

1.1 Introducción

Desde el principio de la existencia del ser humano se ha observado su necesidad por comunicarse, por lo cual fue desarrollando diversos métodos para la construcción de caminos, desde los caminos a base de piedra y aglomerante hasta nuestra época con métodos perfeccionados basándose en la experiencia que conducen a grandes autopistas de pavimento flexible o rígido.

El diseño geométrico es la parte más importante del proyecto de una carretera, estableciendo, con base en los condicionantes o factores existentes, la configuración geométrica definitiva del conjunto tridimensional que supone, para satisfacer al máximo los objetivos fundamentales, es decir, la funcionalidad, la seguridad, la comodidad, la integración en su entorno, la armonía o estética, la economía y la elasticidad.

La funcionalidad vendrá determinada por el tipo de vía a proyectar, de acuerdo a sus parámetros a través de las características y los factores que intervienen en el diseño de una carretera o camino como ser: factores funcionales, factores físicos, factores de costo, y factores humanos y ambientales, siendo éste el más importante para la construcción de carreteras en nuestro país ya que se encuentra directamente relacionado con las características de la zona a la que se pretende llegar y al medio ambiente en que ésta se inserta en estrecha relación con la idiosincrasia de los usuarios, el uso de la tierra adyacente al eje vial y aspectos impacto-ambientales.

La seguridad vial debe ser la premisa básica en cualquier diseño vial, inspirando todas las fases del mismo, hasta las mínimas facetas, reflejada principalmente en la simplicidad y uniformidad de los diseños.

La comodidad de los usuarios de los vehículos debe incrementarse en consonancia con la mejora general de la calidad de vida, disminuyendo las aceleraciones y, especialmente, sus variaciones que reducen la comodidad de los ocupantes de los vehículos. Todo ello ajustando las curvaturas de la geometría y sus transiciones a las

velocidades de operación por las que optan los conductores a lo largo de los alineamientos.

La integración en su entorno debe procurar minimizar los impactos ambientales, teniendo en cuenta el uso y valores de los suelos afectados, siendo básica la mayor adaptación física posible a la topografía existente.

La armonía o estética de la obra resultante tiene dos posibles puntos de vista: el exterior o estático, relacionado con la adaptación paisajística, y el interior o dinámico vinculado con la comodidad visual del conductor ante las perspectivas cambiantes que se agolpan a sus pupilas y pueden llegar a provocar fatiga o distracción, motivo de peligrosidad. Hay que obtener un diseño geométrico conjunto que ofrezca al conductor un recorrido fácil y agradable, exento de sorpresas y desorientaciones.

Los diseños deben estar en estrecha relación con la economía o el menor costo posible, tanto de la ejecución de la obra, como del mantenimiento y la explotación futura de la misma, con la elasticidad suficiente de la solución definitiva para prever posibles ampliaciones en el futuro alcanzando siempre una solución de compromiso con el resto de objetivos o criterios.

La evolución mundial del diseño geométrico conlleva a la necesidad de las adaptaciones de las necesidades crecientes de los usuarios de las carreteras en cuanto a la movilidad, seguridad, comodidad e integración ambiental que permita mejores diseños geométricos teniendo en cuenta las modernas tendencias mundiales.

1.2 Justificación

La importancia de las comunicaciones se demuestra en el estudio de la historia por el hecho manifiesto del máximo esplendor de las civilizaciones, la vía y la vida se desarrollan o declinan con el transcurso del tiempo.

A lo largo del tiempo la construcción de carreteras y caminos han permitido la comunicación entre un lugar y otro, desarrollar e incrementar las actividades de comunicación cultural y comercial de la gente, obteniendo beneficios en cuanto a sus niveles de vida y de ingresos.

Dentro del diseño de una carretera, el diseño geométrico es la parte más importante del proyecto por ello la evolución mundial del diseño geométrico conlleva a la adaptación de las necesidades crecientes de los usuarios de las carreteras en cuanto a la movilidad, seguridad, comodidad e integración ambiental que permitan mejores diseños geométricos teniendo en cuenta las modernas tendencias mundiales, además de la búsqueda de métodos modernos y la incorporación de la tecnología, para obtener cálculos rápidos y confiables que permitan a la vez simplificar el trabajo.

El desarrollo del ser humano está íntimamente ligado al grado de desarrollo que ha logrado en sus medios de comunicación y transporte. En nuestro medio se puede observar que el desarrollo de las regiones está directamente relacionado con la construcción de carreteras y caminos, por lo que se puede afirmar que una región que no cuenta con este medio de comunicación se ve rezagada en su desarrollo e incomunicada con otras regiones que cuentan con mejores servicios de salud, educación y de infraestructura básica.

Una de las principales necesidades que se presentan en las comunidades en nuestro medio es la ausencia del trazado de caminos, como es el caso de la comunidad de San Pedro de Buena Vista donde en esta zona no se cuenta con un buen plan estratégico vial que le permita comunicarse con otros lugares y sectores de la zona, donde varias familias se ven obligadas a movilizarse a pie desde sus hogares hasta el único acceso con la que cuenta la comunidad, viéndose imposibilitados de transportar

productos agrícolas para la comercialización y forraje como agua para el consumo animal en tiempo de estiaje e incluso el transporte de agua para el consumo humano; debido a esta problemática se pretende realizar el diseño de ingeniería para la apertura del tramo San Pedro de Buena Vista – Pampa Galana Norte para en un futuro posterior poder llevar a cabo la ejecución de la apertura de este camino vecinal.

1.3. Objetivos

1.3.1 Objetivo general

El objetivo general del presente trabajo es desarrollar el Proyecto de Ingeniería con el diseño geométrico del tramo San Pedro de Buena Vista - Pampa Galana Norte mediante la aplicación del programa “AutoCAD Civil 3D”, lo que nos permita demostrar las ventajas de este programa en su utilización en nuestro medio.

1.3.2 Objetivos específicos

- Conocer las Normas para el trazado geométrico de un camino de acuerdo a la ABC.
- Analizar las características fundamentales del trazado geométrico de caminos vecinales, tanto en planta, alzado y coordinación, buscando la solución óptima y otros aspectos de vital importancia a partir de sus parámetros.
- Estudiar la aplicabilidad del programa “AutoCAD Civil 3D” en diseños geométricos de caminos y carreteras.
- Elaborar un croquis del tramo San Pedro de Buena Vista – Pampa Galana haciendo un reconocimiento visual de todas las características del terreno.
- Buscar la mejor alternativa de diseño para el tramo, a partir de tres alternativas planteadas.
- Realizar un estudio topográfico de la zona en donde se pretende realizar el diseño geométrico.

- Trabajar con los puntos obtenidos del levantamiento topográfico, para realizar la configuración de la topografía del terreno dentro del programa en estudio.
- Analizar el archivo de Normas de Diseño que se encuentran en el programa para determinar su aplicabilidad en el diseño de un camino vecinal o de desarrollo.
- Realizar el diseño geométrico del tramo San Pedro de Buena Vista – Pampa Galana mediante la utilización eficiente del programa “AutoCAD Civil 3D”.
- Calcular perfiles longitudinales, transversales y detalle de volúmenes mediante la aplicación del programa en estudio.
- Realizar el estudio hidrológico de la zona para la obtención de datos que permitan diseñar las obras de drenaje a lo largo de la vía como ser: cunetas, alcantarillas de alivio y alcantarillas de cruce.

1.4 Alcance

El presente trabajo pretende estudiar la aplicación del programa “AutoCAD Civil 3D”, para concretizar este objetivo se realizará el diseño geométrico del tramo San Pedro de Buena Vista – Pampa Galana, asumiendo con criterios los factores que influyen en un diseño geométrico de acuerdo al tipo de vía a proyectar, basándose en las especificaciones técnicas del manual de diseño geométrico de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Para identificar el alcance de este estudio se tienen las siguientes actividades descritas por etapas, que permiten el desarrollo sistemático del estudio, el mismo que permite concretar el diseño geométrico, basándose en el objetivo de todo diseño, que es encontrar la mejor alternativa del trazo horizontal y el menor movimiento de tierras (optimización del trazo vertical).

- Como primera etapa se pretende realizar un estudio sobre el manejo y funcionamiento del programa “AutoCAD Civil 3D” en diseños geométricos, y a través de ese conocimiento establecer los parámetros que resultan necesarios para realizar el diseño geométrico con el programa en estudio, basándose en la norma de diseño propuesta.
- En la segunda etapa, obtener una recopilación de información que permita arrastrar datos generales del lugar donde se pretende emplazar el diseño geométrico, así como también un reconocimiento de campo y levantamiento topográfico de la zona, con una longitud de 5.5 Kilómetros que es donde se desea realizar este diseño geométrico.
- En la tercera etapa se desea realizar el diseño geométrico del camino aplicando las herramientas del programa en estudio “AutoCAD Civil 3D” y realizar un análisis de ventajas y desventajas a partir de los resultados obtenidos, además de plasmar mediante planos, la salida gráfica de los resultados del diseño como ser: el eje, curvas horizontales y verticales, perfiles longitudinales y transversales y el detalle de los movimientos de tierra, así como también el diseño de las obras de drenaje a lo largo de la vía.

1.5 Medios y metodología

La metodología a utilizar en este trabajo, estará enfocada en el cumplimiento de las etapas mencionadas en el alcance donde en una primera instancia se recopilará toda la información necesaria para realizar el diseño geométrico a través del programa “AutoCAD Civil 3D”.

Para la recopilación de información se realizará un reconocimiento de campo mediante visitas a lo largo de la zona donde se pretende emplazar el diseño, con la finalidad de observar los puntos obligados como también el tipo de topografía que nos ofrece el terreno y de esa manera planificar el levantamiento topográfico; además de ello con la ayuda de programa “AutoCAD Civil 3D” y su compatibilidad con “Google Earth” se analizarán las alternativas de los posibles trazos, así como también

la delimitación de las cuencas y la obtención de las áreas y la topografía de las mismas.

Dentro del levantamiento topográfico en primera instancia se definirá la alineación por donde se emplazará el diseño, además de encontrar sus coordenadas mediante la utilización de un GPS y desde estos puntos se llevará a cabo la obtención de los puntos del detalle del terreno todo esto mediante la utilización de una Estación Total, posteriormente se realizará la importación de los puntos al programa “AutoCAD Civil 3D”.

Una vez importado el detalle de la topografía mediante la importación de los puntos extraídos de campo, se procederá a graficar las curvas de nivel y a realizar el diseño geométrico mediante la aplicación del programa en estudio “AutoCAD Civil 3D”

2.1 Ubicación del proyecto

La comunidad de “San Pedro de Buena Vista” se encuentra ubicada dentro de la Provincia Cercado del departamento de Tarija y limita al Norte con la comunidad de Sella Cercado, al Este con la ciudad de Tarija, al Oeste con la serranía de la Gamoneda y al Sur con la comunidad de Pampa Galana Norte.

Figura 2.1 Ubicación en el ámbito Departamental

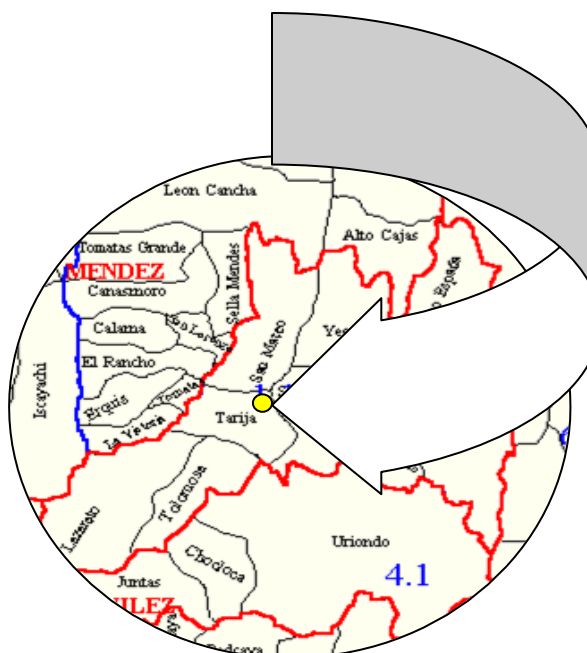
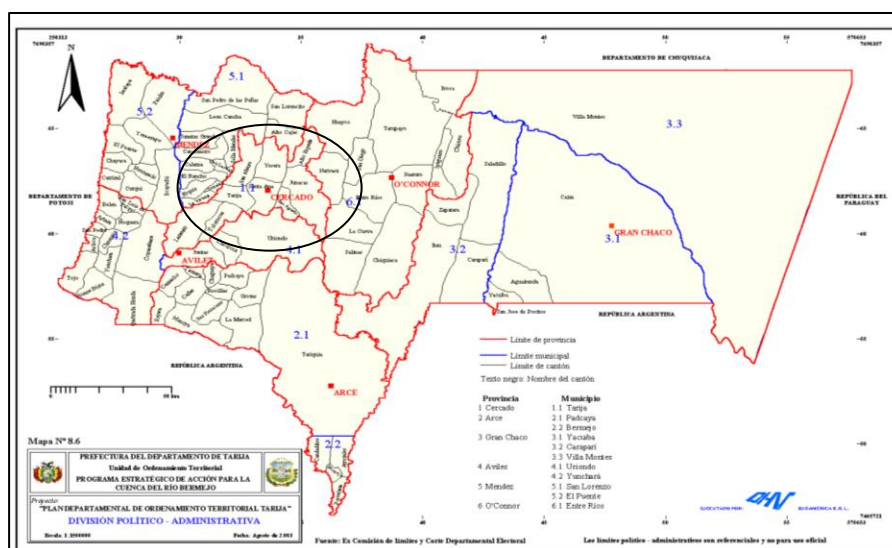
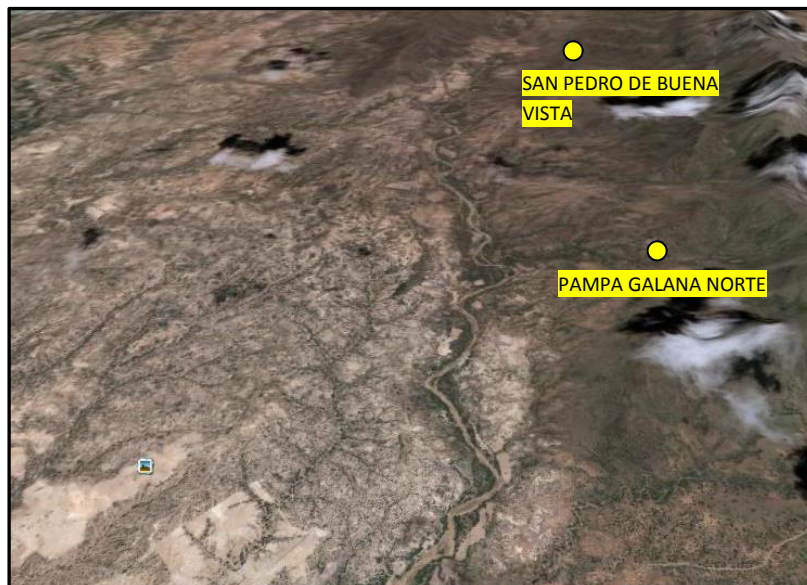


Figura 2.2 Ubicación satelital



2.2 Características del tramo en estudio

El tramo en estudio se encuentra ubicado a 12 km de la ciudad de Tarija, es parte del cantón de Sella y pertenece al distrito Número 17 del municipio de la Provincia cercado del Departamento de Tarija.

2.2.1 Clima

El clima de la zona corresponde al mismo que el de la ciudad de Tarija debido a su proximidad, presentando en la atmósfera frecuentes intercambios de masas de aire tropical y polar y debido a su situación geográfica se encuentra sometida en gran parte del año bajo la influencia de alta presión del Atlántico Sud, lo que significa que la presencia de lluvias prevalecen del Sud y Oeste, por su parte, los vientos que provienen del Norte o Noreste son cálidos y secos provocando ocasionalmente temperaturas máximas extremas de hasta 39°C.

2.2.1.1 Temperatura

La temperatura media anual de la zona varía entre los 19 a 20,7°C. en general la temperatura puede alcanzar valores máximos extremos que varían entre los 38°C. a 39°C. registrados entre los meses de Septiembre a Diciembre, y mínimos extremos de -4.2 a -9.5°C. registrado en los meses de Junio a Agosto presentándose estas temperaturas debido a los vientos del Océano Pacifico.

2.2.1.2 Humedad Relativa

La humedad relativa media anual es de 59% presentándose variaciones de acuerdo a la estacionalidad y de la presencia de lluvias y temperaturas así la humedad relativa en los meses de junio a octubre varia de 50 a 54% mientras que en periodo de Noviembre a Mayo varía entre 58 a 68%.

2.2.1.3 Precipitación pluvial

Lo época lluviosa en la Provincia Cercado se presenta en el periodo del mes de Octubre hasta Abril, caracterizado por precipitaciones cortas con frecuencia e intensidad variable, mientras en el periodo restante meses de Mayo hasta Septiembre la época de estiaje, el déficit de agua en los acuíferos y los drenajes naturales es muy notorio.

Las precipitaciones presentadas en un año normal sobrepasan los 600mm. Lo que indica que en la zona existe la presencia regular de aporte hídrico vertical procedente de lluvias.

Cuadro 2.1 Resumen Climatológico

Periodo considerado 1991- 2011

Estación: SELLA QUEBRADAS
Provincia: MÉNDEZ
Departamento: TARIJA

Latitud S: 21° 23' 11"
Longitud W: 64° 40' 52"
Altura: 2.145 m.s.n.m.

Índice	Unidad	ENE.	FEB.	MAR.	ABR.	MAY.	JUN.	JUL.	AGO.	SEP.	OCT.	NOV.	DIC.	ANUAL
Temp. Max. Media	°C	25,9	25,5	25,2	25,2	24,7	24,6	23,9	25,8	26,2	27,1	26,5	26,5	25,6
Temp. Min. Media	°C	13,5	12,8	12,6	10,1	6,2	4,0	3,6	5,4	7,4	10,9	12,1	13,3	9,3
Temp. Media	°C	19,7	19,1	18,9	17,7	15,4	14,3	13,7	15,6	16,8	19,0	19,3	19,9	17,5
Temp.Max.Extr.	°C	34,5	34,5	34,5	33,9	35,0	33,0	35,0	36,8	38,2	39,6	37,5	38,2	39,6
Temp.Min.Extr.	°C	7,0	2,7	5,0	-1,5	-3,0	-9,5	-9,5	-5,0	-3,0	-1,0	1,0	4,0	-9,5
Días con Helada		0	0	0	0	2	5	7	3	1	0	0	0	18
Humed. Relativa	%	64	67	69	68	60	50	43	42	43	51	55	61	56
Nubosidad Media	Octas	5	5	5	4	3	2	2	2	3	4	5	5	4
Evapo. Media	mm/día	4,31	4,04	3,75	3,73	3,82	4,17	4,12	4,29	4,48	4,92	4,53	4,57	4,23
Precipitación	mm	137,9	113,6	96,6	21,8	5,2	0,7	0,8	2,0	12,0	29,2	63,6	124,4	607,7
Pp. Max. Diaria	mm	78,0	110,0	80,0	40,0	17,2	2,6	3,0	9,5	38,1	32,0	88,5	80,5	110,0
Días con Lluvia		14	12	11	5	2	0	1	1	3	6	9	12	74
Velocidad del viento	km/hr	5,8	5,8	5,5	7,0	6,2	6,5	7,4	9,8	10,3	9,6	13,3	9,7	8,1
Dirección del viento		E	W	W	W	W	W	W	W	W	E	W	W	W

Fuente: SENAMHI

2.2.2 Vegetación

En la vegetación de la zona obedece a la de un clima semiárido, los principales recursos forestales que existen en la comunidad de la zona son: El churqui, algarrobo y otros además de la presencia de terrenos de cultivos.

2.2.3 Geología

El valle de Tarija geológicamente está conformado por una cubierta sedimentaria cuaternaria, compuesta por arcilla, grava y arena de origen fluvio lacustre, con terrazas aluviales que dan al paisaje un aspecto relativamente llano, dicha cubierta es atravesada por depresiones y por lechos planos de ríos secos.

En la zona del proyecto se puede observar que su base está representada por diamictitas de color gris oscuro, luego por pelitas laminadas oscuras con restos palonbotánicos (coksonia) y en la parte superior por areniscas finas de color gris olivo claro pertenecientes al silúrico.

2.3 Topografía del tramo en estudio

La topografía forma parte de una base fundamental en el proceso del diseño de las obras de Ingeniería, se la conoce como la disciplina que reúne y procesa información acerca de las partes físicas del terreno y sus alrededores mediante actividades de campo y gabinete, y es el factor principal en el diseño geométrico de carreteras, ya que nos permite evaluar la mejor alternativa y dentro de ésta los alineamientos, visibilidad, sección transversal y todos los elementos necesarios en el diseño de una vía. Dentro de la clasificación de la de terrenos de acuerdo a normas de la ABC se tiene:

Terreno Llano.- Constituido por amplias extensiones libres de obstáculos naturales y una cantidad moderada de obras construidas por el hombre.

El relieve puede incluir ondulaciones moderadas de la rasante para minimizar las alturas de cortes y terraplenes; consecuentemente la rasante de la vía estará comprendida mayoritariamente entre $\pm 3\%$.

Terreno ondulado.- Constituido por un relieve de constantes cambios de cota lo que obliga a emplear frecuentemente pendientes de distinto sentido que pueden fluctuar entre 3 y 6% de acuerdo a si es un terreno ondulado medio, o uno franco o fuerte según la categoría de la ruta.

Terreno montañoso.- Compuesto por cordones montañosos o cuevas en las cuales el trazado salva desniveles considerables en términos absolutos. La rasante del proyecto presenta pendientes sostenidas de 4 a 9% según la categoría del camino subiendo o bajando, la planta está controlada por el relieve del terreno presentando puntillas, laderas de fuerte inclinación transversal, quebradas profundas, etc.

Al realizar un reconocimiento de campo de acuerdo a las características topográficas del terreno se puede clasificar como un terreno ondulado medio ya que está constituido por un relieve con frecuentes cambios de cota.

2.3.1 Reconocimiento de campo

Llamado reconocimiento o exploración es una evaluación general del territorio caracterizado por el relieve y del área de estudio a través del cual se propone elegir la mejor alternativa de la ruta.

El reconocimiento de la ruta, consistirá en definir la mejor faja de terreno en la cual se desarrollará el trazado del eje de la vía tratando de evitar obstáculos topográficos u otro tipo de dificultades que puedan intervenir en la construcción de la vía o incrementos económicos que afectan en la factibilidad del proyecto; siendo ésta la primera etapa tanto en el planeamiento como en la construcción de carreteras, estableciendo puntos obligados en el cual se distinguen dos, los puntos topográficos o técnicos y los políticos o sociales.

Para realizar el reconocimiento de campo de un determinado tramo requiere de un recorrido general de la zona para poder realizar una inspección visual, además de la utilización de algunos instrumentos útiles como ser: brújula, podómetro, eclímetro, barómetros o altímetros como material de apoyo, cartas geográficas, programa “Google Earth” y material de escritorio.

Para el reconocimiento de campo en este tramo se ubicó un punto de partida mediante la utilización de un GPS correspondiente a las coordenadas (324954, 7623993, 2053.49) para describir su ubicación geodésica, además de establecer la dirección y su sentido posteriormente se realizó un recorrido a lo largo del terreno inspeccionando visualmente las características del lugar donde se establecieron puntos obligatorios de los cuales se pudo destacar los siguientes:

Puntos topográficos y técnicos.- A lo largo del tramo se establecieron tres puntos de los cuales dos corresponden a cruces de pequeñas quebradas y la de mayor consideración que es la quebrada de San Pedro.

Puntos políticos y sociales.-

A lo largo del tramo se encuentran pequeñas agrupaciones de viviendas con sus respectivas parcelas y terrenos de cultivo que vienen a identificarse como puntos obligatorios dentro del diseño del proyecto.

2.3.2 Análisis de alternativas

EL análisis de alternativas consiste en escoger la línea más adecuada, se proyectan utilizando mapas o planos levantados en este caso se aplicó la utilización de imágenes satelitales de google earth para su exportación hacía el programa AutoCAD Civil 3D realizando diversos trazados preliminares para así obtener los planos sobre los cuales se puedan comparar y escoger el más conveniente.

En general, y desde el punto de vista topográfico exclusivamente, estos estudios se adelantan teniendo en cuenta limitaciones: la pendiente (máxima y mínima)

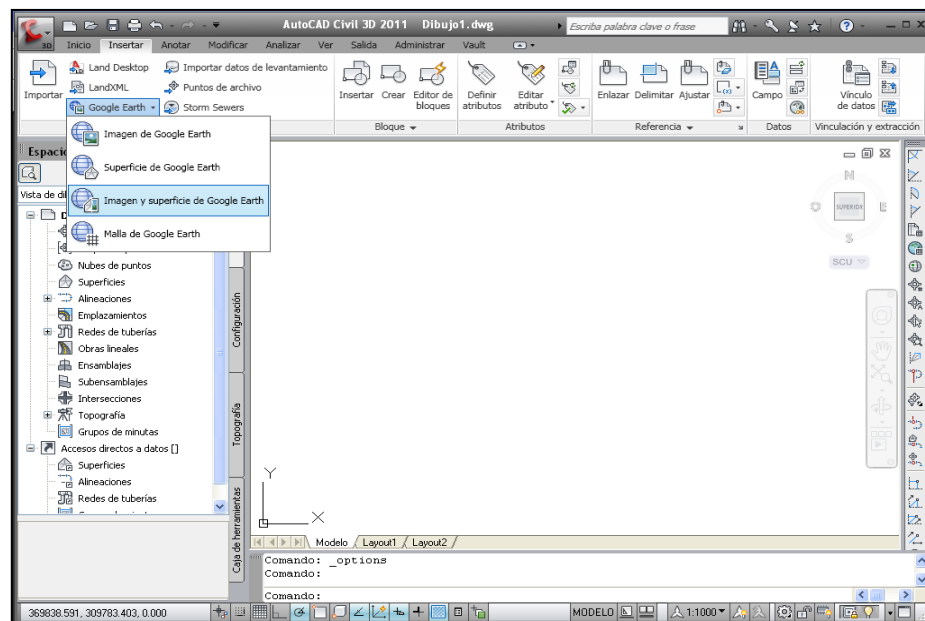
permisible y el paso por los puntos obligados, que son puntos impuestos por la destinación del proyecto o bien por las condiciones mismas del terreno.

2.3.2.1 Importación de imágenes de Google Earth

El programa AutoCAD Civil 3D permite la obtención de datos geospaciales, fotos aéreas preliminares más importantes a través de datos procedentes de Google Earth, debido a su compatibilidad con dicho entorno tanto como para la importación y exportación de datos, los cuáles nos permiten analizar la topografía y características de la zona del proyecto para la creación de alternativas preliminares de diseño de carreteras.

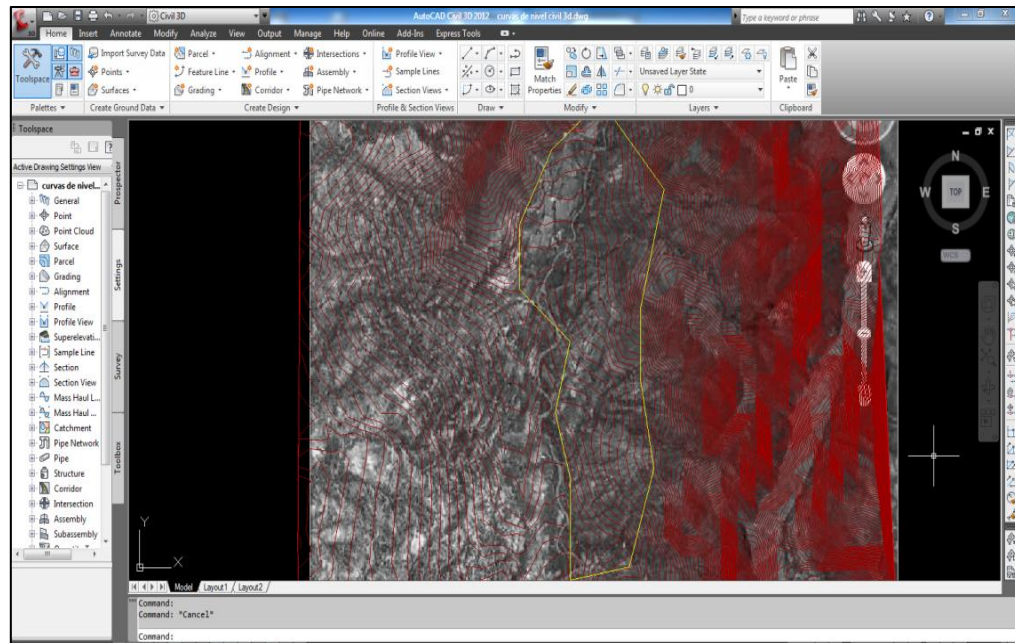
Para este procedimiento es necesario estar conectado al programa Google Earth y la visualización de la zona de donde se desea obtener los datos.

Figura 2.3 Herramienta de importación de imágenes de Google Earth



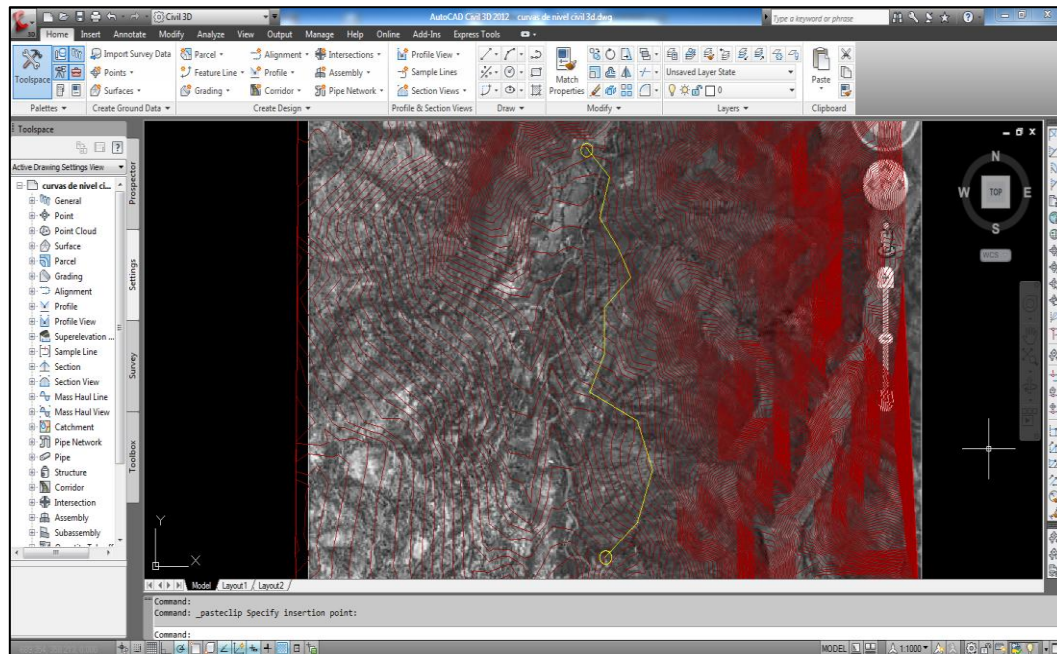
De esta manera se obtiene la topografía de la zona con curvas de nivel lo que nos facilita analizar las pendientes como longitudes de las alternativas planteadas.

