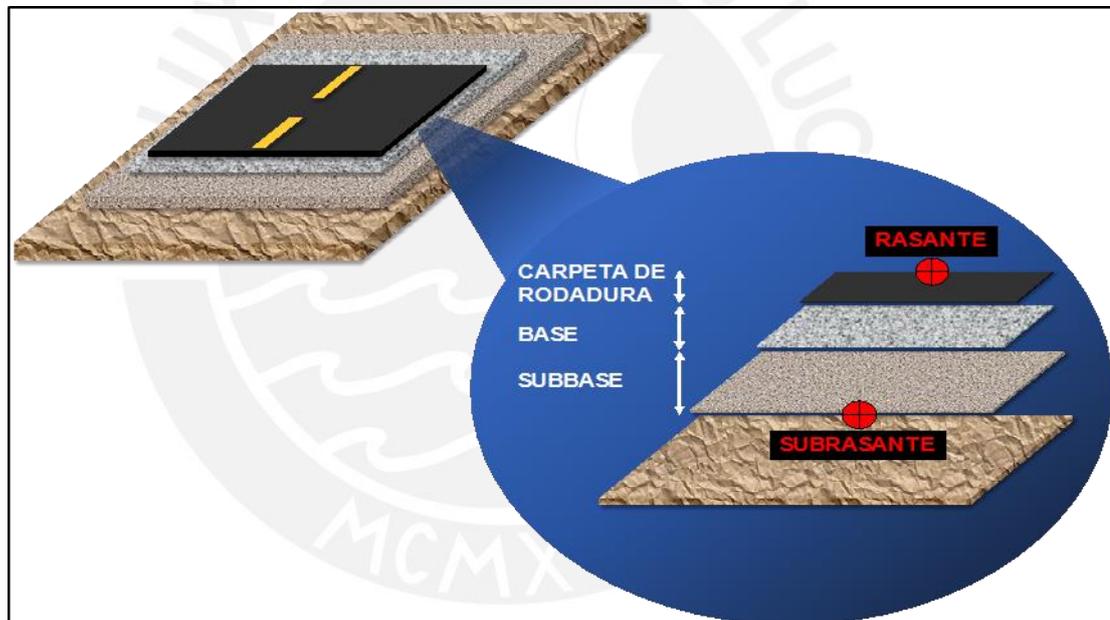


Figura 2 - 9: Capas del pavimento
Fuente: Elaboración propia

2.3.2.2 Consideraciones de diseño

A continuación se presentan las principales consideraciones para el diseño de la vía:

- La rasante debe estar sobre el nivel del terreno cuando éste sea plano (condición de drenaje).
- La rasante debe ser compuesta por pendientes prudentes a la categoría y topografía del terreno. Estas deben tener variaciones graduales.

- La pendiente máxima y longitud crítica que posean las tangentes verticales deben ser coherentes con la calidad y apariencia de la vía.
- Se debe evitar el caso de dos curvas verticales continuas del mismo sentido unidas por una alineación corta (caso “lomo quebrado”), a fin de que se generen sectores con visibilidad restringida (curvas cóncavas) y que la visibilidad del conjunto resulta antiestética y se crean falsas apreciaciones de distancia y curvatura.
- Se debe evaluar colocar carriles para tránsito lento cuando las pendientes superen la longitud crítica.
- Se recomienda diseñar carriles de emergencia que permitan maniobras de frenado en pendientes de bajada largas y pronunciadas.

2.3.2.3 Pendiente

a) Consideraciones Generales

Las pendientes se encuentran presentes en las tangentes verticales y se expresan mediante porcentajes. La pendiente de una tangente se puede obtener de la siguiente fórmula:

$$p = \frac{d(\text{cota})}{d(\text{longitudinal})} \times 100$$

Dónde:

- p : pendiente en porcentaje (%).
- d (cota) : diferencia entre cotas (m).
- d (longitudinal) : diferencia entre longitudes horizontales (m).

b) Pendiente mínima

Es conveniente optar por una pendiente mínima general de 0.5%, a fin de asegurar el drenaje de aguas superficiales a lo largo de la vía. Sin embargo, se puede presentar casos particulares como los que se muestran en la norma DG-2014:

- Si la calzada posee un bombeo de 2% y no existen bermas y/o cunetas, se podrá adoptar excepcionalmente sectores con pendientes de hasta 0.2%.
- Si el bombeo es de 2.5%, excepcionalmente podrá adoptarse pendientes iguales a cero.
- Si existen bermas, la pendiente mínima deseable será de 0.5% y la mínima excepcional de 0.35%.
- En zonas de transición de peralte, en que la pendiente transversal se anula, la pendiente mínima deberá ser de 0.5%.

c) Pendiente máxima

De acuerdo a la norma DG-2014, es conveniente considerar las pendientes máximas que están indicadas en la **Tabla 2-16** para autopistas, no obstante, para el caso de autopistas las pendientes de bajada podrán superar hasta en 2% los máximos establecidos en dicha tabla.

Por otro lado, en la Norma de Vías Urbanas se indica que para vías expresas la pendiente máxima será de 3% para terreno del tipo 1, y 4% para terreno del tipo 2 y 3.

Tabla 2 - 16: Pendientes máximas
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Demanda		Autopistas							
Vehículos/día		> 6,000				6,000 - 4,001			
Características		Primera clase				Segunda clase			
Tipo de orografía		1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño:	30 km/h								
	40 km/h								
	50 km/h								
	60 km/h					6.00	6.00	7.00	7.00
	70 km/h			5.00	5.00	6.00	6.00	6.00	7.00
	80 km/h	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	6.00	6.00
	90 km/h	4.50	4.50	5.00		5.00	5.00	6.00	
	100 km/h	4.50	4.50	4.50		5.00	5.00	6.00	
	110 km/h	4.00	4.00			4.00			
	120 km/h	4.00	4.00			4.00			
130 km/h	3.50								

2.3.2.4 Curvas verticales

a) Generalidades

Dentro de la zona urbana, las vías a proyectarse poseen la restricción de poder elegir la mejor ruta mediante un estudio de perfiles ya que generalmente la vía ya posee una faja de dominio predeterminada. Caso contrario sucede en el diseño de las carreteras, en las cuales se puede proponer diversas trayectorias y optar por la más adecuada.

Los tramos consecutivos de rasante, serán enlazados con curvas verticales parabólicas,

Según la Norma de Vías Urbanas, se presentan dos condiciones que obligan al uso de curvas verticales:

- Caso 1: Si la diferencia algebraica de las pendientes de los tramos consecutivos de rasante es mayor al 1%, para velocidades menores a 50 km/h.
- Caso 2: Si la diferencia algebraica de las pendientes de los tramos consecutivos de rasante es mayor al 0.5%, para velocidades mayores a 50 km/h.

Las curvas verticales se rigen a la fórmula cuadrática de la parábola ($y=kx^2$). El valor del parámetro de curvatura K, que equivale a la longitud de la curva en el plano horizontal, en metros, para cada 1% de variación en la pendiente. El valor K se puede obtener por la siguiente fórmula:

$$K = \frac{L}{A}$$

Dónde:

- K : Parámetro de curvatura.
- L : Longitud de la curva vertical (m).
- A : Valor absoluto de la diferencia algebraica de las pendientes (%)

b) Elementos y características de curvas verticales

Los elementos y las características generales de las curvas verticales se ilustran en la **Figura 2-10**.

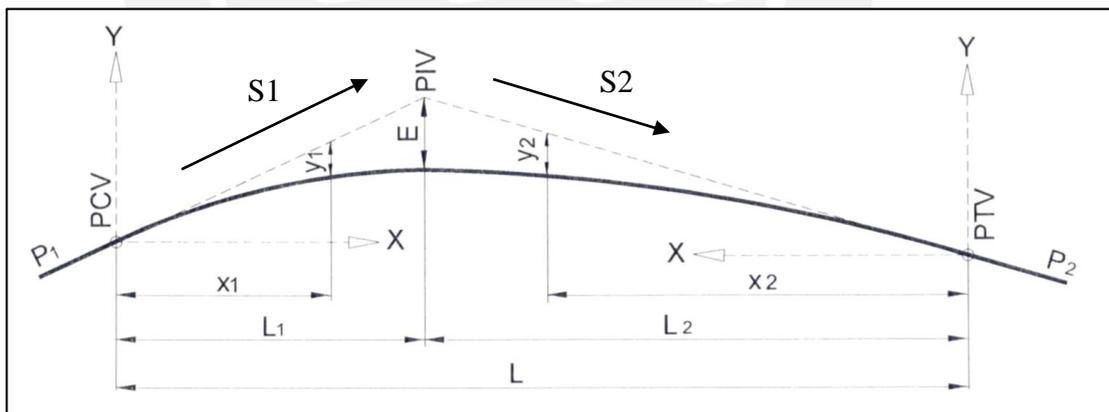


Figura 2 - 10: Curvas convexas y cóncavas

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Dónde,

- PCV : Principio de la curva vertical
- PIV : Punto de intersección de las tangentes verticales.
- PTV : Término de la curva vertical.
- L : Longitud de curva vertical.
- S1 : Pendiente de la tangente de entrada, en porcentaje (%)
- S2 : Pendiente de la tangente de salida, en porcentaje (%)
- A : Diferencia algebraica de pendientes ($A=|S1-S2|$)

c) Tipos de curvas verticales

Las curvas verticales se pueden clasificar por su forma o por la proporción entre sus ramas que las forman. La clasificación por su forma está diferenciada por curvas convexas y cóncavas. Por otro lado, la clasificación por proporción entre sus ramas se basa en curvas simétricas y asimétricas. La **Figura 2-11** muestra las curvas convexas y cóncavas, y la **Figura 2-12** ilustra las curvas simétricas y asimétricas.

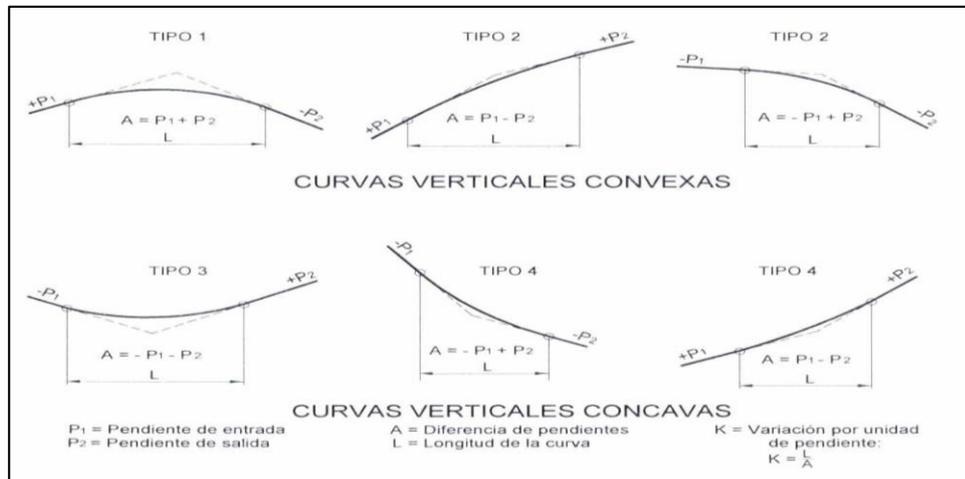


Figura 2 - 11: Curvas convexas y cóncavas

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

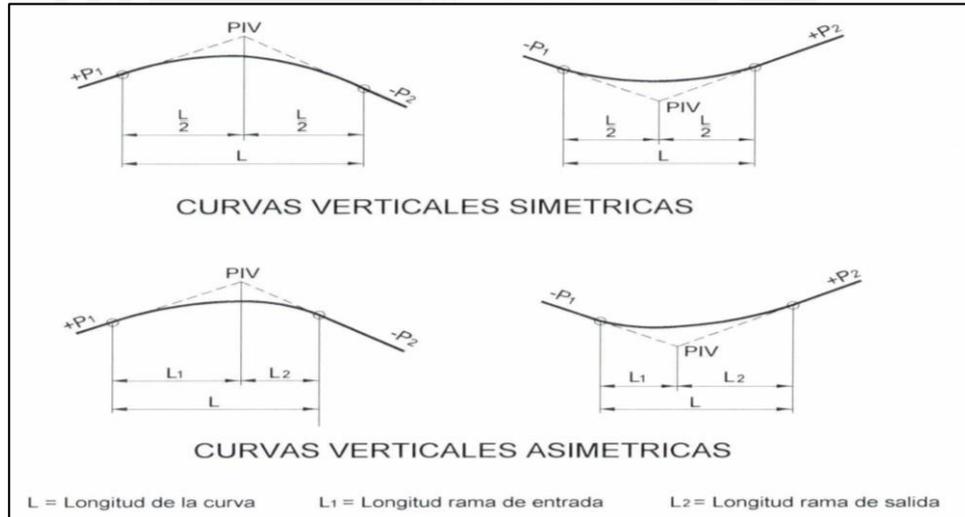


Figura 2 - 12: Curvas simétricas y asimétricas

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

La curva vertical simétrica se conforma por dos parábolas de igual longitud ($L/2$, $L/2$), que se unen en la proyección vertical del PIV. Por otro lado, La curva vertical asimétrica se conforma por dos parábolas de diferente longitud (L_1 , L_2), que se unen en la proyección vertical del PIV.

En el proyecto de curvas verticales, es necesario tomar en consideración los siguientes criterios:

- Es necesario que la variación de pendiente sea gradual debido a los efectos dinámicos que se presentan.
- Generalmente se utilizan las curvas verticales simétricas.
- Se utilizará curvas verticales asimétricas si las condiciones impuestas por el alineamiento así lo exigen.
- El criterio de comodidad y seguridad se aplica mayormente al diseñar curvas verticales cóncavas, en dónde la fuerza centrífuga que aparece en el vehículo al cambiar de dirección se suma al peso propio del mismo.
- El criterio de operación, se aplica al diseño de curvas verticales con visibilidad completa a fin de evitar la impresión de un cambio brusco de pendiente.
- El criterio de drenaje, se aplica al diseño de curvas cóncavas y convexas en zonas de corte, lo cual conlleva a modificar las pendientes longitudinales de las cunetas.
- El criterio de seguridad, se aplica en las curvas cóncavas y convexas a fin de garantizar que la longitud de curva tenga una distancia de visibilidad mayor o igual a la de parada. En los casos de desear satisfacer un nivel de servicio adecuado, se obliga a diseñar curvas verticales con la distancia de visibilidad de paso.

d) Longitud mínima de las curvas verticales convexas

Las fórmulas para obtener la longitud mínima de curvas verticales convexas, se basan en dos valores:

- h_1 : Altura del ojo sobre la rasante (m).
- h_2 : Altura del objeto sobre la rasante (m).

En el caso más común de la distancia de parada, los valores de h_1 y h_2 , son 1.07 m y 0.15 m, correspondientemente. Por otro lado, en el caso más común de la distancia de adelantamiento o paso, los valores de h_1 y h_2 , son 1.07 m y 1.30 m, correspondientemente. Con estos valores, las fórmulas se reducen a las mostradas en la **Tabla 2-17**.

Dónde:

- L : Longitud mínima de curva (m).
- D_p : Distancia de visibilidad de parada (m).
- D_a : Distancia de visibilidad de adelantamiento o paso (m).
- A : Diferencia algebraica de pendientes (%).

Tabla 2 - 17: Longitud mínima de curvas convexas
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

		Distancia de parada	Distancia de adelantamiento o paso
h1		1.07	1.07
h2		0.15	1.30
FÓRMULA GENERAL	Cuando $D < L$; $L = \frac{A D_p^2}{100(\sqrt{2h_1} + \sqrt{2h_2})^2}$	Cuando $D_p < L$; $L = \frac{A D_p^2}{404}$	Cuando $D_a < L$; $L = \frac{A D_a^2}{946}$
	Cuando $D \geq L$; $L = 2D_p - \frac{200(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}{A}$	Cuando $D_p \geq L$; $L = 2D_p - \frac{404}{A}$	Cuando $D_a \geq L$; $L = 2D_a - \frac{946}{A}$

e) Longitud mínima de las curvas verticales cóncavas

Según la norma DG-2014, la longitud de las curvas verticales cóncavas, se determinará tomando en cuenta el lado de la seguridad, para lo cual la distancia a considerar será la distancia de parada. Las fórmulas para obtener la longitud de las curvas verticales cóncavas son las siguientes:

Cuando $D_p < L$;

$$L = \frac{A D_p^2}{120 + 3.5D_p}$$

Cuando $D_p \geq L$;

$$L = 2D_p - \left(\frac{120 + 3.5D_p}{A} \right)$$

Dónde:

- L : Longitud mínima de curva (m).
- D_p : Distancia entre el vehículo y el punto dónde con un ángulo de 1° , los rayos de luz de los faros, intercepta a la rasante. Para este caso se opta por igualarla a la distancia de parada (m).
- A : Diferencia algebraica de pendientes (%).

Además de estas fórmulas, a fin de evitar que las fuerzas de inercia y gravedad produzcan aceleraciones molestas, se considera una aceleración centrífuga máxima de 0.3m/s^2 (AASHTO, 2011). Por esta condición de confort, se propone la siguiente fórmula:

$$L = \frac{AV^2}{395}$$

Dónde:

- L : Longitud mínima de curva (m)
- V : Velocidad de diseño (km/h)
- A : Valor absoluto de la diferencia algebraica de pendientes (%)

2.3.3 Diseño Geométrico de la Sección Transversal

2.3.3.1 Generalidades

El diseño geométrico de la sección transversal, consiste en definir los elementos que se implementarán en las secciones transversales al alineamiento horizontal de la vía, la cual controlará el dimensionamiento de dichos elementos. Además de ello, los dimensionamientos de los elementos de la sección transversal son controlados por las características del trazado y del terreno, por condiciones de demanda, por la capacidad vial que se desea obtener, por estipulaciones reglamentarias, entre otros.

2.3.3.2 Elementos de la sección transversal

Los elementos básicos de la sección transversal son: ancho de zona o derecho de vía, carriles (cantidad- ancho-bombeo-peralte), calzada (ancho), bermas, cunetas, taludes, separadores o bermas centrales y sardineles. Sin embargo, si la vía lo requiere se puede optar por elementos complementarios tales como barreras de seguridad, ductos, guardavías y otros. En la **Figura 2-13**, se muestra una sección transversal típica de una vía expresa tipo zanjón.

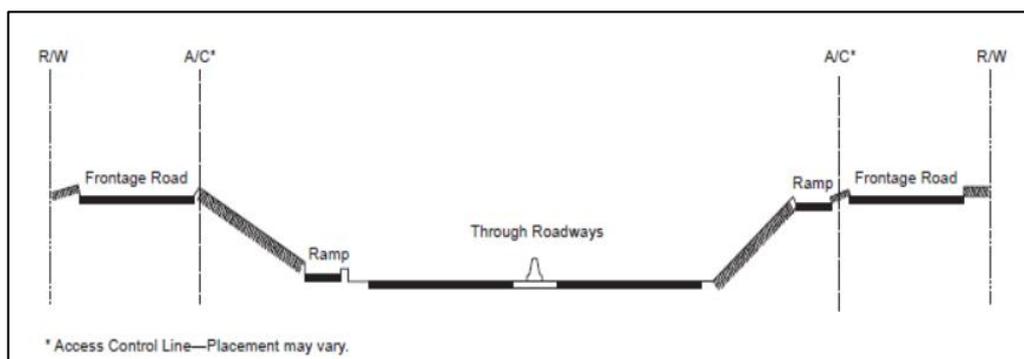


Figura 2 - 13: Sección transversal típica de una vía expresa tipo zanjón
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets (ASSHTO-2011)

a) Derecho de Vía o faja de dominio

El derecho de vía, es la franja de terreno de dominio público, definida a lo largo y a ambos lados del eje de la vía. En el derecho de la vía se ubican las calzadas de circulación vehicular, las bermas, las estructuras complementarias de las vías, las zonas de seguridad para los usuarios de las vías, las áreas necesarias para las intersecciones viales, estacionamientos vehiculares en las vías públicas, las estructuras de drenaje y de estabilización de la plataforma del camino y de los taludes del camino, la señalización vial del tránsito, los paraderos de transporte público, las áreas que permiten tener distancias de visibilidad segura para la circulación de las personas y vehículos, etc. El ancho mínimo de derecho de vía para una autopista de Primera Clase y Segunda Clase será de 40 m. y 30 m., correspondientemente.

b) Calzada o superficie de rodadura

La calzada o superficie de rodadura se define como la zona de vía destinada a la circulación de vehículos. La calzada está compuesta por uno o más carriles (sin incluir bermas). El número de carriles será dependiente a las previsiones y composición del tráfico, a la demanda (IMDA) y a la oferta (nivel de servicio) deseada. Los anchos de carriles usados serán de 3.00 m, 3.30 m y 3.60m. En la **Tabla 2-18**, se presenta los anchos mínimos de calzada en tangente para Autopistas de Primera y Segunda clase.

Tabla 2 - 18: Ancho de calzada mínimo para autopistas de primera y segunda clase
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Clasificación		Autopistas							
		> 6,000				6,000 - 4,001			
Tráfico vehículos/día		Primera clase				Segunda clase			
Tipo		Primera clase				Segunda clase			
Orografía		1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño:	30 km/h								
	40 km/h								
	50 km/h								
	60 km/h					7.20	7.20	7.20	7.20
	70 km/h			7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
	80 km/h	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
	90 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20	
	100 km/h	7.20	7.20	7.20		7.20	7.20	7.20	
	110 km/h	7.20	7.20			7.20			
	120 km/h	7.20	7.20			7.20			
130 km/h	7.20								

Adicionalmente a esta tabla, la Norma de Vías Urbanas establece lo detallado en la **Tabla 2-19** para vías expresas.

Tabla 2 - 19: Ancho de calzada mínimo para vías expresas
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas

Clasificación	Velocidad de diseño (km/h)	Ancho Recomendable (m)	Ancho mínimo de carril en pista normal (m)	Ancho mínimo de carril único del tipo solo bus (m)	Ancho de dos carriles juntos (m)
Local	30 a 40	3	2.75	3.5	6.5
Arterial	Colectora	40 a 50	3.3	3	6.5
		50 a 60	3.3	3.25	6.75
		60 a 70	3.5	3.25	6.75
		70 a 80	3.5	3.5	7
Vías Expresas	80 a 90	3.6	3.5	3.75	7.25
	90 a 100	3.6	3.5	No aplicable	No aplicable

Debido a que los anchos solo son válidos en tramos rectos, a los anchos mínimos indicados en las **Tablas 2-19 y 2-18**, se adicionarán los sobreamchos correspondientes en las curvas. Cabe señalar que en los accesos o salidas, a estos anchos mínimos se le adicionarán 2 metros.

c) Bermas

La berma se define como la franja longitudinal adyacente a la calzada de la vía y tiene la función de confinamiento de la calzada y seguridad. Esta sirve de confinamiento de la capa de rodadura y se utiliza como zona de seguridad para vehículos que necesiten estacionarse por emergencia. Es recomendable que el bombeo o peralte de la calzada sea igual al de la berma. En la **Tabla 2-20** se establece el ancho de bermas recomendables para autopistas.

