
UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRES
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL



PROYECTO DE GRADO

**DISEÑO GEOMÉTRICO, MODELAMIENTO Y PLANIFICACIÓN DE
CONSTRUCCIÓN DE UNA CARRETERA Y SUS OBRAS DE DRENAJE EN BIM 3D Y
BIM 4D**

POSTULANTE:

ALIAGA MORALES ADALIT JUAN

TUTOR:

ING. CARLOS ALEX ARTEAGA VARGAS

MSc. ING. JHON ANTONY MORENO BARRENECHEA

LA PAZ - BOLIVIA

2022



**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE INGENIERIA**



LA FACULTAD DE INGENIERIA DE LA UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS AUTORIZA EL USO DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN ESTE DOCUMENTO SI LOS PROPÓSITOS SON ESTRICTAMENTE ACADÉMICOS.

LICENCIA DE USO

El usuario está autorizado a:

- a) Visualizar el documento mediante el uso de un ordenador o dispositivo móvil.
- b) Copiar, almacenar o imprimir si ha de ser de uso exclusivamente personal y privado.
- c) Copiar textualmente parte(s) de su contenido mencionando la fuente y/o haciendo la cita o referencia correspondiente en apego a las normas de redacción e investigación.

El usuario no puede publicar, distribuir o realizar emisión o exhibición alguna de este material, sin la autorización correspondiente.

TODOS LOS DERECHOS RESERVADOS. EL USO NO AUTORIZADO DE LOS CONTENIDOS PUBLICADOS EN ESTE SITIO DERIVARA EN EL INICIO DE ACCIONES LEGALES CONTEMPLADAS EN LA LEY DE DERECHOS DE AUTOR.

**DISEÑO GEOMÉTRICO, MODELAMIENTO Y PLANIFICACIÓN DE
CONSTRUCCIÓN DE UNA CARRETERA Y SUS OBRAS DE DRENAJE EN BIM 3D Y
BIM 4D**

*Proyecto de Grado presentado como requisito
Para la obtención del título de Ingeniero Civil.*

TUTOR:
ING. CARLOS ALEX ARTEAGA VARGAS
MSc. ING. JHON ANTONY MORENO BARRENECHEA

LA PAZ - BOLIVIA

2022

AGRADECIMIENTOS

- *A Dios, por la vida, que es el regalo más preciado que me obsequió, por los defectos y virtudes que me brindó y por las oportunidades que en la vida me dio...*

- *A mis padres: Juan y Cesaria, quienes me ayudaron incondicionalmente en todo momento, muchas gracias por no dar excusas cuando necesitaba ayuda, muchas gracias por sus consejos y el apoyo que me brindaron, GRACIAS POR TODO...*

- *A mis hermanos: Sergio, Gisela y Magaly, por brindarme ayuda siempre que lo necesité, de una u otra forma este también es su logro, ya que sin ellos no se hubiese podido concretar este proyecto de grado, me demostraron que familia es solo una palabra, hasta que alguien le da un significado...*

- *A mis Tutores: Ing. Carlos Alex Arteaga Vargas e Ing. Jhon Antony Moreno Barrenechea, sin sus consejos y observaciones, no podría completar el presente proyecto con éxito...*

DEDICATORIA

El presente Proyecto de Grado está dedicado a mis padres: Juan y Cesaria y a mis hermanos: Sergio, Gisela y Magaly, por el apoyo que siempre me dieron, incluso cuando no lo merecía...

“camínante no hay camino, se hace camino al andar...”

Resumen.

En los proyectos de ingeniería civil, se suelen cometer varios errores, que podrían ser fácilmente evitables con el uso de la metodología BIM, el uso de dicha metodología permite que ciertas tareas puedan ser automatizadas, y que su realización no tome mucho tiempo, facilitando tanto el diseño como la documentación del proyecto, la información utilizada en el proyecto es adaptable, como el sistema de clasificación y la nomenclatura, además se trabajó con flujos de trabajo que permitan garantizar el trabajo colaborativo para el diseño geométrico de carreteras en base al manual de carreteras de la ABC y el modelamiento de las obras de drenaje y complementarias. Así se obtuvo un modelo BIM integral, en el que se encuentran las obras lineales y no lineales, también se cuenta con una base de datos del proyecto en general, de donde poder realizar consultas en cualquier momento, gracias a BIM se pudo disminuir los tiempos de ejecución ahorrándose tiempo, también se pudo estudiar varios escenarios de construcción y esto con CAD sería imposible, se concluye que se puede realizar un modelo BIM integral en vías, siendo de mucha utilidad los lenguajes de programación, y flujos de trabajo adecuados para el manejo de información.

Contenido.

El presente proyecto muestra el diseño geométrico de la carretera que comprende las regiones de Yamparaez – Tarabuco, con el uso adecuado de herramientas modernas, utilizando programas como: Autodesk Civil 3D en su versión 2022, Autodesk Revit en su versión 2022, MS Project, Power BI, Autodesk Navisworks, lenguajes de programación como Python, Visual Basic, Dynamo para Civil 3D y Revit, entre otros.

Se vio una deficiencia en el manejo de la información topográfica, por ello se hizo esta con los códigos topográficos, para el diseño geométrico de la carretera, se elaboró un archivo XML que servirá de asistente de diseño geométrico para Civil 3D, también se programó una macro de Excel con Visual Basic para automatizar el diseño geométrico. Para el modelamiento de las bajantes, alcantarillas, muros de contención, y puentes, en función del caso se trabajó con SAC y familias de Revit, para mejorar los tiempos en los que se realizará la tarea, para realizar la automatización dentro de lo que al modelado se refiere se utilizó el lenguaje de programación Dynamo para Civil3D y Revit, mejorando el tiempo en el que las tareas se completarían. También se desarrolló un método para realizar una base de datos del proyecto en general, de esta manera las cuantificaciones realizadas en Revit y Civil 3D, se almacenarán en una sola base de datos. Sirviendo esta para como base para un modelo BIM 5D y de ayuda para la elaboración de un modelo BIM 4D. También se hizo un modelo VR que sirve para la socialización del proyecto.

GEOMETRIC DESIGN, MODELING AND CONSTRUCTION PLANNING OF A ROAD AND ITS DRAINAGE WORKS IN BIM 3D AND BIM 4D

Adalit Juan Aliaga Morales

Villa Cooperativa Av. Pefiférica #1095, Cel 76282835, adal.aliaga77@gmail.com

Abstract.

In the projects of civil engineering, often make several mistakes, which could be easily avoidable with the use of the methodology BIM, the use of this methodology allows certain tasks to be automated, and that its implementation does not take much time, facilitating both the design and documentation of the project, the information used in the project is adaptable, as the classification system and nomenclature, in addition, we worked with workflows that allow us to guarantee collaborative work for the geometric design of roads based on the ABC road manual and the modeling of drainage and complementary works. Thus was obtained a BIM model integral, in which the works are to be found linear and non-linear, it also has a database of the project in general, where you can ask questions any time, thanks to BIM is able to reduce the execution time while saving time, it was also possible to study various scenarios of building and this with CAD would be impossible, it is concluded that it can perform a BIM model comprehensive way, being very useful in programming languages, and workflows that are appropriate for the management of information.

Content.

This project shows the geometric design of the road which includes the regions of Yamparaez – Tarabuco, with the proper usage of modern tools, using programs such as Autodesk Civil 3D version 2022, Autodesk Revit version 2022, MS Project, Power BI, Autodesk Navisworks, programming languages, like Python, Visual Basic, Dynamo for Civil 3D and Revit, among others. A deficiency was seen in the management of topographic information, so it was done with the topographic codes, for the geometric design of the road, an XML file was prepared that will serve as a geometric design assistant for Civil 3D, an Excel macro with Visual Basic was also programmed to automate the geometric design. For the modeling of the downspouts, gutters, retaining walls, and bridges, depending on the case, we worked with SAC and families for Revit, to improve the times in which to perform the task, to perform the automation within the modeling refers was used the programming language of Dynamo for Civil3D and Revit, to improve the time in which the tasks are completed. A method was also developed to make a database of the project in general, in this way the quantifications made in Revit and Civil 3D, will be stored in a single database. This was used as the basis for a 5D BIM model and as an aid for the development of a 4D BIM model. A VR model was also made that serves for the socialization of the project.

CONTENIDO

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
3. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.....	4
4. JUSTIFICACIÓN GENERAL.....	5
5. FINES. 6	
6. ESTADO DEL ARTE.....	6
7. OBJETIVOS. 8	
7.1. OBJETIVO GENERAL.....	8
7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8

CAPÍTULO II

8. ALCANCE. 9	
9. MARCO TEÓRICO.....	10
9.1. TOPOGRAFÍA.....	11
9.1.1. Líneas de Rotura.....	11
9.2. DISEÑO GEOMÉTRICO.....	12
9.2.1. Clasificación. Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).....	12
9.2.1.1. Autopista.....	13
9.2.1.2. Autorrutas.....	13
9.2.1.3. Carreteras Primarias.....	13
9.2.1.4. Caminos colectores.....	13
9.2.1.5. Caminos Locales.....	14
9.2.1.6. Camino de Desarrollo.....	14
9.2.2. Manual de Carreteras Volumen I, Diseño Geométrico.....	14
9.2.3. Velocidades.....	15

9.2.3.1. Velocidad de Proyecto (Vp).....	15
9.2.3.2. Velocidad Específica (Ve).....	16
9.2.3.3. Velocidad de Operación (Vop).....	17
9.2.3.4. Velocidad Percentil 85 (V85).....	17
9.2.4. Velocidad 85% para Diseño de Elementos de Planta.....	17
9.2.4.1. Caso I.....	17
9.2.4.2. Caso II.....	17
9.2.5. Ve en curvas horizontales.....	18
9.2.6. Pendiente Longitudinal Máxima.....	19
9.2.7. Longitud Crítica en pendientes.....	20
9.2.8. Bombeo.....	20
9.2.9. Distancia de frenado.....	20
9.2.10. “K” Mínimo para curvas verticales Convexas y Cóncavas.....	21
9.2.10.1. Curvas verticales Convexas.....	21
9.2.10.2. Curva Vertical Cóncava.....	21
9.2.11. Gálibo Vertical Mínimo.....	22
9.2.12. Número de carriles.....	22
9.2.13. Cantero Central.....	23
9.2.14. Ancho de calzada, Berma, Carril, SAP.....	23
9.2.15. Longitud de Clotoides.....	23
9.2.15.1. Criterio a.....	24
9.2.15.2. Criterio b.....	24
9.2.15.3. Criterio c.....	24
9.2.15.4. Criterio d1.....	24
9.2.15.5. Criterio d2.....	25
9.2.16. Peralte máximo.....	25
9.2.16.1. Transición de Peralte.....	27
9.2.16.2. Longitud de desarrollo fórmula general.....	28
9.2.17. Fricción Transversal.....	29
9.2.18. Radios Mínimos Absolutos.....	29
9.2.19. Sobreechancho.....	29
9.2.19.1. Cálculo de Sobreechancho.....	30
9.3. LEAN.....	35
9.4. OBRAS DE DRENAJE.....	36
9.4.1. Obras de Drenaje lineales.....	37
9.4.2. Obras de Drenaje Menor.....	38
9.4.3. Obra de Drenaje Mayor.....	39

9.5. BIM.	41
9.5.1. Madurez BIM	41
9.5.1.1. Nivel 0	41
9.5.1.2. Nivel 1	41
9.5.1.3. Nivel 2	42
9.5.1.4. Nivel 3	42
9.5.2. Modelos Federados.	42
9.5.3. Archivos BIM.	43
9.5.3.1. Información Generada.	43
9.5.3.2. Información Recibida	44
9.5.4. Dimensiones BIM.	44
9.5.4.1. BIM 3D.	44
9.5.4.2. BIM 4D.	44
9.5.4.3. BIM 5D.	45
9.5.4.4. BIM 6D.	45
9.5.4.5. BIM 7D.	45
9.6. LOD (LEVEL OF DEVELOPMENT).	46
9.7. IFC (INDUSTRY FOUNDATION CLASSES).	47
9.8. ROLES BIM.	47
9.8.1. MODELADOR BIM.	47
9.8.2. COORDINADOR BIM.	47
9.8.3. BIM MANAGER.	48
9.9. CONCEPCIÓN DEL PROYECTO.	48
9.9.1. Planificación del Diseño.	48
9.9.2. Diseño.	49
10. METODOLOGÍA.	50
10.1. FLUJOS DE TRABAJO.	50
10.2. REALIZACIÓN DEL PROYECTO.	52
10.2.1. Recolección de Datos.	52
10.2.2. ECD.	52
10.2.3. Modelo BIM 3D.	52
10.2.4. Modelo BIM 4D.	53

CAPÍTULO III

11. MARCO PRÁCTICO.....	54
11.1. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROYECTO.....	55
11.2. ECD.....	57
11.2.1. Flujo de la Información.....	58
11.2.2. Ventajas de BIM sore CAD con un ECD.....	59
11.3. NOMENCLATURA BIM.....	59
11.3.1. Nombre del Proyecto.....	60
11.3.2. Volumen.....	60
11.3.3. Nivel.....	60
11.3.4. Categoría.....	62
11.3.5. Disciplina.....	62
11.3.6. Número.....	63
11.3.7. Tipo.....	63
11.3.8. Archivo.....	63
11.3.9. Descripción.....	63
11.3.10. Estado.....	63
11.3.11. Versión.....	64
11.4. UBICACIÓN.....	64
11.5. TOPOGRAFÍA.....	65
11.5.1. Códigos.....	66
11.5.2. Clasificación.....	66
11.5.3. Líneas de Rotura.....	67
11.5.4. Característica Topográfica.....	69
11.6. LOD DEL PROYECTO.....	70
11.6.1. LOD en el corredor vial.....	70
11.6.2. LOD para las cunetas de desagüe.....	72
11.6.3. LOD para Bajantes prefabricados o escalonados.....	72
11.6.4. LOD para alcantarillas, puentes y Muros de contención.....	73
11.6.5. LOD para barandas de puente.....	73
11.7. DISEÑO GEOMÉTRICO.....	74
11.7.1. Clasificación de la Carretera.....	75
11.7.2. Diseño de Elementos Horizontales.....	75

11.7.2.1. Primer caso $Lr \leq 400 m$	75
11.7.2.2. Segundo y Tercer Caso $400 < Lr \leq 600 m$ $Lr > 600 m$	80
11.7.3. Longitud de la Clotoide.....	83
11.7.4. Tramificación del trazo de la Carretera Yamparaez - Tarabuco.....	83
11.7.5. Parámetros de Diseño.	83
11.7.6. Manual de Carreteras Volumen I de Diseño Geométrico para Civil 3D.	84
11.8. AUTODESK SUBASSEMBLY COMPOSER SAC.	85
11.8.1. Generación de las plantillas.....	86
11.8.2. Codificación.	88
11.8.3. Programación.	89
11.9. SIG.....	92
11.9.1. Red Hídrica.	93
11.10. BIM3D.	95
11.10.1. ECD entorno Común de Datos.....	95
11.10.2. Clasificación BIM.....	96
11.10.2.1. Usos de un sistema de clasificación.....	96
11.10.3. Corredor Vial.....	98
11.10.3.1. Topografía.	98
11.10.3.2. Alineamientos.	98
11.10.3.3. Assemblies.....	98
11.10.3.4. Asistente de Diseño Geométrico del Manual de Carreteras Volumen I, para Autodesk Civil3D.	99
11.10.4. Modelos Revit.....	101
11.10.4.1. Muro de Contención.	101
11.10.4.2. Alcantarillas.	105
11.10.4.3. Bajante.	114
11.10.4.4. Puente.	123
11.10.4.5. Familias.....	124
11.10.5. Flujo de trabajo para la Gestión del Modelo BIM (Equipo de Trabajo).	137
11.10.5.1. BIMCollab.....	137
11.10.6. Flujo de Trabajo para la Revisión de los Modelos BIM (Exploradores BIM).....	140
11.10.6.1. Trimble Connect.	140
11.11. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS APU.	143
11.12. CUANTIFICACIÓN.	144
11.12.1. Desventajas de la Cuantificación por la metodología Tradicional.	144
11.12.2. Cuantificación del Proyecto.	146

11.12.2.1. Cuantificación de Elementos Lineales Civil 3D.	146
11.12.2.2. Cuantificación para superficies Civil 3D.....	153
11.12.2.3. Cuantificación para obras no lineales, Revit.....	155
11.12.3. Flujo de Trabajo para la cuantificación.....	157
11.13. BIM 4D & BIM 5D.....	158
11.13.1. Planificación de Construcción BIM4D.....	158
11.13.1.1. Modelo BIM 3D.....	159
11.13.1.2. Planificación de Construcción MS Project.....	164
11.13.1.3. Autodesk Navisworks.....	164
11.13.1.4. POWER BI.....	167
11.13.2. BIM 5D.....	169
11.13.3. Ventajas y Desventajas de Navisworks.....	171
11.14. SEÑALIZACIÓN.....	172
11.14.1. Flujo de Trabajo.....	172
11.14.2. Emplazamiento de las señales Verticales.....	174
11.15. VR DEL PROYECTO.....	176
11.15.1. Unreal Engine.....	177
11.15.2. Twinmotion.....	178
12. ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	180
12.1. DISEÑO GEOMÉTRICO.....	180
12.1.1. Ecuaciones propuestas para automatizar el proceso para las curvas horizontales CASO II de la Tabla 2.1-1 del Manual de la ABC.....	180
12.1.2. Caso I de la Tabla 2.1-1 del Manual de la ABC.....	181
12.1.3. Asistente de Diseño Geométrico.....	183
12.1.4. Plantillas SAC para la generación del Corredor.....	185
12.2. MODELO BIM 3D GENERADO.....	187
12.3. CUANTIFICACIÓN.....	188
12.3.1. Actualización de la base de datos.....	190
12.4. MODELO BIM 4D.....	192
12.4.1. Programación de los modelos BIM 4D.....	194
12.4.2. Beneficios del Modelo Generado.....	195

CAPÍTULO IV

12.5. MODELO BIM 5D.	196
13. CONCLUSIONES.	198
13.1. CONCLUSIÓN GENERAL.	198
13.2. CONCLUSIÓN ESPECÍFICA.	198
14. RECOMENDACIONES.	202

CAPÍTULO V

15. BIBLIOGRAFÍA.	206
16. REFERENCIAS.	207

Índice de figuras.

FIGURA 1.	ERROR DE RASANTE EN PROYECTO DE INGENIERÍA CIVIL.	2
FIGURA 2.	IMPLEMENTACIÓN DE BIM EN EL MUNDO DEL 2016.....	7
FIGURA 3.	REPRESENTACIÓN VIRTUAL DE UN LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO.....	11
FIGURA 4.	REPRESENTACIÓN DE LAS LÍNEAS DE ROTURA DE UN LEVANTAMIENTO.	12
FIGURA 5.	CÁLCULO, RELACIÓN DE RADIOS PARA EL CASO II.	18
FIGURA 6.	PERALTES DE CURVAS HORIZONTALES.	26
FIGURA 7.	TRANSICIÓN DE PERALTE ENTRA EN BOMBEO NORMAL Y EL PERALTE MÁXIMO.	27
FIGURA 8.	TRANSICIÓN DE PERALTE ENTRADA A CURVA SIN ESPIRAL DE ENTRADA.	27
FIGURA 9.	DIMENSIÓN DE VEHÍCULO. Y SUS DEMARCACIONES PARA REALIZAR UN GIRO.	30
FIGURA 10.	SOBREANCHO DE UNA CARRETERA EN CURVA.....	31
FIGURA 11.	CUNETA TIPO.....	37
FIGURA 12.	BAJANTES DE TALUD.....	37
FIGURA 13.	ALCANTARILLA TIPO CON GAVIONES DE SALIDA.....	38
FIGURA 14.	TIPOS DE CAUCES EN LOS QUE EMPLAZAR ALCANTARILLAS.	38
FIGURA 15.	TIPO DE ALCANTARILLA CAJÓN DOBLE.	39
FIGURA 16.	ESTRIBO TIPO, DE PUENTE.	39
FIGURA 17.	SECCIONES TIPO DE TABLERO DE PUENTE.	40
FIGURA 18.	PREFABRICADO TIPO PRELOSA PARA CONSTRUCCIÓN DE PUENTE.	40
FIGURA 1.	NIVELES DE USO BIM.	42
FIGURA 2.	REPRESENTACIÓN DE UN MODELO FEDERADO DE UN EDIFICIO.	43
FIGURA 3.	DISTINTOS ARCHIVOS CON LOS QUE SE TRABAJA EN UN ENTORNO BIM.	43

FIGURA 4.	DIMENSIONES BIM.	45
FIGURA 5.	REPRESENTACIÓN DE LOS DISTINTOS TIPOS DE LOD'S.....	46
FIGURA 6.	ORIGAMI, 20 PASOS A REALIZAR PARA OBTENER UNA FIGURA.....	51
FIGURA 7.	ECD DEL PRESENTE PROYECTO.....	57
FIGURA 8.	ARCHIVOS MIENTRAS SE SINCRONIZAN EN LA NUBE DE MEGA.	58
FIGURA 9.	FORMATO ELEGIDO PARA EL ALMACENAMIENTO DE LA INFORMACIÓN 3D.	59
FIGURA 10.	SUBTRAMOS DEFINIDOS POR LETRAS DEL TRAMO A DISEÑAR.	60
FIGURA 11.	ILUSTRACIÓN SOBRE LOS NIVELES DE ESTE CAMPO.	61
FIGURA 12.	NOMENCLATURA DE CLASIFICACIÓN.....	64
FIGURA 13.	MAPA POLÍTICO DEPARTAMENTAL DE LA UBICACIÓN DEL PROYECTO.....	65
FIGURA 14.	IZQ. MAPA PROVINCIAL DEL ÁREA DEL PROYECTO, DER. MAPA MUNICIPAL DEL PROYECTO.....	65
FIGURA 15.	PLANILLA DEL LEVANTAMIENTO DE LOS PUNTOS TOPOGRÁFICOS, SE ENCUENTRA REMARCADOS LOS CÓDIGOS. 66	
FIGURA 16.	CLASIFICACIÓN DE LOS PUNTOS EN CIVIL 3D.	67
FIGURA 17.	BREAKLINES ELABORADAS PARA LAS CORRECCIONES TOPOGRÁFICAS.	67
FIGURA 18.	TOPOGRAFÍA SIN CORRECCIÓN (IZQ.), TOPOGRAFÍA CON CORRECCIÓN (DER.).....	68
FIGURA 19.	TOPOGRAFÍA SIN CORRECCIÓN (IZQ.), TOPOGRAFÍA CON CORRECCIÓN (DER.).....	69
FIGURA 20.	HIPERFOTO ESRI Z21 DEL ÁREA DEL PROYECTO.	69
FIGURA 21.	LOD PARA CSR, CSB, CB, CR.	71
FIGURA 22.	FAMILIA DE BARANDA METÁLICA.	74
FIGURA 23.	RELACIÓN ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS PARA CARRETERAS (IZQ.) Y CAMINOS (DER.).....	76
FIGURA 24.	RELACIÓN ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS PARA CARRETERAS.....	76
FIGURA 25.	UTILIZACIÓN DE LAS ECUACIONES PARA LAS CARRETERAS DEL CASO I.	78

FIGURA 26.	RELACIÓN ENTRE RADIOS CONSECUTIVOS PARA CARRETERAS.....	78
FIGURA 27.	UTILIZACIÓN DE LAS ECUACIONES PARA LOS CAMINOS DEL CASO I.....	80
FIGURA 28.	MACRO DE MS EXCEL PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO.....	82
FIGURA 29.	PORTE DEL CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN DE VISUAL BASIC DE LA MACRO.	82
FIGURA 30.	MACRO DE MS EXCEL PARA EL CÁLCULO DE LOS CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA CLOTOIDE.	83
FIGURA 31.	ASISTENTE DE DISEÑO GEOMÉTRICO PARA CIVIL 3D DEL MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I.	84
FIGURA 32.	CONFECCIÓN DEL ASISTENTE DE DISEÑO GEOMÉTRICO CON BASE AL MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I DE LA ABC.....	85
FIGURA 33.	SAC PARA LA CONFORMACIÓN DEL CARRIL PRINCIPAL.....	86
FIGURA 34.	SAC PARA LA CONFORMACIÓN DEL CANTERO CENTRAL.....	86
FIGURA 35.	SAC PARA LA CONFORMACIÓN DEL SAP.	87
FIGURA 36.	EJEMPLOS DE LA ADAPTACIÓN DE SAC EN FUNCIÓN DE ALGUNA CONDICIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.	87
FIGURA 37.	GESTIÓN DE LOS CÓDIGOS DE CONFORMACIÓN DE LOS ASSEMBLIES.....	89
FIGURA 38.	PROGRAMACIÓN VISUAL PARA SAC DEL CANTERO CENTRAL.....	90
FIGURA 39.	PROGRAMACIÓN VISUAL PARA SAC DEL SAP.	91
FIGURA 40.	REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE SIG O GIS.....	92
FIGURA 41.	RED HÍDRICA DEL TERRENO NATURAL.	93
FIGURA 42.	RED HÍDRICA DE LA SUPERFICIE NATURAL MÁS SUPERFICIE DEL CORREDOR TOP.....	94
FIGURA 43.	SHAPE DE ARCGIS, RED DE DRENAJE EN CIVIL 3D.	94
FIGURA 44.	RESULTADO DE REALIZAR LA RED HÍDRICA DEL “TERRENO NATURAL MÁS SUPERFICIE TOP”.	95
FIGURA 45.	DATA SHORTCUTS DEL ECD.	95
FIGURA 46.	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN BIM GUBIMCLASS.....	96

FIGURA 47.	SISTEMA DE CLASIFICACIÓN GUBIMCLASS ADAPTADO A CARRETERAS.	97
FIGURA 48.	ASSEMBLY DE SAC PARA VINCULAR LA CODIFICACIÓN.	97
FIGURA 49.	CLASIFICACIÓN MODIFICADA DE LA GUBIMCLASS PARA REVIT.	98
FIGURA 50.	SECCIÓN TRANSVERSAL GENERADA A BASE DE LOS ARCHIVOS SAC.	99
FIGURA 51.	ALINEAMIENTO HORIZONTAL EN CIVIL3D CON EL MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I.	99
FIGURA 52.	PERALTE GENERADO POR MEDIO DEL MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I REALIZADO.	100
FIGURA 53.	CORREDOR DEL PROYECTO.	100
FIGURA 54.	SAC PARA EL SAP CON LA CODIFICACIÓN NECESARIA.	101
FIGURA 55.	PLANTILLA DE SAC PARA EL SAP, CON DOS CASOS DE MODELADO.	103
FIGURA 56.	FAMILIAS DE MUROS DE CONTENCIÓN. (DER.) MURO ESTRUCTURAL CON ESPACIO PARA SALIDA DE ALCANTARILLA. (IZQ.) MURO ESTRUCTURAL MACIZO.	103
FIGURA 57.	ESPACIO DONDE SE CAMBIAN LAS DIMENSIONES DEL MURO DE CONTENCIÓN EN REVIT.	104
FIGURA 58.	MURO DE CONTENCIÓN MODELADO EN REVIT.	104
FIGURA 59.	MODELO DE EXPLANACIÓN PARA EL MURO MODELADO EN REVIT.	105
FIGURA 60.	FAMILIA DE REVIT PARA EL CABEZAL DE LA ALCANTARILLA.	106
FIGURA 61.	FAMILIA DE REVIT PARA EL CUERPO DE LA ALCANTARILLA.	106
FIGURA 62.	CÁMARA FAMILIA DE REVIT.	107
FIGURA 63.	TOPOGRAFÍA IMPORTADA DESDE CIVIL 3D A REVIT.	108
FIGURA 64.	MODELO DE LA ALCANTARILLA CON TOPOGRAFÍA Y CORREDOR.	109
FIGURA 65.	MODELO DE LA ALCANTARILLA 01.	110
FIGURA 66.	MODELO DE EXPLANACIÓN DE LA ALCANTARILLA GENERADO EN CIVIL3D.	111
FIGURA 67.	MODELO DE LA ALCANTARILLA 02.	111
FIGURA 68.	MODELO DE EXPLANACIÓN PARA LA ALCANTARILLA.	112

FIGURA 69.	MODELO DE LA ALCANTARILLA 03.....	113
FIGURA 70.	MODELO DE EXPLANACIÓN REALIZADA EN CIVIL3D.	113
FIGURA 71.	BAJANTE ESCALONADO.	114
FIGURA 72.	BAJANTE PREFABRICADO. FUENTE: (ALBERDI, 2012).	114
FIGURA 73.	FAMILIA DE REVIT, PARA BAJANTE PREFABRICADO.	115
FIGURA 74.	FAMILIA DE REVIT PARA BAJANTE PREFABRICADO.	115
FIGURA 75.	ZONA DONDE SE EMPLAZARÁ LA BAJANTE PREFABRICADA.	116
FIGURA 76.	FLUJOGRAMA PARA EMPLAZAR LAS FAMILIAS.	117
FIGURA 77.	DYNAMO’S ELABORADOS PARA MODELAR LAS BAJANTES.	117
FIGURA 78.	ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DONDE SE EMPLAZARÁ LA BAJANTE.....	117
FIGURA 79.	DYNAMO PARA CIVIL 3D ELABORADO PARA EXPORTAR LOS PUNTOS DEL EJE.	118
FIGURA 80.	ARCHIVO EXCEL EXPORTADO CON LAS COORDENADAS DEL EJE.....	119
FIGURA 81.	DYNAMO PARA REVIT ELABORADO PARA EXPORTAR LAS COORDENADAS DE LA LÍNEA DE MODELO.....	120
FIGURA 82.	DYNAMO PARA REVIT ELABORADO PARA MODELAR LAS FAMILIAS EN LAS COORDENADAS.	121
FIGURA 83.	EMPLAZADO DE LAS FAMILIAS EN LAS COORDENADAS CON AYUDA DE DYNAMO PARA REVIT.	121
FIGURA 84.	BAJANTE PREFABRICADA IMPORTADA DESDE CIVIL 3D.	122
FIGURA 85.	FAMILIA REVIT PARA EL ESTRIBO DEL PUENTE.....	124
FIGURA 86.	FAMILIA REVIT ELABORADA PARA LA PILA DEL PUENTE.	125
FIGURA 87.	FAMILIA DE REVIT ELABORADA PARA EL PERFIL DEL PUENTE.	125
FIGURA 88.	FAMILIA REVIT ELABORADA PARA LA BARANDA DEL PUENTE.	126
FIGURA 89.	FAMILIA REVIT ELABORADA PARA LA BARANDA DEL PUENTE 2.....	127
FIGURA 90.	FAMILIA REVIT ELABORADA PARA LAS VIGAS DEL PUENTE.	127

FIGURA 91.	FAMILIA REVIT ELABORADA PARA LAS BARRERAS NEW JERSEY DEL PUENTE.	128
FIGURA 92.	REGIÓN DONDE SE EMPLAZARÁ EL PUENTE.	129
FIGURA 93.	ASSEMBLY ELABORADO PARA PUENTES EN CIVIL 3D.	129
FIGURA 94.	DYNAMO PARA CIVIL 3D. ELABORADO PARA EXPORTAR LOS DATOS Y CLASIFICARLOS.	130
FIGURA 95.	ARCHIVO EXCEL EXPORTADO CON LOS DATOS DEL FL Y SU CÓDIGO DE UBICACIÓN.	130
FIGURA 96.	DYNAMO PARA REVIT ELABORADO PARA MODELAR EL TABLERO DEL PUENTE DESDE MS EXCEL.....	131
FIGURA 97.	TABLERO DEL PUENTE MODELADO CON DYNAMO DE REVIT.....	132
FIGURA 98.	DYNAMO DE REVIT ELABORADO PARA COLOCAR LAS VIGAS DEL PUENTE.....	133
FIGURA 99.	DYNAMO PARA REVIT ELABORADO PARA COLOCAR LOS DIAFRAGMAS DEL PUENTE.	133
FIGURA 100.	DYNAMO PARA REVIT ELABORADO PARA EMPLAZAR LAS PRELOSAS DEL PUENTE.....	134
FIGURA 101.	EMPLAZADO DE BARRERAS METÁLICAS Y BARRERAS DE PROTECCIÓN.	135
FIGURA 102.	MODELO DEL PUENTE IMPORTADO DESDE REVIT.....	135
FIGURA 103.	PLATAFORMA BIMCOLLAB DONDE SE ALOJA EL MODELO DE GESTIÓN DEL PROYECTO.	137
FIGURA 104.	PLUGIN DE BIMCOLLAB PARA NAVISWORKS.....	137
FIGURA 105.	PLUGIN PARA CIVIL3D.....	138
FIGURA 106.	PLUGIN PARA REVIT.....	139
FIGURA 107.	CORREDOR VIAL ELABORADA CON CIVIL 3D.	140
FIGURA 108.	PLATAFORMA TRIMBLE CONNECT EJECUTADO CON EL PROYECTO.	141
FIGURA 109.	ERROR ENCONTRADO GRACIAS A LA HERRAMIENTA BIM DE GESTIÓN DE MODELOS.	142
FIGURA 110.	BASE DE DATO DEL ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS.	144
FIGURA 111.	PLANTILLA PARA EL CANTERO CENTRAL ELABORADA CONO SAC.....	147
FIGURA 112.	SÓLIDOS DEL CORREDOR CON SU RESPECTIVA CLASIFICACIÓN.	147

FIGURA 113.	ARCHIVOS ELABORADOS PARA REALIZAR LA CUANTIFICACIÓN DENTRO DE CIVIL 3D.	148
FIGURA 114.	ITEM DE PAGO DENTRO DE CIVIL 3D.	148
FIGURA 115.	XML GENERADO PARA LA ORGANIZACIÓN DE LOS CÓMPUTOS DENTRO DE CIVIL 3D.	149
FIGURA 116.	CUADRO DE DIÁLOGO DE CIVIL 3D PARA CARGAR LOS ARCHIVOS QUE REALIZARÁN LA CUANTIFICACIÓN. 149	
FIGURA 117.	LAS PARTIDAS DEL APU ORDENADAS CON EL XML GENERADO.....	149
FIGURA 118.	RESULTADO DE LA CUANTIFICACIÓN CON LOS ARCHIVOS CARGADOS.	150
FIGURA 119.	PLANTILLA DE SAP GENERADA EN SAC PARA EL CORREDOR DEL PROYECTO.	151
FIGURA 120.	DYNAMO DE CIVIL 3D ELABORADO PARA REALIZAR LA CUANTIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LA CAPA DE ESTA. 151	
FIGURA 121.	CODIFICACIÓN PARA GUARDAR LOS ARCHIVOS DE CUANTIFICACIÓN LINEALES CIVIL 3D.	152
FIGURA 122.	CARPETA SELECCIONADA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LAS OBRAS LINEALES.....	153
FIGURA 123.	MODELO DE VOLÚMENES DE EXCAVACIONES Y TERRAPLENES DE CIVIL 3D.....	153
FIGURA 124.	FORMATO DE MS EXCEL PARA LA CUANTIFICACIÓN DEL MOVIMIENTO DE TIERRAS EN CIVIL 3D.....	154
FIGURA 125.	CARPETA SELECCIONADA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE LAS SUPERFICIES.	154
FIGURA 126.	CODIFICACIÓN PARA GUARDAR LOS ARCHIVOS DE CUANTIFICACIÓN SUPERFICIES CIVIL 3D.	155
FIGURA 127.	FORMATO DE LA CUANTIFICACIÓN DE LOS MODELOS BIM.....	156
FIGURA 128.	CARPETA SELECCIONADA PARA LA CUANTIFICACIÓN DE REVIT.	156
FIGURA 129.	CODIFICACIÓN PARA GUARDAR LOS ARCHIVOS DE CUANTIFICACIÓN REVIT.....	156
FIGURA 130.	ARCHIVO MASTER ELABORADO, CON EL EDITOR POWER QUERY Y SU CODIFICACIÓN.	157
FIGURA 131.	MASTER DE EXCEL REALIZADO PARA COMPILAR LOS DATOS.....	158
FIGURA 132.	PLANIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN BIM 4D “NORMAL”.....	159
FIGURA 133.	PROPERTY SET ELABORADO PARA EL MODELO DE SÓLIDOS DE CIVIL 3D.....	160

FIGURA 134.	DYNAMO PARA CIVIL 3D, PARA DIVIDIR LOS SÓLIDOS Y AGREGAR SUS CÓDIGOS DE IDENTIFICACIÓN....	160
FIGURA 135.	DYNAMO PARA CIVIL 3D, ELABORADO PARA DIVIDIR LOS SÓLIDOS DE LA SUPERFICIE EN FUNCIÓN DE UN INTERVALO.	161
FIGURA 136.	DYNAMO PARA CIVIL 3D, ELABORADO PARA ASIGNAR LOS PROPERTY SETS, Y SUS RESPECTIVOS CÓDIGOS BIM4D.	162
FIGURA 137.	SÓLIDOS DEL CORREDOR CON SU RESPECTIVO CÓDIGO BIM4D ELABORADO.	162
FIGURA 138.	ARCHIVO DE PARÁMETROS REALIZADOS PARA LOS MODELOS DE REVIT.	163
FIGURA 139.	DYNAMO PARA REVIT, QUE AÑADE LOS PARÁMETROS BIM 4D.	163
FIGURA 140.	MODELO DE ALCANTARILLA GENERADO EN REVIT CON PARÁMETROS BIM4D.	164
FIGURA 141.	PLANIFICACIÓN DE CONSTRUCCIÓN PARA EL MODELO BIM 4D.	164
FIGURA 142.	FORMATO DE EXPORTACIÓN CSV PARA NAVISWORKS.	165
FIGURA 143.	IMPORTACIÓN DEL ARCHIVO PARA GENERAR EL CRONOGRAMA EN NAVISWORKS.	165
FIGURA 144.	MODELO BIM 4D DEL PROYECTO EN AUTODESK NAVISWORKS.	166
FIGURA 145.	BIM 4D CONSTRUCCIÓN DE LA ALCANTARILLA.	166
FIGURA 146.	POWER BI PARA EL PROYECTO.....	168
FIGURA 147.	FORMULARIO DE LOS RECURSOS DE MS PROJECT.....	169
FIGURA 148.	ARCHIVOS REALIZADOS PARA EL FLUJO DE LA SEÑALIZACIÓN.	172
FIGURA 149.	ARCHIVO GENERADO EN MS EXCEL CON VISUAL BASIC PARA ORDENAR LOS DATOS.	173
FIGURA 150.	MACRO DE EXCEL PARA OBTENER TIPO DE SEÑAL, Y PROGRESIVA.....	173
FIGURA 151.	PLANILLA DE DISEÑO DE LAS SEÑALES VERICALES DEL PROYECTO.	174
FIGURA 152.	DYNAMO PARA CIVIL 3D ELABORADO PARA COLOCAR LAS SEÑALES VERTICALES EN SU PROGRESIVA. .	175
FIGURA 153.	MODELO VR DEL PROYECTO EN UNREAL ENGINE.....	177
FIGURA 154.	MODELO VR DEL PROYECTO EN UNREAL ENGINE VISTA 2.	177

FIGURA 155.	MODELO VR DEL PROYECTO REALIZADA EN TWINMOTION.	178
FIGURA 156.	VISTA DEL PROYECTO HECHA CON TWINMOTION.....	178
FIGURA 157.	ANALIZANDO EN LA GRÁFICA DEL MANUAL, UN RADIO DE ENTRADA “X” PARA COMPARARLA CON LAS ECUACIONES PROPUESTAS.	180
FIGURA 158.	MACRO DE EXCEL Y CÁLCULO PARA COMPARAR LOS RESULTADOS PARA UN RADIO DE ENTRADA DE 300M. 181	
FIGURA 159.	FIGURA 2.3-3 DEL MANUAL DE LA ABC PARA OBTENER LOS DATOS DE DISEÑO.	181
FIGURA 160.	MACRO DE EXCEL PARA EL CASO I PARA UN RADIO DE 300M.....	182
FIGURA 161.	ALINEAMIENTO EN CIVIL 3D CON LOS PARÁMETROS DE LA AASHTO POR DEFECTO.....	183
FIGURA 162.	MISMO ALINEAMIENTO EN CIVIL 3D CON EL XML DEL MANUAL DE LA ABC QUE SE REALIZÓ.	183
FIGURA 163.	PLANTILLA SAC PARA EL DESARROLLO DEL SAP DEL CORREDOR.	185
FIGURA 164.	PLANTILLA SAC DEL SAP, ADAPTÁNDOSE A LAS CONDICIONES DEL PROYECTO.	185
FIGURA 165.	PLANTILLA DEL SAP, CON UN BORDILLO.....	186
FIGURA 166.	PLANTILLA SAP, ADAPTADA A LA GENERACIÓN DE UNA BANQUINA.	186
FIGURA 167.	MODELO BIM3D DEL CORREDOR, REALIZADO CON LAS PLANTILLAS SAC.	187
FIGURA 168.	PLANO DE ALCANTARILLA EN UN PROYECTO CAD.	188
FIGURA 169.	CUANTIFICACIÓN DE UNA ALCANTARILLA DEL PROYECTO, CON REVIT.	189
FIGURA 170.	EJEMPLO DE LOS ARCHIVOS DE CUANTIFICACIÓN QUE SE REALIZARON Y EL FORMATO DE ESTOS.	190
FIGURA 171.	BASE DE DATOS VISUALIZADA CON POWER BI.....	190
FIGURA 172.	CUNETAS EN LA REGIÓN “A” QUE SE MODELÓ.....	191
FIGURA 173.	CUANTIFICACIÓN DE LA CUNETAS QUE SE MODELÓ POR LOS CÓDIGOS SAC.	191
FIGURA 174.	BASE DE DATOS ACTUALIZADA, QUE YA MUESTRA LA CUNETAS QUE SE MODELÓ AL FINAL.....	191
FIGURA 175.	MODELO BIM 4D NORMAL, EN ETAPA INICIAL.	193

FIGURA 176.	MODELO BIM 4D NORMAL, EN UNA ETAPA POCO AVANZADA.	193
FIGURA 177.	MODELO BIM 4D AVANZADO QUE SE REALIZÓ PARA EL PROYECTO, CON SU PARÁMETRO AÑADIDO POR PROGRAMACIÓN.	194
FIGURA 178.	ENLACE AUTOMÁTICO DEL MODELO BIM 4D.....	195
FIGURA 179.	DISTINTOS ESCENARIOS DE CONSTRUCCIÓN REALIZADOS PARA EL PROYECTO EN MS PROJECT.....	196
FIGURA 180.	BASE DE DATOS DEL PROYECTO, CON EL PARÁMETRO DE COSTO, TIEMPO, ETC.	197

Índice de tablas.