Figura 2.4 Imagen de la topografía creada en el programa



Alternativa Número 1.- Esta alternativa nace en la comunidad de San Pedro de Buena Vista presenta un alineamiento relativamente recto, con una longitud aproximada de 6832m, en el cual existen obstáculos como ser la quebrada de San Pedro y se tiene el cruce de pequeñas quebradas que nacen en la serranía de la Gamoneda además de parcelas de cultivo, la alternativa presenta pendientes máximas de hasta un 6%.

Figura 2.5 Alternativa 1



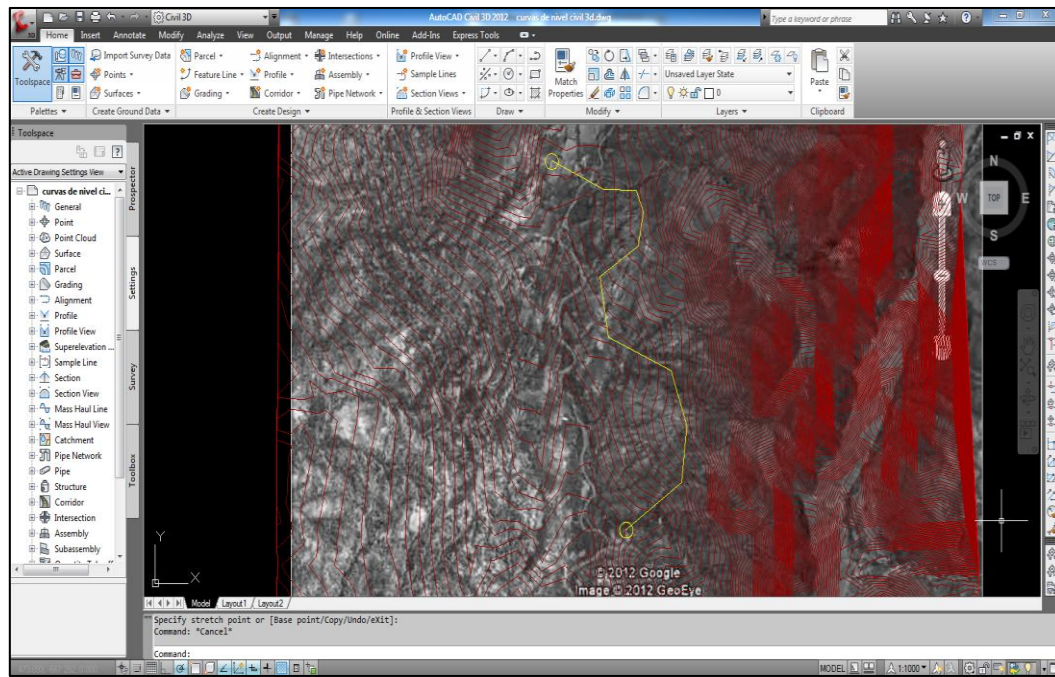
Cuadro 2.2 Longitud alternativa

ALTERNATIVA 1	
TRAMO	LONGITUD (m)
Tramo 1	890
Tramo 2	630
Tramo 3	930
Tramo 4	525
Tramo 5	645
Tramo 6	417
Tramo 7	335
Tramo 8	420
Tramo 9	370
Tramo 10	1110
Tramo 11	560
TOTAL	6832

Fuente: Elaboración propia

Alternativa Número 2.- Esta alternativa tiene inicio en el cruce del camino que une San Pedro con la ciudad de Tarija a 1km de la comunidad, presenta un alineamiento con constantes cambios de dirección, con una longitud aproximada de 6405m, la alternativa atraviesa grandes peñascos con pendientes máximas de hasta un 10%. Igualmente debe atravesar la quebrada de San Pedro y el cruce de pequeñas quebradas que nacen en la serranía de la Gamoneda, como también de parcelas de cultivo.

Figura 2.6 Alternativa 2



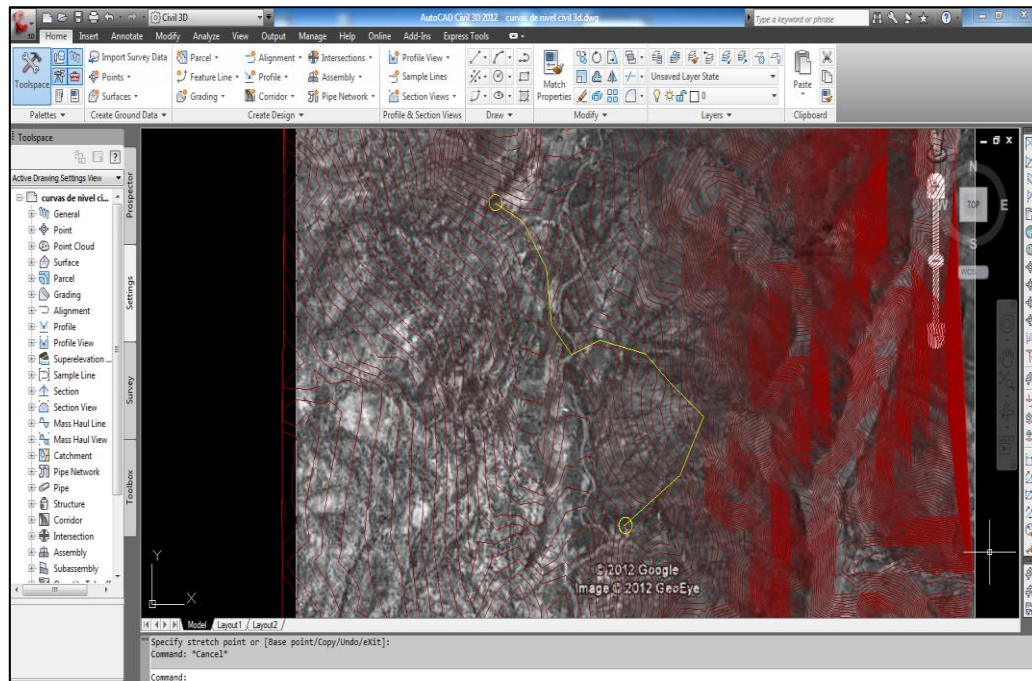
Cuadro 2.3 longitud alternativa 2

ALTERNATIVA 2	
TRAMO	LONGITUD (m)
Tramo 1	250
Tramo 2	650
Tramo 3	410
Tramo 4	760
Tramo 5	790
Tramo 6	450
Tramo 7	495
Tramo 8	735
Tramo 9	1110
Tramo 10	755
TOTAL	6405

Fuente: Elaboración propia

Alternativa Número 3.- Esta alternativa tiene inicio en un punto ubicado a 1.5km de la comunidad de “San Pedro de Buena Vista”, presenta un alineamiento con constantes cambios de dirección, con una longitud aproximada de 5034m, ésta alternativa presenta pendientes máximas de hasta un 6%; su mayor obstáculo es la quebrada de San Pedro y el cruce de 2 quebradas que nacen en la serranía de la Gamoneda, así como también algunas parcelas de cultivo.

Figura 2.7 Alternativa 3



Cuadro 2.4 longitud alternativa 3

ALTERNATIVA 3	
TRAMO	LONGITUD (m)
Tramo 1	457
Tramo 2	489
Tramo 3	462
Tramo 4	368
Tramo 5	403
Tramo 6	476
Tramo 7	459
Tramo 8	490
Tramo 9	480
Tramo 10	950
TOTAL	5034

Fuente: Elaboración propia

2.3.2.2 Selección de la mejor Alternativa

Para optar por la mejor alternativa se tomó en cuenta la longitud virtual expresada por la siguiente ecuación:

$$Lv = \sum lr + \sum \frac{ir * lr}{Cr} \quad Ec 2.1$$

Dónde:

ir =pendiente de cada tramo

lr= longitud de cada tramo

Cr=coeficiente de rodadura por tramos

Lv=longitud virtual de la alternativa

Después de haber planteado tres posibles alternativas y realizar un análisis se puede deducir que la tercera alternativa es la más adecuada para el diseño del tramo, debido a que a pesar de la cantidad de cambios de dirección, alberga la menor longitud con un total de 5703m aproximadamente, como también con pendientes razonables que no sobrepasan el 6% y además es la alternativa con menores obstáculos lo que significaría la menor construcción de obras de arte durante su ejecución.

2.3.3 trabajo de campo

Para obtener la representación gráfica del terreno dentro del programa, es necesario realizar el trabajo de campo o levantamiento topográfico que consiste en obtener las coordenadas de una serie de puntos capturados en el terreno mediante la utilización de instrumentos topográficos, a mayor detalle de puntos se obtendrá una mejor representación gráfica de la topografía del terreno dentro del programa.

Los instrumentos utilizados en el levantamiento son los siguientes:

- Estación total y sus componentes
- GPS
- Brújula

- Material complementario (cinta métrica, libreta de anotaciones, clavos, estacas, pintura y pincel)

2.3.3.1 Procedimiento en campo

Para empezar a realizar en levantamiento topográfico es necesario conocer las coordenadas del punto de partida, es por esto que se realizó la lectura del punto de partida con un GPS, la forma de lectura fue por repetición y un promedio de éstas dieron la longitud, latitud y la altura (X, Y, Z) cuyas coordenadas del punto corresponden a los valores (327181.366, 7221466.4667, 2078.285).

Definido el punto de partida se procedió a instalar la estación total (SOKIA SET 610K, JAPON) con su correcta nivelación para obtener datos cercanos a los de la realidad del terreno, dicho punto caracterizado por una estaca.

Referenciado el punto de partida se procedió a realizar el Levantamiento topográfico a través de un método conocido como Método de las Transversales utilizado en el levantamiento de carreteras, ferrocarriles y canales, esto con el fin de obtener datos en forma ordenada y percatarse de algunos errores que se pueden cometer durante el levantamiento.

Elegido el método de levantamiento que consistió en seccionar la vía a través de secciones transversales que cruzan ortogonalmente con una separación 20 m. en rectas y 10 m. en curvas dependiendo del caso particular de algunos tramos, estas transversales tienen puntos intermedios de un extremo al otro.

Debido al alcance del instrumento, de factores topográficos o restricciones de la visibilidad en la lectura de puntos fue necesario realizar siete cambios de estación con su respectiva coordenada y con un punto auxiliar o de referencia para lograr leer las transversales a lo largo del tramo.

De ahí que al terminar el levantamiento se tiene 297 transversales tomadas a largo del tramo equivalente a 1256 puntos leídos.

2.3.4 Trabajo de gabinete

El trabajo de gabinete consiste en transferir datos de la *Estación Total* tomados en el terreno y llevados a un archivo Excel transformando al formato CSV delimitado por comas, para de esa manera exportarlos al programa AutoCAD Civil 3D y visualizarlos y analizar las coordenadas, ubicación y elevación de cada uno de los puntos y de esa manera crear la topografía del tramo.

2.3.4.1 Puntos

Los puntos son los componentes básicos utilizados para identificar las entidades en los planes de desarrollo del terreno como ubicaciones del terreno y elementos de diseño. Cada punto se identifica de forma exclusiva y tiene propiedades que pueden incluir información como ordenada, abscisa, elevación y descripción.

Los puntos son componentes básicos de AutoCAD Civil 3D. Se pueden utilizar puntos en proyectos de desarrollo de terreno para identificar ubicaciones fijas y elementos de diseño existentes.

En AutoCAD Civil 3D, existen distintas herramientas que permiten crear puntos, trabajar con ellos y gestionarlos; los puntos creados con AutoCAD Civil 3D se denominan puntos COGO (Coordinate Geometry, Geometría de coordenadas), los puntos COGO, además de coordinar datos, tienen una variedad de propiedades asociadas, incluido el número de punto, nombre de punto, código original (campo) y descripción completa (ampliada).

Figura 2.8 Menú de herramientas de importación de puntos

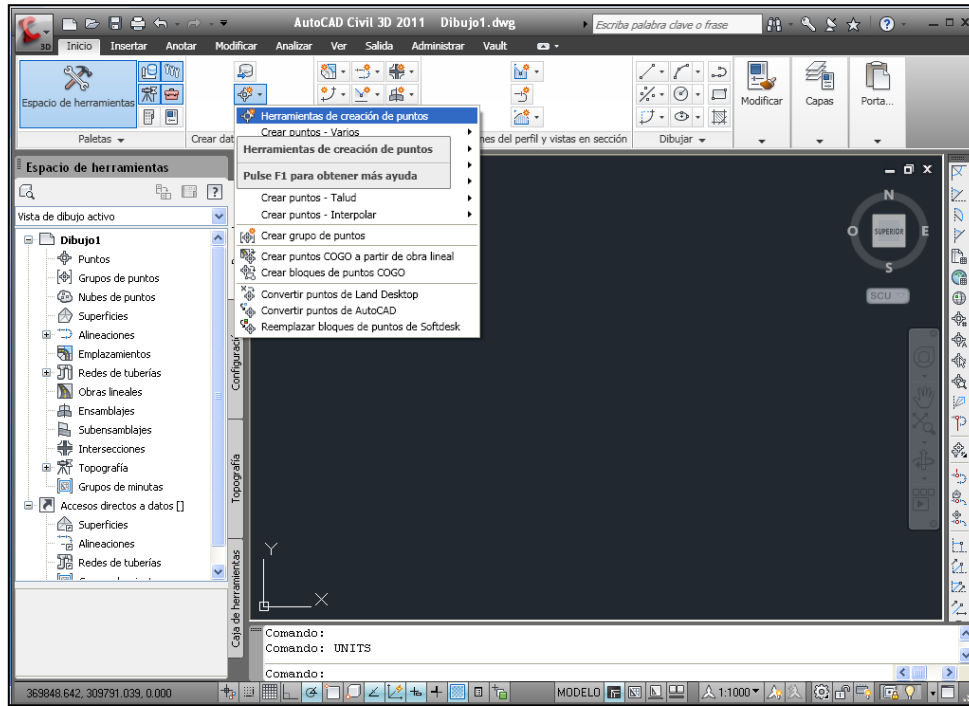


Figura 2.9 Comando de importación de puntos

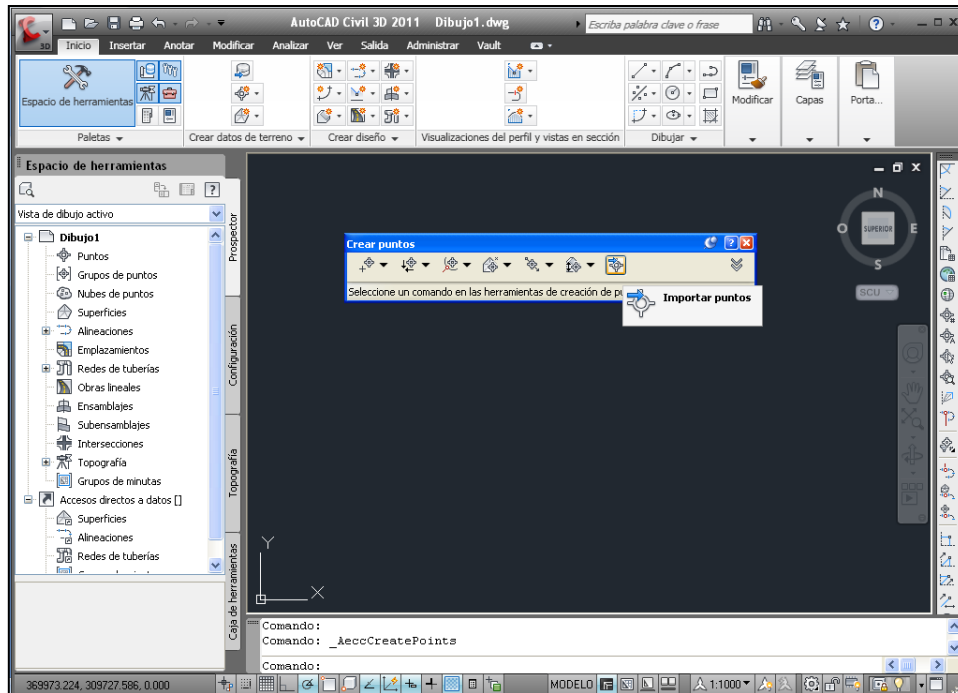
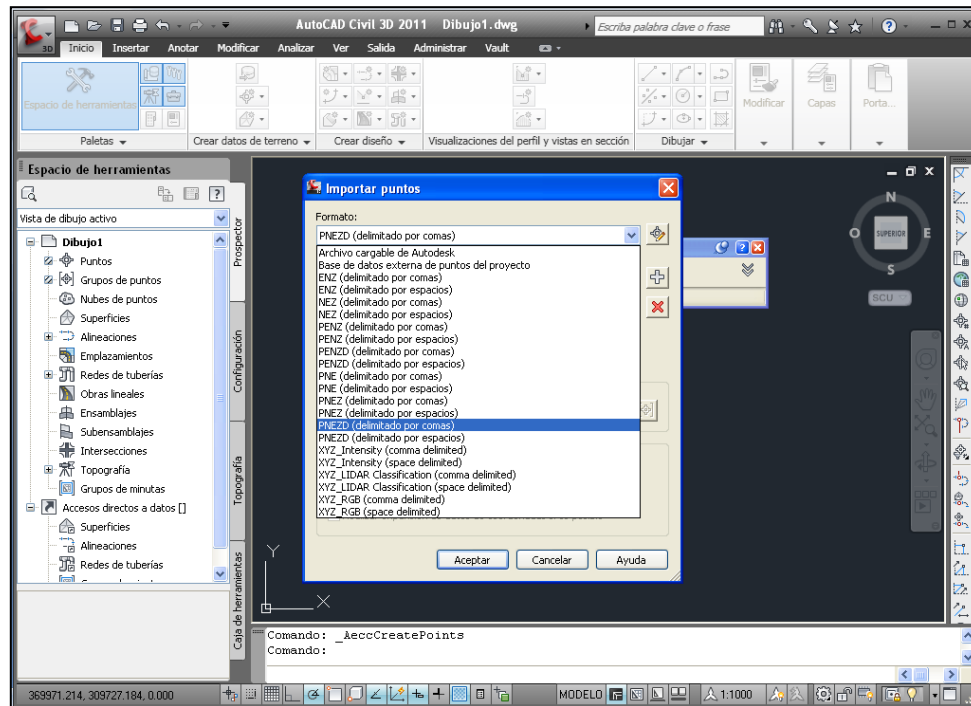


Figura 2.10 Menú de formato de puntos

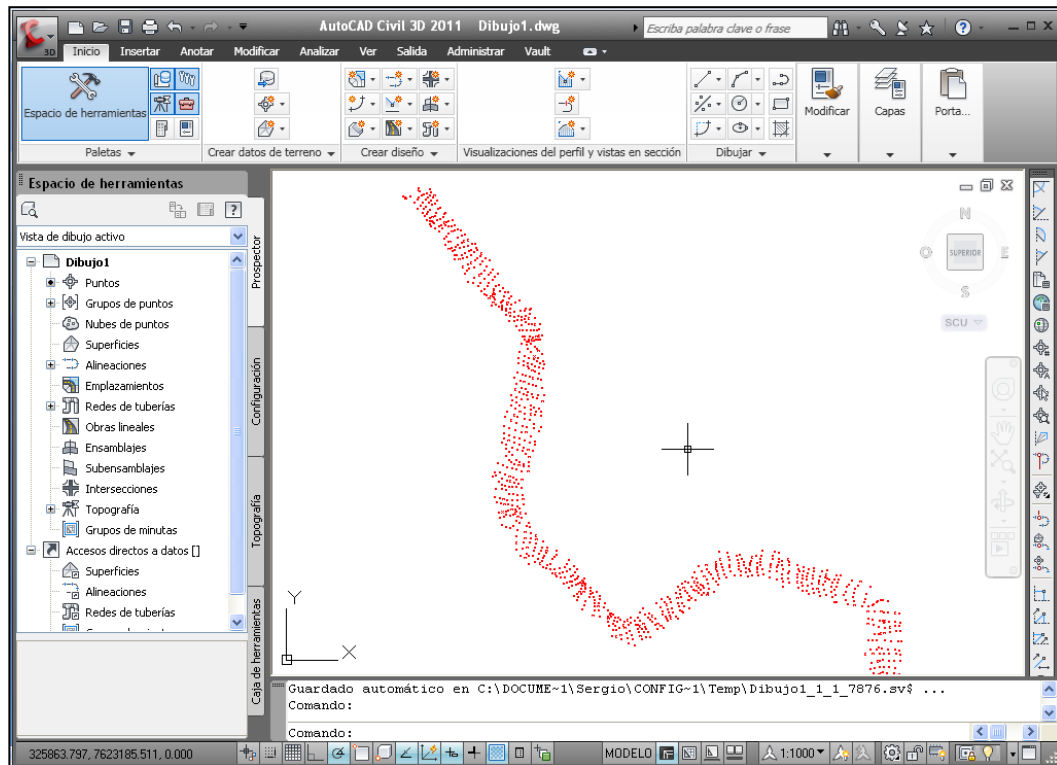


El conjunto de herramientas de AutoCAD Civil 3D permite la importación de datos de topografía, realizar cálculos topográficos y automatizar la colocación de símbolos y el dibujo de líneas además de mostrar de forma gráfica los datos de topografía.

La topografía es creada automáticamente mediante el enlace o unión de puntos de los cuales son componentes básicos utilizados para identificar las entidades de ubicaciones del terreno y elementos de diseño, cada punto se identifica de forma exclusiva y tiene propiedades que pueden incluir información como ordenada, abscisa, elevación y descripción.

Al finalizar la importación de puntos a AutoCAD Civil 3D la gráfica muestra las secciones transversales conformadas por puntos tomadas a lo largo del tramo, cada punto está caracterizado de forma exclusiva y tiene propiedades donde están incluidas la información y ubicación como ser la ordenada, abscisa, elevación y descripción.

Figura 2.11 Puntos importados dentro del programa



Las propiedades de punto especifican toda la información asociada a un punto, incluidos sus datos, como el número de punto, la ordenada, la abscisa y la elevación. En las propiedades para un punto de un dibujo se incluye información sobre la visualización del punto en un dibujo mientras que en las propiedades para un punto de un proyecto se incluye información sobre su estado con respecto al proyecto.

Las propiedades de punto especifican toda la información asociada a un punto, incluidos sus datos, como el número de punto, la ordenada, la abscisa y la elevación. En las propiedades para un punto de un dibujo se incluye información sobre la visualización del punto en un dibujo mientras que en las propiedades para un punto de un proyecto se incluye información sobre su estado con respecto al proyecto.

Cuadro 2.5 descripción de los puntos dentro del programa

Número de punto	Abscisa	Ordenada	Elevación de punto	Nombre	Código original	Descripción completa
1	326650.0000m	7622259.0000m	2075.000m		R0	R0
2	326663.9070m	7622260.0560m	2076.333m		BMD	BMD
3	326609.6130m	7621812.2240m	2053.659m		E0	E0
4	326597.5920m	7621815.3760m	2052.913m			
5	326618.5620m	7621807.0510m	2054.351m			
6	326617.0000m	7621830.3990m	2053.566m		E1	E1
7	326625.3320m	7621826.4290m	2054.112m			
8	326604.8310m	7621836.5380m	2052.761m			
9	326626.2440m	7621858.8060m	2051.907m		E2 INICIO QUEB	E2 INICIO QUEB
10	326636.5630m	7621856.9020m	2051.806m			
11	326599.3840m	7621860.9750m	2051.332m			
12	326649.2490m	7622052.4030m	2061.494m			
13	326646.5320m	7622037.8810m	2059.612m		E6	E6
14	326660.7150m	7622036.4940m	2061.095m			
15	326635.9960m	7622038.6250m	2059.144m			
16	326649.3530m	7622068.3760m	2062.093m		E7	E7
17	326637.0770m	7622071.8450m	2060.935m			
18	326662.4050m	7622069.0360m	2063.501m			
19	326646.1300m	7622095.4760m	2060.894m		E8	E8
20	326638.0070m	7622096.5980m	2060.057m			
21	326660.7760m	7622094.8890m	2062.535m			
22	326650.4080m	7622129.3850m	2061.255m		E9	E9
23	326642.9790m	7622131.5430m	2060.160m			
24	326664.0550m	7622127.3960m	2062.476m			
25	326650.1050m	7622144.6670m	2059.845m		E10 INICIO QUEB	E10 INICIO QUEB
26	326662.6610m	7622143.8820m	2061.050m			
27	326642.5400m	7622146.7690m	2059.359m			
28	326651.6630m	7622149.3920m	2059.040m		EJE QUEB	EJE QUEB

Fuente: Elaboración propia

2.3.5 Superficies

Las superficies son los bloques de construcción básicos de AutoCAD Civil 3D, donde es posible importar información de superficie desde archivos LandXML, TIN (red irregular triangular) y DEM (modelo de digital elevación), así como utilizar puntos, archivos de puntos, datos DEM, objetos de AutoCAD existentes, curvas de nivel, líneas de rotura y contornos para crear superficies.

Las superficies están compuestas por triángulos o rejillas que se crean cuando AutoCAD Civil 3D conecta los puntos que constituyen los datos de la superficie, la

conformación de una superficie en el dibujo, es posible crearla a partir de una superficie vacía y añadirle datos posteriormente, también mediante la importación de archivos existentes que contengan información de superficie; el programa AutoCAD Civil 3D admite los siguientes tipos de superficies:

Creación de una superficie TIN.- Una superficie TIN se compone de los triángulos que forman una red irregular triangular.

Las líneas TIN forman los triángulos que constituyen la triangulación de la superficie. al crear líneas TIN, el programa conecta los puntos de la superficie que están más cerca unos de otros.

La elevación de un punto de la superficie se define mediante la interpolación de las elevaciones de los vértices de los triángulos en los que se encuentra dicho punto.

Las superficies TIN resultan útiles sobre todo: Para trazar superficies muy variables que cuentan con datos de muestreo distribuidos de forma irregular y representar la influencia de líneas de carreteras además de examinar áreas concretas (mapas a gran escala).

Curvas de nivel.- Los datos de curvas de nivel de superficie se crean a partir de polilíneas cuyos puntos se encuentran en la misma elevación la cual Sólo se pueden añadir a las superficies TIN.

La información obtenida de un mapa de curva de nivel depende directamente de la medida de los datos de campo obtenidos aleatoriamente, dado que los datos de un mapa de curva de nivel están interpolados, la precisión del modelo de superficie final depende de la calidad del mapa de curva de nivel y del intervalo de curva de nivel.

Figura 2.12 Comando de creación de Superficies

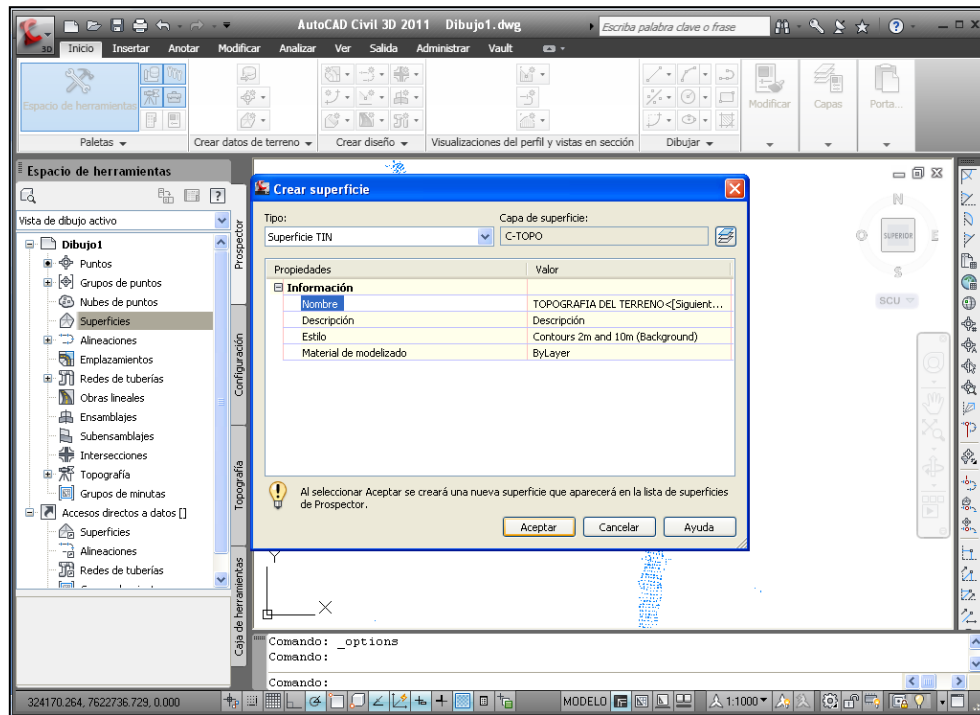


Figura 2.13 Comando de adición de puntos a una superficie

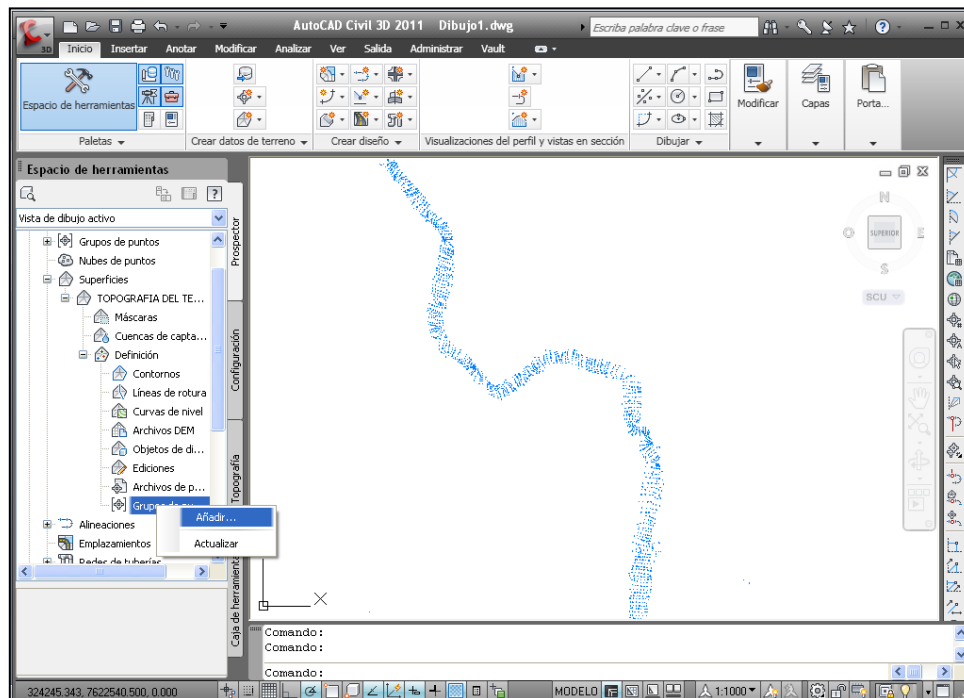
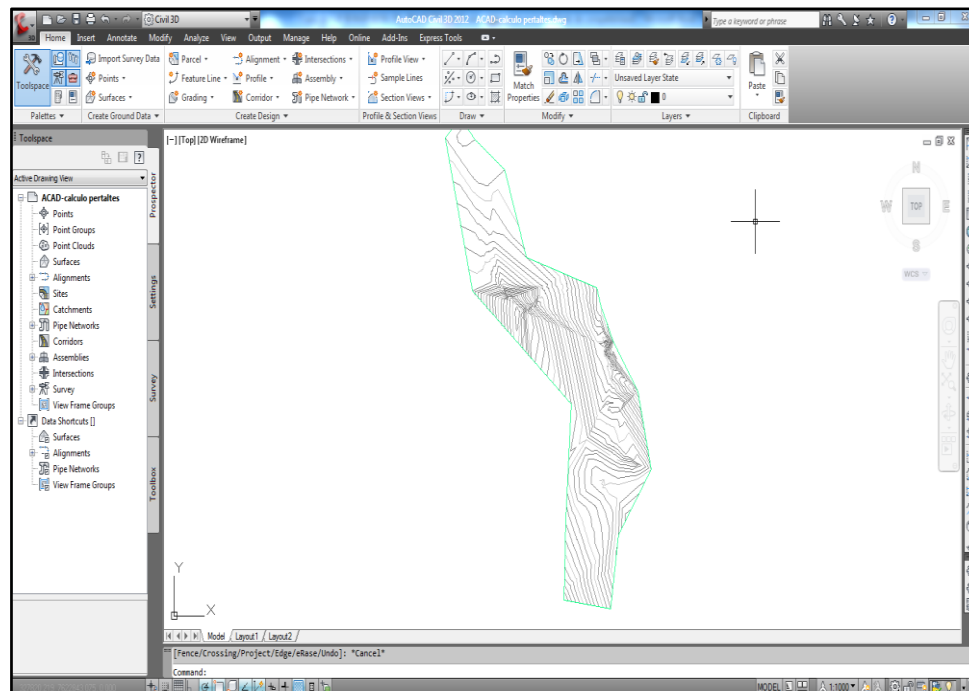


Figura 2.14 Imagen de la superficie creada



2.4 Diseño Geométrico

El diseño geométrico es el primer aspecto que se considera al diseñar una carretera o camino, corresponderá a definir un eje longitudinal tratando de ajustar curvas mejorando así sus condiciones geométricas, el diseño en planta como perfil de tal manera que ofrezca seguridad, comodidad y estética tanto para el conductor como para los peatones.