Tabla 2 - 20: Ancho mínimo de bermas para autopistas
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Clasificación		Autopistas							
Tráfico vehículos/día		> 6,000				6,000 - 4,001			
Tipo		Primera clase				Segunda clase			
Orografía		1	2	3	4	1	2	3	4
Velocidad de diseño:	60 km/h					3.00	3.00	3.00	2.60
	70 km/h			3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	80 km/h	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
	90 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00	
	100 km/h	3.00	3.00	3.00		3.00	3.00	3.00	
	110 km/h	3.00	3.00			3.00			
	120 km/h	3.00	3.00			3.00			
	130 km/h	3.00							

La inclinación normal de las bermas será de 4% para pavimentos, y en el caso de que el peralte de la curva sea igual a 8% y la berma sea exterior, el valor de la inclinación podrá llegar a ser 0%. Por otro lado, en el manual de diseño de vías urbanas, se indica que las bermas laterales exteriores e interiores, lado derecho e izquierdo de la calzada correspondientemente, tendrán anchos comprendidos entre 1.5 y 2.5 metros.

d) Bombeo

A fin de evacuar las aguas superficiales en las calzadas, estas deben tener una inclinación transversal mínima llamada "bombeo". Este depende del tipo de superficie de rodadura y de los niveles de precipitación de la zona. La **Tabla 2-21** especifica los valores de bombeo de la calzada.

Tabla 2 - 21: Pendientes transversales de bombeo
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Tipo de Superficie	Bombeo (%)	
	Precipitación < 500 mm/año	Precipitación > 500 mm/año
Pavimento asfáltico y/o concreto Portland	2.00	2.50
Tratamiento superficial	2.50	2.50 - 3.00
Afirmado	3.00 - 3.50	3.00 - 4.00

A lo largo de la vía, el bombeo puede darse de distintas maneras. Por ejemplo, el bombeo denominado de dos aguas, cuya inclinación parte del centro de la calzada hacia los bordes, y el bombeo de una sola agua, cuya inclinación se da al colocar uno de los bordes por encima del otro.

e) Peralte

El peralte es aquella pendiente transversal que posee la vía en los tramos de curva a fin de contrarrestar la fuerza centrífuga del vehículo.

La **Tabla 2-22** muestra los valores de radios mínimos a partir de los cuales no es necesario colocar peralte.

Tabla 2 - 22: Radios mínimos para prescindir del peralte en una curva
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

V(km/h)	40	60	80	≥ 100
R (m)	3,500	3,500	3,500	7,500

El peralte máximo indicado en el Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas es 6% para el caso de Vías Expresas. Por otro lado, el peralte sugerido por la DG-2014 será obtenido de la **Tabla 2-23**.

Tabla 2 - 23: Radios y velocidades para asumir peralte mínimo de 2%
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Pueblo o ciudad	Peralte Máximo (p)	
	Absoluto	Normal
Atravesamiento de zonas urbanas	6.00%	4.00%
Zona rural (T. Plano, Ondulado o Accidentado)	8.00%	6.00%
Zona rural (T. Accidentado o Escarpado)	12.00%	8.00%
Zona rural con peligro de hielo	8.00%	6.00%

El peralte mínimo será de 2%, para los radios y velocidades indicadas en la **Tabla 2-24**.

Tabla 2 - 24: Radios y velocidades para asumir peralte mínimo de 2%
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

V(km/h)	Radio de curvatura
$V \geq 100$	$5,000 \leq R < 7,500$
$40 \leq V < 100$	$2,500 \leq R < 3,500$

La transición que ocurre en el paso de bombeo (tangente) a peralte (curva) o viceversa, se hace gradualmente a lo largo de la curva de transición. En caso de que no exista curva de transición, la transición se desarrolla en la tangente y en la curva. La **Tabla 2-25** indica las proporciones de peralte a desarrollar en tangente.

Tabla 2 - 25: Desarrollo de transición mínima de peralte en tangente
Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

$p < 4.5\%$	$4.5\% < p < 7\%$	$p > 7\%$
0.5p	0.7p	0.8p

f) Separadores

Los separadores son franjas delimitadas de terreno paralelas al eje de la vía que sirven para separar dos corrientes de tráfico (separador central) o para separar calzadas del mismo sentido del tránsito. Según la norma DG-2014, el separador tendrá un ancho mínimo de 6 m. en Autopistas de Primera Clase y variará de 6 m. hasta 1 m. en Autopistas de Segunda Clase. Por otra parte, el Manual de Vías Urbanas determina lo siguiente:

- El ancho mínimo de un separador será de 1 metro cuando separe flujos.
- En vías expresas es conveniente que las bermas centrales tengan anchos del orden de 12.0 metros cuando no usen barreras vehiculares y de por lo menos 4.0 metros cuando si las usen.

g) Gálibo

Se denomina Gálibo a la altura libre que existe entre la calzada y la parte inferior de la superestructura de un puente. El gálibo mínimo será de 5.50 m según la norma

para carreteras. Sin embargo, debido a que la vía expresa es de uso exclusivo de vehículos ligeros y que el gálibo que se presenta en la vía expresa actual es de 4.50 metros, en el diseño de la sección transversal se empleará un gálibo común de 4.50 metros a fin de que guarde armonía con el diseño de las etapas predecesoras.

h) Sardineles

Los sardineles funcionan como elementos delimitadores de la calzada, vereda, berma, andén y otros componentes de la vía.

i) Taludes

El talud es la inclinación de diseño dada al terreno lateral de la carretera, tanto en zonas de corte como en relleno. La inclinación será medida como la tangente formada por el plano de la superficie del terreno y la línea teórica horizontal (H:V). El talud de corte depende de las características geomecánicas del terreno determinadas por los estudios de mecánica de suelos o geológicos correspondientes. La **Tabla 2-26**, muestra valores referenciales de taludes en zonas de corte.

Tabla 2 - 26: Taludes de corte

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Clasificación de materiales de corte		Roca Fija	Roca suelta	Material		
				Grava	Limo arcilloso o arcilla	Arenas
Altura de corte	< 5 m	1:10	1:6 - 1:4	1:1 - 1:3	1:1	2:1
	5 - 10 m	1:10	1:4 - 1:2	1:1	1:1	*
	> 10 m	1:8	1:2	*	*	*

(*) Requerimiento de banquetas y/o estudio de estabilidad.

Los taludes en zonas de relleno (terraplenes), varían de acuerdo al material del cual está formado. En la **Tabla 2-27**, se muestra los taludes referenciales de relleno.

Tabla 2 - 27: Taludes de relleno

Fuente: Manual de Diseño Geométrico de Carreteras DG-2014

Materiales	Talud (H:V)		
	Altura (m)		
	< 5 m	5 - 10 m	> 10 m
Gravas, limo arenoso y arcilla	1.5:1	1.75:1	2:1
Arena	2:1	2.25:1	2.5:1
Enrocado	1:1	1.25:1	1.5:1

j) Cunetas

Las cunetas son canales construidos a fin de drenar las aguas superficiales y proteger la estructura de pavimento. Debido a la poca precipitación que posee la zona, se propone construir una red de alcantarillado por debajo de la berma lateral del eje principal que permita el desagüe de las escorrentías superficiales que se tenga en la vía. El diseño de esta red no será tema de la presente investigación.

CAPITULO III: DISEÑO GEOMÉTRICO Y CONSIDERACIONES DE LA VÍA

En el presente capítulo, se detallará y definirá los criterios de diseño geométrico extraídos de los documentos normativos analizados en el capítulo anterior en relación a la vía en estudio. Además, se describirán las obras principales referentes a la vía en estudio a fin de poseer un conocimiento general de las condiciones y limitaciones que estarán presente en el diseño geométrico de la vía; sin embargo, cabe señalar que estas no se diseñarán en el presente estudio. En este capítulo también se presentará el estudio de tránsito y el diseño básico del pavimento concerniente a la Vía Expresa.

3.1 Estudio de tránsito

Para el estudio de tránsito de una vía urbana, es necesario analizar el VHD o el IMDA de la vía en estudio. Debido a que estos son obtenidos mediante un estudio complejo en la vía, se ha optado por obtener el IMDA derivados de estudios de tránsito ya realizados por la empresa concesionaria de la obra. En el contrato de concesión de la Vía Expresa Sur emitido por la MML y Graña y Montero S.A.A., se detalla la obtención del IMDA tanto para los Viaductos como para la Autopista de la VES, lo cual se muestra en la **Tabla 3-1**.

Tabla 3 - 1: Obtención del IMDA para el proyecto VES
Fuente: Contrato de concesión VES

Símbolo	Factores de reducción complementarios (sección general)	Viaductos	Autopistas	Consideraciones			
N	Número de carriles	2	3				
Vd	Flujo de saturación Base	1,900	2,342				
fw	Factor de ajuste por ancho de carriles	1.00	1.00	Ancho de calzada 3.60 m.			
fHV	Factor de ajuste por vehículos pesados	1.00	1.00	Parámetro fHV, vehículo pesado 0%			
fg	Factor de ajuste por pendiente de acceso	1.00	1.00	La topografía es Llana = 1			
fp	Factor de ajuste por estacionamiento adyacente al grupo de carriles	1.00	1.00	No hay estacionamiento de vehículos = 1			
fb	Factor de ajuste por bloqueo de buses que paran cerca de la intersección	1.00	1.00	No hay parqueo de buses			
fa	Factor de ajuste por tipo de área	1.00	1.00	Calle céntrica principal = 1			
fLU	Factor de ajuste por Utilización de Carriles	0.95	0.95	Factor de saturación de los carriles = 95%			
fLT	Factor de ajuste por vueltas a la izquierda	1.00	1.00	Los giros a la izquierda en IVD =1			
fRT	Factor de ajuste por vueltas a la derecha	1.00	1.00	Los giros a derecha en E/S = 1			
	Factor Conductor	1.00	1.00	Sin reducción de capacidad (habituales)			
	Factor sentido de la vía	0.50	0.50				
	Flujo de saturación Ajustado 2 sentidos de 3ca	3,610	6,675	Veh/Hora verde			
	Relación de f ID (ya considerado en Vd)	1.00	1.00	4 IVD (accesos) para tramo de 4.9 km.			
	Capacidad de grupo de carriles	3,610	6,675	VI/Hora/carril			
	Factor K-Hora Punta	0.10	0.08	0.09	0.10	0.12	0.13
	Flujo máximo por día (IMDA)	72200	166875	148333	133500	111250	102692

Además, en el contrato de concesión se detalla los niveles de servicio a los que estará expuesta la vía proyectada. Esto último se detalla en la **Tabla 3-2**.

Tabla 3 - 2: Niveles de servicio del proyecto VES

Fuente: Contrato de concesión VES

Bloque Horario	Horario	Tipo de Horario	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1	00:00 - 00:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
2	00:30 - 01:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
3	01:00 - 01:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
4	01:30 - 02:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
5	02:00 - 02:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
6	02:30 - 03:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
7	03:00 - 03:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
8	03:30 - 04:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
9	04:00 - 04:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
10	04:30 - 05:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
11	05:00 - 05:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
12	05:30 - 06:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
13	06:00 - 06:30	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
14	06:30 - 07:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
15	07:00 - 07:30	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
16	07:30 - 08:00	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
17	08:00 - 08:30	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
18	08:30 - 09:00	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
19	09:00 - 09:30	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
20	09:30 - 10:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
21	10:00 - 10:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
22	10:30 - 11:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
23	11:00 - 11:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
24	11:30 - 12:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
25	12:00 - 12:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
26	12:30 - 13:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
27	13:00 - 13:30	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
28	13:30 - 14:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
29	14:00 - 14:30	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
30	14:30 - 15:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
31	15:00 - 15:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
32	15:30 - 16:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
33	16:00 - 16:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
34	16:30 - 17:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
35	17:00 - 17:30	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
36	17:30 - 18:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
37	18:00 - 18:30	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
38	18:30 - 19:00	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
39	19:00 - 19:30	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
40	19:30 - 20:00	Punta	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E	E
41	20:00 - 20:30	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
42	20:30 - 21:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
43	21:00 - 21:30	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
44	21:30 - 22:00	Intermedio	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
45	22:00 - 22:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
46	22:30 - 23:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
47	23:00 - 23:30	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
48	23:30 - 00:00	Valle	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

Como se mencionó anteriormente, el VHD guarda relación con el IMDA por medio de un factor de ajuste (K) el cual oscila entre 8% y el 12% para vías urbanas. Asumiendo

un factor de ajuste promedio igual al 10%, el valor del IMDA será igual a 133,500 vehículos por día (VHD/K) para ambos sentidos de la vía.

3.2 Pavimento

El tipo de pavimento que se empleará en el diseño será del tipo rígido por cumplir con la uniformidad de la capa de rodadura de las etapas predecesoras. La **Tabla 3-3** y la **Figura 3-1** detallan las características, especificaciones técnicas y estructura de la pavimentación en la Vía Expresa en sus primeras etapas.

Tabla 3 - 3: Características y especificaciones técnicas del pavimento

Fuente: Asociación de productores de cemento (ASOCEM)

Pavimento de diseño		
Tipo		Rígido
Carpeta de rodadura	Material	Losa de concreto de cemento Portland de resistencia f'c igual a 210 kg/cm ²
	Profundidad	19 cm. con ensanche en los bordes hasta un total de 24 cm
Subrasante y sub-base	Material	Terraplén compuesto por grava arenosa (hormigón)
	Profundidad	Mayor a 10 cm.

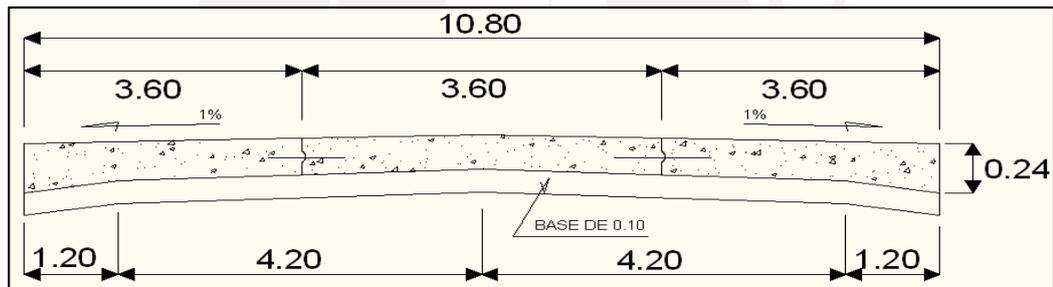


Figura 3 - 1: Estructura de Av. Vía Expresa

Fuente: Asociación de productores de cemento (ASOCEM)

A fin de obtener un diseño estándar y simplificado de la estructura del pavimento rígido, el diseño de este será compuesto por las siguientes capas y profundidades:

- Carpeta de rodadura: Concreto hidráulico (profundidad = 20 cm).
- Subbase: Grava arenosa (profundidad = 15 cm).

3.3 Obras principales o mayores

La MML plantea la construcción de 2 intercambios viales principales: Intersección a desnivel con la Av. República de Panamá y con la Autopista Panamericana Sur. Estas se ubican en el comienzo y al final de la tercera etapa de la Vía Expresa, respectivamente. Adicionalmente, la MML plantea la construcción de 4 intercambios adicionales que tienen como función habilitar la circulación de las vías principales que intersectan a desnivel a la Vía Expresa. La **Tabla 3-4** detalla las características

de las obras principales en la Vía Expresa proyectada. Cabe señalar que el diseño de las obras principales no será materia de estudio de la presente tesis.

Tabla 3 - 4: Características y especificaciones técnicas de las obras principales del proyecto VES

Fuente: Contrato de concesión VES

Ítem	Nombre de obra	Descripción	Progresiva de inicio y fin (Aproximada)
1	República de Panamá	La vía expresa pasa a desnivel con enlaces en viaductos. Las características se definirán en el Estudio Definitivo de Ingeniería (EDI), subordinadas a la reserva vial (renovada para toda la ruta y sus intercambios por Acuerdo de Concejo N° 210 del año 2002 e incluida como sección vial normativa E-16 en el Sistema Vial Metropolitano aprobado por Ord. N° 341MML) y a la solución funcional de los corredores del COSAC que confluirán en la Estación Plaza de Flores de El Metropolitano. La definición funcional de dicha Estación corresponderá al Instituto Metropolitano PROTRANSPORTE de Lima.	0+320 - 0+380
2	Paseo La Castellana:	La vía expresa pasa a desnivel bajo 2 puentes que conformarán un óvalo a nivel cuyo diseño vial se definirá en el EDI. Dicho óvalo, junto a la avenida Paseo La Castellana, facilitarán el acceso al Óvalo de Higuiereta (que interconecta las avenidas Benavides, Aviación y Tomás Marsano) completando la avenida arterial Paseo La Castellana. La solución deberá organizar las rampas de acceso/salida a la vía expresa en flujo libre, las vías auxiliares y los jirones Las Uvas y Combate de Iquique.	1+540 - 1+640
3	Puente Ayacucho:	Puente de tipo bypass que da continuidad a la avenida Ayacucho en el sentido transversal frente al pueblo tradicional de Surco. No considera rampas de acceso, pero debe resolver los giros necesarios y el paso del transporte público.	2+210 - 2+250
4	Puente Surco:	Puente de tipo bypass que completará la continuidad de la sección planificada de la avenida Surco en el sentido transversal. Considera rampas de acceso y debe resolver los giros necesarios y el posterior paso del transporte público.	2+780 - 2+820
5	Próceres:	La vía expresa pasa a desnivel bajo 2 puentes que conformarán un óvalo a nivel y áreas verdes públicas (áreas de reserva disponibles según habilitaciones urbanas) con un diseño vial a definirse en el EDI. Este intercambio facilitará el acceso al eje que conforman las avenidas Caminos del Inca y Próceres, facilitando el acceso a la zona sur del distrito de Surco y a Chorrillos. El óvalo organizará las rampas de acceso/salida a la vía expresa en flujo libre.	4+080 - 4+180
6	Panamericana Sur:	Intercambio de enlace en viaductos para comunicar la vía expresa y Panamericana Sur en flujo libre. Tiene 2 viaductos de giro a la izquierda entrecruzados a diferentes niveles elevados y 2 viaductos de giros a la derecha que ascienden desde el subnivel de la vía expresa a ejecutarse al nivel de la Panamericana Sur. Los viaductos dejarán las reservas centrales para la continuación del COSAC y de las vías auxiliares para enlace con la avenida Pedro Miotta.	4+600 - 5+000

3.3.1 Intersección a desnivel con la Av. República de Panamá

Esta intersección se realiza con un intercambio vial del tipo trébol con un lazo, estando la Av. República de Panamá al nivel actual y deprimiendo la Vía Expresa. La

Figura 3-2 muestra una vista virtual de la intersección.



Figura 3 - 2: Vista del Intercambio Vial tipo trébol - República de Panamá
Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima (MML-2014)

3.3.2 Intersección a desnivel Autopista Panamericana Sur

En esta intersección desnivel se plantea un sistema de viaductos de 04 enlaces:

- **Enlace 01 (E1)**

Viaducto que unirá la calzada este de la Autopista Panamericana Sur y la calzada norte de la Vía Expresa, para dar servicio al tráfico en el sentido Sur-Oeste mediante una estructura elevada sobre la Panamericana y empalmando a la Vía Expresa.

- **Enlace 02 (E2)**

Viaducto entre la calzada sur de la Vía Expresa y la calzada oeste de la Autopista Panamericana Sur mediante un enlace elevado dando servicio al tráfico Oeste-Sur.

- **Enlace 03 (E3)**

Viaducto que unirá la calzada oeste de la Autopista Panamericana Sur con la calzada norte de la vía expresa, para dar servicio al tráfico en el sentido Norte-Oeste mediante un viaducto elevado sobre la vía auxiliar de la Panamericana entregando a la Vía Expresa.

- **Enlace 04 (E4)**

Viaducto entre la calzada sur de la Vía Expresa y la calzada este de la Autopista Panamericana Sur mediante un enlace elevado en tercer nivel dando servicio al tráfico Oeste-Norte.

El enlace-04 se deriva del enlace-02 y se desarrolla por encima del enlace-01. El intercambio a desnivel proyectado soluciona todos los sentidos de flujos vehiculares. Asimismo, los enlaces son elevados y unen la vía expresa con las calzadas

principales de la Autopista Panamericana Sur. La **Figura 3-3** muestra una vista virtual de la intersección.

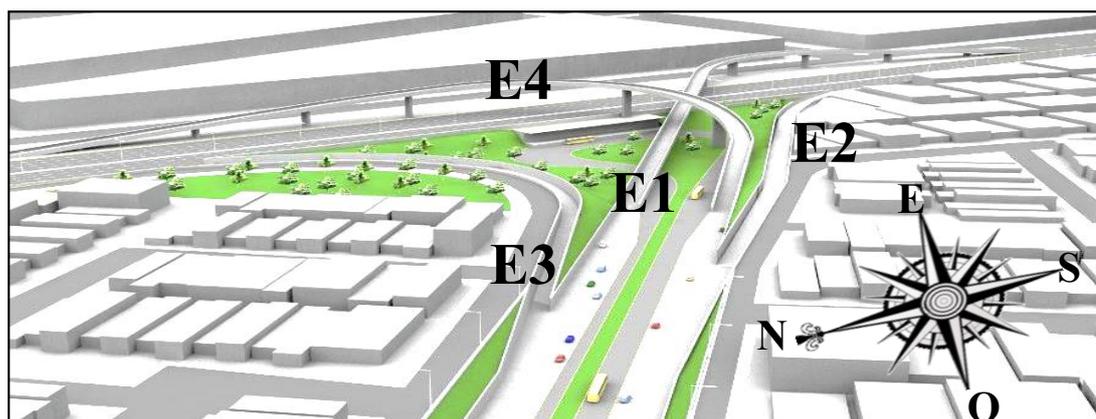


Figura 3 - 3: Vista del Intercambio Vial Autopista Panamericana Sur – 4 enlaces
Fuente: Municipalidad Metropolitana de Lima (MML-2014)

3.4 Obras menores y complementarias

La MML plantea la construcción de obras menores tales como rampas y puentes peatonales, y obras adicionales tales como puentes locales adicionales. Dentro de este planteamiento, se propone la construcción de rampas de ingreso y salida cercanas a las obras nombradas desde el ítem 2 hasta el 5 de la **Tabla 3-5** de longitudes de 120 metros aproximadamente, y la implementación de 3 puentes peatonales. Adicionalmente, se contempla la construcción del puente de la avenida La Merced y dos puentes locales de la zona de San Roque. Estas obras se detallan en la **Tabla 3-5**.

