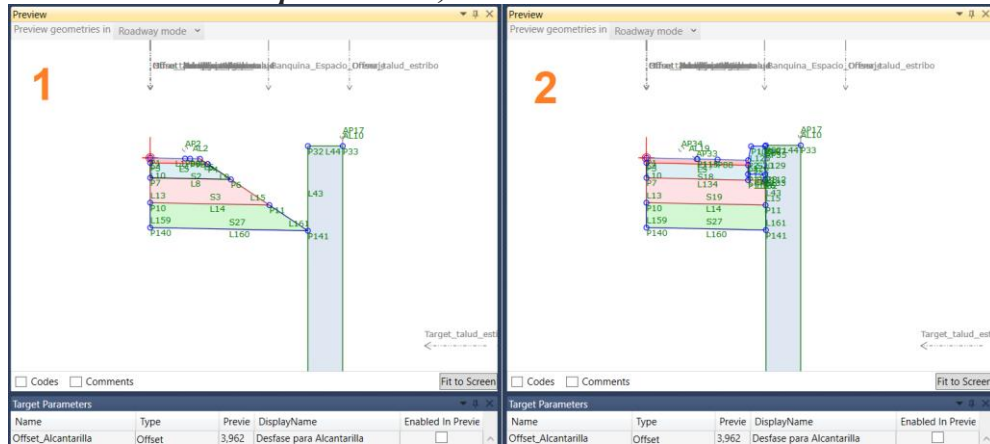


Figura 55. **Plantilla de SAC para el SAP, con dos casos de modelado.**



Fuente: Elaboración propia.

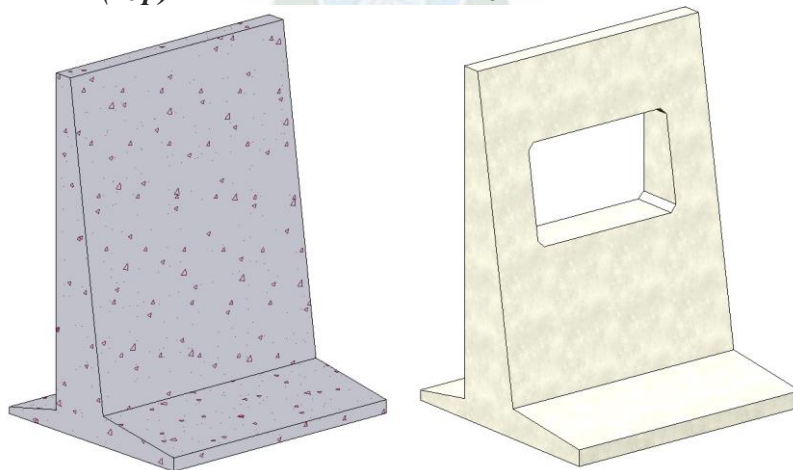
En la imagen superior se ven dos de los casos modelados para la modelación del muro de contención.

De esta manera se modelaron los muros de contención; el principal propósito del modelado del muro de contención en SAC fue determinar su ubicación, eso porque estos elementos se modelarán en Revit, pero para ello se necesita saber dónde es que se ubicarán los muros, también es necesario llevar la superficie desde Civil3D a Revit, y con esos insumos ya se pueden modelar los muros de contención.

11.10.4.1.2. Modelado.

Para realizar el modelado de los muros de contención se elaboraron familias estructurales de dos tipos:

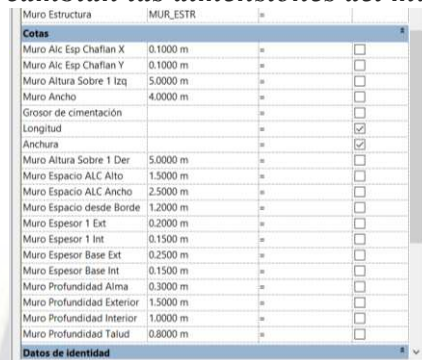
Figura 56. **Familias de Muros de Contención. (Der.) Muro Estructural con espacio para salida de alcantarilla. (Izq.) Muro Estructural macizo.**



Fuente: Elaboración propia.

Estas familias se modelaron de forma paramétrica, para su fácil adaptación a cualquier dimensión que el diseño estructural así lo diga. es decir, su geometría es variable y no son estáticas. Las dimensiones se adaptarán según sea necesario. Y esto se verá reflejado en las planillas de cuantificación correspondientes.

Figura 57. *Espacio donde se cambian las dimensiones del muro de contención en Revit.*



Muro Estructura MUR ESTR	
Cotas	
Muro Alc Esp Chaffan X	0.1000 m
Muro Alc Esp Chaffan Y	0.1000 m
Muro Altura Sobre 1 Izq	5.0000 m
Muro Ancho	4.0000 m
Grosor de cimentación	
Longitud	
Anchura	
Muro Altura Sobre 1 Der	5.0000 m
Muro Espacio ALC Alto	1.5000 m
Muro Espacio ALC Ancho	2.5000 m
Muro Espacio desde Borde	1.2000 m
Muro Espesor 1 Ext	0.2000 m
Muro Espesor 1 Int	0.1500 m
Muro Espesor Base Ext	0.2500 m
Muro Espesor Base Int	0.1500 m
Muro Profundidad Alma	0.3000 m
Muro Profundidad Exterior	1.5000 m
Muro Profundidad Interior	1.0000 m
Muro Profundidad Talud	0.8000 m
Datos de identidad	

Fuente: Elaboración propia.

A cada familia modelada para los muros de contención, se le agregó su código de clasificación del sistema de clasificación modificado de la GuBIMClass para este proyecto, esto se utiliza para su fácil gestión e identificación, durante fases más avanzadas de un modelo BIM. Después de haber realizado las familias, estas deben estar disponibles en el ECD, del proyecto para que sean utilizadas por el profesional correspondiente. Haciendo notar que, si bien en el presente proyecto solo se cuenta con un solo miembro, empero se pretende que el trabajo realizado sea útil también para equipos más grandes.

Con esa familia se realizó el modelado de los muros de contención en función de la información que se extrajo de Civil3D, para ello se utilizaron los modelos en formato IFC del corredor.

Figura 58. *Muro de contención modelado en Revit.*

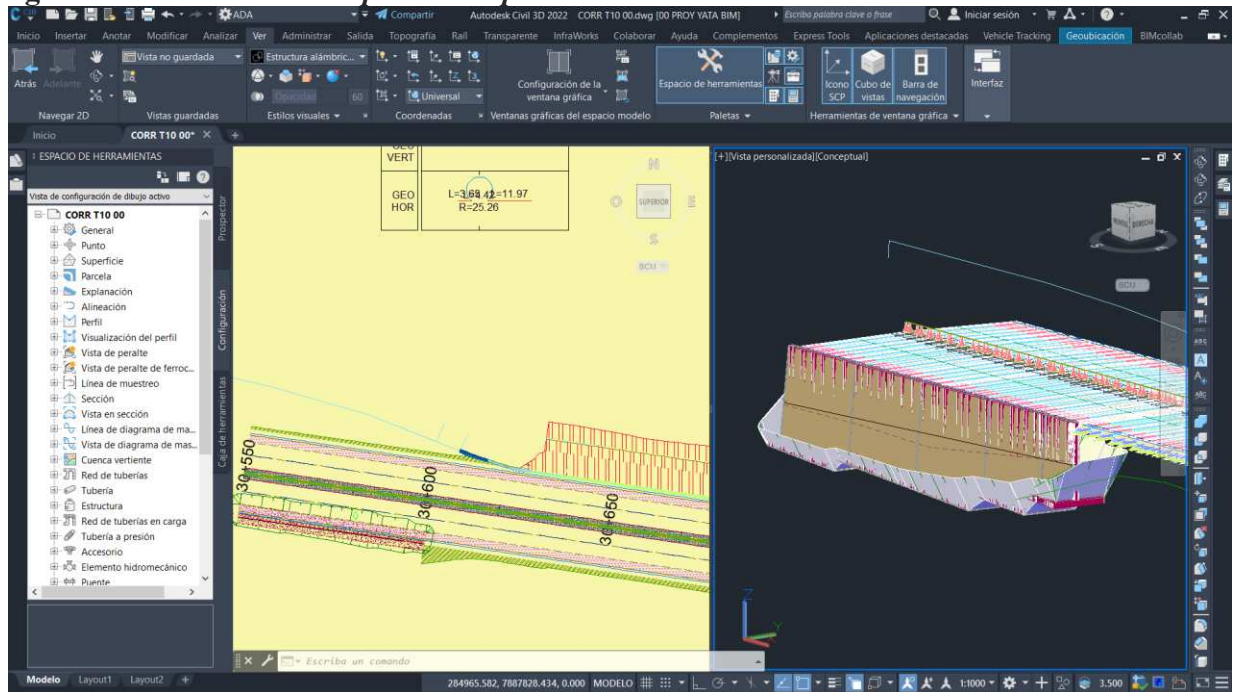


Fuente: Elaboración propia.

Después de realizado el modelo en Revit este se llevó a civil 3D para modelar la explanación con la que se calcularán, los volúmenes de excavación.

También se modelaron los sólidos de excavación.

Figura 59. Modelo de explanación para el muro modelado en Revit.



Fuente: Elaboración propia.

11.10.4.2. Alcantarillas.

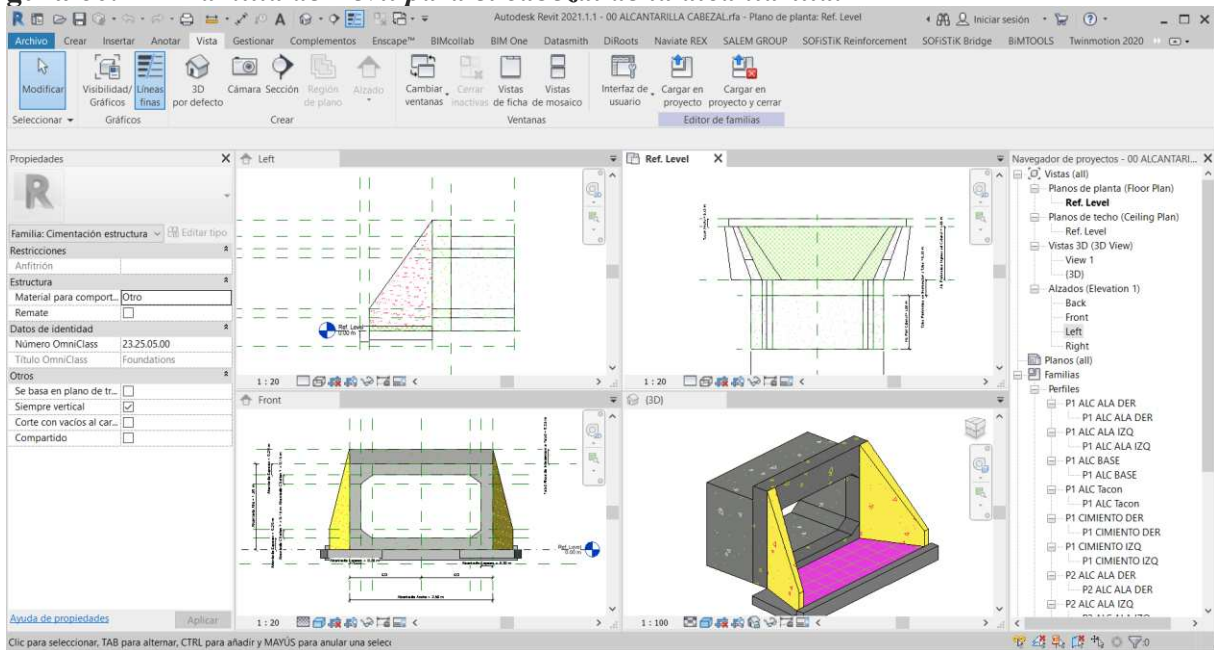
La ubicación de las alcantarillas se realizó con ayuda de la red hídrica que se mostró en anteriores acápite.