TABLA 1.	VELOCIDADES DE DISEÑO PARA CARRETERAS PRIMARIAS.	13
TABLA 2.	CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO CARRETERAS Y CAMINOS RURALES.	14
TABLA 3.	CARACTERÍSTICAS TÍPICAS DE CARRETERAS Y CAMINOS.	15
TABLA 4.	V85% PARA DISEÑO CASO I.....	17
TABLA 5.	PENDIENTE MÁXIMA ADMISIBLE.	19
TABLA 6.	PENDIENTES MÁXIMAS PARA CAMINOS DE ALTA MONTAÑA.....	19
TABLA 7.	LONGITUD CRITICA EN PENDIENTES.	20
TABLA 8.	BOMBEO EN CALZADA.	20
TABLA 9.	DISTANCIA DE FRENADO.....	21
TABLA 10.	K MÍNIMO.	22
TABLA 11.	NÚMERO DE CARRILES.....	22
TABLA 12.	ANCHOS DEL CANTERO CENTRAL.....	23
TABLA 13.	ANCHO DE CALZADA TABLA 3.1-1.	23
TABLA 14.	TASA MÁXIMA DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN.....	25
TABLA 15.	TASA NORMAL DE DISTRIBUCIÓN DE ACELERACIÓN.	25
TABLA 16.	FUERAS QUE ACTÚAN EN EL VEHÍCULO EN UNA CURVA HORIZONTAL.	25
TABLA 17.	PENDIENTE RELATIVA DE BORDE.	28
TABLA 18.	RADIOS MÍNIMOS ABSOLUTOS.	29
TABLA 19.	HUELGAS TEÓRICAS.....	29
TABLA 20.	ENSANCHE DE LA CALZADA EN FUNCIÓN DEL TIPO DE VEHÍCULO.....	30

TABLA 21.	PARA INTERSECCIONES.....	31
TABLA 22.	HERRAMIENTAS UTILIZADAS Y SU FUNCIÓN EN EL PROYECTO.....	55
TABLA 23.	CODIFICACIÓN PARA LOS NIVELES DE LA NOMENCLATURA BIM.....	60
TABLA 24.	CODIFICACIÓN DE LA SECCIÓN DEL CORREDOR.....	62
TABLA 25.	CATEGORIZACIÓN DEL PROYECTO.	62
TABLA 26.	DISCIPLINAS DENTRO DEL PROYECTO.	62
TABLA 27.	NOMENCLATURA POR TIPO.....	63
TABLA 28.	NOMENCLATURA PARA EL CAMPO ESTADO.	64
TABLA 29.	DATOS OBTENIDOS DE LA GRÁFICA, CON LOS CUALES SE REALIZARÁ LA REGRESIÓN PARA OBTENER LA FUNCIÓN. 77	
TABLA 30.	DATOS OBTENIDOS DE LA GRÁFICA, CON LOS CUALES SE REALIZARÁ LA REGRESIÓN PARA OBTENER LA FUNCIÓN. 79	
TABLA 31.	V85% AL FINAL DE UNA RECTA SEGÚN LONGITUD Y VELOCIDAD DE PROYECTO.....	80
TABLA 32.	VELOCIDAD ESPECÍFICA EN CURVAS HORIZONTALES SEGÚN RADIO – PERALTE Y FRICCIÓN TRANSVERSAL. 80	
TABLA 33.	TRAMIFICACIÓN DEL TRAMO.....	83
TABLA 34.	PARÁMETROS DE DISEÑO GEOMÉTRICO.....	83
TABLA 35.	PUNTOS FUETES DE AUTODESK NAVISWORKS.....	171
TABLA 36.	DATOS DEL ALINEAMIENTO HORIZONTAL DE UNO DE LOS TRAMOS DEL PROYECTO, OBTENIDO CON LAS HERRAMIENTAS ELABORADAS.....	184

Índice de flujos de trabajo.

FLUJO DE TRABAJO 01.	FLUJO DE TRABAJO PARA EL DISEÑO GEOMÉTRICO DE UNA CARRETERA CON EL MANUAL DE CARRETERAS VOLUMEN I DE LA ABC.	32
FLUJO DE TRABAJO 02.	HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LAS DISTINTAS ETAPAS DEL PROYECTO.	57
FLUJO DE TRABAJO 03.	EMPLAZADO DE LA BAJANTE PREFABRICADA.	122
FLUJO DE TRABAJO 04.	MODELAMIENTO DE UN PUENTE.....	136
FLUJO DE TRABAJO 05.	TRABAJO PARA LA COORDINACIÓN DE LOS MODELOS BIM.....	139
FLUJO DE TRABAJO 06.	GESTIÓN DE LOS MODELOS BIM POR TRIMBLE CONNECT.	142
FLUJO DE TRABAJO 07.	PROCESO DEL MODELO BIM4D BIM5D.	170
FLUJO DE TRABAJO 08.	SEÑALIZACIÓN DE UNA CARRETERA.	175
FLUJO DE TRABAJO 09.	VR DEL PROYECTO.	179

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN.

En el mundo de la planificación, diseño y construcción de hoy en día, para poder realizar un proyecto de ingeniería Civil, es necesario que este esté realizado pensando en el hecho que se trata de un proyecto multidisciplinario, es decir que interactuarán varios profesionales.

El modo de trabajo convencional¹ (CAD), si bien funciona trae problemas tanto en la elaboración del proyecto, como en la gestión de este, de igual manera pueden existir problemas para cumplir con los plazos establecidos, para cualquier proyecto de Ingeniería Civil. Puesto que los problemas que tiene el proyecto, por lo general suelen detectarse antes de una entrega o peor aún, ya cuando el proyecto está en fase de construcción. Este tipo de errores representan tiempo y dinero no planificado, siendo estos directamente proporcional a la gravedad de los mismos. Estos errores pudieron ser identificados y resueltos fácilmente con la metodología **BIM**².

El termino BIM aparece por primera vez en 1992 en el documento “Automatización de la construcción” elaborado por Van Nederveen, aunque sus orígenes ideológicos se remontan a tiempos anteriores. Entendemos como BIM al conglomerado de disciplinas e interesados que convergen, para realizar un proyecto de ingeniería civil desde, la planificación, diseño, construcción, mantenimiento y operación. De esa manera la metodología BIM nos ayudará a la adecuada **GESTIÓN** del proyecto en cada una de las fases mencionadas anteriormente, hablamos de gestión porque el proyecto en cada una de las etapas está vivo, es decir que este puede variar a medida que pasa el tiempo, el trazo de una carretera puede variar, ya sea por la topografía, geología, hidrología, etc. Y esto representa mucho trabajo innecesario, de trabajar de la manera convencional, puesto que los cómputos métricos, planos, informes, presupuesto, programación de obra se verían afectados.

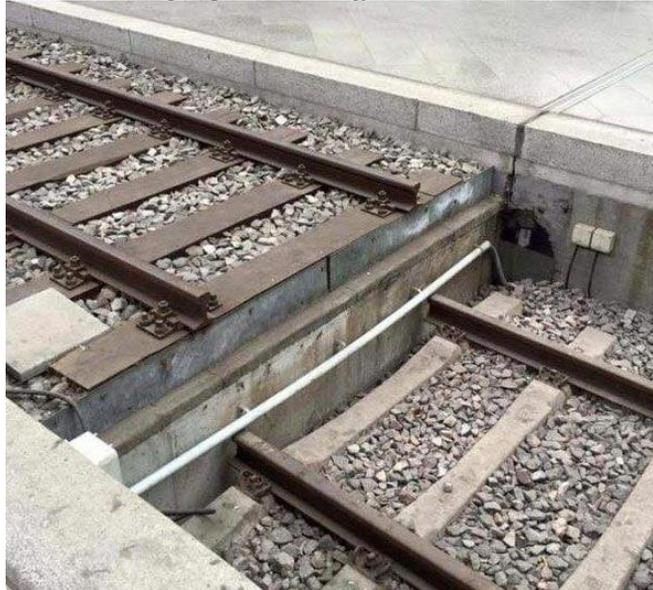
¹ Proyectos sin implementar la metodología BIM.

² Building Information Modeling.

Para obtener un buen resultado es necesario establecer las reglas de trabajo, es decir un documento en el que se especifique como se realizará el proyecto, los formatos a utilizar los programas, los métodos de gestión, entre otros. Además, se presentarán los flujos de trabajo, a este documento se le conoce como **BEP**³.

Entonces BIM es un conjunto de estándares, metodologías y tecnologías que nos permiten diseñar, modelar, construir y operar una obra de ingeniería civil, nos ayuda a realizar el diseño más rápido y con mayor información disponible, al igual que nos permite evitar errores de concepto dentro de cualquier obra de ingeniería civil. Claro esto si se aplica la metodología BIM de una manera adecuada.

Figura 1. *Error de rasante en proyecto de ingeniería civil.*



Fuente: Desconocido.

En la imagen superior podemos observar algunos de los problemas que se pueden presentar con la metodología tradicional o CAD⁴, ese tipo de problemas se pueden evitar con la metodología BIM.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

Los problemas que se generan al trabajar con la metodología CAD son muy grandes, como se puede ver algunos de los problemas que se tienen, al trabajar con la metodología CAD son, que la

³ BIM Execution Plan, es una manual que establece los procesos que garanticen que se realizará un modelado BIM tal como lo pidió el cliente

⁴ El término CAD hace referencia a la metodología tradicional, es decir a la forma en la que se trabaja convencionalmente.

mayoría de los archivos generados tienen que volver a ser generados de nuevo, teniendo problemas con re trabajo, es decir volver a realizar una tarea que no debería de volver a generarse. El tiempo que conlleva resolver todos los problemas encontrados puede ser muy extenso y es más probable cometer errores al trabajar con la metodología CAD.

En los proyectos de ingeniería civil, es normal encontrarse con situaciones no previstas, y el cómo solucionar esos problemas dependerá de la experiencia del personal técnico, empero existen también algunos inconvenientes que pudieron ser evitables, y estos son más fáciles de identificar con un modelo BIM.

Los problemas que supone el enfrentarse a un proyecto civil tanto en el diseño, construcción, de una carretera, con el modo convencional, son los siguientes:

- La información está en un lugar físico, esto hace que se tenga problemas al trabajar con la información, es muy probable que se trabaje con datos obsoletos. Puesto que no existe certeza, de que los datos con los que se trabajan sean los adecuados.
- Existen deficiencias en la comunicación, se utilizan métodos de gestión, poco eficientes tanto en la etapa de la planificación como en la etapa del diseño y construcción.
- Al no trabajar con modelos 3D, ocasiona, que los métodos utilizados, para los cálculos de materiales sean arcaicos y que se tenga muy presente el error humano en el cálculo de los mismos.
- Cada lote de planos se hace obsoleto con cada modificación que se tenga que hacer en el proyecto, teniendo que ser generados de nuevo con cada modificación del proyecto.
- Al trabajar con CAD no es posible identificar todas las interferencias que se tendrán entre las disciplinas, y menos poder realizar una gestión entre ellas.
- Al no trabajar con un modelo 3D, no es posible realizar un modelado BIM 4D, y menos contar con un modelo BIM 5D.
- Los datos obtenidos para la gestión en la construcción del proyecto, de igual manera no son los más adecuados, ya que no son dinámicos.

- Al trabajar con metodologías tan anticuadas, es muy probable que no se llegue a cumplir con los plazos de entrega comprometidos, O al menos no de manera satisfactoria.

3. PLANTEAMIENTO DE LA SOLUCIÓN.

Respecto a los aspectos mencionados anteriormente se realizará el modelado BIM 3D de la carretera diseñada con el Manual de Carreteras Volumen I “ABC”, también se tiene previsto realizar el modelado de algunas obras de drenaje, de manera tal que se pude mostrar la gestión de los modelos BIM generados. Y poder mostrar los flujos adecuados entre los distintos departamentos de diseño de una carretera.

Son varios aspectos los que tienen que ser resueltos, y para ello se plantean las siguientes soluciones para adentrarse en la metodología BIM.

- Trabajar en la nube, de esa manera se garantiza que los datos estén disponibles en cualquier momento, además de que se garantiza que los datos sean los más recientes. Como entorno de trabajo en la nube están Google Drive, MEGA y BIM360.
- Se planea utilizar una plataforma para la adecuada gestión de los conflictos que se tengan durante el diseño, de esta manera, se podrán gestionar las distintas disciplinas, y que los cambios realizados sean también en la nube, de esa manera los encargados del proyecto tendrán los datos más recientes y se evitará trabajar con datos obsoletos.
- Al modelar el proyecto en 3D, se garantiza que los datos obtenidos, sean fáciles de computar, la carretera se modelará en Autodesk Civil 3D, así se podrán tener los cómputos relacionados con la obra vial de manera fácil y rápida, las obras de arte como puentes y alcantarillas en caso de que estas sean necesarias, se las modelará con Autodesk Revit, es así que también se podrán tener cómputos de manera eficaz, de manera general es importante señalar al modelar obras de arte con un programa BIM, se tiene ventaja al momento de generar los planos de los mismos.
- Para evitar los errores CAD, la gestión entre disciplinas se realizará con NAVISWORKS, así también es un adecuado método para visualizar el proyecto en 3D.

- Con NAVISWORKS se puede realizar una planificación 4D del proyecto al igual que con la herramienta SYNCHRO de la casa Bentley, y con esto se pueden optimizar los tiempos de ejecución de la obra, y poder plantear los mejores escenarios de construcción de la obra de ingeniería civil.
- Al contar con un modelo 3D, será posible realizar una mejor planificación del proyecto, porque este podrá ser elaborado con datos que se acerquen más a la realidad.

4. JUSTIFICACIÓN GENERAL.

El proyecto consiste en mostrar *flujos de trabajo* y *buenas prácticas* dentro del modelado y diseño de una carretera, así como ver la interoperabilidad que existe entre Civil 3D y Revit, al momento de modelar elementos no lineales, dentro de los flujos de trabajo presentados se planea ver la utilidad de tener los modelos BIM en la nube y gestionar los conflictos que se presenten desde plataformas BIM.

Al trabajar de esta manera podremos reducir los tiempos en los que se puede obtener la información más relevante para el proyecto como, los cómputos métricos, planos, etc. Así como también detectar rápidamente las interferencias entre los modelos que se puedan generar.

Los datos generados y los datos con los que se empieza un proyecto solo son útiles, si se aplican de manera correcta y adecuadas metodologías, al igual que estos tienen que estar disponibles en todo momento.

Es decir, al modelar un elemento en 3D, hace que sea más fácil realizar una inspección virtual de este por medio de visores 3d de modelos BIM, además que se puede ver el proyecto desde otra perspectiva, contemplando algo que no podría ser fácil de ver, si estuviésemos viéndolo en 2D, de trabajar con la metodología CAD la mayoría de los errores se detectarán solo cuando se esté ejecutando la obra, y esto se traduce en doble pérdida, tanto en el tiempo que se necesite al querer solucionar el problema, como de recursos que no fueron contemplados al momento de realizar el presupuesto de la obra.

Los beneficios que conlleva la metodología BIM en un proyecto son muchos, para todos los involucrados en el proyecto, tanto al dueño del proyecto como al que lo diseña, construye, supervisa, etc. Puesto que representan herramientas para poder gestionar un proyecto, mejorar los

tiempos de diseño, desde el diseño como en el caso de ser necesario un rediseño por algún cambio efectuado después.

5. FINES.

Realizar el modelado de una carretera en la nube, de manera tal que se pueda ver las ventajas de trabajar con un modelo que no esté en un lugar físico, también se planea establecer flujos de trabajo adecuados para poder realizar el modelado y no contar con inconvenientes después, dentro de estos flujos de trabajo se presentarán esquemas del “*cómo proceder en determinado caso*”, es decir cómo se presentará y/o exportará la información generada. Este aspecto es muy importante, puesto que existen muchos programas BIM dentro de la industria de la ingeniería, y es natural que estos no sean compatibles entre sí de forma nativa, para ello existen formatos de exportación de los modelos generados y debe de estar claro el formato y el cómo exportarlos.

Se utilizará “BIMCollab” como herramienta de gestión de “*ISSUES*⁵” con el fin de emular el trabajo de una oficina técnica.

Para emular el trabajo de la revisión o supervisión del proyecto se utilizará la plataforma “Trimble Connect”, esto con el fin de mostrar una nueva herramienta de gestión del proyecto que se adapte mejor a la metodología BIM. Además de que de esta manera se podrá hacer una mejor revisión del proyecto.

Tanto BIMCollab como Trimble Connect son herramientas relativamente nuevas, dentro de la gestión de los modelos BIM, esas se utilizarán solamente para mostrar alternativas al modo de gestionar modelos con la metodología CAD.

6. ESTADO DEL ARTE.

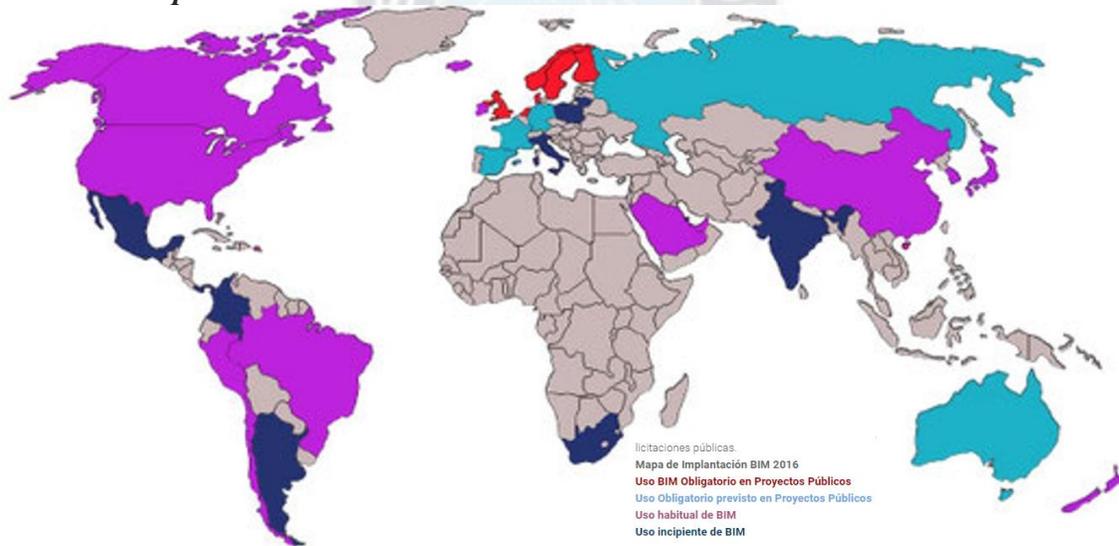
La metodología BIM como concepto se inició en 1974 al desarrollarse un programa que contenía librerías, eso es lo más parecido a las familias con las que contamos actualmente, posteriormente ALLPLAN se constituyó en un programa BIM tal y como se conoce actualmente y eso sucedió en 1997. Años después aparecería Revit el programa que más se asocia a BIM. *Fuente: (Colomer, 2020).*

⁵ Son los errores de modelado o elementos que no cumplen con lo requerido.

Como se evidencia la metodología BIM lleva implementándose mucho tiempo en el mundo, en América Latina lleva algunos años, siendo Chile el país con más experiencia en ese ámbito, pero ya existen varios proyectos y/o iniciativas que tratan de traer la dicha metodología a BOLIVIA, como es el caso de “Comité BIM Bolivia”, “BIM Forum Bolivia” entre otros, donde se llevan encuentros y congresos acerca de cómo realizar una adecuada implementación de la metodología BIM en nuestro país, sin embargo la mayoría de estas iniciativas son para el campo de las edificaciones, teniendo ambas en común realizar el mismo o mejor diseño en un tiempo menor, que este sea fácil de cuantificar, gestionar entre otras cualidades más.

Dicho lo anterior se entiende que BIM no es tan nuevo en nuestro ambiente laboral, y que se debe de contar con una guía para su adecuada utilización. Al igual que es también importante contar con flujos para realizar un adecuado modelado.

Figura 2. *Implementación de BIM en el mundo del 2016.*



Fuente: (Smart, 2016).

En la imagen superior se tiene la gráfica del nivel de implementación de la metodología BIM en el mundo, como se observa en Bolivia el nivel es prácticamente nulo, si bien la gráfica hace referencia al 2016 poco o nada cambió en estos años, el nivel de implementación que se tiene de dicha metodología es casi inexistente, no se cuenta con guías para la nomenclatura de los archivos, ni guías para la adecuada formación de repositorios de datos, aunque ya hay iniciativas en ese campo. Tal es el caso de la adaptación de parte de la ISO 19650 que realizó IBNORCA *Fuente: (IBNORCA, 2021)*, esto es un pequeño avance para adentrarse a la metodología BIM. Algunos proyectos que se realizaron en el país se hicieron con la metodología BIM, pero la mayoría de los avances

fueron desde la iniciativa privada, desde el punto de las entidades públicas, en la UMSA la facultad de arquitectura tuvo algunos intentos en implementar la metodología BIM desde su enseñanza.

Fuente: (Facultad de Arquitectura, 2022), y ahora están intentando cambiar su plan de estudios, esto todavía no está sucediendo en la facultad de Ingeniería de la UMSA, sin embargo en dicha facultad se está incursionando en la metodología BIM desde proyectos de grado y Tesis, aunque lo más recomendable sería que esto se enseñe desde pre grado, una de las instituciones educativas que más avanzó en el campo de la metodología BIM es la UPB, ya que esta institución ofrece varios cursos y diplomados respecto a dicha metodología BIM *Fuente: (UPB, 2022).* Como se evidencia los pasos que se dieron para adentrarse en la metodología BIM en el país son muy pocos, pero eso no cambia el hecho de que la metodología BIM es muy importante y que debe de implementarse en el país, y enseñarse desde la universidad, para que después solo haya que reforzar lo aprendido y no así aprenderla desde cero.

7. OBJETIVOS.

7.1. OBJETIVO GENERAL.

- Realizar el diseño geométrico de una carretera con base al Manual de Carreteras Volumen I de la ABC, realizar con la misma un modelo BIM 3D y posteriormente llevar este modelo a un BIM 4D.

7.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Realizar el modelamiento en Civil 3D, con un flujo de trabajo que permita tener siempre disponibles los archivos utilizados. Es decir, contar con un entorno común de datos o ECD⁶.
- Mostrar el flujo de trabajo para modelar las obras de drenaje no lineal en Revit.
- Mostrar flujos de trabajo de interoperabilidad entre Revit y Civil 3D.
- Realizar un flujo de trabajo para el modelado de la señalización Vertical de la carretera.
- Realizar la planificación de la construcción en MS Project.
- Mostrar buenas prácticas para la gestión de los modelos BIM y los conflictos que deben ser arreglados, utilizando plataformas BIM.
- Realizar un modelo BIM 4D del proyecto.
- Establecer flujos de trabajo óptimos entre Civil 3D y Revit, para la interoperabilidad⁷ BIM.
- Realizar un modelo de coordinación entre las disciplinas.
- Determinar las ventajas de Autodesk Navisworks para el modelo BIM4D.

⁶ ECD o Entorno común de datos, es un espacio en la nube donde los archivos del proyecto estarán disponibles.

⁷ Es el intercambio de información entre los distintos programas que se utilizarán.

CAPÍTULO II

8. ALCANCE.

El diseño de una carretera es bastante complejo, ya que contempla muchas disciplinas y de igual manera el trabajo se realiza con bastantes profesionales, y de igual manera la cantidad de datos necesarios para el diseño de la carretera son muchos, tales como:

- Estudio de tráfico.
- Inventario Vial (si se trata de un mejoramiento de trazo).
- Estudio Topográfico.
- Estudio Geológico.
- Estudio Geotécnico.
- Estudio Hidrológico.
- Estudio Hidráulico.
- Estudio Arqueológico.

Dada la complejidad respecto al volumen de datos que se tiene en este tipo de proyectos, es necesario establecer los alcances del proyecto, ya que no todos los aspectos mencionados anteriormente se tomarán en cuenta.

Como este proyecto de grado se basa específicamente en el desarrollo BIM⁸ en carreteras, se tomarán solo los aspectos que tengan incidencia en lo relativo a dicha metodología. Se realizará el trazo con los principales parámetros de diseño geométrico del Manual de la ABC para ello se utilizarán archivos en formato “XML” compatibles con Autodesk Civil 3D. También se mostrarán los flujos de trabajo con los principales elementos SIG del proyecto.

⁸ Building Information Modeling. es una metodología de trabajo colaborativa para la creación y gestión de un proyecto de construcción.

Se realizará el modelado BIM 3D del proyecto y este se encontrará en la nube (obras lineales), se realizará la tramificación del mismo, y en el tramo más representativo se modelarán las obras no lineales necesarias, como puentes y alcantarillas.

El diseño geométrico se realizará en Civil 3D, al igual que las obras lineales como las cunetas, las obras no lineales “obras de arte” se modelarán en Revit, de manera tal de mostrar la interoperabilidad entre estas dos herramientas.

La gestión del proyecto contempla los siguientes aspectos, se realizará la gestión de la información obtenida del diseño, para esto se utilizarán los formatos IFC y los mismos se revisarán con Navisworks, con plataformas de gestión BIM que se mencionaron anteriormente (BIMCollab y Trimble Connect), se ejemplificará la tarea de coordinar las distintas disciplinas y el cómo debe de proceder cada profesional.

Después se realizará la programación de la Obra en MS Project del tramo más representativo, y se llevará esta programación a Navisworks, de esta manera se contará con el modelo BIM 4D.

El proyecto se encuentra en el departamento de Chuquisaca, comprendiendo la ruta Yamparaez – Tarabuco, y es en este tramo donde se realizará el presente proyecto. En el código QR se encuentra el “kmz” de la delimitación del proyecto. La misma que tendrá validez hasta la finalización del proyecto.



9. MARCO TEÓRICO.

La ingeniería civil en nuestro país, es en general elaborada con la metodología convencional, no obstante, existen varios intentos de realizar proyectos con la metodología BIM, aunque estos en su mayoría son para las edificaciones, es por ello que se pretende realizar un proyecto de infraestructura vial. Como es de conocimiento general un proyecto de infraestructura vial es multidisciplinario ya que es necesario trabajar con varios profesionales y también se trabajan con

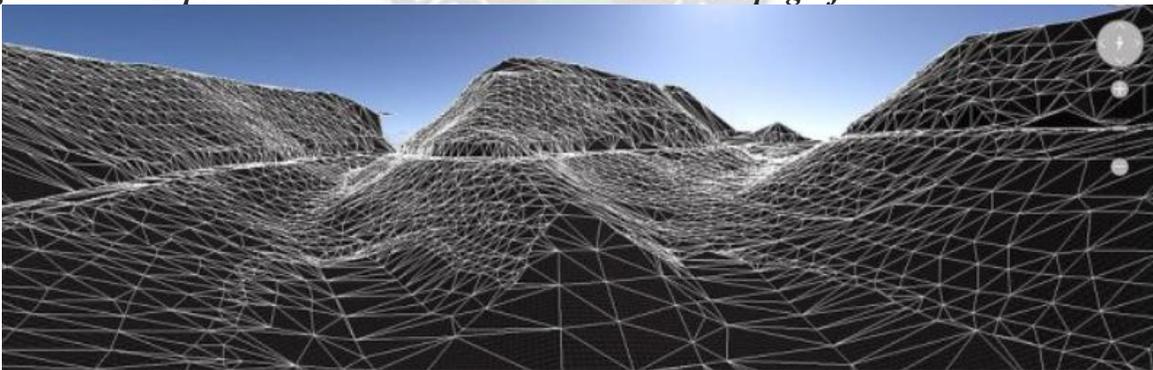
muchos programas y ficheros. Los aspectos que se consideran más importantes se detallaran a continuación.

9.1. TOPOGRAFÍA.

El levantamiento topográfico es de suma importancia ya que con este se calculará el movimiento de tierras del proyecto, siendo este una de las etapas más caras de la mayoría de proyectos. Sin embargo, el tratamiento que se le suele dar a esta etapa del proyecto no suele ser el adecuado, ya que la misma necesita varias correcciones para ser utilizadas. Dichas correcciones solo pueden realizarse si se realizó un levantamiento adecuado tomando en cuenta los códigos topográficos, estos códigos especiales son los que el topógrafo asigna a cada punto como descripción de este, para poder diferenciarlos, de esa manera los puntos correspondientes al borde de talud, por ejemplo, tendrán la misma descripción y lo mismo sucede con los otros puntos.

Sin importar el tipo de levantamiento que se utilizará para cualquier proyecto, ya sea por estación total, GPS, Dron, etc. Los datos topográficos obtenidos, tienen que tener códigos para sus respectivas correcciones o por lo menos presentar algún método para poder solucionar los problemas que se presentan con la superficie generada sin correcciones.

Figura 3. *Representación virtual de un levantamiento topográfico.*

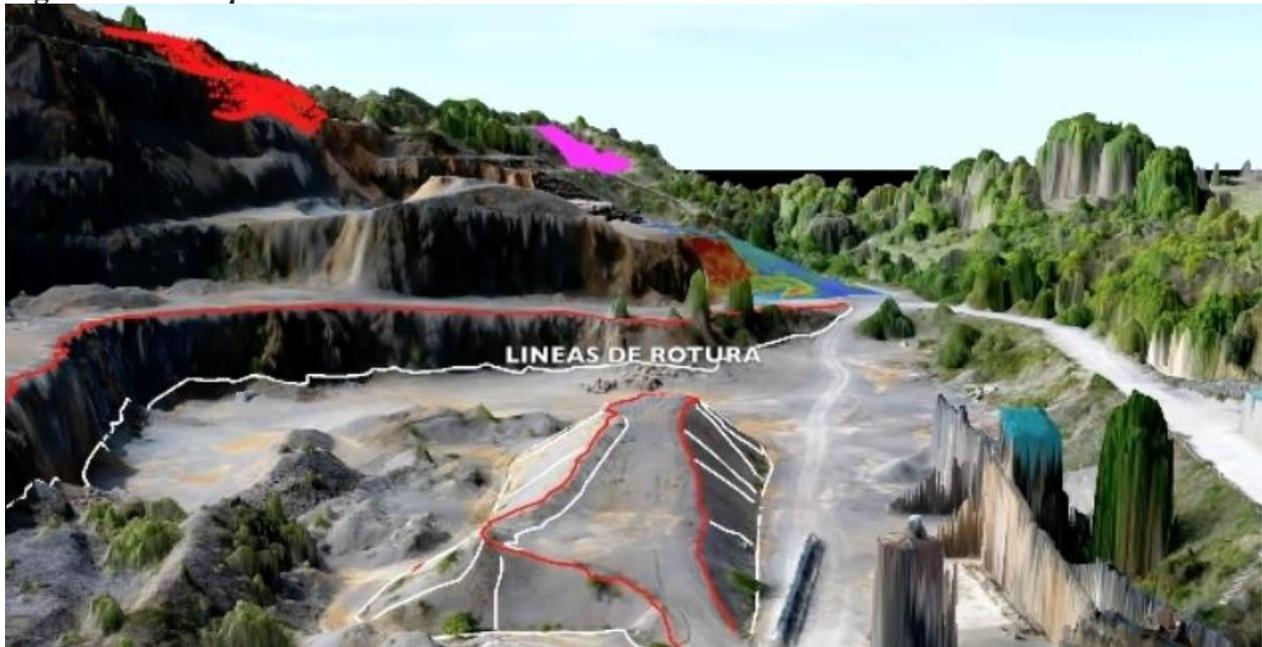


Fuente: (Gruas y Aparejos, 2021).

9.1.1. Líneas de Rotura.

Es importante hacer notar que las líneas de rotura son muy importantes, para las correcciones a la superficie topográfica, estas líneas de rotura se generan con ayuda de los archivos topográficos, con los códigos topográficos que estos presenten, como borde de acera, borde de talud inferior, entre otros más, de no realizarse este tipo de correcciones la superficie final obtenida, no se parecería mucho a la real, teniendo incidencia directa en los costos de la obra en general.

Figura 4. *Representación de las líneas de rotura de un levantamiento.*



Fuente: (Gruas y Aparejos, 2021).

Si se aplican estos conceptos podrá obtenerse una superficie de trabajo que se acerque a la realidad.

9.2. DISEÑO GEOMÉTRICO.

Una carretera está compuesta por un alineamiento horizontal, vertical más la sección transversal, y a este conjunto se le realizan ajustes como el sobrancho y peralte de la vía, esto por lo general suele ser una tarea que suele tomar mucho tiempo con la metodología tradicional, ya que el flujo de trabajo no es dinámico y este tiene que volver a realizarse si ocurre un cambio en el proyecto. Para llevar el diseño geométrico a la metodología BIM existen varios programas, que realizan el diseño geométrico y lo representan en 3D, sin embargo, no suelen ser de mucha utilidad ya que el manual con el que trabajan estos programas son la AASTHO, y esta tiene varias diferencias con el manual de diseño geométrico de carreteras boliviano. Es por ello que esta tarea es de mucha importancia, para poder trabajar dentro de Autodesk Civil 3D con el manual de diseño geométrico de carreteras boliviano.

9.2.1. Clasificación. Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007)

El sistema de clasificación de Bolivia contempla seis categorías, divididas en dos grupos:

- Carretera: Autopistas, Autorrutas y Primarias.

- Caminos: Colectores, Locales y de Desarrollo.

9.2.1.1. Autopista.

Son Carreteras nacionales, destinadas al tránsito de paso, de longitudes considerables, por ello estas deben ser diseñadas para velocidades de proyecto altas. La sección transversal está dispuesta por dos o tres carriles unidireccionales dispuesta en calzadas separadas por un cantero central. Con velocidades de proyecto de 120, 100 y 80 *km/h* para terrenos llanos, ondulado y montañoso respectivamente.

9.2.1.2. Autorrutas.

Por lo general son carreteras nacionales a las que se les ha construido o construirá una segunda calzada, la sección transversal deberá contar con al menos dos carriles unidireccionales por calzadas debiendo existir un cantero central entre ambas, las velocidades de proyecto previstas son de 100 – 90 y 80 *km/h* para terrenos llano a ondulado y terreno montañoso respectivamente.

9.2.1.3. Carreteras Primarias.

Son carreteras nacionales o regionales, con volúmenes de demanda relativamente altos, para recorridos de mediana distancia, la sección transversal puede estar constituida por carriles unidireccionales separadas por un cantero central que al menos de cabida a una barrera física entre ambas calzadas. Las velocidades de proyecto consideradas son las mismas que para las autorrutas.

Tabla 1. Velocidades de diseño para carreteras primarias.

	Terreno Llano y Ond. Fuerte	Terreno Montañoso
Calzadas Unidireccionales	100 – 90 <i>km/h</i>	80 <i>km/h</i>
Calzadas Bidireccionales	100 – 90 <i>km/h</i>	80 <i>km/h</i>

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.1.4. Caminos colectores.

Son caminos que sirven de tránsito de mediana y corta distancia, a los cuales acceden numerosos caminos locales o de desarrollo. Su sección transversal normalmente, es de dos carriles bidireccionales, pudiendo llegar a tener tres calzadas unidireccionales.

Las velocidades de proyecto son de 80, 70 y 60 *km/h* para terreno llano, terreno ondulado fuerte y terreno montañoso respectivamente.

9.2.1.5. Caminos Locales.

Son caminos que se conectan a los caminos colectores. Están destinadas a dar servicio preferentemente a la propiedad adyacente. Su sección transversal prevista consulta dos carriles bidireccionales con velocidades de proyecto de 70, 60 y 50-40 *km/h* para terrenos llanos, terrenos ondulado fuerte y terreno montañoso respectivamente.

9.2.1.6. Camino de Desarrollo.

Están destinados a conectar zonas aisladas y por ellas circularán vehículos motorizados y vehículos a tracción animal. La sección transversal que se asocia debe permitir el cruce de un vehículo liviano y un camión a una velocidad tan baja como 10 *km/h*, las velocidades de proyecto son de 50-40 y 30 *km/h* para terrenos llano a ondulado medio y terreno ondulado respectivamente.

Tabla 2. Clasificación funcional para diseño Carreteras y caminos rurales.

CATEGORIA		SECCIÓN TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CODIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
AUTOPISTA	(O)	4 ó + UD	2	120 - 100 - 80	A (n) - xx
AUTORUTA	(I.A)	4 ó + UD	2	100 - 90 - 80	AR (n) - xx
PRIMARIO	(I.B)	4 ó + UD	2 (1)	100 - 90 - 80	P (n) - xx
		2 BD	1	100 - 90 - 80	P (2) - xx
COLECTOR	(II)	4 ó + UD	2 (1)	80 - 70 - 60	C (n) - xx
		2 BD	1	80 - 70 - 60	C (2) - xx
LOCAL	(III)	2 BD	1	70 - 60 - 50 - 40	L (2) - xx
DESARROLLO		2 BD	1	50 - 40 - 30*	D - xx

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Donde:

- “UD” Unidireccional.
- “BD” bidireccional.
- (n) número de carriles.

9.2.2. Manual de Carreteras Volumen I, Diseño Geométrico.

El manual contempla como factores que intervienen en el diseño a factores físicos, factores funcionales, factores ambientales entre otros.

9.2.3. Velocidades.

9.2.3.1. Velocidad de Proyecto (Vp).

En función a la fisiografía del terreno, y el tipo de vía que se desea diseñar se puede obtener una velocidad de diseño o varias para un mismo proyecto, depende de la topografía con la que se cuente.

Tabla 3. Características típicas de carreteras y caminos.

CATEGORIA	CARRETERAS			CAMINOS		
	AUTOPISTAS	AUTORRUTAS	PRIMARIOS	COLECTORES	LOCAL	DESARROLLO
VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	120 - 100 - 80	100 - 90 - 80	100 - 90 - 80	80 - 70 - 60	70 - 60 - 50 - 40	50 - 40 - 30
TIPO DE TERRENO	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M
PISTAS DE TRANSITO	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES O BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES O (UNIDIRECCIONALES)	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES
FUNCION	Servicio al tránsito de paso	Prioridad absoluta	Prioridad absoluta	Consideración principal	Consideración de tránsito secundario secundaria	
	Servicio a la propiedad adyacente	Control total de acceso	Control total de acceso	Control parcial de acceso	Consideración primaria	
CONEXIONES	Se conecta con	Autopistas, Autorutas, Primarios (Colectores)	Autopistas, Autorutas, Primarios (Colectores)	Autopistas, Autorutas, Primarios (Colectores)	Tobas, (Primarios) Colectores Locales, Desarrollo	Colectores Locales, Desarrollo
	Tipo de conexión	Enlaces	Enlaces	Enlaces, Intersecciones (Acc. Directo)	Tobas	Acceso Directo
CALIDAD SERVICIO	Nivel de Servicio (1)	A, B	B (2)	B (2)	No Aplicable	
	Años Iniciales	A, B	B (2)	B (2)	No Aplicable	
TRANSITO	Año Horizonte	C	C, (D)	C, (D)	No Aplicable	
	Tipo de Flujo	Libre Estable	Libre (Prox. Inestab.) Estable	Libre (Prox. Inestab.) Estable	Estable con restricción (Proxim. Inestab.)	
	Veloc. Operación (1) (3) Según demanda rango probable	115 - 95 km/h	85 - 80 km/h	80 - 70 km/h	70 - 60 km/h	50 - 35 km/h
	Volúmenes Típicos de tránsito al año inicial T.PDA	UD > 10.000 confirmar fact. económica	UD > 1.000	80 - 1.500	UD > 1.000	UD > 3.000
	Tipo de vehículo	Sólo vehic. diseñados para circular normalmente en carreteras	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Todos tipos de vehículos	Vehículos pesados y caminos rurales

Fuente: (Manual de Diseño Geométrico ABC Vol 1, 2007).

La anterior imagen se verá con mayor detalle en las siguientes gráficas.