Tabla 3 - 5: Características y especificaciones técnicas de las obras principales del proyecto VES

Fuente: Contrato de concesión VES

Ítem	Nombre de obra	Descripción	Progresiva de inicio y fin (Aproximada)
1	Puentes peatonales	Además del cruce peatonal que deben resolver todos los intercambios viales, se ha considerado la necesidad de implementar 3 puentes peatonales adicionales cuya ubicación será determinada de acuerdo al análisis de necesidades elaborado en el EDI.	-
2	Obras Complementarias	El puente de la avenida La Merced identificado en el Sistema Vial Metropolitano y los 2 puentes locales de la zona de San Roque (cuya localización se ha actualizado a los jirones Antares y El Sol de acuerdo al análisis actualizado de la MML de esta iniciativa privada, respecto del último proyecto público de "Ampliación Sur de Paseo de la República" del año 2005) no forman parte de las inversiones iniciales de la presente Iniciativa Privada; sin embargo, podrían ser considerados como factores de competencia para una eventual fase concursal.	PTE. AV. LA MERCED: 1+140–1+180 PTE. JR. ANTARES: 3+290-3+320 PTE. EL SOL: 3+530-3+560

3.5 Parámetros y elementos básicos de diseño

A fin de que el diseño geométrico de una vía cumpla con las condiciones de operación, seguridad, confort, estética y economía, los elementos y parámetros de diseño deben producir resultados coherentes. Para ello, estos deben ser analizados a profundidad siguiendo a cabalidad con lo estipulado por la normativa; sin embargo, si el diseño así lo necesitase, se podrá optar por parámetros y elementos excepcionales que cuenten con la debida justificación.

3.5.1 Clasificación de la Vía

3.5.1.1 Manual de Carreteras “Diseño Geométrico (DG-2014)”

- Según su demanda, la vía se asemeja al concepto de Autopista de Primera Clase (IMDA > 6000 veh/día).
- Según la orografía de la zona, la vía presenta una topografía plana (tipo 1).

3.5.1.2 A Policy on Geometric Design of Highways and Streets – 2011 - AASHTO

- Las características de la vía en estudio se asemejan a las detalladas en el Capítulo 8: Freeways, clasificando a la vía como “Depressed Freeway”.

3.5.1.3 Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005 – VCHI

- Según su función, la vía corresponde a una Vía Expresa debido al control total de accesos (baja accesibilidad) y al flujo ininterrumpido (alta movilidad).

3.5.2 Velocidad de diseño

La velocidad de diseño en el eje principal será la máxima velocidad operacional correspondientes a las vías expresas establecido en el artículo 162 del Reglamento Nacional de Tránsito (RNT) vigente, el cual es 80 km/h. Esto guarda concordancia con lo establecido en la norma DG-2014 y en la actual Vía Expresa.

3.5.3 Vehículo de diseño

El vehículo de diseño será un vehículo ligero de pasajeros (VL).

3.5.4 Sección Transversal

3.5.4.1 Tipo de sección

El tipo de sección que se empleará en la vía es denominado trinchera abierta, zanjón o, en el manual de la AASHTO, “Depressed Freeways”. Este consiste en una sección por debajo del nivel de la superficie de las calles adyacentes a una profundidad aproximada de 4.90 metros (AASHTO, 2011). El talud no debe ser superior a 1:3 (V:H) y debe ser sostenido por medio de muros de contención que deben ubicarse a una distancia no menor que 0.60 metros del borde exterior de la calzada. La **Figura 3-4** muestra las secciones transversales típicas de los Depressed Freeways.

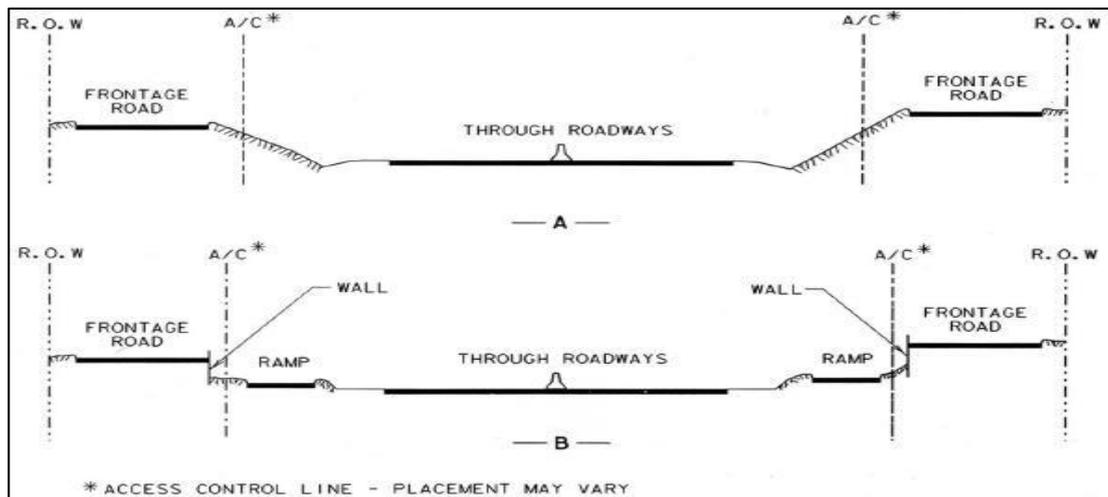


Figura 3 - 4: Secciones transversales típicas de una vía expresa tipo trinchera
Fuente: A Policy on Geometric Design of Highways and Streets ASSHTO 2011

3.5.4.2 Derecho de Vía o faja de dominio

El Derecho de Vía o faja de dominio corresponde a un ancho de 72 metros reservada por decreto de la Alcaldía N° 049 de 20 de junio de 1989 (reserva renovada por 15 años mediante Acuerdo de Concejo N° 210 de 12 de septiembre de 2002 - MML). El derecho de vía, como se ha podido observar, ha sido respetado solo en algunas zonas a lo largo del recorrido siendo las restantes motivo de expropiación.

3.5.4.3 Calzada

Para la calzada se ha considerado que, en concordancia a las etapas predecesoras de la VEPR, se dispondrá de dos calzadas con 3 carriles por sentido en el eje principal de la vía expresa destinadas a la circulación de vehículos ligeros particulares. Cada carril en el eje principal tendrá un ancho de 3.60 metros. Por lo tanto, el ancho de la calzada en el eje principal será igual a 10.80 metros.

3.5.4.4 Bermas

Se plantea que las bermas laterales montables tengan un ancho de 3.00 metros. Cabe resaltar, que las etapas predecesoras optan por una berma lateral de 1.80 metros; sin embargo, esta distancia no es suficiente para que la circulación vehicular no se vea afectada en casos de vehículos averiados o accidentes de tránsito. La inclinación de la berma será de 4%.

3.5.4.5 Bombeo

El bombeo de la vía se ha determinado para un pavimento rígido y una precipitación menor a 500 mm/año. El valor del bombeo es igual a 2%. Adicionalmente, el bombeo será de una sola agua; es decir que la inclinación se dará a partir de unos de los

borde de la calzada. Esto se sugiere a fin de evitar la acumulación de aguas de escorrentía en el separador central en las tangentes del alineamiento horizontal y solo enfocarse en el desagüe de las aguas en las zonas de curvas y espirales debido al peralte.

3.5.4.6 Peralte

El peralte máximo tendrá un valor de 6%. Se prescindirá de peralte para radios mayores a 3,500 metros y se asumirá un valor de peralte mínimo excepcional de 2% para valores de radio entre 2,500 y 3,500 metros. Adicionalmente, se deberá obtener el peralte correspondiente a cada curva por medio de la **Figura 2-5** antes expuesta.

3.5.4.7 Separadores o bermas centrales

Adicionalmente, se dispondrá de un ancho en el separador central de 17.00 metros, el cual ofrece espacio suficiente para futuras obras o ampliaciones del COSAC.

3.5.4.8 Gálibo

El gálibo mínimo será de 4.50 metros, lo que implica el espacio libre entre el nivel de obra de pista terminada de la autopista y el nivel inferior de los puentes considerando la altura de vigas y losas (1.50 metros aproximadamente). Por lo tanto, se puede estimar que la altura entre el nivel del terreno en las zonas de obras principales, adicionales y complementarias, y el nivel de la subrasante será 6.35 metros como resultado de la suma de 4.50 m. (gálibo), 1.50 m. (vigas y losas) y 0.35 m. (pavimento).

3.5.4.9 Sardineles

Se implementará el uso de sardineles según su requerimiento en la sección de la vía.

3.5.4.10 Taludes

Debido a que el tipo de vía expresa en estudio es del tipo zanjón, el tipo de talud que predominará será el de corte, por lo que se asumirá un talud de 1:1 (H:V). Este talud se justifica debido a la altura de corte será aproximadamente 6.35 metros (5 a 10 m.) y el material predominante en Lima es la grava. Por otro lado, el talud de relleno a asumir será de 1.5:1 (H:V) debido a la altura de relleno menor a 5 metros (altura estimada por la carencia de zonas de relleno) y el material de relleno a optar (grava).

3.5.4.11 Secciones típicas en la VEPR

La vía expresa actual a lo largo de su recorrido presenta distintos tipos de sección transversal condicionados a la presencia de puentes, rampas, curvas y derecho de vía; sin embargo, a fin simplificar el diseño de la misma, se optará por una versión simplificada de la vía expresa tal como lo muestra la **Figura 3-5**.

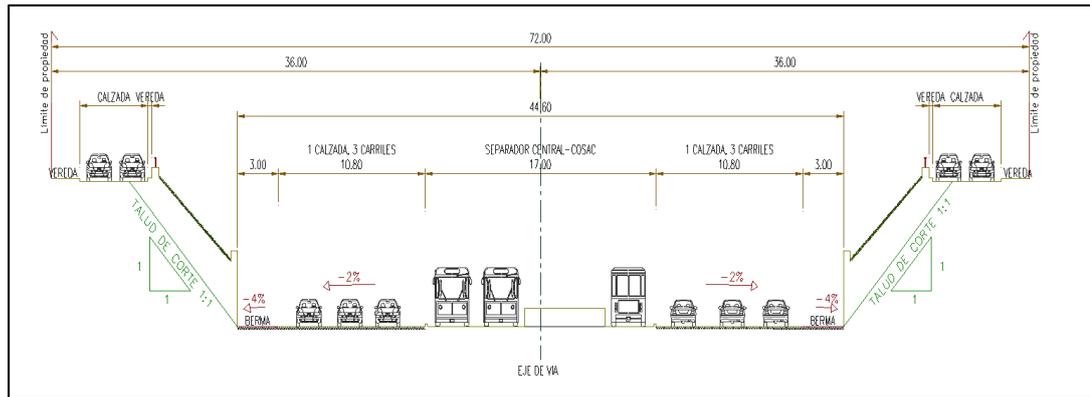


Figura 3 - 5: Sección típica de la vía expresa existente
Fuente: Elaboración propia

3.5.5 Parámetros de diseño en planta y perfil

Dentro del Capítulo II: Parámetros y elementos básicos de diseño, se realizó un resumen de las normas que competen en el diseño de una vía expresa. En la **Tabla 3-6** se detalla las características principales de diseño del proyecto VES.

Tabla 3 - 6: Parámetros de diseño de la Vía Expresa
Fuente: Elaboración propia

ELEMENTOS DE DISEÑO		VIA EXPRESA
Conceptos Generales	Clasificación de la vía según demanda	Vía Expresa - Autopista Urbana de Primera Clase
	IMDA	133,500 veh/día
	Orografía	Tipo 1
	Derecho de vía	72 m.
	Velocidad de diseño	80 km/h
	Vehículo de diseño	VL
	Tipo de pavimento	Rígido (profundidad = 0.35 m.)
Alineamiento Horizontal	Radio mínimo	255 m.
	Longitud mínima de curva	480 m.
	Longitud mínima de tangente en secciones tipo "S"	111 m.
	Longitud mínima de tangente en secciones tipo "O"	222 m.
	Longitud máxima de tangente	1336 m.
	Peralte máximo	6%
Alineamiento Vertical	Pendiente máxima absoluta de subida	5.00%
	Pendiente máxima absoluta de bajada	7.00%
	Pendiente mínima	0.50%
Sección Transversal	Ancho de carril	3.60 m.
	Ancho de calzada por sentido	10.8 m (3 carriles)
	Ancho mínimo de calzada	7.20 m.
	Berma lateral	3.00 m.
	Inclinación de berma lateral	4%
	Separador central	17.00 m.
	Bombeo	2%
	Talud de corte	1:1
Galibo de puentes	4.50m	

CAPITULO IV: METODOLOGÍA APLICADA PARA EL DISEÑO COMPUTARIZADO DE LA VÍA

En el presente capítulo, se detalla los pasos a seguir para la creación del diseño geométrico de la vía con programas de diseño automatizado. En primer lugar, se buscará dar un enfoque general del estudio que toda vía conlleva tanto en el trabajo en campo como en el gabinete. En segundo lugar, se detallará la función de los distintos programas a usar a fin de poseer los conceptos necesarios para el uso de los mismos. Finalmente, se explicará paso a paso el proceso del diseño geométrico automatizado de la vía y se determinará la cantidad de movimiento de tierras necesario para su construcción a fin de obtener una estimación de los costos del proyecto.

4.1 Metodología aplicada para la creación de un anteproyecto vial

La metodología aplicada para la creación de un anteproyecto de vía se basa en dos fases:

4.1.1 Fase 1: Recopilación de información y visita a campo

En esta fase se realiza una visita a la zona del proyecto, con cámara digital, realizando un registro fotográfico, a fin de inspeccionar el área por donde discurre el trazo e identificar las interferencias principales, tales como calles, avenidas, estructuras existentes, etc. Asimismo, se ha utilizado información de imágenes satelitales (Google Earth Pro), a fin de definir el trazo del eje y estimaciones de áreas de los predios afectados.

4.1.2 Fase 2: Procesamiento y análisis de la información

En esta etapa se procesa toda la información recopilada en la fase 1, para plantear, analizar y estimar las soluciones a los puntos de interferencias detectadas en campo, definiendo la planta, el perfil y la sección transversal que tendrá la vía, además de plantear la ubicación de las obras principales y estimación de metrados.

En la **Figura 4-1** se presenta un bosquejo del proceso de la metodología de trabajo, identificando principalmente las dos fases mencionadas: Inspección en campo y procesamiento de campo.

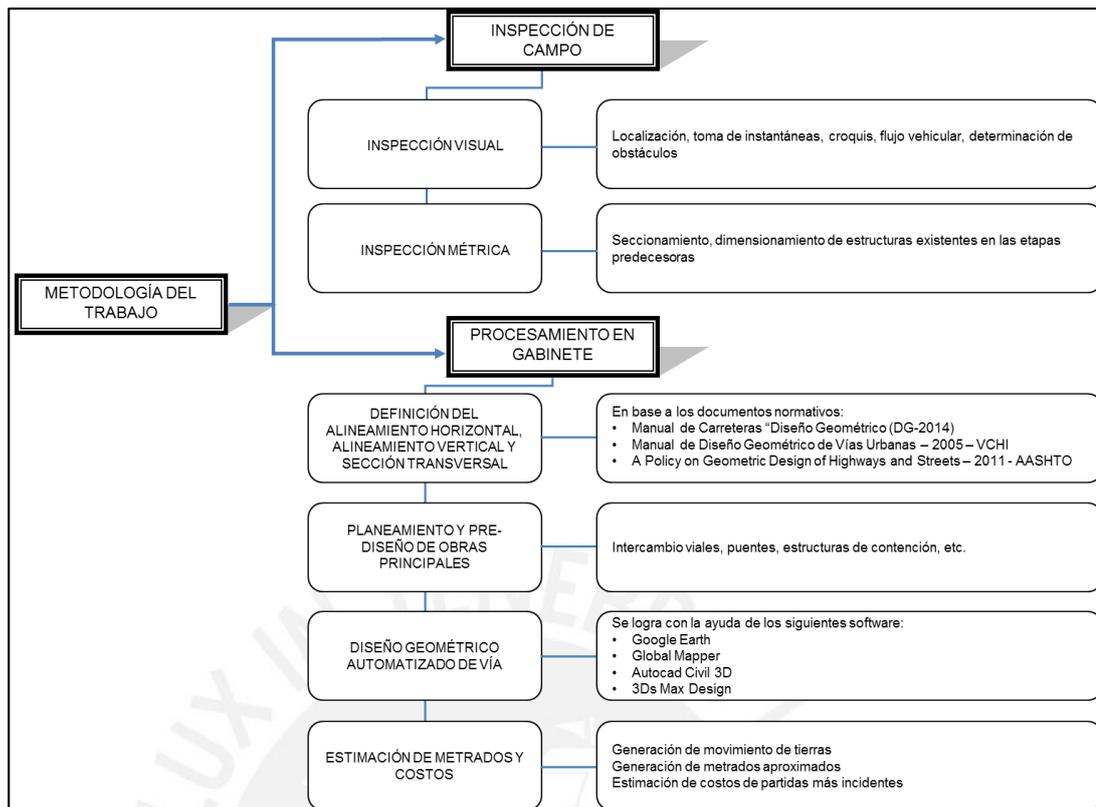


Figura 4 - 1: Bosquejo del proceso de la metodología de trabajo
Fuente: Elaboración propia

4.2 Software empleado para el diseño de Vía

Para lograr el diseño de la vía, es necesario el uso de distintos software tales como Google Earth, Global Mapper, Autocad Civil 3D y 3Ds Max Design, los cuales son programas básicos para el diseño automatizado vial. Cada uno cumple una función dentro del diseño de una vía. Cabe señalar que debido al uso de estos programas, el margen de precisión disminuye haciendo que en el diseño sea necesario una revisión constante de lo que se vaya obteniendo al correr el análisis. Sin embargo, debido a que este estudio consiste en plantear un anteproyecto, no es necesario obtener una precisión detallada para el proceso de diseño, por lo que se puede aprobar el uso de estos programas en este contexto. A continuación, se brindará una breve reseña de cada uno de estos programas.

4.2.1 Google Earth Pro (GE)

Google Earth Pro consiste en un software que detalla el globo terráqueo de manera virtual. Este programa es utilizado para visualizar la múltiple cartografía con base en la fotografía satelital. Adicionalmente, se posibilita la opción de crear rutas y polígonos, medir distancias en planta y visualizar alturas. La versión que se utilizará será Google Earth Pro 7.1.5.1557.

4.2.2 Global Mapper (GM)

Global Mapper consiste en un sistema de información geográfica, conocido por su acrónimo SIG, en español, o GIS, en inglés. Este programa tiene las facilidades de ser accesible para obtenerlo y sencillo al usarlo. Este brinda data sobre puntos espaciales a lo largo del globo terráqueo y permite la gestión de los mismos mediante herramientas simples de usar. La versión que se utilizará será Global Mapper v17.0 (64 bits).

4.2.3 Autocad Civil 3D (AC3D)

Autocad Civil 3D es un programa de diseño y documentación que permite a los ingenieros civiles trabajar con flujos tipo BIM (Building Information Modeling). Este programa permite el diseño de los alineamientos, las secciones transversales y el corredor de la vía mediante una interfaz de usuario de simple uso. La versión que se utilizará será Autocad Civil 3D 2016 (Metric).

4.2.4 3Ds Max Design (3DMD)

3Ds Max Design es un programa de diseño y animación que permite al usuario importar proyectos del Autocad Civil 3D a fin de generar un modelo virtual de alta calidad de la vía. Este programa permite ver el funcionamiento y los posibles errores en el diseño. La versión que se utilizará será 3Ds Max Design 2015.

4.3 Sistema de proyección cartográfica

Un punto importante a realizar dentro del Google Earth es identificar la zona geográfica del proyecto con el sistema de proyección cartográfica "Universal Transverse Mercator" (UTM). Este sistema se usará debido a que es de los sistemas más conocidos y utilizados en el Perú. A continuación, se detallará las consideraciones, generalidades y características que envuelven al sistema UTM.

4.3.1 Forma de la tierra - Elipsoide WGS-84

La elipsoide es el modelo fisicomatemático que se produce cuando una elipse es rotada sobre su eje semi-menor. Este elipsoide de revolución representa a la Tierra para propósitos geodésicos debido a que provee una superficie matemática bien definida. La forma y tamaño de la elipsoide son definidas por parámetros como la medida del semieje menor (b), semieje mayor (a), achatamiento, el producto de la constante gravitacional, la masa del objeto y la velocidad angular con la que se revoluciona la elipse. El sistema de coordenadas geográficas mundial de la convención de 1984, WGS-84 (World Geodetic System - 1984), es aplicada a esta morfología de la Tierra. El sistema WGS-84 toma los siguientes parámetros en la definición del elipsoide:

- Semieje Mayor (a): 6,378,137 m.
- Semieje Menor (b): 6,356,752 m.
- Achatamiento f: 1/298.257223563
- Producto de la Constante Gravitacional (G) y la Masa de la Tierra (M): $GM = 3.986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
- Velocidad Angular de la Tierra (ω): $7.292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$

A la elipsoide rigida por los parámetros del sistema WGS-84, se le conoce como “Elipsoide WGS-84”. En la **Figura 4-2** se observa la “Elipsoide WGS-84”.

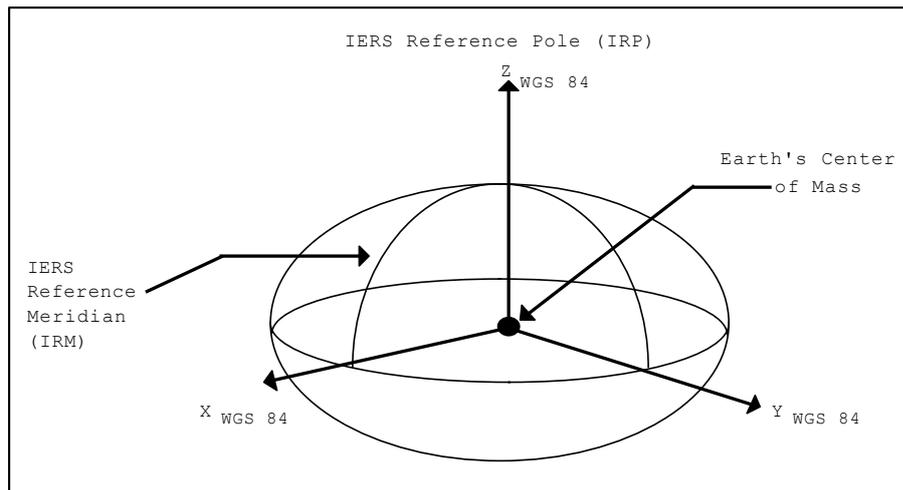


Figura 4 - 2: Elipsoide WGS-84
Fuente: Department of Defense of United States of America –
 World Geodetic System 1984

4.3.2 Sistema de Coordenadas Geodésicas o Geográficas

El sistema de coordenadas geodésicas utilizadas en la “Elipsoide WGS-84” se define a partir de la distancia angular a la línea ecuatorial (latitud), al meridiano de Greenwich (longitud) y la distancia lineal al elipsoide (altura elipsoidal) desde el punto a analizar. A continuación se detalla las características del sistema de coordenadas:

- La latitud (ϕ) de un punto P es el ángulo entre la normal al elipsoide y el plano ecuatorial. Tiene un valor de 0° en el Ecuador y de 90° en los polos.
- La longitud (λ) de un punto P es el valor del diedro formado por el plano meridiano de Greenwich y el plano meridiano que pasa por P. La longitud presenta un mínimo posible de 0° hasta un máximo de 180 tanto para la posición Oeste como Este.
- La altura elipsoidal (h) es la distancia normal desde el punto P a la superficie del elipsoide.