11.10.4.2.1. Familias.

Pensando en un proyecto en el que se necesiten muchas alcantarillas, se hicieron familias para tener un modelo paramétrico de las mismas, es decir que se puedan agregar a cada sitio donde sean necesarias, y simplemente cambiar sus dimensiones, en función de lo que su diseño así lo diga.

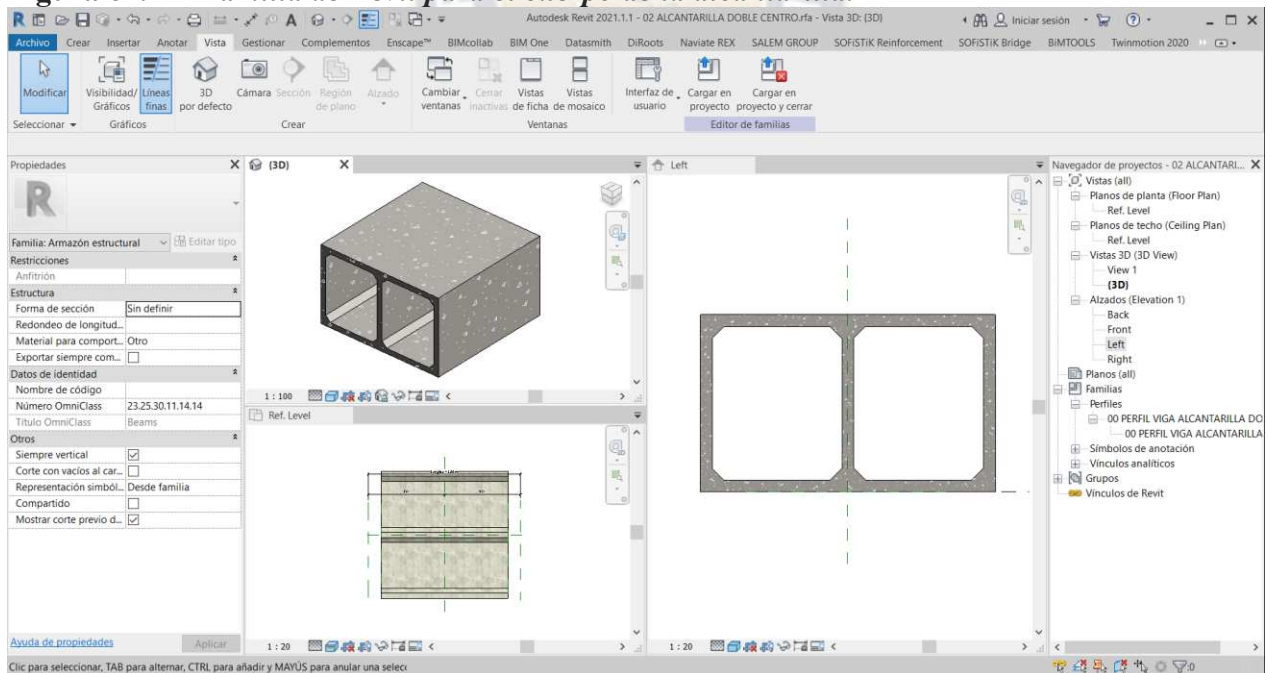
Al contar con familias para las alcantarillas ya no será necesario modelarlas desde cero cada vez que se necesiten, de esa manera el tiempo que se ahorra durante el diseño y modelado de estas estructuras es bastante.

Figura 60. Familia de Revit para el cabezal de la alcantarilla.



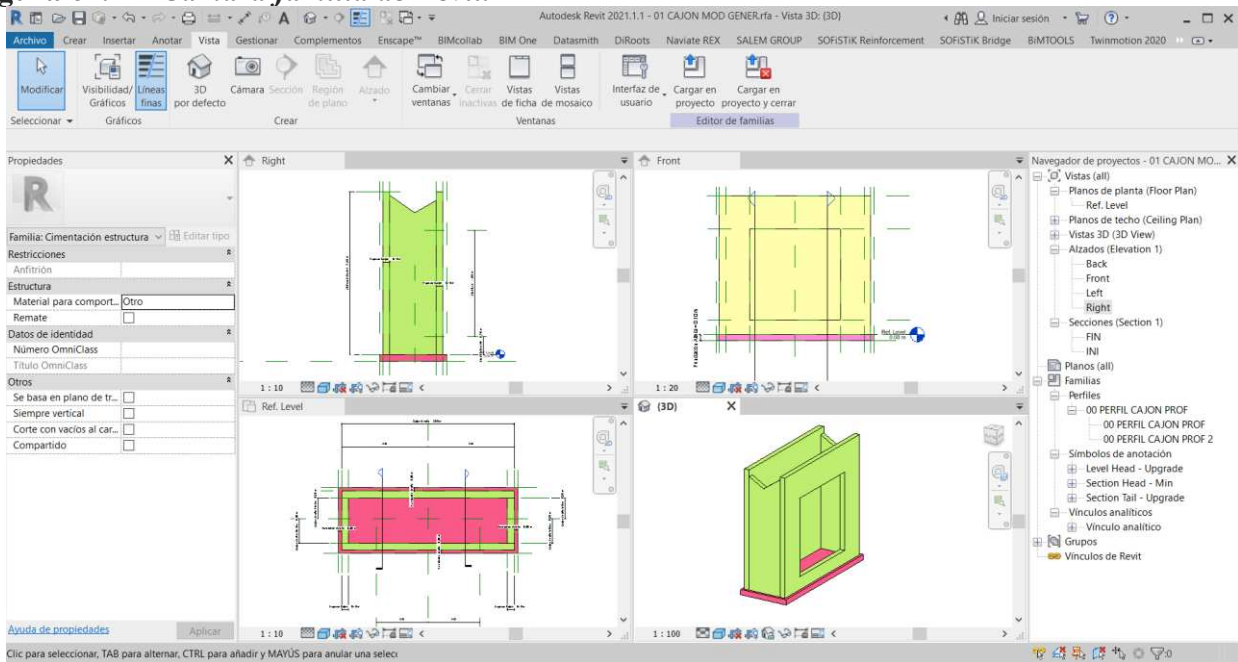
Fuente: Elaboración propia.

Figura 61. Familia de Revit para el cuerpo de la alcantarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 62. Cámara familia de Revit.



Fuente: Elaboración propia.

Se generaron varias familias paramétricas para modelar esta parte del proyecto, con estas familias el modelado se facilita bastante, al igual que la cuantificación de los mismos. Algo en lo que también nos ayuda es que de esta manera el resultado es uniforme es decir todos los modelos son realizados con base a una familia única, es muy importante evitar que existan variaciones en los modelos BIM que se generen.

Para no tener problemas con los modelos en un futuro, primero hay que tener una reunión con todo el personal profesional del área correspondiente, de esa manera se pretende evitar cometer errores en el modelado de las familias. Es al inicio donde se tiene que determinar, ¿qué tipo de elementos obtendrán?, ¿cómo se modelarán?, ¿qué información debe tener?, ¿qué nivel de detalle debe tener cada elemento?, entre otros, esto con el fin de evitar hacer modificaciones a dichos modelos más adelante.

11.10.4.2.2. Emplazado (LOD350).

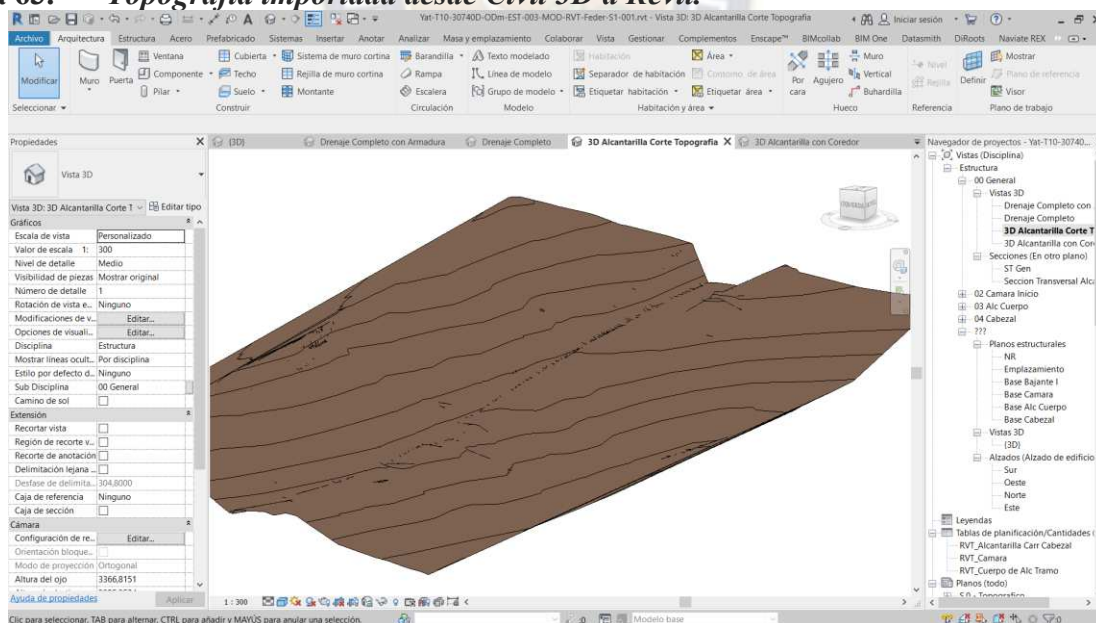
Con las familias generadas se realiza el emplazado de las alcantarillas en función de los elementos que se necesiten es decir en algunos casos se necesitaron solamente los cabezales de las alcantarillas, pero en otros casos el modelado fue un poco más complejo, para ello se necesitan los siguientes insumos.

- Topografía, la topografía debe ser llevada desde Civil3D en formato CAD y posteriormente este debe ser convertido a formato Revit.
- Geometría del corredor, es importante tener la geometría del corredor para un modelado adecuado.
- Familias Revit.
- Otros, entre estos formatos están coordenadas y otros formatos que se necesitaron.

Con todos estos insumos el departamento de diseño hidráulico deberá poder trabajar, con ayuda de la red hídrica generado en ArcGIS, se identifican los posibles puntos donde se deberán de modelar las obras de drenaje menor o mayor.

La topografía es el principal insumo que se importó desde Civil3D hacia Revit, para ello fue importante tener cuidado en hacerlo con las coordenadas originales de Civil, para que estas puedan llevarse rápidamente desde Revit hacia Civil, a eso se le denomina interoperabilidad de los modelos BIM.

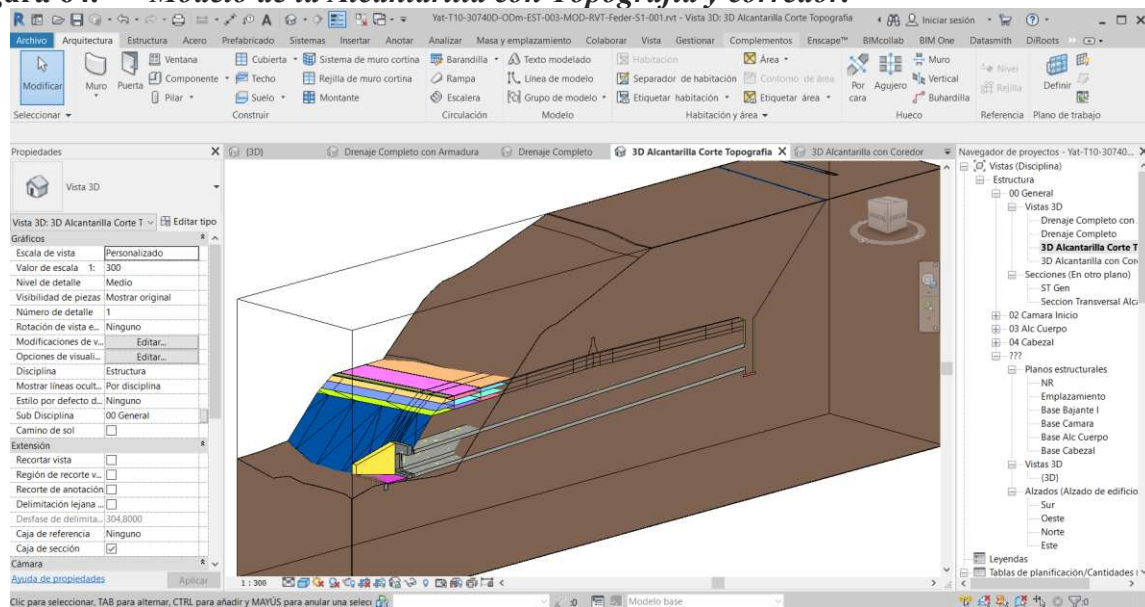
Figura 63. Topografía importada desde Civil 3D a Revit.