2.4.1 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño geométrico cumplen un rol muy importante en el trazado de caminos y carreteras, debido a que involucra a los diferentes factores como ser:

Factores funcionales.- Dentro de los factores funcionales se encuentran las especificaciones técnicas para un diseño.

Factores físicos.- Los factores físicos estudian las condiciones impuestas por la naturaleza en la zona del trazado donde frecuentemente se presentan restricciones que obligan a realizar modificaciones en los diseños.

Factores de costo asociados en la carretera.- Estos factores son consecuencia de la categoría de diseño adoptada de acuerdo a los estudios económicos y financieros.

Factores humanos y ambientales.- En la realidad actual de nuestro país viene a ser el factor más importante, ya que se encuentra directamente relacionado con las características de la comunidad a la que se pretende llegar y al medio ambiente en que ésta se inserta en estrecha relación con la idiosincrasia de los usuarios, el uso de la tierra adyacente al eje vial y aspectos impacto-ambientales.

2.4.1.1 Derecho de Vía

El derecho de vía es la faja de terreno dentro de la cual se alojan el camino o carretera y sus servicios auxiliares, la anchura mínima absoluta es de 50m a cada lado del eje de la vía mismo valor adoptado para el tramo en estudio “San Pedro de Buena Vista-Pampa Galana”.

2.4.1.2 Categoría de la Vía

Las características técnicas que puedan presentar las carreteras son muy diversas, lo que demandaría un conjunto específico de patrones de diseño para cada una, debidamente ajustado a las peculiaridades de cada situación siendo así una concepción ideal para ello se creó una cierta uniformidad y normalización de dichas características técnicas que recomiendan el agrupamiento de las carreteras en determinadas categorías de diseño.

Para definir la categoría, se utilizaron dos factores fundamentales como el volumen de tráfico y la topografía, en consecuencia de un análisis mecánico se obtuvo la siguiente clasificación:

Cuadro 2.6 Clasificación de categorías

CATEGORIA		AUTOPISTAS	AUTORRUTAS	PRIMARIOS	COLECTORES	LOCAL	DESARROLLO
VELOCIDADES DE PROYECTO (km/m)		120-100-80 LL - O - M	100-90-80 LL - O - M	100-90-80 LL - O - M	80-70-60 LL - O - M	70-60-50-40 LL - O - M	50-40-30 LL - O - M
PISTAS DE TRANSITO		UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES	UNIDIRECCIONALES O	BIDIRECCIONALES O	BIDIRECCIONALES	BIDIRECCIONALES
FUNCION	Servicio al tránsito de paso	Prioridad absoluta	Prioridad absoluta	Consideración principal	Continuidad de tránsito y acceso a la propiedad de similar importancia	Continuidad de tránsito Consideración secundaria	
	Servicio a la propiedad adyacente	Control total de acceso	Control total de acceso de vehículos	Control parcial de acceso		Consideración primaria	
CONEXIONES	Se conecta con	Autopistas, Autorrutas, Primarios (colectores)	Autorrutas, autorrutas primarios, colectores	Autopistas, autorrutas prim. Y colectores (locales)	Todos	(primarias) colectores, locales desarrollo	Colectores Locales Desarrollo
	Tipo de conexión	Enlaces	Enlaces Accesos direccionales	Enlaces intersecciones (acc. Directo)	Todos	(Intersección) Acceso directo	Acceso directo
CALIDAD DE SERVICIO	Nivel de servicio(1) Años Iniciales Año Horizonte	A, B C	B(2) C(D)	B C, (D)	C (2) (D)	No aplicable	
	Tipo de Flujo	Libre Estable	Libre Estable (proximo a inestable)	(Libre) Estable (Proximo a inestable)	Estable con restricción (proximo inestable)	Restringido por movimientos hacia desde la propiedad	
	Velocidad de Op. (1) (3) Según demanda Rango probable	115 - 95 km/h	95 - 90 km/h	95 - 85 km/h	80 - 70 km/h	70 - 80 km/h	50 - 25 km/h
TRANSITO	Volumenes típicos al año inicial TPDA	UD > 10000 confirmar fact. Economica	UD > 5000	BD > 1500 UD > 3000	BD > 500 UD: caso especial	Tránsito y composición variable según el tipo de actividad: Agrícola, Minera, Turística	
	Tipo de vehículo	Solo vehi. Diseñados para circular normamente en carreteras	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Vehículos motorizados y autorizaciones especiales	Todo tipo de vehículos	Vehículo liviano y camiones medianos	

Fuente: Manual de diseño Geométrico ABC.

De acuerdo a esta clasificación, según sus características el tramo a diseñar “San Pedro de Buena Vista-Pampa Galana” pertenece a un camino de desarrollo por ello se tomarán los factores funcionales que corresponden a este tipo de camino.

2.4.1.3 Diseños de alineación según normas

Las normas de diseño especifican las opciones de velocidad de proyecto para seleccionar puntos del dibujo en los que se desea asignar velocidades de circulación para ayudar en el diseño y etiquetado. Al asignar una velocidad de proyecto a la alineación, esa velocidad se aplica a todos los puntos posteriores de la alineación, a menos que se aplique otra velocidad en algún punto.

La característica de diseño según normas permite verificar que el diseño de la alineación cumple las normas mínimas requeridas por un organismo local, si se utiliza la característica de diseño según normas, puede seleccionar un archivo de normas de diseño, a partir del cual es posible especificar el método de definición de peraltes y las tablas de longitudes mínimas de radio y transición (espiral).

Los valores de longitudes mínimas de transición se generan automáticamente usando el radio de curva especificado. Si no hay ninguna curva asociada a la espiral, el valor mínimo es el radio de espiral aceptable más pequeño.

Un archivo de normas de diseño contiene las tablas que especifican las normas de diseño mínimas adecuadas para alineaciones o perfiles, el archivo de normas de diseño contiene las normas mínimas de diseño de los objetos de alineación y perfil.

Los archivos de normas de diseño que contienen normas A.A.S.H.T.O. en unidades métricas e imperiales se incluyen en AutoCAD Civil 3D, si las normas del organismo local difieren de las de los archivos de normas de diseño suministrados dentro del programa, es posible realizar una nueva configuración, para personalizar el archivo de forma que admita las normas locales.

Los archivos de normas se basan en los siguientes aspectos:

Alineaciones horizontales

- Radio mínimo para una velocidad de proyecto dada
- Método de definición de peraltes
- Peralte para un radio dado
- Longitud de transición mínima para un radio dado

Alineaciones verticales

- Visibilidad de parada
- Visibilidad de adelantamiento
- Visibilidad de iluminación

2.4.2 La velocidad en el diseño Vial

Uno de los factores primordiales en el diseño geométrico de carreteras y caminos es la velocidad ya que de ella depende el tiempo estimado para el transporte de personas o cosas de un sitio determinado a otro. La velocidad adoptada influye directamente en las características de la carretera y camino vecinal a proyectarse lo cual da la pauta del nivel de operabilidad que tendrán los vehículos que circulen por esos tramos, además es un parámetro utilizado para el cálculo de los demás elementos geométricos del diseño.

La velocidad en el diseño vial es adoptada de acuerdo a las características del terreno, el tipo de vía a proyectar y el tráfico con el fin de establecer valores máximos de velocidad con las que un vehículo podrá mantenerse con seguridad sobre una sección determinada de la carretera, cuando las circunstancias sean favorables para que prevalezcan las condiciones de diseño.

La velocidad en un proyecto fija el marco de referencia mínimo que define el diseño geométrico de una carretera o camino, principalmente en lo relativo a su trazo

horizontal y vertical, dentro del rango de velocidades posibles para cada categoría se justificarán las más altas en terrenos llanos o ligeramente ondulados y las más bajas para relieves montañosos o escarpados, esto no solo por las consideraciones de costo sino también por la propia operabilidad y comodidad del usuario.

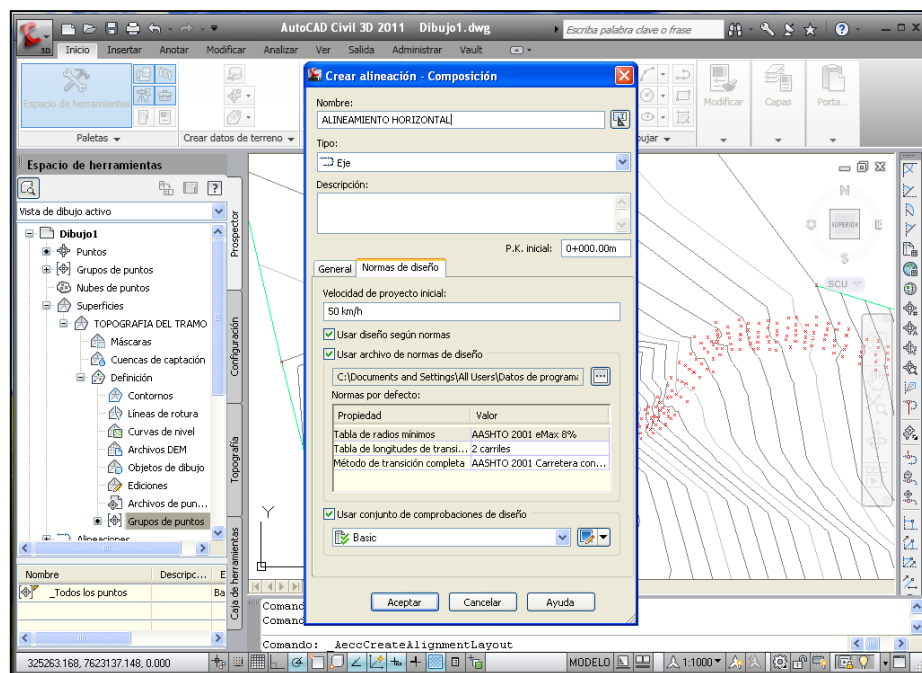
2.4.2.1 Velocidad de Proyecto

Es la velocidad de proyecto que permite definir las características geométricas mínimas de los elementos del trazado bajo condiciones de seguridad y comodidad.

La velocidad de proyecto de categoría dada dependerá fundamentalmente de la función asignada a la carretera o camino, del volumen y composición del tráfico previsto, y de la topografía de la zona de emplazamiento.

El primer parámetro para el diseño geométrico en el programa AutocAD Civil 3D es la determinación de la velocidad de proyecto, ya que ésta se aplicará a toda la alineación creada; de acuerdo a la clasificación de este tramo a diseñarse se plantea como velocidad de proyecto 50km/h.

Figura 2.15 Introducción de la velocidad adoptada en el programa



2.4.3 Alineamiento horizontal

El alineamiento horizontal es una representación en planta del eje de la vía materializada por rectas que se conectan entre sí por enlaces, éstos pueden ser mediante curvas circulares o espirales, el alineamiento horizontal deberá permitir la operación ininterrumpida de los vehículos, tratando de conservar la misma velocidad directriz en la mayor longitud de carretera que sea posible.

En general, el relieve del terreno es el elemento de control del radio de las curvas horizontales y el de la velocidad directriz esta última, a su vez, controla la distancia de visibilidad, el trazado en planta de un tramo se compondrá de la adecuada combinación de los siguientes elementos: recta, curva circular y curva de transición.

Para el diseño geométrico en Civil 3D la creación y definición de alineaciones horizontales es uno de los primeros pasos del diseño de carreteras, ya que se configura la geometría de alineación a lo largo del tramo en estudio enlazando mediante líneas los puntos descritos como ejes en el levantamiento topográfico, para posteriormente enlazar las rectas mediante el trazado de curvas circulares o espirales de acuerdo al comportamiento de cada una de éstas en la topografía obtenida del terreno.

Mientras que se pueden seleccionar varias combinaciones de espiral de entrada, curva y espiral de salida, los parámetros establecidos en curvas y espirales son los Radios mínimos, de acuerdo a la velocidad de proyecto dado y el peralte máximo según AASHTO 2001.

Figura 2.16 Herramientas de creación de alineaciones

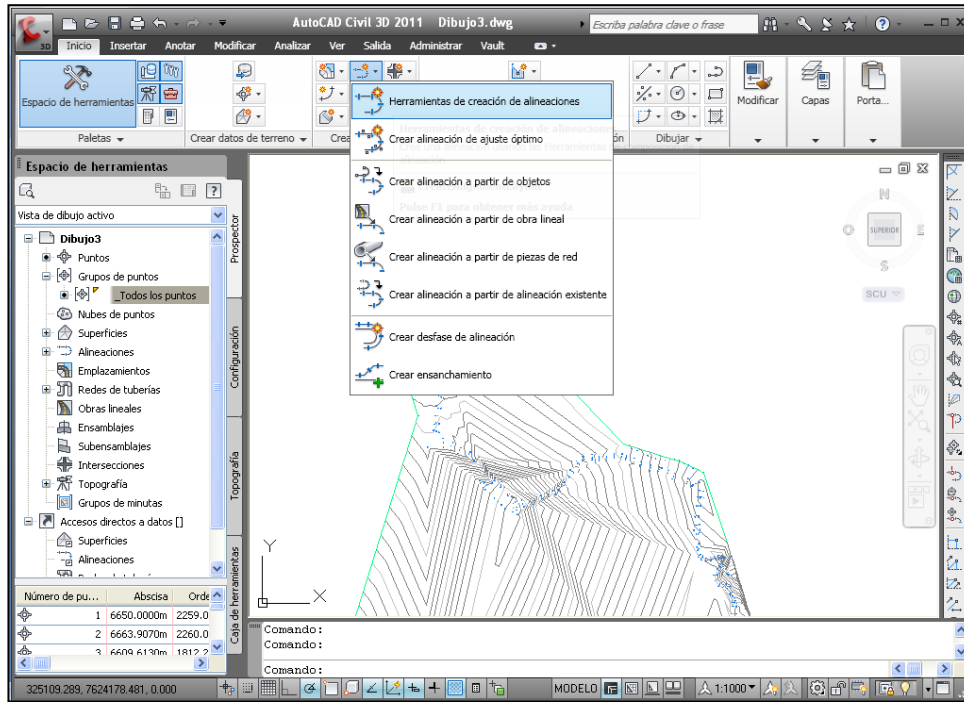


Figura 2.17 Herramientas de acuerdo de las alineaciones

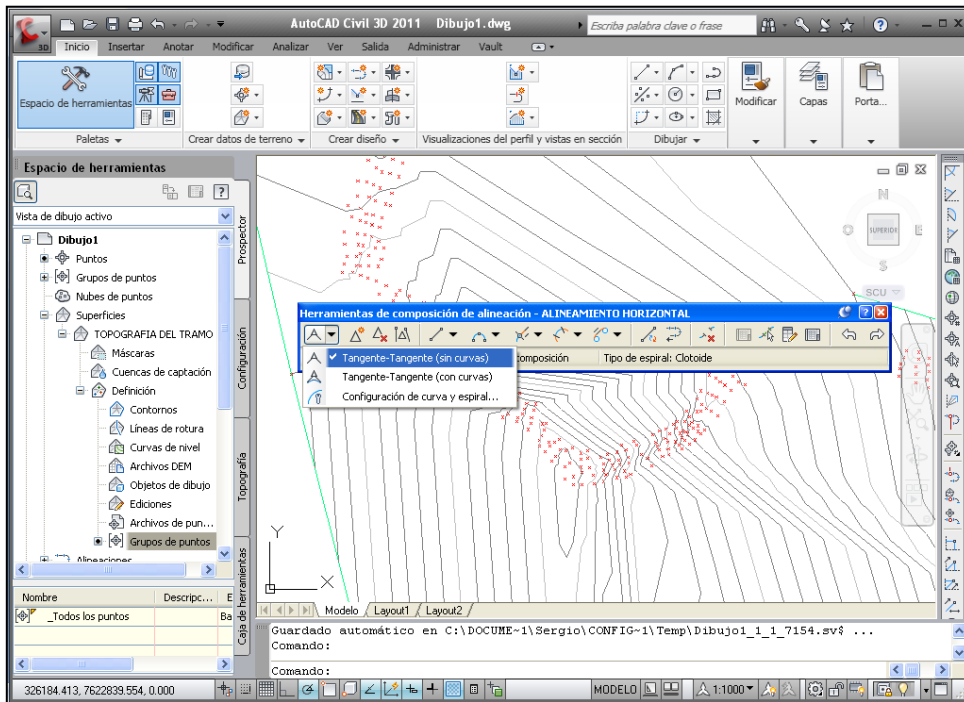
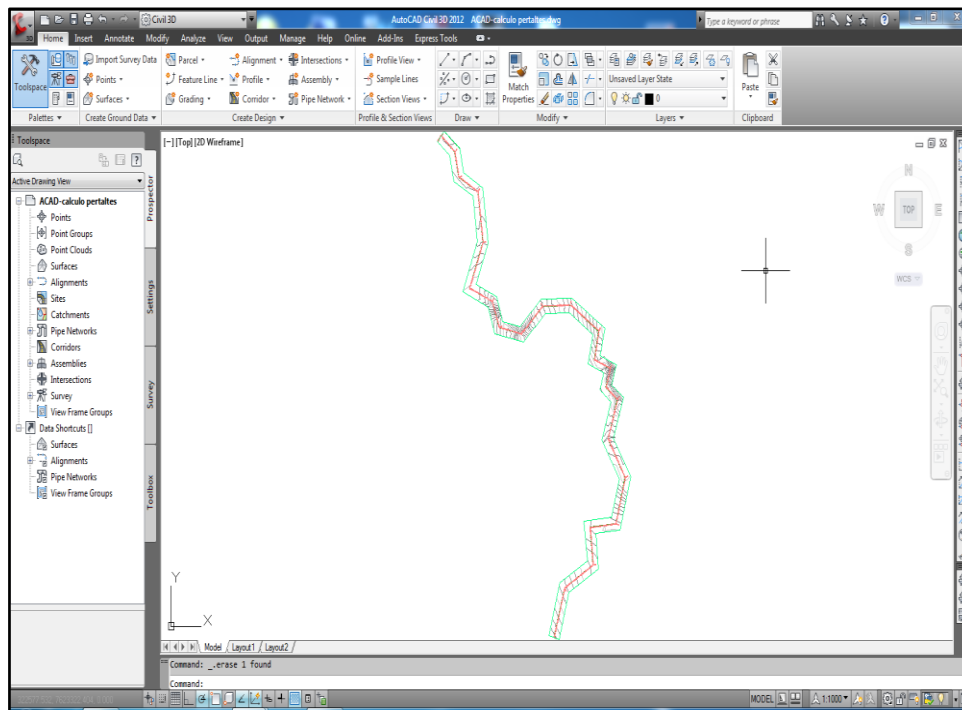


Figura 2.18 Imagen del Alineamiento horizontal en el programa

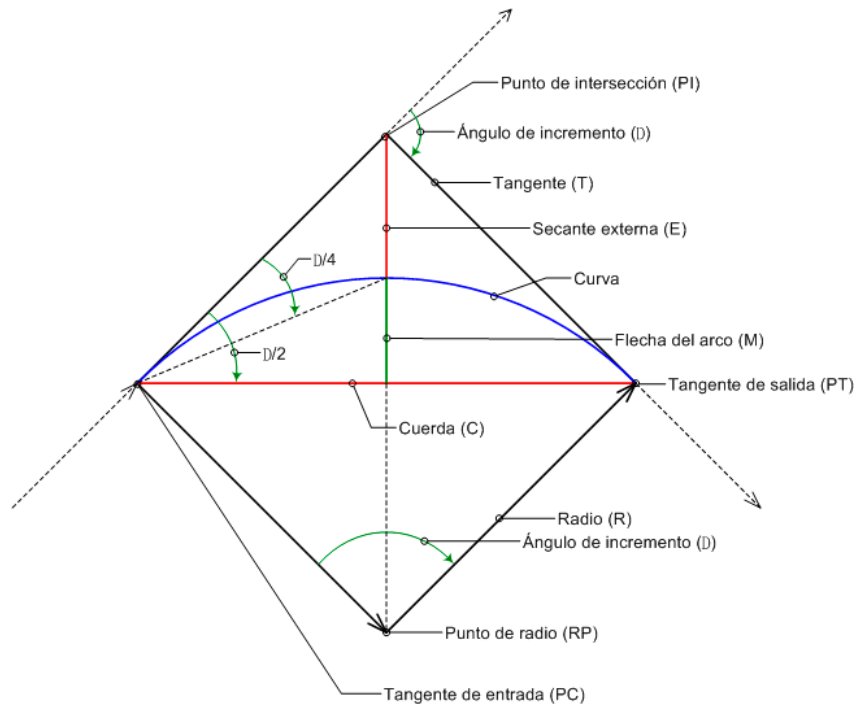


2.4.3.1 Curvas Horizontales

Las curvas horizontales pueden ser de dos tipos de curvas circulares, curvas clotoide. El tramo del presente proyecto “San Pedro de Buena Vista – Pampa Galana se encuentra en un terreno ondulado medio, donde intervendrán radios de diferentes curvaturas que deberán adecuarse a las normas del diseño.

De acuerdo a la configuración de una curva en AutoCAD Civil 3D está compuesta por los siguientes elementos.

Figura 2.19 Elementos de una curva simple



Tangente:

$$T = R \cdot \operatorname{tang} \left(\frac{D}{2} \right) \quad \text{Ec. 2.2}$$

Externa:

$$E = R \cdot \left(\operatorname{sec} \left(\frac{D}{2} \right) - 1 \right) \quad \text{Ec. 2.3}$$

Flecha:

$$M = R \cdot \left(1 - \cos \left(\frac{D}{2} \right) \right) \quad \text{Ec. 2.4}$$

Desarrollo:

$$D = \frac{\pi \cdot R \cdot D}{180} \quad \text{Ec. 2.5}$$

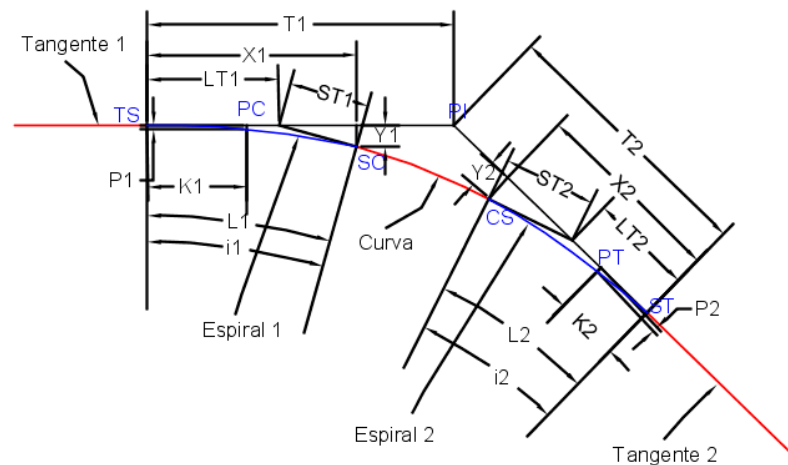
Longitud:

$$L = 2 \cdot R \cdot \operatorname{sen} \left(\frac{R}{2} \right) \quad \text{Ec. 2.6}$$

En un diseño geométrico se utilizan varias curvas de transición para introducir gradualmente curvatura y peralte entre tangentes y curvas circulares, así como entre dos curvas circulares con curvatura diferente.

Los dos parámetros que los ingenieros utilizan con más frecuencia en el diseño y configuración de una espiral son L (longitud de espiral) y R (radio de curva circular).

Figura 2.20 Elementos de una Clotoide



$i1$: Ángulo central de una curva espiral $L1$, que es el ángulo de la espiral.

$T1$: Distancia de tangente total de PI a TE.

$X1$: Distancia de tangente en EC desde TE.

$$X1 = L * \left(1 - \left(\frac{L^2}{40 * R^2} \right) + \frac{L^4}{3456 * R^4} \right) \quad \text{Ec. 2.7}$$

Y1: Distancia de desfase de tangente en EC desde TE.

$$Y1 = \frac{L^2}{6 * R} * \left(1 - \left(\frac{L^2}{56 * R^2} \right) + \frac{L^4}{7040 * R^4} \right) \quad \text{Ec. 2.8}$$

P1: Desfase de la tangente inicial hacia el PC de la curva desplazada.

K1: Abscisa del PC desplazado referente a TE.

LT1: Espiral de entrada de tangente larga.

ST1: Espiral de entrada de tangente corta.

Otros parámetros de espiral

$$A = \sqrt{L \cdot R} \quad \text{Ec. 2.9}$$

A: Parámetro de la clotoide

L: Longitud de la Espiral (m)

R: Radio de la Curva (m)

Cuadro 2.7 Radios y Longitudes Mínimas para el diseño de una curva clotoide

Vp	Rmin	L min
40	50	41
50	80	44
60	125	48
70	175	52
80	230	57
90	305	57
100	395	65
110	500	70
120	665	76

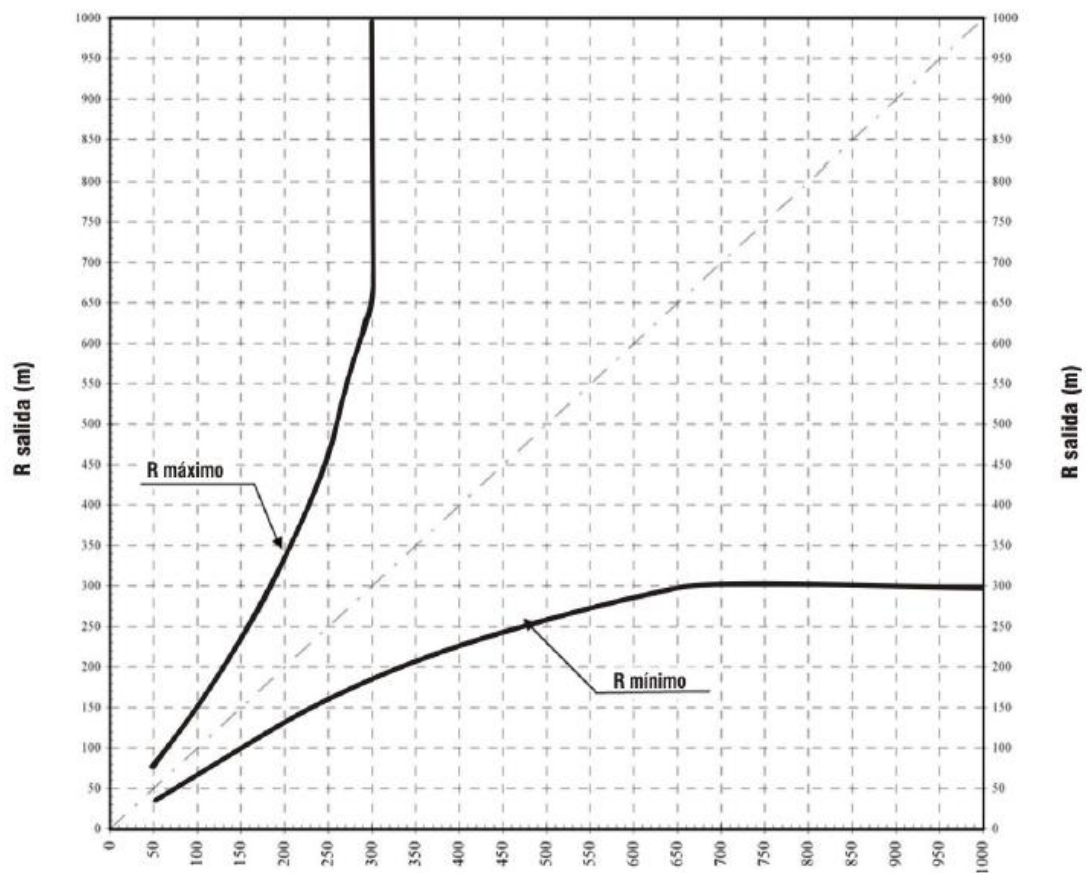
Fuente: Manual de diseños AutoCAD Civil 3D 2011

2.4.3.2 Dimensionamiento

Para realizar el dimensionamiento de la alineación horizontal se aplicaron las normas de diseño del programa AutoCAD Civil 3D, Como ser radios mínimos y peraltes máximos, como también analizando los parámetros aplicados por la ABC para un dimensionamiento en planta.

Figura 2.21 Relación entre radios

COLECTORES Y LOCALES



De acuerdo a las Normas de diseño es posible seleccionar varias combinaciones de espiral de entrada, curva y espiral de salida, los parámetros establecidos en curvas y espirales son los Radios mínimos, de acuerdo a la velocidad de proyecto dado y el peralte máximo.