La Elipsoide WGS-84 designa la posición Oeste (W) a la izquierda del meridiano Greenwich y Este (E) a la derecha. Por otro lado, la WGS-84 divide el globo mediante la línea ecuatorial en dos hemisferios: Norte y Sur. En la **Figura 4-3** se observa el sistema de coordenadas geodésicas utilizadas en la Elipsoide WGS-84.

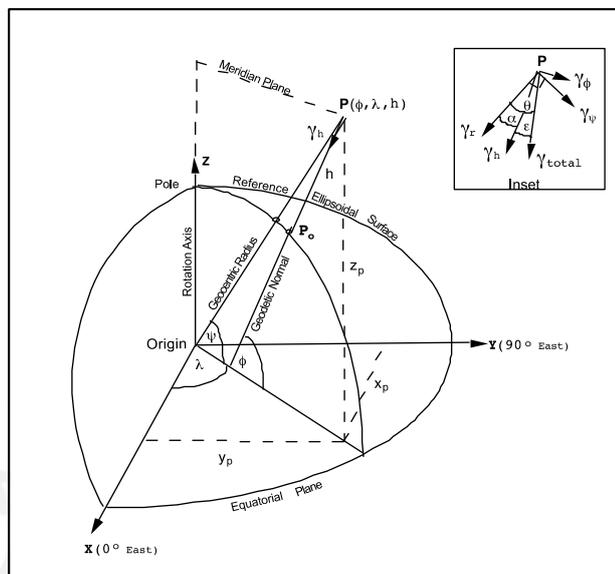


Figura 4 - 3: Sistema de Coordenadas Geodésicas - Elipsoide WGS-84
Fuente: Department of Defense of United States of America –
 World Geodetic System 1984

4.3.3 Sistema de proyección Universal Transversal de Mercator (UTM)

El sistema de coordenadas Universal Transversal de Mercator, conocido por su traducción al inglés “Universal Transverse Mercator” (UTM), consiste en la proyección cilíndrica transversal secante al Meridiano de Greenwich. El cilindro es tangente a un meridiano central, y el diámetro del cilindro es ligeramente menor al eje menor del elipsoide. La proyección conserva los ángulos, más no las superficies de los objetos originales ni las distancias. Se considera el origen de una zona UTM al punto de intersección entre el meridiano de Greenwich y la línea del Ecuador. A diferencia de otros sistemas de proyección que expresan la longitud y latitud en grados decimales o sexagesimales, el sistema UTM los expresa en metros y la altura se referencia con respecto al nivel del mar. El sistema UTM es un sistema utilizado entre los 84° de latitud norte y 80° de latitud sur, por lo que es un sistema estandarizado de empleo en el Perú. Para determinar posiciones en el Hemisferio Norte se le asigna al meridiano central un falso Este de 500,000 metros (para mantener valores positivos en la zona) y un falso Norte de 0. Para mediciones en el Hemisferio Sur se asigna un falso Este de 500,000 metros y un falso Norte de

10'000,000 de metros. Las coordenadas este, norte y el número de zona definen la posición de cualquier punto en la superficie terrestre en el sistema UTM. En la **Figura 4-4** se observa el sistema de proyección UTM.

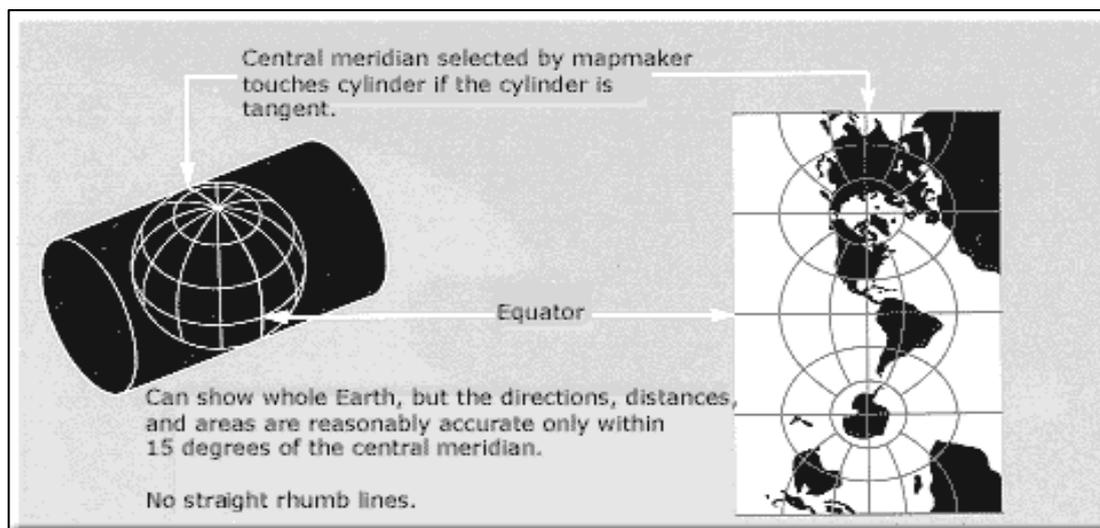


Figura 4 - 4: Sistema de proyección UTM

Fuente: Elementos de proyección de mapas y su aplicación a la construcción de mapas y cartas, Washington: Secretaría de Estado de los Estados Unidos de América

4.3.4 Distribución de Husos y Bandas del Sistema UTM

El sistema UTM divide el globo terráqueo en zonas que poseen su nomenclatura de la intersección entre el Huso y la Banda donde se ubique.

- **Husos UTM:** La Tierra se divide en 60 husos de 6° de longitud cada uno. Estos se numeran desde el número 1 hasta el 60 en dirección este desde el meridiano de Greenwich. Cada huso posee un meridiano central que define el origen de coordenadas del huso junto con la línea ecuatorial.
- **Bandas UTM:** La Tierra se divide en 20 bandas de 8° de latitud cada una. Estos se nombran con letras desde la "C" hasta la "X", excluyendo las letras "I", "O" y "Ñ", por el parecido con los números uno y cero, y su ausencia dentro del vocabulario norteamericano, respectivamente. El nombramiento de las bandas parte desde la letra "C" en la parte inferior del hemisferio Sur hasta la letra "X" en la parte superior del hemisferio Norte. La banda N delimita el Norte (bandas igual a la letra "N" o letras posteriores a la letra "N" con respecto al orden del vocabulario) con el Sur (bandas con letras antecesoras a la letra "N" con respecto al orden del vocabulario). No existen bandas para las zonas polares.

En la **Figura 4-5** se detalla la distribución de Husos y Bandas del sistema UTM en todo el globo terráqueo.

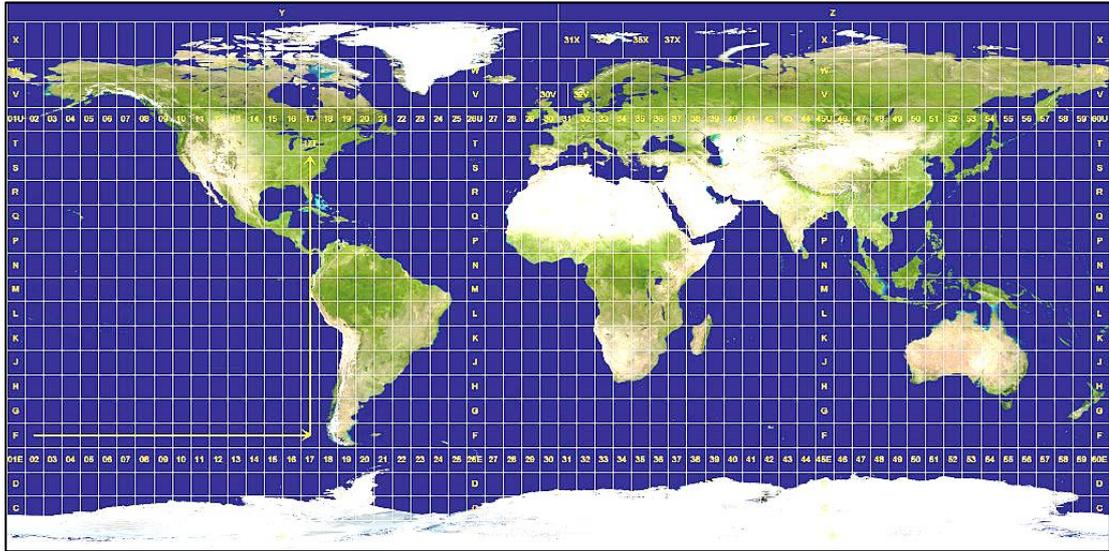


Figura 4 - 5: Distribución de Husos y Bandas del sistema UTM
Fuente: Elementos de proyección de mapas y su aplicación a la construcción de mapas y cartas, Washington: Secretaría de Estado de los Estados Unidos de América

Cabe señalar que Perú se encuentra en tres husos: 17, 18 y 19 (zona Este), y en tres bandas: K, L y M (hemisferios Sur). En la **Figura 4-6** se detalla la distribución de Husos del sistema UTM en el Perú.



Figura 4 - 6: Distribución de Husos del sistema UTM en Perú
Fuente: Instituto Geográfico Nacional (IGN)

4.4 Diseño Geométrico de Vía

4.4.1 Generación del Eje o Ruta

La generación del eje o ruta de la vía se logra gracias a la ayuda del Google Earth Pro. En este se puede ubicar la zona del proyecto y generar el eje de la vía mediante

la herramienta “añade una ruta”. Asimismo, se puede añadir mediante la herramienta “marcas de posición”, la ubicación de las obras principales que componen el proyecto. En la **Figura 4-7** se observa una vista de la ruta diseñada de la Vía Expresa Sur en GE. Cabe señalar que la ruta de la vía coincide con lo estipulado por la MML. Luego de ello, se guardará dicha ruta como archivo KMZ (tipo de archivo común de GE), el cual permite empaquetar puntos geográficos de manera sencilla. Finalmente, se deberá extraer la información geodésica de la zona referenciado al sistema de proyección UTM. Para esto es necesario utilizar los puntos de posición de las obras principales a fin de extraer las coordenadas UTM de estos puntos y, de esta manera, georeferenciar el proyecto. Para poder visualizar las coordenadas geodésicas de diversos puntos de manera ordenada en una hoja Excel es necesario guardar el proyecto de GE con una extensión KML (del acrónimo en inglés Keyhole Markup Language). Posteriormente, mediante la ayuda del siguiente enlace: <http://www.monster.com.tw/kml2csv>, se logra convertir un archivo KML a un archivo Excel con los puntos y sus coordenadas correspondientes a cada marca de posición creada. En la **Tabla 4-1** se detalla los puntos de posición de las obras principales así como sus coordenadas geodésicas (latitud – longitud) y las coordenadas UTM (Zona – “X” – “Y”), estas últimas se obtienen mediante la transformación de la latitud y la longitud arrojados en el Excel.

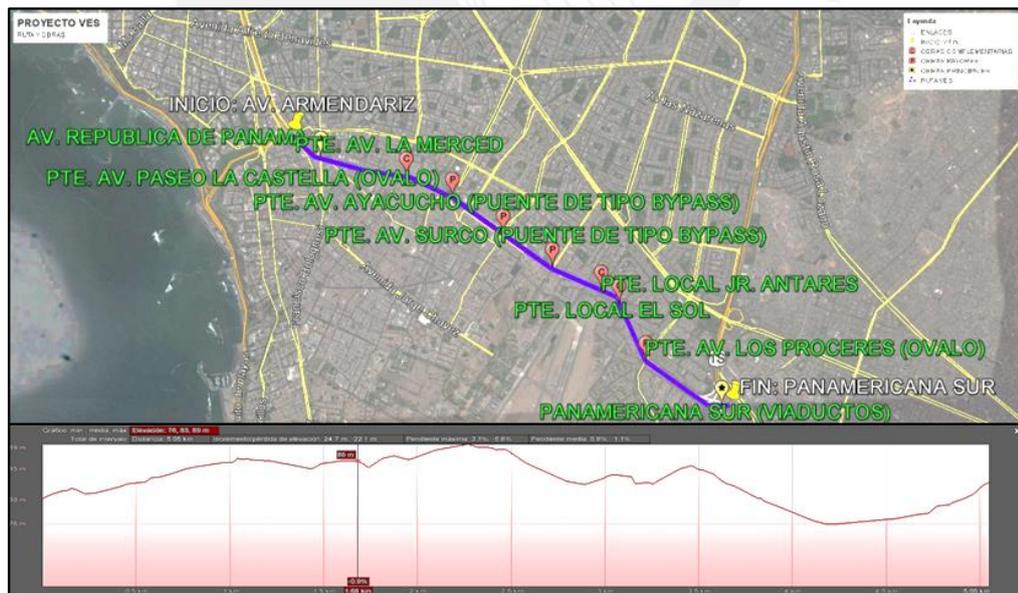


Figura 4 - 7: Generación de la ruta en Google Earth
Fuente: Elaboración propia

Tabla 4 - 1: Coordenadas de las obras principales
Fuente: Elaboración propia

Obra	Coordenadas Geodésicas		Coordenadas UTM – Elipsoide WGS-84		
	Latitud	Longitud	Zona	X	Y
INICIO: AV. ARMENDARIZ	-12.1341244	-77.0203504	18L	280134.00 m. E	8657800.01 m. S
FIN: PANAMERICANA SUR	-12.1569967	-76.9826496	18L	284256.77 m. E	8655299.57 m. S
AV. REPUBLICA DE PANAMA	-12.1358904	-77.0178654	18L	280405.99 m. E	8657606.62 m. S
PTE. AV. PASEO LA CASTELLA (OVALO)	-12.1393658	-77.0065305	18L	281642.81 m. E	8657231.22 m. S
PTE. AV. AYACUCHO (PUENTE DE TIPO BYPASS)	-12.1424731	-77.002168	18L	282120.25 m. E	8656890.91 m. S
PTE. AV. SURCO (PUENTE DE TIPO BYPASS)	-12.1452858	-76.9979372	18L	282583.11 m. E	8656583.10 m. S
PTE. AV. LOS PROCERES (OVALO)	-12.1532207	-76.9898973	18L	283464.76 m. E	8655711.59 m. S
PANAMERICANA SUR (VIADUCTOS)	-12.1570199	-76.9833495	18L	284180.6 m. E	8655296.45 m. S
PTE. AV. LA MERCED	-12.1376193	-77.010492	18L	281210.11 m. E	8657421.27 m. S
PTE. LOCAL JR. ANTARES	-12.1472357	-76.9937296	18L	283042.73 m. E	8656370.71 m. S
PTE. LOCAL EL SOL	-12.1483877	-76.9922055	18L	283209.58 m. E	8656244.47 m. S

4.4.2 Generación del modelo digital de la topografía del terreno

Por lo general, la generación de la ruta o eje de la vía es posterior a la generación del modelo digital del terreno; sin embargo, este último se realizará al final debido a que es más sencillo ubicar el lugar del proyecto y definir la zona topográfica en Global Mapper cuando el eje ya ha sido construido. A continuación, se detallará los pasos para obtener el modelo digital de la superficie.

4.4.2.1 Utilización de Global Mapper

La función de GM será la de extraer la data de elevación necesaria para la creación de la superficie en Autocad Civil 3D. Para lograr este objetivo se debe seguir el siguiente procedimiento:

a) Configuración respecto a la zona UTM

Como se observa en la **Figura 4-8**, en la página de inicio del programa se visualiza 4 opciones:

- Open Your Own Data Files (Abrir archivo de proyecto)
- Download Free Maps/Imagery from Online Sources (Descargar mapas gratis de fuentes online)
- Display Settings/Projection (Mostrar configuración y tipo de proyección)

- Load Sample Data (Cargar Data de muestra)

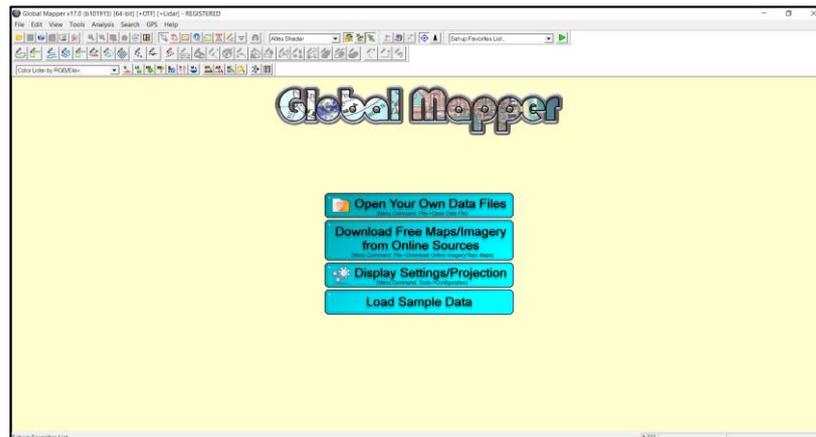


Figura 4 - 8: Opciones de la página de inicio de Global Mapper
Fuente: Elaboración propia

Dentro de estas opciones, se debe seleccionar primero “Display Settings/Projection” y se debe dirigir al fichero “Projection” a fin de configurar e indicar el tipo de proyección cartográfica que se empleará. En la **Figura 4-9** se observa la pantalla de configuración del GM donde se ha indicado lo siguiente:

- Proyección: UTM
- Zona: -18 (78° W- 72° W – South Hemisphere)
- Datum: WGS84 (referido a la Elipsoide WGS-84)
- Unidades: Metros

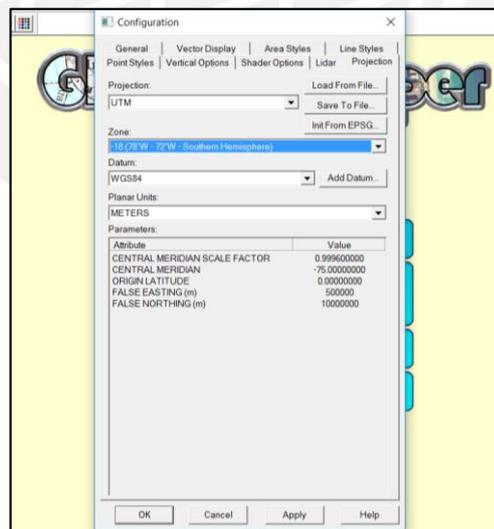


Figura 4 - 9: Configuración por zona geodésica en Global Mapper
Fuente: Elaboración propia

La zona -18 (78° W- 72° W – South Hemisphere) señalada en la configuración ha sido obtenida de la **Tabla 4-1**. Adicionalmente, se visualiza los parámetros que

involucran dicha zona en la proyección UTM. Finalmente, se selecciona la opción “OK”.

b) Abrir archivo KMZ del proyecto

Luego de la configuración, se deberá abrir el archivo KMZ que se guardó anteriormente en GE. Para esto, se selecciona la opción “Open Your Own Data Files”, la cual despliega una ventana donde se debe encontrar la ubicación del archivo para poder abrirlo como lo muestra la **Figura 4-10**. Finalmente, se selecciona la opción “Abrir”.

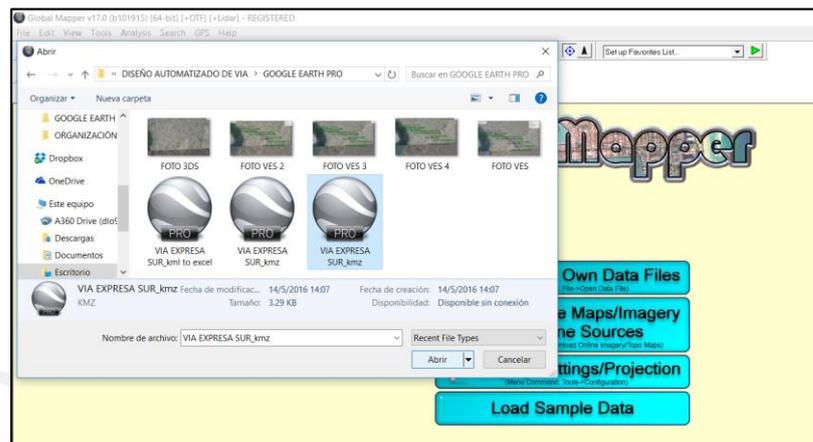


Figura 4 - 10: Apertura del archivo KMZ en Global Mapper
Fuente: Elaboración propia

Al abrir el archivo KMZ se debe encontrar la ruta que se construyó en GE y las obras señaladas mediante marcas de posición tal como lo muestra la **Figura 4-11**.

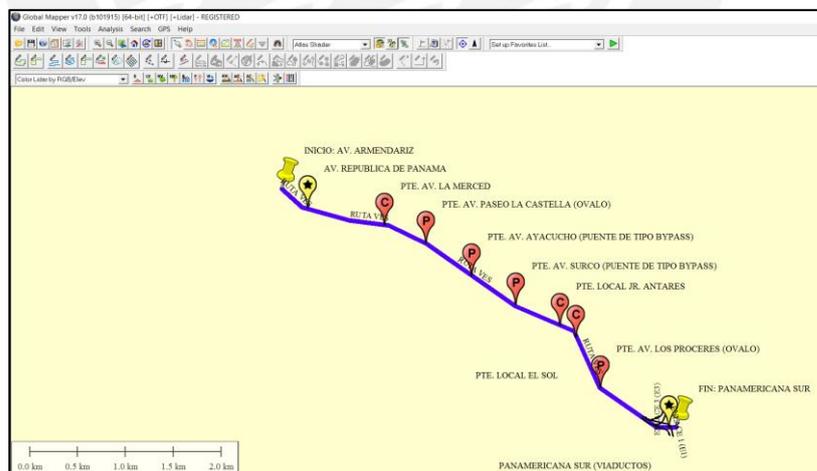


Figura 4 - 11: Apertura del archivo KMZ en Global Mapper
Fuente: Elaboración propia

c) Conexión con servicios de Data de Elevación Online

Como el objetivo de utilizar GM es obtener la superficie digital del terreno, lo que sigue en el proceso será extraer los puntos de elevación dentro de la zona en estudio. Para ello, GM establece conexiones online con fuentes de data de elevación, dentro

de las cuales una de las más populares viene a ser “ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data (1 arc-second Resolution)”.

- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Digital Elevation Model (ASTER GDEM) v2 Worldwide Elevation Data (1 arc-second Resolution): es un modelo digital de elevación de alta resolución que abarca casi todo el globo terráqueo. Fue desarrollado por el Ministerio de Economía, Comercio e Industria (METI) de Japón y la Administración Nacional de Aeronáutica y del Espacio de Estados Unidos (NASA). Este modelo se genera a partir de datos originados por las emisiones térmicas y reflexiones radiométricas (ASTER) obtenidas de estaciones espaciales.

Para realizar la conexión se necesita seleccionar la opción “Download Online Data” (1) que se encuentra en la barra de menú en GM. Esta opción está representada mediante un icono con la imagen de la Tierra ().

Luego de seleccionar esta opción, se desplegará una ventana que solicita indicar el tipo de fuente con el cual se realizará la conexión. Dentro de estas fuentes se encuentra “ASTER GDEM v2 Worldwide Elevation Data (1 arc-second Resolution)”, la cual será seleccionada (2) y conectada mediante la opción “Connect” (3). Este proceso se puede visualizar en la **Figura 4-12**. La **Figura 4-13** muestra el proyecto en GM al finalizar la conexión.

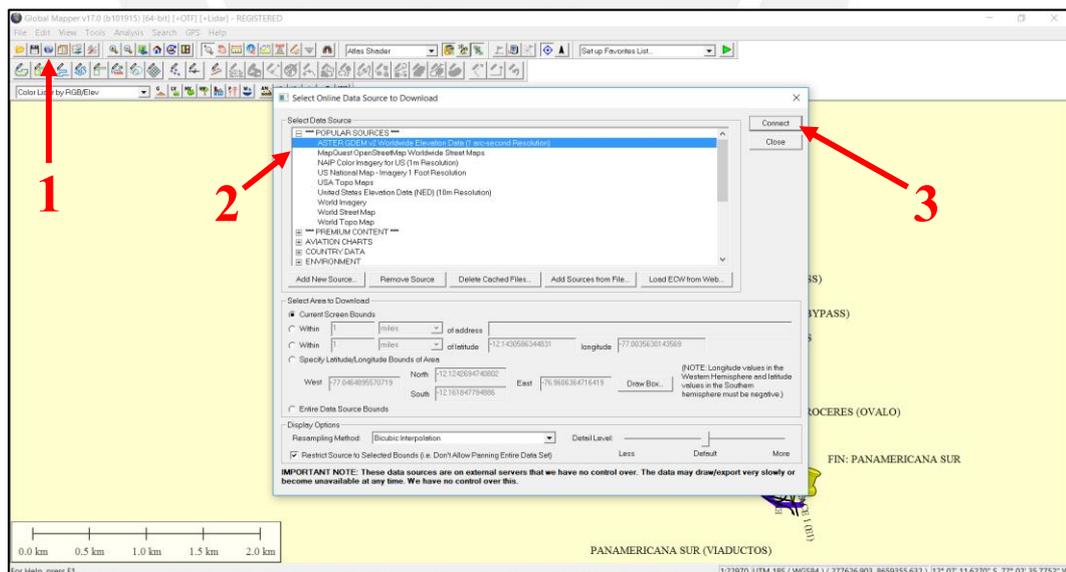


Figura 4 - 12: Procedimiento para la conexión con Data de Elevación Online
Fuente: Elaboración propia

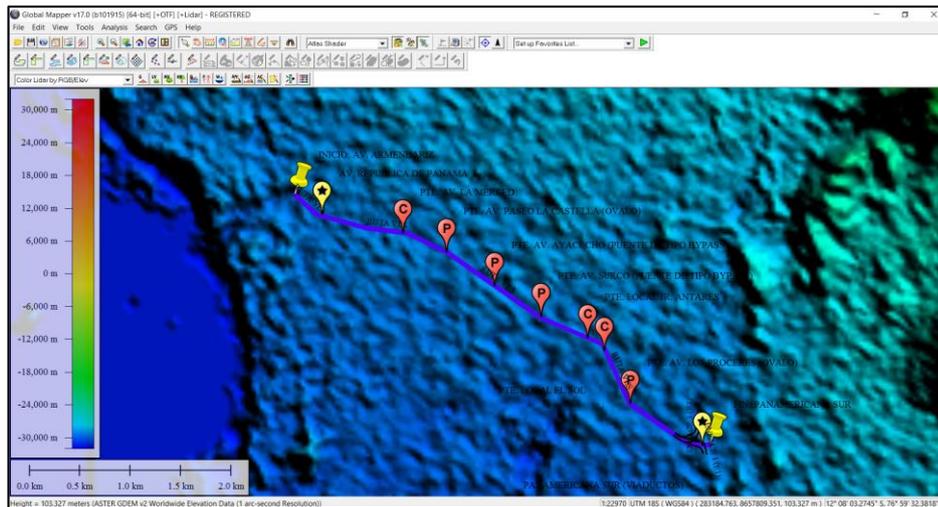


Figura 4 - 13: Proyecto en GM establecida la conexión con Data de Elevación Online

Fuente: Elaboración propia

d) Generación de líneas de nivel a partir de superficie de terreno

Cuando se haya establecido la conexión con la fuente de data de elevación, se procede a la generación de curvas de nivel que asemejen la superficie del terreno. Para esto, en la barra menú, se selecciona la opción “Analysis” (1). Luego de ello, dentro de las opciones de “Analysis”, se selecciona la opción “Generate Contours (from Terrain Grid)” (2). Se desplegará una ventana de opciones para las curvas de nivel donde se debe indicar el intervalo entre las curvas de nivel (3), para este caso se optará por curvas de nivel cada 0.50 metros. Finalmente, se da clic en “OK” (4) para confirmar el ajuste. Este proceso se puede visualizar en la **Figura 4-14**.

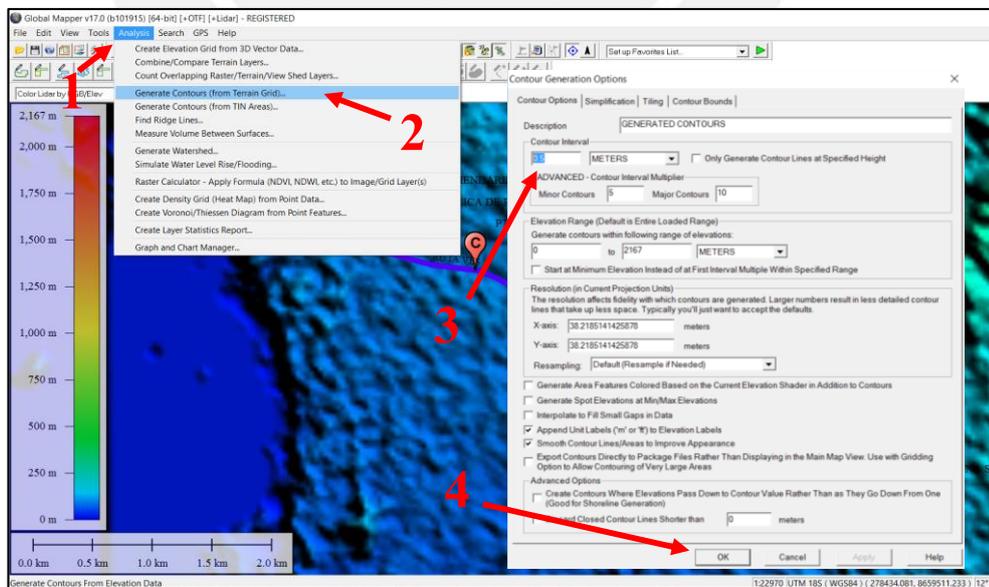


Figura 4 - 14: Procedimiento para la generación de curvas de nivel

Fuente: Elaboración propia

e) Exportación de archivo en formato DWG

Para finalizar con el uso del GM, se debe exportar el proyecto con las curvas de nivel a un formato DWG a fin de que se pueda importar en el AC3D. Para ello, se debe desplegar las herramientas de la opción “File”, que se encuentra ubicado en la barra de menú, y seleccionar la opción “Export” (1). Luego de ello, se optará por exportar el proyecto con la opción “Export Vector/Lidar Format” (2), el cual permite transformar el proyecto a un archivo DWG. Se desplegará una ventana a fin de elegir el tipo de formato para exportar (DWG) y se dará clic en “OK” (3). Aparecerá una pantalla sobre una advertencia que señala que el archivo será exportado con referencia al tipo de proyección señalado en la configuración, se dará clic en “OK” (4). Se desplegará otra ventana donde se debe indicar el tipo de versión del formato DWG para exportar, para este caso se optará por seleccionar la opción “R27 (Autocad 2013)” (5) debido a que la versión de AC3D es superior y compatible a dicho formato. Se dará clic en “OK” y aparecerá una ventana que pide indicar la ubicación donde será guardado el proyecto. Finalmente, se dará clic en “Guardar” (6). Este proceso se puede visualizar en la **Figura 4-15**.

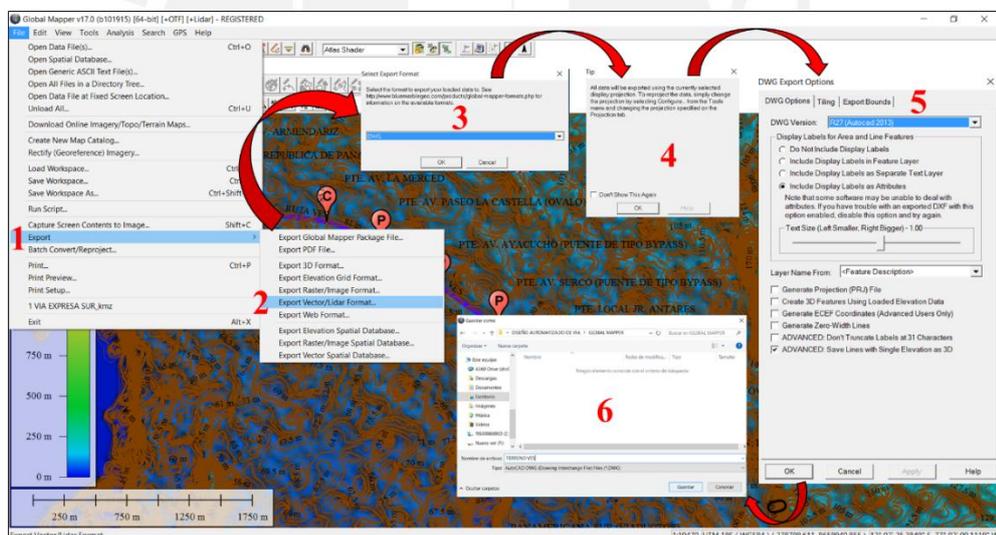


Figura 4 - 15: Procedimiento para la exportación de archivo en formato DWG
Fuente: Elaboración propia

4.4.2.2 Configuraciones iniciales del AC3D

Para la creación de la superficie en el AC3D, se debe abrir el archivo DWG creado en el GM. Al abrir el archivo DWG en AC3D (Metric) se puede observar que la configuración métrica (unidad: metros) ha sido modificada a una configuración Imperial (unidad: pie) debido a que GM es un programa que funciona con los estándares estadounidenses. Para volver a la configuración métrica se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Abrir una plantilla del AC3D Metric.
- 2 Copiar toda la información extraída del GM (curvas de nivel, cotas, ruta, obras principales, etc.) en el archivo DWG.
- 3 Escribir “PASTEORIG” en la línea de comandos de la plantilla AC3D Metric a fin de pegar las curvas de nivel con respecto a su origen de coordenadas.
- 4 Guardar el proyecto en la ubicación de preferencia.

Luego de pasar a la configuración métrica, se debe georeferenciar el proyecto en el AC3D, para ello se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Ubicar la herramienta “Toolspace”.
- 2 Abrir la pestaña “Setting” (configuración).
- 3 Clic derecho en el nombre del proyecto y seleccionar “Edit Drawing Settings”.
- 4 Seleccionar en la sección “Categories” la proyección cartográfica a utilizar: UTM, WGS84 Datum.
- 5 Seleccionar en la sección “Available coordinate systems” la zona donde se ubica el proyecto: UTM-WGS 1984 datum, Zone 18 South, Meter; Cent. Meridian 75d W.
- 6 Clic en “Aceptar”.

La **Figura 4-16** muestra la pestaña “Drawing Settings” con la información necesaria para georeferenciar el proyecto.

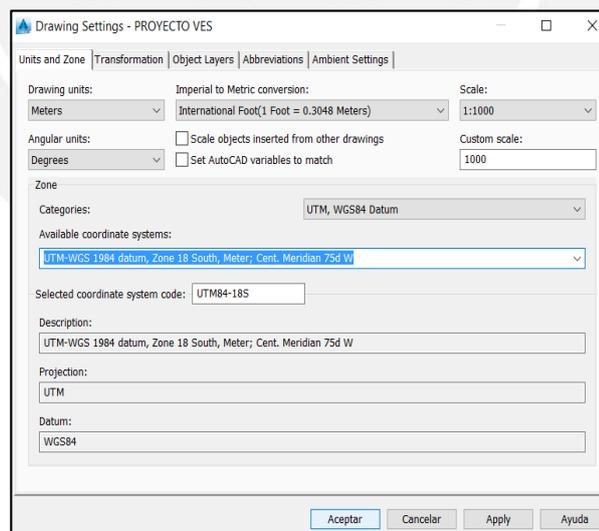


Figura 4 - 16: Configuración de zona del proyecto
Fuente: Elaboración propia

4.4.2.3 Creación de superficie TIN

Para crear y definir la superficie del terreno en el AC3D se debe realizar los siguientes pasos:

- 1 Ubicar la herramienta “Toolspace” y abrir la pestaña “Prospector”.

- 2 Clic derecho en la opción "Surface" y seleccionar "Create Surface" (A).
- 3 Seleccionar el tipo de superficie: TIN Surface.
- 4 Seleccionar la capa de la superficie: C-TOPO.
- 5 Nombrar la superficie en la sección "Name": VES TERRENO EXISTENTE.
- 6 Seleccionar el estilo de la superficie y del material de la superficie: CURVAS SECUNDARIAS A 1m_MAESTRAS A 5m. Clic en "OK" (B).
- 7 Apagar todas las capas a excepción de la capa de las curvas de nivel.
- 8 Clic en el icono (+) al costado izquierdo de la opción "Surface" en la ficha Prospector.
- 9 Clic en el icono (+) al costado izquierdo de la superficie creada "VES TERRENO EXISTENTE".
- 10 Clic en el icono (+) al costado izquierdo de la opción "Definition".
- 11 Clic derecho en la opción "Contours" y clic en "Add" (C).
- 12 Colocar una descripción: CURVAS DE NIVEL.
- 13 Dejar las opciones de "Weeding factors" y "Supplementing factors" con los valores predeterminados. Clic en "OK" (D).
- 14 Seleccionar todas las curvas de nivel y teclear "ENTER" (E).
- 15 Se despliega una pestaña con los múltiples errores pero como se observa los errores no poseen gran relevancia debido a su poco descuadre a las curvas de nivel originales.
- 16 Clic en "✓" de la pestaña con los errores (F).
- 17 Apagar la capa de los contornos del GM mediante el comando "LAYOFF".
- 18 Prender la capa de la ruta y las obras principales (G).

La **Figura 4-17** muestra el procedimiento de la creación de la superficie TIN.

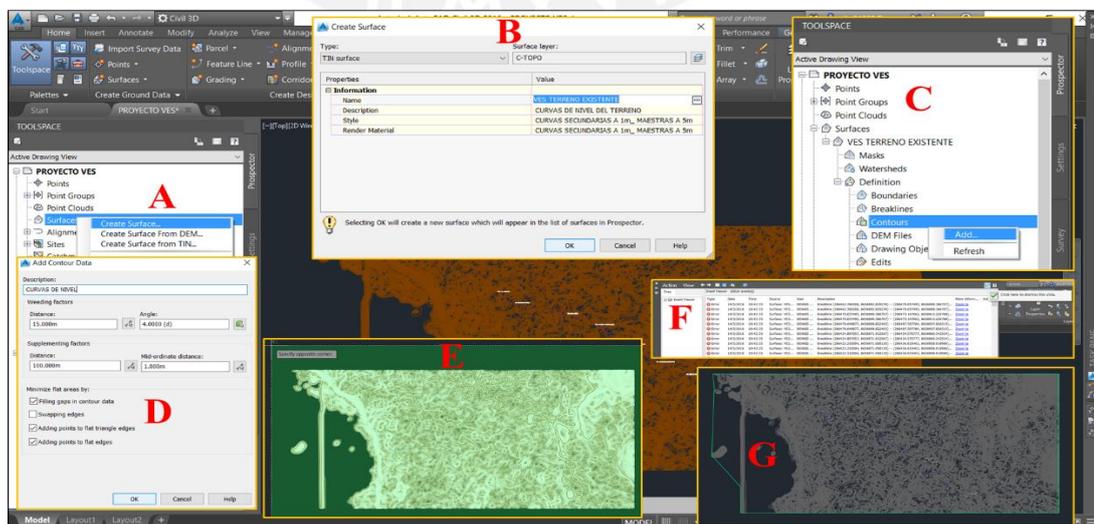


Figura 4 - 17: Procedimiento para la creación de la superficie TIN en AC3D
Fuente: Elaboración propia

4.4.2.4 Generación de imagen satelital en el proyecto

Una vez creada la superficie, a fin de poseer una mejor presentación del proyecto, se puede implementar una imagen satelital de la zona mediante la integración que posee AC3D (2016) con BIM MAPS. Para ello, se debe ingresar con un usuario y contraseña de la comunidad Autodesk 360 en el AC3D, los cuales pueden ser creados sin mayor complejidad. Una vez ingresado un usuario, se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Ubicar la herramienta “Geolocation”.
- 2 En la opción “Online Map” dar clic en la flecha debajo de “Map Off” y seleccionar “Map Aerial”.

La **Figura 4-18** muestra el procedimiento de la generación de la imagen satelital.

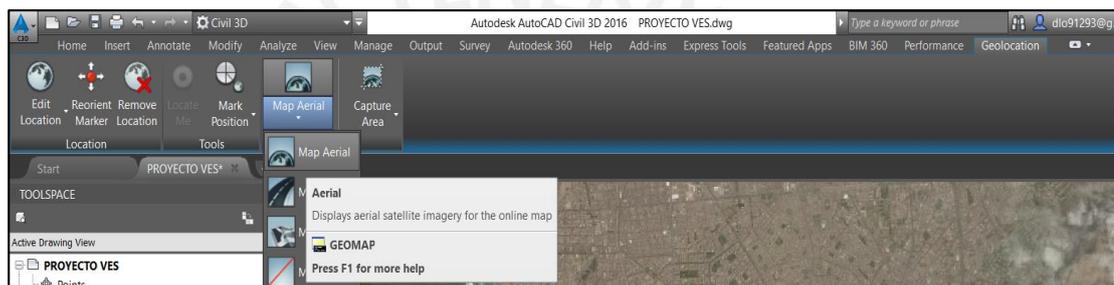


Figura 4 - 18: Procedimiento para generar imagen satelital
Fuente: Elaboración propia

Como se observa las superficie creada abarca ciertas partes que no son de interés en el diseño del proyecto, por tal motivo delimitaremos la zona de interés mediante la creación de un elemento rectángulo. Para ello, se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Delimitar el proyecto entre dos puntos opuestos (punto 1 y 2) y crear un elemento rectángulo entre estos dos puntos.
- 2 Ir a la pestaña “Prospector” y dar clic derecho en la superficie creada.
- 3 Seleccionar la opción “Surface Properties” y en la sección de “Surface Style” seleccionar “No Display” (A).
- 4 Clic en “OK” o “Aceptar” para apagar la capa de la superficie (B).
- 5 Apagar las capas de la ruta y las obras principales mediante el comando “LAYOFF”.
- 6 Ubicar la herramienta “Geolocation” y en la opción “Capture Area” dar clic en la flecha debajo y seleccionar “Capture Area” (C).
- 7 El programa pedirá seleccionar un área delimitada para lo cual se seleccionara el rectángulo creado. De esta manera la imagen del proyecto será capturada y guardada dentro del mismo.

- 8 Ubicar la herramienta “Geolocation” y en la opción “Online Map” dar clic en la flecha debajo de “Map Aerial” y seleccionar “Map Off” (D).
- 9 Como se observa la calidad de la imagen no es óptima. Para mejorar la calidad de la imagen dar clic en el área de la imagen satelital.
- 10 En la opción “Properties” que se despliega en la barra de menú, dar clic en la flecha debajo de “Optimal” y seleccionar la opción “Very Fine” (E).
- 11 Para recortar la superficie dentro del área de interés, se debe crear una nueva superficie, como en el procedimiento descrito anteriormente (Nombre: VISTA DEL TERRENO EXISTENTE). Esta será la superficie que será exportada al 3DMD.
- 12 Para definir la superficie, ir a la opción “Definition” en la superficie creada dentro de la pestaña “Prospector”.
- 13 Clic derecho en “Edits”, escoger “Paste Surface” y seleccionar la primera superficie creada (VES TERRENO EXISTENTE) (F). Clic en “OK” (G).
- 14 Para delimitar las curvas de nivel dentro del área de interés dar clic derecho en la “Boundaries” dentro de “Definition” y dar clic en “Add” (H).
- 15 Nombrar dentro de la sección “Name” el límite a crear: “LIMITE”, y dar clic en “OK” (I).
- 16 El programa pedirá seleccionar el límite, para lo cual se debe dar clic al rectángulo que limita la imagen satelital y teclear “ENTER”. De esta manera las curvas de nivel han sido delimitadas por el área de la imagen satelital.

La **Figura 4-19** muestra el procedimiento para crear la superficie limitada por el área de la imagen de la imagen satelital.

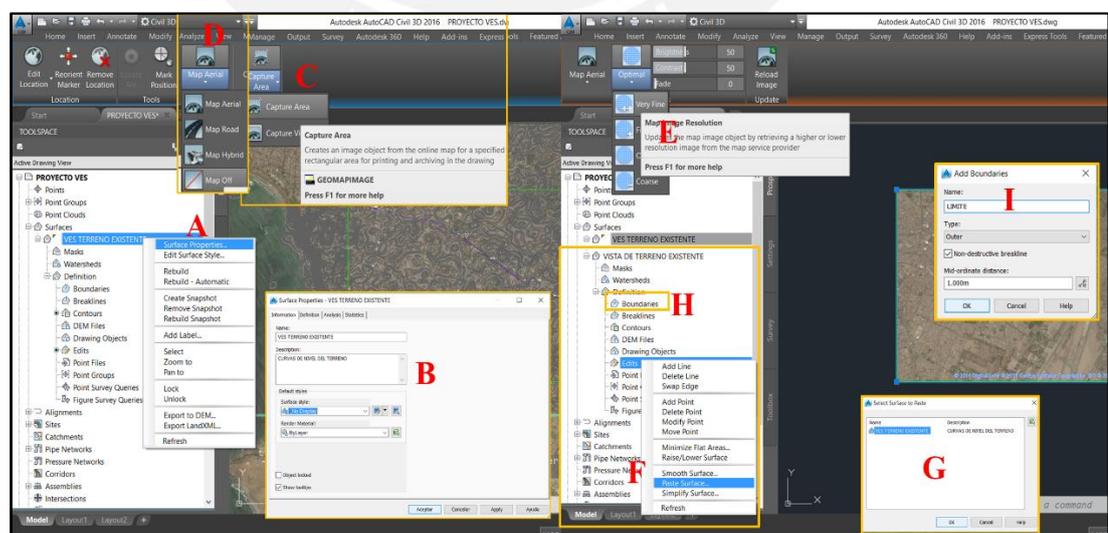


Figura 4 - 19: Procedimiento para crear una superficie limitada
Fuente: Elaboración propia

4.4.3 Diseño en Planta

El diseño en planta se basa en la creación del alineamiento horizontal, para lo cual la ruta creada en GE servirá como guía para su creación.