Fuente: Elaboración propia.

La topografía debió de estar en forma federada es decir jerarquizada en función de su importancia, para que la misma sea fácilmente actualizable en caso de cambios en el proyecto. Y además que de esa manera se pueden trabajar mejor con archivos que contengan más información acerca de los modelos BIM.

Figura 64. Modelo de la Alcantarilla con Topografía y corredor.

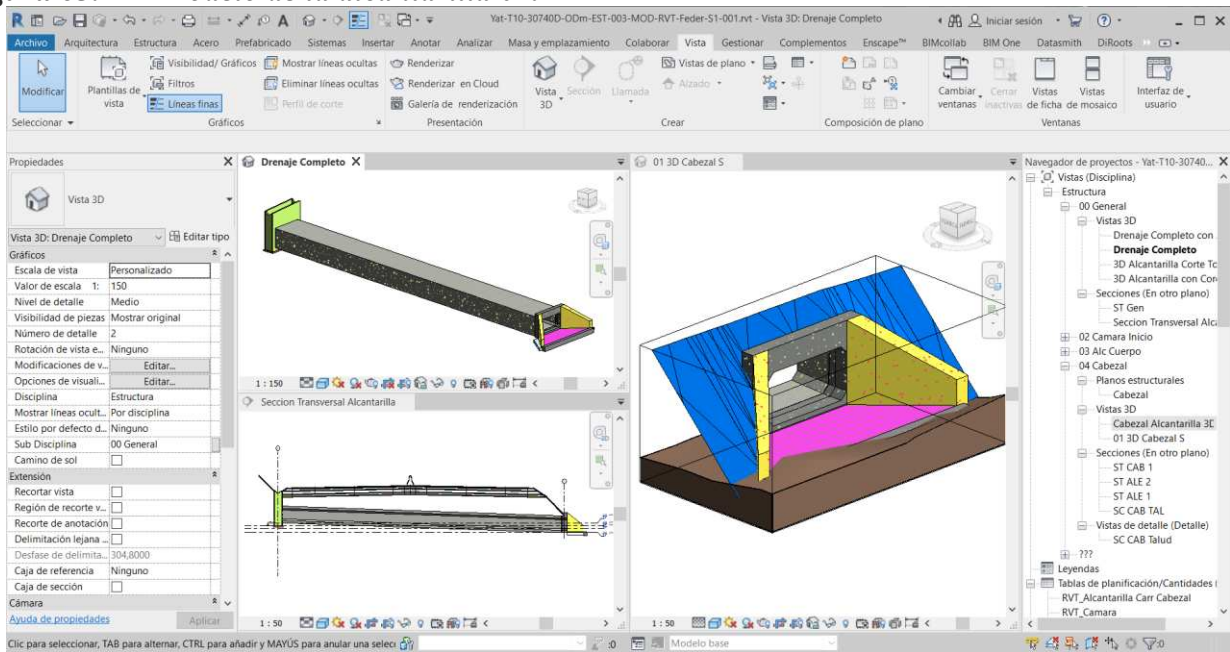


Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa el modelado de una de las alcantarillas del proyecto, emplazado con la topografía y el modelo del corredor del proyecto. Para emplazar estas alcantarillas la plantilla de SAC del corredor que contiene al elemento que generó el talud del proyecto debieron de estar modelados para dicha tarea, es decir en esa región esos elementos se generan en función de FL o “feature line” donde se encuentran los “target´s”, tanto verticales como horizontales, es por ello que como se observa, donde está el cabezal de la alcantarilla no se modela el talud del corredor, de esta manera en caso de que se necesitase metrar esa área no se incurra en errores, además que se tiene que tener en cuenta que el concepto principal del Modelador BIM es que tiene que modelar como se tiene que construir.

En este modelo también se colocó el archivo TXT que se realizó en función de la GuBIMClass modificada al igual que en todos los archivos donde se modelaron los elementos del proyecto, también se elaboraron archivos tipo notas clave, que contienen la información LOI de los elementos del proyecto, como los materiales, calidad, o cualquier otro dato que se considere necesario para la etapa final del proyecto. Para que el modelo esté terminado antes debe de revisarse la georreferenciación del mismo, las coordenadas deben ser las mismas que nos presentan en Civil 3D, porque al final el modelo realizado debe de poder importarse a Civil 3D y lógicamente no deben existir errores de coordenadas.

Figura 65. Modelo de la alcantarilla 01.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa el modelado de la alcantarilla 30+740, esta cuenta con los siguientes elementos:

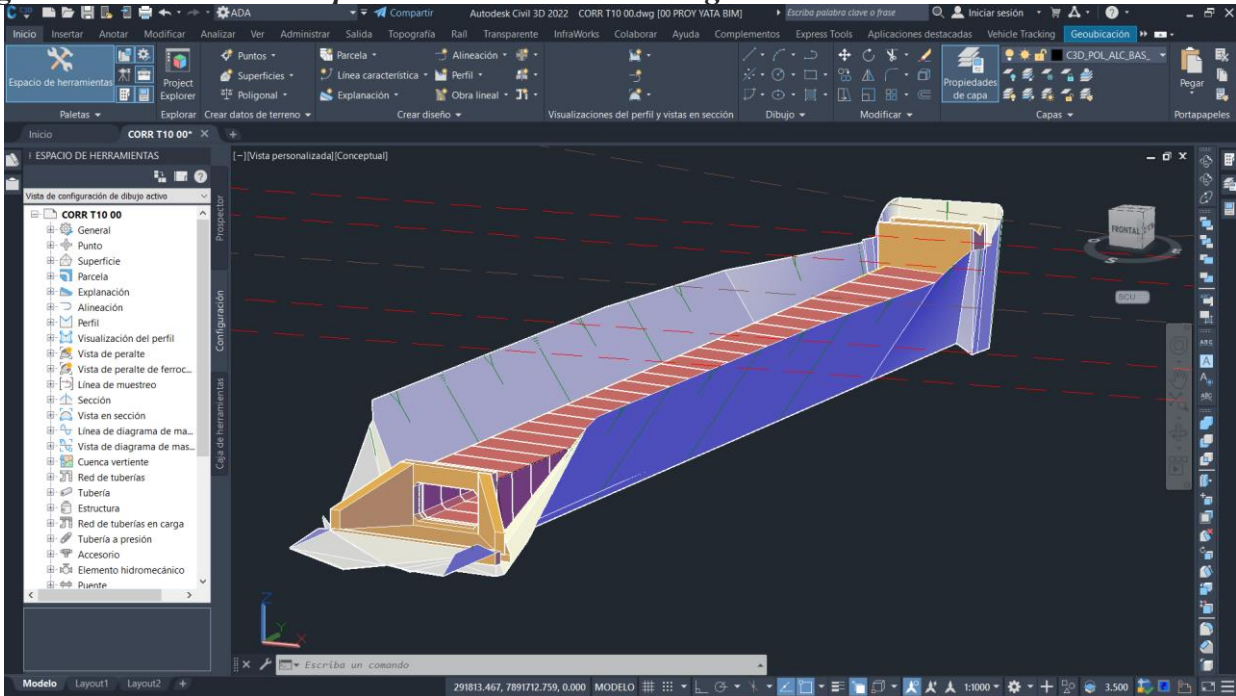
- Cabezal de salida.
- Cuerpo de la alcantarilla, sección tipo cajón simple 2.5 x 1.5 m.
- Cámara de drenaje, misma que recolecta el caudal que escurre de la cuneta del corredor.

Cada elemento que se modela en Revit debe de contar con su correspondiente código de clasificación modificado para este proyecto de la GuBIMClass.

Una vez modelado en Revit, este modelo se llevó a Civil3D para modelar las explanaciones de la alcantarilla, y de esa manera determinar los volúmenes de corte y/o terraplén. Es por ello que se tiene que tener mucho cuidado cuando se llevan las coordenadas de Civil3D a Revit. Para que el modelo se emplace donde corresponde.

El modelo de explanaciones que se realizó en Civil 3D, debe de hacerse en función del tipo de construcción que se hará, es decir si se tratará de dos etapas de construcción entonces el modelo de explanación también será de dos etapas, así se podrán calcular los volúmenes de corte y relleno para cada etapa, el modelo de explanación debe de realizarse en otro archivo para dos fines, el primero es facilitar el cálculo por medio de superficies, el segundo fin es generar un modelo de sólidos de los volúmenes de la alcantarilla.

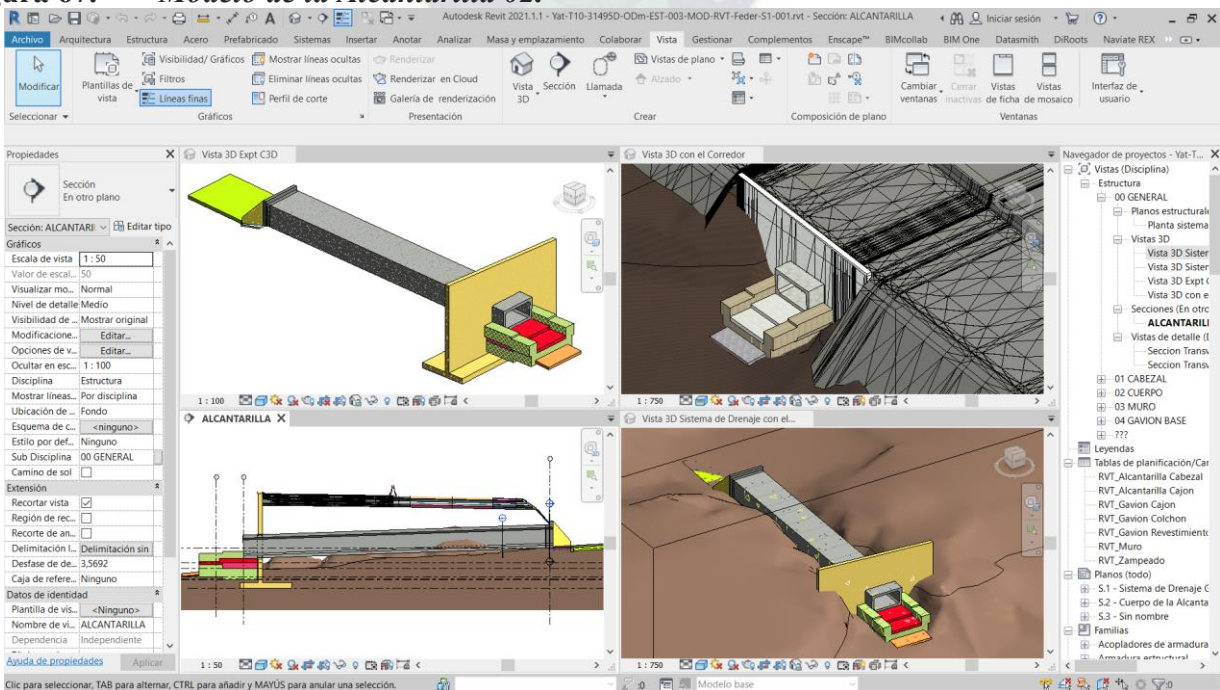
Figura 66. Modelo de explanación de la alcantarilla generado en Civil3D.



Fuente: Elaboración propia.

Las explanaciones se hicieron en función a FL también se generaron superficies con las cuales se calcularán las explanaciones del proyecto. De igual manera que con los modelos Revit, las explanaciones se modelaron en función de cómo se construirán.

Figura 67. Modelo de la Alcantarilla 02.