		CARRETERAS		
CATEGORIA		AUTOPISTAS	AUTORRUTAS	PRIMARIOS
VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)		120 - 100 - 80	100 - 90 - 80	100 - 90 - 80
TIPO DE TERRENO		LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M
PISTAS DE TRANSITO		UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES O BIDIRECCIONALES
FUNCION	Servicio al tránsito de paso	Prioridad absoluta	Prioridad absoluta	Consideración principal
	Servicio a la propiedad adyacente	Control total de acceso	Control total de acceso vehiculos	Control parcial de acceso
CONEXIONES	Se conecta con	Autopistas, Autorutas, Primarios (Colectores)	Autopistas, Autorutas, Primarios, Colectores	Autopistas, Autorutas, Prim. y Colectores (Locales)
	Tipo de conexión	Enlaces	Enlaces, Accesos direccionales	Enlaces, Intersecciones (Acc. Directo)
CALIDAD SERVICIO	Nivel de Servicio (1)	A, B	B (2)	B
	Años Iniciales	A, B	B (2)	B
	Año Horizonte	C	C, (D)	C, (D)
TRANSITO	Tipo de Flujo	Libre Estable	Libre (Prox. Inestab.) Estable	(Libre) Estable (Prox. Inestab.)
	Veloc. Operación (1) (3) Según demanda rango probable	115 - 95 km/h	95 - 90 km/h	95 - 85 km/h
	Volúmenes Típicos de tránsito al año inicial T.PDA	UD > 10.000 confirmar fact. económica	UD > 5.000	BD > 1500 UD > 3000
	Tipo de vehículo	Sólo vehic. diseñados para circular normalmente en carreteras	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales

CAMINOS		
COLECTORES	LOCAL	DESARROLLO
80 - 70 - 60	70 - 60 - 50 - 40	50 - 40 - 30
LL - O - M	LL - O - M	LL - O - M
BIDIRECCIONALES O (UNIDIRECCIONALES)	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES
Continuidad de tránsito y acceso a la propiedad de similar importancia	Continuidad de tránsito consideración secundaria	
	Consideración primaria	
Todos	(Primarios) Colectores, Locales Desarrollo	Colectores Locales Desarrollo
Todos	(Intersección) Acceso Directo	Acceso Directo
C (2) (D)	No Aplicable	
Estable con restricción (Próximo Inestable)	Restringido por movimientos hacia y desde la propiedad	
80 - 70 km/h	70 - 60 km/h	50 - 25 km/h
BD > 500 UD: Caso especial	Tránsito y composición variable según tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística	
Todo tipo de vehiculos	Vehiculo liviano y camiones medianos	

La topografía nos ayuda a obtener una velocidad de proyecto, sin embargo, en una carretera con mucha variación en su topografía se pueden presentar varias velocidades de proyecto en función de la tramificación que se realizará. También hay que tomar en cuenta que existen casos especiales en los que ciertos elementos tienen que ser diseñados con otra velocidad en función de factores como: la línea recta que la preceden, entre otros, estos factores se explicarán más adelante.

La velocidad de proyecto también se define como aquella que permite definir las características geométricas mínimas para los elementos que se trazarán.

9.2.3.2. Velocidad Específica (Ve).

Es la velocidad máxima a la cual se puede circular por un elemento del trazo.

9.2.3.3. Velocidad de Operación (Vop).

La velocidad de operación es la velocidad media de desplazamiento, que se pueda lograr en un tramo de carretera, bajo las condiciones prevalecientes del tránsito.

9.2.3.4. Velocidad Percentil 85 (V85).

Es la velocidad no superada por el 85% de los usuarios en un tramo de características homogéneas.

9.2.4. Velocidad 85% para Diseño de Elementos de Planta.

Este criterio se utiliza para el diseño de elementos de trazo horizontal de la carretera, para esto se distinguen tres casos en función del tipo de condición de la recta que precede al elemento que es objeto de diseño.

Existen tres casos de análisis: Caso I (este se subdivide en otros 2 casos) y el Caso II.

9.2.4.1. Caso I.

Este caso cumple con la condición de que la recta que precede (L_r) al elemento de diseño cuenta con una longitud mayor a 400m.

- $400m \leq L_r \leq 600m$
- $L_r > 600m$

Si se cumple con la anterior condición, la V85% para diseño se calcula con la siguiente tabla.

Tabla 4. V85% para Diseño Caso I.

TABLA 2.1-2 V85% AL FINAL DE UNA RECTA SEGÚN LONGITUD Y VELOCIDAD DE PROYECTO

V Proyecto Km/h	40	50	60	70	80	90	100	120
$400 m \leq L_r \leq 600 m$	50	60	70	80	90	100	110	125
$L_r > 600 m$	60	70	80	90	100	110	115	130

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

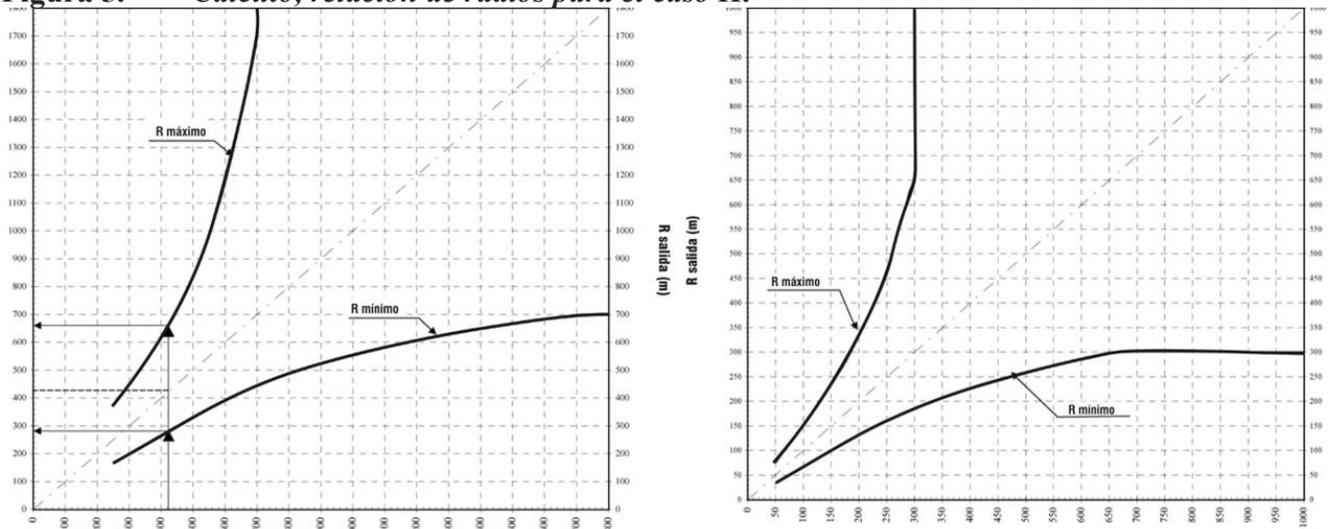
Para caminos locales y colectores en condiciones restrictivas se pueden disminuir hasta en 5 Km/h, si se tratase de terreno ondulado o francamente montañoso esta reducción puede ser de 10 Km/h.

9.2.4.2. Caso II.

Esto se aplica cuando $L_r \leq 400m$, para determinar los rangos de los radios a utilizar, existiendo dos subdivisiones, en función de si se trata de carretera o camino.

Las tablas a utilizar se presentarán a continuación, en función del radio de entrada y la velocidad de proyecto o V85 según sea el caso. La forma de obtener un rango de radios con los cuales trabajar que nos muestra el Manual de Carreteras de diseño geométrico de carreteras de Bolivia es esta y como es de suponer el utilizarla representa un flujo de trabajo lento y es bastante propenso de cometer un error cuando se lo está utilizando, sin embargo, a pesar de esas deficiencias es lo que se realiza hasta la fecha.

Figura 5. Cálculo, relación de radios para el caso II.



Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Como se ve en los gráficos superiores *Figura 2.3-4* y *Figura 2.3-5* respectivamente del Manual de la ABC volumen 1, para poder utilizar estos gráficos necesitamos el radio de entrada de la curva predecesora, más la velocidad de proyecto y el radio mínimo para la misma, al colocar un radio de entrada x, este tiene que interceptarse con las curvas remarcadas, estas indican los límites inferiores y superiores del radio de salida para el radio de entrada x, siempre y cuando dicho radio de salida sea mayor o igual al radio mínimo de la velocidad de proyecto.

9.2.5. Ve en curvas horizontales.

La ecuación general que define este parámetro es la siguiente:

$$V^2 - 127 \cdot R \cdot (e + f) = 0$$

Reemplazando la ecuación de la fricción transversal tenemos para caminos con $V_p \leq 80 \text{ km/h}$

$$V_e^2 + (0.211 \cdot R) \cdot V_e - 127 \cdot R \cdot (e + 0.265) = 0^9$$

Reemplazando la ecuación de la fricción transversal tenemos para carreteras con $V_p \geq 80 \text{ km/h}$

$$V_e^2 + (0.112 \cdot R) \cdot V_e - 127 \cdot R \cdot (e + 0.193) = 0$$

9.2.6. Pendiente Longitudinal Máxima.

La siguiente tabla establece las pendientes máximas admisibles según la categoría de la carretera o camino.

Tabla 5. Pendiente máxima admisible.

TABLA 2.4-1 PENDIENTES MÁXIMAS ADMISIBLES %

CATEGORIA	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)									
	≤30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Desarrollo	10-12	10-9	9	-	-	-	-	-	-(1)	-
Local	-	9	9	8	8	-	-	-	-	-
Colector	-	-	-	8	8	8	-	-	-	-
Primario	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autorrutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

(1) 110 km/h no está considerada dentro del rango de V_p asociadas a las categorías.

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Es preferible utilizar la menor pendiente posible, sin embargo, en caminos de alta montaña cuando las cotas de estas superan los 2500 msnm la pendiente máxima deberá limitarse según la siguiente tabla.

Tabla 6. Pendientes máximas para caminos de alta montaña.

TABLA 2.4-2 CAMINO DE ALTA MONTANA PENDIENTES MAXIMAS % SEGUN ALTURA S.N.M.

ALTURA S.N.M	VELOCIDAD DE PROYECTO (km/h)					
	30	40	50	60	70	80 ⁽¹⁾
2.500 - 3.000 m	9	8	8	7	7	7/5 ⁽¹⁾
3.100 - 3.500 m	8	7	7	6.5	6.5	6/5
Sobre 3.500 m	7	7	7	6	6	5/4.5

(1) Valor máx Caminos/Valor máx Carreteras

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Dentro del diseño geométrico de carreteras es importante tomar los valores que garanticen que un diseño de ingeniería sea lo mejor posible tanto en el diseño como en el costo, por ello el proyectista deberá elegir parámetros de diseño que puedan garantizar esos casos con toda seguridad.

⁹ La fórmula que presenta el manual de carreteras Volumen I de la ABC está mal este es la fórmula correcta.

9.2.7. Longitud Crítica en pendientes.

La normativa AASHTO recomienda en casos normales no superar los 15 km/h de caída de velocidad para camiones en pendiente. Para las condiciones de nuestro país es recomendable elevar ese valor a 24 km/h en túneles y 40 km/h en campo abierto. En la siguiente tabla se presentan las longitudes críticas en pendiente.

Tabla 7. Longitud crítica en pendientes.

TABLA 2.4-3 LONGITUD CRÍTICA EN PENDIENTES PARA $\Delta V = 24$ KM/H Y $\Delta V = 40$ KM/H

i %	Longitud Crítica (m)	
	$\Delta V < 24$ km/h para todo L	$\Delta V < 40$ km/h para todo L
2	1100	
3	590	1800
4	380	700
5	310	510
6	260	420
7	210	360

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.8. Bombeo.

La siguiente tabla especifica estos valores indicados en algunos casos un rango dentro del cual el proyectista deberá elegir un valor mejorando su elección según sea el caso de estudio.

Tabla 8. Bombeo en calzada.

TABLA 3.2-4 BOMBEOS DE LA CALZADA

Tipo de Superficie	Pendiente Transversal	
	$(P_{10}) \leq 15$ mm/h ⁽¹⁾	$(P_{10}) > 15$ mm/h ⁽¹⁾
Pav. de Hormigón o Asfalto	2,0	2,5
Tratamiento Superficial	3,0 ⁽²⁾	3,5
Tierra, Grava, Chancado	3,0 – 3,5 ⁽²⁾	3,5 – 4,0

⁽¹⁾ Determinar mediante estudio hidrológico

⁽²⁾ En climas definitivamente desérticos, se pueden rebajar los bombeos hasta un valor límite de 2,5%.

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.9. Distancia de frenado.

En todo punto de la carretera o camino a diseñar, el conductor que se desplace a una determinada velocidad debe de disponer de una visibilidad equivalente a una distancia requerida para detenerse ante un obstáculo inmóvil, situado en el centro de dicho carril.

$$Df = \frac{V \cdot t}{3,6} + \frac{V^2}{254 \cdot (f_i + i)}$$

- Df = Distancia de frenado (m).
- V = V_p o V^* .
- t = tiempo de percepción + reacción (s).
- f_i = coeficiente de rose.
- i = pendiente longitudinal (+) subida (-) bajada.

Tabla 9. Distancia de frenado.

TABLA 2.2-1 DISTANCIA MÍNIMA DE FRENADO EN HORIZONTAL "Df" (Df = 0,555 V + 0,00394 V²/R)

V	t	f ₁	dt	Df	Df (m)		V
km/h	s	-	m	m	dt+df	Adopt.	km/h
30	2	0,420	16,7	8,4	25,1	25	30
35	2					31	35
40	2	0,415	22,2	15,2	37,4	38	40
45	2					44	45
50	2	0,410	27,8	24,0	51,8	52	50
55	2					60	55
60	2	0,460	38,3	35,5	68,8	70	60
65	2					80	65
70	2	0,380	38,9	50,8	89,7	90	70
75	2					102	75
80	2	0,360	44,4	70,0	114,4	115	80
85	2					130	85
90	2	0,340	50,0	93,9	143,8	145	90
95	2					166	95
100	2	0,330	55,5	119,4	174,9	175	100
105	2					192	105
110	2	0,320	61,1	149,0	210,0	210	110
115	2					230	115
120	2	0,310	66,6	183,0	249,6	250	120
125	2					275	125
130	2	0,295	72,2	225,7	297,9	300	130

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.10. "K" Mínimo para curvas verticales Convexas y Cóncavas.

9.2.10.1. Curvas verticales Convexas.

Se considera la distancia de frenado sobre un obstáculo fijo situado sobre el carril de tránsito y la altura de los ojos del conductor sobre la rasante de este carril. El parámetro está definido por:

$$Kv = \frac{Df^2}{2 \cdot (\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})^2}$$

- Kv = parámetro curva vertical convexa (m).
- Df = Distancia de frenado $f(v^*)$ (m).
- h_1 = altura ojos del conductor 1,10 (m).
- h_2 = altura obstáculos fijos 0,20 (m).

$$Kv = \frac{Df^2}{4,48}$$

9.2.10.2. Curva Vertical Cóncava.

Se considera la distancia de frenado nocturna sobre un obstáculo fijo debe quedar dentro de la zona iluminada por las luces del vehículo.

$$Kc = \frac{Df^2}{2 \cdot (h + Df \cdot \sin \beta)}$$

- Kc = parámetro curva vertical cóncava (m).

- Df = distancia de frenado $f(V_p)$ (m).
- h = altura focos del vehículo = 0,6 m.
- β = ángulo de abertura del haz luminoso respecto de su eje = 1° .

$$K_c = \frac{Df^2}{(1,2 + Df \cdot 0,035)}$$

En la siguiente tabla se resumen los valores de K_v calculados según la expresión precedentes.

Tabla 10. K mínimo.

TABLA 2.4-4 PARÁMETROS MÍNIMOS EN CURVAS VERTICALES POR CRITERIO DE VISIBILIDAD DE FRENADO

Velocidad de Proyecto V_p (km/h)	CURVAS CONVEXAS K_v			CURVAS CONCAVAS K_c
	$V^* = V_p$ km/h	$V^* = V_p + 5$ km/h	$V^* = V_p + 10$ km/h	V_p km/h
30	300	300	300	400
40	400	500	600	500
50	700	950	1100	1000
60	1200	1450	1800	1400
70	1800	2350	2850	1900
80	3000	3550	4400	2600
90	4700	5100	6000	3400
100	6850	7400	8200	4200
110	9850	10600	11000	5200
120	14000	15100	16000	6300

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.11. Gálibo Vertical Mínimo.

Este concepto debe posibilitar a los camiones, con alturas que correspondan a los límites legales, pasar sin restricciones bajo una restricción bajo una estructura, sin que exista la necesidad de detenerse por precaución o que se reduzca la velocidad.

La altura libre, medida verticalmente entre cualquier punto de la plataforma y la parte inferior de una estructura que la cruce superiormente, deberá ser de 5,5 m.

9.2.12. Número de carriles.

Tabla 11. Número de carriles.

TABLA 1.3-1 CLASIFICACIÓN FUNCIONAL PARA DISEÑO CARRETERAS Y CAMINOS RURALES

CATEGORIA		SECCION TRANSVERSAL		VELOCIDADES DE PROYECTO (km/h)	CODIGO TIPO
		N° CARRILES	N° CALZADAS		
AUTOPISTA	(O)	4 ó + UD	2	120 - 100 - 80	A (n) - xx
AUTORUTA	(I.A)	4 ó + UD	2	100 - 90 - 80	AR (n) - xx
PRIMARIO	(I.B)	4 ó + UD	2 (1)	100 - 90 - 80	P (n) - xx
		2 BD	1	100 - 90 - 80	P (2) - xx
COLECTOR	(II)	4 ó + UD	2 (1)	80 - 70 - 60	C (n) - xx
		2 BD	1	80 - 70 - 60	C (2) - xx
LOCAL	(III)	2 BD	1	70 - 60 - 50 - 40	L (2) - xx
DESARROLLO		2 BD	1	50 - 40 - 30*	D - xx

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.13. Cantero Central.

Para carreteras y caminos con V_p menores que 100 km/h se especifican canteros centrales de ancho decreciente, en especial cuando la V_p se asocia a trazados montañosos (80 km/h) en la siguiente tabla se resumen los anchos de cantero central.

Tabla 12. Anchos del Cantero Central.

TABLA 3.2-6 ANCHOS DE CANTERO CENTRAL (ACC / m)

Categoría	Vp (km/h)	Inicial 4 Pistas Ampliable a 6	Final 6 Pistas	Final = Inicial 4 pistas
Autopista	120	13,0	6,0	6,0
	100	13,0	6,0	6,0
	80	11,0	4,0	4,0
Autorruta Y Primarios	100	13,0	6,0	6,0
	90	12,0	5,0	5,0
	80	10,0	3,0	3,0
Colectores	80	10,0	3,0	3,0
	70	9,0	2,0	2,0
	60	9,0	2,0	2,0

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.14. Ancho de calzada, Berma, Carril, SAP.

Tabla 13. Ancho de Calzada Tabla 3.1-1.

NUMERO DE CALZADAS Y CATEGORIA	VELOCIDAD PROYECTO (km/h)	ANCHO PISTAS "a" (m) (1)	ANCHO BERMAS		ANCHO SAP (3)		ANCHO CANTERO CENTRAL - M (m)			ANCHO TOTAL DE PLATAFORMA A NIVEL DE RASANTE ⁽²⁾ ATP = na + 2(be + Se) + M final			
			"bi" INTERIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)	"Si" INTERIOR (m)	"Se" EXTERIOR (m)	INICIAL 4 PISTAS AMPLIABLE a 6	FINAL 6 PISTAS	FINAL = INICIAL 4 PISTAS	6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE	4 PISTAS	2 PISTAS	
CALZADAS UNIDIRECCIONALES	AUTORRUTA	120	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1,5	13,0	6,0	6,0	35	28	-
		100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		80	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0,8	11,0	4,0	4,0	31,6	24,6	-
	PRIMARIO Y AUTORRUTA	100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	6,0	34	27	-
		90	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	12,0	5,0	5,0	33	26	-
		80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	3,0 ⁽⁴⁾	29	22	-
	COLECTOR	80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	3,0 ⁽⁴⁾	29	22	-
		70	3,5	0,6 - 0,70	1,5	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	2,0 ⁽⁴⁾	27	20	-
		60	3,5	0,6 - 0,70	1,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	2,0 ⁽⁴⁾	26	19	-
CALZADA BIDIRECCIONAL	PRIMARIO	100 - 90	3,5	-	2,5	-	1,0	-	-	-	-	-	14,0
		80	3,5	-	2,0	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	12,0
	COLECTOR	80	3,5	-	1,5	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	11,0
		70	3,5	-	1,0 - 1,5 ⁽²⁾	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	10 - 11,0
	LOCAL DESARROLLO	60	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0
		50	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	8,0 - 10,0
		40	3,0	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	7,0 - 8,0
		30	2,0 - 3,0	-	0,0 - 0,5 ⁽²⁾	-	0,5	-	-	-	-	-	5,0 - 6,0

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.15. Longitud de Clotoides.

Siendo $A^2 = R \cdot L$ donde A es el parámetro, R es el radio de la curva y L es el desarrollo desde el origen al punto de radio R.

Los criterios para la selección del parámetro A son los siguiente:

9.2.15.1. Criterio a.

Por condición de guiado óptico, el parámetro está dado por:

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

9.2.15.2. Criterio b.

Como condición adicional al guiado óptico, si el radio enlazado posee un $R \geq 1,2 \cdot R_{min}$ el retranqueo de la curva circular enlazada sea $\geq 0,5$ m. condición que está dada por:

$$A \geq (12 \cdot R^3)^{0,25}$$

9.2.15.3. Criterio c.

La longitud de clotoide sea lo suficiente para desarrollar el peralte, esta condición está dada por:

$$A \geq \left(\frac{n \cdot a \cdot e \cdot R}{\Delta} \right)^{1/2}$$

- n = número de carriles entre el eje de giro y el borde del pavimento peraltado.
- a = ancho de cada carril, sin considerar los ensanches.
- e = peralte de la curva.
- R = radio de la curva.
- Δ = pendiente relativa de borde peraltado respecto del eje de giro.

9.2.15.4. Criterio d1.

Sea lo suficiente para el incremento de la aceleración transversal no compensada por el peralte y que pueda distribuirse a una tasa uniforme $J \left(\frac{m}{s^2} \right)$.

$$A = \left(\frac{Ve \cdot R}{46,656 \cdot J} \cdot \left(\frac{Ve^2}{R} - 1,27 \cdot e \right) \right)^{1/2}$$

- Ve = Velocidad específica.
- R = Radio de la curva.
- J = tasa de distribución de la aceleración *Tabla 2.3-14* del Manual de la ABC.
- e = peralte de la curva circular.

Tabla 14. Tasa máxima de distribución de aceleración.

Ve ≈ Vp (km/h)	40 - 60	70	80	90	100	120
J máx (m/s ³)	1,5	1,4	1,0/0,9	0,9	0,8	0,4

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.15.5. Criterio d2.

Si el radio que está enlazando posee un valor de $R > 1,2 \cdot R_{min}$ se emplearán los siguientes valores J

Tabla 15. Tasa normal de distribución de aceleración.

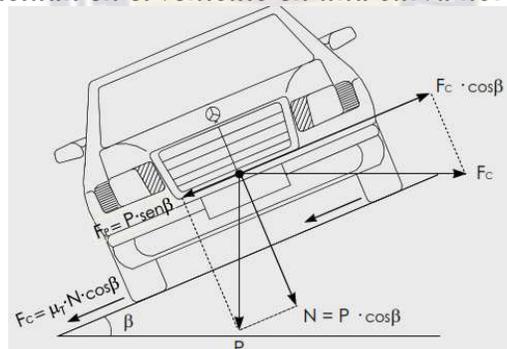
Ve (km/h)	Ve < 80	Ve ≥ 80
J Normal (m/s ³)	0,5	0,4

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.16. Peralte máximo.

Todo vehículo que tome una curva horizontal experimenta una fuerza centrífuga, lo que se traduce en que el vehículo será más propenso a salirse del carril en el que se encuentra, esta fuerza es directamente proporcional a la velocidad de circulación del vehículo.

Tabla 16. Fueras que actúan en el vehículo en una curva horizontal.



Fuente: (Luis Bañon Blazquez).

$$F_C = m \cdot \frac{v^2}{R} \cdot \cos \beta \approx m \cdot \frac{v^2}{R}$$

$$F_p = P \cdot \sin \beta \approx P \cdot p = m \cdot g \cdot p$$

$$F_R = P \cdot \mu_T \cdot \cos \beta \approx P \cdot \mu_T = m \cdot g \cdot \mu_T$$

Realizando un equilibrio de fuerzas.

$$F_C = F_p + F_R$$

$$m \cdot \frac{V^2}{R} = m \cdot g \cdot P + m \cdot g \cdot \mu_T$$

Simplificando y despejando la aceleración normal:

$$\frac{V^2}{R} = g \cdot (P + \mu_T)$$

Siendo: V la velocidad del vehículo.

R el radio de la curva.

g la aceleración de la gravedad.

μ_T ¹⁰ el coeficiente de rozamiento transversal.

P¹¹ el peralte de la curva.

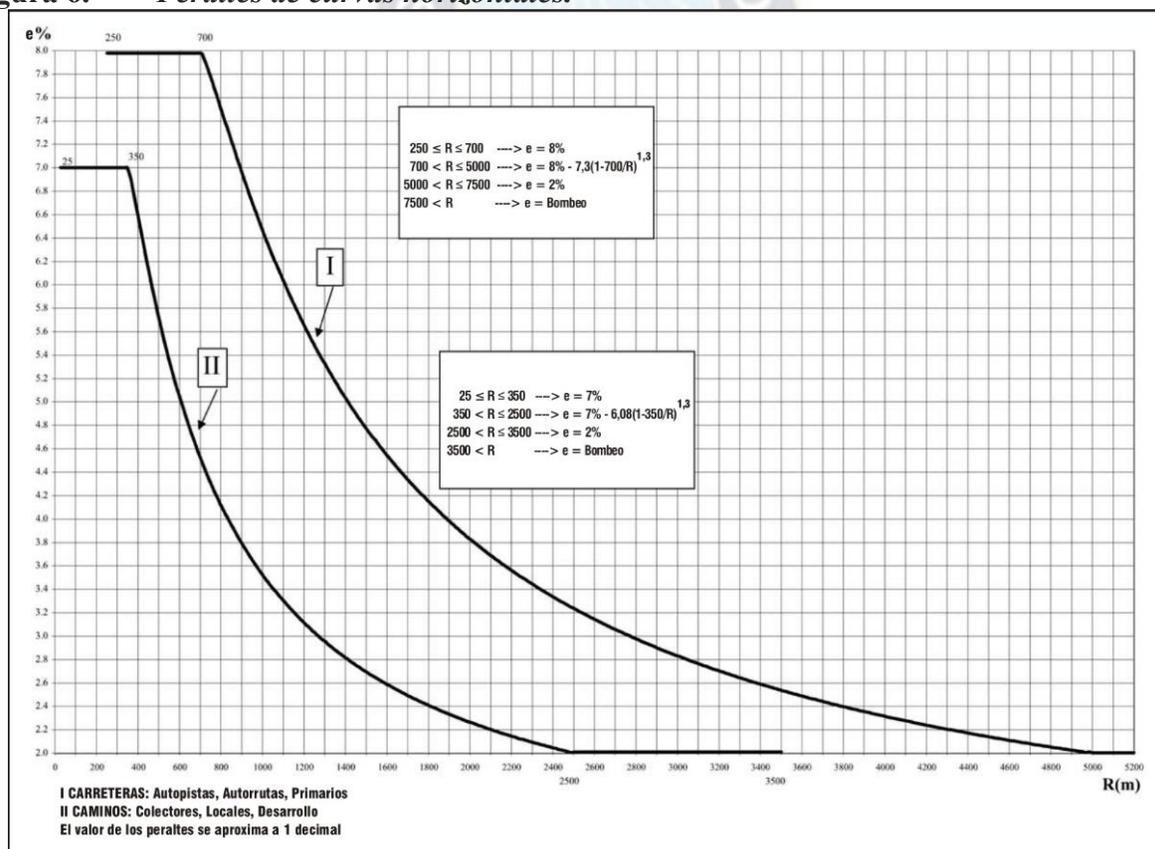
Fuente: (Luis Bañon Blazquez).

Reemplazando la gravedad, y realizando los factores de conversión correspondiente.

$$R_{min} = \frac{v_p^2}{127 \cdot (e_{max} + f)}$$

Para la normativa boliviana existen dos casos de análisis, para la determinación del peralte de la curva de estudio.

Figura 6. Peraltes de curvas horizontales.



Fuente: (Manual de Diseño Geométrico ABC Vol 1, 2007).

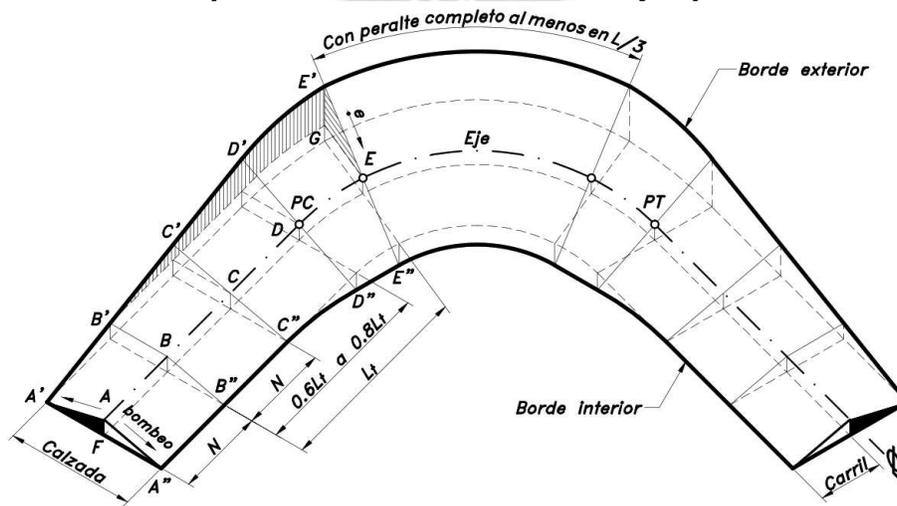
¹⁰ La fricción transversal para el manual de carreteras Volumen I se representa como f.

¹¹ El peralte para el manual de carreteras Volumen I se representa como e.

9.2.16.1. Transición de Peralte.

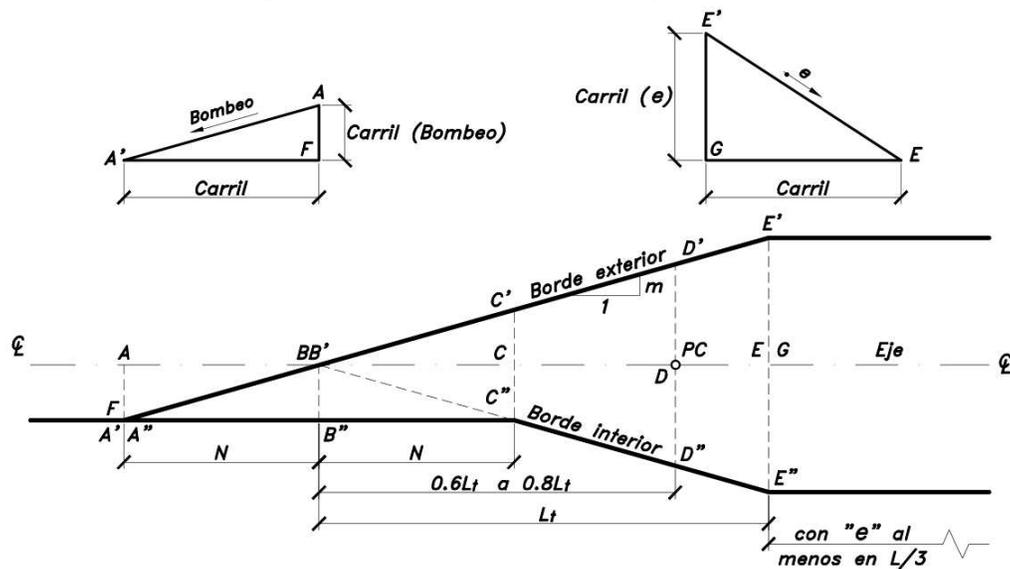
Por lo general toda calzada tiene un bombeo o pendiente transversal que tiene como función llevar el agua de la vía hacia las cunetas o simplemente fuera de la vía, pero en curvas está pendiente tiene que ser corregida a fin de neutralizar la aceleración centrífuga., pero este cambio tiene que ser paulatino ya que puede ocasionar problemas para los usuarios de la vía diseñada, estas distancias garantizan el desplazamiento seguro en la curva diseñada y que el cambio de pendiente transversal del bombeo al peralte de curva no sea brusco.

Figura 7. *Transición de peralte entra en bombeo normal y el peralte máximo.*



Fuente: (Grisales, 2013).

Figura 8. *Transición de peralte entrada a curva sin espiral de entrada.*



Fuente: (Grisales, 2013).

Nótese que para la anterior gráfica las nomenclaturas están en función de la norma AASTHO, haciendo la analogía para nuestro caso, tenemos:

- N transición de bombeo normal a bombeo 0, l_0 para el Manual de Carreteras Volumen I.
- L_t longitud de transición entre el bombeo reducido a 0 al peralte máximo, L para el manual boliviano.

9.2.16.2. Longitud de desarrollo fórmula general.

Así sean calzadas bidireccionales o unidireccionales, la forma de calcular la longitud de transición de peralte será la siguiente:

$$l = \frac{n \cdot a \cdot \Delta_p}{\Delta}$$

Donde:

- l es la longitud de desarrollo de peralte (m).
- n es el número de carriles entre el eje de giro del peralte y el borde de la calzada.
- a es el ancho normal de carril (m).
- Δ_p pendiente transversal de la calzada de análisis esta puede ser en bombeo o el peralte, en función del punto que se esté analizando (%).
- Δ pendiente relativa de borde se recurrirá a la tabla 2.3-8 del manual de Carreteras de Bolivia Volumen 1. (%).

Tabla 17. Pendiente relativa de borde.

TABLA 2.3-8 VALORES ADMISIBLES PENDIENTE RELATIVA DE BORDE $\Delta\%$

Vp (km/h)	30 - 50	60 - 70	80 - 90	100 - 120
Δ Normal	0,7	0,6	0,5	0,35
Δ Máx n = 1	1,5	1,3	0,9	0,8
Δ Máx n > 1	1,5	1,3	0,9	0,8

Δ mínimo en zona $-b\%$ a $+b = 0,35\%$ para todo Vp

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol I, 2007).

Para curvas horizontales sin clotoides, está permitido que se desarrolle un 70% del peralte en recta, tomando en cuenta que las curvas horizontales sin clotoide solo se aceptan si estas tienen un radio superior a 1500m para caminos y 3000 para carreteras.

9.2.17. Fricción Transversal.

$$f = 0.265 - \frac{v}{602,4} \text{ para Caminos con una } V_p \text{ entre 30 y 80 km/h.}$$

$$f = 0.193 - \frac{v}{1134} \text{ para carreteras con una } V_p \text{ entre 80 y 120 km/h.}$$

9.2.18. Radios Mínimos Absolutos.

Los radios mínimos absolutos solo podrán ser empleados al interior de una secuencia de curvas horizontales, cuando estén comprendidos dentro del rango aceptable para curvas horizontales consecutivas. (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Estos radios son los mínimos a utilizar en cualquier caso para curvas horizontales, las mismas que están en función de la velocidad de proyecto.

Tabla 18. Radios mínimos absolutos.

TABLA 2.3-4 RADIO MÍNIMOS ABSOLUTOS EN CURVAS HORIZONTALES

Caminos Colectores – Locales – Desarrollo			
Vp	emáx	f	Rmín
km/h	(%)		(m)
30	7	0,215	25
40	7	0,198	50
50	7	0,182	80
60	7	0,165	120
70	7	0,149	180
80	7	0,132	250
Carreteras – Autopistas Autorrutas – Primarios			
80	8	0,122	250
90	8	0,114	330
100	8	0,105	425
110	8	0,096	540
120	8	0,087	700

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.19. Sobreancho.

En curvas de radio pequeño y mediano en función del tipo de vehículo deben de ensancharse la calzada, con el fin de que se asegure un espacio adecuado para adelantar y/o cruzar, debe garantizarse que dicho ensanchamiento no signifique una disminución de las bermas o el SAP.

Las huelgas consideradas para vehículos comerciales de 2.6m de ancho en recta y curva son:

Tabla 19. Huelgas teóricas.

TABLA 2.3-10 HUELGAS TEÓRICAS

	Calzada de 7,0 m		Calzada de 6,0 m	
	En Recta	En Curva Ensanchada	En Recta	En Curva Ensanchada
h1	0,5 m	0,6 m	0,3 m	0,45 m
h2	0,4 m	0,4 m	0,1 m	0,05 m
h2 ext.	0,4 m	0,0 m	0,1 m	0,0 m

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

9.2.19.1. Cálculo de Sobreancho.

Este cálculo tanto para curvas circulares de carreteras y caminos se desarrolla mediante el análisis geométrico de las trayectorias que describen los diferentes vehículos.

Tabla 20. Ensanche de la calzada en función del tipo de vehículo.

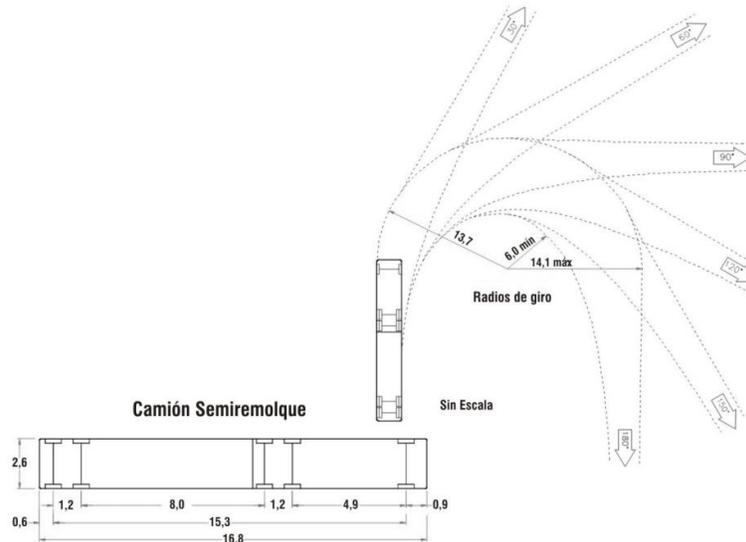
TABLA 2.3-11 ENSANCHO DE LA CALZADA E(M) (PERMITE EL CRUCE DE 2 VEHÍCULOS DEL MISMO TIPO MANTENIENDO HUELGAS H1 Y H2)

TIPO DE VEHÍCULO (Lt en m)	PARÁMETRO DE CÁLCULO (m)	E (m)	e.int (m)	e.ext (m)	RADIOS LÍMITE (m)
CALZADA EN RECTA 7,0 m (n = 2) 0,5 m ≤ E ≤ 3,0 m E = e.int + e.ext h1 = 0,6 m h2 = 0,4 m					
Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0	Lo = 9,5	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$30 ≤ R ≤ 130$
Bus de Turismo Lt = 13,2* Bus de Turismo Lt = 14,0*	Lo = 10,5 Lo = 10,6	$(Lo^2/R) - 0,2$	0,65 E	0,35 E	$35 ≤ R ≤ 160$
Semitrailer Lt = 16,4	L1 = 5,6 L2 = 10,0	$((L1^2 + L2^2)/R) - 0,20$	0,70 E	0,30 E	$45 ≤ R ≤ 190$
Semitrailer Lt = 18,6*	L1 = 5,6 L2 = 12,2				$60 ≤ R ≤ 260$
Semitrailer Lt = 22,4*	L1 = 5,6 L2 = 15,5				$85 ≤ R ≤ 380$

Si e.int calculado ≤ 0,35 m, se adopta e.ext = 0 y se da todo el ensanche E en e.int.

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Figura 9. Dimensión de vehículo. Y sus demarcaciones para realizar un giro.



Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Para el Manual de Carreteras Volumen I de la ABC, deben de realizarse dos tipos de ensanche tanto al interior de la curva en cuestión como el exterior de la misma, tal como se puede ver en la anterior tabla. De igual manera los ensanches calculados están en función de las dimensiones del vehículo, radio de la curva de diseño y por lo tanto implícitamente está la velocidad de diseño.

Los ensanches en ramales para intersecciones se obtendrán de la **Tabla 6.4-13** del manual de la ABC.