Cuadro 2.8 Radios Mínimos a partir de velocidades de diseño peralte Máx. 4-6-8 %

PERALTE MÁXIMO 4%	
Velocidad (Km/h)	Radio Mínimo (m)
20	15
30	35
40	60
50	100
60	150
70	215
80	280
90	375
100	490
PERALTE MÁXIMO 6%	
Velocidad (Km/h)	Radio Mínimo (m)
20	15
30	30
40	55
50	90
60	135
70	195
80	250
90	335
100	435
110	560
120	755
130	950

PERALTE MÁXIMO 8%	
Velocidad (Km/h)	Radio Mínimo (m)
20	10
30	30
40	50
50	80
60	125
70	175
80	230
90	305
100	395
110	500
120	665
130	830

Fuente: Manual de diseños AutoCAD Civil 3D 2011

Cuadro 2.9 Radios Mínimos a partir de velocidades de diseño Peralte Máx. 10-12 %

PERALTE MÁXIMO 10%	
Velocidad (Km/h)	Radio Mínimo (m)
20	10
30	25
40	45
50	75
60	115
70	160
80	210
90	275
100	360
110	455
120	595
130	740

PERALTE MÁXIMO 12%	
Velocidad (Km/h)	Radio Mínimo (m)
20	10
30	25
40	45
50	70
60	105
70	150
80	195
90	255
100	330
110	415
120	540
130	665

Fuente: Manual de diseños AutoCAD Civil 3D 2011

El dimensionamiento horizontal en planta consiste en empalmar entre dos tangentes una curva a lo largo de la alineación que se adecúe a la topografía y los parámetros de diseño propuestos.

Diseño curva Clotoide:

Figura 2.22 Comando de diseño de curvas clotoides

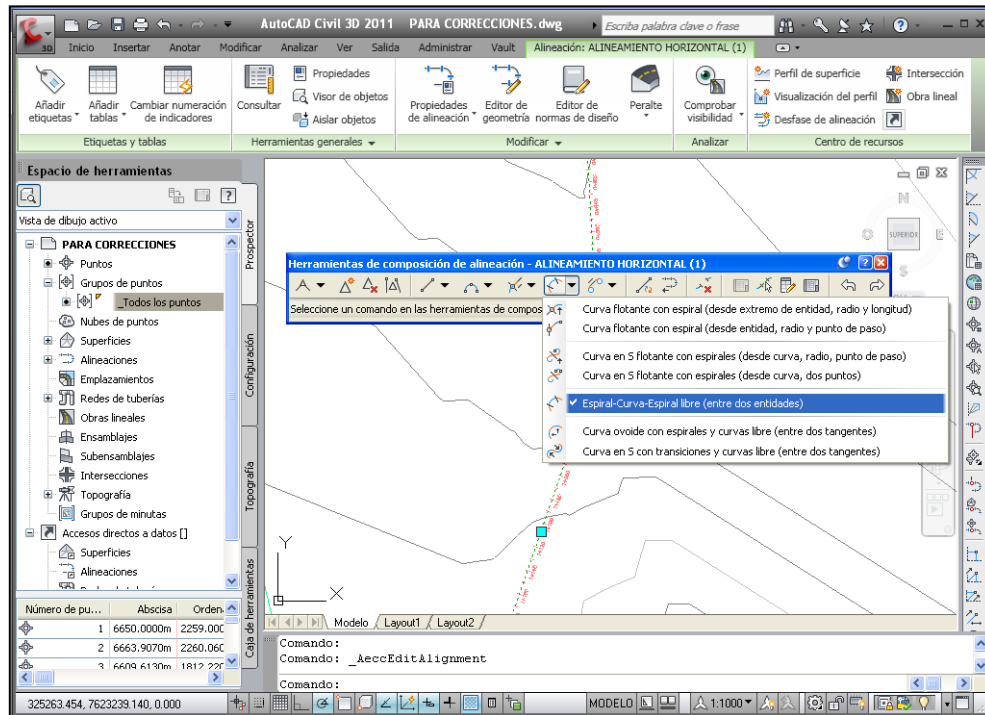
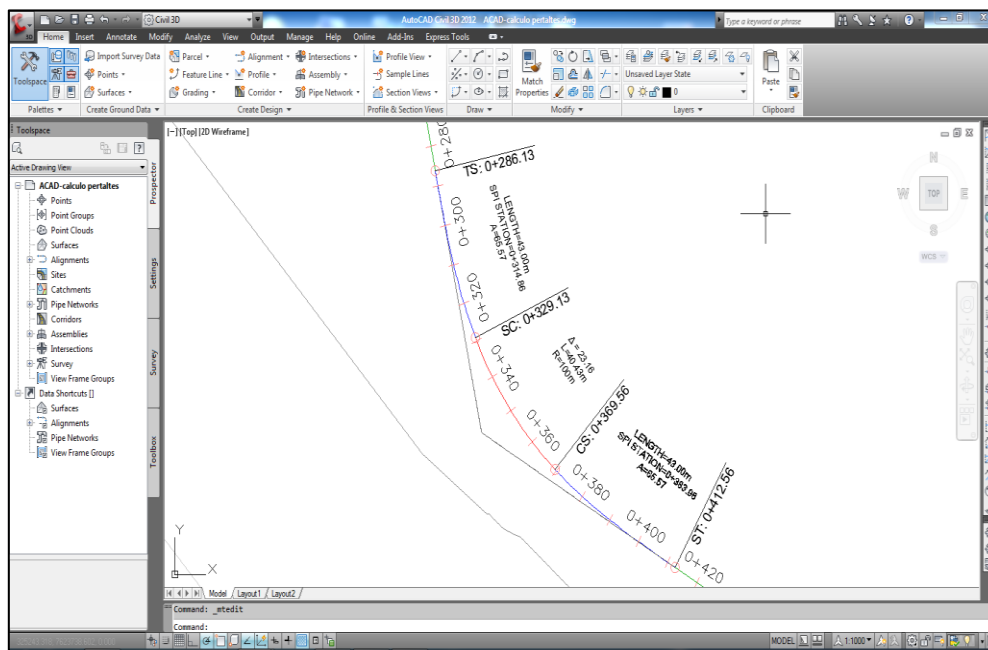


Figura 2.23 Imagen de una curva clotoide en el diseño



La tabla contiene los datos de la alineación horizontal donde se observa los valores de las rectas y curvas al igual que sus parámetros que la componen.

Cuadro 2.10 Resultado del dimensionamiento curva de transición

CURVA Nº 1			
CURVA DE TRANSICIÓN			
	TS :	0+117.71	ST : 0+225.32
Vp	=	50	km/h
emax	=	7.8	%
ELEMENTOS DE LA CURVA DE TRANSICION			
R	=	100	mts. Radio de la Curva Circular
A	=	65.57	mts. Parámetro de la Clotoide
L	=	43	mts. Longitud de la Espiral
ΔC	=	12.38	grados. Deflexión de la curva circular
ΔS	=	12.318597	grados. Deflexión parte de la espiral
Δ	=	37.017194	grados. Deflexión total de la curva
COORDENADAS			
X	=	42.8012325	mts.
Y	=	3.081666667	mts.
Xpc	=	21.46648216	mts.
Ypc	=	0.779304447	mts.
Ts	=	55.20358102	mts.
Es	=	6.27633812	mts.
D	=	107.5962222	mts.

Fuente: Elaboración propia

Diseño curva circular simple

Figura 2.24 Comando de diseño de curvas simples

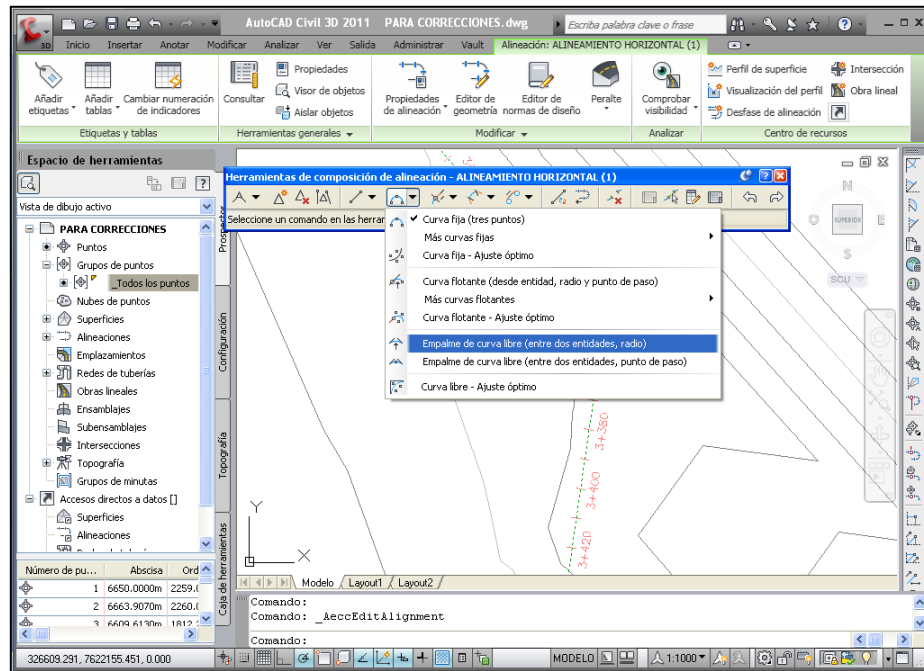
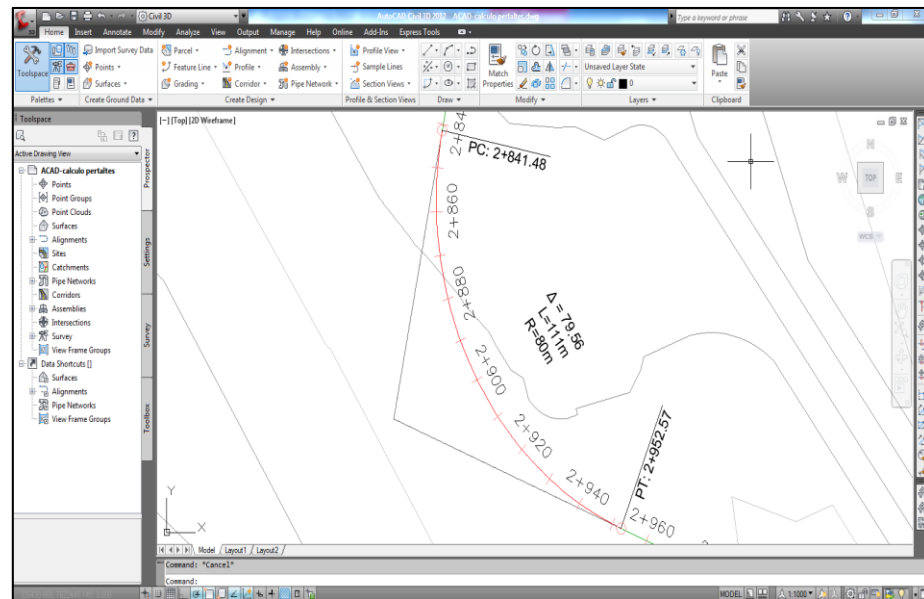


Figura 2.25 Imagen de una curva simple en el diseño

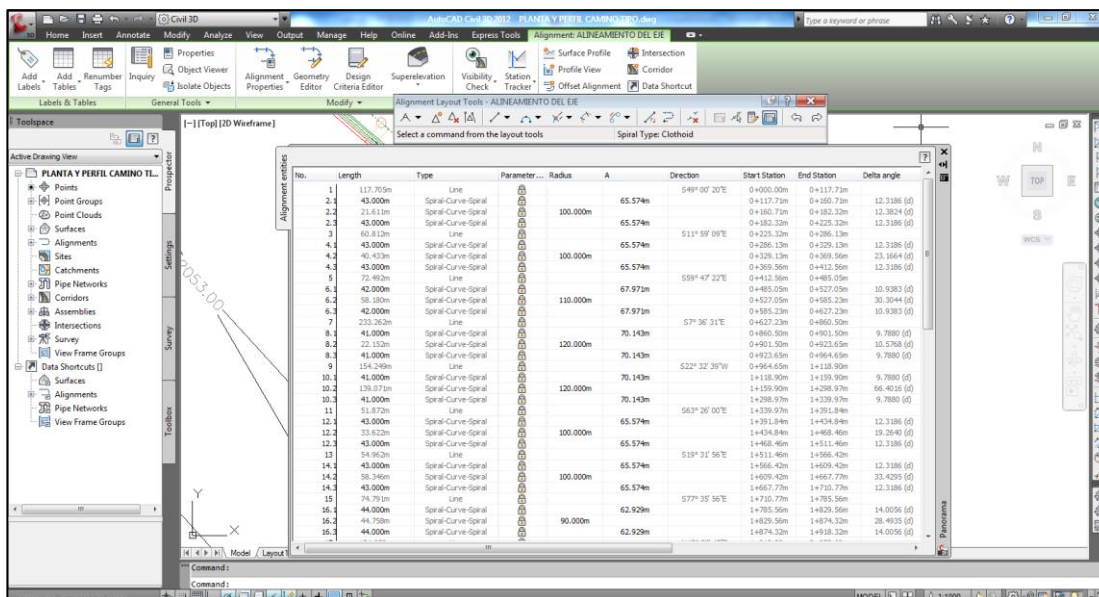


Cuadro 2.11 Resultado del dimensionamiento curva simple

CURVA Nº 12				
CURVA CIRCULAR SIMPLE				
PC :	2+840.99		FC :	2+952.08
Vp =	50	km/h		
emax =	8	%		
ELEMENTOS DE LA CURVA				
Vp =	50	km/h	Velocidad de proyecto	
R =	80	mts.	Radio de la Curva	
Δ =	79.56	g°	Angulo de deflexión	
T =	66.60619074	mts.	Tangente	
E =	24.09795697	mts.	Externa	
f =	18.51944662	mts.	Flecha	
Dt =	111.0304	mts.	Desarrollo de la curva	
Lc =	102.3746366	mts.	Longitud de cuerda	

Fuente: Elaboración propia

Figura 2.26 Datos del Alineamiento Horizontal en el programa



2.4.4 Peralte

Resulta de la acción de un vehículo cuando recorre una trayectoria circular tiende a desplazarse hacia fuera por efecto de la fuerza centrífuga. Esta fuerza se contrarresta por las fuerzas componentes del peso del vehículo debido al peralte y además por la fuerza de fricción desarrollada entre las llantas y el tipo de calzada de la carretera. En el diseño de curvas horizontales se establece la relación entre la velocidad de diseño, el grado de curvatura y el peralte, factores que deben estar relacionados entre sí para un diseño equilibrado.

La siguiente tabla contiene valores del peralte máximo, coeficiente de fricción, y Radio Mínimo de curvatura de acuerdo a la velocidad de proyecto según la ABC.

Cuadro 2.12 Clasificación de Radios mínimos de acuerdo a la velocidad de proyecto

Caminos colectores – locales - desarrollo			
V_p	e_{max}	f	R_{min}
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

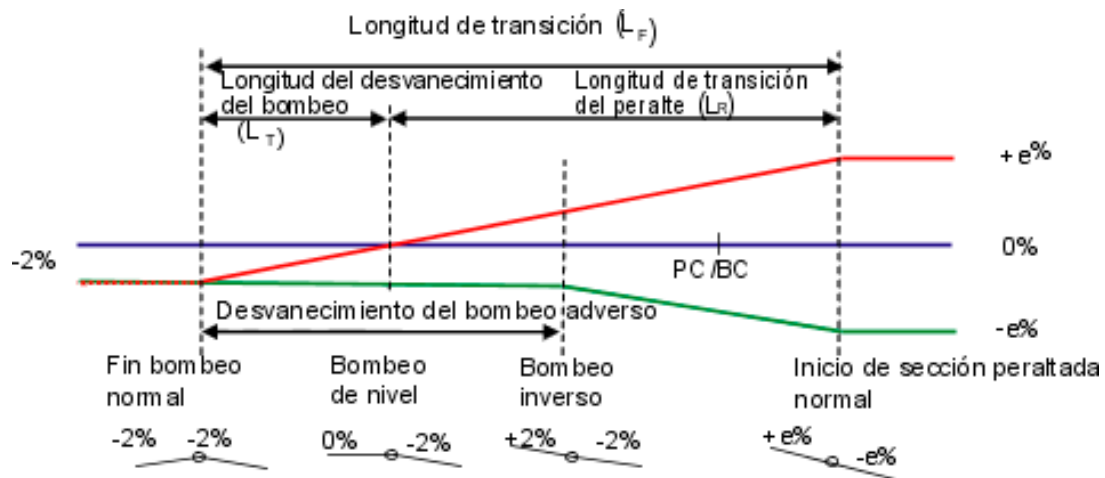
Fuente: Manual de diseño Geométrico ABC.

El Peralte pertenece a las propiedades de alineación que se utiliza para calcular y editar las especificaciones de peralte que se aplican a las secciones transversales de carretera en el modelo de una obra lineal, los métodos de aplicación de peralte varían, dependiendo de las combinaciones de tipo de obra lineal y forma de sección transversal, los parámetros establecidos en los subensamblajes, ensamblajes y en el modelo de obra lineal determinan el modo en que AutoCAD Civil 3D aplica estas especificaciones de peralte.

2.4.4.1 Longitud de desarrollo del Peralte

Es la distancia requerida para la transición del bombeo (-b) hasta el peralte total (+e), en la gráfica se observa una carretera sin dividir como un tipo de obra lineal y una forma de sección transversal con bombeo. Durante el peralte, la carretera con bombeo simple experimenta un desvanecimiento del bombeo adverso. En esta gráfica, el desvanecimiento del bombeo adverso es la distancia desde el fin de bombeo normal al bombeo invertido:

Figura 2.27 Longitud de Transición del Peralte



Cuadro 2.13 Valores de la Longitud del desarrollo del Peralte

VELOCIDAD DE DISEÑO 50 (Km/h)	
Radio(m)	Longitud de Transición (m)
80	44
90	44
100	43
110	42
120	41
130	39
140	38
150	37

Fuente: Manual de diseños AutoCAD Civil 3D 2011

$$L_t = \left(\frac{LR \cdot c}{e} \right) \quad Ec. 2.10$$

L_t: longitud del desvanecimiento del bombeo

LR: Longitud de transición del peralte

c: Bombeo normal

e: Máximo peralte de la curva

Figura 2.28 Herramientas de Cálculo de Peralte

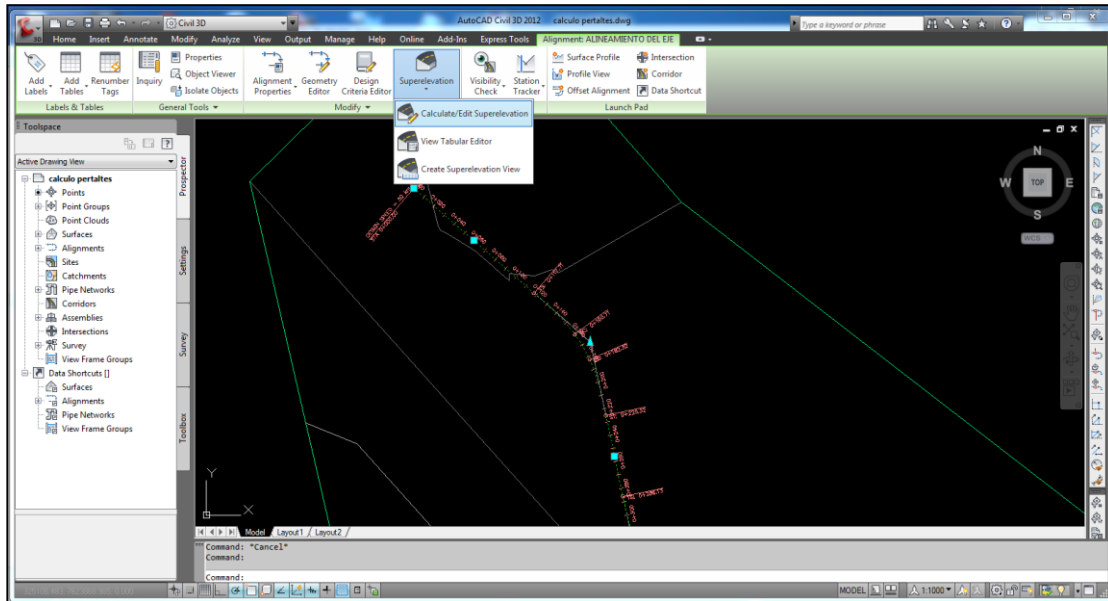


Figura 2.29 Adopción del tipo de Peralte

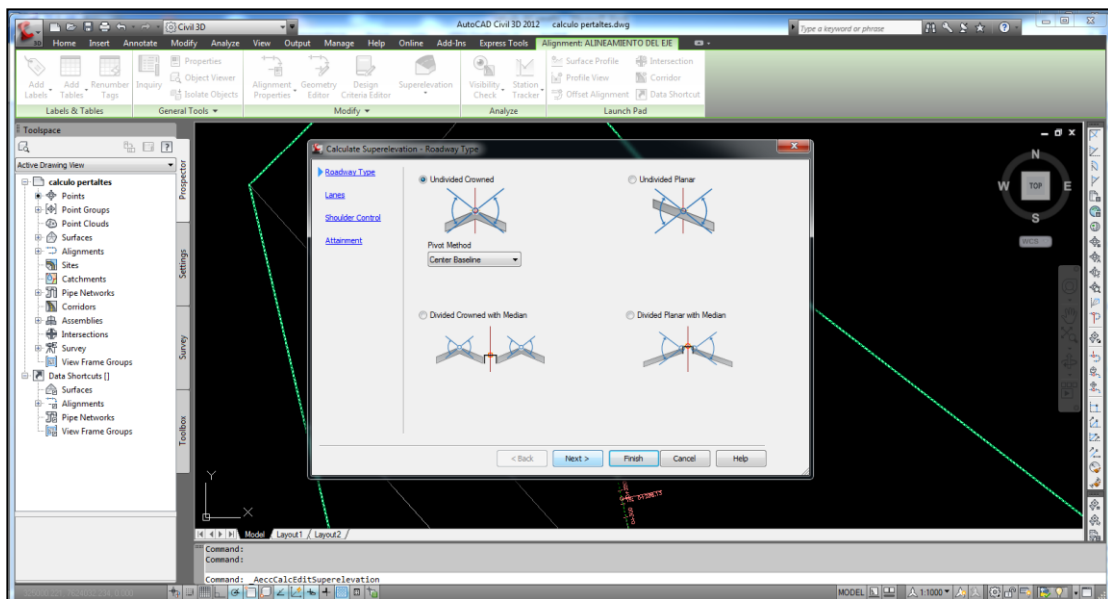


Figura 2.30 Condiciones del Peralte

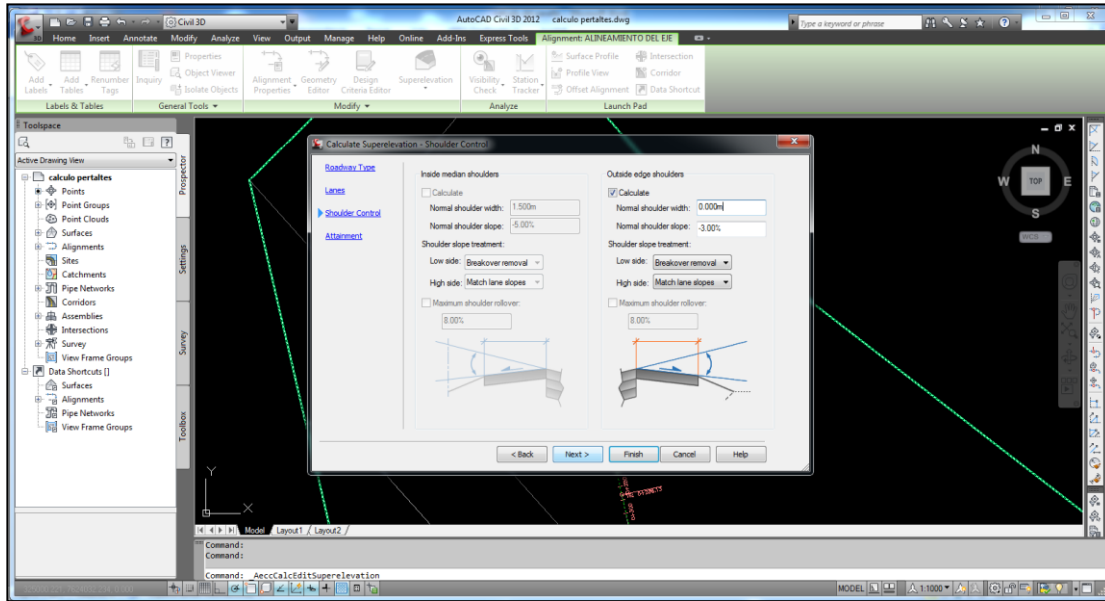


Figura 2.31 Tabla del Resultado de Peraltes

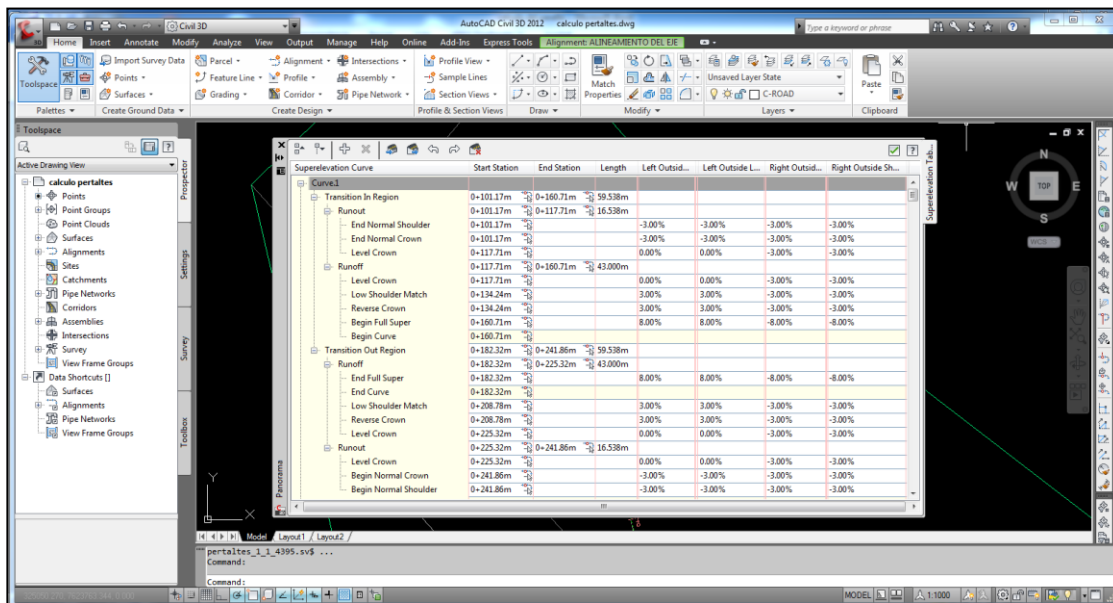
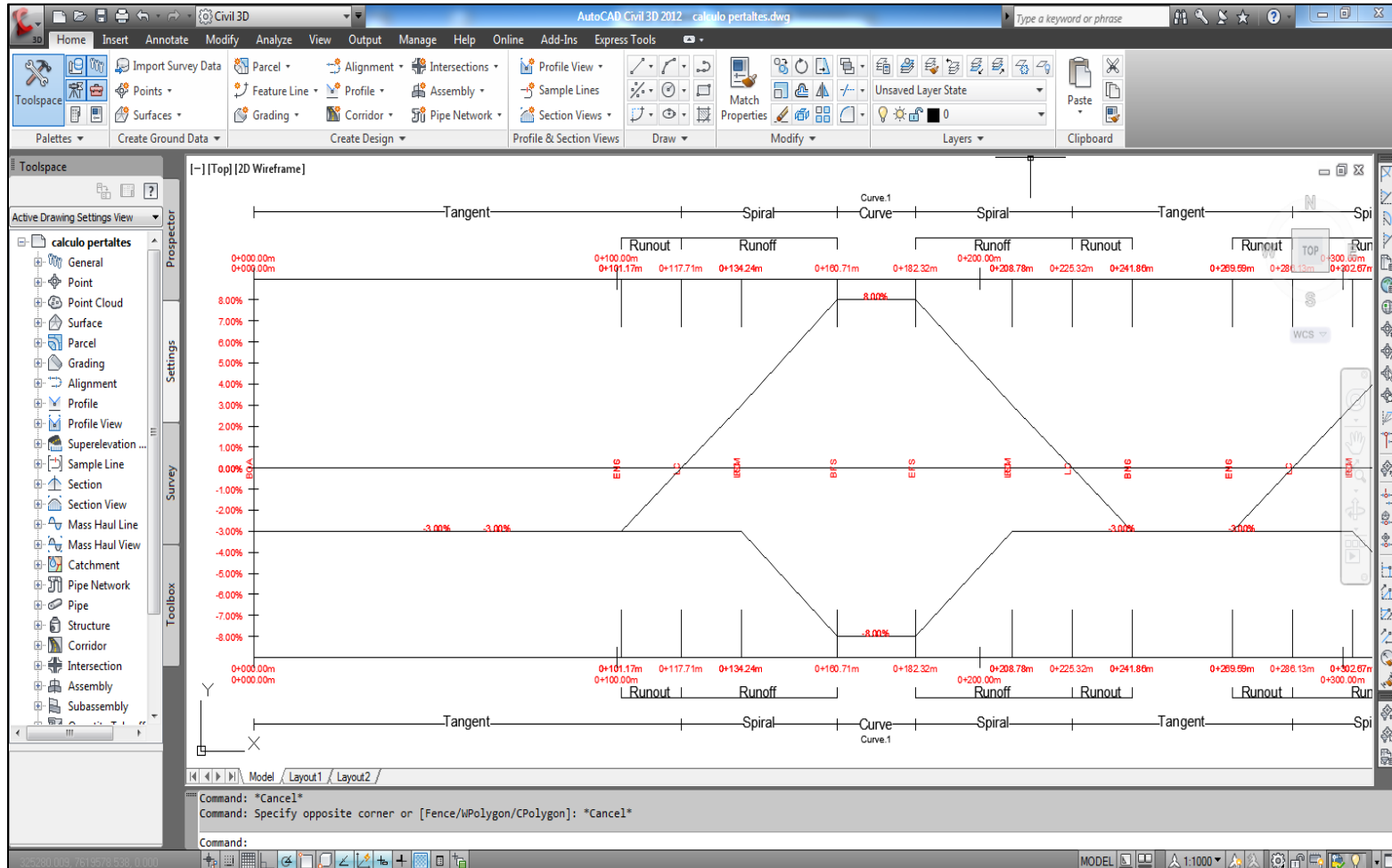


Figura 2.32 Diagrama de Peraltes



Cuadro 2.14 Replanteo en la Curva Número 1

REPLANTEO CURVA N°1						
PROGRESIVA	D. PARCIAL (m)	D. ACUMULADA (m)	θ (°)	PERALTE (m)	SOBREANCHO (m)	
					e.ext	e.int
0+101.17	0	-	-	-0.105	-	-
0+110	8.83	-	-	-0.047	-	-
0+117.071	7.07	0	0	0	0	0
0+130	12.93	12.93	0°21'57.5"	0.079	0.074	0.136
0+134.24	4.24	17.17	0°38'43.32"	0.105	0.098	0.181
0+140	5.76	22.93	1°9'3.71"	0.142	0.131	0.242
0+150	10.00	32.93	2°22'26.27"	0.205	0.189	0.347
0+160.71	10.71	43.64	4°10'9.48"	0.273	0.25	0.46
0+182.32	7.68	43.64	4°10'9.48"	0.273	0.25	0.46
0+190	10.00	35.96	2°49'51.38"	0.224	0.203	0.376
0+200	8.78	25.96	1°28'31.08"	0.161	0.147	0.271
0+208.78	1.22	17.18	0°38'46"	0.105	0.096	0.177
0+210	10.00	15.96	0°33'27.38"	0.097	0.089	0.164
0+220	5.32	5.32	0°3'43.07"	0.034	0.031	0.057
0+225.32	4.68	0	0	0	0	0
0+230	11.86	-	-	-0.030	-	-
0+241.86	0	-	-	-0.105	-	-

Fuente: Manual de diseño Geométrico ABC.