4.4.3.1 Creación de Alineamiento Horizontal a partir del Eje

El diseño del alineamiento horizontal seguirá los siguientes pasos:

- 1 Apagar la capa de la superficie "VISTA DEL TERRENO EXISTENTE".
- 2 Prender la capa de la ruta y las obras principales.
- 3 Crear una polilínea que siga la ruta de la VES creada en GE.
- 4 En la barra de menú, desplegar las opciones de "Alignment" de la sección "Create Design". Seleccionar "Create Alignment from Objects" (A).
- 5 Seleccionar la polilínea, teclear "ENTER" y teclear "ENTER" para confirmar el sentido de la ruta.
- 6 Asignar las características mostradas en la Figura 4-21 al alineamiento (B Y C).
- 7 Para editar las componentes del alineamiento horizontal, seleccionar el alineamiento creado y, en la ventana emergente, seleccionar "Geometry Editor" (D).
- 8 Generar los elementos de diseño (curva circular - espiral) que se adapten al diseño en planta.
- 9 En la ventana que se despliega, seleccionar la opción "Alignment Grid View" para visualizar todos los elementos de diseño del alineamiento horizontal (E).
- 10 Para añadir una tabla de elementos de curvas, se debe seleccionar el alineamiento y en la barra "Labels & Tables" desplegar las opciones de "Add Labels" (F).
- 11 Seleccionar "Add Alignment Labels" y completar la tabla con los siguientes datos (G):
 - Feature: Alignment
 - Label type: Multiple Segment
 - Line label style: Bearing over Distance
 - Curve label style: Delta over Length & Radius
 - Spiral label style: Length Station and A Value
- 12 Clic en "Add" y clic en el alineamiento (se etiquetarán todos los elementos del alineamiento). Cierre la ventana "Add Labels" (H).
- 13 Seleccione el alineamiento nuevamente y en la barra "Labels & Tables" desplegar las opciones de "Add Tables". Seleccionar "Add Segments" (I).

- 14 Seleccionar un estilo a la tabla en "Table style" y en el recuadro "Select by label or style", seleccionar el icono  (J).
- 15 Seleccionar todas las etiquetas mostradas en el alineamiento y teclear "ENTER".
- 16 Aparece la ventana "Create Table-Convert Child Styles", indicando que todas las etiquetas de las curvas se convertirán a datos de tabla. Clic en la opción "Convert..." y clic en "OK" de la ventana "Table Creation".
- 17 Clic en un punto en el espacio para insertar la tabla (K).

La **Figura 4-20** muestra el procedimiento de creación del alineamiento horizontal y la **Figura 4-21** detalla el proceso para la obtención de una tabla con datos del alineamiento.

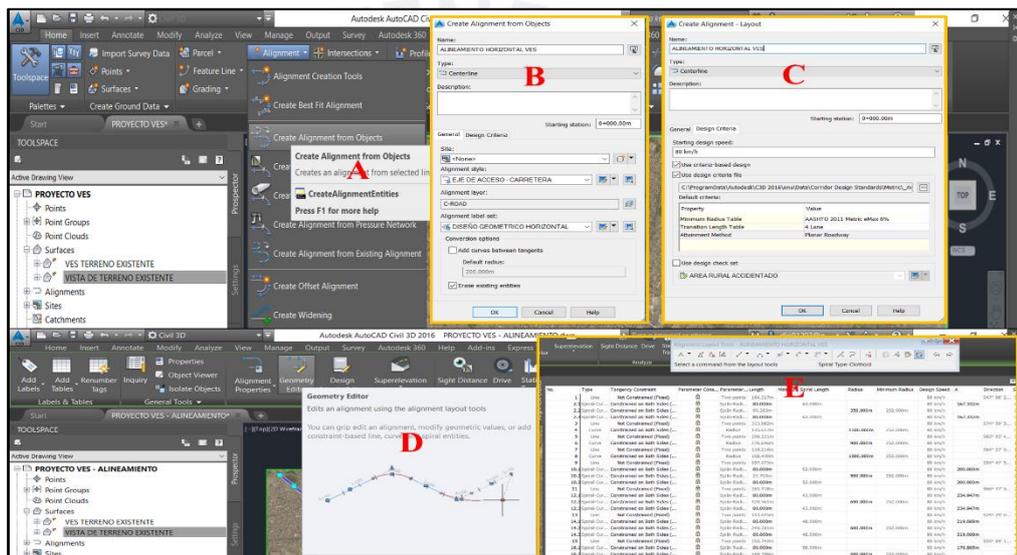


Figura 4 - 20: Creación de alineamiento horizontal
Fuente: Elaboración propia

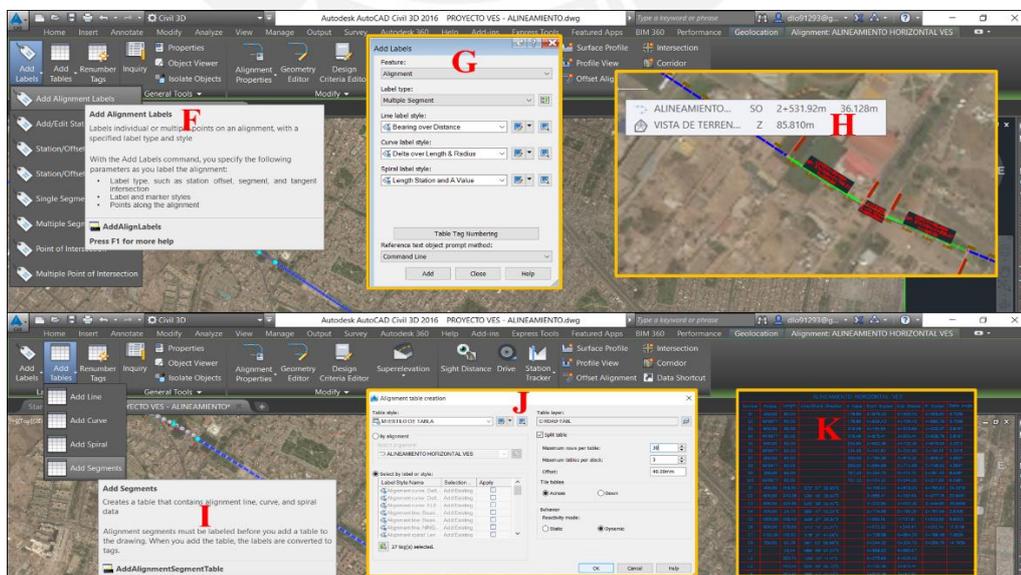


Figura 4 - 21: Creación de tabla con datos de alineamiento
Fuente: Elaboración propia

4.4.3.2 Regulación de Elementos de Alineamiento Horizontal

La regulación que se dará a los elementos de diseño será mediante el cálculo de los parámetros geométricos competentes al diseño en planta. Para ello, se realizó una hoja Excel donde se puede pegar los datos del AH mostrados en la ventana de “Alignment Grid View”, definir los parámetros según norma y realizar los cambios necesarios para los elementos guarden concordancia con la norma. Para abrir la ventana “Alignment Grid View” se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar el alineamiento creado y, en la ventana emergente, seleccionar “Geometry Editor”.
- 2 En la ventana que se despliega, seleccionar la opción “Alignment Grid View” para visualizar todos los elementos de diseño del alineamiento horizontal.
- 3 Dar clic derecho dentro de la Tabla y seleccionar la opción “Copy All”.
- 4 Pegar la data en el Excel diseñado en base a la normativa.
- 5 Realizar la comparación y regulación con la normativa para el diseño geométrico en planta.

4.4.4 Diseño en Perfil

El diseño en perfil se basa en la creación del alineamiento vertical, para lo cual se proyectará el AH sobre la superficie del terreno y se diseñará la línea de subrasante y rasante en base a esta.

4.4.4.1 Creación del Perfil del Terreno

Para crear el perfil del terreno se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 En el menú “Home”, barra “Create Design”, seleccionar “Profile” – “Create Surface Profile”.
- 2 Se despliega la ventana “Create Profile from Surface” (A).
- 3 Seleccionar el alineamiento, la superficie a utilizar y dar clic en “Add >>”. Para este caso utilizaremos la primera de las dos superficies (VES TERRENO EXISTENTE) creadas ya que no existe distinción entre la superficie a generar con cualquiera de estas (B).
- 4 Se crea el perfil en la parte de “Profile list”.
- 5 Clic en “Draw in profile view” para insertar el perfil en el espacio de trabajo.
- 6 Definir un estilo en “Profile View Style” (C).
- 7 Clic en “Create Profile view” y clic en un espacio libre dentro del dibujo (D).

La **Figura 4-22** muestra el procedimiento de creación del perfil del terreno.

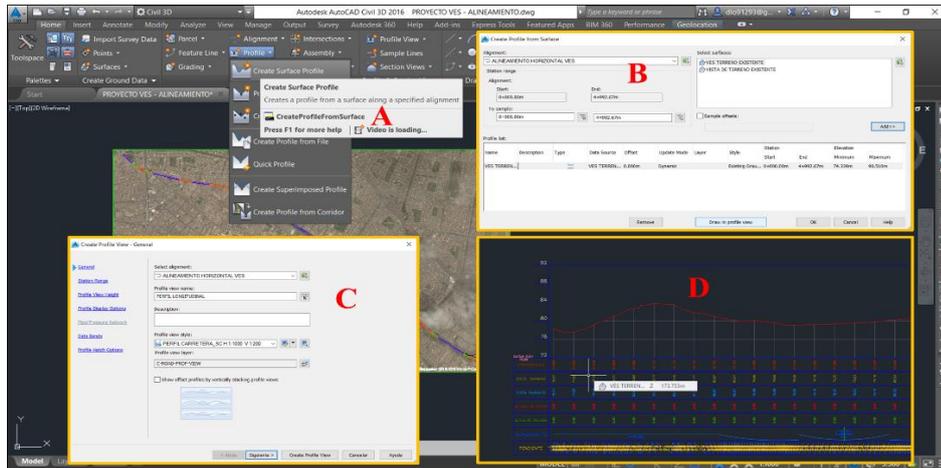


Figura 4 - 22: Creación del perfil del terreno
Fuente: Elaboración propia

4.4.4.2 Creación de la Subrasante

Para crear la línea de subrasante se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar el perfil creado y, en la barra de menú, seleccionar “Profile Creation Tools” (A). Se despliega la ventana “Create Profile” (B).
- 2 En la sección “Name” nombrar el perfil: SUBRASANTE, definir un estilo y las etiquetas para la subrasante en las secciones “Profile style” y “Profile label set” correspondientemente (B). Ir a la ficha “Design Criteria” y elegir la norma AASHTO-2011 (C). Clic en “OK”.
- 3 En la ventana “Profile Layout Tools”, desplegar las opciones del primer icono y seleccionar “Draw Tangents With Curves”. Sobre la vista de perfil, se designa los puntos de intersección verticales (PIV) (D). Al finalizar la edición presionar “ENTER” (E).

La **Figura 4-23** muestra el procedimiento de creación del perfil de la Subrasante.

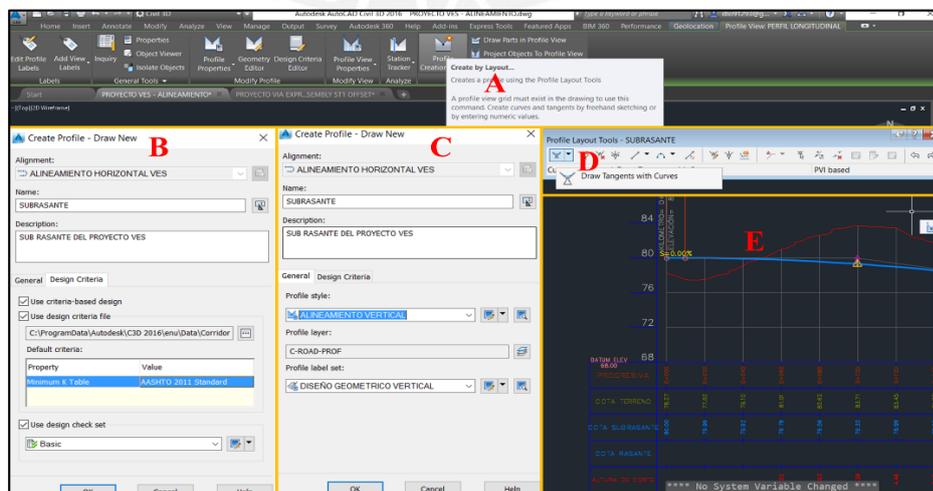


Figura 4 - 23: Creación del perfil de la subrasante
Fuente: Elaboración propia

4.4.4.3 Cálculo de Elementos de Alineamiento Vertical

La regulación que se dará a los elementos de diseño será mediante el cálculo de los parámetros geométricos competentes al diseño en perfil. Para ello, se realizó una hoja Excel donde se puede pegar los datos del AV mostrados en la ventana de "Profile Grid View", definir los parámetros según norma y realizar los cambios necesarios para los elementos guarden concordancia con la norma. Para abrir la ventana "Profile Grid View" se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar la línea de SUBRASANTE creado y, en la ventana emergente, seleccionar "Geometry Editor".
- 2 En la ventana que se despliega, seleccionar la opción "Profile Grid View" para visualizar todos los elementos de diseño de la línea de SUBRASANTE.
- 3 Dar clic derecho dentro de la Tabla y seleccionar la opción "Copy All" y pegar en la hoja Excel creada.
- 4 Realizar la comparación y regulación con la normativa para el diseño geométrico en perfil.

4.4.4.4 Creación de la Rasante

Para crear la línea de rasante se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar la línea de SUBRASANTE creada y, en la ventana emergente en la sección "Modify Profile", seleccionar "Geometry Editor" (A).
- 2 En la ventana "Profile Layout Tools", seleccionar "Copy Profile" (B).
- 3 En la ventana "Copy Profile Data", seleccionar "All" en la sección "PVI Range" y seleccionar "Create new profile" en la sección "Destination profile options".
- 4 En la sección "Source profile information" seleccionar el perfil a copiar: SUBRASANTE. Clic en "OK" (C).
- 5 Observar que en la ventana "Toolspace" aparece una copia del alineamiento vertical SUBRASANTE: SUBRASANTE (Copy); sin embargo, este no se nota en la vista de perfil debido a que esta superpuesto a la SUBRASANTE.
- 6 Para diferenciar los dos perfiles, dar clic derecho en SUBRASANTE (Copy) y seleccionar "Properties". Cambiar de nombre a RASANTE y cambiar de estilo.
- 7 Seleccionar la línea de RASANTE creada y, en la ventana emergente en la sección "Modify Profile", seleccionar "Geometry Editor".
- 8 En la ventana "Profile Layout Tools", seleccionar "Raise/Lower PVIs" para mover las cotas de los PVI's (D).
- 9 En la ventana "Raise/Lower PVI Elevation", ingresar el cambio de elevación.
- 10 El cambio de elevación corresponde al total de profundidad por el pavimento escogido, que será igual a 0.35 cm. (0.20 + 0.15).

- 11 Carpeta de rodadura: Concreto hidráulico (profundidad = 20 cm).
- 12 Subbase: Grava arenosa (profundidad = 15 cm).
- 13 Clic en "All" en la sección "PVI Range" para aplicar la elevación a todos los PVI's y Clic en "OK" (E).

La **Figura 4-24** muestra el procedimiento de creación del perfil de la rasante.

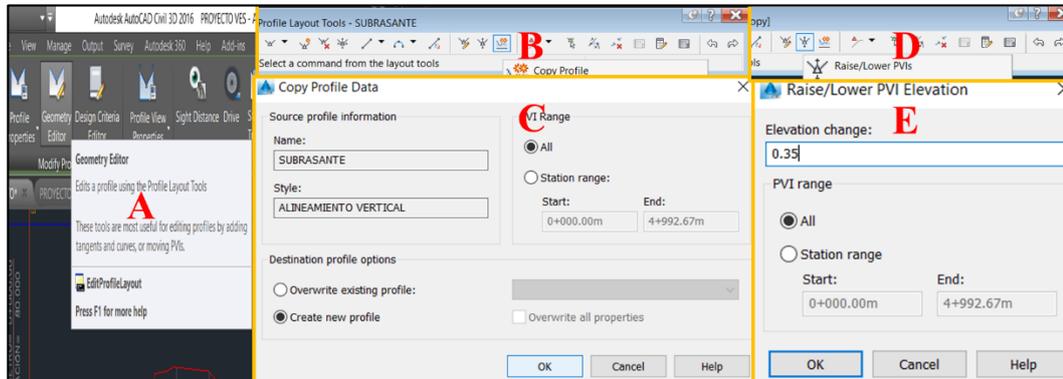


Figura 4 - 24: Creación del perfil de la rasante
Fuente: Elaboración propia

4.4.5 Generación de Sobranchos y peraltes

4.4.5.1 Creación de Sobranchos

Para crear los sobranchos correspondientes a cada curva (parte interior) se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar el eje de la vía. Luego dar clic en "Offset Alignment" (A).
- 2 Se despliega la ventana "Create Offset Alignment", donde se debe ingresar los desfases de ambos lados del eje (distancia del eje central al borde exterior de la calzada = 19.30 metros) (B y C).
- 3 Se debe completar la tabla con respecto a la Figura 4-26. Clic en "OK" (D).

La **Figura 4-25** muestra el procedimiento de creación de los sobranchos.

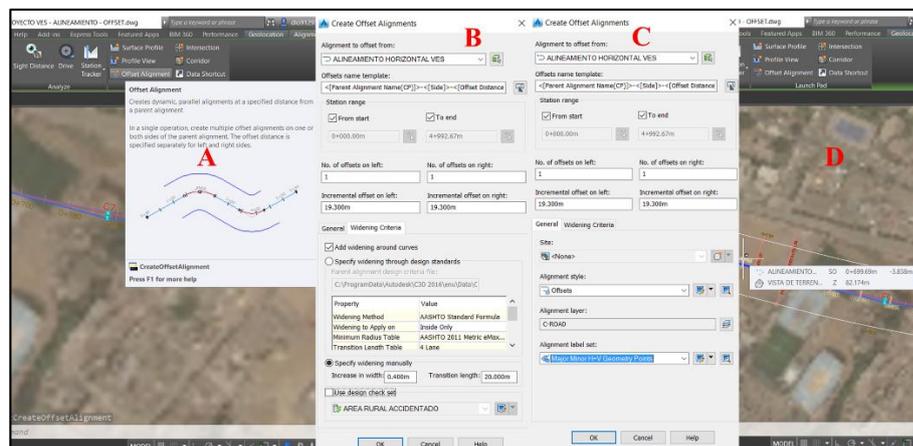


Figura 4 - 25: Creación de sobranchos
Fuente: Elaboración propia

Para editar los sobrecanchos creados se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar un offset y, en la barra de herramientas, seleccionar "Offset Parameters".
- 2 En la ventana "Offset Alignment Parameters" puede editar el ensanchamiento y/o longitud de transición en cada curva.

4.4.5.2 Creación de Peraltes

Para crear los peraltes correspondientes a cada curva se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccione el eje de la vía. Desplegar la opción "Superelevation" en la barra de menú. Luego dar clic en "Calculate/Edit Superelevation" (A).
- 2 En la ventana desplegada "Edit Superelevation – No Data Exists". Clic en "Calculate superelevation now" (B).
- 3 En la ventana "Calculate Superelevation – Roadway type", seleccionar el tipo de calzada correspondiente al diseño (Divided Planar with Median) y el método de creación del peralte o eje a partir de donde se dará el peralte (Baseline). Clic en "Next" (C).
- 4 En la siguiente ventana, se deberá ingresar las características de la calzada. Si la sección es simétrica se deberá marcar el casillero "Simetric Roadway" e ingresar el número de carriles ("Number of lanes"). Luego, ingresar el ancho de carril ("Normal lane width") y el bombeo ("Normal lane slope"). Clic en "Next" (D).
- 5 Ingresar el ancho ("Normal shoulder width") y el bombeo ("Normal shoulder slope") de la berma. Clic en "Next" (E).
- 6 Seleccionar una tabla de peraltes, número de carriles, y método de definición de peraltes (F).
- 7 Active los casilleros suavizado de curvas ("Apply curve smoothing") y resolución automática de solapamientos ("Automatically resolve overlap"). Clic en "Finish" (G). Se mostrará la tabla de peraltes donde puede editar los valores.

La **Figura 4-26** muestra el procedimiento de creación de los peraltes.