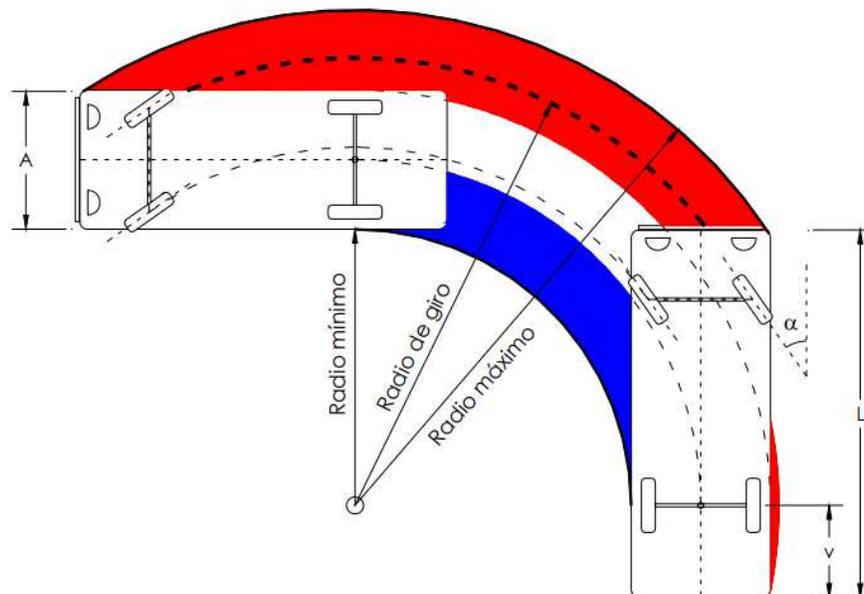
Tabla 21. Para Intersecciones.

TABLA 6.4-13 ANCHOS DE PAVIMENTO Y BERMAS ⁽⁴⁾ EN RAMALES

R (m) (Radio interior)	Ancho de pavimento en Ramales, en m para:									
	Caso I			Caso II			Caso III			
	1 carril 1 sentido Sin adelantar			1 carril 1 sentido Con adelantar			2 carriles 1 o 2 Sentidos			
	Características del Tránsito									
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
15	5,40	5,40	7,00	7,00	7,50	8,70	9,30	10,50	12,60	
25	4,70	5,80	5,70	6,30	7,00	8,00	8,70	9,80	11,00	
30	4,50	4,80	5,40	6,00	6,60	7,50	8,40	9,30	10,50	
50	4,20	4,80	5,00	5,70	6,30	7,20	8,00	9,00	9,90	
75	4,00	4,70	4,80	5,60	6,20	6,80	8,00	8,60	9,20	
100	4,00	4,50	4,80	5,40	6,00	6,60	7,80	8,40	9,00	
125	4,00	4,50	4,80	5,40	6,00	6,60	7,80	8,40	8,70	
150	3,80	4,50	4,50	5,40	6,00	6,60	7,80	8,40	8,70	
> 200	3,50	4,50	4,50	5,00	5,70	6,30	7,50	8,00	8,00	
Modificación de anchos (m) por efecto de berma ⁽¹⁾ y bordillos										
Berma sin revestir	Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación			
Bordillo Montable	Sin modificación			Sin modificación			Sin modificación			
Bordillo elevada	Un lado	Añadir 0,30			Sin modificación			Añadir 0,30		
	Dos lados	Añadir 0,50			Añadir 0,30			Añadir 0,50		
Berma revestida a uno o ambos lados	En condiciones B y C ancho en recta puede reducirse a 3,50 m si ancho de berma es 1,20 m o más			Deducir ancho de las bermas. Ancho mínimo como Caso I			Deducir 0,60 donde la berma sea de 1,20 m como mínimo			

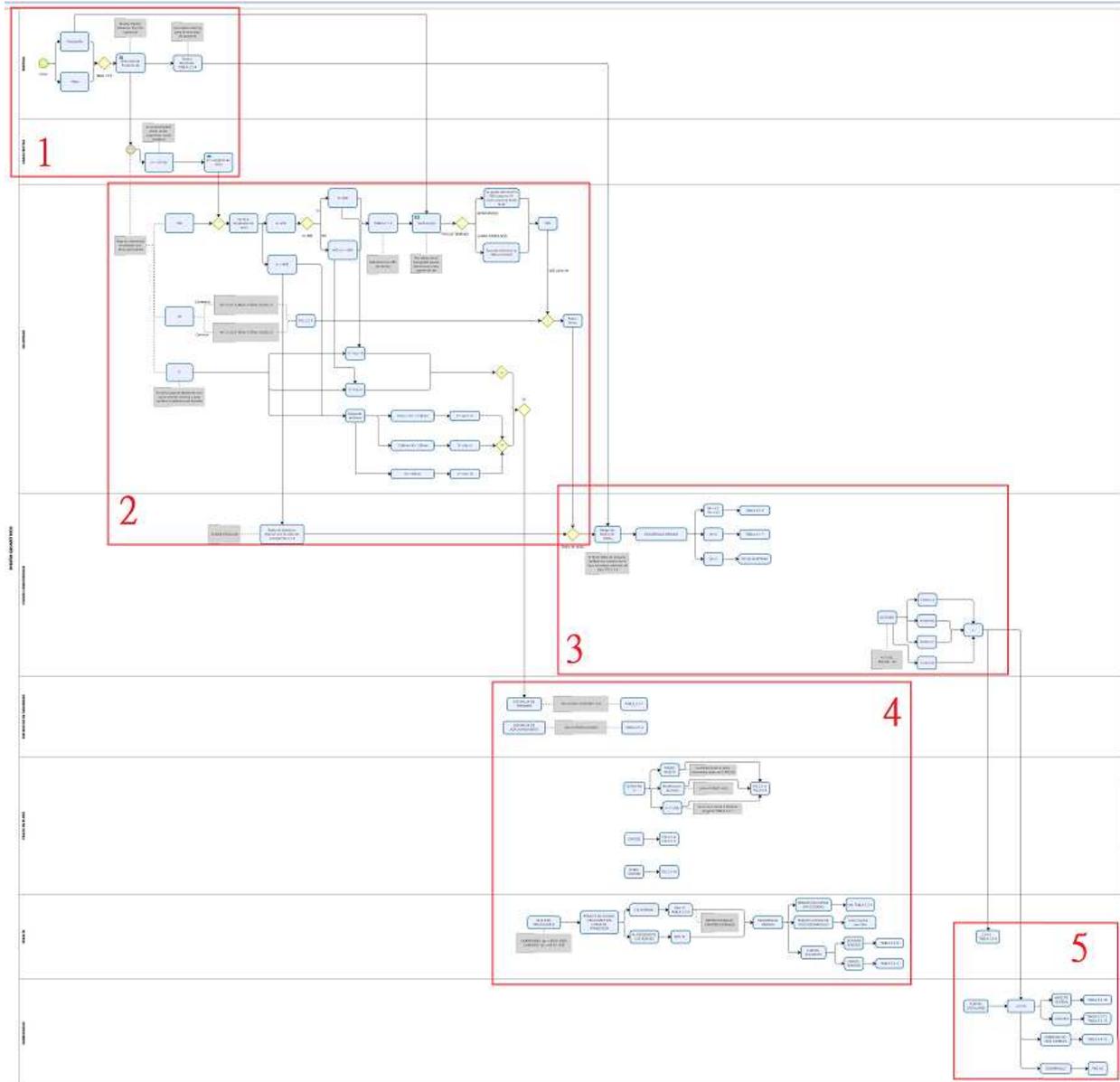
Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Figura 10. Sobreancho de una carretera en curva.



Fuente: (Luis Bañon Blazquez).

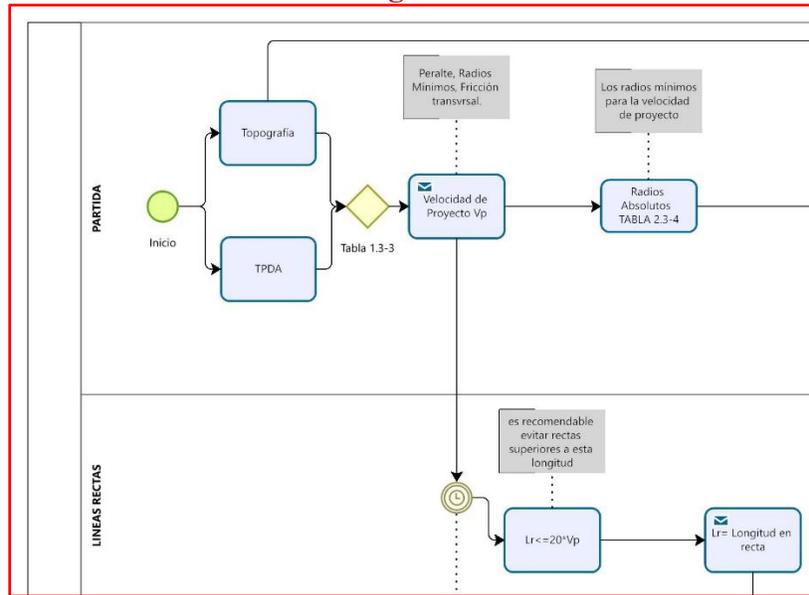
Flujo de Trabajo 01. Flujo de Trabajo para el Diseño Geométrico de una Carretera con el Manual de Carreteras Volumen I de la ABC.



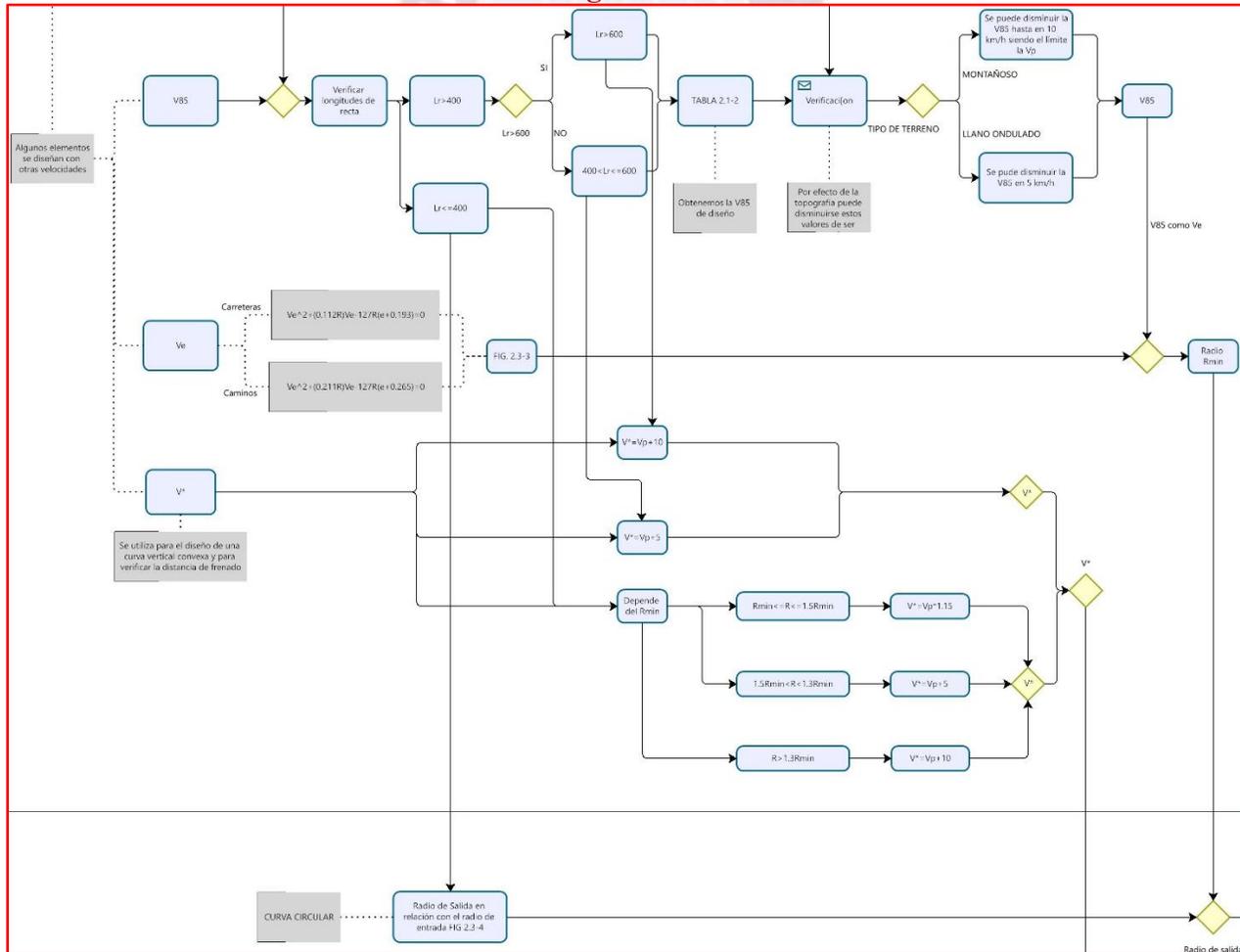
Fuente: *Elaboración Propia.*

Para apreciar mejor la imagen se la dividió en secciones, mismas que se mostrarán a continuación:

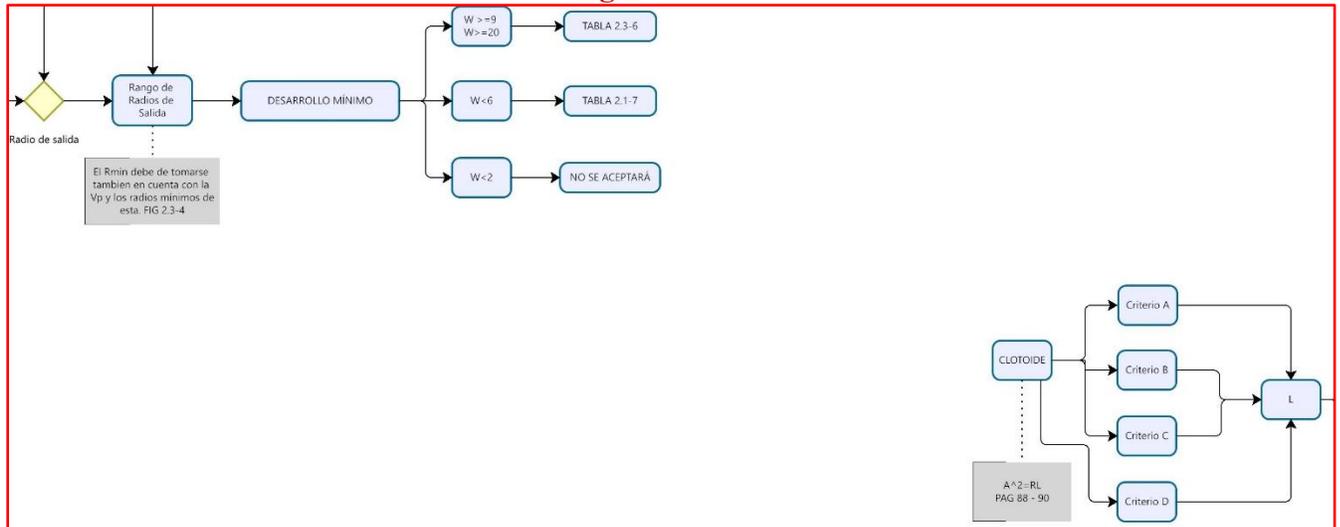
Región 1.



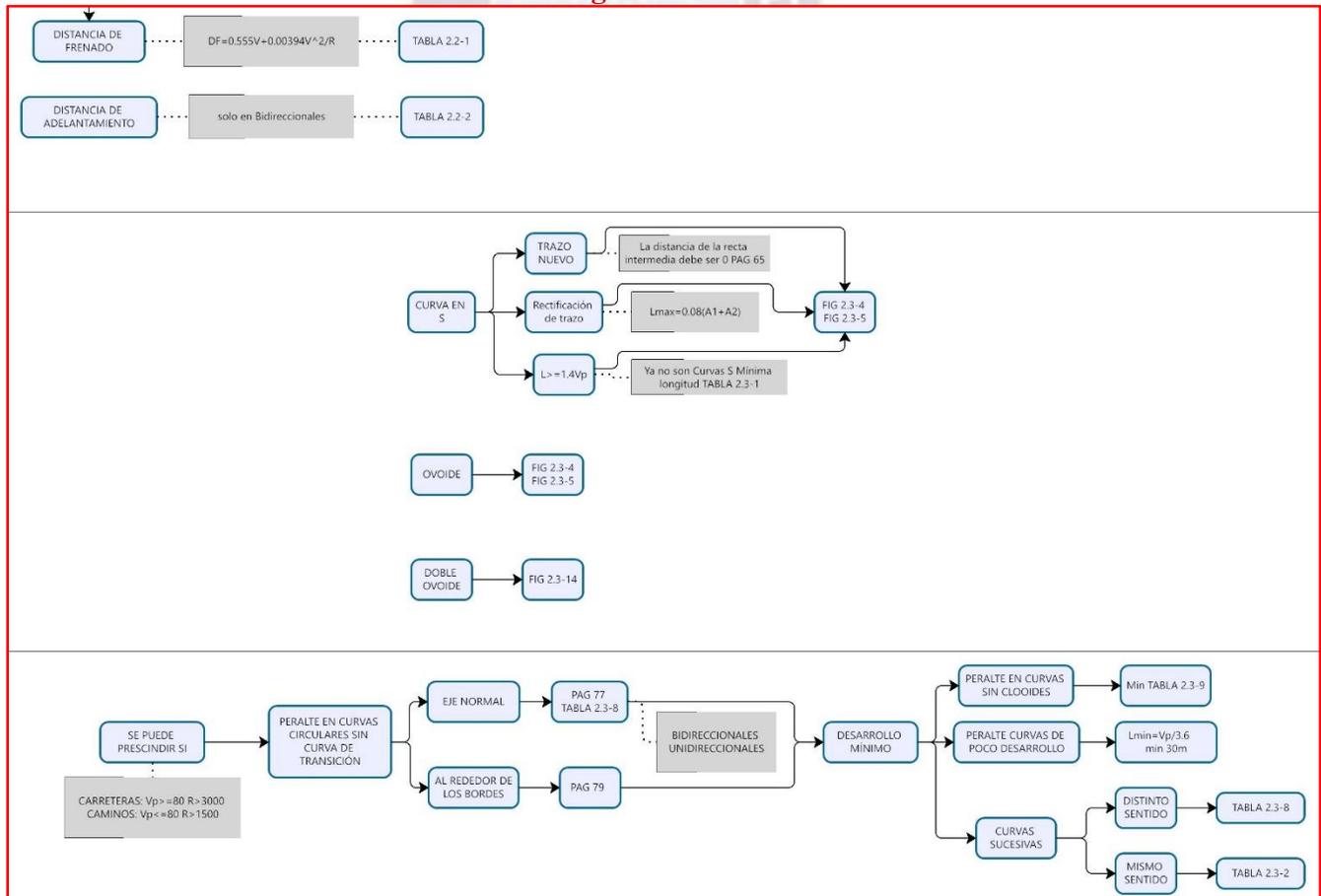
Región 2.

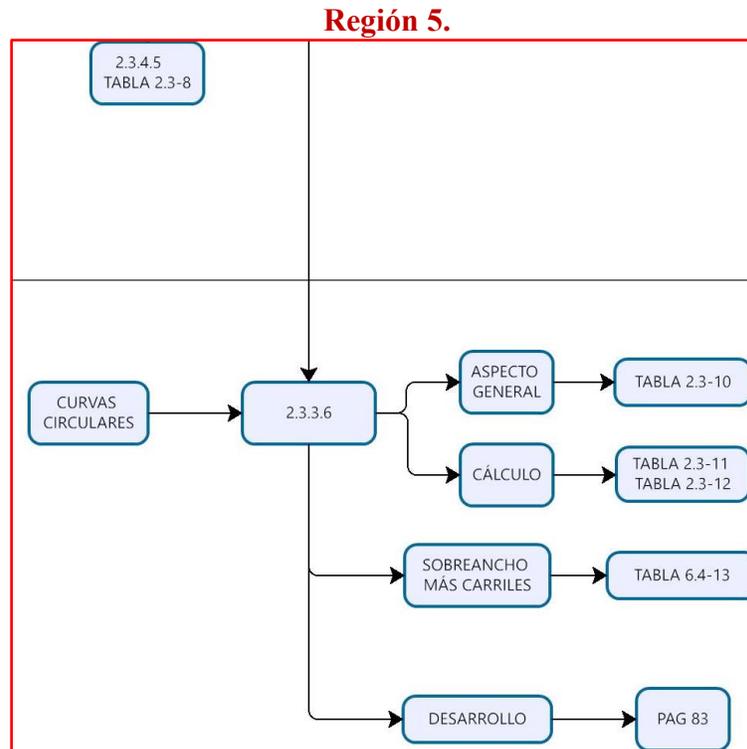


Región 3.



Región 4.





9.3. LEAN.

Con el fin de mejorar el rendimiento de la industria automovilística, en Japón se planteó buscar un método que aumentase la producción, es decir que estos sean eficientes y eficaces, es allí donde nace la filosofía “LEAN”, en ese ambiente sería industria sin pérdidas, pero ese concepto se puede llevar más allá de la industria vehicular, puesto que se trata de una filosofía, un conglomerado de ideas y experiencias que se pueden adaptar a cualquier concepto, como el de la construcción y diseño, se trata de producir más con menos, y que no existan pérdidas durante dichos procesos y tampoco retrabajo¹².

La filosofía LEAN, nos enseña que se pueden mejorar los tiempos en los que se diseñará y modelará una obra de ingeniería civil, pero para ello es importante primero, eliminar las pérdidas, estas pérdidas pueden ser del tipo: *Muda*, *Muri* y *Mura*.

- Tipo de pérdida “*Muda*”, se denomina *Muda* a cualquier proceso que no agregue valor al resultado final.

¹² Se trata de realizar una misma tarea varias veces, ya sea porque se trabajó con datos obsoletos. Por lo general este problema suele suceder cuando se trabaja con el modo CAD, - al tener los planos de diseño terminados y posteriormente presentarse una modificación, los planos ya no servirán; hay que desarrollar todo de nuevo.

- Tipo de pérdida “Muri”, consiste en trabajar por encima de las capacidades de uno mismo, es decir sobrecargarse de trabajo.
- Tipo de pérdida “Mura”, consiste en trabajar con cargas de trabajo irregulares, dentro de cualquier proceso.

Esta filosofía se puede aplicar tanto a la construcción como al diseño, y esta filosofía se utilizó tomando en cuenta principalmente los factores de "Muda y Mura", el primero hace referencia a los procesos que no agregan valor al resultado final eso es el re trabajo, ya sea al tener que calcular nuevamente los cómputos de materiales, generar nuevamente los modelos porque estos no son dinámicos, o trabajar con metodologías que no permitan automatizar ciertas tareas, esos re trabajos son los que deben de evitarse a toda costa, como experiencia personal y profesional: *“cuando trabajaba en una consultora, y por alguna razón se tenía que realizar una modificación al trazo, todo se tenía que realizar nuevamente, los cómputos realizados, planos, presupuesto, planos dependientes, etc. No servían y el tiempo que se tardó para realizarlos fue simplemente inútil”*. el segundo concepto "Mura" hace referencia a la carga de trabajos irregulares, es decir trabajar con distintas metodologías, por ejemplo, realizar una carretera con un programa BIM, pero las obras de drenaje con un programa CAD, el equipo de trabajo CAD, no podrá seguir el ritmo al equipo BIM, y cuando el equipo BIM necesite información del equipo CAD, no lo tendrá a tiempo y se quedará esperando sin producir nada y el equipo CAD teniendo sobrecarga. esto es lo que esta filosofía nos ayuda a eliminar, si bien parecen cosas bastante obvias, pero hoy en día se siguen cometiendo ese tipo de errores, y esta filosofía es la que se utilizó para la concepción del proyecto.

9.4. OBRAS DE DRENAJE.

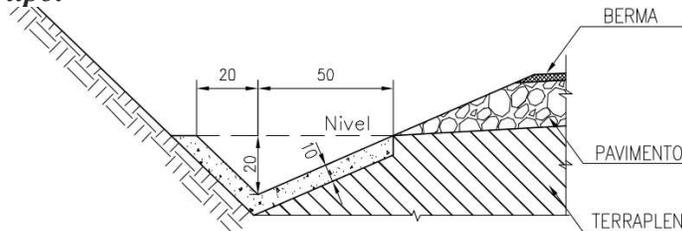
Dentro de la metodología tradicional o CAD no se trabaja con modelos 3D, y menos con los modelos de geometría que contengan información relevante, es muy habitual trabajar con planos 2D, ya sean de alcantarillas, puentes, bajantes, etc. Solo se utilizan planos para su construcción y cuantificación, ya que antes era muy complejo realizar un modelo tridimensional funcional.

Es por ello que se pretende eliminar ese bulo y realizar el modelamiento de las obras de drenaje con un programa BIM. Será de suma importancia saber qué es lo que se tiene que modelar dentro del proyecto, y que tipo de información se requerirá después, pensando en

esto es que se tienen que realizar los modelos, por ejemplo, será necesario modelar la obra de una manera especial para la extracción de datos del modelo BIM, esto se tiene de determinar desde el principio, ya sea para las obras lineales que se modelarán con Autodesk Civil 3D o las que se realizarán en Autodesk Revit.

9.4.1. Obras de Drenaje lineales.

Figura 11. Cuneta tipo.

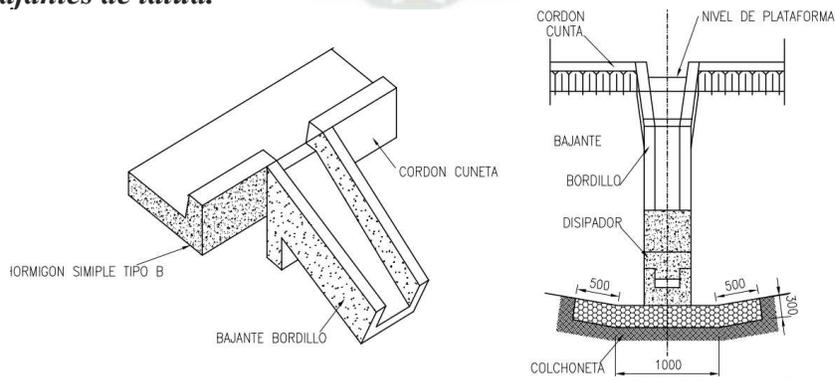


Fuente: (Bolivia, Manual de Planos de Obras Tipo, 2007).

Están compuestas por las cunetas del proyecto vial como ser: cunetas en corte del corredor, cunetas a pie de terraplén, zanjas de coronamiento, entre otras. Las primeras son las que están en el corredor vial, y se conforman directamente en el corredor, las segundas tienen como fin la evacuación del agua de las cunetas del corredor o corte, esta es muy importante porque de no contar con este tipo de estructuras el agua que se escurre por las cunetas de corte del corredor dañarían la estructura de la carretera o camino, al no tener donde ser evacuadas.

Para tener una mejor representación de los elementos, estos deben modelarse computacionalmente, las obras que las compongan que sean no lineales deberán modelarse en Revit o algún programa con la misma funcionalidad. Pero en su mayoría se tratará de obras lineales, es por ello que se pueden modelar en Autodesk Civil 3D. sin embargo existen casos especiales de modelado, como las bajantes de la zanja de coronación.

Figura 12. Bajantes de talud.

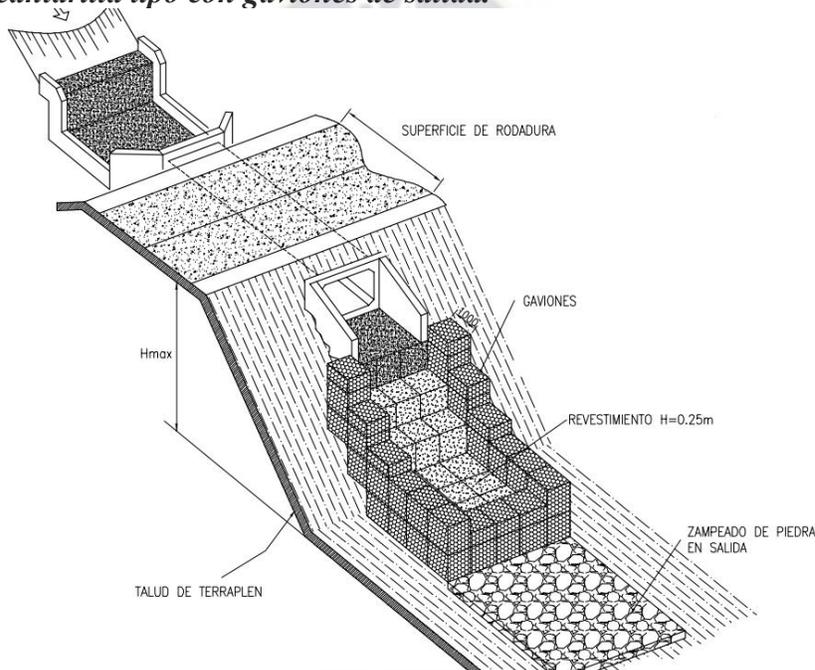


Fuente: (Bolivia, Manual de Planos de Obras Tipo, 2007).

9.4.2. Obras de Drenaje Menor.

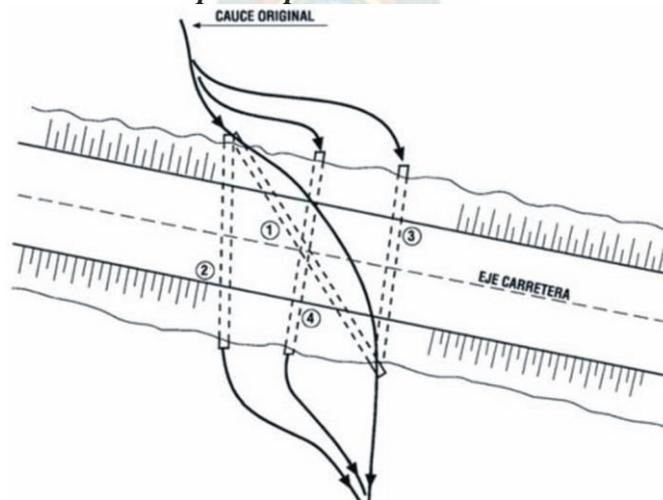
En esta categoría tenemos a las alcantarillas, las cuales como ya se sabe sirven para conducir flujos de agua a través de la carretera sin interferir en el flujo vehicular, estas pueden ser de distintos tipos en función de las condiciones específicas en las que se emplace esa estructura, ya que estas pueden contar con cabezales de salida, muros de contención, disipadores ente otros. Estos elementos deben de modelarse desde Revit, para que por la complejidad con la que cuenta, es por ello que no se realiza con elementos de modelado lineal.

Figura 13. *Alcantarilla tipo con gaviones de salida.*



Fuente: (Bolivia, Manual de Planos de Obras Tipo, 2007).

Figura 14. *Tipos de cauces en los que emplazar alcantarillas.*



Fuente: (Bolivia, Manual de Diseño Geométrico ABC Vol 2, 2007).

Figura 15. *Tipo de alcantarilla cajón doble.*



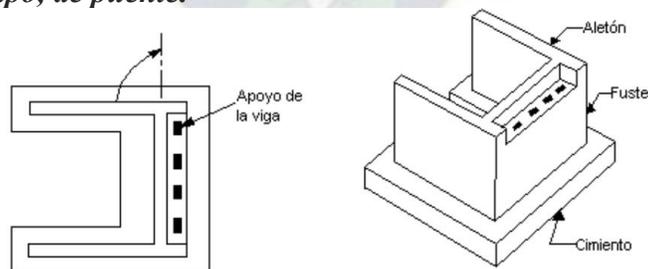
Fuente: (Civil, s.f).

9.4.3. Obra de Drenaje Mayor.

En esta categoría entran los puentes, estos están compuestos por la infraestructura y la superestructura, en la primera están las estructuras de contención más conocidos como estribos y las pilas, en la segunda el tablero del puente, más otros sub elementos que también forman parte del puente.

El tipo de estribo dependerá de las condiciones del proyecto y de lo que diga el diseño estructural ya que, en caso de tratarse de un viaducto, la estructura de contención no será igual que una en la que se tenga flujo de agua.

Figura 16. *Estribo tipo, de puente.*

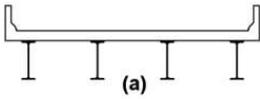
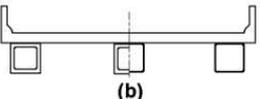
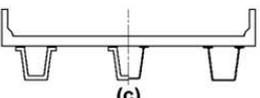
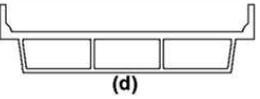
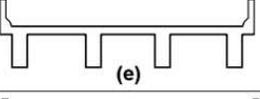
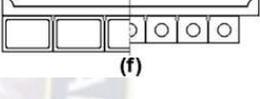


Fuente: (Díaz).

En los estribos también se colocan los aparatos de apoyo como se observa en la ilustración superior, en ella se colocan las vigas de la superestructura, y estas a su vez sustentarán al tablero del puente.

la superestructura del puente como ya es conocido puede tener varios tipos, en función de la longitud del puente, número de carriles, tipo de vehículos que circularán por él, es decir las cargas que este tendrá que soportar, economía, entre otros

Figura 17. *Secciones tipo de tablero de puente.*

Supporting Components	Type of Deck	Typical Cross-Section
Steel Beam	Cast-in-place concrete slab, precast concrete slab, steel grid, glued/spiked panels, stressed wood	 (a)
Closed Steel or Precast Concrete Boxes	Cast-in-place concrete slab	 (b)
Open Steel or Precast Concrete Boxes	Cast-in-place concrete slab, precast concrete deck slab	 (c)
Cast-in-Place Concrete Multicell Box	Monolithic concrete	 (d)
Cast-in-Place Concrete T-Beam	Monolithic concrete	 (e)
Precast Solid, Voided, or Cellular Concrete Boxes with Shear Keys	Cast-in-place concrete overlay	 (f)

Fuente: (AASHTO, 2020).

Para poder construir el tablero del puente, existen varios procesos constructivos para llegar a ese fin, uno de los cuales son las prelosas, son prefabricados que ayudan en el proceso constructivo del puente, las mismas son de mucha utilidad como por ejemplo servir para la base del tablero del puente, además tienen una función de encofrado del tablero, de esa manera el tiempo que tomaría encofrar ese elemento se reduce muchísimo gracias a la utilización de prelosas.

Figura 18. *Prefabricado tipo Prelosa para construcción de puente.*



Fuente: (Woldtech, 2022).

Los otros elementos como barreras de seguridad, como es de suponer se construyen para la seguridad de los peatones, y también para que los vehículos que circulan por dicho puente no se salgan de él, también se eligen estos en función de la economía y por temas ornamentales, en función de donde se encuentre el puente.

9.5. BIM.

BIM no es la utilización de un programa, no es un render, BIM es un conjunto de estándares, metodologías y tecnologías que nos permiten diseñar construir, gestionar y operar una obra de ingeniería civil, en el caso del presente proyecto, se utilizará esta metodología para la etapa del diseño, con el uso de las herramientas que nos ofrece BIM podremos realizar un diseño automatizado, modelar elementos del corredor de manera rápida y con la suficiente información para que esta pueda ser construida, también se podrá extraer información en cualquier etapa del proyecto. Entonces BIM es una metodología que nos ayudará a diseñar mejor y más rápido sin que esta tarea nos tome mucho tiempo, evitando el re trabajo y pudiendo contar así con un modelo virtual del cual poder extraer información, además de que dicho modelo podrá ser utilizado para la construcción del mismo, los datos como la cuantificación del modelo BIM estarán disponibles en función del nivel o madurez de los modelos con los que se trabaje.

9.5.1. Madurez BIM

Como ya se mencionó, el problema con la metodología BIM es lo complicado que puede llegar a ser en un principio, y el bajo rendimiento que se tendrá durante la etapa de diseño y/o construcción, esto puede llegar a representar una razón para posponer su uso para cualquier constructora o consultora, es por ello que no suele llegarse a un uso total del BIM, y en la mayoría de los casos solo se llega a utilizar BIM de manera básica, donde los flujos de trabajo no son los apropiados, los niveles de implementación BIM son los siguientes:

9.5.1.1. Nivel 0.

También llamado método tradicional CAD, es cuando no se hace uso de nada relacionado a BIM, se sigue utilizando los formatos DWG, como formato único de intercambio.

9.5.1.2. Nivel 1.

Es cuando se hace uso inicial de herramientas BIM, pero para uso no primario, es decir se utilizan modelos 3D para renderizados, pero no se llega más allá. La base del proyecto sigue

siento el método CAD. Los planos y cómputos métricos se siguen obteniendo de los planos CAD.

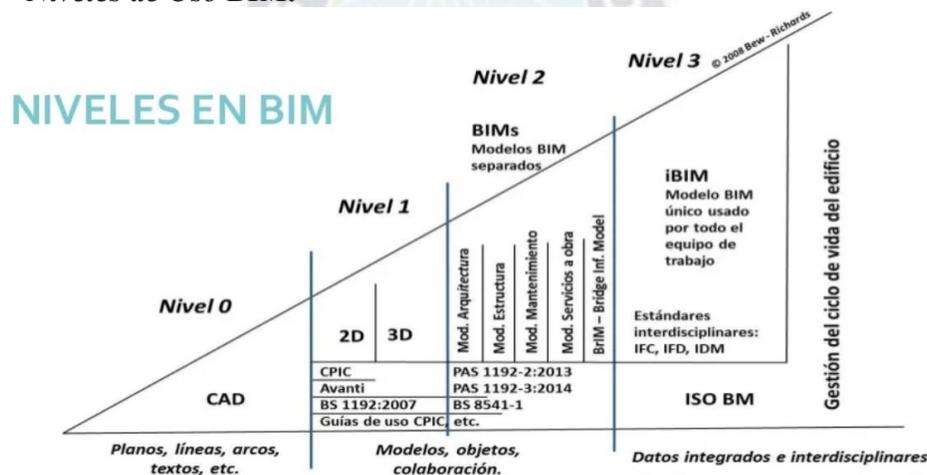
9.5.1.3. Nivel 2.

Se hace un mejor uso de las herramientas BIM y la metodología; el modelo 3D ya se utiliza para los planos y tal vez para los cómputos, sin embargo, para algunas tareas se siguen utilizando los procesos CAD.

9.5.1.4. Nivel 3.

Es cuando se hace una implementación total de la metodología BIM en el proyecto, toda la información que se requiera se encuentra en los modelos BIM, ya sean planos, cómputos métricos, modelo de coordinación, etc.

Figura 1. *Niveles de Uso BIM.*

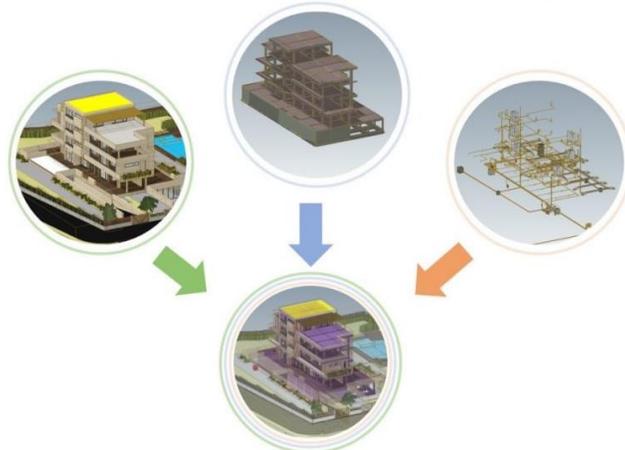


Fuente: (Liz, 2015).

9.5.2. Modelos Federados.

Dada la complejidad y cantidad de datos que se tienen, sería muy complicado trabajar en un solo archivo, además de que es poco eficiente, tanto para el que diseña como para la parte que revisará el proyecto, es por ello que es conveniente que se trabaje con archivos separados, mismo que tienen que estar debidamente georreferenciados, eso garantizará que se trabaje con archivos de poco tamaño, y que cada profesional esté trabajando en su respectiva área, de no trabajar con archivos o modelos federados tendría que esperar a que el otro profesional termine su trabajo, o lo que es peor trabajar con copias del archivo, esto generaría que se trabaje con archivos obsoletos es decir no trabajarán con los archivos indicados, esto conducirá a retrabajos a la larga.

Figura 2. *Representación de un modelo Federado de un Edificio.*



Fuente: (Accasoftware, 2022).

9.5.3. Archivos BIM.

El diseño de una carretera, que contempla la etapa inicial como concepto hasta el diseño final, cuenta con una gran cantidad de datos y archivos con los cuales se debe de trabajar, este aspecto debe de definirse en el BEP que se desarrollará, para ello se utilizará un sistema de clasificación de archivos BIM como GuBIMClass, pero adaptado a carreteras, de esta manera se piensa garantizar la adecuada gestión de la información generada como recibida.

Figura 3. *Distintos Archivos con los que se trabaja en un entorno BIM.*



Fuente: (Darós, 2019).

9.5.3.1. Información Generada.

Es toda la información que se generará en cada disciplina del proyecto, tales como los formatos. sat para trabajar con superficies, xml para los alineamientos, ifc para la información BIM, etc.

9.5.3.2. Información Recibida.

Es la información que se recibirá para que dicha disciplina pueda seguir adelante con su trabajo, por ejemplo, para que el departamento de Estructuras pueda modelar una alcantarilla o puente, debe de recibir primero información topográfica, así como la parte del alineamiento correspondiente a dicha alcantarilla.

9.5.4. Dimensiones BIM.

La metodología BIM consta de varias etapas también llamadas dimensiones, que son grados de uso BIM que tendrá el proyecto; estos son los siguientes:

9.5.4.1. BIM 3D.

BIM 3D es desarrollar el modelo de ingeniería en 3D, dejando de lado los modelos 2D provenientes de programas CAD, el modelado el 3D no es suficiente, ya que este tiene que ser adaptable a los futuros cambios que se presenten en el diseño geométrico; desde el punto de vista del diseño de carreteras, tanto el trazo, taludes, cunetas, etc. Deben ser adaptables en caso de cambio de trazo, es decir si se cambiase los taludes de corte o relleno en cierto tramo, estos cambios también deben verse reflejados en los planos y los dependientes del mismo.