2.4.5 Sobreancho

Los conductores en las curvas tienden a no seguir por el centro de su carril de circulación, las ruedas traseras no siguen la misma dirección que las delanteras por seguridad es necesario proporcionar a los carriles en curva, mayor ancho con relación a los tramos tangentes; este aumento se denomina sobreancho.

Cuadro 2.15 Sobreebancho

CALZADA EN RECTA 7 m (n=2) 0,35 < E < 3 m E= e.int + e.ext h1= 0,45 m h2= 0,05 m					
TIPO DE VEHICULO (m)	PARAMETRO DE CALCULO (m)	E (m)	e. int (m)	e.ext (m)	RADIOS LIMITES (m)
Camión Unid. Simple Lt = 11,0* Bus Corriente Lt = 12,0	Lo = 9,5	$E = \frac{Lo^2}{R} - 0.2$	0,65 E	0,35 E	30 < R < 130

Fuente: Manual de diseño Geométrico ABC.

Sobreebancho en curva circular simple y en curva de transición

$$e_n = \left(\frac{E}{L}\right) \cdot l_n \quad Ec. 2.11$$

Donde:

E: Ensanche total calculado (m)

e_n: Ensanche parcial correspondiente a un punto distante “*l_n*”(m) desde el origen de la transición

L: Longitud total del desarrollo del sobreebancho, dentro de la clotoide

2.4.6 Alineamiento Vertical

La alineación vertical de una carretera es tan importante como la horizontal y debe estar en relación directa con la velocidad de diseño, con las curvas horizontales y con las distancias de visibilidad.

Es la proyección sobre un plano vertical del trazado en planta a esta línea se la denomina subrasante, las pendientes que se adopten para subrasante no deben sobrepasar las especificadas en el manual correspondiendo al pendiente máxima, es

necesario que el cambio se realice gradualmente para esto se usan las llamadas curvas verticales.

El trazado en el alineamiento vertical está controlado principalmente por la:

- Categoría del Camino
- Topografía del Área
- Trazado en Horizontal y Velocidad V^* correspondiente
- Distancias de Visibilidad
- Drenaje

2.4.6.1 Rasante

Las cotas del eje en planta de una carretera o camino, al nivel de la superficie del pavimento o capa de rodadura, constituyen la rasante o línea de referencia del alineamiento vertical. La representación gráfica de esta rasante recibe el nombre de Perfil Longitudinal del Proyecto.

La rasante determina las características en el alineamiento vertical de la carretera y está constituida por sectores que presentan pendientes de diversa magnitud y/o sentido, enlazadas por curvas verticales que normalmente serán parábolas de segundo grado.

2.4.6.2 Pendientes Máximas y Mínimas

a) Pendientes máximas

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

Cuadro 2.16 Pendientes para identificar el tipo de terreno

TERRENO	PENDIENTE	DESCRIPCION
LLANO	$\pm 3 \%$	- Libres de obstáculos naturales - Poco uso de elementos de DG mínimo
ONDULADO	3 - 6 %	- Relieve con frecuentes cambios de cota - uso de elementos de DG mínimo
MONTAÑOSO	4 - 9 %	- Constituido por cordones montañosos - Puede obligar a usar curvas de retorno

Fuente: Manual de diseño Geométrico ABC.

Cuadro 2.17 Pendientes máximas de la rasante

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	-	-
Autorutas	-	-	-	-	-	6	5	4,5	-	-
Autopistas	-	-	-	-	-	5	-	4,5	-	4

Fuente: Manual de diseño Geométrico ABC.

b) Pendientes mínimas

Es deseable proveer una pendiente longitudinal mínima del orden de 0,5% a fin de asegurar en todo punto de la calzada un eficiente drenaje de las aguas superficiales. Se distinguen los siguientes casos particulares:

Si la calzada posee un bombeo o inclinación transversal de 2% y no existen soleras o cunetas, se podrá excepcionalmente aceptar sectores con pendientes longitudinales de

hasta 0,2%. Si el bombeo es de 2,5% excepcionalmente se podrán aceptar pendientes longitudinales iguales a cero.

En zonas de transición de peralte en que la pendiente transversal se anula, la pendiente longitudinal mínima deberá ser de 0,5% y en lo posible mayor.

Si los casos analizados precedentemente se dan en cortes, el diseño de las pendientes de las cunetas deberá permitir una rápida evacuación de las aguas, pudiendo ser necesario revestirlas para facilitar el escurrimiento.

2.4.6.3 Perfiles longitudinales

Los perfiles permiten visualizar el terreno a lo largo de una ruta de interés o de una región concreta, existen varios tipos de perfiles: perfiles de superficie, perfiles compuestos, perfiles superpuestos, perfiles rápidos y perfiles de obra lineal.

Perfil de superficie.- Con frecuencia denominado perfil de terreno existente (TE), se extrae a partir de una superficie y muestra los cambios en la elevación a lo largo de una ruta concreta.

Perfil compuesto.- Es un objeto diseñado que muestra los cambios de elevación propuestos que desean crear, el perfil compuesto, a menudo denominado perfil de diseño o perfil longitudinal de la rasante (FG), se utiliza normalmente para una carretera u otro emplazamiento en pendiente. Para una carretera, el perfil compuesto puede incluir taludes y curvas diseñados para una conducción segura a una determinada velocidad.

Figura 2.33 Herramientas de creación de perfiles

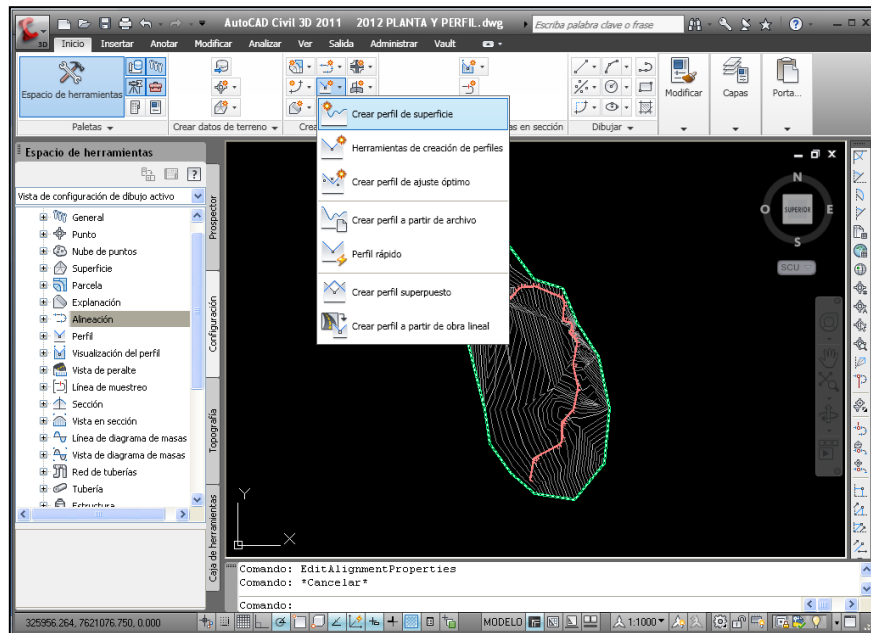


Figura 2.34 Creación de perfil a través de superficie

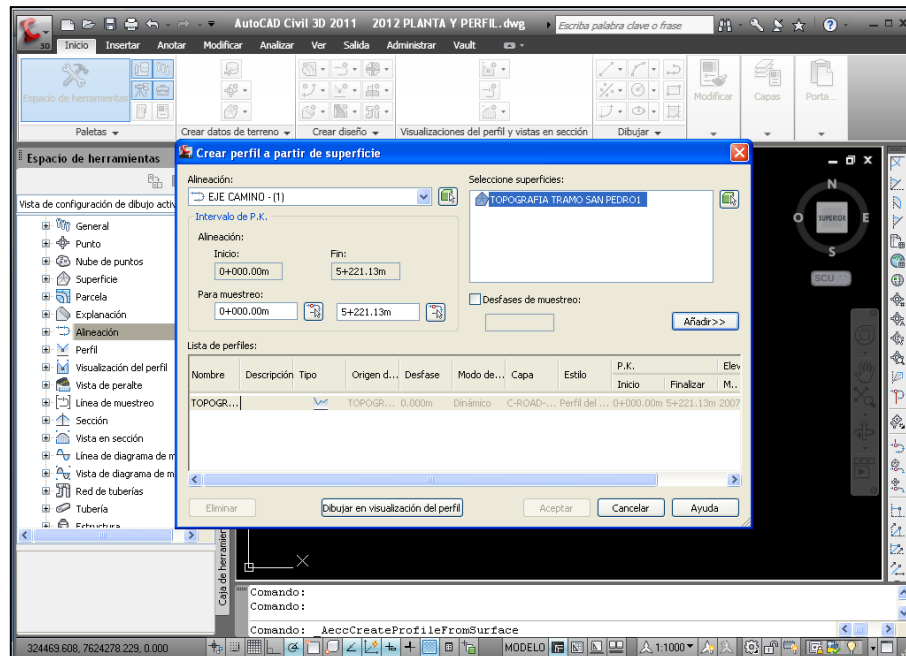


Figura 2.35 Creación de visualización del perfil

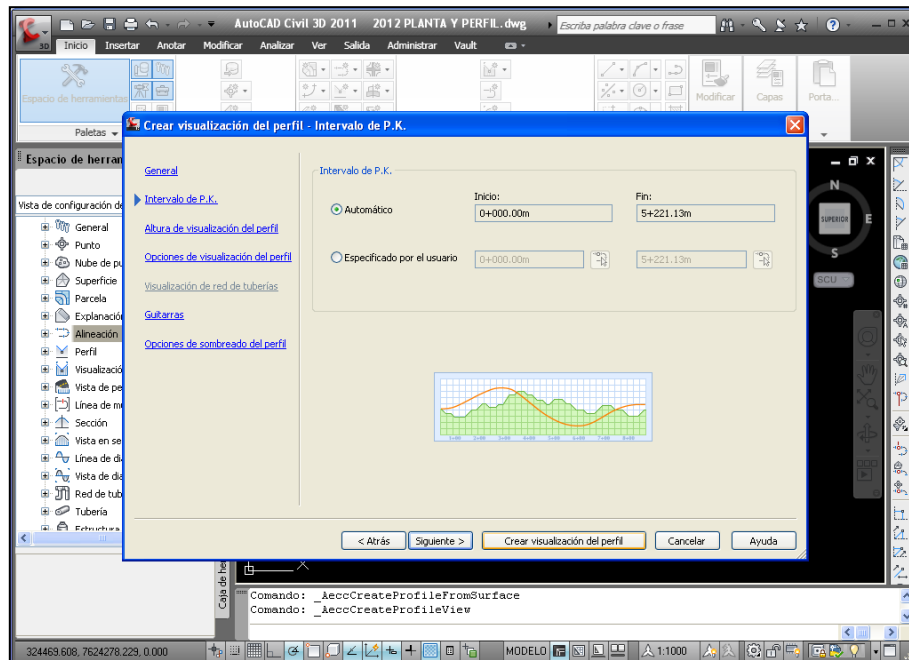
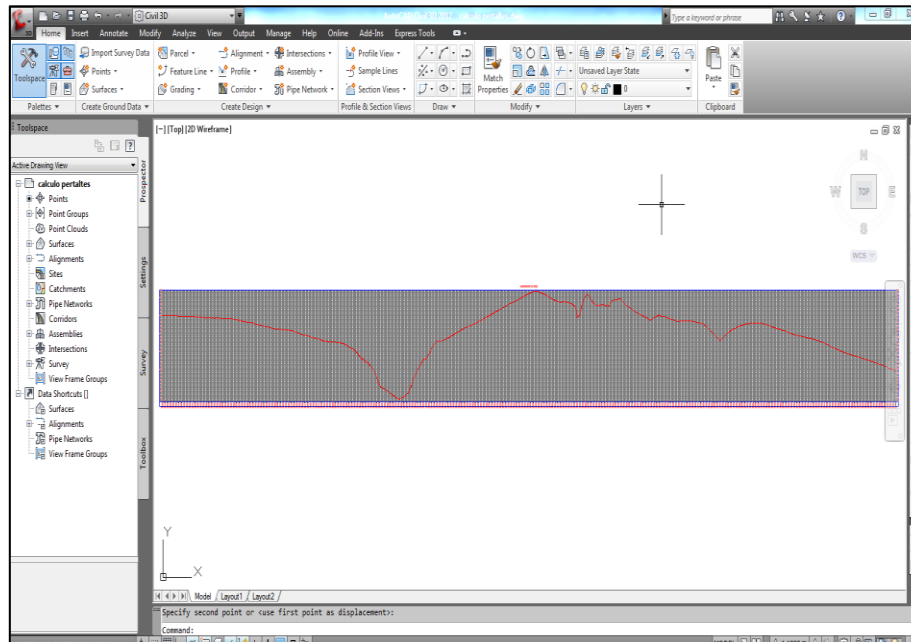


Figura 2.36 Visualización del perfil



2.4.6.4 Dimensionamiento de curvas verticales

Después de haber definido la rasante en el perfil longitudinal, corresponde el diseño de curvas verticales, que sirven para pasar gradualmente de un tramo a otro con diferente pendiente.

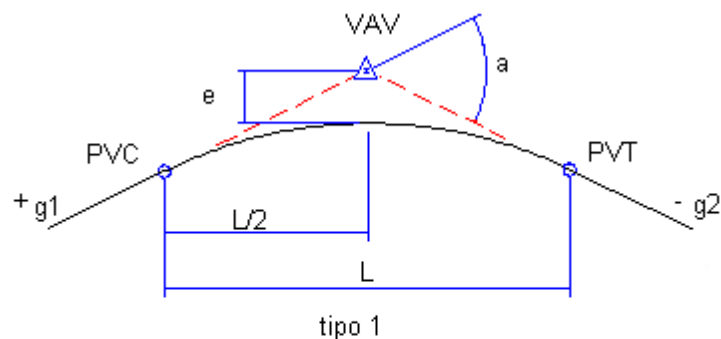
Toda vez que la deflexión a es igual o mayor que $0,5\% = 0,005$ m/m, se deberá proyectar una curva vertical para enlazar las rasantes. Bajo esta magnitud se podrá prescindir de la curva de enlace ya que la discontinuidad será imperceptible para el usuario.

AutoCAD Civil 3D permite que los perfiles se dividan para ajustarlos a una altura de visualización del perfil y mostrarlos en una o varias visualizaciones del perfil.

En AutoCAD Civil 3D los perfiles compuestos utilizan dos tipos de curvas: acuerdos convexos y acuerdos cóncavos. Los acuerdos convexos se sitúan en cimas o en lugares en los que la pendiente cambia a un valor inferior, Existen tres tipos de acuerdos convexos: transición de pendiente positiva a negativa, positiva a positiva y negativa a negativa.

Acuerdos convexos

Figura 2.37 Acuerdo Convexo tipo 1

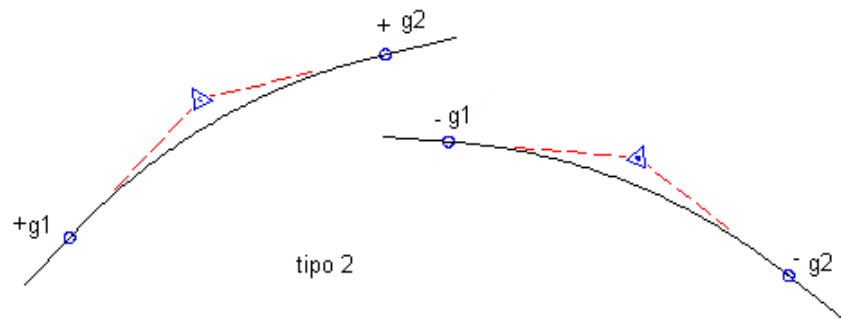


g_1 y g_2 - pendientes de tangente en porcentaje

a - diferencia algebraica

L - longitud de acuerdo vertical

Figura 2.38 Acuerdo Convexo tipo 2

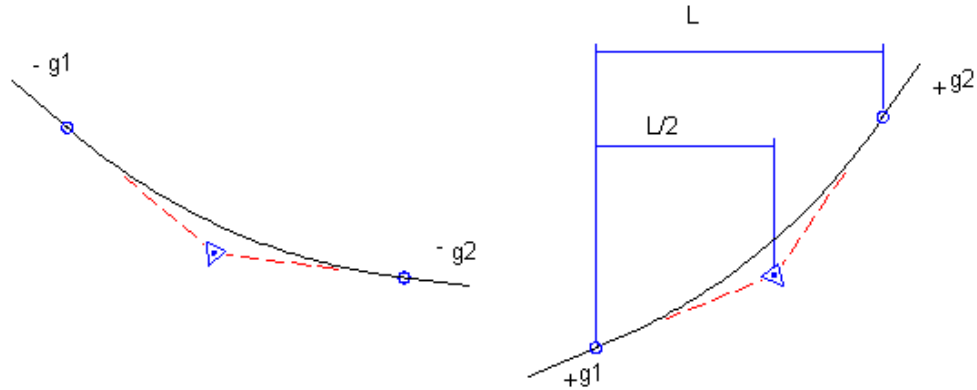


Acuerdos cóncavos

Figura 2.39 Acuerdo Cóncavo tipo 3



Figura 2.40 Acuerdo Cóncono tipo 4



Los parámetros utilizados en AutoCAD Civil 3D se basan en la ecuación Parabólica de Taylor Pohlman.

La mayoría de acuerdos verticales en el diseño de carreteras son curvas parabólicas simétricas debido a un motivo concreto. La curva parabólica es el acuerdo vertical natural que sigue cualquier proyectil. Una parábola simétrica diseñada correctamente minimiza las fuerzas de inercia de un vehículo que viaja por la curva.

Las parábolas cuadráticas son preferibles en diseños verticales ya que tienen una tasa de cambio de pendiente constante a lo largo de la curva. Estas parábolas son buenas aproximaciones a las curvas circulares en pendientes planas y se suelen utilizar en el diseño vertical. Esta cualidad las hace muy fáciles de jalonar. Al sustituir estos valores, obtenemos la ecuación de parábola cuadrática para una curva vertical:

$$y = \frac{g1}{100}x + \frac{(g2 - g1)}{200L}x^2 \quad 2.12$$

g_1 : pendiente del punto de curvatura

g_2 : pendiente del punto de tangencia

L : longitud horizontal de la curva ajustada entre esas dos tangentes

Dado que la tasa de cambio de pendiente es constante en toda la longitud de la curva, el parámetro de curva parabólica se puede expresar de la siguiente forma:

$$K = \frac{L}{|g_1 - g_2|} \quad \text{Ec. 2.13}$$

Circular. Estas curvas son más fáciles de diseñar y construir. Este tipo se utiliza a menudo para el diseño de vías férreas o carreteras por las que se viajará a velocidades bajas.

Parabólica asimétrica. Estas curvas son el tipo menos común. Este tipo de curva está formada por dos curvas parabólicas diferentes que se encuentran en el punto medio del acuerdo vertical.

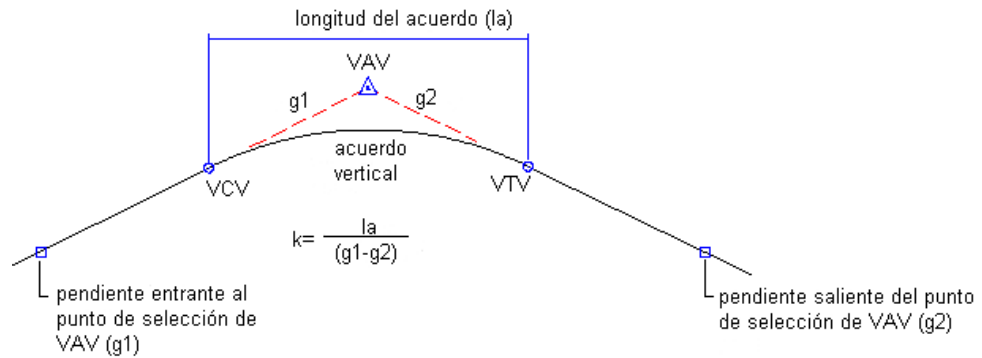
2.4.6.4.1 Parámetros en el dimensionamiento de curvas verticales

El diseño de curvas verticales en el programa AutoCAD Civil 3D se basa en ciertos parámetros como ser el valor de K en referencia a la visibilidad de parada, visibilidad de adelantamiento, y visibilidad de iluminación.

➤ Valor K

Este valor representa la distancia horizontal en la que se produce un cambio de un 1% en la pendiente del acuerdo vertical. Expresa la brusquedad del cambio de pendiente en un único valor.

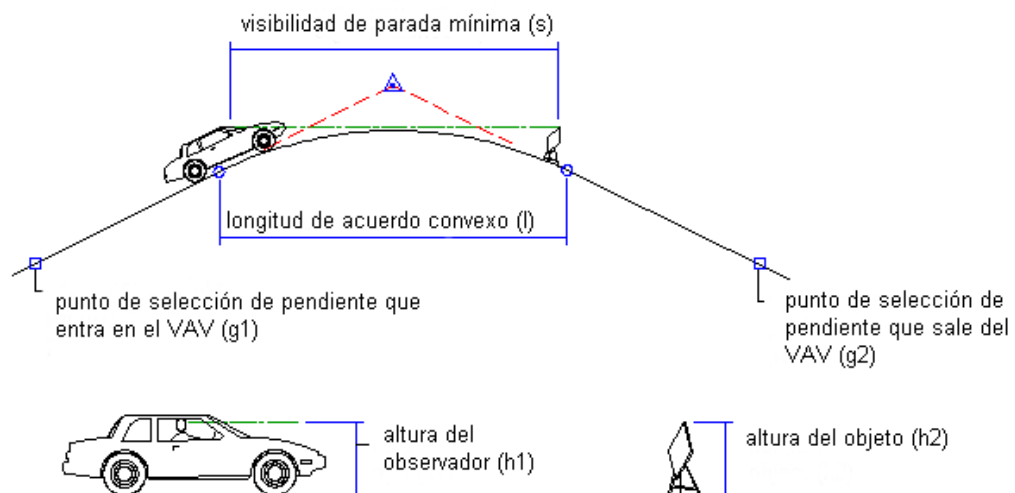
Figura 2.41 Longitud del Acuerdo



➤ Visibilidad de parada

Este método de diseño para acuerdos convexos proporciona una longitud de curva mínima. La curva debe ser lo suficientemente larga para que el conductor de un vehículo estándar pueda ver siempre un objeto antes de entrar en la distancia de parada máxima correspondiente a la velocidad de viaje proyectada.

Figura 2.42 Visibilidad de Parada



Cuadro 2.18 parámetros de K visibilidad de parada

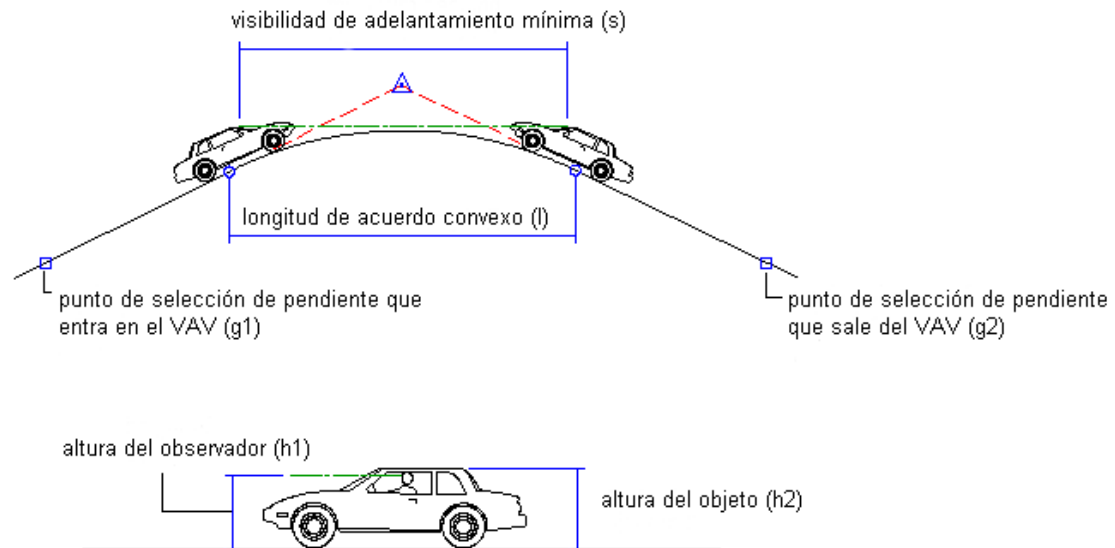
VISIBILIDAD DE PARADA	
Velocidad (Km/h)	K
20	1
30	2
40	4
50	7
60	11
70	17
80	26
90	39
100	52
110	74
120	95
130	124

Fuente: Manual de Diseño AutoCAD Civil 3D

➤ **Visibilidad de adelantamiento**

Este método de diseño para acuerdos convexos proporciona una longitud de curva mínima. La curva debe ser lo suficientemente larga para que el conductor de un vehículo estándar pueda ver siempre un vehículo que se aproxima en dirección contraria dentro de una distancia de seguridad para la velocidad de viaje proyectada.

Figura 2.43 *Visibilidad de Adelantamiento*



Cuadro 2.19 *parámetros de K Visibilidad de Adelantamiento*

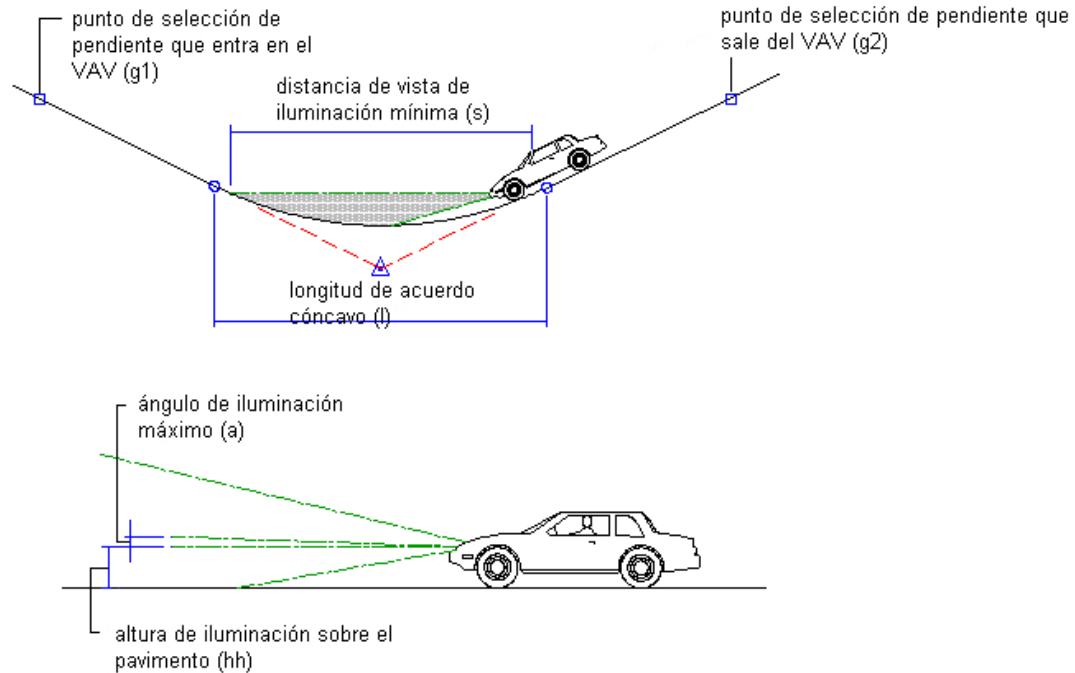
VISIBILIDAD DE PARADA	
Velocidad (Km/h)	K
30	46
40	84
50	138
60	195
70	272
80	338
90	438
100	520
110	617
120	695
130	769

Fuente: Manual de Diseño AutoCAD Civil 3D

➤ Visibilidad de iluminación

Este método de diseño para acuerdos cóncavos proporciona una longitud de curva mínima. La curva debe ser lo suficientemente larga para que, en condiciones de conducción nocturna, los faros de un vehículo estándar iluminen la carretera una distancia de seguridad superior a la distancia de parada para la velocidad de viaje proyectada.

Figura 2.44 Visibilidad de Iluminación



Cuadro 2.20 *parámetros de K Visibilidad de Iluminación*

VISIBILIDAD DE PARADA	
Velocidad (Km/h)	K
20	3
30	6
40	9
50	13
60	18
70	23
80	30
90	38
100	45
110	55
120	63
130	73

Fuente: Manual de Diseño AutoCAD Civil 3D

El trazado de rasantes se basará en un diseño compuesto por pendientes moderadas que presenten variaciones graduales de los alineamientos, compatibles con la categoría del camino y la topografía del terreno.