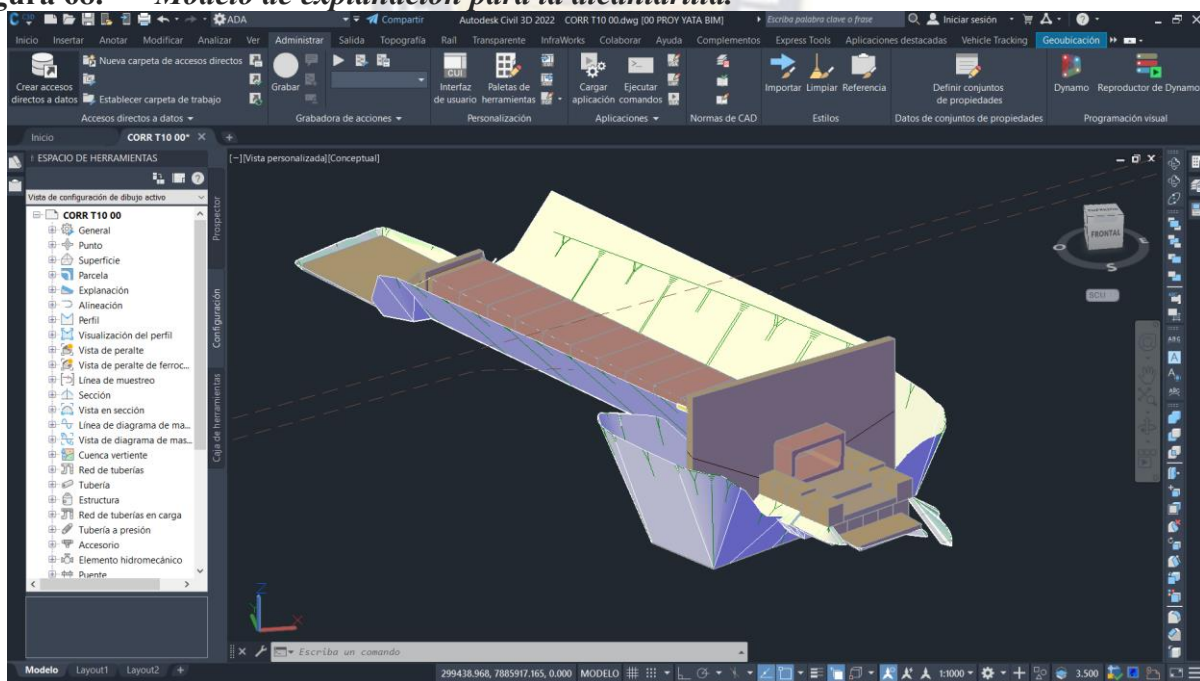
Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra otro tipo de modelado para la alcantarilla 31+495 que se realizó, este es algo más complejo ya que el mismo cuenta con:

- Cabezal de ingreso.
- Cuerpo de la alcantarilla tipo cajón simple 3.5x2.0 m.
- Muro de contención con un espacio de salida.
- Gaviones tipo colchón.
- Gaviones tipo cajón.
- Revestimiento para la salida
- Zampeado.

Como se observa la plantilla de SAC con el parámetro de 6 metros para el modelado de un muro de contención, modeló un muro de contención con un espacio de salida para que pueda escurrir el agua de la alcantarilla que contendrá esa región, como además es un curso de agua era necesario emplazar una alcantarilla, por la pendiente se modeló una estructura de salida con gaviones de dos tipos, con su respectivo revestimiento, que evitará que se desgaste el elemento con el flujo del agua.

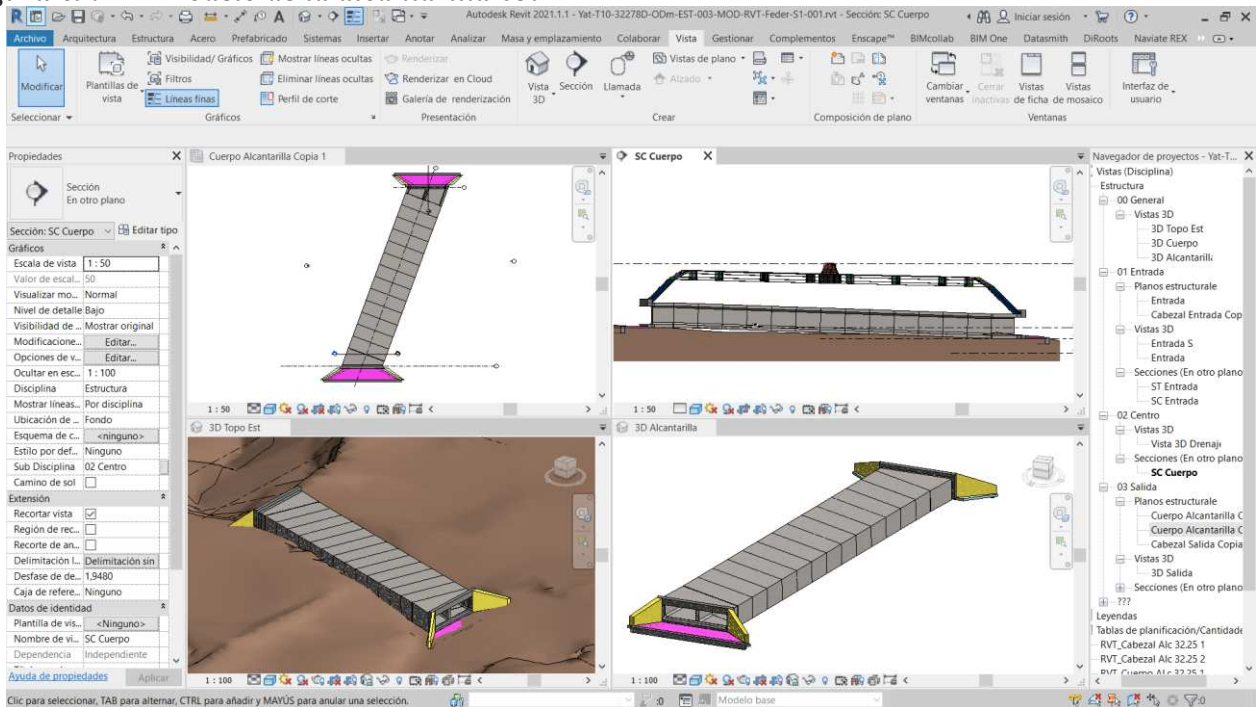
Figura 68. Modelo de explanación para la alcantarilla.



Fuente: Elaboración propia.

Las explanaciones se realizaron de acuerdo a las fases en las que se construirá la alcantarilla y muro, y estas deben de realizarse con un modelo de explanaciones, enumerado en función de la importancia del modelo.

Figura 69. Modelo de la alcantarilla 03.

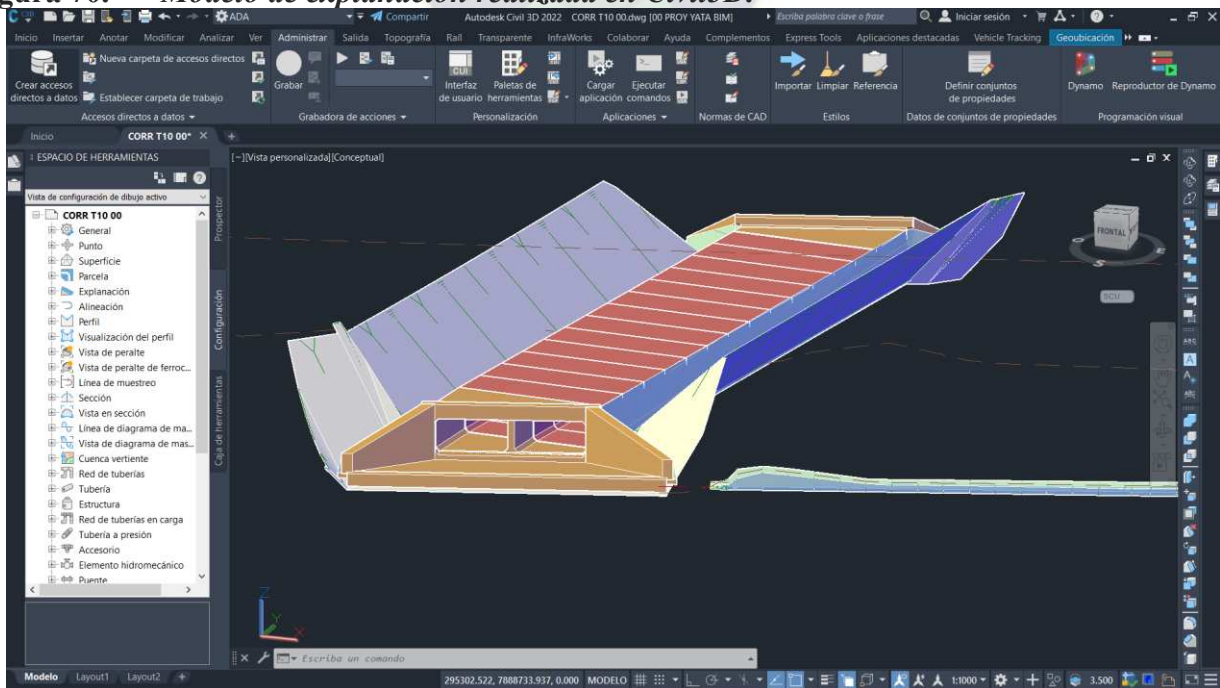


Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra el modelo de la alcantarilla 32+278 la misma cuenta con:

- Dos cabezales de salida e ingreso.
- Cuerpo de la alcantarilla sección cajón doble de 6.0 x 2.0m.

Figura 70. Modelo de explanación realizada en Civil3D.



Fuente: Elaboración propia.

De esta manera se realizó el modelado de las alcantarillas del proyecto, es importante señalar que se debe de trabajar con el sistema de clasificación desde un principio, puesto que cambiarlo después sería muy costoso en términos de tiempo.

La principal función del sistema de clasificación es identificar a cada elemento del modelo BIM, pero existe cierta deficiencia cuando se trabaja con elementos cuya clasificación se repite, ya sea para la capa rasante, cabezales de alcantarillas, etc. Es por ello que se presentó un flujo de trabajo para solventar esta parte, mismo que se expondrá en su respectiva área.

11.10.4.3. Bajante.

Las bajantes ya sean prefabricadas o escalonados, tienen como función principal, la evacuación de caudales que circulan por pendientes muy pronunciadas, con el fin de evitar la erosión de las mismas. De no contarse con este tipo de estructuras, el agua que escurre por ella podría dañar la estructura de la carretera a largo plazo.

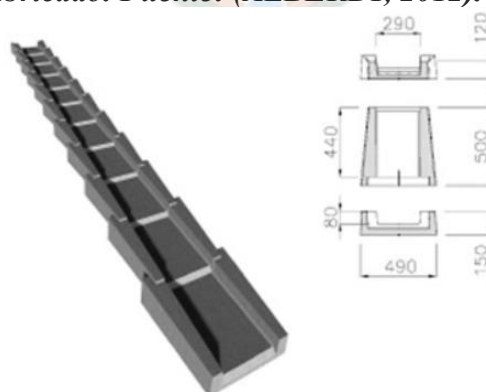
11.10.4.3.1. Familias.

Figura 71. Bajante escalonado.