9.5.4.2. BIM 4D.

Con un adecuado modelado en 3D, y con una planificación de obra se puede entrar en el campo del BIM 4D, siendo este el diseño del efecto que tiene la construcción del proyecto en el tiempo.

Los diagramas de Gantt, nos pueden ayudar a ver cuánto tiempo tardará en construirse una obra, ver la ruta crítica del proyecto, los insumos necesarios que se necesitarán para cada etapa del proyecto, entre otros, BIM 4D es ir más allá de eso, es ver el proceso constructivo en el modelo 3D, de esa manera se puede ver el efecto inmediato que se tendrá en una obra, una manera más avanzada de este campo es realizar un diseño de los componentes de la obra en el tiempo, es decir que es más conveniente empezar a construir primero y que después, con una planificación 4D se puede ver esto de manera gráfica y esto hace que sea más entendible. Y de esa manera se pueden plantear distintos escenarios de construcción de la obra civil que se está estudiando, además de que con su utilización se pueden reducir los tiempos de ejecución del proyecto, y ver como esos cambios afectan el modelo BIM 3D.

9.5.4.3. BIM 5D.

Se trata de tener un presupuesto automático en función de los modelos realizados en BIM 3D y BIM 4D.

Dentro de una obra se pueden tener muchos ítems y que todos estos ítems estén modelados en BIM 5D sería bueno, pero talvez no sería lo óptimo ya que el modelado de todos los elementos representa tiempo, es probable que no valga la pena modelar todo en esta dimensión ya que el beneficio recibido no se compensaría con el tiempo empleado en la modelación.

9.5.4.4. BIM 6D.

Es realizar un análisis energético del proyecto, la sustentabilidad que tendrá este, y tratar de diseñar de manera tal de evitar un diseño de alto consumo energético. También de realizar el diseño de la obra de ingeniería de la mejor forma para que se consuma la menor cantidad de energía posible, el en caso de edificaciones por ejemplo es posible hacer un diseño de forma tal que este reciba la mayor cantidad de luz solar posible, evitándose así el uso innecesario de luz artificial.

9.5.4.5. BIM 7D.

Es obtener un modelo BIM que tenga en cuenta la forma de mantenimiento, especificaciones técnicas, es decir se debe de tener una base de datos de los elementos con toda la información necesaria, para realizar tal efecto.

Figura 4. *Dimensiones BIM.*



Fuente: (Xinaps, 2016).

9.6. LOD (LEVEL OF DEVELOPMENT).

Cada dimensión BIM está compuesta por varios elementos, mismos que serán modelados por programas BIM, el nivel de detalle que tendrá cada elemento BIM se denomina como LOD, este se clasifica en niveles que van desde 100 a 500, donde el nivel 100 hace referencia a modelos básicos, prácticamente solo son representativos, se utiliza en las etapas iniciales del proyecto, este nivel de desarrollo va hasta 500 donde el nivel de detalle es avanzado, siendo este utilizado en la etapa final del proyecto.

No todos los elementos deben de tener un nivel de desarrollo LOD 500, por no considerarse necesario y por qué no sería beneficiosos a largo plazo. Es decir, desde el punto de vista de un edificio no es importante tener muy detallado la manija de una puerta, pero si las uniones entre vigas y losas. Esta analogía también se aplica para las obras lineales, no es tan conveniente tener super detallado por ejemplo los “*ojos de gato*”¹³ sin embargo, si es conveniente tener a detalle los taludes, espesores de pavimentos, puentes entre otros.

De igual manera el tipo de LOD y en qué elementos se utilizarán se debe definir en el BEP.

Figura 5. *Representación de los distintos tipos de LOD's.*



Fuente: (Jim Bedrick, 2021).

Como se aprecia en las imágenes superiores el nivel de desarrollo, tiene directa incidencia en el tiempo que se demorará el desarrollar el proyecto, es por ello que su uso se tiene que hacer con mucho criterio.

Por lo general LOD (Level of Development) es también LOD (Level of Detail), con la diferencia que, LOD (Level of Detail) es la representación gráfica de un objeto BIM, es decir se hace más relevante la representación visual del elemento. Sin embargo, LOD (Level of Development) no solo hace referencia a la parte visual sino también a la parte informativa lo que se conoce como

¹³ Son elementos de la señalización de las obras lineales.

LOI (Level of Information), es decir a la cantidad de información que tiene dicho elemento BIM. Si bien tienen el mismo acrónimo, hay que tomar en cuenta que hay que darle más énfasis al Nivel de Desarrollo.

9.7. IFC (INDUSTRY FOUNDATION CLASSES).

Es un formato de intercambio entre operadores BIM, como los proyectos ingenieriles son multidisciplinarios y como existen varias herramientas para realizar el modelado, es común que un programa BIM no pueda abrir de forma nativa un modelo realizado con otro programa BIM, es por ello que se pensó en un tipo de formato universal, que pueda abrir cualquier programa, de allí que toda la información relevante se exportará en formato IFC. También IFC es un formato tipo entregable, como lo que DWG es a CAD, IFC es a BIM.

9.8. ROLES BIM.

9.8.1. MODELADOR BIM.

Es el nivel más básico dentro del ambiente BIM, como su nombre lo indica tiene la función de modelar los elementos del proyecto, la obra vial, puente, alcantarilla, cunetas, etc.

Para realizar el modelado no debe de realizarse de manera libre, eso podría conducir a errores en etapas superiores del proyecto, para ello debe consultar con el BEP o un manual de funciones; en el BEP se encontrarán los lineamientos que debe de cumplir para que su modelo sea el adecuado.

Es altamente recomendable que el modelador sea el mismo ingeniero que realizó el diseño. Y el modelado debe hacerse tomando en cuenta dos aspectos fundamentales:

- Debe realizar el modelo tomando en cuenta el tipo de información que se necesitará posteriormente también es importante saber cómo se requerirá dicha información.
- Se modela como se construirá.

9.8.2. COORDINADOR BIM.

Tiene un grado de responsabilidad más elevado y es importante su experiencia trabajando con las distintas disciplinas, su función principal es de gestionar los modelos generados por los distintos departamentos de diseño.

Su trabajo consta de verificar que los modelos se hayan desarrollado de la manera adecuada y que no exista interferencia entre ellos, y en caso de que existieran estas, su rol también pasa a ser de moderador, delegando la eliminación de dicha interferencia a los respectivos encargados.

9.8.3. BIM MANAGER.

Es el rango más elevado dentro de la jerarquía BIM, es el encargado de que el proyecto se desarrolle en función a lo estipulado en el BEP.

- Tiene la función de establecer los flujos de trabajo que se tendrá en el proyecto.
- Elaborar el BEP del proyecto.
- Garantizar que la información generada por un determinado departamento llegue a otro departamento, es decir establecer un ECD (Entorno Común de Datos).
- Debe establecer en el BEP el equipo computacional con el que se trabajará, los distintos formatos, nomenclaturas, estándares, etc.
- También debe proponer el nivel de madurez BIM que requiera el proyecto en cuestión.
- Establecer los niveles LOD requeridos para cada etapa del proyecto.
- Establecer el flujo de trabajo para el Coordinador BIM.
- Establecer como se gestionarán los modelos BIM.
- Gestionar los cambios dentro del proyecto.
- Debe de conocer los programas que se utilizarán y como interactúan entre ellos. Es decir que tipo de información requiere un departamento de otro, y como se garantizará su adecuada ejecución.

9.9. CONCEPCIÓN DEL PROYECTO.

9.9.1. *Planificación del Diseño.*

Es importante obtener la mayor cantidad de información posible para que la modelación sea la más cercana a la realidad, y es importante garantizar la interoperabilidad de los archivos del proyecto,

Los datos principales serán los relativos a la topografía, con las limitaciones planteadas en el acápite de “*Alcance*”, se realizará el diseño tomando en cuenta estos aspectos; para las etapas de revisión de las mismas se utilizarán los formatos IFC y algún programa de visualización 3D de IFC’s en caso de contar con los datos sólidos del corredor, la topografía como siempre se trabajará con formato XML.

Este proyecto se resolverá principalmente en el cómo se debe proceder para realizar un modelamiento BIM, y no en el cómo se obtienen los datos para realizar el diseño. Esto para adentrar un poco más en la metodología BIM para infraestructura vial.

Al tratarse de una etapa básica de diseño el LOD con el que se trabajará será el más básico, para el inicio del proyecto, en proyectos de ejecución en esta etapa del proyecto se suele trabajar con programa como Infracore, u OpenRoads ConceptStation. Ya que nos permiten tener idea de lo que se planea realizar, pero para etapas más avanzadas de diseño se debe utilizar un programa especializado en el diseño geométrico de carreteras ya sea en la casa Autodesk o la Bentley. se puede utilizar el programa que mejor se maneje, tomando en cuenta el flujo de información que se necesitará más adelante durante el proyecto, es decir utilizar el programa que nos facilite el tránsito de información de un programa a otro, para garantizar la interoperabilidad, y no tener problemas más adelante.

9.9.2. Diseño.

Después de superada la etapa de planificación del diseño, se llega a un diseño un poco más detallado siendo los distintos LOD's, hay que aclarar que mientras más adelantado esté un modelo, no necesariamente el LOD respectivo será también más alto, es decir en una etapa final del proyecto no todo tiene que estar en LOD500, dependiendo de la necesidad se adoptarán distintos tipos de LOD's.

Para esta etapa ya se tiene que haber desarrollado un entorno de colaboración en la nube, se tienen que tomar en cuenta varios aspectos como la clasificación de la información, la información que se debe de enviar a cada departamento y el modo en el que se enviará, los Modeladores y/o diseñadores como “*Coordinador BIM*” deben de estar en constante comunicación, y deben de coordinarse reuniones entre los involucrados, con el fin de subsanar las interferencias que se puedan producir, como se puede deducir gran parte del cómo se debe proceder está en el BEP, es por ello de su importancia y por qué se lo desarrolla.

Teniendo un modelo BIM funcional en la dimensión que el proyecto lo requiera (3D, 4D, 5D, ETC.), podrán realizarse modificaciones en el proyecto, los cambios más sustanciales deben estar sujetos a dichas modificaciones, debe de identificarse aquellos elementos los cuales serán casi estáticos además deben de plantearse flujos de trabajo para que estos elementos no

representen problemas en el resto de modelos, es decir el proyectista con su experiencia deberá identificar los “cuellos de botella” del proyecto, también existen elementos no dinámicos que por la forma en que se generan hay que realizarlos nuevamente en caso de que exista algún cambio en el proyecto. Un ejemplo de estos elementos cuasi estáticos que se dan con la metodología tradicional o CAD, son el cambio de trazo, el cambio de trazo hace que las cuencas de aporte cambien, teniendo que calcular todas sus propiedades nuevamente, una vez calculadas dichas propiedades recién el encargado del departamento hidráulico podrá realizar el rediseño de los elementos hidráulicos dependientes. Esto también sucede con el modelo del corredor, de existir un cambio en el trazo de la vía, con la metodología tradicional las tareas realizadas como: los planos, cómputos métricos, presupuesto, etc. Son obsoletos es decir ya no sirven y hay que realizarlos nuevamente, el problema en si no es tener que volver a realizar la tarea, puesto que esto no siempre está en manos del equipo de diseño, el problema radica en las metodologías precarias con las que se realizan esas tareas, suele demorar mucho tiempo y aun así estos conllevan cierta incertidumbre al momento de realizar el cálculo. Sin embargo, esta tarea con la metodología BIM se realizaría en muchísimo menos tiempo, siendo esta una de las ventajas de aplicar esta metodología.

10. METODOLOGÍA.

El uso de la información del presente proyecto, serán en su mayoría adaptables, es decir se realizará una adaptación de los existentes a la realidad del proyecto, tal es el caso de la clasificación “**GuBIMClass**” misma que es para edificaciones, y es por eso que se realizará la adaptación, para proyectos de infraestructura vial.

Con el presente proyecto se pretende demostrar que es posible realizar una carretera con los principios de la Metodología BIM, así como mostrar adecuados flujos de trabajo, para que el modelo sea colaborativo, es decir en cualquier momento podría añadirse otro proyectista al proyecto, y realizar su respectiva labor sin interferir y garantizando que siempre se trabaje con los datos actuales. Solo tendrá que seguir los flujos de trabajo que se realizarán.

10.1. FLUJOS DE TRABAJO.

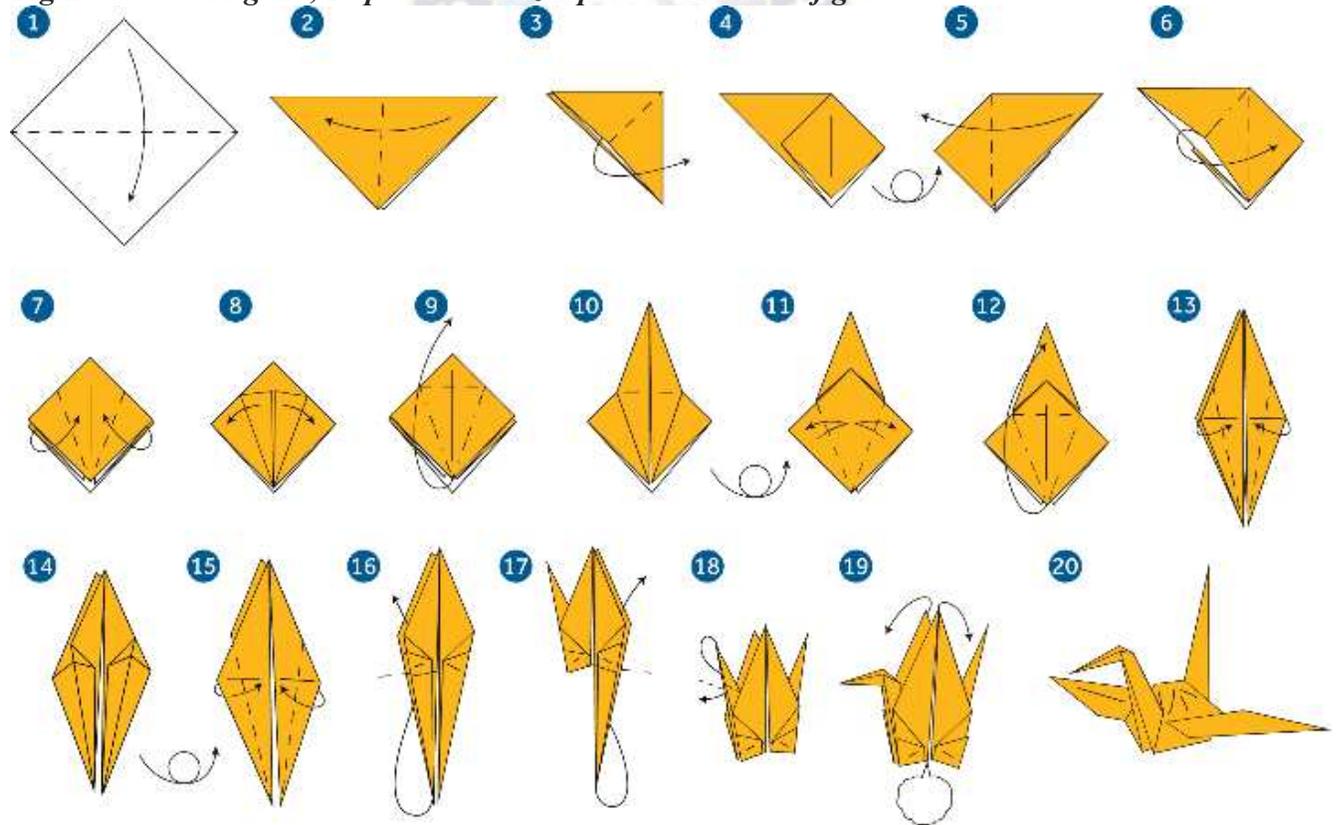
Un aspecto poco mencionado pero muy importante dentro de la metodología BIM son los flujos de trabajo, los mismos que son un conglomerado de pasos a seguir para cumplir con un

cometido, de saltarse un solo paso el resultado podría ya no ser el requerido o el indicado, es por ello que el personal que trabaja con la metodología BIM si quiere aplicarla bien debe ser comprometido y metódico.

Es una de las razones por las cuales se utilizan flujogramas, con el fin de que cuando sean necesarios puedan consultarse y salir de dudas fácilmente. Otro aspecto que se tiene que tomar en cuenta es que el profesional tiene que tener claro la tarea que tiene que desempeñar, saber qué es lo que tiene y no tiene que hacer.

También debe de realizarse el diseño geométrico, modelado, etc. con técnicas actuales, de forma que el diseño se facilite mucho, lográndose esto con un programa especializado en el diseño geométrico, y con un programa para el modelado de modelos BIM. Los modeladores BIM del proyecto deben de conocer muy bien la forma en la que estos modelos deben de realizarse, estos se pueden corregir después, pero es un mal indicio para el equipo de modeladores.

Figura 6. *Origami, 20 pasos a realizar para obtener una figura.*



Fuente: (all-origami.ru, 2022).

Como se quiso ilustrar con la anterior imagen, la metodología BIM puede ser comparada con el origami, tomando en cuenta que para llevar a un resultado final se tienen que seguir pasos o instrucciones desde el principio hasta el final.

10.2. REALIZACIÓN DEL PROYECTO.

A continuación, se resumirán los pasos a seguir para la realización del proyecto.

10.2.1. Recolección de Datos.

Se buscará la mayor cantidad de información SIG¹⁴ que esté disponible de forma gratuita. Para establecer conexión de interoperabilidad entre estos campos importantes en el diseño de carreteras, de igual manera un insumo muy importante para el trazo de la carretera es la topografía, misma que debe ser adecuadamente representada, esto se logrará gracias a que la misma está en formato CSV y gracias a esto se pueden hacer las correcciones topográficas que sean necesarias.

10.2.2. ECD.

Los datos generados en cualquiera que sea el formato deben estar disponibles en una unidad virtual es decir la “Nube”. Para que los miembros del equipo del proyecto tengan un acceso rápido e la información cuando se requiera.

10.2.3. Modelo BIM 3D.

El modelado BIM 3D del corredor vial se realizará en civil 3D, al igual que las obras de drenaje lineales, de ser necesaria obras de drenaje no lineales, estas se modelarán en Revit, igual que las estructuras que sean necesarias.

Como ya se mencionó existirá un ECD que estará en la nube, además que exista la posibilidad de que varios profesionales puedan trabajar con los archivos como el alineamiento, es por ello que se realizará la tramificación del mismo. Con el fin de determinar de esta manera el mejor flujo de trabajo, para el diseño geométrico colaborativo de carreteras, y para aumentar la eficacia se utilizarán metodologías modernas con este fin.

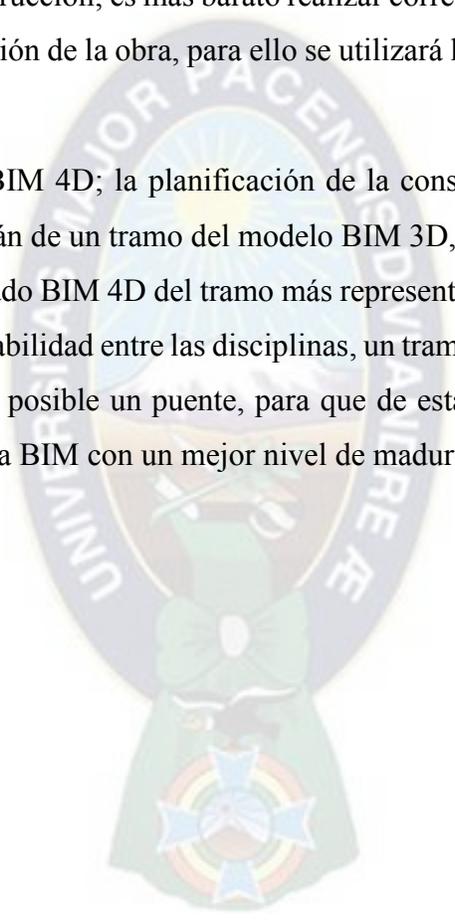
¹⁴ Sistema de Información Geográfica, son informaciones geospaciales que tienen información del terreno en formato SHP o raster, ayudan a la toma de decisiones.

A manera de emular el funcionamiento de una oficina técnica, se utilizará el programa Navisworks, este gestionará los modelos BIM y en caso de encontrarse con errores de modelado, se utilizará la plataforma *BimCollab*, esta plataforma ayuda a la adecuada gestión de las incidencias durante el proceso de diseño de la obra de ingeniería.

También se emulará el papel del cliente, es decir la entidad que solicitó el proyecto, al tratarse de un proyecto BIM, es necesario mostrarle un modelo en tercera dimensión, para evitar imprevistos durante la construcción; es más barato realizar correcciones a los modelos BIM que realizarlos durante la ejecución de la obra, para ello se utilizará la plataforma *Trimble Connect*.

10.2.4. Modelo BIM 4D.

Para realizar este modelo BIM 4D; la planificación de la construcción y por consiguiente el modelo BIM 4D se realizarán de un tramo del modelo BIM 3D, mencionado en el anterior sub título, se realizará el modelado BIM 4D del tramo más representativo, es decir uno que muestre adecuadamente la interoperabilidad entre las disciplinas, un tramo en que se muestre banquetas, alcantarillas, muros y en lo posible un puente, para que de esta manera se pueda mostrar los beneficios de la metodología BIM con un mejor nivel de madurez del proyecto.



CAPÍTULO III

11. MARCO PRÁCTICO.

- Se Realizó el diseño geométrico en función del Manual de Carreteras Volumen I de la ABC, con toda la información disponible para realizar tal cometido, como ser: topografía, mapas de uso de suelos, mapas geológicos, mapas de tipo de suelos, etc. Es decir, la mayor cantidad de información que esté disponible de manera gratuita.
- Se realizó un sistema de clasificación del proyecto en función de la “*GuBIMClass*” adaptada para obras de infraestructura vial.
- Se realizó un modelado BIM 3D, combinando tanto las obras lineales y las no lineales, para ello, se trabajó con un ECD, que sirvió como repositorio de la información del proyecto, para garantizar la accesibilidad de la información solo así sería posible trabajar con más profesionales, se definieron los LOD’s con los que se trabajarían para que el modelamiento de las plantilla y familias sea más fácil de realizar, esto para los elementos lineales y no lineales, estos modelos BIM 3D fueron elaborados pensando en las etapas más avanzadas de los modelos BIM, es por ello que se agregó información para garantizar esos modelos, a cada uno de los elementos, para encarar los modelos BIM se realizaron plantillas en SAC y familias Revit para agilizar el proceso de modelamiento, asignándose los códigos de clasificación que se mencionaron en el anterior punto, con esta base se encaró el proyecto y garantizar tolo lo planteado fue fundamental para los siguientes puntos.
- Se realizó la gestión de los modelos con Navisworks con la ayuda de la plataforma BIMCollab. Emulando el trabajo que se podría tener al trabajar en una oficina técnica.
- Se realizó la planificación del proyecto con MS Project.
- Se realizó el modelo BIM 4D con Navisworks.

- Se realizó los flujos de trabajo y agruparlos para su fácil implementación. Y de esa manera será fácil consultarlos y/o modificarlos.

11.1. HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN EL PROYECTO.

A continuación, se mostrarán las herramientas utilizadas y que se hizo con dicha herramienta.

Tabla 22. Herramientas utilizadas y su función en el proyecto.

	Autodesk Subassembly Composer, se utilizó para la modelización de las plantillas SAC, tanto del corredor, como de las cunetas y zanjas de coronación.
	Se utilizó para la exportación de datos, como coordenadas, también se realizó el APU en este formato.
	Autodesk Civil 3D, este programa se utilizó para realizar el modelo del corredor, acá se diseñan las curvas verticales, horizontales, peraltes y sobreechanchos.
	Autodesk Revit se utilizó para el modelamiento de las obras no lineales del proyecto, como alcantarillas, puentes, muros de contención, etc. Por ende, también se modelaron las familias del proyecto.
	Dynamo tanto para Civil 3D como para Revit, es un lenguaje de programación visual, que nos permitió automatizar las tareas repetitivas o complejas.
	Es un programa SIG, que nos permite el trato de la información SIG, se utilizó para la generación de la red hídrica del proyecto.
	BIMCollab es una plataforma que nos permite gestionar las incidencias del proyecto.
	Trimble Connect, es una plataforma que se utilizó para la exploración del modelo BIM en la nube, se emuló el trabajo que se tendría en caso de una supervisión del proyecto.
	MS Project es un programa que se utilizó para realizar el cronograma del proyecto o la planificación de la construcción.

	<p>Autodesk Navisworks, es un programa que se utilizó para gestionar la información con BIMCollab, también se utilizó para la visualización del modelo BIM4D</p>
	<p>Visual Basic es un lenguaje de programación que se utilizó para la creación del archivo que nos ayudó en el diseño geométrico, también se utilizó para programar el archivo de la señalización.</p>
	<p>Visual Studio Code, es un asistente de programación que se utilizó para generar el asistente de diseño geométrico del Manual de Carreteras Volumen I de la ABC en formato XML para Civil 3D. también se utilizó para realizar el archivo XML que ordena las partidas de cuantificación de Civil 3D.</p>
	<p>Power Query se utilizó para automatizar la carga de archivos codificados, con esta herramienta los datos que se cargaron podían actualizarse inmediatamente.</p>
	<p>Power BI es una herramienta que nos ayudó a la visualización de los datos del proyecto, importando los datos del Master realizado.</p>
	<p>SASPlanet es una herramienta que nos ayudó a la obtención de una Hiperfoto para la toma de decisiones.</p>
	<p>BIMVision es una herramienta para visualizar los modelos BIM.</p>
	<p>Unreal Engine es un Engine que se utilizó para la generación del VR o modelo de realidad virtual del proyecto.</p>
	<p>Twinmotion es un software que se utilizó de igual manera para generar el modelo VR del proyecto.</p>

Fuente: Elaboración propia.

Con la anterior tabla se trata de explicar la función de los programas y herramientas que se utilizaron para la realización del presente proyecto, porque un proyecto BIM es bastante complejo y este requiere de mucha información, cabe mencionar que sin las bondades de alguno de los anteriores programas haber logrado el resultado que se obtuvo sería muy complicado y la dificultad del proyecto se incrementaría bastante.

Flujo de Trabajo 02. Herramientas utilizadas en las distintas etapas del proyecto.

	FLUJO DE INFORMACIÓN	DISEÑO GEOMÉTRICO			BIM 3D			BIM 4D			BIM 5D			VR
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
DISEÑO GEOMÉTRICO	DISEÑO GEOMÉTRICO	VB	X	XML										
	CIVIL 3D	CAD	ArcGIS		CAD	X								
	REVIT				R	X								
	METRADO CIVIL3D				X	XML	CAD							
	METRADO REVIT				X	R								
CONSTRUCCIÓN	GESTIÓN				CON	UNIVERSITY	X							
	PLANIFICACIÓN							P	CAD	CRN		X		UNREAL

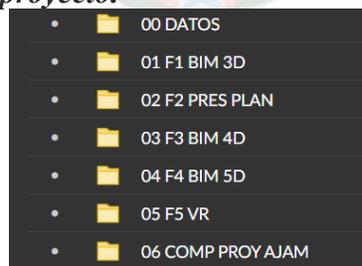
Fuente: Elaboración propia.

Para la elaboración del presente proyecto de grado se utilizaron varios programas, al igual que lenguajes de programación y un lenguaje informático, dichas herramientas son fundamentales e imprescindibles para concretar con éxito el proyecto, cabe mencionar que los lenguajes de programación fueron determinantes para el proyecto, en la gráfica superior se muestran las herramientas (*programas, lenguajes de programación y lenguaje informático*) que se utilizaron y las etapas en las que estas tuvieron incidencia.

11.2. ECD.

Para el “Entorno Común de Datos” o trabajó en la nube se escogió trabajar en la plataforma MEGA, aunque también se subió el proyecto a la nube de Google Drive, es allí donde se almacenó todo el proyecto en todas las etapas, de esta manera se garantiza que siempre se tendrá acceso a la información en cualquier momento.

Figura 7. ECD del presente proyecto.



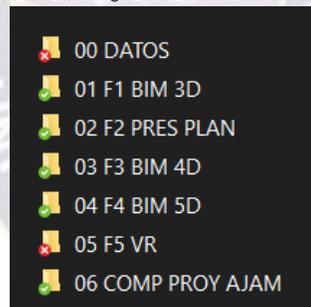
Fuente: Elaboración propia.

Se eligieron estas plataformas por el costo relativamente accesible que tienen.

Si bien de acuerdo a los alcances del presente proyecto se trabajarán solo en ciertas áreas, se piensa elaborar el proyecto pensando en que se trabajaran con muchas más áreas, de tal manera que lo aprendido en este proyecto de grado sea útil para un proyecto más complejo, ese es el caso del ECD, ya que una de las principales razones de su uso aparte del acceso de la información, es que de esta manera varios profesionales pueden integrarse al equipo de trabajo sin que sea necesario mandarles los archivos por medios más precarios, este proyecto solo fue realizado por una sola persona, así que un ECD para integrar más miembros no era necesario, no obstante este flujo de trabajo está garantizado para el diseño geométrico de la carretera.

Al trabajar en una nube se garantizó que los datos del proyecto estén disponibles en cualquier momento, la misma carpeta nos muestra si los datos se encuentran completamente sincronizados o en proceso de sincronización, como se muestra en la imagen de abajo. También es posible recuperar los archivos que cambien en el transcurso del proyecto es decir gestionar las versiones de los mismos.

Figura 8. *Archivos mientras se sincronizan en la nube de Mega.*



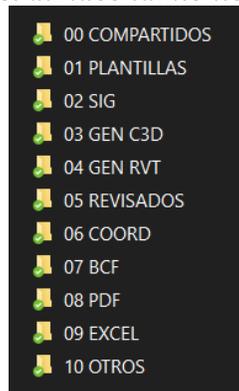
Fuente: Elaboración propia.

Dentro de los archivos del proyecto fue necesario establecer un formato de trabajo para gestionar adecuadamente los archivos que se generaron durante el proyecto, ya que los archivos con los que se trabajaron son relativamente bastantes.

11.2.1. Flujo de la Información.

Fue importante conocer como es la interoperabilidad entre los distintos programas ya que en algunos programas como en Civil 3D y Revit la información no se transfiere de manera directa, es por eso que para empezar el proyecto BIM es necesario conocer la información que requerirá y saber cómo enviarla al profesional que la requiera.

Figura 9. *Formato Elegido para el almacenamiento de la información 3D.*



Fuente: *Elaboración propia.*

Como se puede ver las carpetas que se utilizarán en este proyecto van desde carpetas donde se almacenarán los archivos que se comparten, carpetas donde se almacenarán plantillas de trabajo como bloques, familias, archivos norma, hasta archivos que se generarán para enviar desde Civil3D hacia Revit y viceversa, es por eso que la gestión es necesaria. Al igual que una adecuada nomenclatura.

11.2.2. Ventajas de BIM sobre CAD con un ECD.

- Acceso de información en cualquier momento.
- Se evita enviar la información por medios precarios. Es decir, ya no se trabaja con datos obsoletos.
- La información esta resguardada en una nube y no está sujeta a una unidad “física”.
- Se facilita la gestión de los modelos. Entre otros.

11.3. NOMENCLATURA BIM.

Para este punto del proyecto se usó de base el documento “*Manual de Nomenclatura de Documentos al Utilizar BIM junio 2021*” con la respectiva adaptación que se consideraron necesarias para el proyecto que se está realizando.

El fin de establecer una nomenclatura de proyecto se basa en que los archivos generados deben ser fácilmente identificados en función de la información que contengan, formato entre otros, es recomendable que dicha nomenclatura este con base a una normativa, ese no es el caso de

Bolivia, es por ello que se adaptará uno de los manuales de nomenclatura más utilizados. La nomenclatura establecida para esta parte del proyecto son los siguientes:

11.3.1. Nombre del Proyecto.

Es el nombre del proyecto se recomiendan máximo 6 caracteres, también puede ser un acrónimo del mismo.

11.3.2. Volumen.

Para este proyecto este campo hace referencia al tramo del proyecto en cuestión.

11.3.3. Nivel.

Esta se divide en función de los archivos a los que haga referencia, si hará referencia a todo un subtramo del proyecto esta se representará con la Letra en Mayúscula de la región.

Figura 10. Subtramos definidos por letras del tramo a Diseñar.

Nombre	Línea ba...	Línea ba...	Ensambl...	P.K. inicial	P.K. final	Frecuencia	Objetivo	Modifica...
BL - T10_00_AH-1 - (4)	T10_00_A...	T10_00_V...		30+550m	32+666.6m	2.000m	...	...
<input checked="" type="checkbox"/> A			00 CORR	30+550m	30+700m	2.000m	...	...
<input checked="" type="checkbox"/> B			00 CORR	30+700m	30+837.6m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> C			00 CORR	30+837.6m	31+457.3m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> D			00 CORR	31+457.3m	31+487m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> E			01 PUEN...	31+487m	31+509m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> F			00 CORR	31+509m	31+547.2m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> G			00 CORR	31+547.2m	31+713.1m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> H			00 CORR	31+713.1m	31+795.1m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> I			00 CORR	31+795.1m	32+114.9m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> J			00 CORR	32+114.9m	32+403.8m	2.000m	...	...
<input type="checkbox"/> K			00 CORR	32+403.8m	32+666.6m	2.000m	...	...

Fuente: Elaboración propia.

Sin embargo, cuando se necesite una subdivisión de esa región, dicho código seguirá de otra codificación.

Tabla 23. Codificación para los niveles de la Nomenclatura BIM.

Niv1	Niv2	Niv2*	Ejemplo	Ejemplo*
A			A	A
	BqD-1	30520	ABqD-1	30520I
	BqI-2		ABqI-2	
	MD-1		AMD-1	
B	LEI-1	30560	BLEI-1	30560D

	CBEI-1		BCBEI-1	
	LII-1		BLII-1	

Fuente: Elaboración propia.

Desglosando los ejemplos. ABqD-1

- A = Región del Corredor.
- Bq = Código para banquina.
- D = lado Derecha.
- 1 = Nivel 1

Desglosando los ejemplos: 30520I

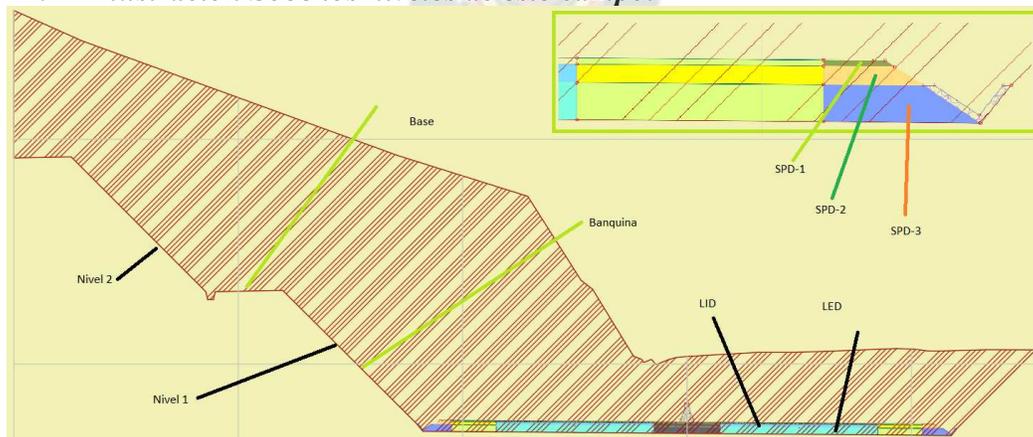
- 30520 = Progresiva P30+520.
- I = Lado Izquierdo.

Niv1 se utiliza cuando se trabajará con toda la región, como por ejemplo al obtener los sólidos de una región determinada.

Niv2 se utilizará cuando sea necesario trabajar con partes de la región, por ejemplo, durante la programación del proyecto.

Niv3 se utilizará cuando se trabaje con un elemento dentro de esa región, como un puente, alcantarilla, etc. La nomenclatura prevé la progresiva de la misma más la ubicación del elemento.

Figura 11. Ilustración Sobre los niveles de este campo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla 24. Codificación de la sección del Corredor.

Niv1	Niv2	Niv3	Niv4	Descripción	Inf	Inf	Inf	Ejemplo	Descripción
Bq				Banquina				BqD-1	Banquina Derecha primera capa
Bqb				Banquina Base				BqbD-2	Banquina base derecha segunda capa
M				Muro				MD	Muro Derecha
SP				SAP				SPD-2	SAP derecha Segunda capa
L				Lane Carril				LEI-1	Lane Exterior Izquierda Primera capa
CB				Berma de Cantero				LII-2	Lane Interior Izquierda Segunda Capa
NJ				New Jersey					
B				Berma					
	I				Interior				
	E				Exterior				
	c				Cuneta				
		D				Derecha			
		I				Izquierda			
			1				Nivel		

Fuente: Elaboración propia.

En caso de hacer referencia a todo el tramo el código a utilizar será TT.

11.3.4. Categoría.

Define el tipo de ámbito que representa el documento.

Tabla 25. Categorización del Proyecto.

Niv1	Descripción
GN	General
CAR	Carretera
ODM	Obra de Drenaje Mayor
ODm	Obra de Drenaje Menor
DR	Drenaje de la Vía

Fuente: Elaboración propia.

11.3.5. Disciplina.

Un proyecto de infraestructura vial se compone de varias disciplinas y estas deben estar definidas dentro de la clasificación de los elementos BIM.

Tabla 26. Disciplinas dentro del Proyecto.

Niv1	Descripción
DG	Diseño Geométrico
SN	Señalización
EST	Estructuras
QT	Cuantificación
Pst	Presupuesto
PLN	Planificación

SIG	<i>Sistema de Información Geográfica</i>
COO	<i>Coordinación</i>

Fuente: Elaboración propia.

11.3.6. Número.

Número de elementos correspondientes a la clasificación anterior. Mismo puede denotar secuencias de planos.

11.3.7. Tipo.

Está sujeta al tipo de documento que representa.

Tabla 27. Nomenclatura por tipo.

<i>Niv1</i>	<i>Niv2</i>	<i>Descripción</i>	<i>Ejemplo</i>
p		Planos	P
	PP	Planta Perfil	PPP
	ST	Sección Transversal	PST
	SN	Señalización	PSN
	ES	Estructura	PES
3D		Modelo 3D	
	Or	Coordenadas de Origen	3DOr
	Cer	Coordenadas Cero	3DCer
IFC		Formato de intercambio	
	Or	Coordenadas de Origen	IFCOr
	Cer	Coordenadas Cero	IFCCer
INF		Información	INF
SRV		Topografía	
MOD		Modelo	

Fuente: Elaboración propia.

11.3.8. Archivo.

En este campo se coloca el tipo de archivo, C3D, CAD, XLX, RVT, PDF, etc.

Los campos con * requerirán el campo descripción también, para evitar errores de coordinación.

11.3.9. Descripción.

Este campo describe el documento para su fácil reconocimiento. Este campo es opcional.

11.3.10. Estado.

Este campo define el estado o situación del proyecto o documento al que hace referencia. Para este campo los criterios se obtuvieron del documento “**Manual de Nomenclatura de Documentos al Utilizar BIM junio 2021**”, con la adaptación a nuestro proyecto.

Tabla 28. Nomenclatura para el campo Estado.

Niv1	Descripción
S0	Estado Inicial
S1	Compartido para tareas de coordinación
S2	Compartido Para Revisión
S3	Compartido para Aprobación
A1	Aprobado
B1	Aprobado con Observaciones
C1	Rechazado
AB	As Built

Fuente: (Chapter, 2021).

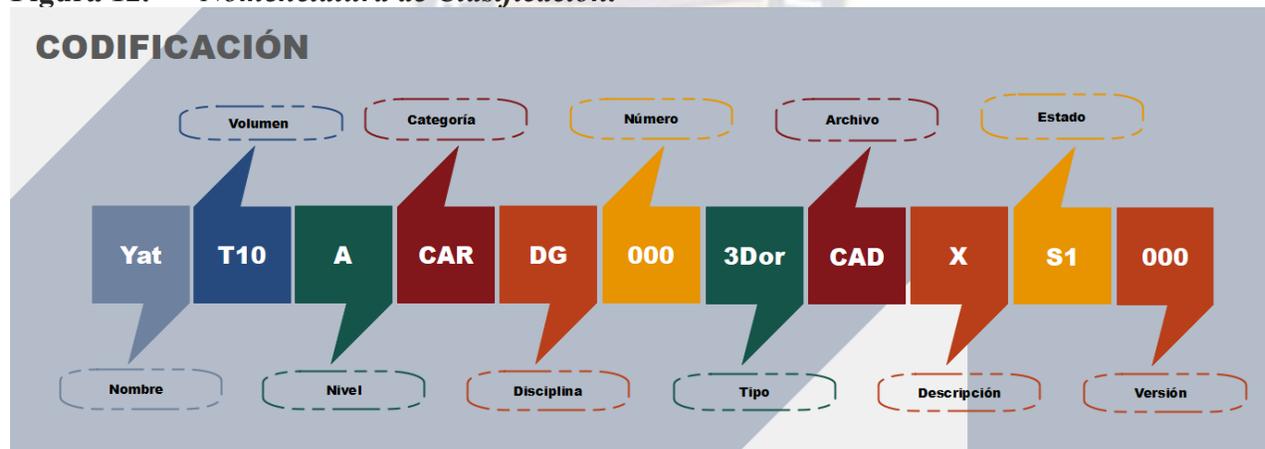
11.3.11. Versión.