Figura 2.45 Herramientas de diseño de curvas verticales

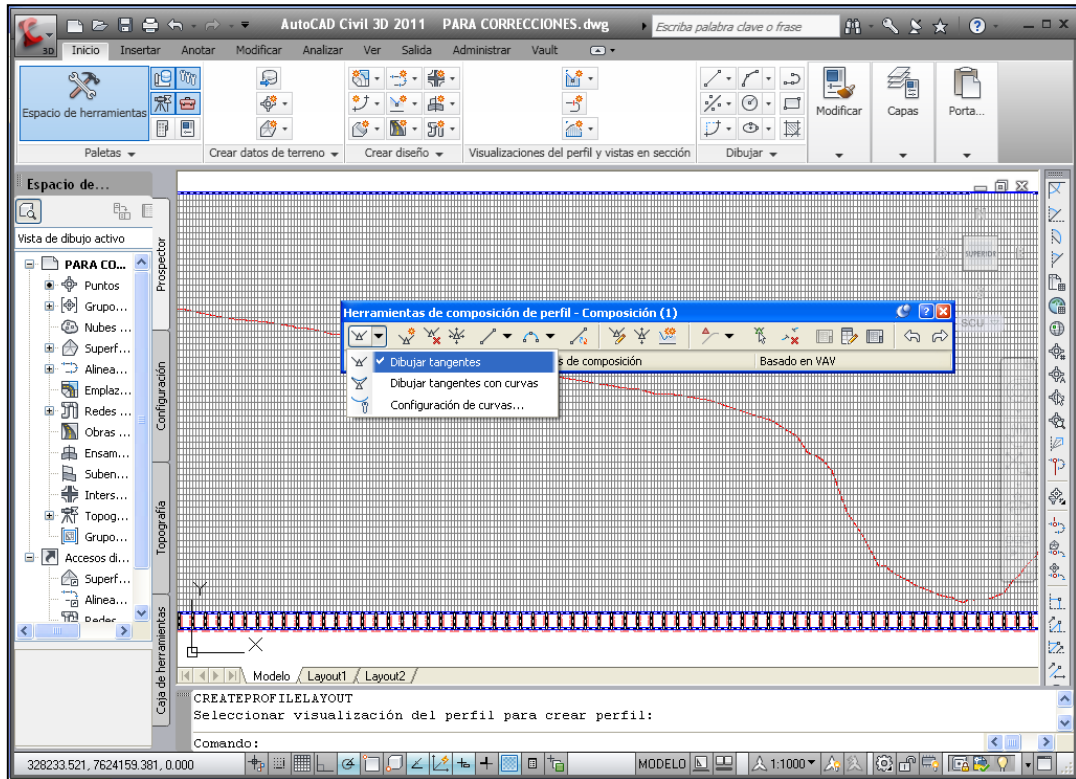


Figura 2.46 Valores de la línea rasante

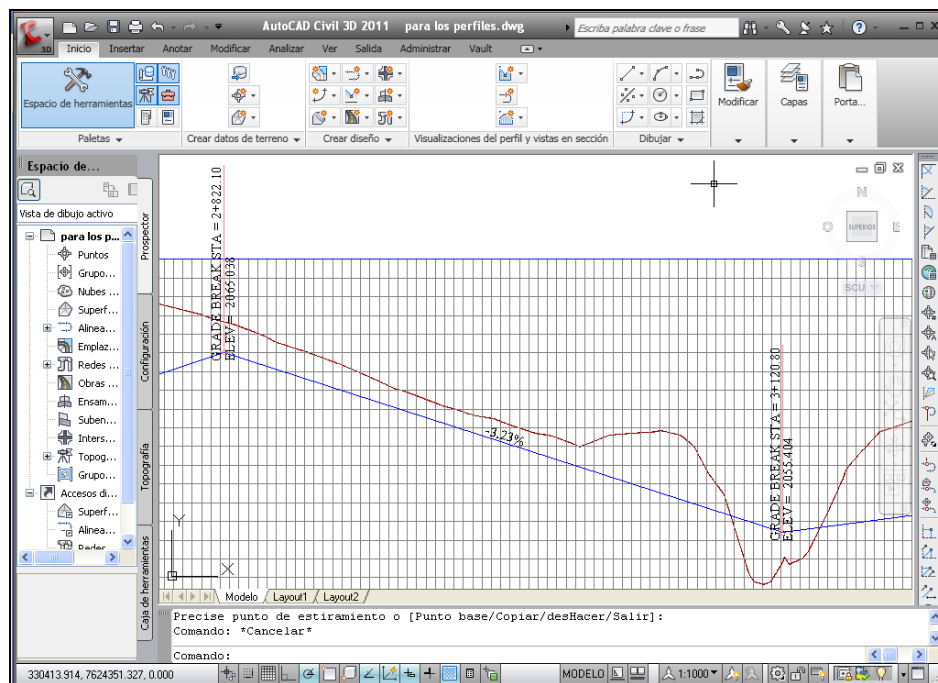


Figura 2.47 Diseño de la curva Vertical

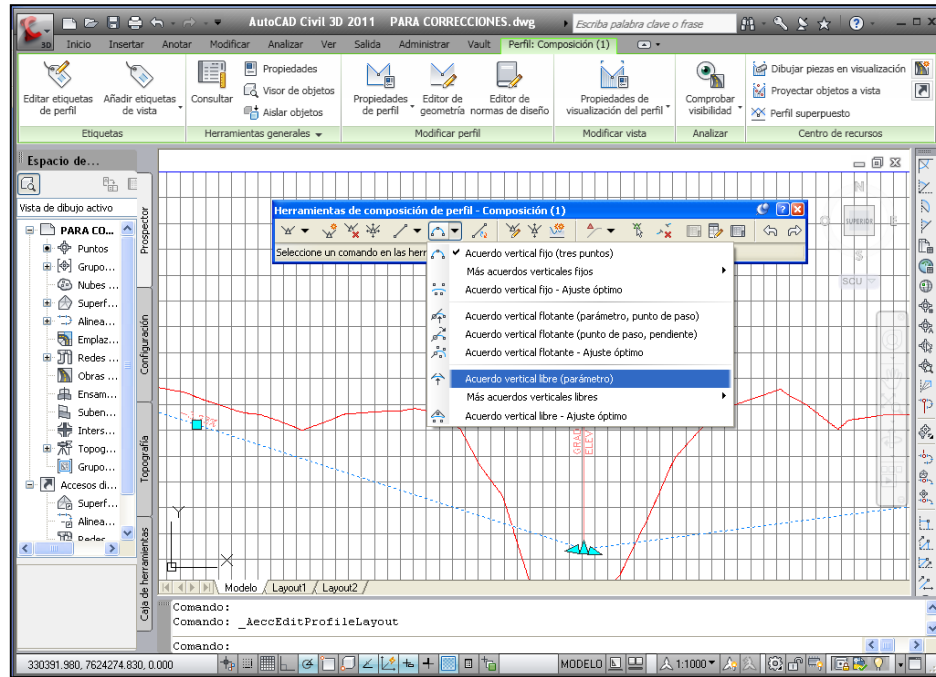


Figura 2.48 Visualización de curva Vertical

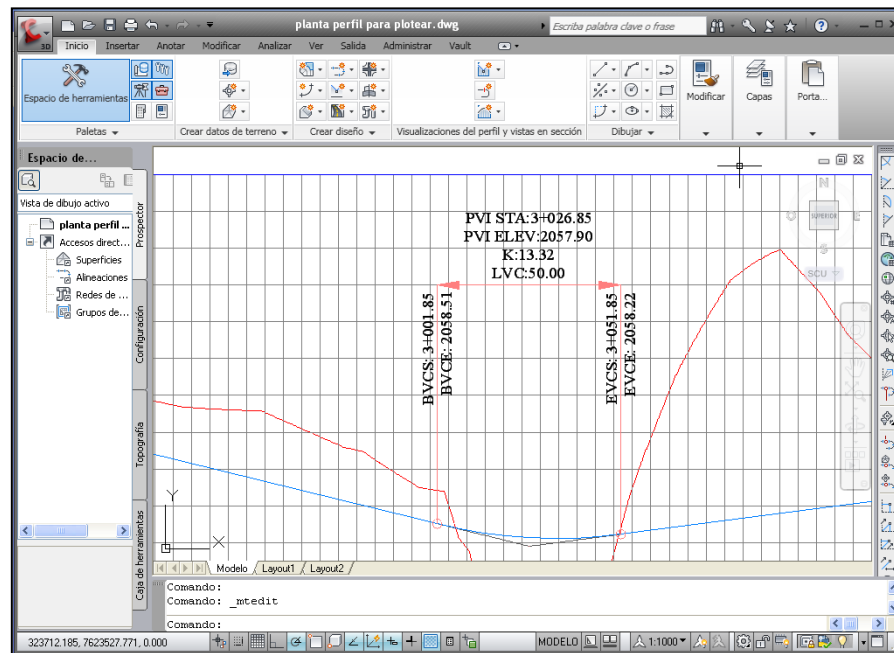
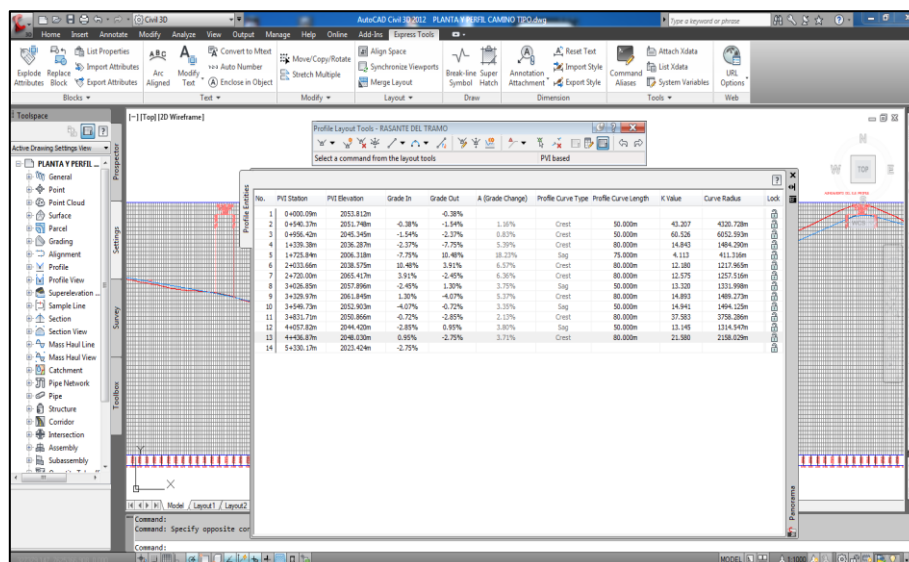


Figura 2.49 Resultado de valores del Alineamiento Vertical



Cuadro 2.21 Resultado del Dimensionamiento Curva Vertical

CURVA N°1				
CURVA VERTICAL CONVEXA				
PCV : 0+515.37		FCV : 0+565.37		
Vp =	50	km/h		
i 1 =	-0.38	%		
i 2 =	-1.540	%		
L=	50.000	m		
ELEMENTO DE LA CURVA VERTICAL				
CURVA SIMETRICA				
PROGRESIVA	Dacum. (m)	Deflexión (m)	Cota Rasante (m.s.n.m.)	Cota Terreno (m.s.n.m.)
0+515.37	0	0	2051.84	2051.84
0+520	4.63	0.002	2051.81	2051.809
0+530	14.63	0.025	2051.764	2051.68
0+540	24.63	0.070	2051.68	2051.58
0+540.37	25	0.073	2051.67	2051.57
0+550	15.37	0.027	2051.57	2051.49
0+560	5.37	0.003	2051.44	2051.41
0+565.37	0	0	2051.36	2051.36

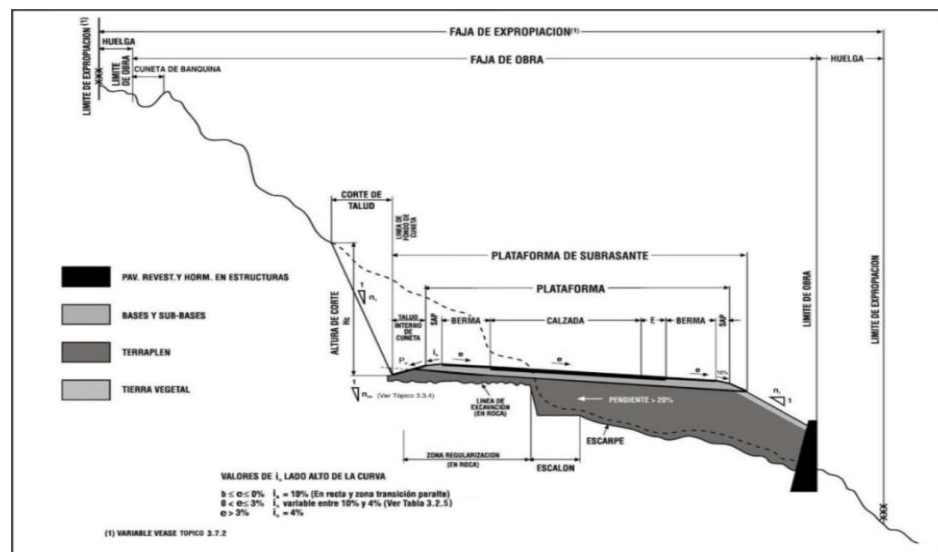
Fuente: Elaboración propia

2.4.7 Diseño de la sección transversal

La sección transversal de una carretera en un punto de ésta, es un corte vertical normal al alineamiento horizontal, el cual permite definir la disposición y dimensiones de los elementos que forman la carretera en el punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural.

Para agrupar los tipos de carreteras se acude a normalizar las secciones transversales, teniendo en cuenta la importancia de la vía, el tipo de tránsito, las condiciones del terreno, los materiales por emplear en las diferentes capas de la estructura de pavimento u otros, de tal manera que la sección típica adoptada influye en la capacidad de la carretera, en los costos de adquisición de zonas, en la construcción, mejoramiento, rehabilitación, mantenimiento y en la seguridad de la circulación.

Figura 2.50 Elementos de la sección transversal



Cuadro 2.22 Calzadas

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 ⁽⁴⁾		
			"bi" INTERIOR (m)	"be" EXTERIOR (m)	"Si" INTERIOR (m)	"Se" EXTERIOR (m)	INICIAL 4 PISTAS AMPLIABLE # 6	FINAL 6 PISTAS	FINAL = INICIAL 4 PISTAS	6 PISTAS Y 4 AMPLIABLE	4 PISTAS
CALZADAS UNIDIRECCIONALES	120	3,5	1,2	2,5	0,5 - 0,8	1,5	13,0	6,0	35	28	-
	100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	34	27	-
	80	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	0,8	11,0	4,0	31,6	24,6	-
AUTOPISTA	100	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	13,0	6,0	34	27	-
	90	3,5	1,0	2,5	0,5 - 0,8	1,0	12,0	5,0	33	26	-
PRIMARIO Y AUTORRUTA	80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	29	22	-
	80	3,5	1,0	2,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	10,0	3,0	29	22	-
COLECTOR	70	3,5	0,6 - 0,70	1,5	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	27	20	-
	60	3,5	0,6 - 0,70	1,0	0,5 - 0,8	0,5 - 0,8 ⁽⁴⁾	9,0	2,0	26	19	-
CALZADA BIDIRECCIONAL	100 - 90	3,5	-	2,5	-	1,0	-	-	-	-	14,0
	80	3,5	-	2,0	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	12,0
	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
	60	3,0 - 3,5	-	0,5 - 1,0 ⁽²⁾	-	0,5 - 0,8	-	-	-	-	8,0 - 10,0
DESARROLLO	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

(1) Pistas de menos de 3,5 m deberán ser autorizadas expresamente por la Administradora Boliviana de Carreteras.

(2) El ancho de las BERMAS de Locales y de Desarrollo se definirá en función del tránsito y dificultad del emplazamiento.

(3) La Tabla Especifica anchos de SAP en Terraplén; caso sin Barrera de Seguridad SAPE = 0,5 m; con Barrera SAPE = 0,8 m.

(4) Para Ancho Final de Cantero central de 3 y 2 m, los SAP interiores se juntan presentando un ancho conjunto de 1 m y 0,6 a 0,8 m respectivamente, espacio que servirá de base para una Barrera Rígida de Hormigón con anchos en la base de: Tipo F (0,56 m ó 0,82 m) o New Jersey (0,61 m).

(5) Ancho Total de Plataforma en Terraplén con SAP mínimo = 0,5 m. Para corte cerrado o Perfil Mixto agregar Ancho(s) Cunetas(s) y corregir Ancho del SAP exterior. Si cuneta es revestida Se = 0,0 m - Cuneta sin Revestir Se = 0,5 m. En Unidireccionales "bi" y "si" están comprendidos en el ancho del Cantero central.

Fuente: Manual de diseño Geométrico ABC.

En AutoCAD Civil 3D Las secciones, o secciones transversales se utilizan para ofrecer una vista del corte de un terreno en un ángulo con un elemento lineal, como ser el diseño geométrico de una carretera, por lo general, las secciones se cortan a través de alineaciones horizontales (planas) en un intervalo específico utilizando las anchuras de franja especificadas, estas secciones se trazan de forma individual.

Para una mejor visualización e interpretación de las secciones transversales se realizó una línea de muestreo a lo largo de la alineación cada 20 metros en rectas y 10 metros en curvas, Las líneas de muestreo son objetos lineales, que se utilizan como objetos de planos lineales que representan la orientación en la que se cortan las secciones de un conjunto concreto de superficies.

2.4.7.1 Plataforma

Se llama plataforma a la superficie visible de una vía formada por sus calzadas, bermas, los sobreanchos de plataforma, en su cantero central en caso de existir esta ultima como parte de la sección transversal tipo.

El ancho de la plataforma será entonces la suma de los anchos de sus elementos constitutivos, casos especiales de plataforma son aquellas de las carreteras unidireccionales con calzadas independientes y las correspondientes a caminos sin pavimentar. En el primer caso, la vía tendrá dos plataformas independientes. En el segundo, calzadas, bermas y sobreanchos configuran un todo único no diferenciable a simple vista.

2.4.7.2 Calzada

Una calzada es una banda material y geoméricamente definida, de tal modo que su superficie pueda soportar un cierto tránsito vehicular y permitir desplazamientos cómodos y seguros de los mismos.

La calzada está formada por dos o más carriles. Un carril será entonces cada una de las divisiones de la calzada que pueda acomodar una fila de vehículos transitando en

un sentido.

En el caso de carreteras o caminos con calzada bidireccional de dos carriles, cada uno de ellos podrá ser utilizado ocasionalmente por vehículos que marchan en el sentido opuesto, en el momento en que éstos adelanten a otros más lentos.

2.4.7.3 Bermas

Las bermas son las franjas que flanquean el pavimento de la(s) calzadas(s). Ellas pueden ser construidas con pavimento de hormigón, capas asfálticas, tratamiento superficial, o simplemente ser una prolongación de la capa de grava en los caminos no pavimentados.

2.4.7.4 Pendiente Transversal

Las calzadas deberán tener bombeo con la finalidad de evacuar las aguas superficiales, una inclinación transversal mínima o bombeo que depende del tipo de superficie de rodadura y la intensidad de la lluvia de 1 hora de duración con periodo de retorno de 10 años (I_{10}^1) mm/h

Para la elaboración de las secciones transversales que se plasmarán a lo largo de la alineación es necesario configurar en el programa los datos de cada elemento esto de acuerdo a la normativa de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).

Cuadro 2.23 Dimensiones Adoptadas

DIMENSIONES ADOPTADAS		
Ancho de Carril	=	3.5 (m)
Ancho de berma	=	0.5 (m)
SAP	=	0.5 (m)
Pendiente Transversal	=	3 %

Fuente: Elaboración propia

2.4.7.5 Ensamblajes

Los ensamblajes representan una línea base a la que se enlazan los componentes de diseño de sección de la obra lineal a partir de las dimensiones adoptadas.

Figura 2.51 Herramientas de Ensamblajes

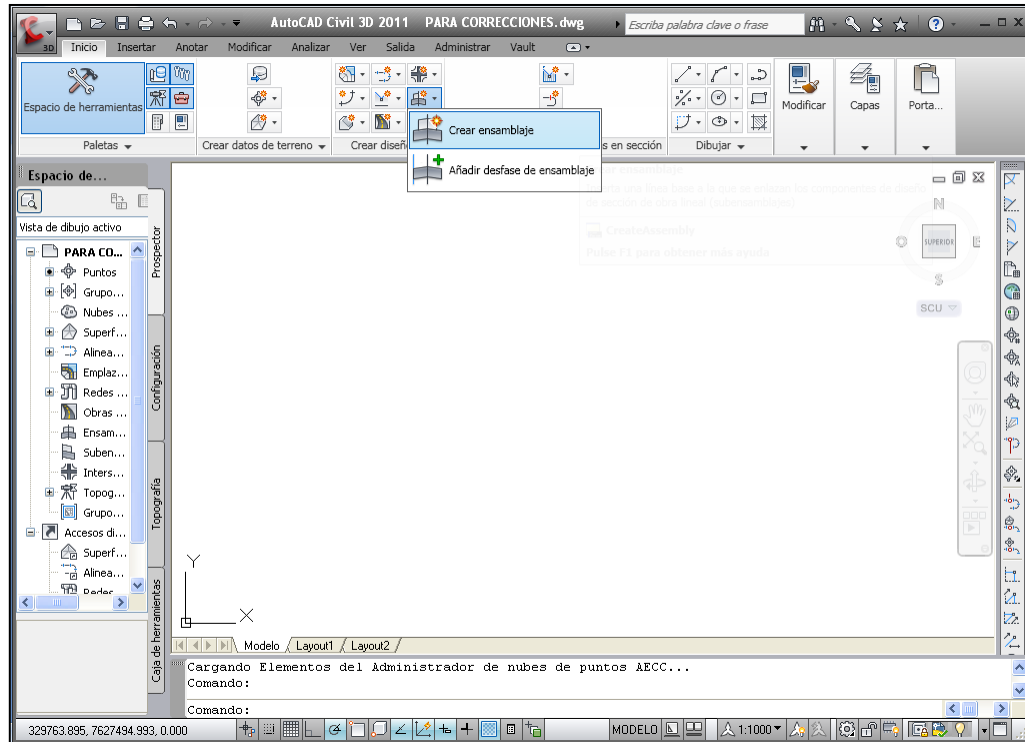


Figura 2.52 Creación de Ensamblajes

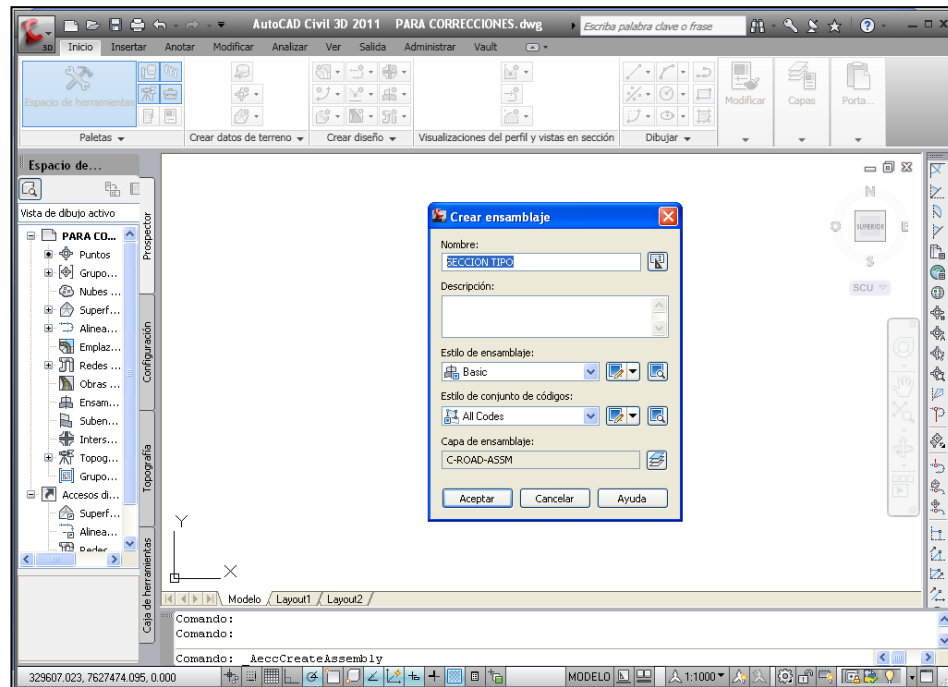


Figura 2.53 Dimensionamiento del Ensamblaje

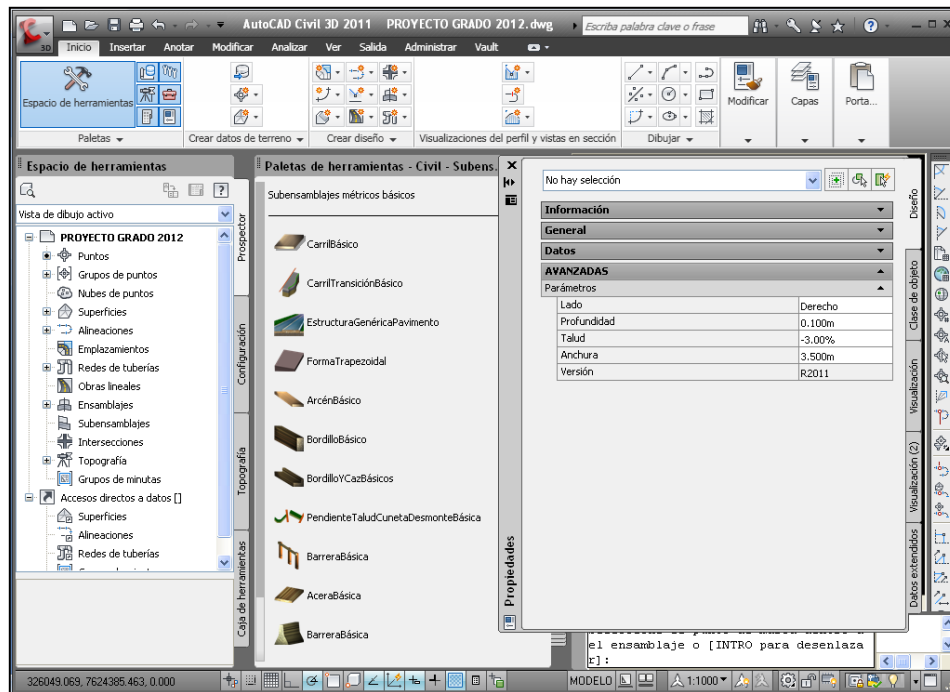


Figura 2.54 Configuración de los elementos de la sección

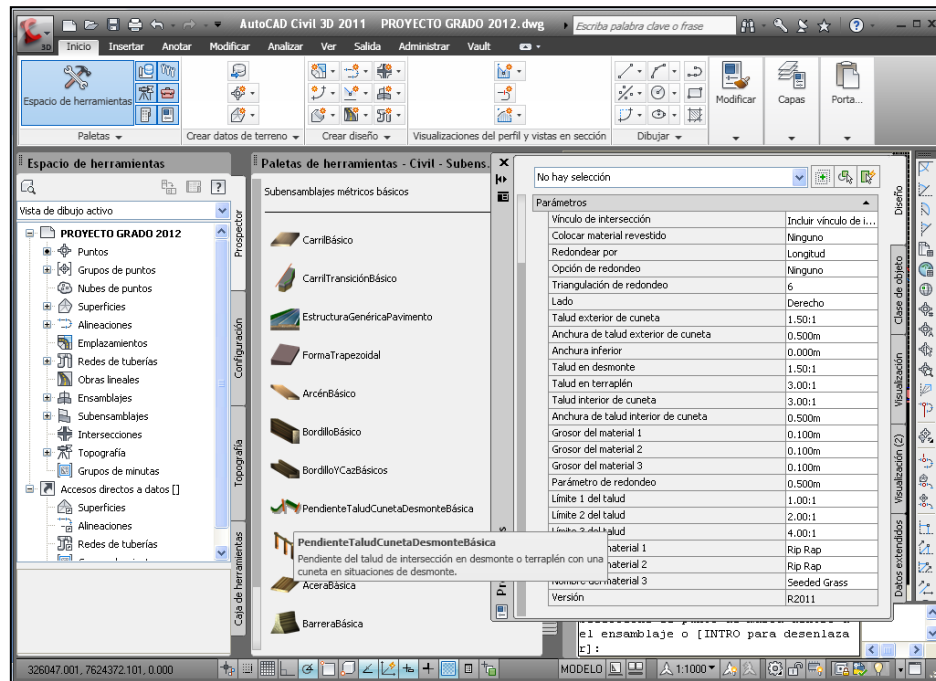


Figura 2.55 Visualización del Ensamblaje

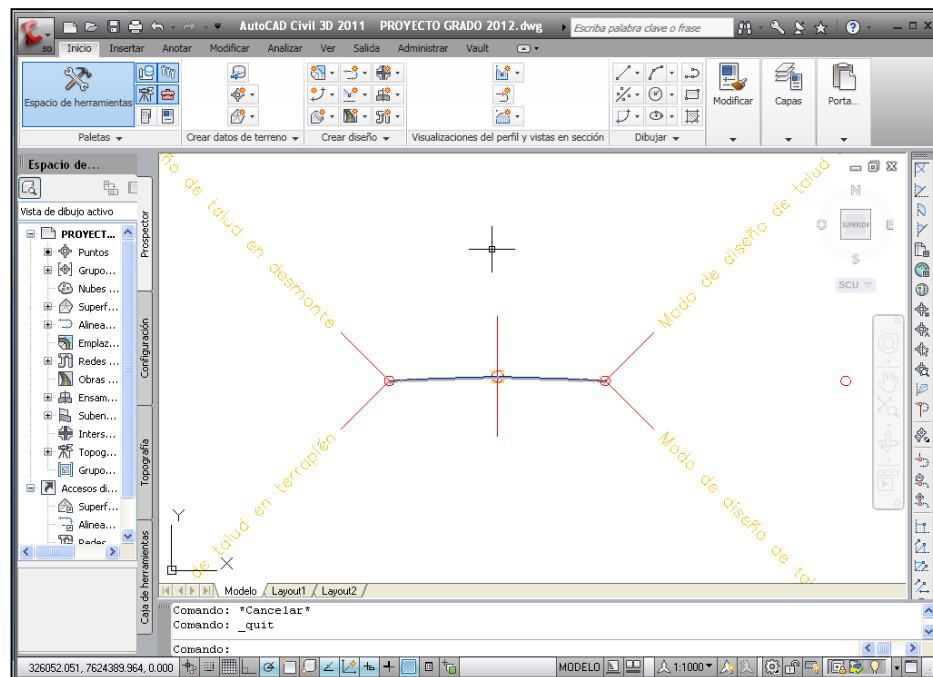
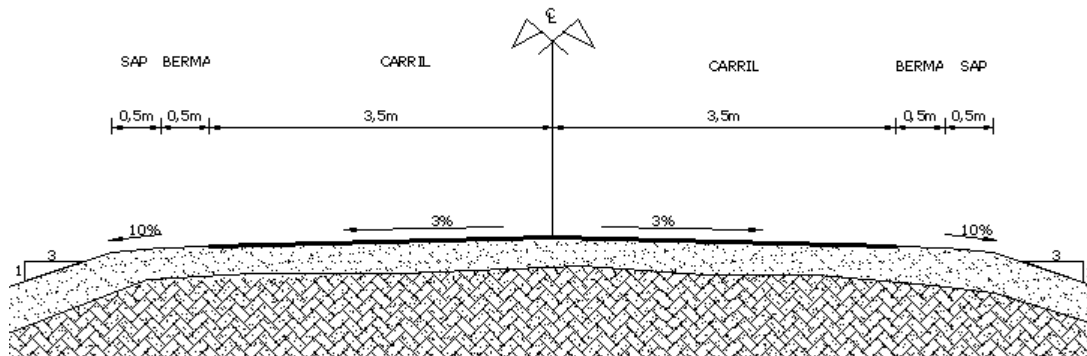


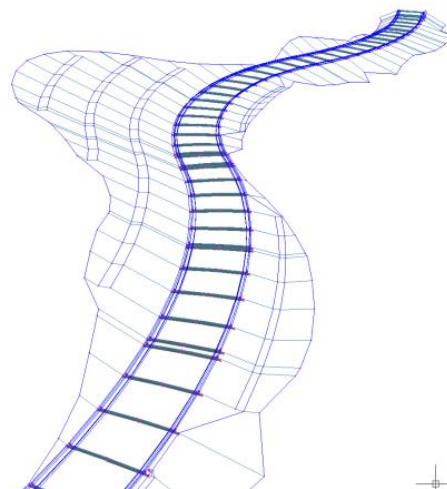
Figura 2.56 Dimensiones adoptadas de la Sección Transversal



2.5 Modelado de una obra lineal

Una carretera o camino es una obra tridimensional en una faja de terreno adaptada sobre la superficie terrestre que llene las condiciones de ancho, alineamiento y pendiente para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido acondicionada.

Figura 2.57 Modelización de una carretera



El modelado de obra lineal de AutoCAD Civil 3D se puede utilizar para crear modelos tridimensionales, los modelos de obra lineal se generan con diversos objetos y datos de AutoCAD Civil 3D, donde están incluidos las superficies, las alineaciones, los perfiles y los ensamblajes.