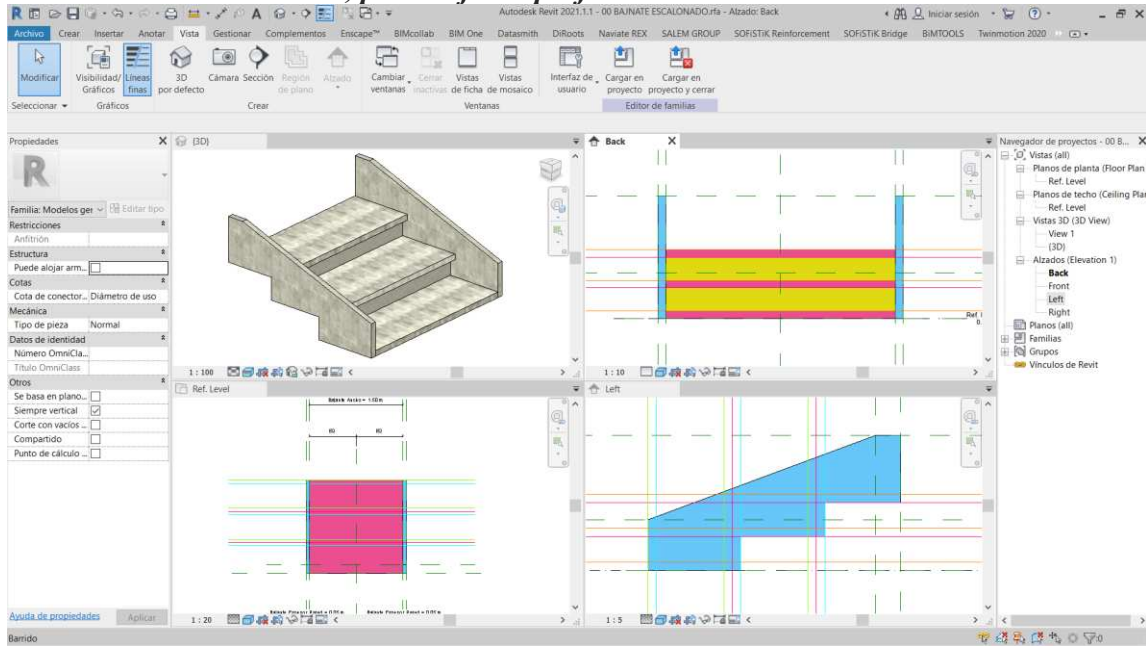
Fuente: (ALBERDI, 2012).

Figura 72. Bajante prefabricado. Fuente: (ALBERDI, 2012).



Fuente: (ALBERDI, 2012).

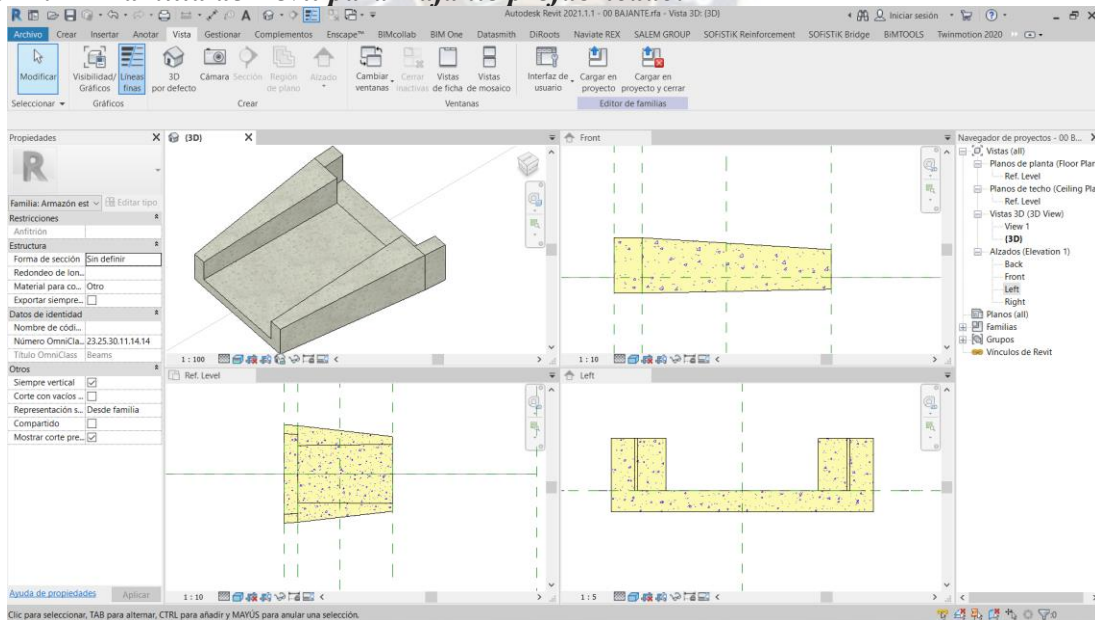
Figura 73. Familia de Revit, para bajante prefabricado.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra la familia que se realizó para Revit, misma que se utilizará cuando sea necesaria.

Figura 74. Familia de Revit para Bajante prefabricado.



Fuente: Elaboración propia.

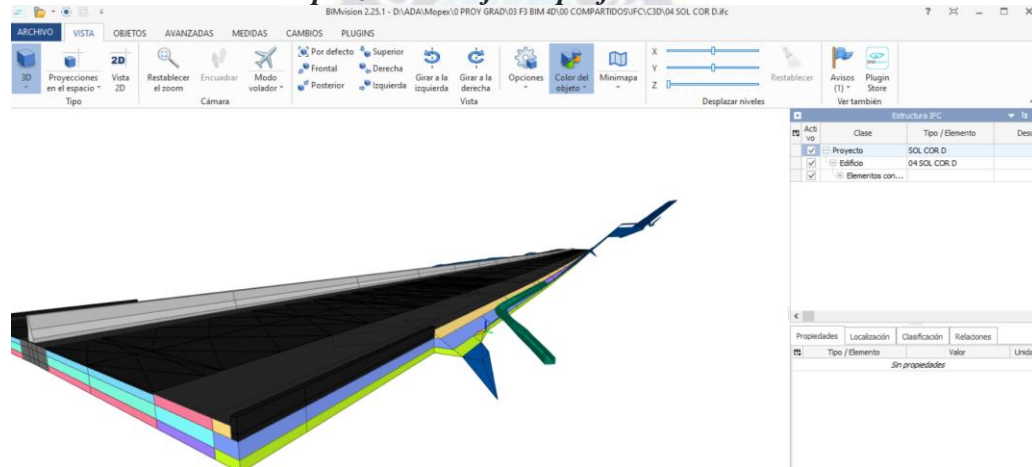
Es recomendable que el fabricante cuente con un modelo BIM de su producto para poder implementarlo durante la etapa del diseño del proyecto, pero eso no suele pasar con mucha frecuencia, es por ello que en caso de no contarse con un modelo BIM del elemento en cuestión,

el Modelador BIM deberá realizar dicha tarea, en función de las características que nos brinda el fabricante.

11.10.4.3.2. *Emplazado (LOD350).*

Cabe mencionar que la ubicación de este tipo de obras de ingeniería, debe estar sujeta al criterio del ingeniero hidráulico, sin embargo, como ya se explicó con anterioridad esta etapa del presente proyecto es netamente del modelado de los elementos BIM3D, y su uso para etapas más avanzadas de BIM, es por ello que se eligió la ubicación más adecuada con el fin de mostrar el flujo de trabajo para modelar la bajante.

Figura 75. *Zona donde se emplazará la bajante prefabricada.*



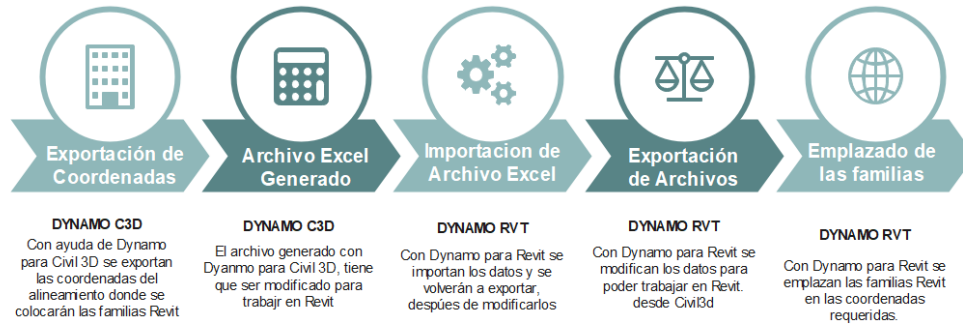
Fuente: Elaboración propia.

Como se aprecia en esa zona fue necesario emplazar la obra de desagüe para el caudal proveniente de la cuneta del corredor, para ello se modelará unos bajantes prefabricados, los principales inconvenientes para realizar dicha tarea son:

- El modelado de los bajantes con Revit está sujeto a varios “Level’s”, en lo que respecta al eje vertical.
- El mismo problema se repite desde el punto de vista horizontal.
- Realizar la tarea de forma tradicional tomaría mucho tiempo. Incluso con programas BIM.

Para mejorar ese flujo de trabajo se trabajó con programación gráfica o programación visual como se le suele llamar comúnmente. Es técnicamente un lenguaje de programación que nos ayuda a automatizar las tareas repetitivas.

Figura 76. Flujograma para emplazar las familias.



Fuente: Elaboración propia.

La imagen superior representa el trabajo realizado para el emplazamiento de las familias Revit, en un alineamiento de Civil 3D, por medio de la programación visual, tanto para Revit como para Civil 3D.

Figura 77. Dynamo's Elaborados para modelar las bajantes.

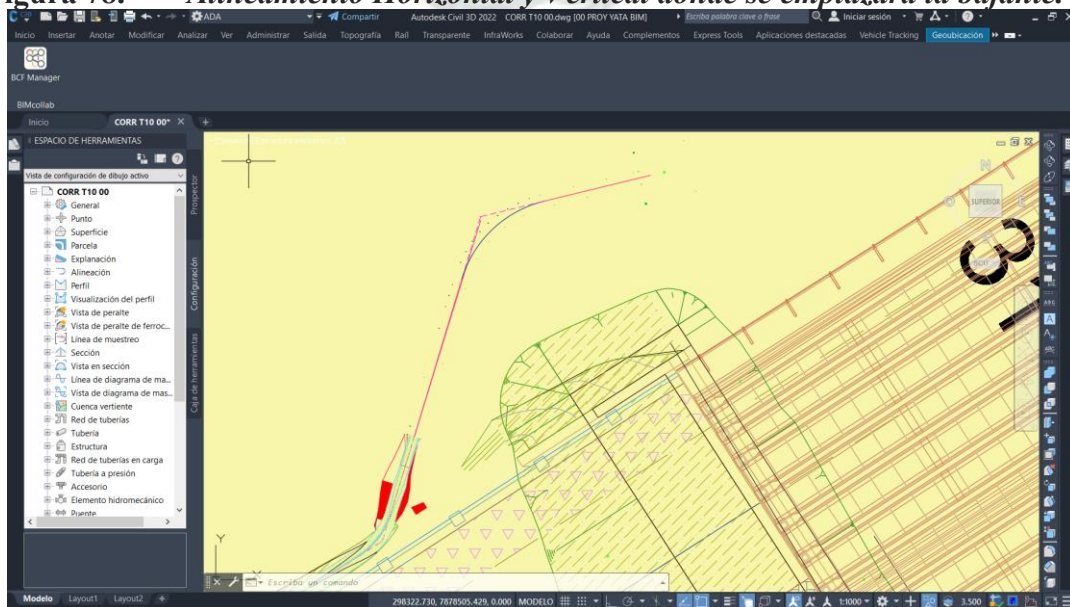
01 C3D22_EXP_COORD_ALINEAMIENTO.dyn	10/09/2021 12:46	Archivo D\
02.1 RVT21_EXP_COOR_LINEA_MOD.dyn	10/09/2021 12:13	Archivo D\
02.2 RVT21_EXP_COOR_POL_CAD.dyn	10/09/2021 12:13	Archivo D\
03 RVT21_DIBUJAR_FAMILIA.dyn	10/09/2021 12:24	Archivo D\

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentarán los pasos o flujos de trabajo para realizar esta tarea.

- **Etapa 1. Civil 3D.** para emplazar las bajantes prefabricadas es necesario contar con un eje donde colocarlas, es por ello que se debe de realizar el alineamiento horizontal y vertical en Civil 3D.