Este campo está orientado a denotar la versión del documento en cuestión.

Cuando un campo no corresponda se colocará una X.

Esta nomenclatura se utilizará principalmente en los archivos Revit y CAD de referencia. Al igual en los archivos a los que ayude para su identificación.

Figura 12. Nomenclatura de Clasificación.



Fuente: Elaboración propia.

11.4. UBICACIÓN.

El proyecto se encuentra ubicado en:

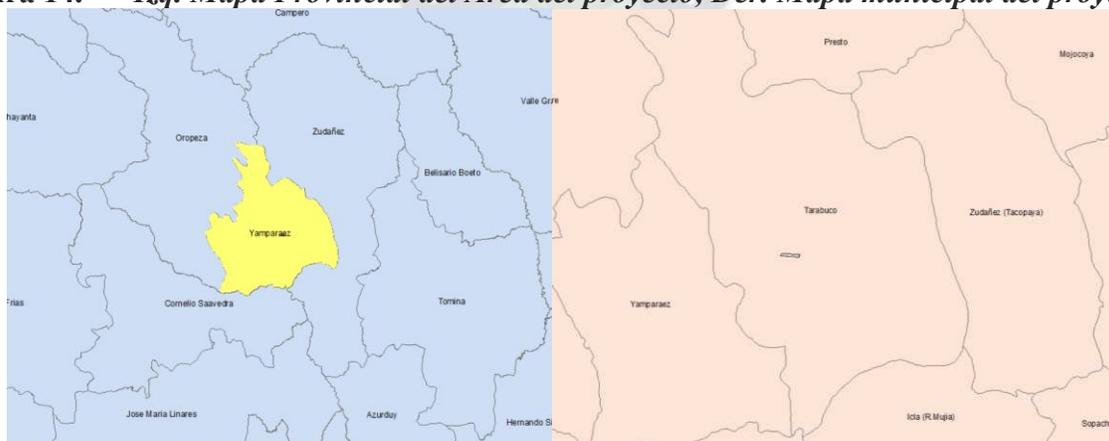
- País Bolivia.
- Departamento: Chuquisaca.
- Provincia: Yamparaez.
- Municipio: Tarabuco
- WGS84-20S

Figura 13. Mapa político departamental de la ubicación del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 14. Izq. Mapa Provincial del Área del proyecto, Der. Mapa municipal del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

11.5. TOPOGRAFÍA.

Uno de los insumos primordiales para la realización de cualquier obra de ingeniería civil es la topografía, misma con la que se podrá realizar tanto un prediseño como un diseño definitivo. Es importante que el equipo que realizará el levantamiento topográfico, haga un trabajo fácil de

representar en gabinete¹⁵, es por ello la importancia de los códigos al momento de realizar el levantamiento, ya que con estos se realizarán las correcciones a la superficie que se genere.

11.5.1. Códigos.

Como ya se mencionó los códigos son muy importantes y por lo general son los elementos más ignorados dentro de la parte topográfica de un proyecto, estos indican que representan los puntos levantados, por ejemplo, borde de camino, Tubos de gas, etc.

Figura 15. *Planilla del levantamiento de los puntos topográficos, se encuentra remarcados los códigos.*

Punto Visado	Distancia Inclinada	Ang. Horizontal	Ang. Zenital	Observación	Altura Prisma	Distancia Horizontal	Norte	Este	Elevación
1	140.456	0°00'00.0"	99°40'55.0"	GPS-YT-1	1.5	138.416	7877099.4881	277222.8754	3118.085
2	44.171	328°11'33.0"	99°20'27.0"	V-78	1.5	43.573	7877175.1032	277294.2133	3134.538
3	44.179	359°59'57.0"	80°34'56.0"	GPS-YT-2	1.5	43.571	7877218.6691	277293.2713	3141.710
4	57.393	233°56'48.0"	98°07'19.0"	BPL	1.5	56.801	7877140.6942	277249.0238	3126.372
5	57.048	236°17'49.0"	98°07'31.0"	3	1.5	56.459	7877142.7722	277247.9309	3126.418
6	56.281	240°40'22.0"	98°05'13.0"	1	1.5	55.706	7877146.7810	277246.2476	3126.564
7	55.972	245°12'40.0"	98°08'01.0"	2	1.5	55.393	7877150.8021	277244.4372	3126.562
8	51.477	266°59'45.0"	91°55'47.0"	T	1.5	51.433	7877171.3037	277242.9207	3132.748
9	54.698	249°30'00.0"	98°12'57.0"	T	1.5	54.121	7877155.0638	277243.9404	3126.665
10	52.243	260°49'20.0"	97°41'22.0"	T	0	51.759	7877165.7509	277243.3074	3128.991
11	51.641	281°31'47.0"	91°21'02.0"	RRIEL	1.5	51.612	7877184.3294	277243.4315	3133.264
12	51.571	282°40'09.0"	91°24'24.0"	RRIEL	1.5	51.541	7877185.3233	277243.6947	3133.215
13	54.061	292°04'19.0"	90°38'19.0"	TUB GAS	1.5	54.042	7877194.3291	277243.7044	3133.878
14	57.730	301°35'25.0"	88°48'20.0"	T	1.5	57.701	7877204.2656	277244.4209	3135.684
15	38.132	225°09'07.0"	102°11'54.0"	BPL	1.5	37.261	7877148.2664	277268.3699	3126.424
16	36.677	228°19'16.0"	102°40'05.0"	3	1.5	35.774	7877150.7484	277268.0141	3126.438
17	34.529	234°51'46.0"	103°01'20.0"	1	1.5	33.632	7877155.1624	277267.1346	3126.701
18	33.454	242°41'16.0"	103°07'26.0"	2	1.5	32.571	7877159.5416	277265.6027	3126.885
19	33.409	243°56'22.0"	103°18'13.0"	BCNT	1.5	32.503	7877160.2014	277265.3297	3126.793
20	33.099	245°43'34.0"	103°29'13.0"	BCNT	1.5	32.177	7877161.2496	277265.1733	3126.762
21	33.219	245°22'19.0"	103°46'40.0"	ECNT	1.5	32.2541	7877161.037	277265.1903	3126.57

Fuente: Elaboración propia.

11.5.2. Clasificación.

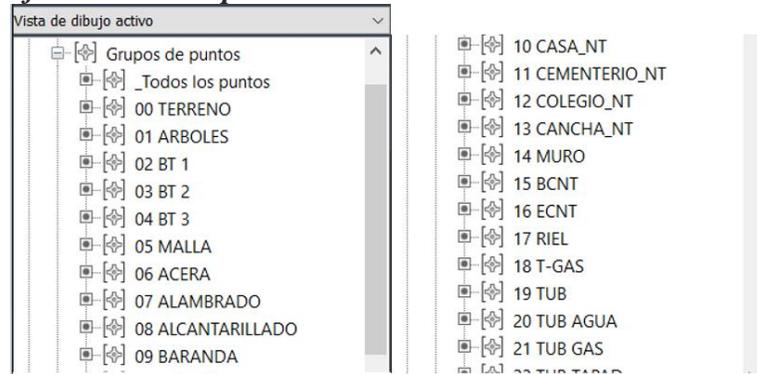
Con ayuda de los puntos topográficos se realizó una clasificación con el programa CIVIL 3D en su versión 2021, como se muestra en la imagen inferior.

Esta clasificación es muy importante y se debe realizar siempre, para ello es importante que los datos entregados por el equipo topográfico lo permitan ya que como sabemos hay varias formas en las que una información topográfica puedan entregarse, las mismas que pueden ser formas adecuadas de representación u medios no adecuados.

¹⁵ Es el Trabajo que se realiza al procesar los datos obtenidos en campo.

Como medios no adecuados están la conformación de superficies por medio de curvas y archivos XML, si bien es posible generar una superficie con estos datos, pero ya no será posible generar correcciones a la topografía, es por ello que lo más recomendable es recibir los datos en formato CSV, TXT o MS Excel. Solo de esa manera se puede garantizar la realización de correcciones topográficas correctas.

Figura 16. *Clasificación de los puntos en CIVIL 3D.*

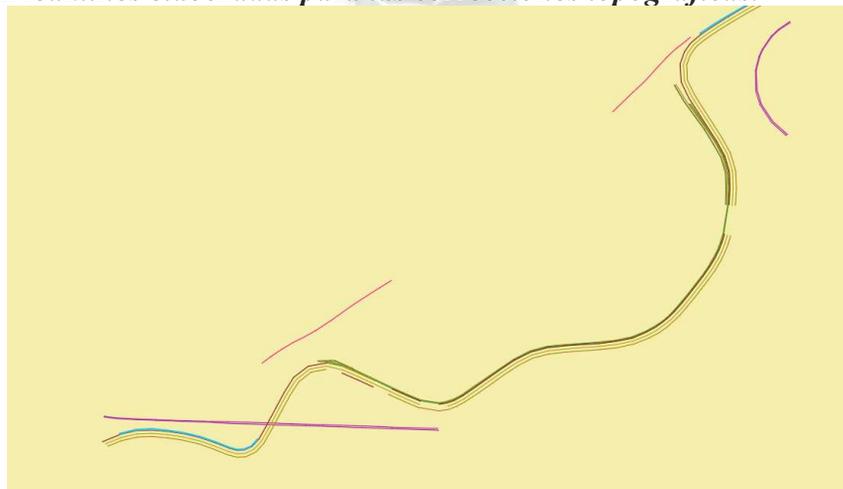


Fuente: Elaboración propia.

11.5.3. Líneas de Rotura.

Gracias a la clasificación realizada previamente se obtuvieron las líneas de rotura, estas ayudaron a mejorar la superficie y que esta se acerque más a la realidad, ya que los errores de triangulación son inevitables, de no realizarse este paso tan importante, la topografía con la que se trabajó no representará la realidad y esto se repercutirá en los costos de la obra.

Figura 17. *Breaklines elaboradas para las correcciones topográficas.*



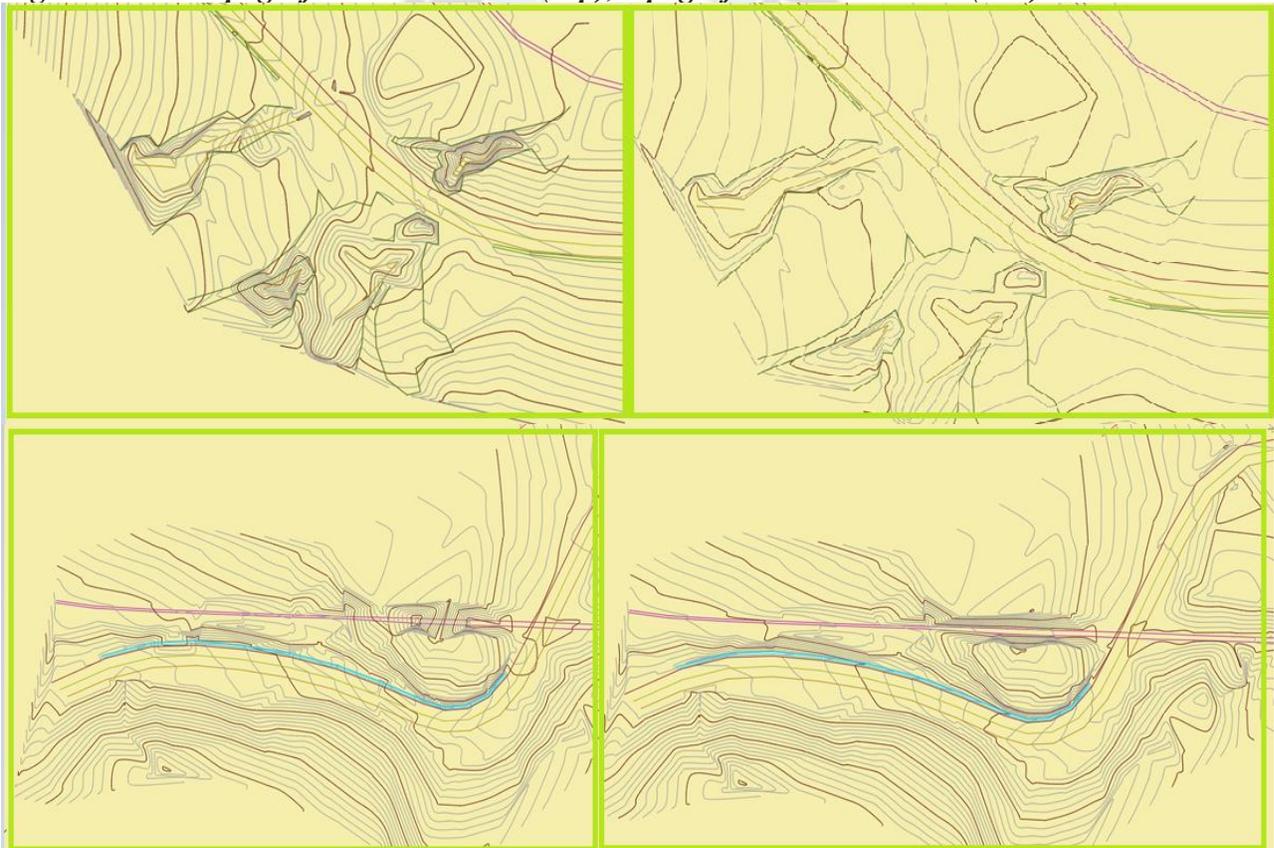
Fuente: Elaboración propia.

Las líneas de rotura son polilíneas 3D, que unen los puntos en función de su clasificación, estas tienen por función forzar la triangulación de áreas donde esta se forman de manera inadecuada

es decir no muestra la forma real del terreno, el error producto de una mala triangulación es muy común y la mejor de solucionar este error es con las “Líneas de Rotura”. Una vez generadas las líneas de rotura, estas se llevaron a Civil3D, y con ellas se realizaron las correcciones necesarias.

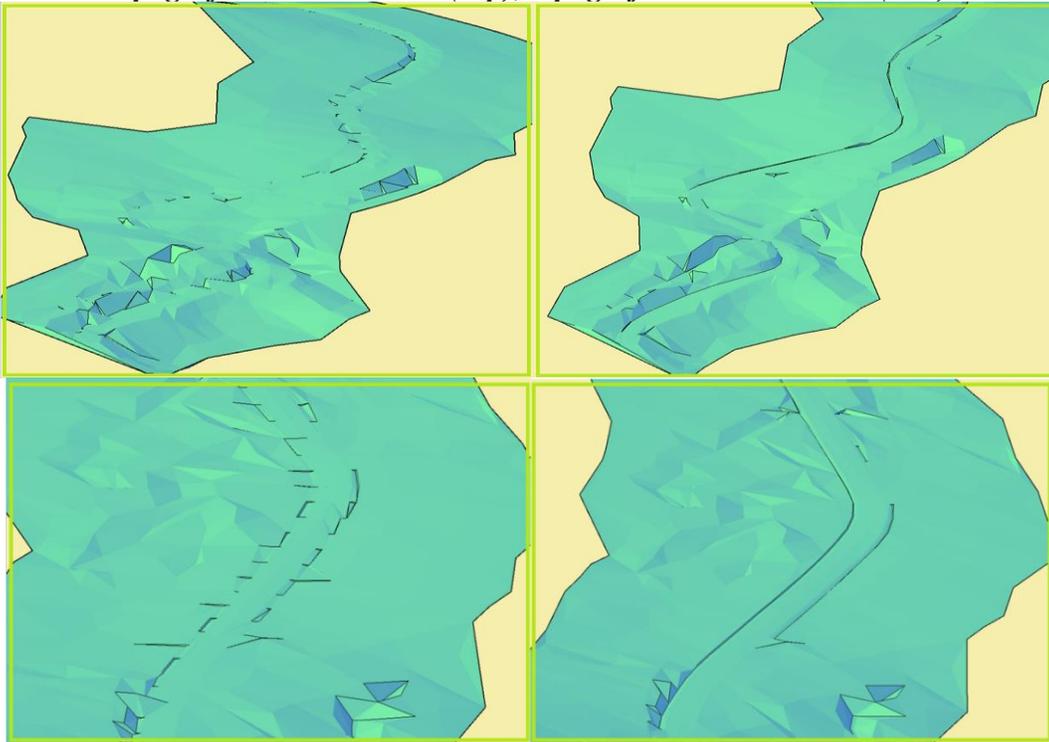
Fue importante que la topografía que se generó esté dentro del ECD, ya que cualquier cambio realizado a la superficie se verá reflejado en los demás archivos dependientes de ella, de esta manera se puede trabajar en un tramo del proyecto mientras se siguen realizando correcciones en los otros. O en caso de que la topografía tenga que tener modificaciones más complejas a manera de ejemplo, ya no será necesario mandarle la información corregida a cada profesional que se vea comprometido en su trabajo, evitando así los errores de recepción, estos suelen ser muy perjudiciales ya que, al enviar un alineamiento por medios como mensajería instantánea o correo, no es lo más adecuado, al final uno no sabrá cual es la información correcta.

Figura 18. *Topografía sin corrección (izq.), topografía con corrección (der.).*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 19. *Topografía sin corrección (izq.), topografía con corrección (der.).*



Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes superiores se muestra las diferencias de trabajar con topografía corregida y trabajar con topografía sin corregir por medio de las líneas de rotura. Es evidente que existe una gran diferencia uno con el otro, ese error de no ser corregido ocasionaría un diseño geométrico deficiente, la topografía nos indicaría corte cuando en realidad sería distinta, esto sería un serio inconveniente al momento de realizar de presupuesto de obra.

11.5.4. Característica Topográfica.

En función de la información topográfica preliminar se debe establecer ante qué tipo de topografía nos encontramos.

Figura 20. *Hiperfoto ESRI Z21 del área del proyecto.*



Fuente: Elaboración propia.

Con base a las imágenes satelitales se estableció que el tipo de terreno del área de trabajo es del tipo:

- Montañoso.
- Levemente Ondulado.
- Fuertemente Ondulado.

11.6. LOD DEL PROYECTO.

El LOD de un elemento BIM es el nivel de desarrollo que este tendrá, junto con la información que se considere necesaria para este tipo de elemento, estos no solo tienen que llevar una información geométrica precisa sino también información relevante para la etapa que se considere (Modelos BIM más avanzados o la construcción). Esta especificación también servirá de ayuda al equipo profesional, porque con esta información sabrán como deben desarrollar los elementos a lo largo de las distintas etapas del proyecto.

Un proyecto de ingeniería vial es más complejo que uno de edificaciones, desde el punto de vista de que en vías los modelos con los que se trabaja vienen de muchas más fuentes que un proyecto de edificaciones, por ejemplo un proyecto de edificaciones consta de: Arquitectura, estructura, MEP, por mencionar algunos, estos son los pilares del proyecto de forma general, y la mayor cantidad estos ejemplos pueden provenir del mismo programa de modelamiento siendo válido una sola especificación LOD que represente a todos los modelos, es por ello que la interoperabilidad es más fácil de garantizar, sin embargo un proyecto de ingeniería vial puede contar con información CAD, SIG, y estructural, en caso de alcantarillas, muros de contención, puentes, etc. Es por ello que no se puede trabajar con una sola especificación de modelos LOD, ya que una especificación LOD para las estructuras del corredor vial no se representaría correctamente para los elementos lineales. Es por ello que es necesario establecer para las especificaciones LOD de los elementos pertinentes.

11.6.1. LOD en el corredor vial.

Esta especificación es válida para todas las capas del corredor vial, como ser: capa Subrasante, capa sub base, capa base y capa rasante, porque la información para estos elementos se generará al mismo tiempo, haciendo notar que esta información no se genera por separado, y es por ello que la especificación LOD será la misma.

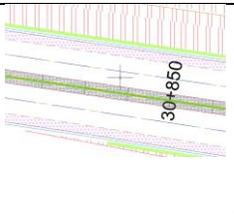
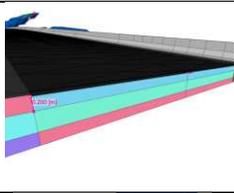
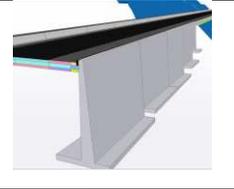
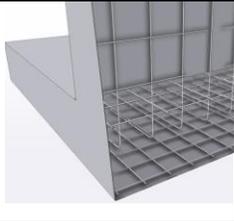
100	LoD: Solo contará con el alineamiento vertical y horizontal. En este LOD no se cuenta con elementos como cunetas y bordillos. LOI: cuenta con la capa del alineamiento, nombre del alineamiento y velocidad de proyecto.	
200	LoD: constará de un modelo de sólidos del corredor, pero sin tomar en cuenta los peraltes, sobreanchos ni los espesores reales de la estructura de la carretera. En este LOD las cunetas, bordillos también se representan en la planta del proyecto, según la plantilla de Civil 3D. LOI: los modelos tienen los códigos establecidos en SAC para su correcta visualización e identificación, cuenta con su código de clasificación correspondiente.	
300	LoD: el modelo BIM3D, se modelará tomando en cuenta los sobreanchos, peraltes y los espesores reales de la carretera. LOI: los modelos tienen los códigos establecidos en SAC para su correcta visualización e identificación, cuenta con su código de clasificación correspondiente, además que las dimensiones que se pueden medir en este tipo de elementos son las correctas.	
350	LoD: en este nivel en el proyecto ya se emplazan las estructuras y obras complementarias necesarias, ya sean puentes, alcantarillas, muros, etc. LOI: los modelos tienen los códigos establecidos en SAC para su correcta visualización e identificación, cuenta con su código de clasificación correspondiente, además este tiene que tener información útil para la planificación de la construcción.	
400	LoD: el modelo de estructuras u obras complementarias emplazado ya debe de contar con la armadura dispuesta por el diseño estructural. LOI: los modelos tienen los códigos establecidos en SAC para su correcta visualización e identificación, cuenta con su código de clasificación correspondiente, además este tiene que tener información útil para la planificación de la construcción. En lo que respecta a las armaduras, la información indicará el tipo de armadura y sus características.	
500	LoD: es la representación de cómo se construyó la carretera y/o camino. LOI: cuenta con toda la información técnica y también puede contar con información del tipo especificaciones técnicas.	

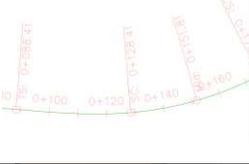
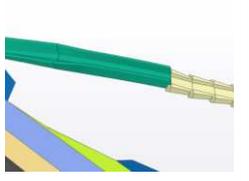
Figura 21. **LOD para CSR, CSB, CB, CR.**



Fuente: Elaboración propia.

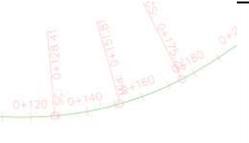
11.6.2. LOD para las cunetas de desagüe.

Este LOD es solo válido para para las cunetas de descarga o desagüe, ya que como se sabe las cunetas del corredor están directamente relacionadas, al corredor en sí, es decir no dependen directamente de un alineamiento como si ocurre con las cunetas de desagüe.

100	LoD: contará con el alineamiento en posición aproximada donde se emplazará la cuneta. LOI: contará con el nombre del alineamiento, seguido del tramo, progresiva respecto del corredor y lado.	
200	LoD: ya se cuenta con un modelo de sólidos, pero la geometría no está sujeta al diseño hidráulico. LOI: se cuenta con el código de clasificación correspondiente.	
300	LoD: en este LOD la geometría está sujeta al diseño hidráulico. LOI: se cuenta con el código de clasificación correspondiente.	
350	LoD: en este LOD, se realizó las modificaciones a los taludes del corredor y/o cuneta para que la adaptación sea la más adecuada posible. LOI: los modelos sólidos cuentan con la información de la clasificación, así como también información que coadyuve a la planificación de la construcción y su gestión.	
400	LoD: en este LOD cuando así lo diga el modelamiento de estos elementos, se emplazarán los otros elementos, como bajantes, ya sean prefabricados, o escalonados. LOI: los modelos sólidos cuentan con la información de la clasificación, así como también información que coadyuve a la planificación de la construcción y su gestión.	
500	LoD: es la representación de cómo se construirá la cuneta. LOI: cuenta con toda la información técnica y también puede contar con información tipo especificaciones técnicas.	

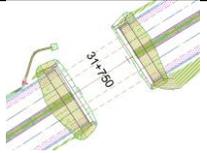
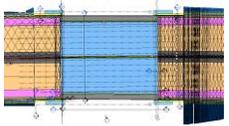
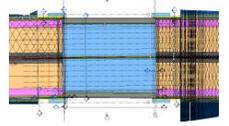
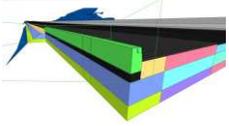
11.6.3. LOD para Bajantes prefabricados o escalonados.

Este tipo de familias solo cuenta con dos etapas LOD dentro del diseño, el más básico y el más avanzado. Ya que su emplazamiento está con base a las familias y eso hace que no exista dificultad en relación a los tipos, para realizar esa tarea.

100	LoD: contará con el alineamiento vertical y horizontal. LOI: Contará con el nombre del alineamiento en formato - nombre, tramo, progresiva, lado.	
-----	--	---

400 ¹⁶	LoD: este LOD se utilizará cuando el modelo Revit se emplaza satisfactoriamente en Civil3D. LOI: cuenta con información acerca de la clasificación, materiales de construcción.	
500	LoD: representa el modelo de cómo se construyó. LOI: cuenta con toda la información técnica y también puede contar con información tipo especificaciones técnicas.	

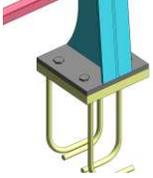
11.6.4. LOD para alcantarillas, puentes y Muros de contención.

100	LoD: como base se deberá dejar un espacio vacío en el corredor, en caso de tratarse de un puente, un espacio vacío en el talud de relleno de tratarse de una alcantarilla o muro de contención. LOI: para esta etapa la única información con la que se debe de contar es la progresiva del elemento a emplazar.	
200	LoD: se realizará el modelo en Revit con dimensiones aproximadas y elementos tipo; solo se colocarán las familias elaboradas. LOI: de igual manera los datos con los que se contarán como luz del puente, cota de cimentación, longitud de la alcantarilla aún son provisionales.	
300	LoD: las dimensiones de los elementos, nivel de fundación, etc. Están en función del diseño de ingeniería, con las posiciones en las que estas se construirán. LOI: se tiene que contar con su respectivo código de clasificación, también la información respecto a la geometría de los elementos está en fusión del diseño estructural.	
350	LoD: al contar con un modelo funcional de Revit, se deben hacer las modificaciones necesarias al corredor vial como, por ejemplo, en caso de tratarse del modelo de un puente o muro, es posible que se necesite de un bordillo. En el caso de alcantarillas hay que dejar espacio para los cabezales en el talud de relleno del corredor. LOI: cada elemento contará su código de clasificación ya definido. También ya deben contar con información única para que se utilice durante la planificación de construcción.	
400	LoD: es el mismo que LOD 350, pero el modelo también tiene que contar con disposición de las armaduras según sea el diseño estructural. LOI: se tiene que contar con su respectivo código de clasificación, también la información respecto a la geometría de los elementos está en fusión del diseño estructural, más información relevante al refuerzo estructural.	
500	LoD: es la representación del modelo tal y como se construyó. LOI: tiene que tener toda la información relevante para la construcción	

11.6.5. LOD para barandas de puente.

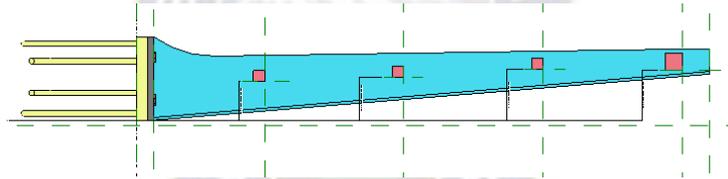
100	LoD: el nivel más básico de LOD para esta etapa, solo se representa con el LOD100 del anterior acápite. LOI: todavía no hay información relevante para este elemento.	
-----	--	--

¹⁶ Este elemento también dependerá del LOD del elemento con el que se emplazará, como, por ejemplo: la bajante prefabricada se emplazará con una cuneta de descarga y esa cuneta en esa etapa también tiene que estar en LOD 400.

<p>400</p>	<p>LoD: los elementos se representan con todas las partes necesarias para su construcción, y el modelo realizado tiene que ser idéntico al que se piensa construir. LOI: el modelo cuenta con su respectivo código de clasificación, y un parámetro necesario para la planificación de la construcción, de esta manera se podrá gestionar el elemento en etapas de revisión de proyecto.</p>	
<p>500</p>	<p>LoD: Es el modelo tal y como se construyó. LOI: información que se considere necesaria, para su gestión.</p>	

LOD nos ayudó a tener claro el nivel de esfuerzo que hay que realizar con los modelos BIM antes de un hito, sin embargo, gracias a la programación que se utilizará como se verá más adelante, las dificultades del emplazamiento detallado de elementos BIM disminuyó considerablemente, por ello en ciertas partes el desarrollo LOD es general, no es necesario realizar un desglose del LOD de dicho elemento. Cosa que de trabajar con una metodología BIM poco madura, sería imperativo el desglose de los componentes BIM en su respectivo LOD,

Figura 22. Familia de Baranda metálica.



Fuente: Elaboración propia.

11.7. DISEÑO GEOMÉTRICO.

Para esta etapa del proyecto, se consideró importante el automatizar el flujo correspondiente al diseño geométrico, ya que actualmente el Manual de Carreteras Volumen I de la ABC, Contempla el uso de tablas y gráficos en algunos casos ecuaciones, de donde obtener los datos concernientes al diseño geométrico, como es de esperar este flujo de trabajo es poco eficiente y está sujeto a cometer errores potenciales, en la lectura de las tablas y gráficos, es por ello que se utilizarán los datos en su forma de ecuación, para así poder trabajar con un lenguaje de programación, por ello el diseño geométrico se realizará en una macro de MS Excel realizada con el lenguaje de programación VB Visual Basic. También es importante realizar el diseño con un programa de asistencia para ello se utilizó Autodesk Civil 3D, este programa utiliza la normativa AASHTO por defecto, por ello se realizó un archivo de asistente de Diseño Geométrico con el Manual de Carreteras Volumen I, para civil 3D, con ayuda de la macro previamente realizada.

De esta manera el diseño geométrico se realizó de una manera más eficiente, mejorándose así el flujo de trabajo haciendo que el retrabajo sea lo menos posible. También se aumentará la velocidad con la que se realizará el diseño geométrico.

11.7.1. Clasificación de la Carretera.

El estudio de tráfico es muy importante para un proyecto de ejecución, y es con esos datos que se determinan características importantes de una carretera, sin embargo, en este proyecto se hará mayor énfasis a las buenas prácticas del diseño geométrico de carreteras con la metodología BIM, es por ello que esas características serán asumidas al igual que la categoría del proyecto, de tal manera que la carretera que se tenga que modelar, tenga una relativa complejidad. De esta manera se pretende mostrar un flujo de trabajo más próximo a la realidad.

Habiendo aclarado ese aspecto del proyecto, se optó por una carretera del tipo primario unidireccional de 4 carriles, separadas por una barrera física. Dada la topografía de la zona en cuestión las velocidades de proyecto oscilan entre 80 y 60 *km/h*, siendo el código de clasificación el siguiente:

$$P(4) 80 - 70 - 60$$

11.7.2. Diseño de Elementos Horizontales.

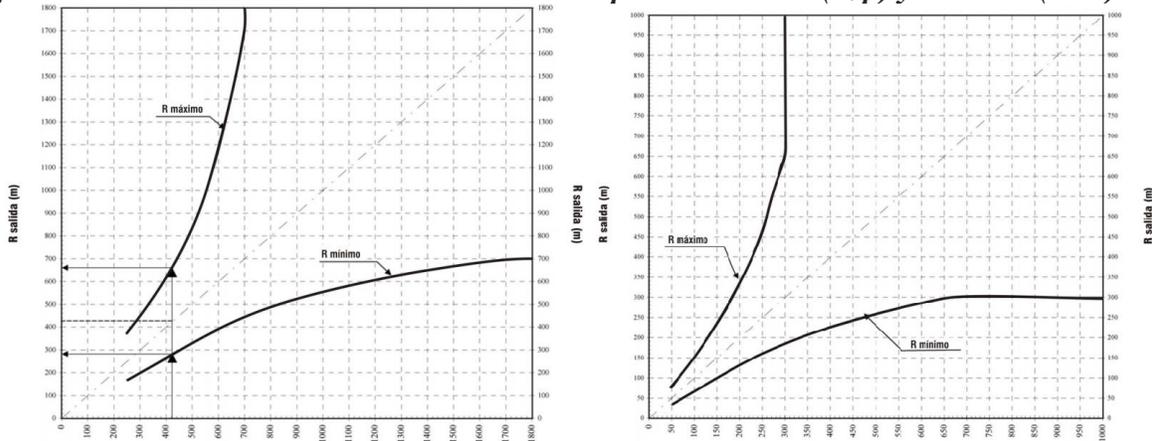
Para el diseño de una curva circular horizontal el Manual de Carreteras Volumen I contempla tres casos de estudio en función de las características de la geometría que la preceden, tales como distancia recta, radio de curva circular. Empero la característica que domina el área de diseño geométrico es la longitud en recta ya que en función de ella se dividen los casos de estudio. Siendo estos 3.

- $L_r \leq 400 \text{ m}$.
- $400 < L_r \leq 600 \text{ m}$.
- $L_r > 600 \text{ m}$.

11.7.2.1. Primer caso $L_r \leq 400 \text{ m}$.

El Manual de Carreteras Volumen I nos brinda dos tipos de análisis para este caso uno para carreteras y otro para caminos.

Figura 23. Relación entre radios consecutivos para carreteras (Izq.) y caminos (Der.).



Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

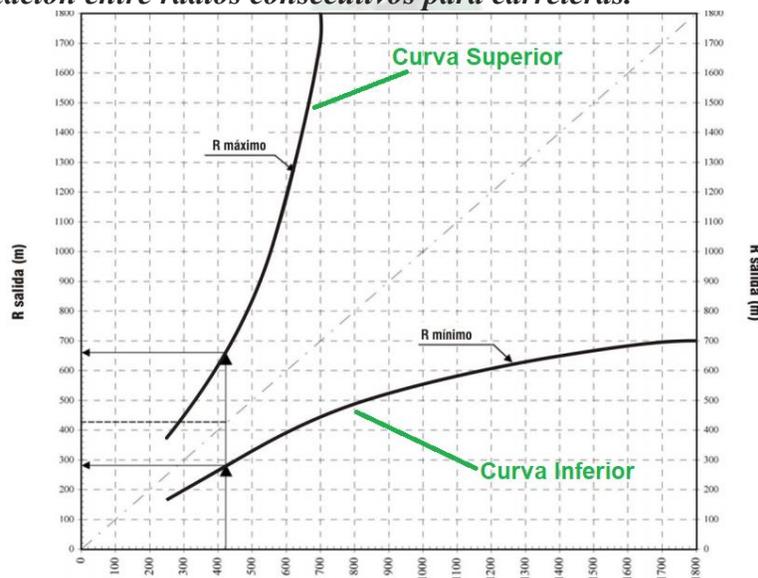
De estos gráficos se obtienen los rangos de radios de salida para la curva de estudio, como es evidente este proceso es poco eficiente es decir se pierde mucho tiempo al utilizar estos gráficos, es por ello que se utilizará un proceso más efectivo para esta parte del diseño geométrico, esto con el fin de realizar la tarea con una mayor efectividad y así reducir el error humano de apreciación.

11.7.2.1.1. Regresión de las Gráficas.

Para ello se obtuvieron las funciones de las dos gráficas y posteriormente por medio de regresiones se obtuvieron las funciones que más se adaptaban a ellas.

11.7.2.1.1.1. Carreteras.

Figura 24. Relación entre radios consecutivos para carreteras.



Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Tabla 29. Datos obtenidos de la gráfica, con los cuales se realizará la regresión para obtener la función.

Datos Curva Superior			Datos Curva Inferior		
	x	y		x	y
1	251,763	378,937	1	251,763	166,548
2	267,997	402,909	2	299,204	199,531
3	286,05	429,663	3	422,898	280,617
4	299,521	450,854	4	499,546	332,159
5	332,233	502,477	5	600,021	393,759
6	390,335	601,815	6	618,153	403,119
7	423,94	664,294	7	653,944	423,63
8	441,408	701,638	8	700,959	447,009
9	485,287	802,497	9	752,147	470,599
10	500,383	840,652	10	799,325	489,83
11	523,07	903,866	11	830,578	501,647
12	539,981	953,337	12	900,411	525,806
13	553,598	1002,47	13	956,613	543,38
14	573,503	1078,031	14	1000,491	556,473
15	579,42	1102,423	15	1061,382	573,684
16	599,038	1178,706	16	1099,282	583,663
17	604,954	1203,467	17	1200,209	608,956
18	617,526	1262,967	18	1299,929	631,398
19	625,661	1302,141	19	1400,862	651,584
20	647,115	1403,201	20	1500,409	670,074
21	666,368	1502,789	21	1599,659	684,878
22	684,117	1603,311	22	1700,812	697,606
23	692,714	1662,692	23	1800	700
24	698,765	1702,607			
25	700	1800			

Fuente: Elaboración propia.

El tipo de regresión con el que se obtuvo un mejor resultado es la regresión polinómica de cuarto orden, la misma es de la siguiente forma.

$$Y = a \cdot X^4 + b \cdot X^3 + c \cdot X^2 + d \cdot X + e$$

Donde para la curva superior de la gráfica se tiene el siguiente resultado:

- $a = 1,98568357072649E - 8$
- $b = -2,578820835747E - 5$
- $c = 0,0143549731841878$
- $d = -2,28404108322442$
- $e = 378,183508741966$
- $r^2 = 0,9986748$

Por lo tanto, la ecuación resultante es la siguiente:

$$Y = 1,986E - 08 \cdot X^4 - 2,579E - 05 \cdot X^3 + 0,01435 \cdot X^2 - 2,284 \cdot X + 387,183$$

Donde para la curva inferior de la gráfica se tiene el siguiente resultado:

- $a = -2,20906302430829E - 11$

- $b = 1,77882199871626E - 7$
- $c = -6,16220081665347E - 4$
- $d = 1,09579727174127$
- $e = -77,516228131712$
- $r^2 = 0,9995736$

$$Y = -2,209E - 11 \cdot X^4 + 1,779E - 07 \cdot X^3 - 6,162E - 4 \cdot X^2 + 1,096 \cdot X - 77,516$$

Estas ecuaciones se utilizarán en la parte del diseño geométrico como se puede ver en la imagen inferior.

Figura 25. Utilización de las ecuaciones para las carreteras del Caso I.

```
Select Case ver
'cam determina si es camino a carretera l=carretera
' radinf es el limite inferior del del grafico 2.3-4 para carreteras
' radsup es el limite superior del del grafico 2.3-4 para carreteras
'ver detemina si se trata del tipo 1 2 o 3
'rentr es el radio de entrada
'rmi es el radio minimo para la Vp
'rver es radio a verificar osea el propuesto

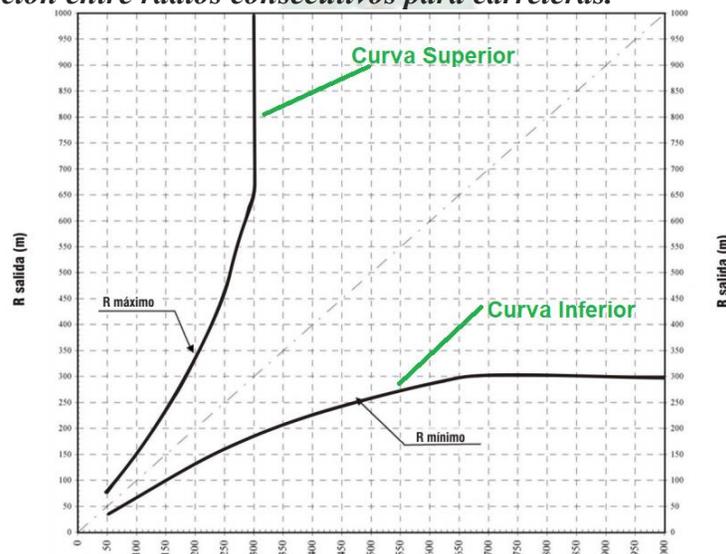
Case 1
radinf = -2.20906302430829E-11 * rentr ^ 4 + 1.77882199871626E-07 * rentr ^ 3 + -6.16220081665347E-04 * rentr ^ 2 + 1.09579727174127
radsup = 1.98568357072649E-08 * rentr ^ 4 + -2.578820835747E-05 * rentr ^ 3 + 1.43549731841878E-02 * rentr ^ 2 + -2.28404108322442
If rentr < 250 Then
    radfi = "NO Rad<250"
```

Fuente: Elaboración propia.

En ambas ecuaciones X representa el radio de entrada y la variable de Y representa en radio de salida. Como se puede ver en la imagen superior se utilizarán las ecuaciones en la macro de Excel para mejorar el flujo de trabajo.