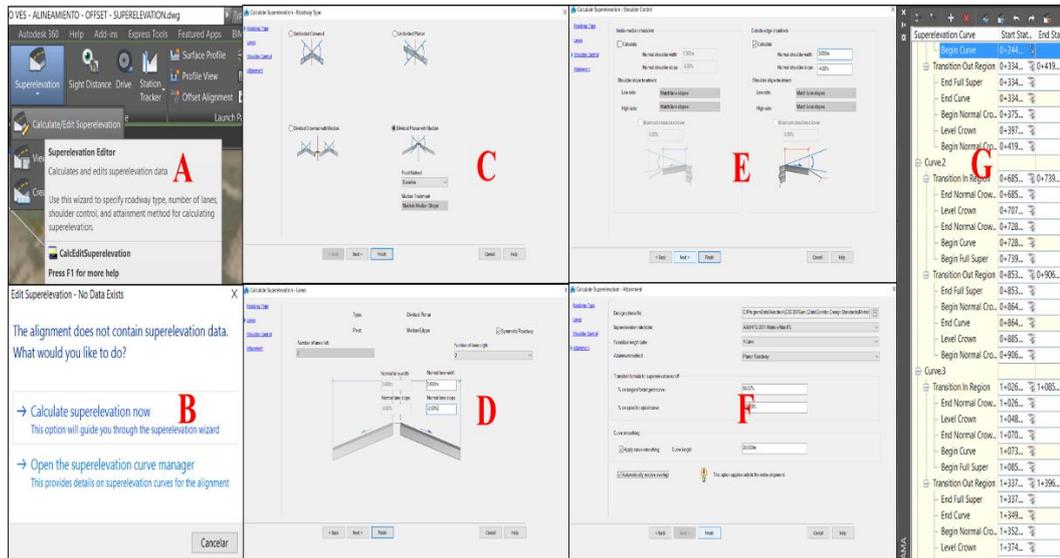


Figura 4 - 26: Creación de peraltes
Fuente: Elaboración propia

4.4.6 Generación de las Secciones Transversales

Para crear las secciones transversales se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 En el menú “Home”, barra “Create Design”, seleccionar “Assembly” – “Create Assembly”. Se despliega la ventana “Create Assembly”, donde se debe dar la siguiente información:
 - Name: SECCIÓN TIPICA VES
 - Description: 1 Median =17m , 3lanes = 3.60 m/lane (10.80 m TOTAL),1 Shoulder = 3.00 m, Cut/Fill slopes = 1:1/1.5:1
 - Assembly style: ENSAMBLAJE_CARRETERA
 - Code set style: All Codes
 - Assembly layer: C-ROAD-ASSM
- 2 Dar clic en “OK” y dar clic en un punto en el espacio donde será la línea central o línea base de la sección. Se obtendrá un símbolo de una marca.
- 3 Luego, se debe desplegar la herramienta “Tool palettes”, la cual se encuentra ubicada al costado de la herramienta “Toolspace”. Esta paleta de herramientas servirá para crear los subensamblajes (subsecciones) dentro de del assembly (sección total).
- 4 El diseño de la sección es usualmente creado desde el centro hacia la derecha, por lo cual se comenzará a construir a partir de la mediana y tendrá fin en el talud de corte y relleno. Para ello, se debe dirigir a la ficha “Medians” y seleccionar el subassembly “MedianDepressedShoulderExt”. Se mostrará un cuadro de diálogo “Properties”, en el cual se deberá establecer los siguientes valores:
 - Ditch Width: 0.60 m.

- Ditch Slope: 4.00:1
- Centerline Pivot: Pivot about centerline
- Left Median Width: 8.50 m.
- Right Median Width: 8.50 m.
- Paved Shoulder Width: 0.50 m.
- Pave 1 Depth: 0.20 m.
- Subbase Depth: 0.15 m.

Finalmente, dar clic en la marca central de la sección creada.

- 5 Para construir los 3 carriles del lado derecho, primero se debe dirigir a la ficha "Lanes" y seleccionar el subassembly "LaneOutsideSuperWithWidening". Se mostrará un cuadro de diálogo "Properties", en el cual deberá establecer los siguientes valores:

- Side: Right
- Width: 3.60 m.
- Default Slope: -2.00%
- Pave1 Depth: 0.20 m.
- Subbase Depth: 0.15 m.

Finalmente, dar clic en el punto superior derecho de la mediana.

- 6 Luego de crear un carril del lado derecho, se seleccionará dicho carril y en la barra de herramientas (parte superior), se deberá elegir la opción "Copy". Dar un clic sobre el punto superior derecho del carril creado y se creará el segundo carril derecho. De igual manera se deberá proceder para la creación del tercer carril.
- 7 Para crear la berma lateral, primero se debe dirigir a la ficha "Shoulders" y seleccionar el subassembly "ShoulderExtendAll". Se mostrará un cuadro de diálogo "Properties", en el cual deberá establecer los siguientes valores:

- Side: Right
- Shoulder Width: 3.00 m.
- Default Slope: -4.00%
- Daylight Slope: 0:1
- Daylight Width: 0.05 m.
- Sub-base %Slope: -4.00%
- Pave1 Depth: 0.20 m.
- Subbase Depth: 0.15 m.

Finalmente, dar clic en el punto superior derecho del tercer carril creado.

8 Para crear los taludes de corte y relleno, primero se debe dirigir a la ficha “Basic” y seleccionar el subassembly “BasicSideSlopeCutDitch”. Se mostrará un cuadro de diálogo “Properties”, en el cual deberá establecer los siguientes valores:

- Side: Right
- Cut Slope: 1.0:1
- Fill Slope: 1.5:1
- Foreslope Slope: 0:1
- Foreslope Width: 0.00 m.
- Bottom Width: 0.00 m.
- Backslope Slope: 0:1
- Backslope Width: 0.00 m.

Finalmente, dar clic en el punto superior derecho de la berma.

9 Para concluir con el diseño de la sección, a fin de crear el lado izquierdo de la vía, se deberá seleccionar los 3 carriles derechos, la berma lateral y los taludes, y, en la barra de herramientas, se deberá elegir la opción “Mirror”. Luego dar clic en el punto superior izquierdo de la mediana creada y, de esta manera, se creará la parte izquierda de la vía.

La **Figura 4-27** muestra el diseño final de la sección típica.

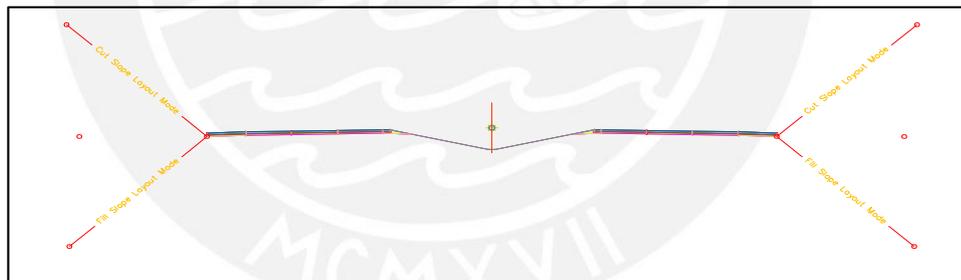


Figura 4 - 27: Creación de peraltes
Fuente: Elaboración propia

4.4.7 Generación del Corredor

El corredor (línea vial) de una vía nace de la complementación entre el alineamiento horizontal (Alignment), el alineamiento vertical (Profile), la sección transversal (Assembly) y la superficie del terreno (Target Surface). Para crear el corredor de la vía se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 En la barra de menú, dirigirse a la sección “Create Design” y seleccionar “Corridor”.
- 2 Completar ventana desplegada “Create Corridor” con la siguiente información:
 - Name: Ves

- Corridor style: Basic
 - Alignment: ALINEAMIENTO HORIZONTAL VES
 - Profile: RASANTE
 - Assembly: SECCION TIPICA VES
 - Target Surface: VES TERRENO EXISTENTE
 - Set baseline and region parameters: (Check)
- 3 Se mostrará la ventana “Baseline and Region Parameters”, a fin de definir el espaciamiento de interpolación entre secciones transversales en los tramos donde se ubican las tangentes, las curvas y espirales. Para ello, se debe dar clic en el botón “[...]” que se encuentra en la columna “Frequency” y en la fila “SECCION TIPICA VES”.
 - 4 Se mostrará el cuadro “Frequency to Apply Assemblies”, donde se debe ubicar la sección “Alignment” y completar la siguiente información:
 - Along tangents: 20.00 m.
 - Along curves: At an increment
 - Curve increment: 10.00 m.
 - Along spirals: 10.00 m.
 - 5 Dar clic en “OK” y, luego, en “Aceptar”. Aparecerá la ventana “Corridor properties – Rebuild”, donde se elegirá la opción “Rebuild the corridor” para construir el corredor.
 - 6 Para visualizar las secciones transversales del corredor, dar clic en el corredor y, luego, dar clic en la opción “Section Editor” en la barra de herramientas. Se mostrará una vista de la sección transversal con respecto a la progresiva que se seleccione. Dentro de esta se pueden hacer modificaciones locales o globales según se requiera.
 - 7 Guardar el proyecto en un archivo aparte llamado: PROYECTO VES -3DMD

4.4.8 Creación de la superficie del corredor

Para crear la superficie de un corredor se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar el corredor, y dar clic en la opción “Corridor Properties” en la barra de herramientas. Se desplegará la ventana “Corridor Properties”, donde se ubicará la ficha “Superficies”. Clic en la opción “Create a corridor surface”. Se creará una superficie.
- 2 En la sección “Add data”, desplegar las opciones en la parte “Data type” y seleccionar la opción “Links”. En la parte “Specify code”, seleccionar la opción “Datum” y dar clic en el icono de “Add Surface” (+), a fin de añadir el elemento de superficie a nivel de la SubBase (Datum).

- 3 Para añadir el borde o límite de la superficie del corredor a partir de la intersección del Assembly con la superficie del terreno, se debe ubicar la ficha "Boundaries". Luego, dar clic derecho en el nombre de la superficie del corredor, elegir "Add Automatically" y seleccionar "Daylight". En la columna "Use Type", especificar como tipo de contorno la opción "Outside Boundary". Finalmente, bajo la columna "Definitions", dar clic en "[...]" a fin de verificar si el contorno está bien formado. En la ventana desplegada "Corridor Boundary Definition" se deberá cerciorar que la casilla de la columna "Reverse Direction" en la segunda fila esté activada. A fin de verificar si el contorno está bien formado, dar clic en el botón en forma de un check y deberá aparecer el mensaje: "Boundary definition is well formed".
- 4 Dar clic en "OK" y "Aceptar". Finalmente, dar clic en "Rebuild the corridor" para reconstruir las secciones.
- 5 Guardar el proyecto en un archivo aparte llamado: PROYECTO VES -VIA 3D.

4.4.9 Generación de las secciones del corredor

Para obtener las secciones transversales del corredor se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 En el menú "Home", seleccionar "Sample lines". Presionar "Enter" y seleccionar el alineamiento horizontal (ALINEAMIENTO HORIZONTAL VES).
- 2 Se desplegará la ventana "Create Sample Line Group", la cual se deberá llenar con la siguiente información:
 - Name: SECCIONES TRANSVERSALES DEL CORREDOR
 - Sample line style: LINEAS DE SECCION
 - Sample line label style: SECCION_PROGRESIVA
 - Seleccionar todas las superficies con excepción de la superficie "VISTA DEL TERRENO EXISTENTE"Dar clic en "OK".
- 3 Se mostrará la ventana "Sample Line Tools". Desplegar las opciones de "Sample line creation methods" y seleccionar "From corridor stations". En la venta emergente colocar un ancho de vista que cubra toda la sección tanto a la derecha como a la izquierda (36 m. por lado) y dar clic en "OK".
- 4 Para crear una vista de las secciones transversales se deberá seleccionar "Create Multiple Views" dentro de las opciones "Section views" en la barra de menú en la sección "Home". Aparecerá la ventana "Create Multiple Section Views – General", donde en la primera parte se deberá seleccionar el estilo de vista que se desea. Luego, dar clic en "Create Section Views" y dar clic en un punto dentro del dibujo para crear la vista de las secciones.

4.4.10 Cálculo del Movimiento de Tierras

Para crear el cálculo de movimiento de tierras (volúmenes) se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar una de las vistas de las secciones transversales del corredor creadas, y seleccionar "Compute Materials" en la barra de herramientas.
- 2 En la ventana emergente "Select a Sample Line Group", se deberá seleccionar el alineamiento (ALINEAMIENTO HORIZONTAL VES) y el grupo de secciones creadas (SECCIONES TRANSVERSALES DEL CORREDOR). Dar clic en "OK".
- 3 En la ventana emergente "Compute Materials –SECCIONES TRANSVERSALES DEL CORREDOR", se deberá completar con la siguiente información:
 - Quantity takeoff criteria: Earthworks
 - Volume calculation method: Average End Area
 - Existing Ground: VES TERRENO EXISTENTE
 - Datum: VES –(1)
 - Sample line label style: SECCION_PROGRESIVA
- 4 Dar clic en "OK" y el programa calculará los volúmenes de corte y relleno mediante la interpolación entre áreas.
- 5 Seleccionar una de las vistas de las secciones transversales del corredor creadas, y seleccionar "Generate Volume Report" en la barra de herramientas. En la ventana emergente "Report Quantities", se deberá seleccionar el alineamiento (ALINEAMIENTO HORIZONTAL VES) y el grupo de secciones creadas (SECCIONES TRANSVERSALES DEL CORREDOR). Dar clic en "OK". Aparecerá, en una página de internet, el reporte de volúmenes. Dar clic derecho y seleccionar la opción "Seleccionar todo". Copiar y pegar en una hoja Excel.
- 6 Si se desea incluir una tabla del reporte del movimiento de tierras, se deberá seleccionar la opción "Total Volume Table" en la sección "Analyze" dentro de la barra de menú. En la ventana "Create Total Volume Table", seleccionar un estilo de tabla, dar clic en "OK" y seleccionar un espacio dentro del dibujo.
- 7 Si se desea incluir un diagrama de masas, se deberá seleccionar una de las vistas de las secciones transversales del corredor creadas, y seleccionar "Create Mass Haul Diagram" en la barra de herramientas. Dar un estilo y una distancia libre de transporte, y dar clic en "Create Diagram". Finalmente, dar clic en un espacio dentro del dibujo para crear una vista del gráfico.

4.4.11 Generación de los Planos

Para crear generar los planos se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Modificar los dibujos en el espacio MODEL tal que se mejore la presentación del proyecto. Por ejemplo:
 - Dibujar un diseño básico de las obras a lo largo del proyecto.
 - Apagar las capas de las secciones transversales creadas a lo largo del corredor.
 - Prender las curvas de nivel del terreno y asignarle una cuadrícula.
 - Asignarle un plano de predios para visualizar las afectaciones de la vía en la zona urbana.
 - Asignarle un mejor detalle a las secciones del corredor (área de corte y relleno).
 - Asignarle bandas al perfil.
- 2 Se deberá crear los marcos correspondientes a lo largo del alineamiento horizontal, para lo cual se deberá seleccionar la opción “Create View Frames” dentro de la sección “Output” en la barra de menú. En la ventana “Create View Frames – Sheets”, dar clic en siguiente en la sección “Alignment”. En la sección “Sheets” dar clic en “[...]” en la parte “Template for Plan and Profile sheet”, seleccionar la plantilla a utilizar (Plantilla Ploteo A2 – PUCP) y dar clic en “OK”. Asignar un estilo a la vista, a los cuadros y al alineamiento en las siguientes secciones de la ventana. Finalmente, dar clic en “Create View Frames”.
- 3 Se deberá crear las láminas de ploteo, para lo cual seleccionar la opción “Create Sheets” dentro de la sección “Output” en la barra de menú. En la barra “Create Sheets – View Frame Group and Layouts”, dar clic en siguiente en la primera sección y seleccionar la opción “All layouts in the current drawing”. En la sección “Sheet set”, seleccionar “New sheet set” y dar clic en “[...]” en la parte “Sheet set storage location”. Seleccionar la plantilla a utilizar (ISO A2 1 to 1000), dar clic en “OK” y dar clic en “Create Sheets”.
- 4 Editar las láminas de ploteo tal que se pueda observar el perfil, la planta y las secciones transversales a su totalidad.

4.4.12 Generación de la vista virtual en AC3D

Para crear generar la vista virtual en AC3D se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Abrir el archivo aparte llamado: PROYECTO VES -VIA 3D
- 2 En la barra de menú, sección “Home”, desplegar las opciones de “Surfaces” y seleccionar “Create Surface from Corridor”.
- 3 En la ventana emergente “Create Corridor Surfaces”, seleccionar la superficie VES-(1) y dar clic en “OK”.

- 4 Prender la capa de las curvas de nivel de la superficie VES TERRENO EXISTENTE.
- 5 En la ventana "Toolspace", sección "Prospector", desplegar todo el contenido de "Surfaces" y dirigirse a la superficie VES TERRENO EXISTENTE. En la parte de "Edits" (dentro de "Definition") dar clic derecho y seleccionar "Paste Surface". En la ventana desplegada, seleccionar la superficie del corredor y dar clic en "OK".
- 6 En la ventana "Toolspace", sección "Prospector", desplegar todo el contenido de "Alignments" y seleccionar ALINEAMIENTO HORIZONTAL VES. Dar clic derecho sobre el alineamiento y seleccionar la opción "Drive".
- 7 En la ventana "Select profile", seleccionar el perfil RASANTE y dar clic en "OK".
- 8 Se visualiza una vista de la carretera, donde se puede asignar propiedades de vista, velocidad y offset, dependiendo del requerimiento del proyecto.

4.5 Generación de Modelo Virtual en 3DMD

4.5.1 Exportación del modelo de Autocad Civil 3D a 3Ds Max Design

Para exportar un modelo de Autocad Civil 3D a 3Ds Max Design se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Abrir el archivo aparte llamado: PROYECTO VES -3DMD
- 2 Realizar el mismo procedimiento que la sección 4.4.8 (creación de la superficie del corredor) con la excepción que en la parte "Specify code", seleccionar la opción "Top" y dar clic en el icono de "Add Surface" (+), a fin de añadir el elemento de superficie a nivel de la parte superior del ensamblaje.
- 3 En "Toolspace" desplegar las opciones de la superficie "VISTA DE TERRENO EXISTENTE". Clic derecho en "Boundaries" y seleccionar "Add". Colocar como nombre "Corredor" y seleccionar en "Type" la opción "Hide". Clic en "OK". En la barra de comandos seleccionar la opción "Surface" y presionar la tecla "Enter". Seleccionar la superficie del corredor y clic en "OK".
- 4 Crear "Feature Lines" en las líneas del corredor que limitan la mediana, los carriles y la berma con "Sites" distintos por grupo.
- 5 Seleccionar "Output" en el AC3D y seleccionar "Export to 3ds Max Design". En la ventana "Export to Civil View for 3ds Max Design" (se necesitará esencialmente el corredor y la superficie delimitada VISTA DEL TERRENO EXISTENTE). No seleccionar la superficie VES TERRENO EXISTENTE. Dar clic en "Export" y verificar que el formato de exportación sea ".vsp3d". Dar un nombre al archivo (VES 3DMD) y guardarlo.

4.5.2 Configuración básica del 3DMD

Para configurar el programa 3DMD se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Fijar unidades en “Customize” – “Units setup” en la barra de menú. En la ventana “Units setup” dar clic en “System unit setup” y seleccionar en la escala la unidad métrica. Dar clic en “OK” y seleccionar en la sección “Display Unit Scale” la opción “Metric”. Clic en “OK” y desplegar las opciones de archivo del programa, seleccionar “Reset” y clic en “Yes”.
- 2 Dirigirse a “Civil View” y seleccionar “Start Civil View” en la barra de menú. Se desplegará la ventana “Initialize Autodesk Civil View”. Seleccionar lo siguiente:
 - System Units: Meters
 - Select a Country Resource Kit: US METRIC
 - Start Mode for Civil View: Manual

Clic en “OK”.

- 3 Seleccionar “Civil view” – “Geometry Import” – “Civil 3D (VSP3D) File...”. Se desplegará la ventana “Civil 3D Import Panel”, clic en “Open” y seleccionar el archivo en formato “.vsp3d” guardado anteriormente. Se desplegará una ventana con las componentes a importar del archivo. Seleccionar lo siguiente:
 - ALINEAMIENTO HORIZONTAL VES – Alignment
 - VISTA TERRENO EXISTENTE – Surface
 - Region (1) – Corridor Surface
 - OBRA LINEAL – (2) – Surface
 - TODOS LOS “FEATURE LINES” CREADOS

Clic en “OK”.

- 4 Se desplegará la ventana “Civil View Information”, debido a que el proyecto esta geolocalizado se encuentra lejos del punto (0,0), 3DMD no procesa adecuadamente la información cuando el proyecto se encuentra muy lejos al punto central. Clic en “Yes” para aceptar que el proyecto sea movido cerca al eje de coordenadas.
- 5 Se desplegará otra ventana “Civil View Information”, la cual informa que los estilos importados no se interpretarán adecuadamente por el 3DMD. Clic en “Yes” para aceptar los estilos predeterminados.
- 6 Seleccionar “Civil view” – “Civil view” – “Civil view explorer”. Se desplegará una ventana de exploración donde se encuentra todos los elementos de diseño del programa. Moverlo a la izquierda para mejor confort.
- 7 Seleccionar la superficie en el espacio y observar que se encuentra cargado excesivamente de líneas. Para mejorar la calidad de la superficie, seleccionar “+” al lado izquierdo superior del espacio de dibujo y seleccionar “Configure Viewports...”. En la parte “Selection” de la ficha “Visual Style and Appearance”, seleccionar “Selection Brackets” y deseleccionar “Display Selected with Edged Faces”. Clic “OK” y el terreno será mucho más fácil de visualizar.

4.5.3 Creación e incorporación de imagen satelital a la superficie

Para añadir una imagen satelital a la superficie del terreno, se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Crear una imagen satelital de alta resolución donde se visualice toda la zona del proyecto.
- 2 Editar dicha imagen recortándola con límites iguales a los optados en la creación de la imagen satelital en el AC3D y mejorando el contraste, brillo y color.
- 3 Seleccionar la superficie y seleccionar "Draping" ubicado en la parte inferior de la ventana "Civil View Explorer". Seleccionar "Choose Bitmap" y ubicar la imagen guardada y editada de alta resolución. Clic en "Open" y clic en "Yes". La imagen será cargada sobre la superficie.

4.5.4 Creación de un sistema de luz natural y un fondo de ambiente

Para añadir un sistema de luz natural y un fondo, se debe seguir los siguientes pasos:

- 1 Dirigirse a la ventana "Civil View Explorer" y, en la sección "Environment and Lighting", dar clic derecho en "Daylight". Seleccionar "Create Daylight System..." y dar clic en "Yes" en la ventana emergente para aceptar la creación.
- 2 En el espacio dar clic izquierdo y crear el sistema de iluminación. En la parte derecha se puede editar la configuración de la iluminación natural según una hora y la localización.
- 3 Clic en "Exposure Control" en "Civil View Explorer" y aplicar un valor de 13 en "Exposure Value".
- 4 En la barra de menú seleccionar "Render Production" (🔍) para visualizar una vista del modelo. Dar clic en "Environment and Effects Dialog" (⚙️) en la parte superior de la ventana de visualización y aparecerá la ventana "Environment and Effects". Seleccionar el icono "Material Editor" (🎨) en la barra de menú y aparecerá la ventana "Slate Material Editor". Dar clic izquierdo sin soltar en el "Environment Map" en la primera ventana y soltar en la vista de la segunda ventana.
- 5 Seleccionar "Instance" en la ventana emergente para copiar el mapa y aparecerá el mapa en la vista.
- 6 Dar clic izquierdo sin soltar en "Background" dentro de las opciones del mapa y soltar en un espacio en la misma vista. Seleccionar "Standard" – "Bitmap" y seleccionar una imagen que servirá como fondo del modelo (p.e.: nubes) y clic en "Open".

- 7 Dar doble clic en la imagen y en el nombre del "Bitmap" creado. Deseleccionar "Use Real-World Scale". Seleccionar "Environ" y "Spherical Environment" en las opciones de "Mapping".
- 8 Aplicar un "Offset" y un "Tiling" en la fila "V" de 0.23 y 1.85 correspondientemente para que abarque todo el fondo.
- 9 Dar doble clic en el nombre del "Environment Map" creado al inicio y seleccionar la opción "Use Custom Background Map". Clic en "Render Production" para visualizar el modelo.