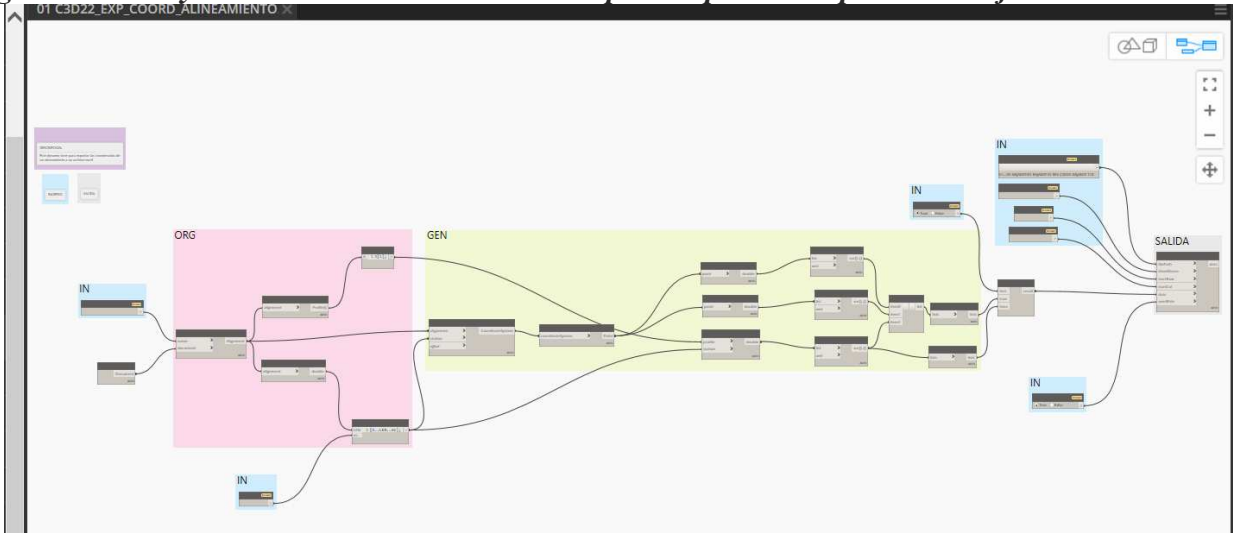
Figura 78. Alineamiento Horizontal y Vertical donde se emplazará la bajante.



Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 2. Civil 3D.** una vez generado el alineamiento, este no puede ser leído de forma nativa por Revit, es por ello que se exportarán sus datos hacia Excel por medio de Dynamo para Civil 3D, se programó en Dynamo la secuencia para que se exporten las coordenadas del alineamiento de acuerdo a un espaciado.

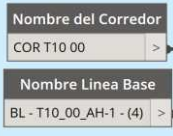
Figura 79. Dynamo Para Civil 3D elaborado para exportar los puntos del eje.



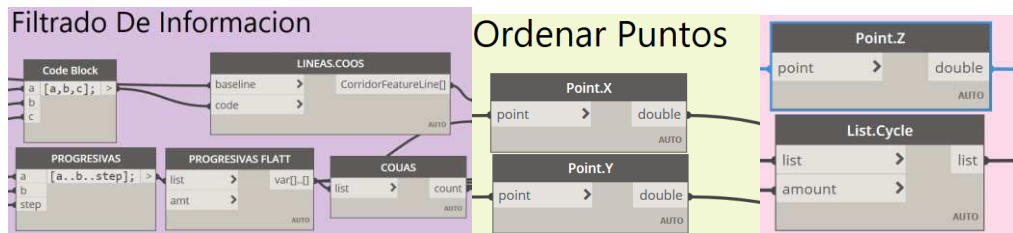
Fuente: Elaboración propia.

La anterior imagen representa el lenguaje de programación gráfica o visual que utiliza Civil 3D y Revit, a continuación, se explicarán las los cuadros de colores que se utilizaron, para que la programación sea más entendible.

ENTRADA



- Los nodos de este color representan, los datos de entrada, tales como nombres de alineamientos, archivos tipo Excel, nombres de corredor, etc.



- los nodos de estos colores representan los procesos internos o cálculos, como filtrado de información, multiplicación de datos, etc.



- Los nodos de este color representan la salida de información, es decir el resultado de la programación.



- los nodos que presentan los cuadros, en color amarillo que estén en entrada, representa que se necesita seleccionar información gráfica del modelo.
- **Etapa 3. MS Excel.** Con ayuda del Dynamo anterior se exportó en la “Hoja 2” de un archivo Excel, las coordenadas del eje.

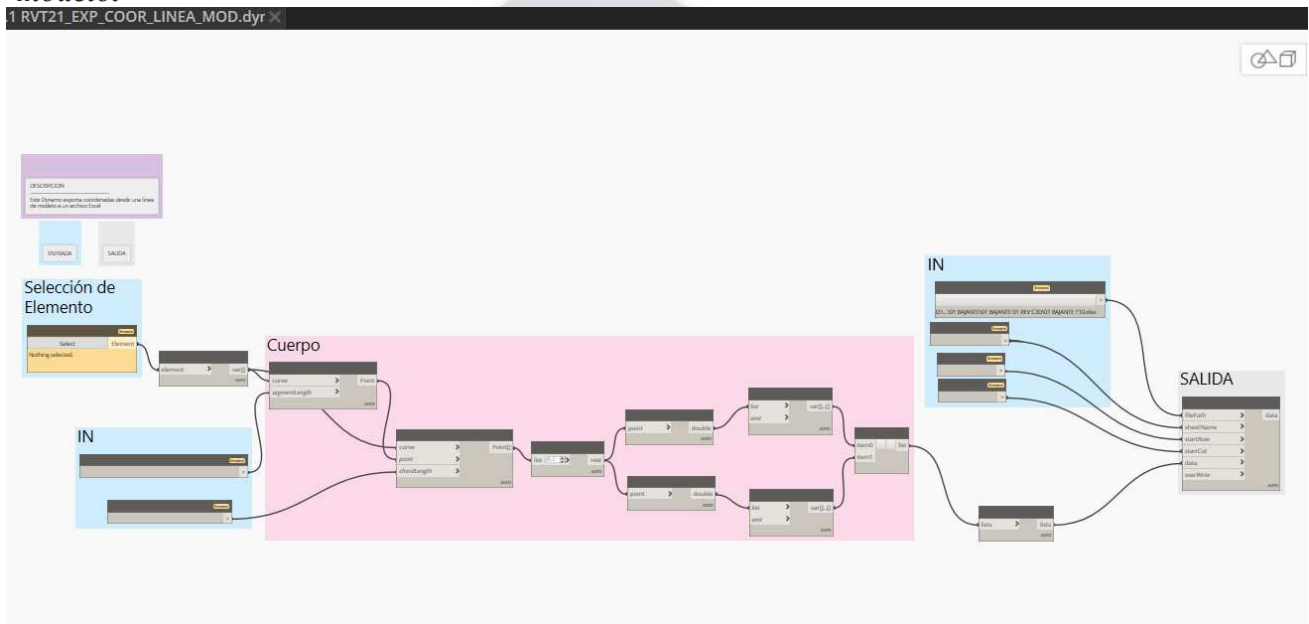
Figura 80. Archivo Excel Exportado con las coordenadas del eje.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	297345,74	7878438,61	3317,257											
2	297345,64	7878438,43	3317,15437											
3	297345,541	7878438,25	3317,04797											
4	297345,442	7878438,07	3316,93736											
5	297345,343	7878437,89	3316,82254											
6	297345,243	7878437,71	3316,70353											
7	297345,144	7878437,53	3316,58031											
8	297345,045	7878437,35	3316,45289											
9	297344,946	7878437,17	3316,32127											
10	297344,847	7878436,99	3316,18544											
11	297344,747	7878436,81	3316,04643											
12	297344,648	7878436,63	3315,90722											
13	297344,549	7878436,45	3315,76802											
14	297344,45	7878436,27	3315,62881											
15	297344,354	7878436,09	3315,48961											
16	297344,259	7878435,91	3315,3504											
17	297344,166	7878435,73	3315,21119											
18	297344,075	7878435,54	3315,07199											

Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 4. Revit.** Posteriormente en Revit con la geometría de Civil se modela el alineamiento, para obtener las coordenadas Revit.
- **Etapa 5. Revit.** La tarea ahora es exportar las coordenadas Revit hacia un archivo Excel, para realizar las modificaciones necesarias. Y concatenar las coordenadas Civil (Cotas), con las exportadas de Revit (Este, Norte) para obtener las coordenadas de los puntos en los que se deberá de emplazar las familias modeladas.

Figura 81. *Dynamo para Revit elaborado para exportar las coordenadas de la línea de modelo.*

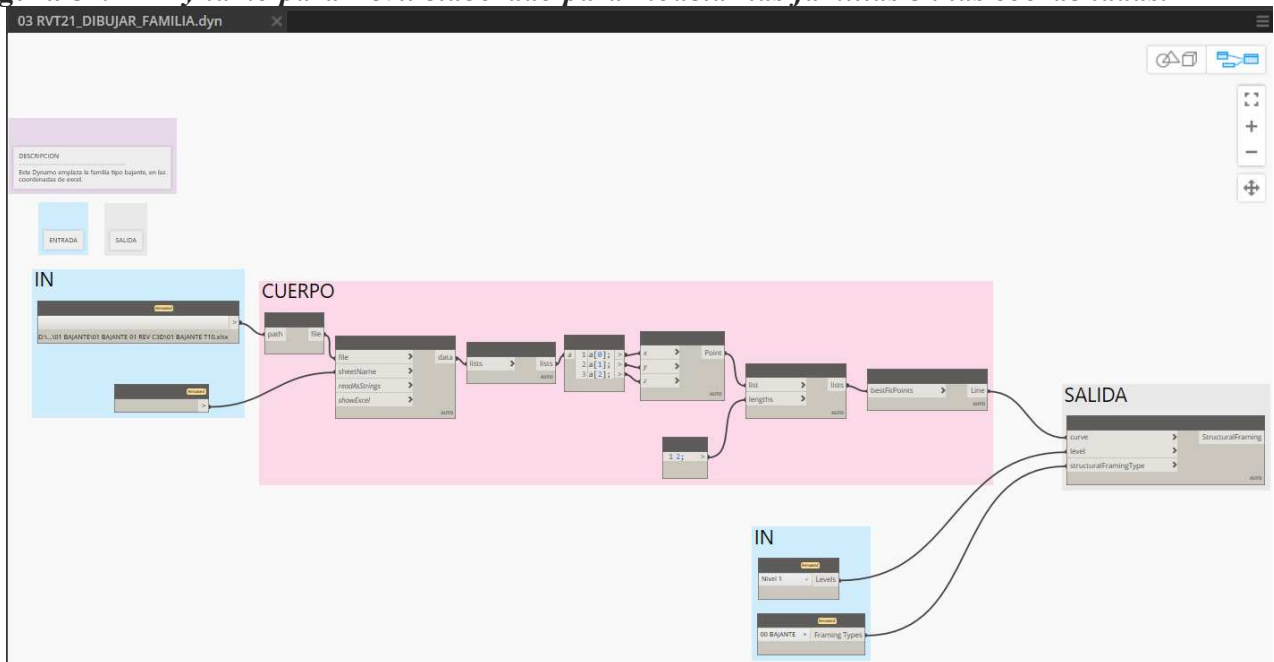


Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 6. Excel.** Combinamos las coordenadas Civil y Revit, para obtener las coordenadas de emplazamiento de las familias.
- **Etapa 7. Revit.** Ahora hay que emplazar la familia de Revit, tipo bajante prefabricado en las coordenadas obtenidas en la anterior etapa.