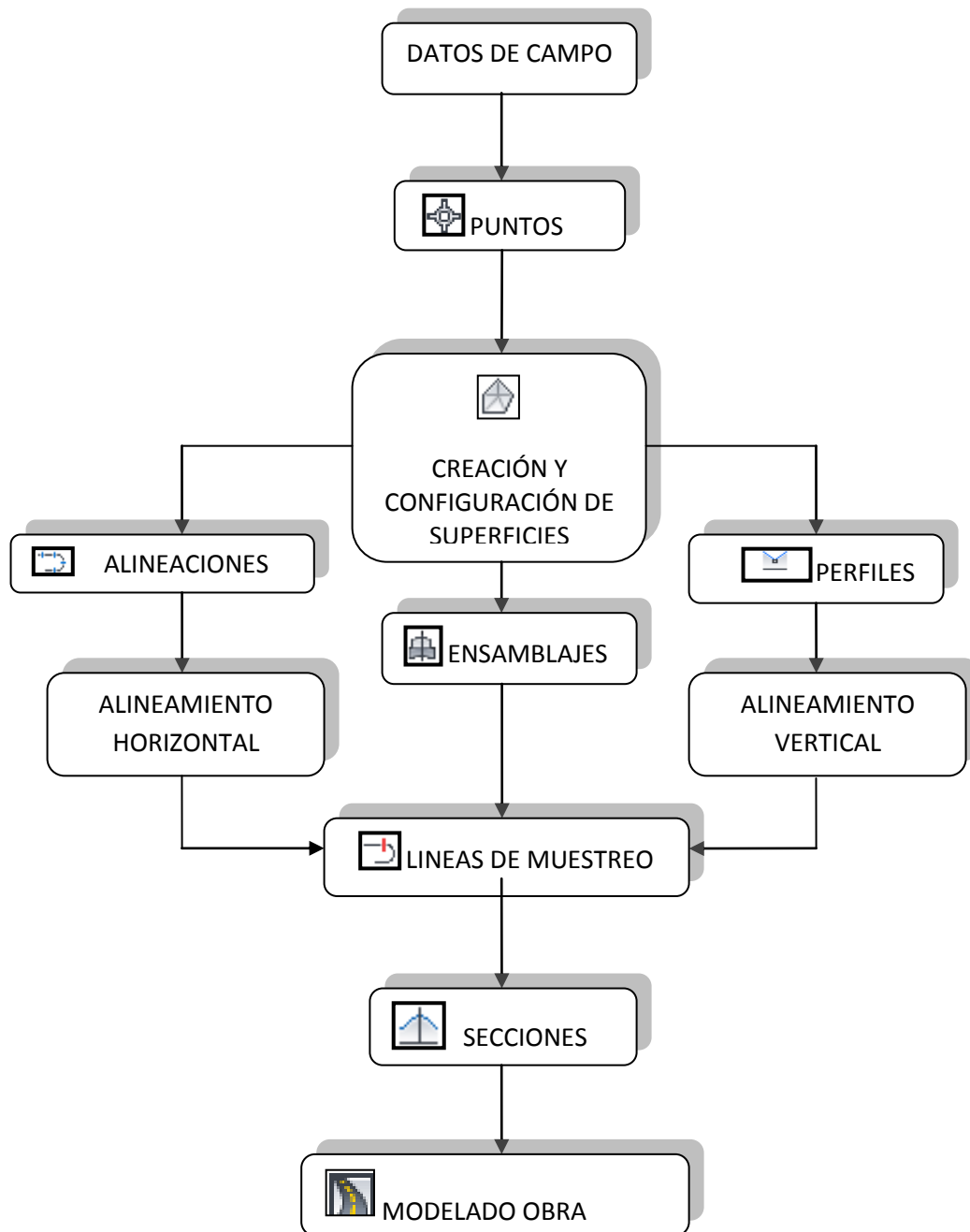


Figura 2.58 Herramientas de obra lineal

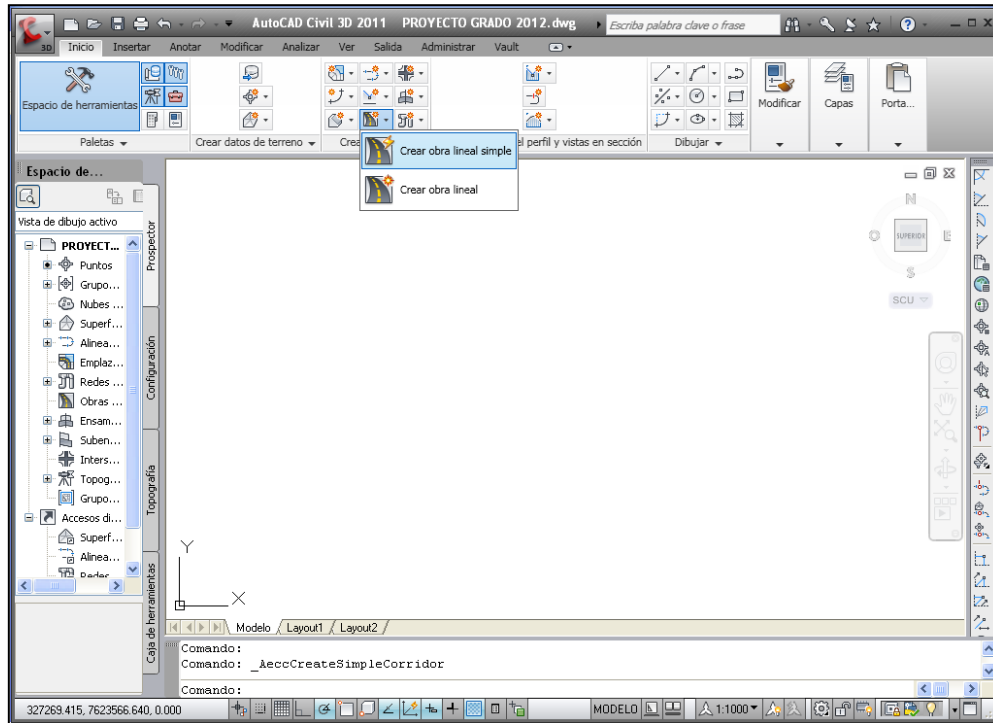


Figura 2.59 Creación de obra lineal

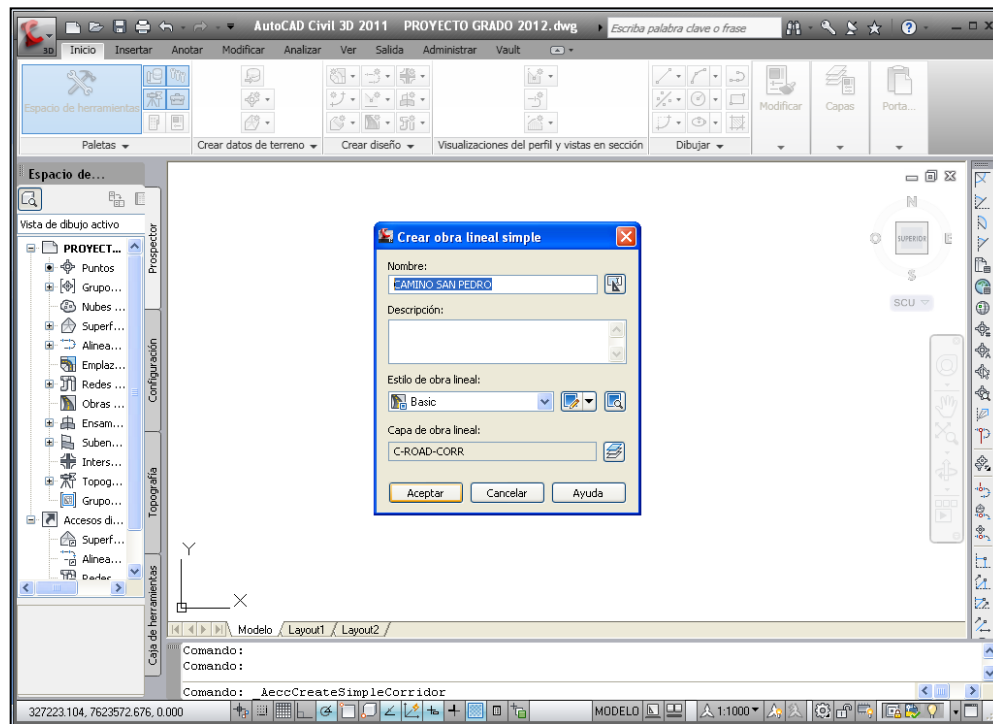
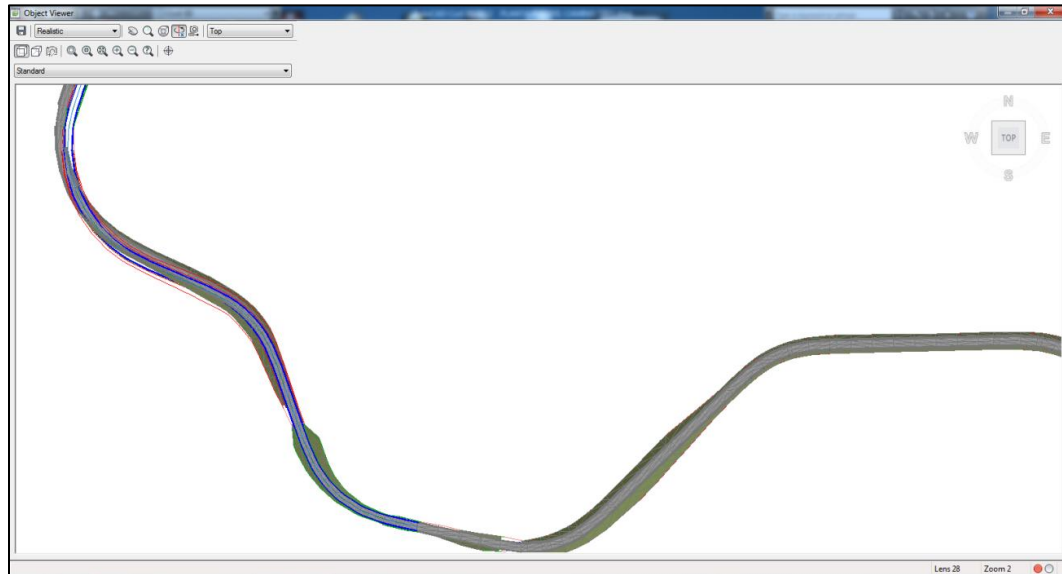


Figura 2.60 Visualización de obra lineal



2.6 Descripción del análisis de materiales y de cantidades

En AutoCAD Civil 3D, permite la creación, administración y el trazado de cantidades de materiales de un grupo de líneas de muestreo a lo largo de una alineación, comparando diversas superficies de diseño y superficies de terreno existentes, por lo que es posible guardar o procesar esas cantidades mediante:

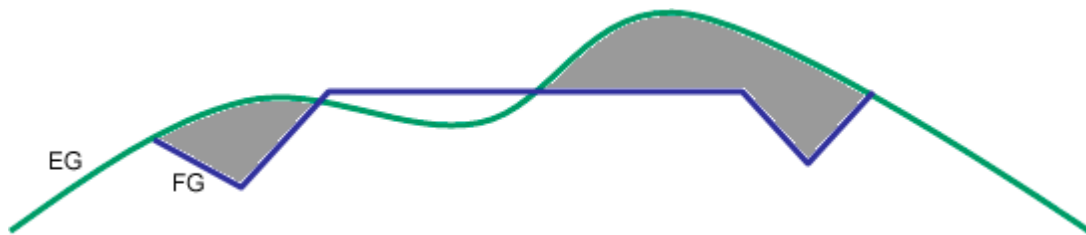
- Tablas de volúmenes totales
- Tablas de volúmenes de material
- Informes de volumen
- Tablas de cubicación
- Diagramas de masas

2.6.1 Tipos de cantidades

Es necesario crear criterios de cubicación para preparar la generación de tablas o informes de cubicación, debido a que existen diferentes tipos de cubicación.

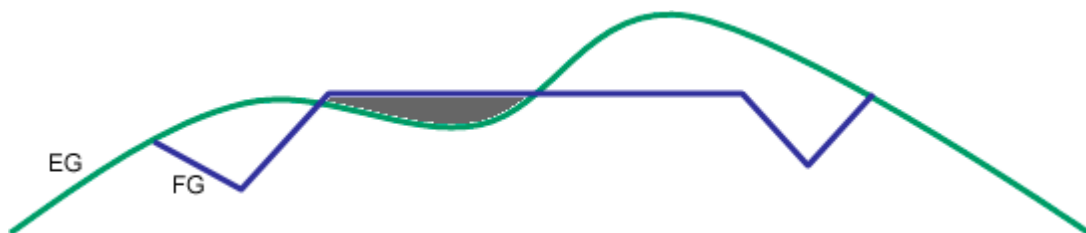
-Desmonte: Se utiliza para calcular el material que se debe eliminar. Por ejemplo, podría tratarse de la cantidad de material por debajo de una superficie de terreno existente (TE) y por encima de una superficie de terreno final (FG):

Figura 2.61 Desmonte



-Terraplén: Se utiliza para calcular el material que se debe añadir. Por ejemplo, podría tratarse de la cantidad de material por encima de una superficie de terreno existente (TE) y por debajo de una superficie de terreno final (FG):

Figura 2.62 Terraplén

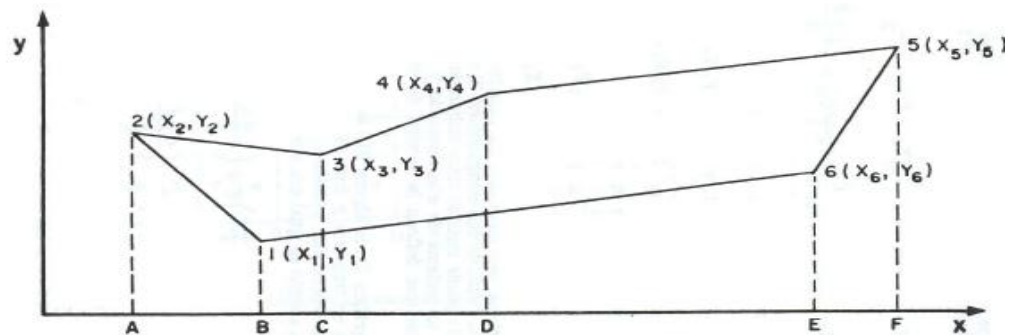


-Desmonte y terraplén: Se utiliza para calcular el material que se debe retirar y añadir considerando un factor de relleno diferente al factor en desmonte. Por ejemplo,

puede ser necesario eliminar un área de material de subsuperficie existente para una obra lineal, si comprende terrenos blandos o pantanosos, y rellenarla con un tipo de material diferente para proporcionar estabilidad estructural.

Para realizar el análisis de materiales y de cantidades en AutoCAD Civil 3D es necesario la creación de líneas de muestreo a lo largo de la alineación que permitan la creación de secciones transversales, para ello se creó la línea de muestro cada 20 metros en rectas y 10 metros en curvas.

Figura 2.63 Esquema del Cálculo de Movimiento de tierras



$$A = \frac{1}{2} \cdot ((Y1 \cdot X2 + \dots + Yn \cdot X1) - (X1 \cdot Y2 + \dots + Xn \cdot Y1)) \quad \text{Ec. 2.14}$$

El método de cálculo utilizado en el programa es el analítico el cual consiste en el cómputo de las áreas por coordenadas, es decir basados en coordenadas de los puntos que definen el contorno de la superficie usado cuando la sección es bastante irregular, es decir la relación que existe de la superficie del terreno Natural o topografía, con la superficie creada perteneciente a la carretera con todos sus parámetros él cálculo resultará entre las diferencias de superficies la natural o topografía del terreno corresponde a la creada por los puntos durante el levantamiento topográfico y la del diseño de la carretera corresponde al corredor creado de acuerdo al alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y el ensamblaje o calzada determinada en el diseño.

La determinación del cálculo de volúmenes se obtiene a partir de las áreas, el método adoptado será el de la semisuma o áreas medias.

Método de la Áreas Medias:

Casos particulares

Volumen “CORTE-CORTE”

$$V_c = \frac{(Ac_1 + Ac_2) \cdot L}{2} \quad Ec. 2.15$$

Volumen “RELLENO- RELLENO”

$$V_r = \frac{(Ar_1 + Ar_2) \cdot L}{2} \quad Ec. 2.16$$

Volumen “RELLENO-CORTE”

$$V_c = \frac{Ac^2 \cdot L}{2 \cdot (Ar + Ac)} \quad Ec. 2.17$$

$$V_r = \frac{Ar^2 \cdot L}{2 \cdot (Ar + Ac)} \quad Ec. 2.18$$

Donde:

Ar: Área de corte (m²)

Ac: Área de relleno (m²)

L: longitud entre progresivas (m)

Figura 2.64 Herramientas de Cantidades de Materiales

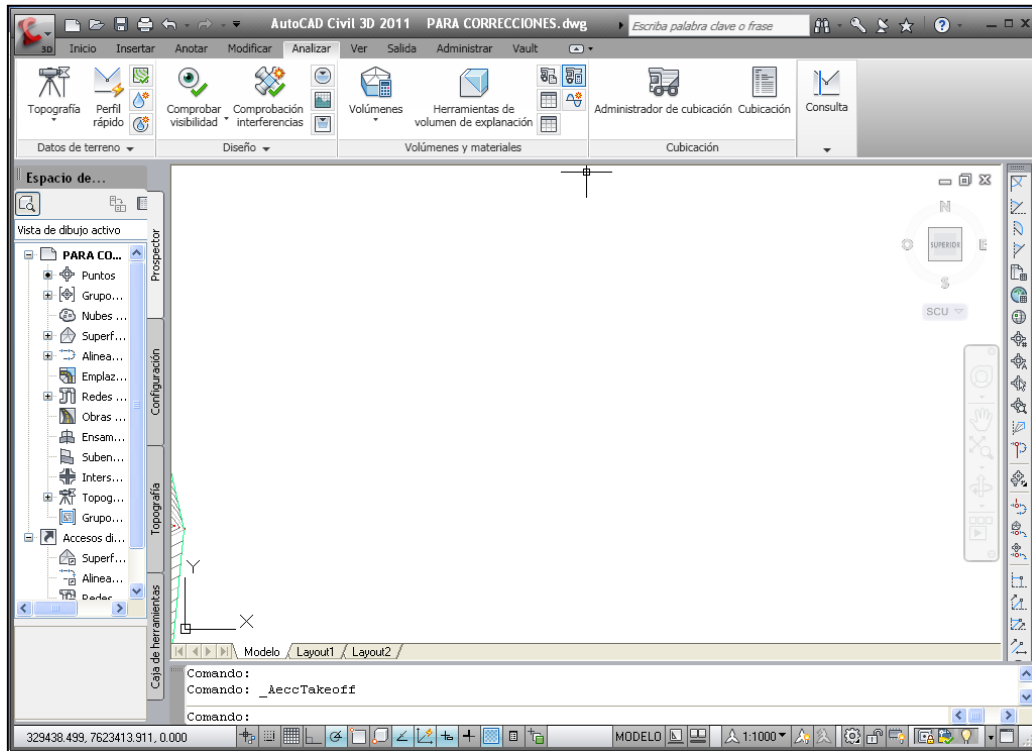


Figura 2.65 Selección del Alineamiento y Secciones Transversales

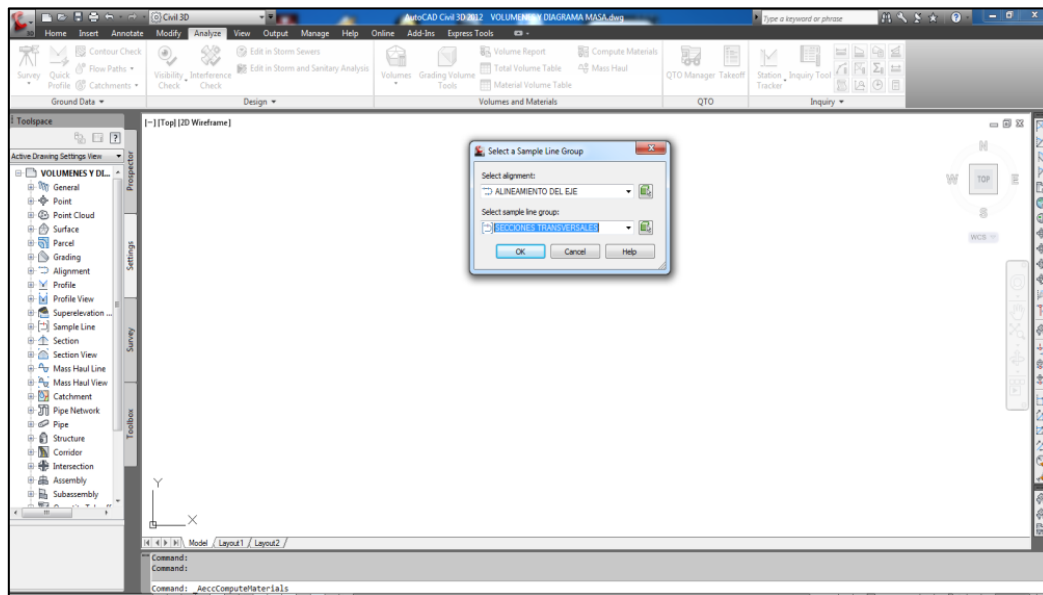


Figura 2.66 Creación de la lista de Materiales

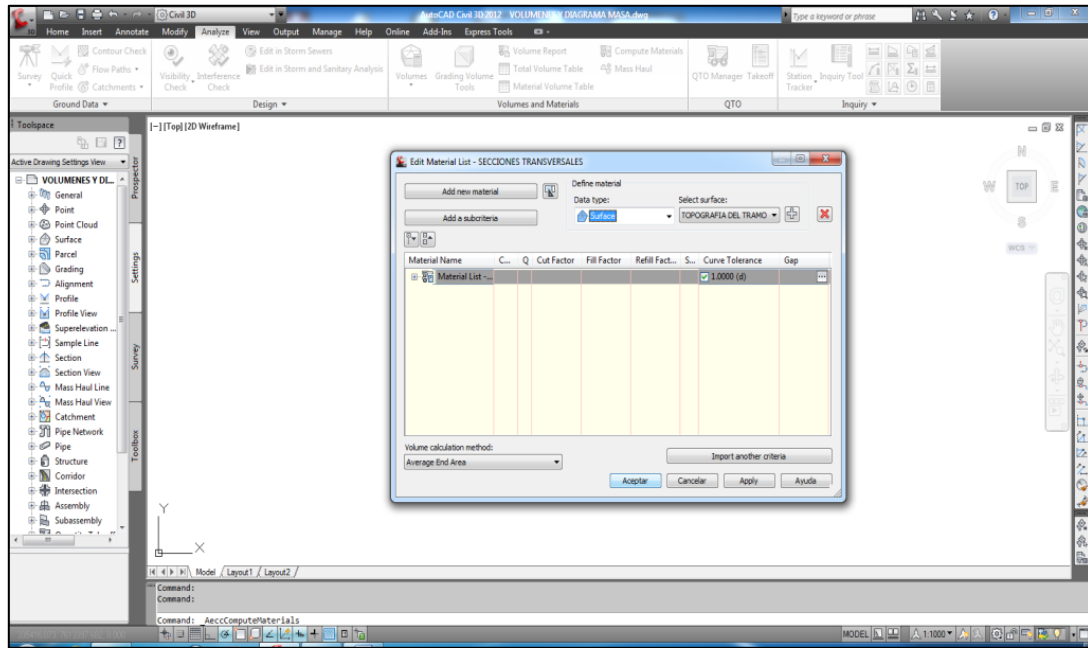
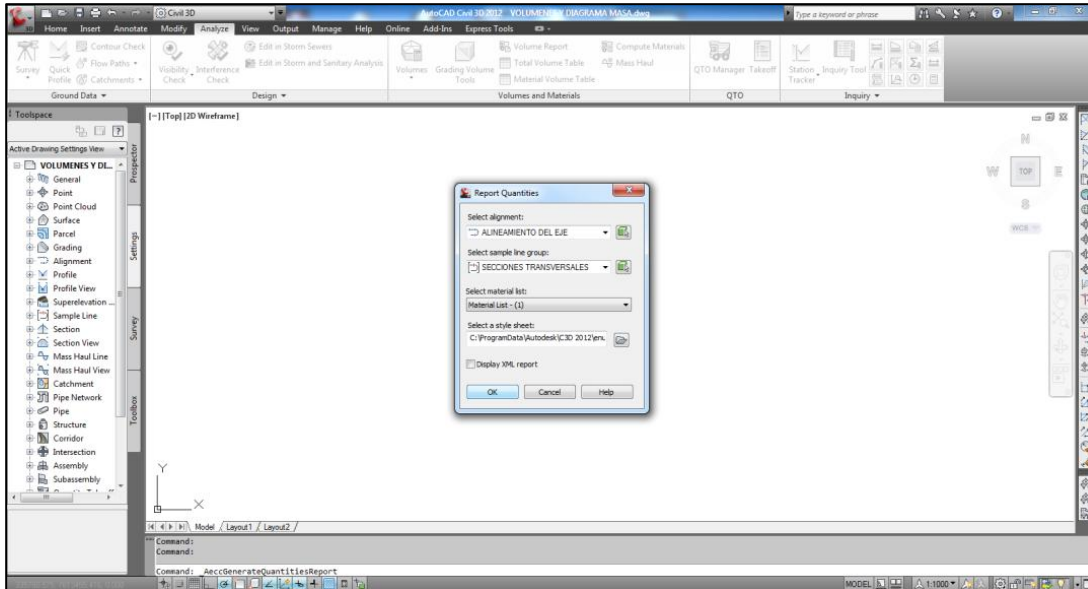


Figura 2.67 Reporte de la Cantidad de Materiales



Para el cálculo de volúmenes se tomó en cuenta los factores de abundamiento; el factor de corte factor de incremento, el factor de llenado es un factor de reducción factor de rellenado cuando de corte puede servir como rellenado.

Cuadro 2.24 Factor de abundamiento

MATERIAL	FACTOR DE ABUNDAMIENTO
Tierra Negra	1,00 - 1,25
Material Arenoso	1,10 - 1,30
Roca Suelta	1,30 - 1,40
Roca Fija	1,40 - 1,65

Fuente: Vías de Comunicación

Cuadro 2.25 Factor de reducción

MATERIAL	FACTOR DE REDUCCION
Tierra Negra	0,98 - 1,00
Material Arenoso	0,75 - 0,90
Roca Suelta	0,70 - 0,75
Roca Fija	0,60 - 0,70

Fuente: Vías de Comunicación

2.6.2 Curva Masa

El diagrama de masas es una gráfica, en el cual las abscisas representan a las progresivas del camino y las ordenadas a los volúmenes acumulativos de las terracerías.

La curva masa se la obtiene a partir de una gráfica de los volúmenes acumulados en los movimientos de tierra, busca el equilibrio para la calidad y economía de los movimientos de tierras, además es un método que indica el sentido del movimiento de los volúmenes excavados, la cantidad y la localización de cada uno de ellos.