4.5.5 Creación de kit de recursos privado

En el 3DMD se puede crear un kit de recursos que guarde información de los estilos y particularidades del diseño para uso personal. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Ubicar los "Country Kits" predeterminados dentro de los archivos del programa.
- 2 Copiar el "Country Kit US Metric", pegar en una carpeta aparte de fácil acceso, y cambiar el nombre de la carpeta a "myMetricKit".
- 3 Seleccionar "Civil View" - "Civil View" – "Preferences" y ubicar la ficha "Resource Kit Paths" en la ventana "Civil View Preferences".
- 4 Activar la opción "Use Private Resource Kit" y ubicar la carpeta creada "myMetricKit".

4.5.6 Creación de marcas de vía

En el 3DMD se puede crear marcas de vía, las que sirven para delimitar los elementos de la vía. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar "Civil View" - "Civil View" – "Road Markings Style Editor".
- 2 En la ventana "Road Markings Style Editor", seleccionar el icono "Add new element". Clic en "Pick Shape Label" y seleccionar el elemento donde se aplicará la marca.
- 3 Asignar características de la marca a crear tales como ancho, longitud de marca, longitud de espaciamiento, distanciamiento horizontal y color.
- 4 Si se desea aplicar múltiples marcas en dicho elemento se deberá seleccionar el icono con letra "M" ("Allow Multiple Markings per shape") en la parte superior derecha. Dar clic en "Apply" para visualizar la marca en la vía.
- 5 Si se desea se puede guardar el estilo de marcas aplicadas dando clic en el icono "Save" a fin de poder utilizarlo posteriormente en otros proyectos.
- 6 Clic en "OK" para aceptar las marcas creadas.

4.5.7 Creación de objetos característicos de vía

En el 3DMD se puede crear objetos que usualmente se visualizan en la vía tales como guardavías, muros de contención, etc. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar “Civil View” - “Civil View” – “Rail Object Style Editor”.
- 2 En la ventana “Rail Object Style Editor”, seleccionar el icono “Open Style”. Seleccionar el tipo de elemento que se desea aplicar (p.e.: Guardrail-barandillas).
- 3 En la ventana “Rail Object Style Editor”, seleccionar el icono “Add new element”. Clic en “Pick Shape Label” y seleccionar el elemento donde se aplicará el objeto (p.e.: línea divisoria de mediana y carril).
- 4 Asignar características a las componentes del objeto a crear tales como ancho, material, etc.
- 5 Si se desea aplicar múltiples objetos en dicho elemento se deberá seleccionar el icono con letra “M” (“Allow Multiple Markings per shape”) en la parte superior derecha. Dar clic en “Apply” para visualizar la marca en la vía.
- 6 Si se desea se puede guardar el estilo de marcas aplicadas dando clic en el icono “Save” a fin de poder utilizarlo posteriormente en otros proyectos.
- 7 Clic en “OK” para aceptar las marcas creadas.

4.5.8 Creación de objetos separadores de vía

En el 3DMD se puede crear objetos separadores que usualmente se visualizan en la vía tales como guardavías, muros de contención, etc. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar “Civil View” - “Civil View” – “Rail Object Style Editor”.
- 2 En la ventana “Rail Object Style Editor”, seleccionar el icono “Open Style”. Seleccionar el tipo de elemento que se desea aplicar (p.e.: Guardrail-barandillas).
- 3 En la ventana “Rail Object Style Editor”, seleccionar el icono “Add new element”. Clic en “Pick Shape Label” y seleccionar el elemento donde se aplicará el objeto (p.e.: línea divisoria de mediana y carril).
- 4 Asignar características a las componentes del objeto a crear tales como ancho, material, etc.
- 5 Si se desea aplicar múltiples objetos en dicho elemento se deberá seleccionar el icono con letra “M” (“Allow Multiple Markings per shape”) en la parte superior derecha. Dar clic en “Apply” para visualizar la marca en la vía.
- 6 Si se desea se puede guardar el estilo de marcas aplicadas dando clic en el icono “Save” a fin de poder utilizarlo posteriormente en otros proyectos.
- 7 Clic en “OK” para aceptar las marcas creadas.

4.5.9 Creación de objetos de extensión a la vía

En el 3DMD se puede añadir objetos de extensión que permite una mejor visualización del proyecto. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar el elemento donde se aplicará el objeto (p.e.: límites de la sección).
- 2 Seleccionar “Civil View” - “Civil View” – “Swept Object Style Editor”.
- 3 Clic en “Yes” en la primera ventana “Civil View Information”, donde se acepta que la extensión se aplicará al objeto seleccionado. Luego, clic en “Yes” en la siguiente ventana.
- 4 En la ventana “Swept Object Style Editor”, seleccionar el icono “Add new element” y armar el tipo de sección de extensión que se desee. Asignar características a las componentes de la extensión a crear tales como ancho, alto, material, etc.
- 5 Si no se visualiza adecuadamente la extensión en las curvas, asignar en la sección “Segment Count” un número de segmentos alto.
- 6 Si se desea unir los puntos de inicio o los puntos de fin de la extensión, se debe habilitar las opciones “Spanning Surface” o “Closing Surface” correspondientemente.
- 7 Si se desea rellenar la sección de extensión habilitar la opción “Capping Surface”.
- 8 Si se desea se puede guardar el estilo aplicado dando clic en el icono “Save” a fin de poder utilizarlo posteriormente en otros proyectos.
- 9 Clic en “OK” para aceptar la extensión creada.

4.5.10 Creación de objetos característicos de vía

En el 3DMD se puede añadir objetos característicos de vía que permiten mejorar la presentación de la animación tales como vehículos, luminarias, señales, vegetación, camarás, etc. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar “Civil View” - “Civil View” – “Object Placement Style Editor”.
- 2 En la ventana “Object Placement Style Editor”, seleccionar el icono “Add new element”. Clic en “Pick Shape Label” y seleccionar el elemento donde se aplicará el objeto (p.e.: línea divisoria entre el tercer carril y la berma lateral).
- 3 Seleccionar el elemento que se desee añadir en la parte inferior de la ventana. Observar que los elementos ya se encuentran divididos por categorías y subcategorías, por lo que será sencillo ubicar el elemento deseado. Si se desea observar una vista del elemento a diseñar, dar clic derecho en un espacio dentro de la zona de los elementos y seleccionar “Large Icons”.
- 4 Asignar características a las componentes del objeto a crear tales como distanciamiento horizontal y vertical, rotación, cantidad de objetos a añadir, intervalo entre objetos, velocidad, etc.

- 5 Si se desea se puede habilitar la opción “Use random object(s) from the selected category” a fin de que se utilice aleatoriamente distintos objetos de la subcategoría a lo largo del elemento seleccionado.
- 6 Si se desea se puede guardar el estilo aplicado dando clic en el icono “Save” a fin de poder utilizarlo posteriormente en otros proyectos.
- 7 Clic en “OK” para aceptar los objetos creados.

4.5.11 Creación de edificios

Para añadir edificios al modelo se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar “Civil View” - “Civil View” – “Building Object Style Editor”.
- 2 En la ventana “Building Object Style Editor”, seleccionar el icono “Add new element”.
- 3 Ir a “Create” - “Shapes” y seleccionar una forma (rectángulo, elipse, círculo, etc.). En la parte derecha, donde se muestran las propiedades de la forma a crear, seleccionar “AutoGrid” a fin de que la forma se cree lo más cerca a la superficie. Crear la forma con área promedio de un edificio.
- 4 Clic en “Pick Shape Label” y seleccionar la forma creada.
- 5 Asignar características a las componentes del objeto a crear tales como altura total, total de pisos, altura de piso, tipo de fachada, etc.
- 6 Crear distintas formas a lo largo de la zona del proyecto y asignarle distintos tipos de estilos de edificio.
- 7 Si se desea se puede guardar el estilo aplicado dando clic en el icono “Save” a fin de poder utilizarlo posteriormente en otros proyectos.
- 8 Clic en “OK” para aceptar los objetos creados.

4.5.12 Creación de cámaras en la vía

En el 3DMD se puede añadir cámaras que permitan visualizar la vía mediante un recorrido. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 6 Seleccionar “Civil View” - “Civil View” – “Object Placement Style Editor”.
- 7 En la ventana “Object Placement Style Editor”, seleccionar el icono “Add new element”. Clic en “Pick Shape Label” y seleccionar el elemento donde se aplicará el objeto (p.e.: línea central).
- 8 Seleccionar “Cameras” – “Wide Angle Lenses” – “024mm Lens” para crear una cámara simple.
- 9 Asignar características tales como distanciamiento horizontal y vertical, rotación y velocidad.
- 10 Si se desea se puede guardar el estilo aplicado dando clic en el icono “Save” a fin de poder utilizarlo posteriormente en otros proyectos.

- 11 Clic en “OK” para aceptar los objetos creados.
- 12 En la parte superior izquierda en la vista del modelo dar clic en “Perspective” y seleccionar “Cameras” – “Came-024mm Lens-001”.
- 13 En la parte inferior de la ventana del 3DMD se generará una especie de regla la cual sirve para avanzar entre los cuadros de la animación.
- 14 Visualizar el recorrido de la cámara generada.

4.5.13 Generación de la animación en video

El 3DMD permite generar un video de la animación creada a partir de una cámara. Para ello se deberá seguir los siguientes pasos:

- 1 Seleccionar el icono “Render Setup” () en la barra de menú.
- 2 En la ficha “Common”, seleccionar “Active Time Segment” para crear la animación a lo largo de todos los cuadros.
- 3 En la sección “Output Size”, seleccionar “HDTV”. Seleccionar la calidad de video de salida (p.e.: 1280x720). El tiempo de espera de la creación de la animación, dependerá de la calidad de video escogida.
- 4 En “Render Output”, clic en “Files Button”. En la ventana “Render Output File”, seleccionar la ubicación donde se guardará el archivo y colocar un nombre al mismo con extensión “.avi”. Clic en “Save”.
- 5 En la ventana emergente “AVI File Compression Setup”, dar clic en “OK” para aceptar la configuración predeterminada.
- 6 En la sección “View” de la parte inferior de la ventana “Render Setup”, seleccionar la cámara creada.
- 7 Clic en “Render” para comenzar la creación de la animación.
- 8 Una vez concluida la creación de la animación, visualizar la animación.

La **Figura 4-28** muestra una vista de la animación de la vía.



Figura 4 - 28: Vista de animación de la vía
Fuente: Elaboración propia

CAPITULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- i. La prolongación de la vía expresa proyectada tiene una longitud aproximada de 5 km. Asimismo incluye la construcción de 2 intercambios viales, 2 óvalos y 5 puentes tipo bypass.
- ii. La construcción del proyecto Vía Expresa Sur interconectará un gran sector urbano de Lima, generando grandes beneficios sociales y económicos.
- iii. En el presente trabajo no se optó por diseñar la vía por donde transitará el COSAC (Metropolitano) ni las vías auxiliares del proyecto VES ya que el alcance de la presente tesis se limita al eje principal de la vía.
- iv. El proyecto VES beneficiará a la descongestión de la zona sur de Lima tanto para el transporte privado como el transporte público.
- v. Las expropiaciones se realizarán sobre el derecho de vía reservado para la prolongación de la vía expresa (72m), el cual recorre los distritos de Barranco, Surco y San Juan de Miraflores.
- vi. La demanda aproximada de la VES es de 133,500 vehículos por día en ambos sentidos de la vía.
- vii. Entre las características principales del diseño se puede mencionar la velocidad de diseño (80 km/h), vehículo de diseño (VL), número de carriles por calzada (3), ancho del carril (3.60 m), gálibo (4.50 m), separador central (17.00 m), peralte (6 %) y bombeo (2.50 %).
- viii. El volumen total aproximado de corte y relleno que se obtuvieron del AC3D son 1,312,535 y 14,210 metros cúbicos, respectivamente.
- ix. La Norma DG-2014 está centrada al diseño de la carretera teniendo en cuenta aspectos de seguridad, estética, capacidad y uso a fin de crear elementos geométricos que permitan el buen funcionamiento de la vía ante el recorrido que pudiese tener un vehículo crítico (situación más desfavorable).
- x. Las normativas complementarias: “Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005 – VCHI (DGVU-2005)” y el manual norteamericano “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets - 2011- 6th Edition – AASHTO (AASHTO-2011)”, se aceptan como los más adecuados complementos a la normativa DG-2014.
- xi. La georeferencia que se utilizó fue mediante las coordenadas UTM-WGS84 (**World Geodetic System 84**), las cuales caracterizan la zona de la vía como ZONA 18 (78°W – 72°W – Northern Hemisphere).

- xii. La implementación del levantamiento geográfico georeferenciado se logró con la ayuda de los software **Google Earth Pro** y **Global Mapper**, los cuales también sirvieron para el trazado del eje de la vía y la ubicación de las principales componentes de la vía tales como intercambios viales y puentes.
- xiii. El uso del **Autocad Civil 3D** fue importante para la generación de las componentes de la vía, la creación del corredor, la visualización de la vía y la generación de planos de presentación del proyecto.
- xiv. El programa **3Ds Max Design** ayudo a obtener una mejor presentación del proyecto creando una animación en 3D donde se puede crear objetos tales como marcas de vía, señales, separadores, edificios, vegetación, vehículos, etc.

5.2 Recomendaciones

- i. La existencia de impactos pueden ser atenuados o mitigados, corregidos, por lo que la calificación ambiental de los mismos se distribuye entre medianamente moderados, hasta disminuir a niveles de leve.
- ii. Es indispensable el uso de instantáneas que reflejen el estado actual de la Vía Expresa Sur a fin de reconocer que complejidades pueden existir a futuro tales como el tema de la expropiación.
- iii. La creación de la 3era etapa de la Vía Expresa (SUR) debe estar ligado a sus predecesoras asimilando elementos tales como el pavimento rígido (profundidad = 35 cm.), secciones típicas, espaciamiento de la línea de rasante al nivel inferior del puente, etc.
- iv. Debido a que la VES será creada con grandes volúmenes de excavación, se recomienda ajustar el alineamiento vertical para que genere el mínimo movimiento de tierra posible ya que esta será una de las partidas de mayor costo. Sin embargo, siempre se debe tener en cuenta las condiciones particulares del diseño como las zonas donde se ubiquen las obras principales y complementarias.
- v. Para el diseño de las secciones típicas se debe optar por asimilar las etapas predecesoras y estimar datos que no se alejen de la realidad tales como la precipitación, la cual se sugirió menor a 500 mm/año para la zona Sur de Lima.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES

2014 *"Manual de Carreteras: Diseño Geométrico DG - 2014"*.
Ministerio de Transportes y Comunicaciones. Consulta:
09 de Abril de 2015.

[http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/DG%202014_\(Oct_2014\).pdf](http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/DG%202014_(Oct_2014).pdf)

AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS

2011 *"A Policy on Geometric Design of Highways and Streets"*. Sixth Edition, Washington, United States of America, pp. 1-179.

VCHI S.A.

2005 *"Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas – 2005 - VCHI"*. Difundido por Instituto de la Construcción y Gerencia, pp. 1/1-10/8.

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES

2000 *"A Policy on Geometric Design of Highways and Streets"*. Transportation Research Board. Washington, United States of America, pp. 1/1-27/1.

AUTODESK

2012 *"Using Civil View for Autodesk 3ds Max Design Software to Visualize AutoCAD Civil 3D Designs"*. AutoCAD Civil 3D Whitepaper. Consulta: 09 de Abril de 2015.

http://static-dc.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/industries/civil-infrastructure/transportation-infrastructure/Docs/using_autodesk_civil_view_whitepaper_0512_en.pdf >

AUTODESK 3DS MAX LEARNING CHANNEL

2014 *"Using 3ds Max Design with Civil 3D"*. Consulta: 03 de Enero de 2016.

<https://www.youtube.com/playlist?list=PLnKw1txyYzRIi2ZEIR-w9BcH8K8ltgntd>

STEVEN DUTCH

2000 *"The Universal Transverse Mercator System"*.
University of Wisconsin. Consulta: 16 de Junio de 2015.
<<https://www.uwgb.edu/dutchs/FieldMethods/UTMSystem.htm>>

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL DE ESPAÑA

2014 *"Conceptos Cartográficos"*. Ministerio de Fomento del
Gobierno de España. Consulta: 16 de Junio de 2015.
<https://www.ign.es/ign/resources/cartografiaEnsenanza/conceptosCarto/descargas/Conceptos_Cartograficos_def.pdf>

DEPARTMENT OF DEFENSE WORLD GEODETIC SYSTEM 1984

2000 *"Its Definition and Relationships with Local Geodetic
Systems"*. National Imagery and Mapping Agency.
Consulta: 16 de Junio de 2015.
<<http://earth-info.nga.mil/GandG/publications/tr8350.2/wgs84fin.pdf>>

UNIVERSIDAD CENTRAL DE CHILE

2000 *"Cartografía y Coordenadas Geográficas"*. Facultad de
Arquitectura, Urbanismo y Paisaje. Consulta: 16 de
Junio de 2015.

WEATHERBASE

2016 *"Weather – Lima, Peru"*. Consulta: 07 de Enero de 2016.
<<http://www.weatherbase.com/weather/weather.php3?s=82648&cityname=Lima-Lima-Metropolitan-Area-Peru&units=metric>>

CARVACHO BART, LUIS & SÁNCHEZ MARTÍNEZ, MARCELA

1997 *"Modelo digitales del terreno: comparación entre el
modelo TIN y el INTERCON"*. Trabajo del Curso de
Doctorado sobre Modelos Digitales del terreno.
Departamento de Geografía, Universidad de Alcalá de
Henares. Consulta: 07 de Enero de 2016.
<<http://www6.uniovi.es/~feli/Invitados/carvacho/texto.html>>

MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA & GRAÑA Y MONTERO S.A.A.

2013 *“Contrata de concesión del proyecto Vía Expresa Sur”*.
Consulta: 14 de Noviembre de 2015.

<<http://www.munlima.gob.pe/images/obras/proyecto-via-expresa-sur/contrato-de-concesion-ves.pdf>>

MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA

2013 *“Data Room: Vía Expresa Sur”*. Consulta: 14 de
Noviembre de 2015.

<<http://www.munlima.gob.pe/gerencia-de-promocion-de-la-inversion-privada/data-room-via-expresa-sur>>

BECERRA SALAS, MARIO RAFAEL

2014 *“Comparación técnico-económica de las alternativas de pavimentación flexible y rígida a nivel de costo de inversión”*. Facultad de Ingeniería. Postgrado de Maestrías en Ingeniería. Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial. Piura: Universidad de Piura. Consulta: 14 de Noviembre de 2015.

<<http://pirhua.udep.edu.pe/handle/123456789/1965>>

MUNICIPALIDAD METROPOLITANA DE LIMA

2014 *“Díptico: Vía Expresa Sur”*. Consulta: 14 de Noviembre
de 2015.

<<http://www.viaexpresasur.pe/files/pdf/dipticoviaexpresasur.pdf>>

ANTONIO MORÁN, JOSÉ

2013 *“20 Razones para usar Global Mapper”*. Blog:
MapautoCAD. Consulta: 14 de Noviembre de 2015.

<<http://mapautocad.blogspot.pe/2013/10/20-razones-para-usar-global-mapper.html>>

JAPAN SPACE SYSTEMS

2011 *“ASTER: Global Digital Elevation Model (GDEM)”*.
Consulta: 14 de Noviembre de 2015.

<<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html>>

GLOBAL MAPPER

2011 "Global Mapper: User Guide". Consulta: 05 de Diciembre de 2015.

<<http://www.bluemarblegeo.com/knowledgebase/global-mapper/>>

REYES ÑIQUE, JOSE LUIS

2013 "Laboratorio de Ingeniería de Carretera: Guía de AutoCAD Civil 3D". Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Consulta: 05 de Diciembre de 2015.

REYES ÑIQUE, JOSE LUIS

2013 "Campo de Ingeniería de Carretera: Guía de Practicas". Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. Consulta: 05 de Diciembre de 2015.

VILLA ALAGON, CÉSAR

2013 "Diseño de carreteras utilizando AutoCAD Civil 3D 2014". Consulta: 05 de Diciembre de 2015.

<<https://xa.yimg.com/kq/groups/20752647/1630558269/name/MANUAL+DE+AUTO+CAD+CIVIL+3D+2014+PARA+CARRETERAS.pdf>>

VILLA ALAGON, CÉSAR

2013 "Diseño de carreteras utilizando AutoCAD Civil 3D 2014". Consulta: 05 de Diciembre de 2015.

<<https://xa.yimg.com/kq/groups/20752647/1630558269/name/MANUAL+DE+AUTO+CAD+CIVIL+3D+2014+PARA+CARRETERAS.pdf>>

TRUYOLS, Sebastián; MARTINEZ, Osorio & ALCUBILLA, Francisco

2010 "Introducción a la ingeniería del transporte: teoría y práctica". 1era edición. Madrid: Delta, [2010].

GODOY, LINA

2011 "La mitad de futura prolongación de paseo de la república está "invadida" ". Diario 16. Consulta: 09 de Abril de 2015.

<<http://diario16.pe/noticia/3283-la-mitad-de-futura-prolongacion-de-paseo-de-la-repoblica-estaa-invadida>>

MALPARTIDA, CLAUDIA

2012

“Ampliación de la Vía Expresa hasta Lima Sur estará lista en cinco años”. La Republica. Consulta: 09 de Abril de 2015.

<<http://www.larepublica.pe/04-07-2012/ampliacion-de-la-expresa-hasta-lima-sur-estara-lista-en-cinco-anos>>

SALINAS Y., EDUARDO

2013

“Ampliación de la Vía Expresa se iniciará con expropiación de terrenos al sur”. La Republica. Consulta: 09 de Abril de 2015.

<<http://www.larepublica.pe/09-08-2013/ampliacion-de-la-via-expresa-se-iniciara-con-expropiacion-de-terrenos-al-sur#!foto1>>

MATTEO

2013

“¿A quién beneficia la Vía Expresa Sur?”. Lugares Comunes: ciudades, planificación, políticas públicas, etc. Consulta: 09 de Abril de 2015.

<<http://comuneslugares.wordpress.com/2013/08/09/a-quien-beneficia-la-via-expresa-sur/>>

RÍOS VILLACORTA, ALBERTO

2012

“Incoherencias en la política de transporte en Lima: Ampliación de la Vía Expresa”. Conexión ESAN. Consulta: 09 de Abril de 2015.

<<http://www.esan.edu.pe/conexion/actualidad/2012/12/06/incoherencias-politica-transporte-lima/>>

VÍA EXPRESA SUR

Vía Expresa Sur. Consulta: 10 de Julio de 2015.

<<http://www.viaexpresasur.pe/>>