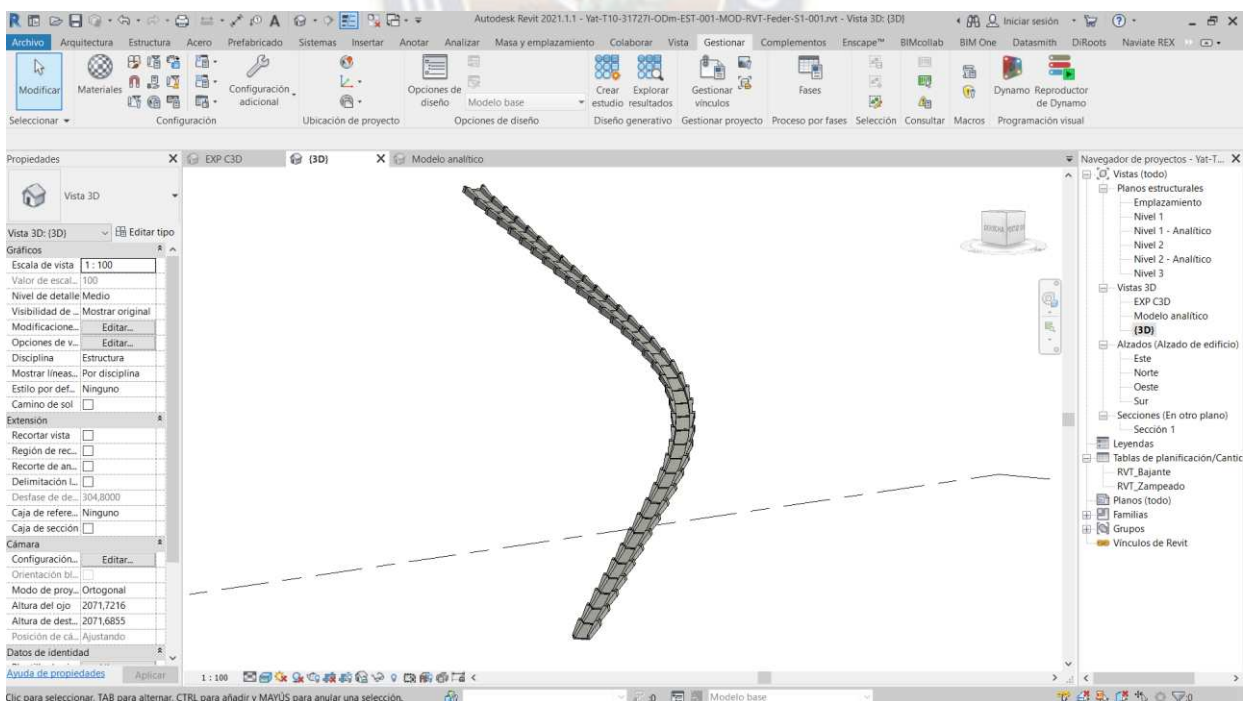
Con el Dynamo que se elaboró, el emplazamiento de las familias se realizó en cuestión de segundos, esta tarea de realizarse de una forma BIM tradicional, tardaría mucho tiempo, con la metodología CAD es prácticamente inviable, por lo complicado que resulta. Con la metodología CAD esa tarea solo suele estimarse ya que no se cuenta con un modelo donde poder ver la información. Es por ello que se recurrió a la programación, para que esa tarea se realice en el menor tiempo posible, en caso de cambiar el trazo del alineamiento hay que repetir los anteriores pasos.

Figura 82. *Dynamo para Revit elaborado para modelar las familias en las coordenadas.*



Fuente: Elaboración propia.

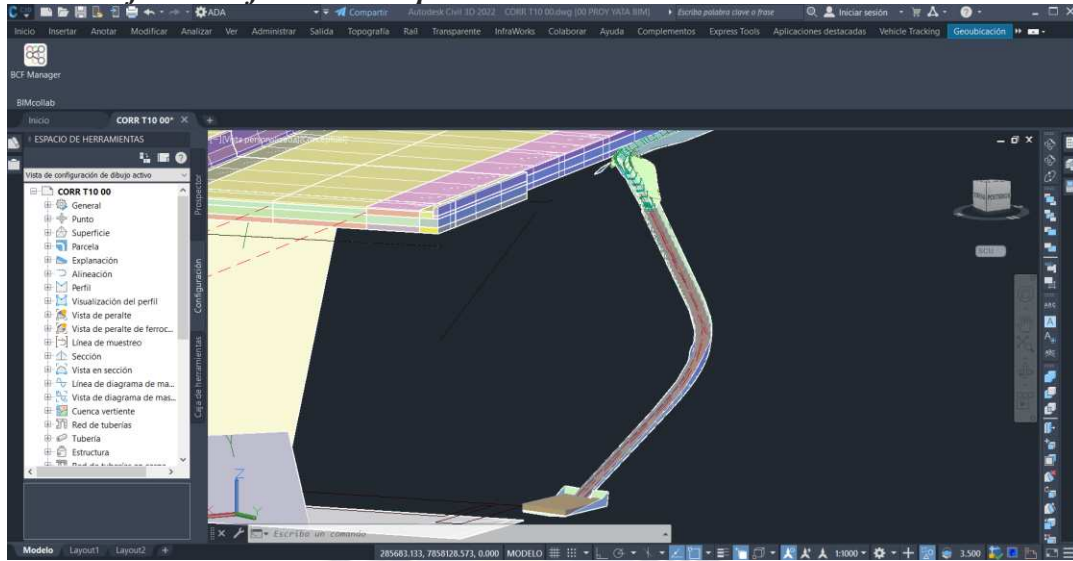
Figura 83. *Emplazado de las familias en las coordenadas con ayuda de Dynamo para Revit.*



Fuente: Elaboración propia.

Con este flujo de trabajo, las bajantes obedecerán la geometría del alineamiento de Civil 3D, de esa manera esta podrá ser llevada a Civil 3D.

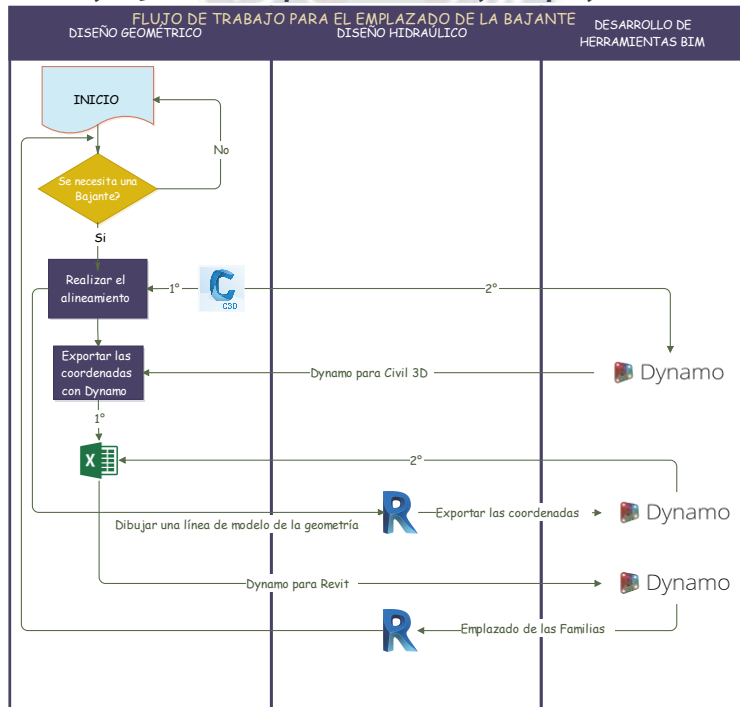
Figura 84. Bajante Prefabricada importada desde Civil 3D.



Fuente: Elaboración propia.

Con el modelo del prefabricado en Civil 3D, podremos realizar el modelo de explanaciones, para calcular los volúmenes de corte o relleno que se necesite, también de esta manera se puede saber si las coordenadas que se utilizaron están correctas, ya que, si las coordenadas estuviesen mal en posición o el sistema de coordenadas no fuese el adecuado se notaría de inmediato.

Flujo de Trabajo 03. Emplazado de la Bajante prefabricada.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra el flujo de trabajo para colocar las bajantes desde Revit hacia Civil 3D.

11.10.4.4. Puente.

En el proyecto se tiene una región donde se emplazó un puente, en este acápite se presentará parte del trabajo realizado para completar esta tarea, ya que dicho puente tiene cierto grado de complejidad en lo que al modelado respecta, porque no se encuentra en una zona horizontal, cuenta con una pendiente vertical y además está en una zona de transición de peralte.

Lo que hizo que la sección del puente que se piensa modelar sea variable, en función de la variación del peralte de esa zona, es por ello que modelar un puente de esas características es bastante complejo y representó un reto bastante grande. Para poder comprender la dimensión de la tarea a continuación se expondrá a grandes rasgos, como se encararía este puente de distintas formas:

11.10.4.4.1. Formas de Resolver el problema.

- ***Metodología CAD.*** Con dicha metodología no es posible tener un modelo BIM, en todo caso se puede contar con un modelo analítico; y este modelo analítico se generaría con base a planos CAD, para generar estos hay que tener secciones transversales y obtener los datos de cotas a mano, de cada punto importante. Con estos datos se realizan los planos CAD y estos se llevan al programa de diseño estructural. Los inconvenientes de realizar la tarea de esta manera es que la extracción de datos es lenta y puede conllevar muchos errores, no es posible tener un modelo con el cual cuantificar los volúmenes de obra, hay que recordar que al ser variable el cálculo de volúmenes es especial, es por ello que en el cálculo habrá un error. Además, que los detalles del puente son bloques genéricos ya sean las barandas, estribos, etc. Estas se componen por bloques que se editan y modifican para cada proyecto.
- ***Metodología BIM tradicional.*** con esta metodología los datos se obtienen de una manera más rápida, ya que se trata de un modelo BIM, el modelado del puente también es algo más fácil, pero para representar la transición del peralte será necesario llevar secciones transversales a Revit desde Civil 3D (porque la sección es variable), pero ya se contaría con un modelo BIM3D que ayudaría a la cuantificación de los materiales necesarios para la construcción. Si bien es muchísimo mejor que la metodología tradicional, hay algunos

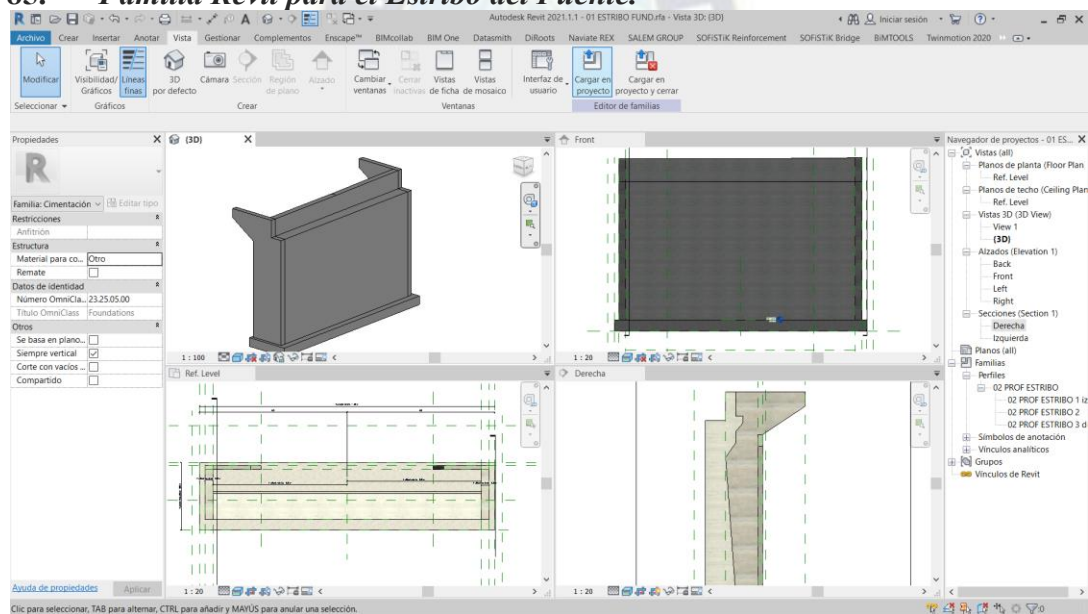
aspectos en los que la tarea se hace algo larga. Colocar barandas o New Jersey en dicho Modelo BIM es algo lento ya que se modelan uno por uno.

- **Metodología BIM con Programación.** Es la misma metodología que la anterior solo que al contar con un equipo de desarrolladores de aplicaciones BIM dentro del proyecto varias tareas que suelen ser muy largas pueden convertirse en tareas fáciles de encarar. Es decir, se programarán aplicaciones o herramientas para automatizar algunas tareas para reducir el tiempo en el que se modelaría ese puente. Y esto es lo que se utilizó.