Figura 2.68 Curva Masa

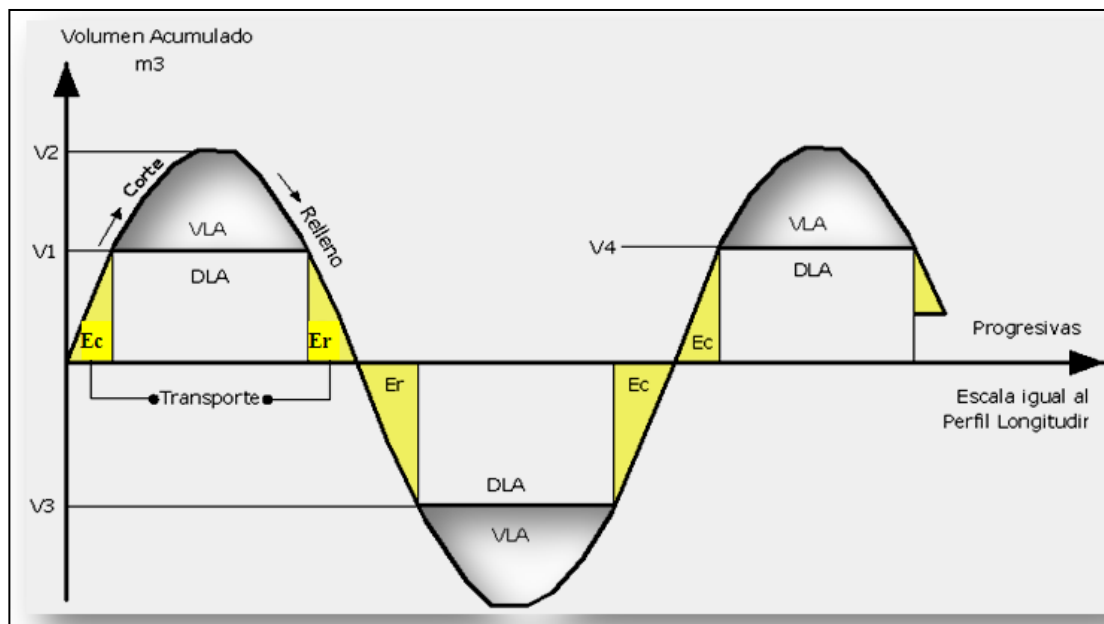


Figura 2.69 Comando de creación de Curva Masa

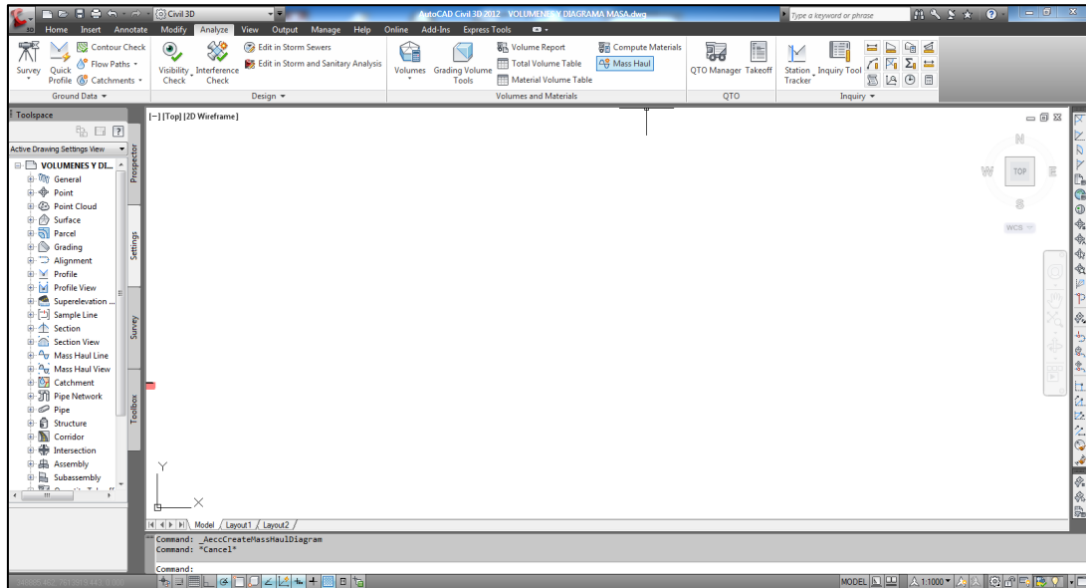


Figura 2.70 Configuración de Curva Masa

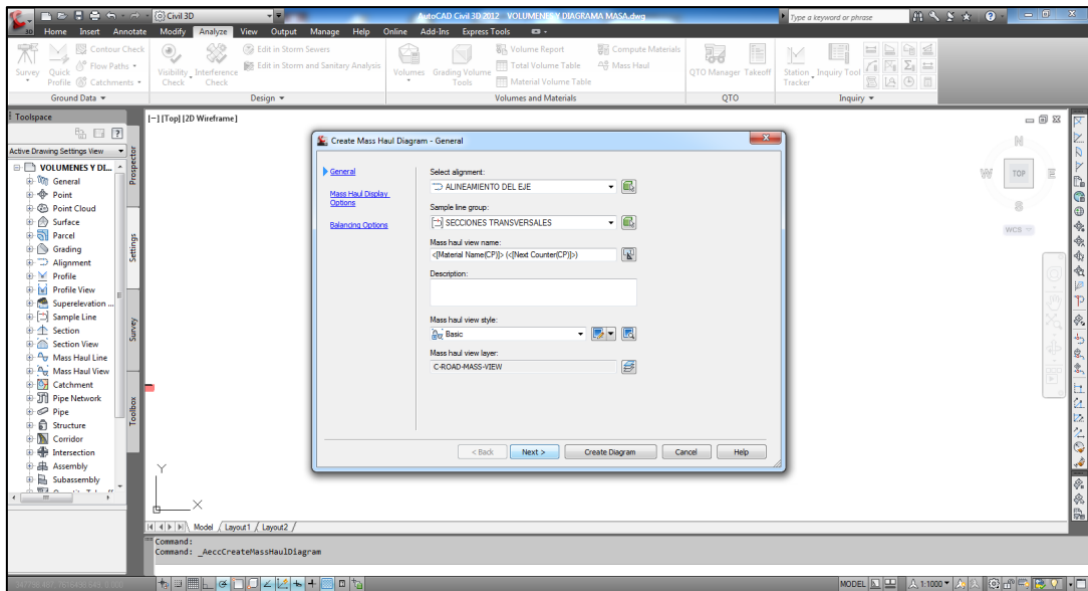
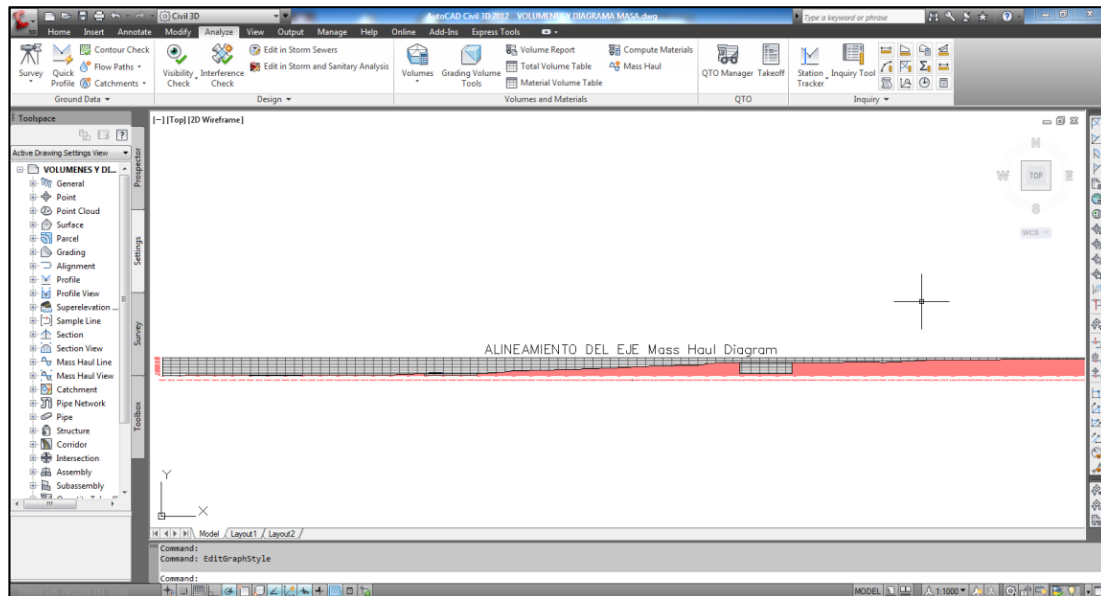


Figura 2.71 Visualización de Curva Masa



2.7 Estudio Hidrológico

El objetivo del estudio hidrológico es determinar el caudal que debe evacuar cada elemento del desagüe superficial ya sea longitudinal o transversal, el caudal se debe determinar para cada una de las cuencas que cruzan el eje de la vía.

2.7.1 Cálculo Hidrológico

La determinación puede partir de datos de precipitaciones como es el caso en pequeñas cuencas o caudales aforados en el caso de cuencas importantes.

En este proyecto se realizará el cálculo hidrológico a través de datos de precipitaciones de la Estación de Sella Quebradas debido a la proximidad de la zona del proyecto.

2.7.1.1 Período de Retorno

Se denomina así al intervalo de tiempo promedio dentro de la cual un evento de magnitud “X” puede ser igualado o superado al menos una vez en promedio, asumiendo para este proyecto 25 años.

Cuadro 2.26 Periodos de Retorno para diseño

Tipo de Obra	Tipo de Ruta	Período de Retorno (T años)		Vida útil Supuesta (n; años)	Riesgo de Falla (%)	
		Diseño (3)	Verificación (4)		Diseño	Verificación
Puentes y Viaductos (1)	Carretera	200	300	50	22	15
	Camino	100	150	50	40	28
Alcantarillas ($S > 1,75 \text{ m}^2$) o $H_{\text{entap}} \geq 10 \text{ m}$ y Estructuras Enterradas (2)	Carretera	100	150	50	40	28
	Camino	50	100	30	45	26
Alcantarillas ($S < 1,75 \text{ m}^2$)	Carretera	50	100	50	64	40
	Camino	25	50	30	71	45
Drenaje de la Plataforma	Carretera	10	25	10	65	34
	Camino	5	10	5	67	41
Defensas de Riberas	Carretera	100	-	20	18	-
	Camino	100	-	20	18	-

Fuente: Manuales técnicos Volumen II Hidrología y drenaje

2.7.1.2 Cálculo de la Intensidad máxima

El cálculo de la intensidad máxima se realiza a través de precipitaciones máximas horarias en 24 horas y el tiempo de concentración, haciendo un análisis estadístico de las precipitaciones para un determinado período de retorno mediante la ley *Gumbel modificada*.

Variables Estadísticas:

$$Ed = X_m - 0,45 \cdot Sd \quad \text{Ec. 2.19}$$

$$Kd = \frac{Sd}{0,557 \cdot Ed} \quad \text{Ec. 2.20}$$

Dónde:

$Ed = \text{Moda (mm)}$

Kd =Característica (mm)

Xm =Media (mm)

Sd =Desviación Estándar (mm²)

Lluvia máxima horaria mayores a 2 hrs y menores a 24 hrs (ht_T):

$$ht_T = Ed_p \cdot \left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta \cdot (1 + Kd_p \cdot \log(T)) \quad Ec. 2.21$$

Donde:

hTt : Altura de lluvia horaria (mm)

T : Periodo de retorno (años)

t : Tiempo de duración de la lluvia (hrs.) mayor a 2hrs. y menor a 24 hrs.

β : 0,2 Coeficiente

α : 12-Ac > 20 km² Coef. depende del área de la cuenca

α : 2-Ac < 20 km² Coef. depende del área de la cuenca

Tiempo de Concentración (tc):

Fórmula de California highway & Public work

$$tc = 0,95 \cdot \left(\frac{L^3}{H}\right)^{0,385} \quad Ec. 2.22$$

Donde:

L =Longitud del rio principal (m)

H =Desnivel entre el punto más alto y el punto más bajo (m)

Intensidad (i_{max}):

$$i_{max} = \frac{ht_T}{tc} \quad Ec. 2.23$$

2.7.2 Cálculo del Caudal Máximo

El cálculo del caudal de diseño o caudal máximo se calculará mediante el método racional modificado, que servirá para realizar el diseño hidráulico de las estructuras de drenaje.

2.7.2.1 Coeficiente de escorrentía

La cantidad de agua que escurre no es igual al que ha precipitado porque parte del agua se infiltra a través del suelo, la proporción de agua precipitada que escurre es conocido como el coeficiente de escorrentía “C”

Cuadro 2.27 Valores del coeficiente de Escorrentía

Coeficiente de Escorrentía "C"	
Pavimentos Asfálticos	0.70 - 0.95
Pavimentos de adoquín	0,50 – 0,70
Pavimentos de concreto	0,80 – 0,95
Suelos impermeables	0.40 – 0.65
Suelos Ligeramente Permeables	0,15 – 0,40
Suelos Moderadamente Permeables	0,05 – 0,20

Fuente: Manuales técnicos Volumen II Hidrología y drenaje

2.7.2.2 Método Racional Modificado

Es un método empírico aplicable a pequeñas cuencas menores a 25 km² que supone una hipótesis:

Se considera que la precipitación ocurre con una intensidad no uniforme en toda el área de la cuenca, representado por el coeficiente de uniformidad (CU).

$$CU = 1 + \frac{t_c^{1,25}}{t_c^{1,25} + 14} \quad Ec. 2.24$$

$$Q = CU \cdot \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6} \quad Ec. 2.25$$

Donde:

CU: Coef. de uniformidad

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad máxima (mm/h)

A: Área de la cuenca (has)

2.7.3 Diseño Hidráulico de las estructuras de drenaje

El diseño hidráulico de las estructuras de drenaje corresponde determinar la sección transversal, la carga hidráulica y garantizar su funcionamiento

2.7.3.1 Cunetas

Por ser obras de canalización y evacuación de aguas producidas por precipitación, las cunetas que se diseñan no serán en todo el tramo sino en lugares estratégicos donde sea insuficiente el escurrimiento propio por gravedad a los bordes del terreno.

El caso particular es que la vía se encuentra en terreno llano donde se aplican las siguientes ecuaciones:

Método Racional:

$$Q = \frac{0,00028 \cdot C \cdot I \cdot (B \cdot L)}{2} \quad Ec. 2.26$$

Dónde:

Q: Caudal (m³/s)

I: Intensidad de la lluvia (mm/h)

C: Coef. de escorrentía

B: Ancho de la calzada (m)

L: Longitud del tramo aportador (m)

Determinación de la Sección Hidráulica:

$$Q = \frac{A}{n} \cdot R^{\frac{2}{3}} \cdot S_o^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ec. 2.27}$$

Área de sección triangular

$$A = \frac{(Za + Zb) \cdot h^2}{2} \quad \text{Ec. 2.28}$$

Perímetro de sección triangular

$$P = \left(\sqrt{1 + Za^2} + \sqrt{1 + Zb^2} \right) \cdot h \quad \text{Ec. 2.29}$$

Donde:

Q: Caudal (m³/s)

A: Área de la cuenca (m²)

R: Radio hidráulico (m)

So: Pendiente de la cuneta (m/m)

Za:Zb: Talud de la cuneta

Cuadro 2.28 Cálculo de Cunetas lado izquierdo

LADO IZQUIERDO						
TRAMO Progresiva	Tc (hrs)	Cp	CAUDAL	CUNETAS TIPO TRIANGULAR		
			(lt/s)	h (cm)	bl (cm)	y (cm)
0+000 - 0+424,83	0.17	0.31	91.80	20	10	30
1+220 - 1+560	0.17	0.31	75.54	20	10	30
1+816 - 2+063	0.17	0.31	63.57	20	10	30
2+820 - 2+980	0.17	0.31	51.58	20	10	30
3+050 - 3+157	0.17	0.31	44.84	20	10	30
3+575 - 3+715	0.17	0.31	38.61	20	10	30
3+815 - 3+975	0.17	0.31	52.68	20	10	30
4+120 - 4+395	0.17	0.31	60.61	20	10	30
4+610 - 5+015	0.17	0.31	83.52	20	10	30

Fuente: Elaboración propia

Cuadro 2.29 Cálculo de Cunetas lado derecho

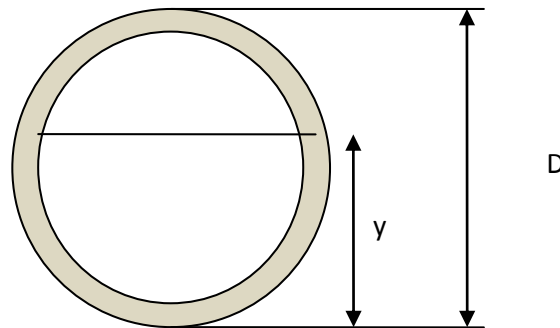
LADO DERECHO						
TRAMO Progresiva	Tc (hrs)	Cp	CAUDAL	CUNETAS TIPO TRIANGULAR		
			(lt/s)	h (cm)	bl (cm)	y (cm)
1+220 - 1+560	0.17	0.31	66,9	20	10	30
1+816 - 2+063	0.17	0.31	59,25	20	10	30
3+050 - 3+157	0.17	0.31	44,67	20	10	30
3+815 - 3+975	0.17	0.31	48,36	20	10	30

Fuente: Elaboración propia

2.7.3.2 Alcantarillas de alivio

En diferentes tramos donde se emplazarán cunetas cuentan con longitudes grandes hasta llegar a la alcantarilla, para esto es necesario aliviar la cuneta a una distancia de 100 – 150 m, para dimensionar la alcantarilla se considera parcialmente llena proyectada a 0,75 de su sección y flujo uniforme.

Figura 2.72 Alcantarilla de alivio parcialmente llena



Ecuaciones para tuberías parcialmente llenas:

$$A = \frac{D^2}{8} \cdot (\theta_r - \text{sen } \theta) \quad \text{Ec. 2.30}$$

$$P = \frac{D \cdot \theta_r}{2} \quad \text{Ec. 2.31}$$

$$\theta = 2 \cdot \arccos\left(\frac{D - 2 \cdot Y}{D}\right) \quad \text{Ec. 2.32}$$

$$Q = \frac{0,31185392 \cdot D^{\frac{3}{8}} \cdot S^{\frac{1}{2}}}{n} \quad \text{Ec. 2.33}$$

Donde:

Q: Caudal de diseño (m³/seg)

A: Área (m²)

P: Perímetro mojado (m)

n: Coeficiente de rugosidad

S: Pendiente de la tubería (m/m)

D: Diámetro de la tubería (m)

Cuadro 2.30 Coeficientes de Rugosidad

MATERIAL	n
Acero Corrugado	-
Acero con juntas lock-bar (nuevo)	-
Acero galvanizado (nuevo y usado)	0,0140
Acero remachado (nuevo)	0,0150 - 0,0160
Acero remachado (usado)	-
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (nuevo)	0,0120 - 0,0130
Acero soldado o con remache avellanado y embutido (usado)	-
Acero sin costura (nuevo)	-
Acero sin costura (usado)	-
Acero soldado, con revestimiento especial (nuevo y usado)	-
Fierro fundido limpio (nuevo)	0,0130
Fierro fundido, sin incrustaciones (usado)	-
Fierro fundido, sin incrustaciones (viejo)	-
Plástico	-
Asbesto cemento (nuevo)	-
Concreto acabado liso	-
Concreto acabado común	-
Concreto monolítico, colocado con cimbras deslizantes (D > 1,25 m)	0,0100 - 0,0110
Concreto monolítico bien cimbrado y pulido (D > 1,25 m)	0,0110 - 0,0123
Concreto monolítico bien cimbrado y sin pulir (D > 1,25 m)	0,0140 - 0,0150
Concreto con acabado tosco (D > 1,25 m)	0,0150 - 0,0170
Concreto con juntas de macho y campana (D > 0,8 m)	0,0105 - 0,0120
Concreto con juntas toscas (D > 0,5 m)	0,0125 - 0,0140
Concreto con juntas toscas (D < 0,5 m)	0,0140 - 0,0170
Conductos para alcantarillado	-
Tubos de barro vitrificado (drenes)	0,0110
Túneles perforados en roca sin revestimiento	0,0250 - 0,0400
Madera cepillada o en duelas	0,0105 - 0,0120

Fuente: Hidráulica general (sotelo)

Cuadro 2.31 Dimensiones de las alcantarillas de alivio

PROGRESIVA	Q (m ³ /s)	So (m/m)	D (m)	D (plg)	D Asumido
0+000 - 0+124,6	0,111	0,010	0,341	14	16
0+124,6-0+274,6	0,134	0,020	0,321	13	16
0+274,6-0+424,6	0,134	0,015	0,338	14	16
0+614,3-0+764,7	0,110	0,025	0,285	11	12
0+764,7-0+915,6	0,110	0,030	0,276	11	12
0+915,6-1+065,5	0,117	0,023	0,297	12	12
1+065,5-1+263,5	0,110	0,025	0,285	11	12
1+263,5-1+460,3	0,110	0,019	0,300	12	12
1+460,3-1+611,6	0,110	0,020	0,297	12	12
1+611,6-1+761,6	0,110	0,015	0,314	13	16
1+761,6-1+911,7	0,110	0,025	0,285	11	12
1+911,7-2+025,7	0,083	0,020	0,268	11	12
2+273,8-2+378,5	0,154	0,015	0,357	14	16
2+378,5-2+528,7	0,221	0,023	0,377	15	16
2+890,2-3+040,2	0,091	0,010	0,317	13	16
3+040,2-3+190,2	0,047	0,010	0,247	10	10
3+190,2-3+340,2	0,091	0,013	0,301	12	12
3+340,2-3+490,2	0,062	0,030	0,222	9	10
3+520,2-3+609,8	0,055	0,022	0,225	9	10
3+775,7-3+927,6	0,093	0,015	0,295	12	12

Fuente : Elaboración propia

2.7.3.3 Alcantarillas de Cruce

Son obras de cruce o de drenaje transversal que en algunos subtramos sirven de alivio para que las cunetas evacuen sus aguas.

Las alcantarillas se diseñaran en base al Método del departamento de Carreteras de Kentucky en la cual conduce a determinar la clase y tipo de operación del conducto bajo cierto procedimiento de cálculo.

Cuadro 2.32 Dimensiones de las alcantarillas de cruce

ALCANTARILLA DE CRUCE				
TRAMO Progresiva	TIPO DE ALCANTARILLA	CANTIDAD	DIMENSIÓN (Pig.)	MATERIAL
3+020	Circular	1	21	Metal Corrugado
4+045	Circular	1	30	Metal Corrugado

Fuente : Elaboración propia

2.7.3.4 Puentes

Un puente vehicular es una construcción que permite salvar un accidente geográfico o cualquier otro obstáculo físico como un río, un valle, un cuerpo de agua, o cualquier otro obstáculo que impidan la circulación de un vehículo.

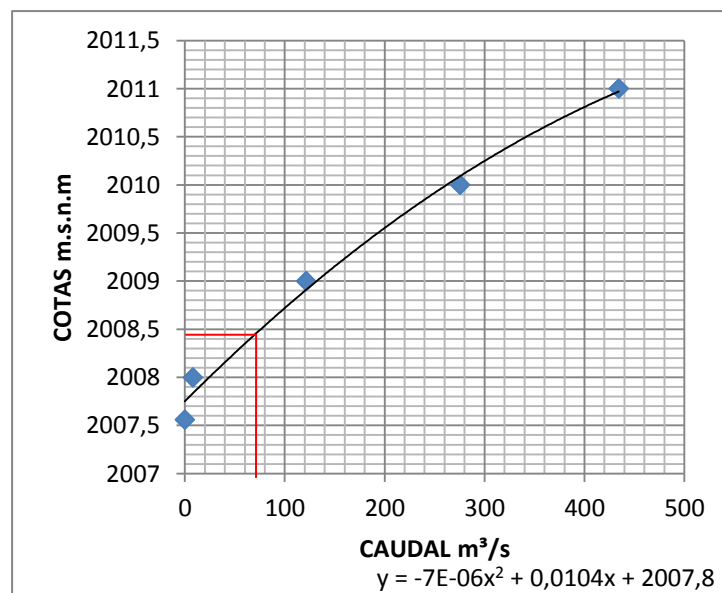
El principal obstáculo que se presenta en este diseño es la quebrada de San Pedro, al realizar el estudio hidrológico y a través del cálculo aplicando el método racional se tiene como resultado un Caudal Máximo de $75\text{m}^3/\text{s}$ para un Periodo de Retorno de 50 años, como mejor alternativa de solución a este problema se plantea el diseño y construcción de un puente vehicular.

Mediante la curva de descarga de la quebrada de San Pedro se obtiene los siguientes datos en la sección en donde se pretende realizar el diseño del puente vehicular.

Cuadro 2.33 Curva de descarga de la quebrada de San Pedro

COTA	AREA PARCIAL (m ²)	AREA AC. (m ²)	PERIMETRO (m)	PERIMETRO AC. (m)	RADIO H. (m)	CAUDAL (m ³ /s)
2007,56	0	0	0	0	0	0
2008	4,091	4,091	37,22	37,22	0,110	8,23
2009	26,3	30,391	61,47	98,69	0,308	121,45
2010	30	60,391	62	160,69	0,376	275,62
2011	30	90,391	62	222,69	0,406	434,27
2012	30	120,391	62	284,69	0,423	594,41
2013	30	150,391	62	346,69	0,434	755,25
2014	30	180,391	62	408,69	0,441	916,45
2015	30	210,391	62	470,69	0,447	1077,88

Figura 2.73 Curva de descarga de la quebrada de San Pedro



Cuadro 2.34 Dimensiones Adoptadas para el diseño del puente

DIMENSIONES ADOPTADAS	
Longitud Total del puente =	30(m)
Elevación=	5(m)
Cota Aguas Mínimas=	2007,56
Cota Aguas Máximas=	2009
Ancho Tablero=	8,1(m)
Ancho Plataforma=	7(m)
Bombeo=	2%

3.1 Conclusiones

- Para la elaboración del diseño geométrico de una carretera es necesario analizar y aplicar los criterios y aspectos técnicos establecidos por el manual de diseño geométrico de la Administración Boliviana de Carreteras (ABC), donde se interrelacionaron diferentes conceptos de mayor incidencia y la aplicación de los parámetros recomendados, como ser: la velocidad de diseño, correlación de radios de curvatura, pendientes máximas, peraltes, visibilidad y sección tipo, basados en la clasificación de la vía y sus condiciones topográficas que nos permiten llegar a un diseño óptimo reflejados en la funcionalidad, comodidad del usuario y la seguridad vial.
- Se realizó un análisis preliminar para la elaboración de alternativas de diseño mediante la aplicación del programa AutoCAD Civil3D a través de la importación de las imágenes de Google Earth, lo que facilitó una evaluación óptima de la dirección y forma que nos ofrecía el terreno de manera rápida y directa de toda la zona en donde se pretende realizar el diseño, posibilitando la medición de las longitudes de los tramos y la creación de curvas de nivel para la evaluación de pendientes a través de la elaboración de perfiles longitudinales de las tres posibles alternativas, como también su aplicación en la delimitación de las cuencas de aporte, cálculo de áreas y la topografía de las mismas prescindiendo de cartas geográficas del Instituto Geográfico Militar (I.G.M.) que en muchos casos se necesitan más de una carta geográfica para abarcar toda la zona de un proyecto.
- Al definir la mejor alternativa necesariamente se debe realizar el levantamiento topográfico de la faja elegida que se logró obtener a través del método de secciones y la lectura de puntos transversales a lo largo de la alineación mediante equipo topográfico, esto debido a que la topografía creada en el programa a través de la importación de Google Earth proporciona una topografía excesivamente genérica donde puede omitir detalles sumamente importantes del terreno real, además de la presencia de un cierto margen de error por lo que se corre el riesgo

de trabajar con valores incorrectos tanto en coordenadas como en elevaciones que pueden llevar a la realización de un mal diseño.

- Al realizar la importación de los puntos obtenidos del levantamiento topográfico en el terreno hacía el programa se obtuvo un resultado satisfactorio, debido a la gran similitud que existía a partir de la creación de curvas de nivel en el programa en relación con la topografía real en el campo.
- El diseño geométrico realizado fue producto de un análisis cuantitativo y cualitativo de la norma ABC en los parámetros de diseño como ser ancho de calzada, bermas, y sobreancho de plataforma como también los parámetros de diseño del programa, realizando el diseño mediante la aplicación del programa AutoCAD Civil3D a través de sus propios parámetros de diseño, los cuales se asemejan a la Norma Boliviana como ser: los radios mínimos admitidos a distintas velocidades en curvas y los parámetros de la clotoide en curvas de transición.
- El cálculo de los peraltes se lo realizó a través de la aplicación del programa con un peralte máximo de diseño del 8% en las curvas, siendo éste un valor recomendable para contrarrestar las fuerzas ejercidas hacía el terreno del producto de las componentes del peso del vehículo entre las llantas y la rodadura de la carretera o camino.
- El cálculo de la longitud de transición del desarrollo del peralte solo pudo ser aplicado en las curvas de transición, esto debido al espacio disponible y no así en el caso de las curvas simples donde el desarrollo del peralte necesariamente se lo desarrolló dentro de la curva por no contar con el espacio suficiente. Por lo que se puede deducir que en el cálculo de longitudes de transición de peraltes tiene una mejor aplicabilidad en terrenos planos, o donde se cuente con una topografía favorable es decir donde se pueda plasmar radios de gran magnitud o donde exista el suficiente espacio para la longitud de transición del desarrollo del peralte fuera de las curvas, que en su mayoría no es el caso de nuestra realidad, por contar en nuestro medio en su mayoría con topografías accidentadas para el diseño de caminos y carreteras.

- En el cálculo del movimiento de tierras mediante el reporte de volúmenes y la visualización de la gráfica del diagrama de masas se puede verificar que no se logró llegar a un resultado de diseño ideal de compensación de corte y relleno por presentarse a lo largo del trazado mayor volumen de corte que de relleno, ésta situación debido a que en la realización del diseño de la rasante en algunos sectores se presentaban grandes pendientes, superiores a las permisibles, al igual que en la visibilidad, por esta razón se optó por realizar cortes para llegar a un diseño óptimo de la rasante.
- El cálculo de las alcantarillas cruce son de tipo circular que cumplen con las condiciones principales de velocidad y altura de agua a la entrada mejorando así sus condiciones hidráulicas, garantizando de esta manera buen funcionamiento ante cualquier evento hidrológico extraordinario.
- Al culminar el diseño geométrico del tramo, se puede verificar que la aplicación del programa AutoCAD Civil 3D es útil para el diseño geométrico de caminos y carreteras a través de sus herramientas y parámetros de diseño que tienen gran similitud con relación a los de la Norma propuesta por la ABC, y nos permite realizar cálculos rápidos y confiables simplificando el trabajo del proyectista.
- Entre las principales ventajas del programa AutoCAD Civil 3D es la facilidad de la creación y la opción del trazado de diferentes tipos de curvas de diseño horizontales como de curvas verticales, que lleven a la solución óptima en la alineación plasmada, además del cálculo directo de valores de los elementos del tipo de curva.
- En el cálculo de peraltes a lo largo de una alineación, es posible la creación de la gráfica específica de peraltes representada por la sobreelevación versus las progresivas, donde se puede verificar el valor del peralte en cualquier punto de la alineación además de la verificación de la longitud del desarrollo del peralte y su transición.
- Una de las ventajas de trabajar con las normas de diseño que contiene el programa es la aparición de un símbolo de advertencia en el caso de estar incumpliendo las normativas mediante el desarrollo de un diseño.

- Una de las principales dificultades que se presentan en el diseño, con la aplicación de AutoCAD Civil 3D es en el cálculo de las longitudes de transición del desarrollo del peralte, donde necesariamente el programa exige la suficiente distancia para realizarla fuera de la curva, y es donde el proyectista debe dar una solución óptima en el caso de no contar este espacio suficiente.
- Al finalizar un diseño el programa nos permite realizar una visualización en tres dimensiones, y de esa manera analizar el tramo en toda su longitud de lo que resultará una vez ejecutado a través de una simulación de recorrido.
- La principal ventaja del programa es su flexibilidad en cuanto la necesidad de realizar cambios en el diseño, ya que al trabajar con la opción dinámica y realizar una modificación de un alineamiento horizontal o vertical se modifican los valores automáticamente a los cambios efectuados en cuanto a lo que respecta secciones transversales, y volúmenes de tierra proporcionándonos la ventaja de analizar la mejor alternativa que resulte óptima y de menor costo posible.
- El diseño geométrico mediante la aplicación del programa AutoCAD Civil 3D nos permite realizar cálculos rápidos simplificándonos el trabajo, pero una de las principales desventajas de éste y de otros programas es que no tienen un criterio establecido hacia la realidad de la ejecución, pueden arrojar resultados falsos o incoherentes a diferencia del proyectista que es el encargado de aplicar todos los criterios conocidos y de analizar los resultados obtenidos y corregir las fallas para llegar a un diseño óptimo y favorable para su ejecución.

3.2 Recomendaciones

- De acuerdo al diseño que se obtuvo mediante este proyecto, la aplicación del programa AutoCAD Civil 3D es recomendable para el diseño geométrico de caminos y carreteras debido a sus herramientas que permiten la proyección de diferentes tipos de curvas en la alineación, elaboración de perfiles longitudinales y transversales como también el cálculo de volúmenes en los movimientos de tierra, además de su opción dinámica de trabajo que permite realizar

modificaciones a lo largo del tramo sin la necesidad de empezar del comienzo todo el diseño en caso de cometer una equivocación, brindando al proyectista la posibilidad de optimizar el tiempo y multiplicar su productividad.

- La creación de superficies mediante la importación de imágenes de Google Earth son recomendables solamente para el análisis de alternativas preliminares, ya que nos facilita una evaluación óptima de la dirección y forma que nos ofrece el terreno como también analizar longitudes de los tramos y las pendientes que se puedan presentar en el diseño, pero no así para el diseño definitivo, ya que se pueden presentar diferencias de datos de la topografía creada en el programa con el de la realidad en el terreno que nos pueden llevar a cometer errores en el diseño, por lo que es necesario realizar el levantamiento topográfico con los instrumentos necesarios que nos lleven a extraer valores reales de la topografía en campo, en este caso de la faja de terreno de la mejor alternativa.
- Para obtener un buen detalle de la topografía dentro del programa que se asemeje a la realidad del terreno es necesario obtener la mayor cantidad de puntos posibles a lo largo del levantamiento topográfico, además de realizar una comparación de la topografía creada en el programa con relación a la existente en el terreno esto mediante el reconocimiento de campo y la elaboración de un croquis.
- Se recomienda al proyectista aplicar los parámetros de diseño de la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC), para el dimensionamiento de la sección tipo como ser ancho de carril, bermas, y taludes debido a que esa sección tipo diseñada, será aplicada a todo el tramo e influirá en el cálculo de volúmenes y diagrama masa.
- Debe haber una coordinación entre el proyectista y el programa; el proyectista debe usar el programa como una importante herramienta de ayuda y ser capaz de identificar las fallas y resultados incoherentes que se presentarán durante la ejecución del proyecto esto con su criterio y la aplicación del conocimiento de la ingeniería.

- Es recomendable comparar los resultados obtenidos en el programa con relación a los parámetros establecidos y métodos de cálculo de diseño geométrico de la Norma propuesta por la Administradora Boliviana de Carreteras (ABC).