11.7.2.1.1.2. Caminos.

Figura 26. Relación entre radios consecutivos para carreteras.



Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol I, 2007).

Tabla 30. Datos obtenidos de la gráfica, con los cuales se realizará la regresión para obtener la función.

Datos Curva Superior			Datos Curva Inferior		
	x	y		x	y
1	49,922	79,185	1	49,922	34,076
2	100,133	150,993	2	100,277	67,214
3	142,571	221,951	3	149,435	99,752
4	184,116	300,492	4	199,665	132,444
5	206,834	350,059	5	251,053	160,937
6	227,767	399,771	6	299,789	185,184
7	245,792	448,742	7	349,363	207,329
8	252,878	472,775	8	399,473	226,493
9	259,449	499,215	9	449,166	242,841
10	270,459	548,737	10	476,273	250,802
11	284,902	598,381	11	498,265	258,329
12	297,597	639,498	12	548,273	272,18
13	300	650	13	598,586	285,719
			14	648,104	297,891
			15	672,123	300,475
			16	700	300

Fuente: Elaboración propia.

El tipo de regresión con el que se obtuvo un mejor resultado es la regresión polinómica de cuarto orden, la misma es de la siguiente forma.

$$Y = a \cdot X^4 + b \cdot X^3 + c \cdot X^2 + d \cdot X + e$$

Donde para la curva superior de la gráfica se tiene el siguiente resultado:

- $a = -1,97837866375332E - 8$
- $b = 3,36164534904879E - 5$
- $c = -8,12934027216537E - 3$
- $d = 2,17001554144003$
- $e = -13,6511060809425$
- $r^2 = 0,9992768$

Por lo tanto, la ecuación resultante es la siguiente:

$$Y = -1,978E - 08 \cdot X^4 + 3,362E - 05 \cdot X^3 - 8,129E - 03 \cdot X^2 + 2,170 \cdot X - 13,651$$

Donde para la curva inferior de la gráfica se tiene el siguiente resultado:

- $a = -1,54567388766853E - 10$
- $b = 3,86761252250141E - 7$
- $c = -7,5061065692171E - 4$
- $d = 0,832097153430251$

- $e = -7,2159738289777$
- $r^2 = 0,9996227$

$$Y = -1,546E - 10 \cdot X^4 + 3,868E - 07 \cdot X^3 - 7,506E - 4 \cdot X^2 + 0,832 \cdot X - 7,216$$

Figura 27. Utilización de las ecuaciones para los caminos del Caso I.

```

'Camino
Select Case ver
Case 1
radinf = -1.54567388766853E-10 * reentr ^ 4 + 3.86761252250141E-07 * reentr ^ 3 + -7.5061065692171E-04 * reentr ^ 2 + 0.832097153430251
radsup = -1.97837866375332E-08 * reentr ^ 4 + 3.36164534904879E-05 * reentr ^ 3 + -8.12934027216537E-03 * reentr ^ 2 + 2.17001554144003
If reentr < 50 Then
radfi = "NO Rad<50"

```

Fuente: Elaboración propia.

En ambas ecuaciones X representa el radio de entrada y la variable de Y representa en radio de salida. Estas ecuaciones se llevaron a la macro de Excel para poder trabajar con ellas.

Con estas ecuaciones tanto para carreteras y caminos se realizará esta parte del diseño geométrico.

11.7.2.2. Segundo y Tercer Caso $400 < Lr \leq 600 m$ $Lr > 600 m$.

Para este caso de diseño geométrico el Manual de Carreteras Volumen I nos indica que se debe de usar la siguiente tabla.

Tabla 31. V85% Al Final De Una Recta Según Longitud Y Velocidad De Proyecto.

TABLA 2.1-2 V85% AL FINAL DE UNA RECTA SEGÚN LONGITUD Y VELOCIDAD DE PROYECTO

V Proyecto Km/h	40	50	60	70	80	90	100	120
400 m ≤ Lr ≤ 600 m	50	60	70	80	90	100	110	125
Lr > 600 m	60	70	80	90	100	110	115	130

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

El Manual de Carreteras Volumen I de la ABC, propone las siguientes tablas para el cálculo de los elementos necesarios para el diseño geométrico de los elementos horizontales.

Tabla 32. Velocidad Especifica En Curvas Horizontales Según Radio – Peralte Y Fricción Transversal.

I CARRETERAS				II CAMINOS			
Autopistas - Autorrutas - Primarios				Colectores - Locales - Desarrollo			
R (m)	e %	Ve (km/h)	f	R (m)	e %	Ve (km/h)	f
250	8.0	80.1	0.122	25	7.0	30.1	0.215
300	8.0	86.6	0.117	30	7.0	32.7	0.211
330	8.0	90.1	0.114	40	7.0	37.2	0.203
350	8.0	92.3	0.112	50	7.0	41.1	0.197
400	8.0	97.5	0.107	60	7.0	44.6	0.191
425	8.0	99.9	0.105	70	7.0	47.7	0.186
450	8.0	102.2	0.103	80	7.0	50.5	0.181
500	8.0	106.6	0.099	90	7.0	53.1	0.177
540	8.0	109.9	0.096	100	7.0	55.5	0.173
550	8.0	110.7	0.095	120	7.0	59.9	0.166
600	8.0	114.5	0.092	150	7.0	65.6	0.156
650	8.0	118.1	0.089	180	7.0	70.6	0.148
700	8.0	121.4	0.086	200	7.0	73.5	0.143
720	7.9	122.5	0.085	220	7.0	76.3	0.138
750	7.8	124.1	0.084	250	7.0	80.1	0.132
800	7.5	126.2	0.082	300	7.0	84.7	0.118
850	7.2	128.1	0.080	350	7.0	90.3	0.113
900	7.0	130.2	0.078	400	6.6	94.5	0.110
950	6.7	>130	0.077	450	6.1	97.9	0.107
1000	6.5	>130	0.075	500	5.7	101.1	0.104
1200	5.7	>130	0.070	550	5.4	104.1	0.101
1500	4.8	>130	0.064	600	5.1	106.8	0.099
1800	4.2	>130	0.059	700	4.5	>110	0.095
2000	3.8	>130	0.056	800	4.1	>110	0.091
2200	3.6	>130	0.054	900	3.8	>110	0.087
2500	3.2	>130	0.050	1000	3.5	>110	0.084
2800	3.0	>130	0.047	1200	3.1	>110	0.079
3000	2.8	>130	0.045	1500	2.7	>110	0.072
3500	2.5	>130	0.041	1800	2.4	>110	0.066
4000	2.3	>130	0.038	2000	2.3	>110	0.063

Fuente: (Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1, 2007).

Después de utilizar la *tabla 2.1-2* del manual de la ABC, debemos utilizar las tablas que se muestran arriba. Sin embargo, como ya se mencionó se utilizaron las ecuaciones de las mismas.

La ecuación general que define este parámetro es la siguiente:

$$V^2 - 127 \cdot R \cdot (e + f) = 0 \quad (1)$$

Donde f está dada por:

- Para caminos $f = 0,265 - \frac{V}{602,4} \quad (2)$

- Para carreteras $f = 0,196 - \frac{V}{1134} \quad (3)$

Reemplazando (2) y (3) en (1) tenemos:

Reemplazando la ecuación de la fricción transversal tenemos para caminos con $Vp \leq 80 \text{ km/h}$

$$V_e^2 + (0.211 \cdot R) \cdot V_e - 127 \cdot R \cdot (e + 0.265) = 0 \quad (4)$$

Reemplazando la ecuación de la fricción transversal tenemos para carreteras con $Vp \geq 80 \text{ km/h}$

$$V_e^2 + (0.112 \cdot R) \cdot V_e - 127 \cdot R \cdot (e + 0.193) = 0 \quad (5)$$

Donde:

- Carreteras.

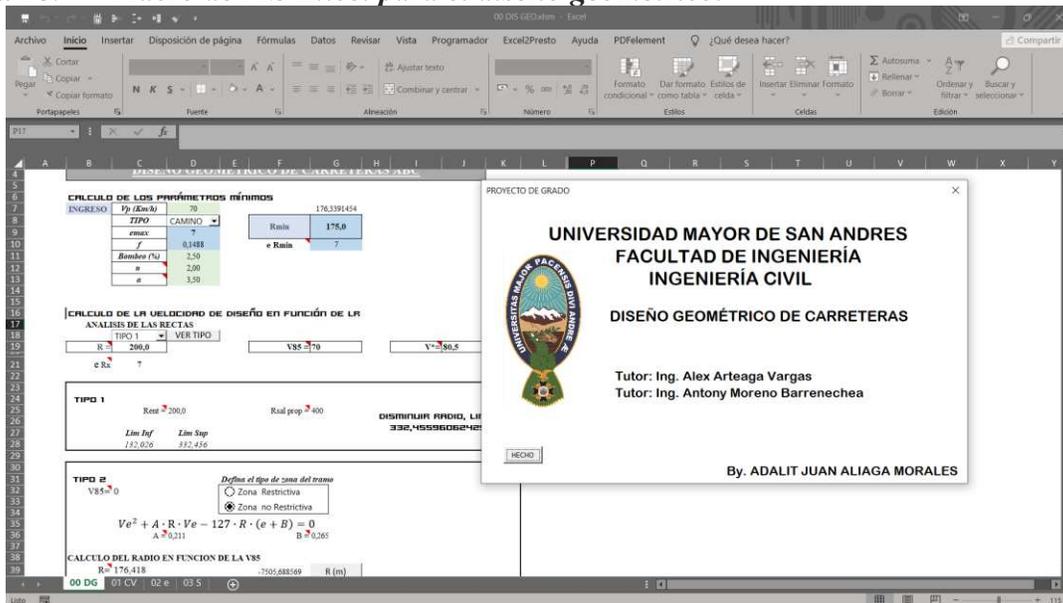
$250 \leq R \leq 700$	---> $e = 8\%$
$700 < R \leq 5000$	---> $e = 8\% - 7,3(1-700/R)^{1,3}$
$5000 < R \leq 7500$	---> $e = 2\%$
$7500 < R$	---> $e = \text{Bombeo}$

- Caminos.

$25 \leq R \leq 350$	---> $e = 7\%$
$350 < R \leq 2500$	---> $e = 7\% - 6,08(1-350/R)^{1,3}$
$2500 < R \leq 3500$	---> $e = 2\%$
$3500 < R$	---> $e = \text{Bombeo}$

Estas ecuaciones (4) y (5) junto con las ecuaciones para el peralte, por medio de la macro se resolverán garantizando un buen flujo de trabajo.

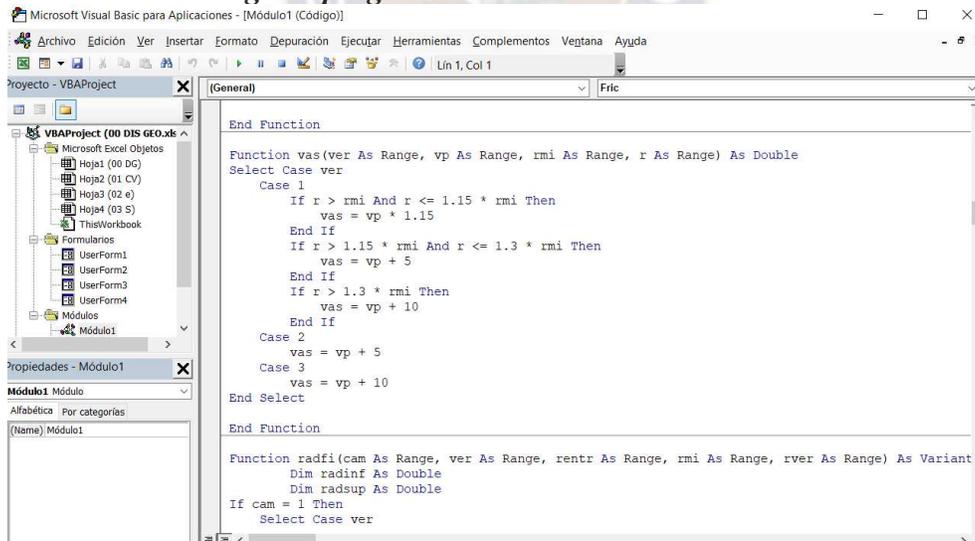
Figura 28. **Macro de MS Excel para el diseño geométrico.**



Fuente: Elaboración propia.

Esta parte de la macro Excel trabaja para los tres casos expuestos. Es tarea del ingeniero identificarlos adecuadamente.

Figura 29. **Parte del código de programación de Visual Basic de la macro.**



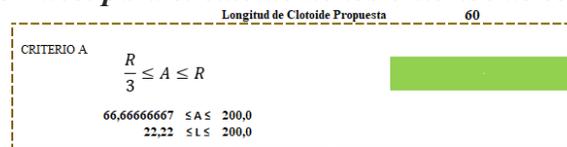
Fuente: Elaboración propia.

Con ayuda de esta programación el trabajo se beneficia de contar con un flujo de trabajo muy adecuado, porque el uso de las tablas y gráficas se elimina haciéndose de esta manera más ágil el diseño geométrico, es decir la tarea se convierte en programable lo mismo que hace que las tareas repetitivas sean resueltas de manera rápida, porque ya no es necesario consultar tablas ni gráficas para encontrar resultados.

11.7.3. Longitud de la Clotoide.

Con la ecuación $A^2 = R \cdot L$ se despejó la longitud para obtenerla directamente. De igual manera se realizó la macro de Excel con lenguaje VB y este es un dato de entrada de Autodesk Civil3D para el diseño geométrico.

Figura 30. Macro de MS Excel para el cálculo de los criterios de selección de la clotoide.



Fuente: Elaboración propia.

11.7.4. Tramificación del trazo de la Carretera Yamparaez - Tarabuco.

Tabla 33. Tramificación del Tramo.

	Ini	Fin	Vel (km/h)
Tramo 1	0+000	1+390	60
Tramo 2	1+390	3+810	70
Tramo 3	3+810	10+380	60
Tramo 4	10+380	14+300	70
Tramo 5	14+300	21+420	60
Tramo 6	21+420	23+630	70
Tramo 7	23+630	26+900	60
Tramo 8	26+900	28+460	70
Tramo 9	28+460	30+550	60
Tramo 10	30+550	32+665	80

Fuente: Elaboración propia.

11.7.5. Parámetros de Diseño.

Tabla 34. Parámetros de diseño geométrico.

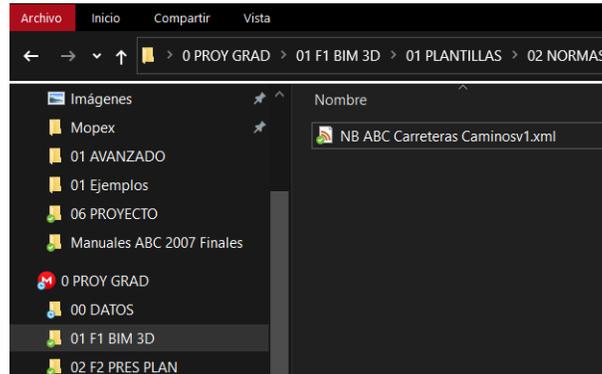
Velocidad de Proyecto (km/h)	Montañosos	Onduado	
	60	70	80
Clasificación	P(4) 80 - 70 - 60		
Radios Mínimos Absoluto (m)	120	180	250
Curvas de enlace espirales (m)	40	40	40
Curvas de enlace espirales (m)	40	47	62
Peralte Maximo (%)	7	7	8
Pendiente Longitudinal Máxima (%)	6,5	6,5	6
Longitud Crítica en pendiente (m)	465	465	510
Bombeo (%)	2	2	2
Sobrancho Mínimo (m)	0,5	0,5	0,5
Distancia de Visibilidad de Frenado (m)	70	90	115
Distancia de Visibilidad de Adelantamiento (m)	440	500	550
K mínimo curvas verticales Convexas (m)	1200	1800	3000
k mínimo curvas verticales cóncavas (m)	1400	1900	2600
Gálibo Vertical Mínimo (m)	5,5	5,5	5,5
Número de Carriles	4	4	4
Cantero central (m)	3	3	3
Ancho de Calada (m)	7	7	7
Ancho de Carril (m)	3,5	3,5	3,5
Ancho Berma Externa (m)	2	2	2
Ancho Berma Interna (m)	1	1	1
Sobrancho de Plataforma SAP Exterior (m)	0,5	0,5	0,5
Sobrancho de Plataforma SAP Interior (m)	1	1	1
Talud de Corte	1:1	1:1	1:1
Talud de Relleno	1:1	1:1	1:1

Fuente: Elaboración propia.

11.7.6. Manual de Carreteras Volumen I de Diseño Geométrico para Civil 3D.

Autodesk Civil3D trabaja por defecto con la normativa AASHTO, es por ello que se elaboró el Manual de Carreteras Volumen I de la ABC para Civil3D en formato XML.

Figura 31. *Asistente de Diseño Geométrico para Civil 3D del Manual de Carreteras Volumen I.*



Fuente: Elaboración propia.

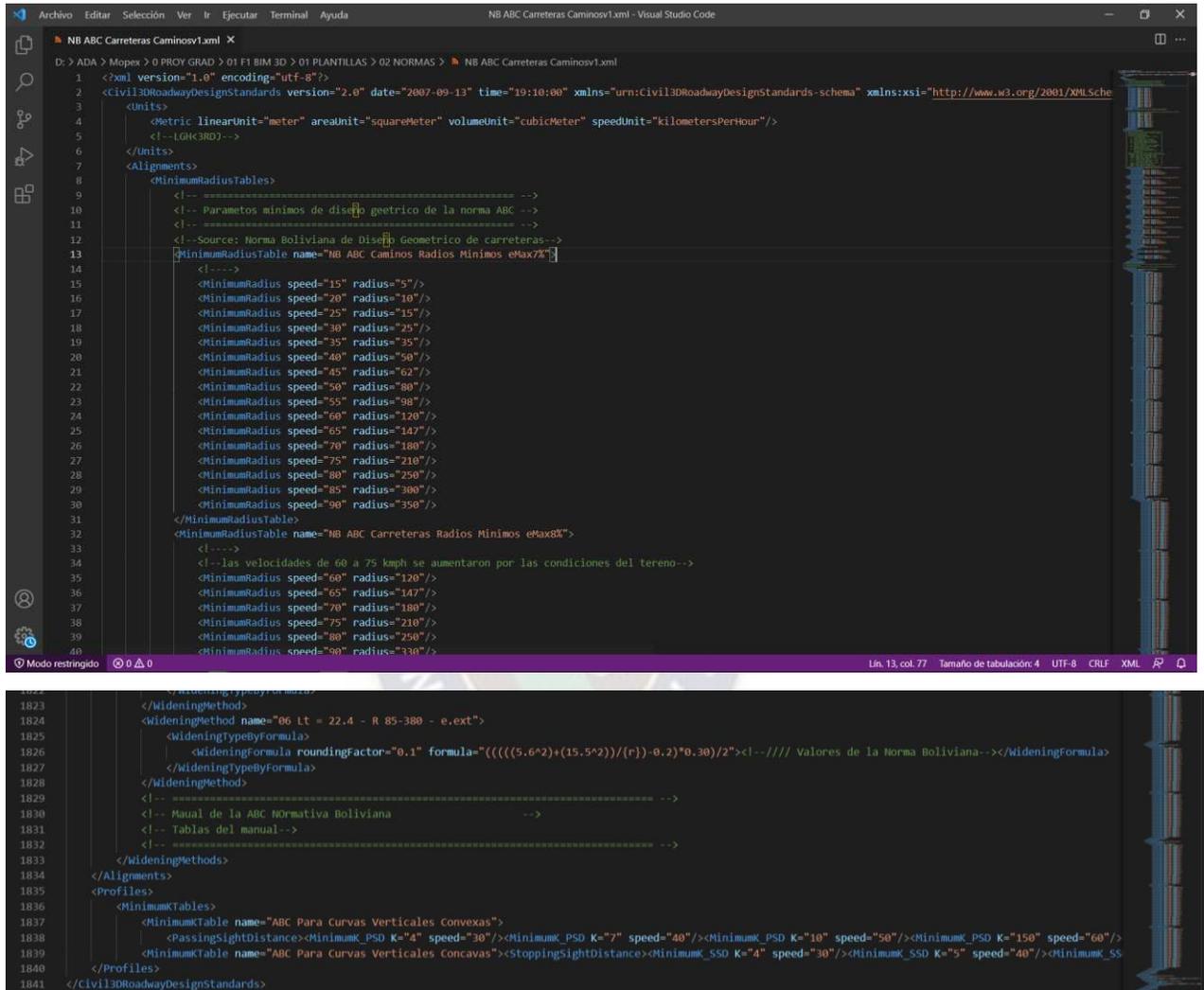
El lenguaje informático utilizado para el asistente de diseño geométrico que se utiliza, es XML, consta de marcaciones que se traducen como instrucciones para la máquina que lo lee, no es propiamente un lenguaje de programación, no obstante, permite automatizar ciertas tareas, en este caso se optó por que este contenga datos como:

- Radios mínimos.
- Peralte en función de la velocidad de proyecto.
- Sobreanchos.
- Curvas verticales “k”

De esta manera al cargar este asistente de diseño geométrico para Civil3D ya trabaja con el manual de nuestro país, en lo que respecta a los parámetros mencionados anteriormente, como sabemos es atribución del proyectista elegir los mejores valores para garantizar que el diseño sea el adecuado y que sea económico, y esta herramienta ayuda bastante a cumplir con ese objetivo, para cumplir con ese objetivo este asistente de diseño geométrico en XML se confeccionó con ayuda de la macro realizada para agilizar su utilización, funcionará como un asistente de diseño geométrico, con este XML Civil 3D nos avisará si el radio elegido cumple con los requisitos según el manual de diseño geométrico de Bolivia, es decir nos dará un aviso de cumplimiento de las condiciones mínimas en función de la velocidad de proyecto. Pero para comprobar que dicho radio cumple con las

condiciones en función de las rectas que la preceden, el ingeniero debe hacerse cargo de esa tarea, y eso se hará con la Macro que se programó.

Figura 32. *Confección del asistente de Diseño Geométrico con base al Manual de Carreteras Volumen I de la ABC.*



```
1 <?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
2 <Civil3DRoadwayDesignStandards version="2.0" date="2007-09-13" time="19:10:00" xmlns="urn:Civil3DRoadwayDesignStandards-schema" xmlns:xsi="http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance" xsi:schemaLocation="urn:Civil3DRoadwayDesignStandards-schema http://www.w3.org/2001/XMLSchema-instance">
3   <Units>
4     <Metric linearUnit="meter" areaUnit="squareMeter" volumeUnit="cubicMeter" speedUnit="kilometersPerHour"/>
5     <!-- LGH(3RD) -->
6   </Units>
7   <alignments>
8     <MinimumRadiusTables>
9       <!-- ===== -->
10      <!-- Parametros minimos de diseño geometrico de la norma ABC -->
11      <!-- ===== -->
12      <!-- Source: Norma Boliviana de Diseño Geometrico de carreteras -->
13      <MinimumRadiusTable name="NB ABC Caminos Radios Minimos eMax75">
14        <!-- -->
15        <MinimumRadius speed="15" radius="5"/>
16        <MinimumRadius speed="20" radius="10"/>
17        <MinimumRadius speed="25" radius="15"/>
18        <MinimumRadius speed="30" radius="20"/>
19        <MinimumRadius speed="35" radius="25"/>
20        <MinimumRadius speed="40" radius="30"/>
21        <MinimumRadius speed="45" radius="35"/>
22        <MinimumRadius speed="50" radius="40"/>
23        <MinimumRadius speed="55" radius="45"/>
24        <MinimumRadius speed="60" radius="50"/>
25        <MinimumRadius speed="65" radius="55"/>
26        <MinimumRadius speed="70" radius="60"/>
27        <MinimumRadius speed="75" radius="65"/>
28        <MinimumRadius speed="80" radius="70"/>
29        <MinimumRadius speed="85" radius="75"/>
30        <MinimumRadius speed="90" radius="80"/>
31      </MinimumRadiusTable>
32      <MinimumRadiusTable name="NB ABC Carreteras Radios Minimos eMax85">
33        <!-- -->
34        <!-- las velocidades de 60 a 75 kaph se aumentaron por las condiciones del terreno -->
35        <MinimumRadius speed="60" radius="120"/>
36        <MinimumRadius speed="65" radius="147"/>
37        <MinimumRadius speed="70" radius="180"/>
38        <MinimumRadius speed="75" radius="210"/>
39        <MinimumRadius speed="80" radius="250"/>
40        <MinimumRadius speed="90" radius="330"/>
41      </MinimumRadiusTable>
42    </MinimumRadiusTables>
43  </alignments>
44  <Profiles>
45    <MinimumTables>
46      <MinimumTable name="ABC Para Curvas Verticales Convexas">
47        <PassingSightDistance><Minimum_PSD K="4" speed="30"/><Minimum_PSD K="7" speed="40"/><Minimum_PSD K="10" speed="50"/><Minimum_PSD K="15" speed="60"/>
48      </MinimumTable>
49      <MinimumTable name="ABC Para curvas Verticales Concavas"><StoppingSightDistance><Minimum_SSD K="4" speed="30"/><Minimum_SSD K="5" speed="40"/><Minimum_SSD K="7" speed="50"/><Minimum_SSD K="10" speed="60"/>
50    </MinimumTables>
51  </Profiles>
52 </Civil3DRoadwayDesignStandards>
```

Fuente: Elaboración propia.

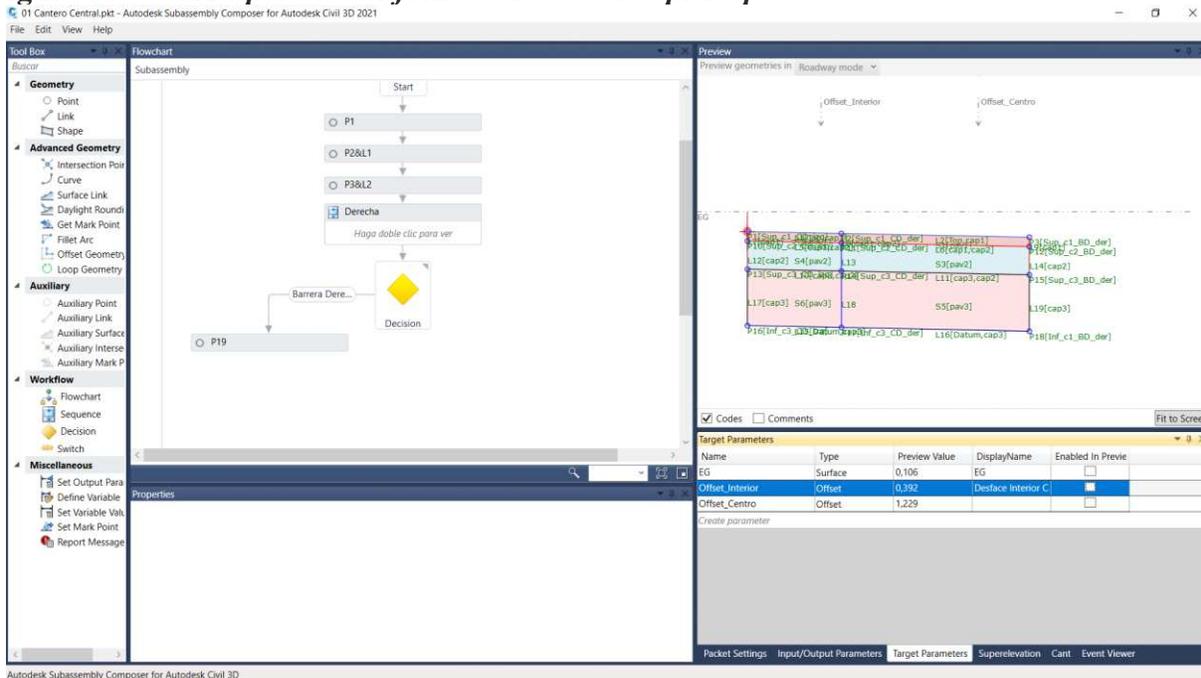
11.8. AUTODESK SUBASSEMBLY COMPOSER SAC.

Esta es una herramienta de Autodesk con la que se modelaron los assemblies para generar el corredor del proyecto. Es muy importante que el equipo de trabajo primero tenga una reunión para saber qué es lo que se hará, ya que de esa manera se podrá realizar la herramienta para que cumpla dichos requisitos, sino se toman en cuenta todos los casos posibles que se tengan en el proyecto, estos tendrán que cambiarse después y esto puede ser perjudicial teniendo que regenerar los corredores ya modelados.

11.8.1. Generación de las plantillas.

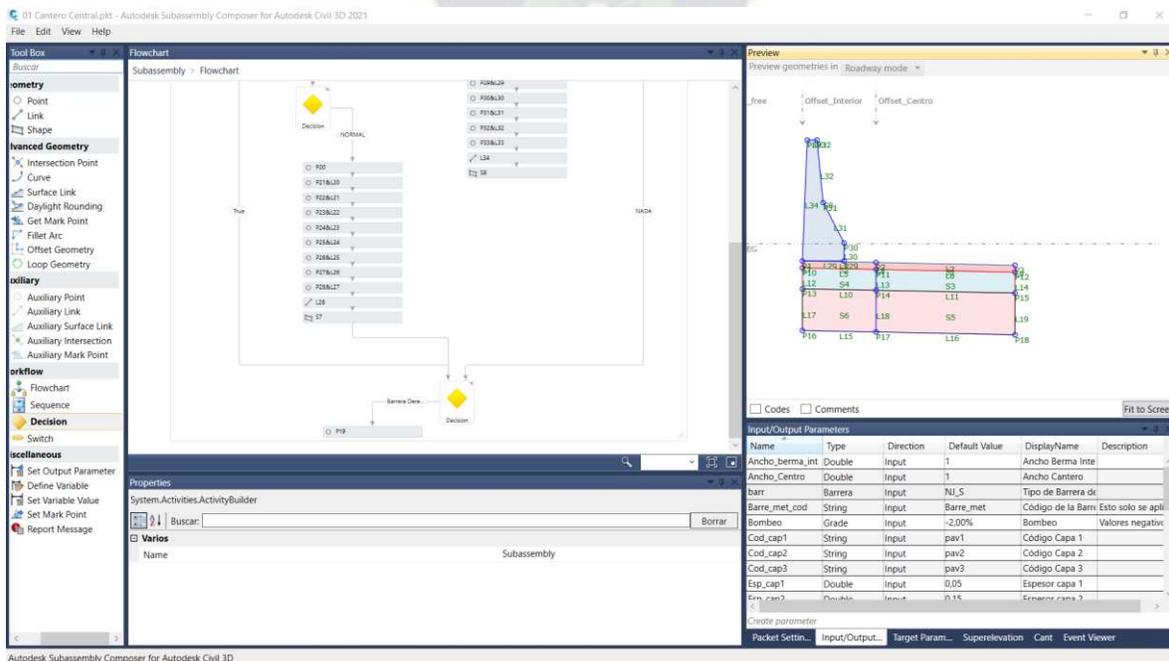
Las plantillas se generan por medio de lenguaje de programación visual, por medio de puntos, link y shape. Los mismos que serán interpretados por Civil3D para realizar el corredor.

Figura 33. SAC para la conformación del carril principal.



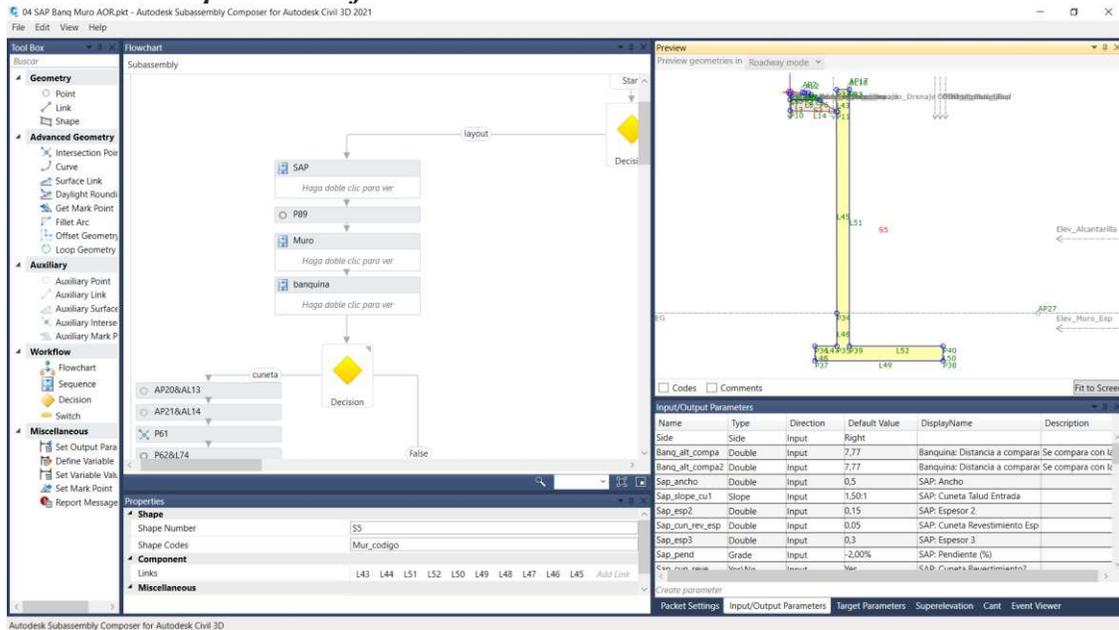
Fuente: Elaboración propia.

Figura 34. SAC para la conformación del cantero central.



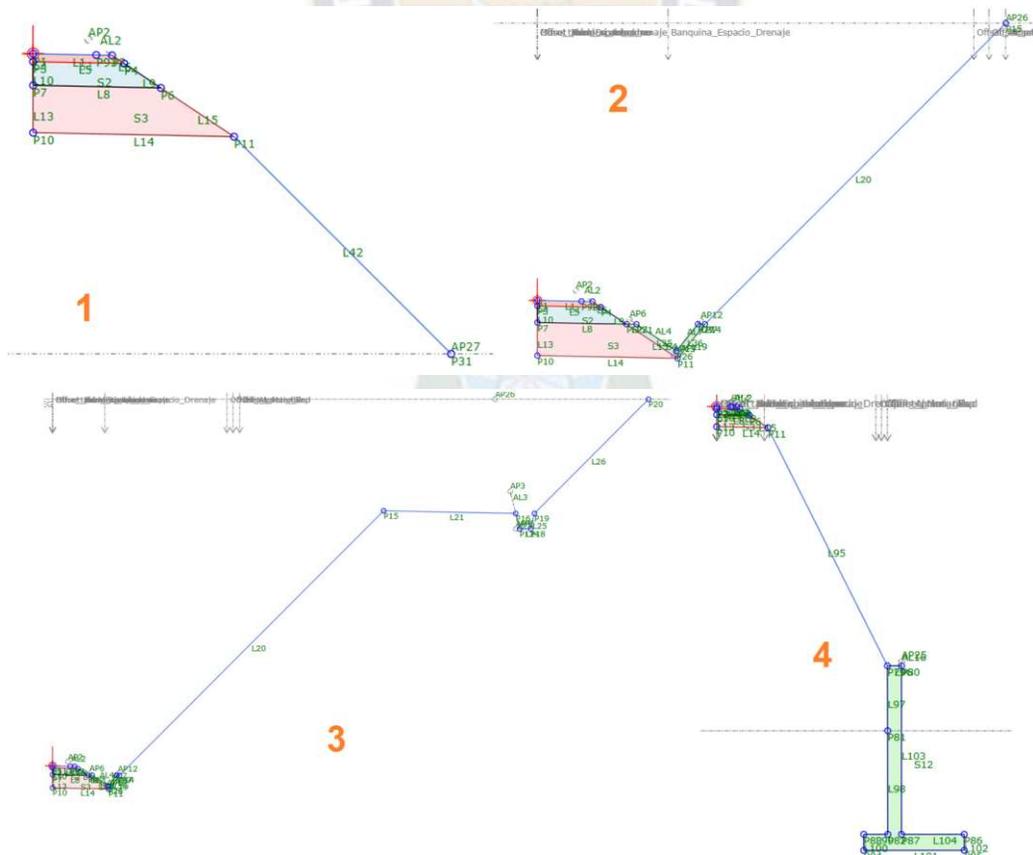
Fuente: Elaboración propia.

Figura 35. SAC para la conformación del SAP.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 36. Ejemplos de la adaptación de SAC en función de alguna condición. Fuente: Elaboración propia.



Fuente: Elaboración propia.

En las imagen anteriores se muestra, las ventajas de trabajar con SAC, ya que este generará todo tipo de geometrías en función de las necesidades, En la imagen superior tanto (1), (2), (3) y (4) son el mismo assembly, que se modifica de acuerdo a como se necesite o a parámetros externos. Uno de los parámetros principales del proyecto es la topografía, y de acuerdo a la altura de corte, altura de terraplén por ejemplo esta emplazará un muro de contención y unas banquetas respectivamente.

11.8.2. Codificación.

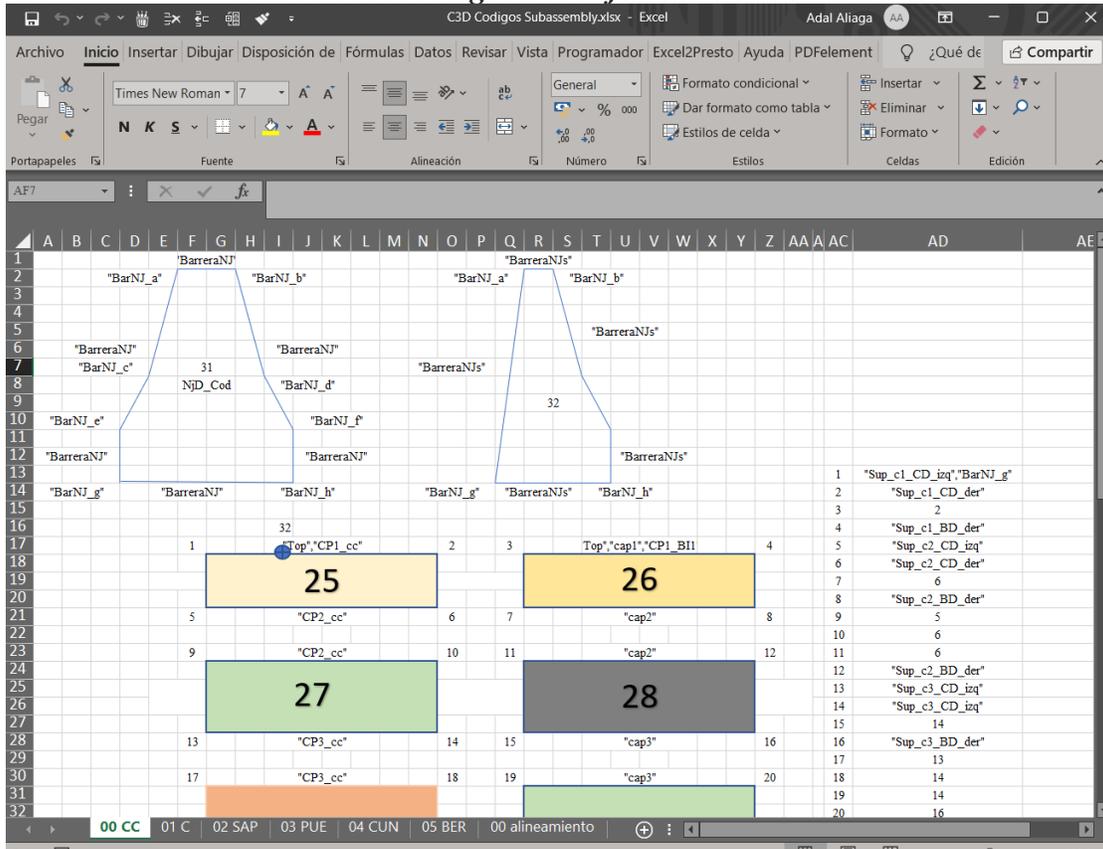
Al generar los assemblies fue importante tener en cuenta que estos tienen que estar codificados adecuadamente, para que cumplan con las expectativas, ya que de estar mal esta parte no se podrán ejecutar los demás pasos para garantizar un BIM3D.

La codificación nos ayudó a la obtención de datos durante el proyecto, y a la generación de los mismos, es decir de esta manera los tendremos identificados. También fue muy importante conocer o plantearse cuál es el trabajo que se realizará, para codificar el proyecto de forma tal que el resultado sea bueno. Como ejemplo de ello se programó el assembly para que cuando sea necesario emplazar un muro de contención esto lo haga en función de una altura de terraplén máxima, y que cuando esto suceda el assembly añada un punto, que en Civil3D con el corredor se convertirá en una “feature line (FL)”¹⁷ misma donde se emplazará la barrera metálica de protección. Es decir, cuando Civil3D considere que se necesita un muro de contención también colocará una FL donde se podrá modelar una barrera de protección. Y esto es de mucha ayuda al momento de realizar la cuantificación de las barreras, y esto con la metodología tradicional no es posible la única forma en la que se realizaba este trabajo era con ayuda de las secciones transversales, haciendo que este trabajo tome mucho tiempo y sea poco eficiente puesto que al trabajar con secciones cada 20 metros el error que se comete es bastante.

También se dejó parámetros para rellenar, mismos que sirvieron para la extracción de datos y/o cuantificación de los elementos generados, estos parámetros que deben de rellenarse son los códigos que se enlazarán a los elementos de clasificación BIM, así con los estilos de visualización de Civil 3D, podremos ver remarcados los elementos que se generaron.

¹⁷ Son líneas características con las cuales se genera el correo del proyecto, también son polígonos que representan información relevante del proyecto.

Figura 37. Gestión de los códigos de conformación de los assemblies.



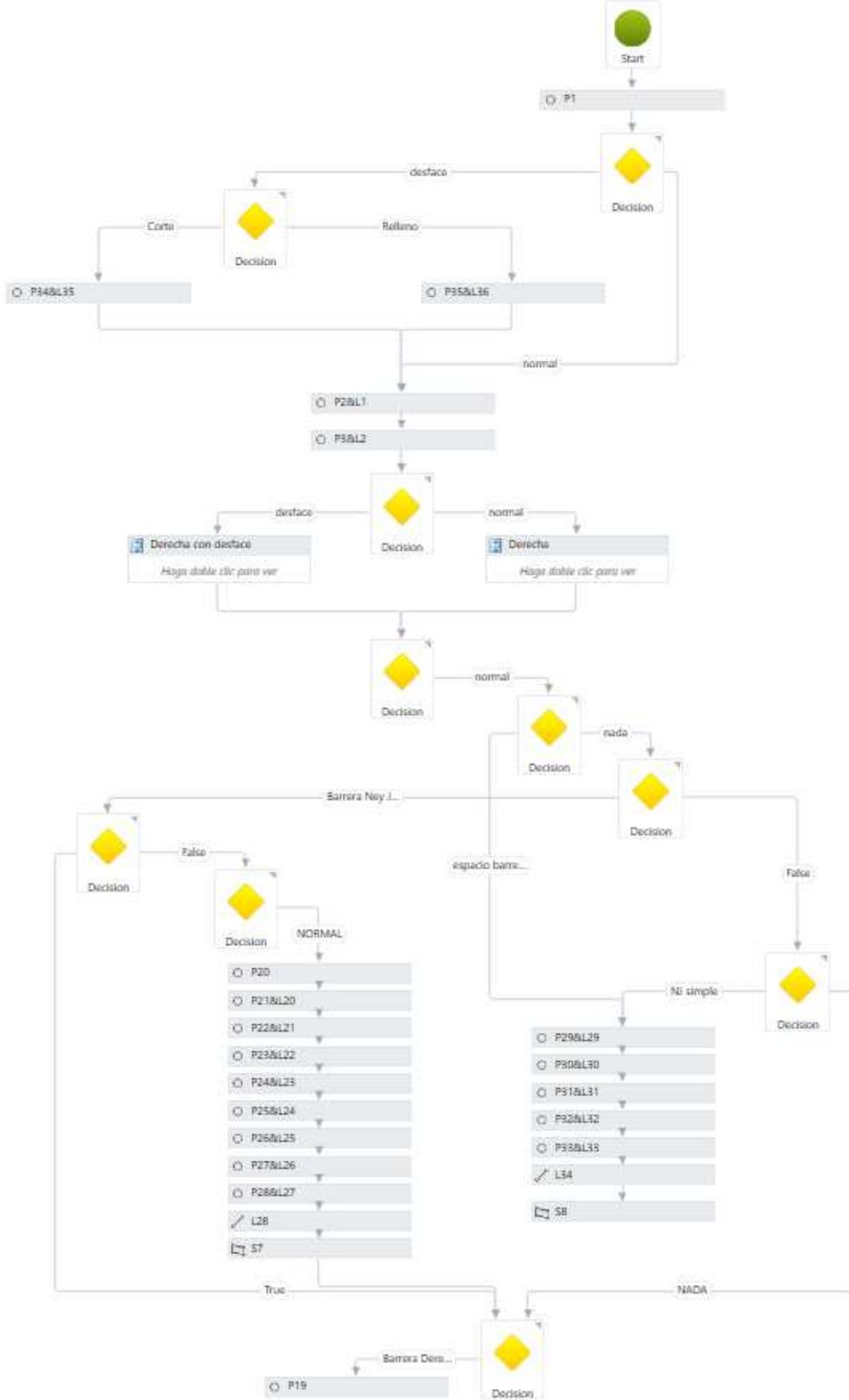
Fuente: Elaboración propia.

11.8.3. Programación.

Como ya se explicó se utilizó la programación visual de SAC y NET para generar los elementos, algunos assemblies que se modelaron son de baja complejidad, pero también hay otros algo más complejos.

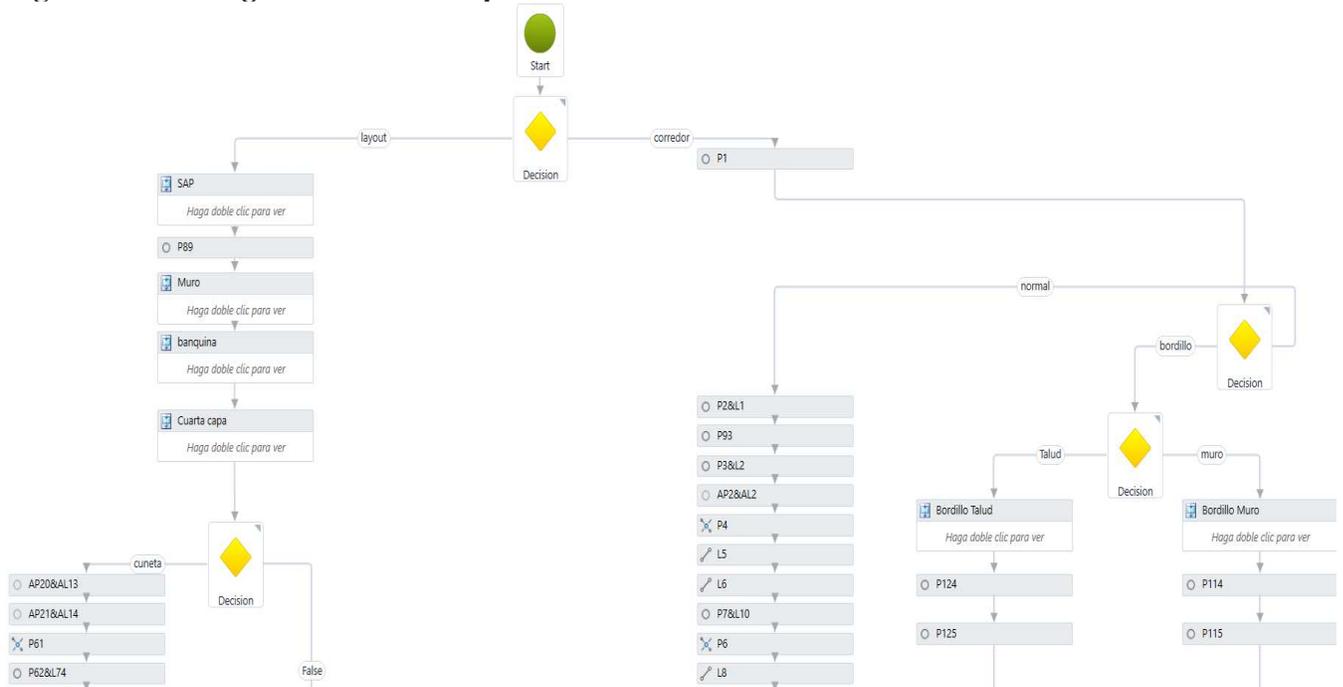
Para generar todos los assemblies se necesitan de: point's, link's y shapes, y cada uno de estos deberá de contar con su código para visualizarlo y también poder cuantificarlo, los códigos se gestionaron con el Excel que se muestra en la imagen superior, y estos códigos también deberán estar vinculados con las plantillas de Civil 3D para su correcta visualización, es decir si al generar el corredor deseamos ver dónde están los muros de contención o las cunetas, le decimos al programa que nos las muestre en color verde y morado respectivamente, cosa que con la metodología tradicional es imposible de realizar así de rápido. El tipo de programación que se utilizará es visual, está compuesta por nodos e instrucciones NET.

Figura 38. Programación Visual para SAC del Cantero Central.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 39. Programación Visual para SAC del SAP.

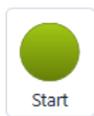


Fuente: Elaboración propia.

Como se observa la programación para este elemento es bastante complejo, pero el tiempo que se demora en realizarlo se ve compensado durante el modelado del corredor, puesto que con un solo assembly se podrá generar todo el corredor evitando así trabajar con varias regiones para poder gestionar mejor el modelo que se genere.

En esta parte es donde se podrá garantizar que los elementos se puedan medir es decir cuantificar adecuadamente. También ayudarán a la representación visual de los mismos, es decir el grafismo de los planos. Es por ello que se realizó una plantilla para civil 3D con este fin.

A continuación, se explicará los nodos que utiliza este tipo de programación:



Este nodo representa el inicio del lenguaje de programación gráfica.



Este nodo es un condicionante, solo funcionará cuando se cupla cierta condición.



Este nodo es un contenedor de otros nodos para simplificar el código.

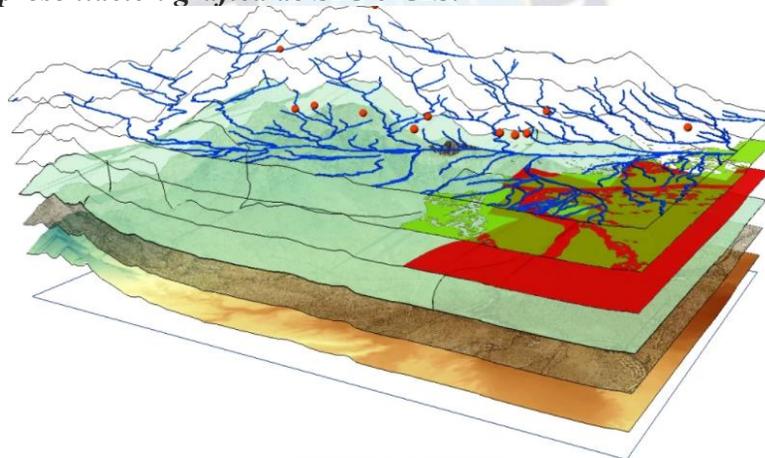
P2&L1

En este tipo de nodos se programa los puntos, líneas y formas.

11.9. SIG.

Los sistemas de información geográfica, son muy importantes para poder gestionar la información del tipo geográfico. Como, por ejemplo: KMZ, KML, SHAPE, RASTER, entre otros. Estos nos ayudan a poder manejar grandes cantidades de información geográfica como mapas, delimitaciones, usos de suelo, arqueología, etc. Este tipo de información solo se puede gestionar desde una plataforma SIG, además que la misma nos permite que se interactúe entre esta información.

Figura 40. *Representación gráfica de SIG o GIS.*



Fuente: (ALLPE, 2021).

De forma general para un proyecto de ingeniería vial, se cargarían información como:

- Arqueología.
- DTM.
- Red hídrica.
- Mapa de uso de suelos.
- Áreas protegidas.
- Mapas NDVI.
- Áreas de inundación.
- Mapas de curva CN, etc.

El propósito de utilizar esta información, es para poder tomar mejores decisiones y tomarlas en cuenta. Estos datos en su mayoría deben ser tomados en campo. Y procesados en gabinete para agregarlos al ECD del proyecto.

En el presente proyecto en el apartado de SIG se trabajó con la red hídrica, puesto que su elaboración está en función directamente de datos que poseemos como la topografía.

11.9.1. Red Hídrica.

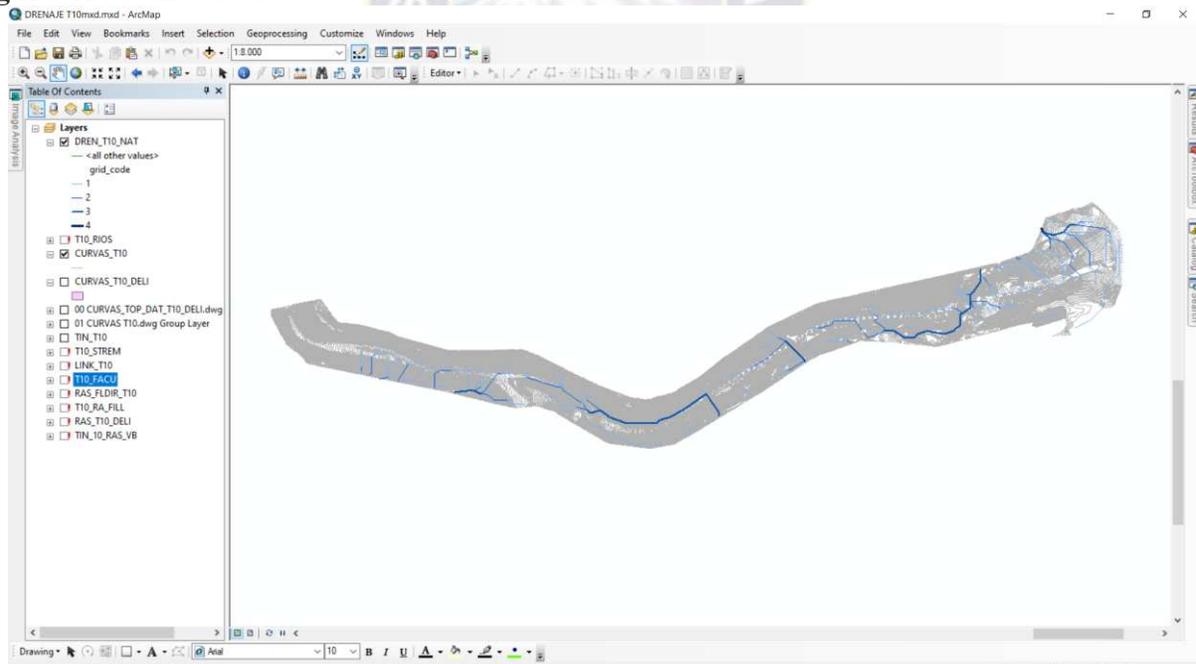
La elaboración de esta información, está en función de la topografía del terreno tomando en cuenta dos aspectos importantes:

Se debe determinar la red hídrica con la topografía del terreno natural, para determinar posiciones de alcantarillas y/o puentes.

- Se tiene que volver a ejecutar esta tarea con la topografía TOP, es decir la unión de la topografía natural más la superficie TOP generada por el corredor. Para determinar donde se colocarán cunetas para que escurran el agua de las cunetas del corredor.

Este proceso también puede ser realizado en Civil3D, pero se consideró que es importante mostrar el flujo de información entre los archivos en formato SIG.

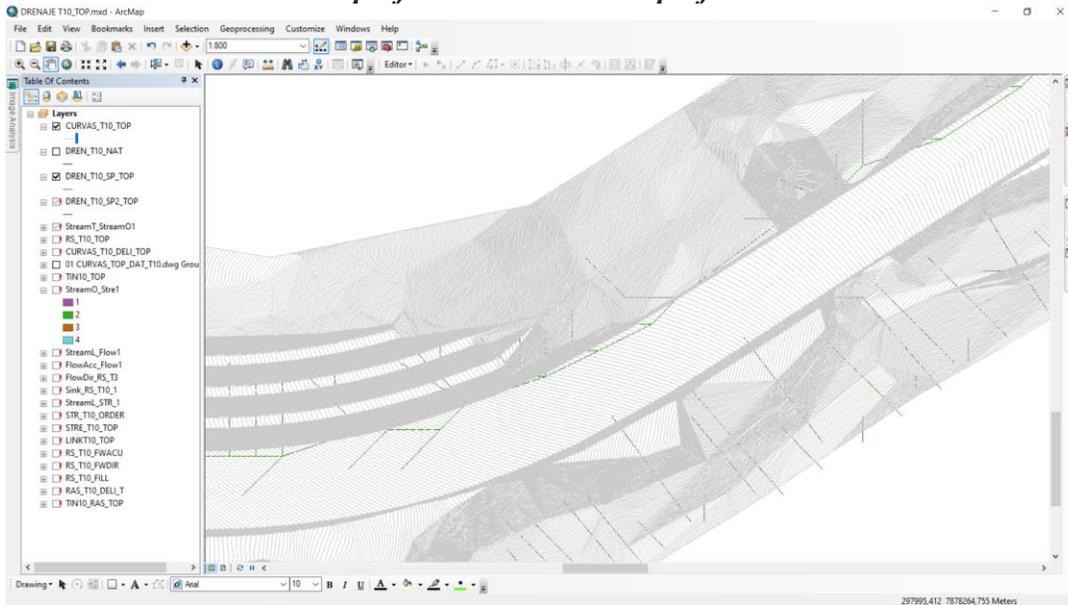
Figura 41. Red hídrica del terreno natural.



Fuente: Elaboración propia.

Lo primero que se hizo fue llevar la información de Civil3D en formato CAD hacia ArcGIS que es el programa con el que se trabajó, Con esta información se pueden ver los sitios en los que se necesita alcantarillas y puentes. Además, que es un insumo principal para los cálculos del área hidráulica del proyecto o de cualquier proyecto en general.

Figura 42. Red hídrica de la superficie natural más superficie del corredor TOP.

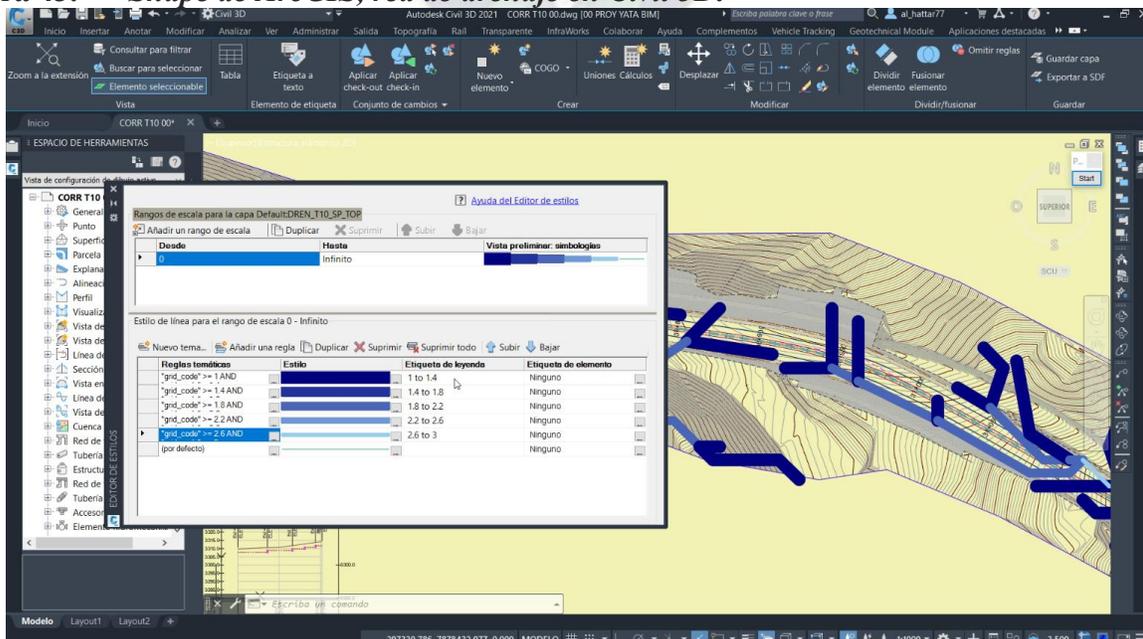


Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra el resultado del trabajo realizado para determinar la red hídrica, que se utilizó para determinar las posiciones donde se emplazarán cunetas para la evacuación del agua que se escurra por el corredor.

Después como es de esperar estos resultados tienen que ser elaborados en el ECD, y posteriormente llevados a Civil3D para resolver el tema de drenajes.

Figura 43. Shape de ArcGIS, red de drenaje en Civil 3D.



Fuente: Elaboración propia.

Con esta información se ubicaron las posiciones donde se modelarán las cunetas de evacuación.

Figura 44. *Resultado de realizar la red hídrica del “Terreno natural más Superficie TOP”.*



Fuente: *Elaboración propia.*

De igual manera que con la parte estructural del proyecto, en lo que respecta a la ingeniería hidráulica e hidrológica, solo se realizó el modelado de las estructuras tales como: cunetas y alcantarillas. De esa manera se establecerá un flujo de trabajo para el modelado de las estructuras mencionadas.

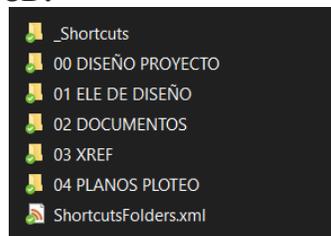
11.10. BIM3D.

Para que el modelo BIM3D sea funcional, como se explicó anteriormente este tiene que estar en la nube ósea el ECD tiene que estar alojado en una nube y no en un punto local.

11.10.1. ECD entorno Común de Datos.

Otro requisito sería el hecho que se garantice la interoperabilidad entre profesionales, es decir evitar el pasarse información por medios como el correo electrónico, es eso se garantiza con ayuda de los “Data Shortcuts”, esto hace que los datos se actualicen de inmediato en un ECD.

Figura 45. *Data Shortcuts del ECD.*



Fuente: *Elaboración propia.*

11.10.2. Clasificación BIM.

Es importante realizar una clasificación de todos los elementos BIM del proyecto, para este efecto tal y como se planteó en los objetivos se utilizó el sistema de clasificación GuBIMclass, porque este se adapta mejor a nuestro propósito, este sistema de clasificación como la mayoría de ellos está hecho pensando en edificaciones, es por ello que se realizó la adaptación para carreteras.

Este sistema de clasificación nos ayudó a identificar cada elemento BIM que se genere, también se utilizó esta clasificación para la planificación del proyecto.

Figura 46. Sistema de Clasificación BIM GuBIMClass.



Fuente: (GuBIMCat, 2017).

11.10.2.1. Usos de un sistema de clasificación.

Las bondades del uso de un sistema de clasificación son las siguientes:

- Identificar los elementos BIM generados.
- Ayuda a la planificación BIM, para la construcción.
- Sirven para la gestión del modelo BIM.
- Ayuda en la documentación de los elementos BIM.
- Uniformiza los datos de los modelos BIM.
- Sirve para identificar las interferencias de los modelos BIM.

Existen varios sistemas de clasificación BIM como, por ejemplo: Uniclass 2015, Omniclass, Unifomat, Masterformat entre otros, pero GuBIMClass se adapta mejor a nuestro proyecto porque su codificación es bastante intuitiva, además que están en función a niveles de uso del modo numérico, no está en función a letras, y esto es lo mejor para llevar esa clasificación a Civil 3D y Revit.

Esta clasificación se enlazó con la plantilla de Civil 3D, por medio de los códigos hechos en SAC, y en el caso de Revit el enlace se hizo por medio del archivo de clasificación en formato TXT que se carga al ECD del proyecto.

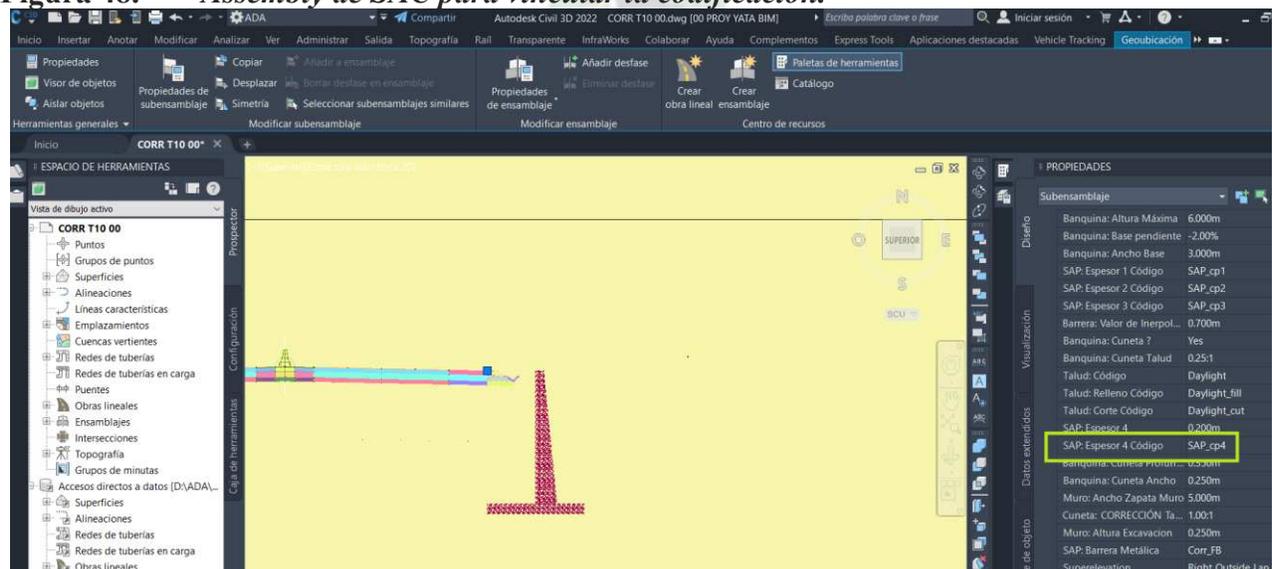
Figura 47. Sistema de clasificación GuBIMClass adaptado a carreteras.

	Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4	Código Completo	Descripción
20	20	20	30	40	20.20.30.40	Malla espacial
21	20	30			20.30	Puente de Carretera
22	20	30	10		20.30.10	Tablero de Puente
23	20	30	10	10	20.30.10.10	Armadura de Tablero de Puente
24	20	30	10	20	20.30.10.20	Hormigón Armado Para Tablero Del Puente
25	20	30	10	30	20.30.10.30	Concreto Asfáltico De Espesor 5cm
26	20	30	20		20.30.20	Horizontales
27	20	30	20	10	20.30.20.10	izado De Vigas Pretensadas L = 26 M
28	20	30	20	20	20.30.20.20	Hormigón Armado Diafragma De Puente
29	20	30	20	30	20.30.20.30	Viga de Pila de Puente
30	20	30	20	40	20.30.20.40	izado Pre Losa De Hormigón Armado
31	20	30	30		20.30.30	Barreras
32	20	30	30	10	20.30.30.10	Baranda Hormigón Armado
33	20	30	30	20	20.30.30.20	Baranda Metálica Galvanizada P/Puente
34	20	30	40		20.30.40	Aparato De Apoyo De Neopreno
35	20	30	40	10	20.30.40.10	Altar de Nivelación
36	20	30	40	20	20.30.40.20	Neopreno
37	20	40			20.40	Estructura de la Carretera
38	20	40	10		20.40.10	Carril Principal
39	20	40	10	10	20.40.10.10	Carpeta de Concreto Asfáltico en Caliente Carril Principal
40	20	40	10	20	20.40.10.20	Base Material Granular Carril Principal
41	20	40	10	30	20.40.10.30	Sub Base Material Granular Carril Principal
42	20	40	10	40	20.40.10.40	Sub Rasante Mejorada Carril Principal
43	20	40	20		20.40.20	Berma
44	20	40	20	10	20.40.20.10	Tratamiento Superficial Doble Berma

Fuente: Elaboración propia de la adaptación de la (GuBIMCat, 2017).

En la imagen superior se ve la adaptación para carreteras que se realizó a la clasificación GuBIMClass, esta codificación tiene que llevarse a los programas donde se realizará el modelo BIM3D, para que se modelen ya con la codificación, puesto que al tratar de agregarlos al final haría el trabajo lento y precario.

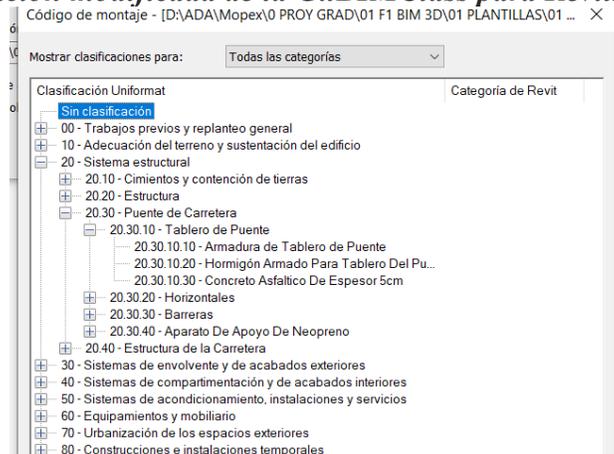
Figura 48. Assembly de SAC para vincular la codificación.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior en la parte remarcada se observa el campo tipo texto que se dejó cuando se realizó el assembly en SAC para que se vincule la clasificación. Este campo se dejó en todos los assemblies a los que se aplicará la clasificación.

Figura 49. Clasificación modificada de la GuBIMClass para Revit.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa la incorporación de la clasificación modificada para el proyecto, esta se añadirá a los elementos o familias que se generaron.

Estos archivos tienen que estar en el ECD, para su consulta rápida en caso de ser necesario.

11.10.3. Corredor Vial.

Para la generación del corredor se necesitan de los siguientes insumos.

- Topografía.
- Alineamiento Horizontal.
- Alineamiento Vertical.
- Asamblea.
- Manual de Carreteras Volumen I.

11.10.3.1. Topografía.

La topografía ya fue tratada como se mostró en anteriores acápites, la misma que también se encuentra en el ECD.

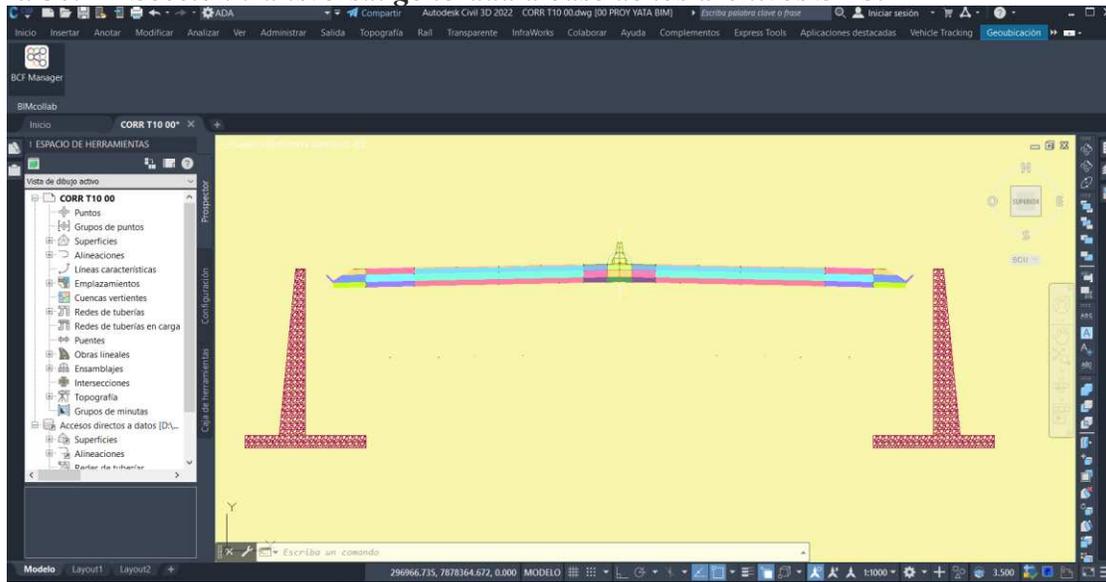
11.10.3.2. Alineamientos.

Estos fueron diseñados con ayuda de la macro de MS Excel y el asistente de diseño geométrico XML que se realizó, como se mostró anteriormente.

11.10.3.3. Assemblies.

Las plantillas que se generaron en SAC se llevaron a CIVIL3D, donde se utilizaron para modelar el corredor vial.

Figura 50. *Sección transversal generada a base de los archivos SAC.*



Fuente: Elaboración propia.

11.10.3.4. Asistente de Diseño Geométrico del Manual de Carreteras Volumen I, para Autodesk Civil3D.

El asistente de Diseño geométrico que se generó para esta etapa, fue de gran ayuda al momento de realizar el diseño, ya que sirve de asistente en el momento de calcular los sobrecanchos, peraltes y nos indica si los radios que se están utilizando satisfacen las características mínimas del proyecto.

De esa manera se agilizan los tiempos en los que se realiza el diseño geométrico, no obstante, el XML generado no resuelve el diseño geométrico en sí, es por eso que la macro de Excel también fue utilizada para el diseño, ya que hay varios casos de estudio, como los tres tipos de diseño de elementos horizontales que se mencionaron anteriormente, mismos que están en función de la longitud en recta de la geometría que precede a la curva de estudio.

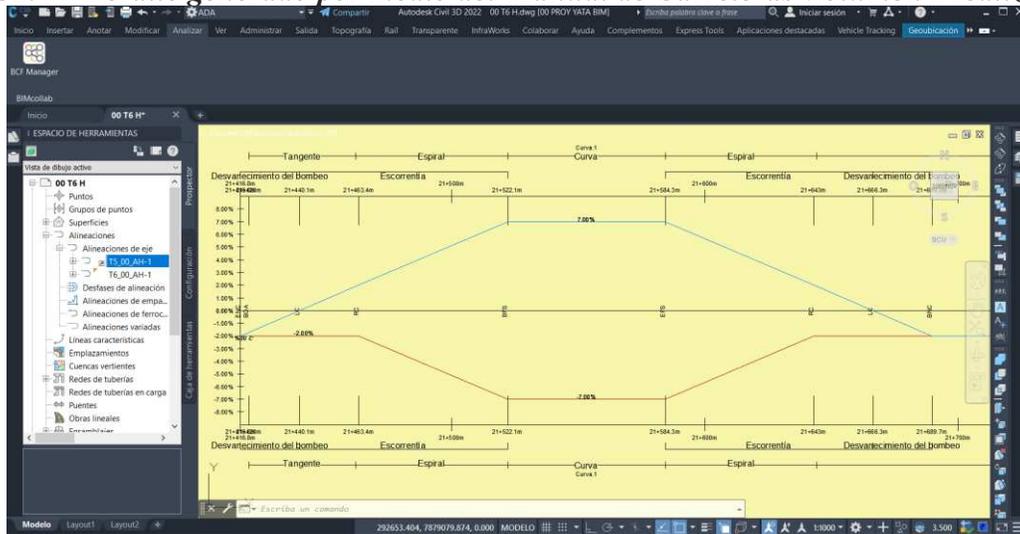
Figura 51. *Alineamiento horizontal en Civil3D con el Manual de Carreteras Volumen I.*



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la imagen superior en los cuadros resaltados, es donde se aplica el asistente de diseño geométrico para Civil 3d que se realizó. Mismo que se utilizará para los peraltes y sobrecanchos de la carretera.

Figura 52. **Peralte generado por medio del Manual de Carreteras Volumen I realizado.**

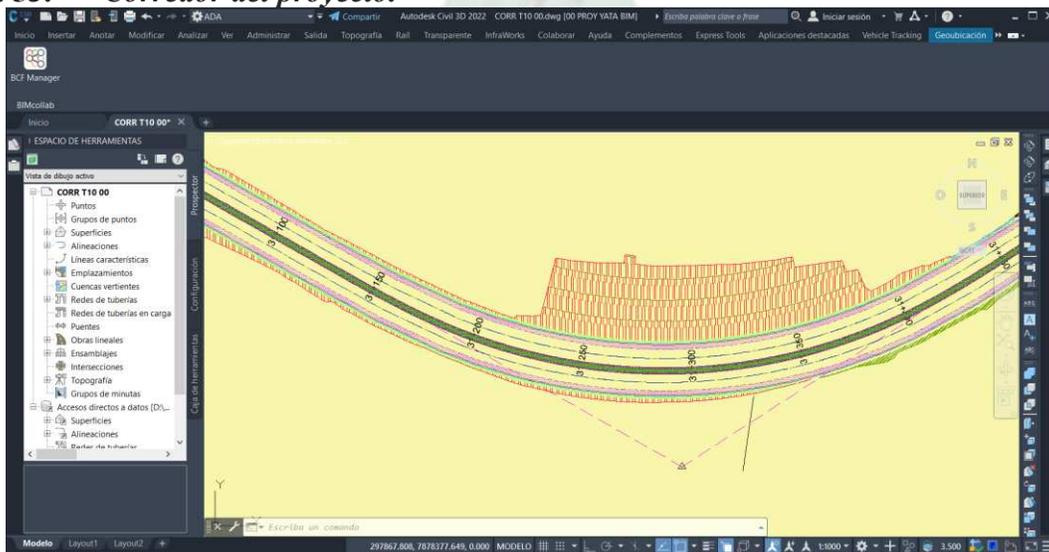


Fuente: Elaboración propia.

De igual manera que ocurría con el diseño geométrico para realizar el diseño del diagrama de peraltes hay que revisar los mismos puesto que el asistente del programa no lo hace todo, pero es de bastante ayuda.

Después se realiza el corredor del proyecto, conformándose así el modelo 3D, con los parámetros de diseño ya definidos, después de ello hay que revisar el modelo que se generó, para eliminar los errores que se tengan. Los mismos por lo general fueron al modelar las cunetas del corredor en algunas regiones no se colocaron adecuadamente, pero esto se solventó con los medios de programación con los que se realizó el asamblea.

Figura 53. **Corredor del proyecto.**



Fuente: Elaboración propia.

11.10.4. Modelos Revit.

Revit fue el programa que se utilizó para realizar los modelos BIM no lineales, una de las principales labores del BIM MANAGER es establecer el flujo de trabajo al llevar la información desde Civil3D a Revit, ya que estos tipos de elementos necesitan de:

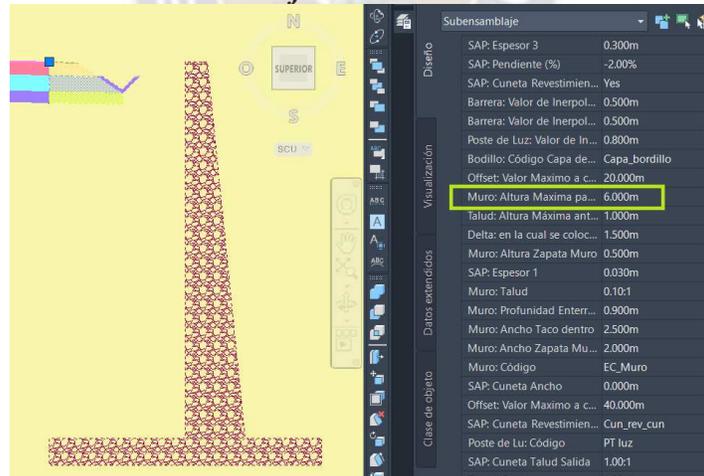
- Corredor generado en Civil 3D.
- Topografía.
- Otros datos para generar el modelo.

La información extra que se necesitó para este modelado va desde geometría Civil hasta datos extraídos de la geometría de Civil como ya se verá en sus respectivas áreas.

11.10.4.1. Muro de Contención.

Estas estructuras se utilizaron cuando el terraplén superó los 6 metros de altura, de esta manera se programó la plantilla de SAC. Este valor puede cambiarse en función de lo que se diga en la especialidad correspondiente.

Figura 54. **SAC para el SAP con la codificación necesaria.**



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra los espacios de entrada que se programaron para la generación de los muros de contención en SAC.

Algo muy importante que hay que señalar es que tanto el diseño de los elementos estructurales: muros de contención, alcantarillas y puentes. Tienen que ser diseñados por un especialista en el área correspondiente. Ya que si fallan estos podrían ocasionar accidentes fatales. Empero para este proyecto dada la complejidad del tema de estudio y basándose en el alcance del proyecto,

en la parte estructural se realizaron modelos de los mismos, es decir modelos BIM3D basándose en geometría tipo, no están en función a un diseño estructural. Puesto que con este proyecto se pretende mostrar que es posible realizar un modelo BIM para obras de infraestructura vial, además de los métodos de gestión de los modelos generados, esto es importante ya que en un proyecto real se trabajaría con varios profesionales y es posible que se hayan cometido errores en el modelado de los elementos.

11.10.4.1.1. Ubicación.

Es importante hacer una comparativa entre la metodología BIM con la tradicional. A continuación, se expondrán esos aspectos.

Con la metodología tradicional, los muros de contención se ubican por medio de las secciones transversales, con los siguientes inconvenientes.

- Solo se realizarán cuando el diseño geométrico esté finalizado en su totalidad.
- Para ello se utilizan las secciones por ejemplo c/20m. que conduce a un error en su emplazamiento muy grande.
- Toma mucho tiempo el buscar las regiones donde se necesiten muros de contención.
- La ubicación de los muros de contención está sujeto al error humano.
- En caso de cambio de trazo el trabajo realizado es inútil.
- De manera automática no es posible ver en planta los muros de contención que se necesitan ya que es una tarea manual.

Con herramientas BIM como SAC, el emplazamiento del muro de contención está sujeto a una condición, en este caso que la altura de terraplén sea mayor a 6m. de esa manera este trabajo es automático, además de ello se modelaron más casos tipo, como por ejemplo programar la plantilla para que modele lo mismo, pero con un bordillo, para evitar que el agua escurra directo en el muro. También se colocó un punto cuando la condición de muro se cumpla para que se genere una “Línea característica” donde se emplazará una barrera metálica. Como se ve es posible programar prácticamente cualquier situación, con la que nos podamos encontrar más tarde en el corredor, por ello es importante que cada situación sea estudiada antes de realizar las plantillas en SAC, y que estas estén representadas en el sistema de clasificación que se esté utilizando para que no existan contradicciones después de realizar el trabajo.