11.10.4.5. Familias.

El puente se modelará en Revit, y para ello se realizaron familias para que el trabajo sea más eficiente.

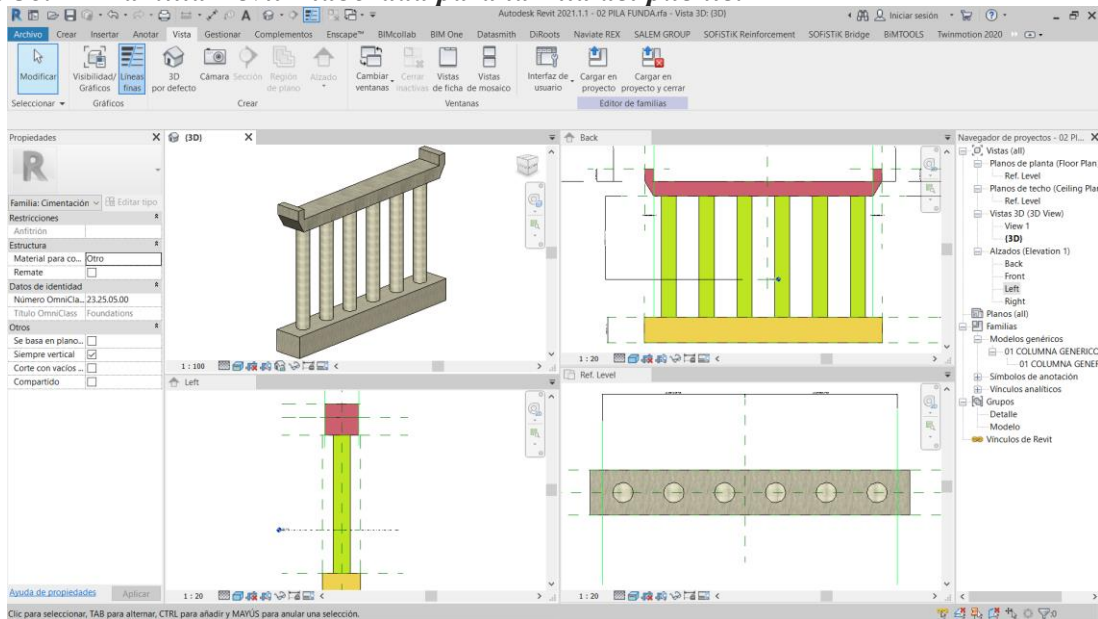
Figura 85. **Familia Revit para el Estribo del Puente.**



Fuente: Elaboración propia.

De igual manera que las anteriores familias modeladas, se modelaron de forma paramétrica, para poder cambiar sus dimensiones fácilmente. Como ventajas de modelar los elementos de esta forma se tienen, que las dimensiones están enlazadas por medio de reglas de modelado, de esta manera no puede haber muchos errores durante la etapa del modelado, además que la pendiente puede cambiarse hasta que se una adecuadamente al corredor vial, recordando que el puente de este proyecto es peraltado. Esas son las ventajas de poder trabajar con familias se demoran algo en elaborarlas, pero eso es recompensado cuando se tenga que colocar más elementos parecidos a lo largo del proyecto.

Figura 86. Familia Revit Elaborada para la Pila del puente.

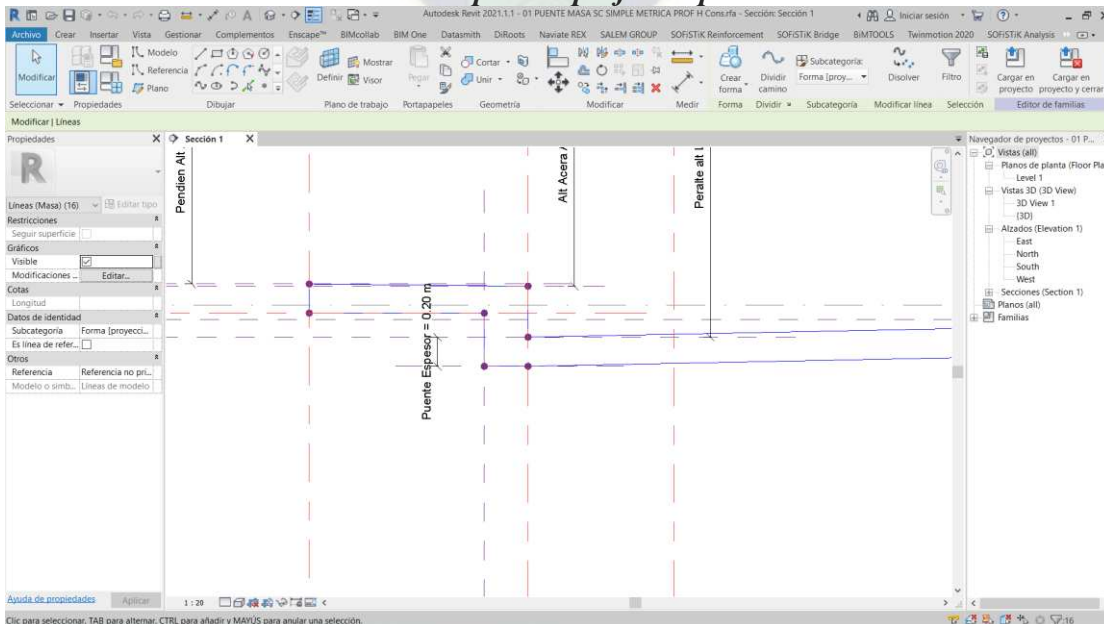


Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se ve una familia del tipo Pila, se la elaboró por que se consideró que podría necesitarse durante la etapa del proyecto, en esta familia los cambios que se pueden realizar son los siguientes:

- Dimensiones.
- Número de “Columnas” en función del espaciado de estas y de la longitud total.
- Pendiente del dintel de la pila.

Figura 87. Familia de Revit elaborada para el perfil del puente.

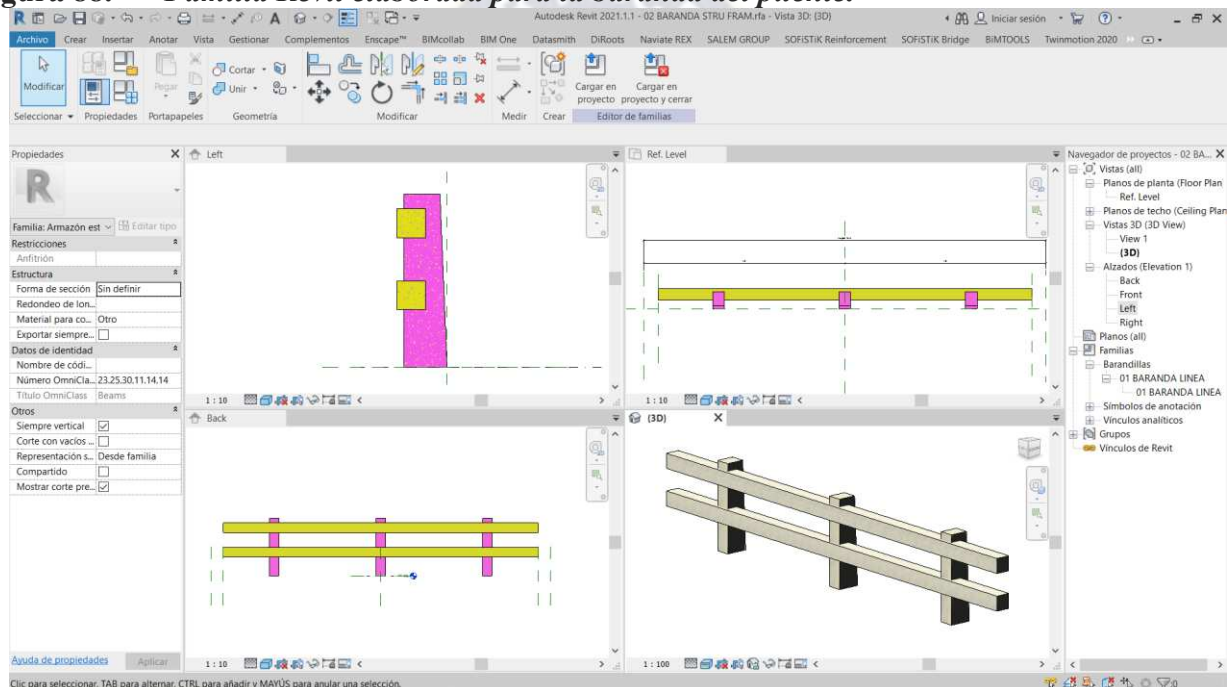


Fuente: Elaboración propia.

Esta familia tiene como función la modelación del tablero del puente, es la más importante de todas las familias que se hicieron porque, de ella dependerá la geometría del tablero, los aspectos en los que nos ayudará esta familia son los siguientes:

- De esta familia dependerán todas las dimensiones del tablero.
- La pendiente transversal del tablero se adaptará en función del peraltado de la carretera.
- El sobrancho de esa región de la carretera, también dependerá de esa familia.
- La geometría del tablero.

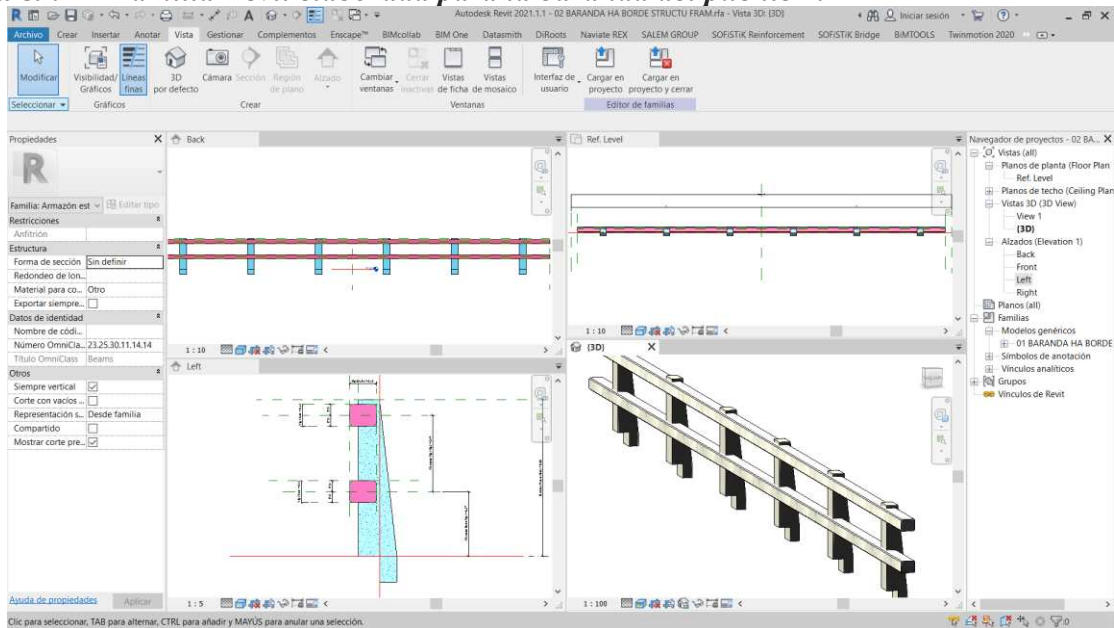
Figura 88. *Familia Revit elaborada para la baranda del puente.*



Fuente: Elaboración propia.

Se modelaron las familias de las barandas para poder ejecutar esa tarea más rápido, la manera normal de modelar este tipo de elementos es con “modelado in situ” es decir que se modelen cada uno de los elementos o modelar uno y realizar una copia de dicho elemento, sin embargo eso está bien cuando se trata de puentes que se encuentren en regiones donde no exista mucha pendiente vertical, o que la sección transversal del puente permanezca constante, si no se cumplen esas condiciones, el trabajo de modelar ese elemento se vuelve algo más complicado, y además de realizar esa tarea satisfactoriamente, no se puede garantizar que el elemento sea dinámico, es por ello que se realizaron las familias.

Figura 89. Familia Revit elaborada para la baranda del puente 2.

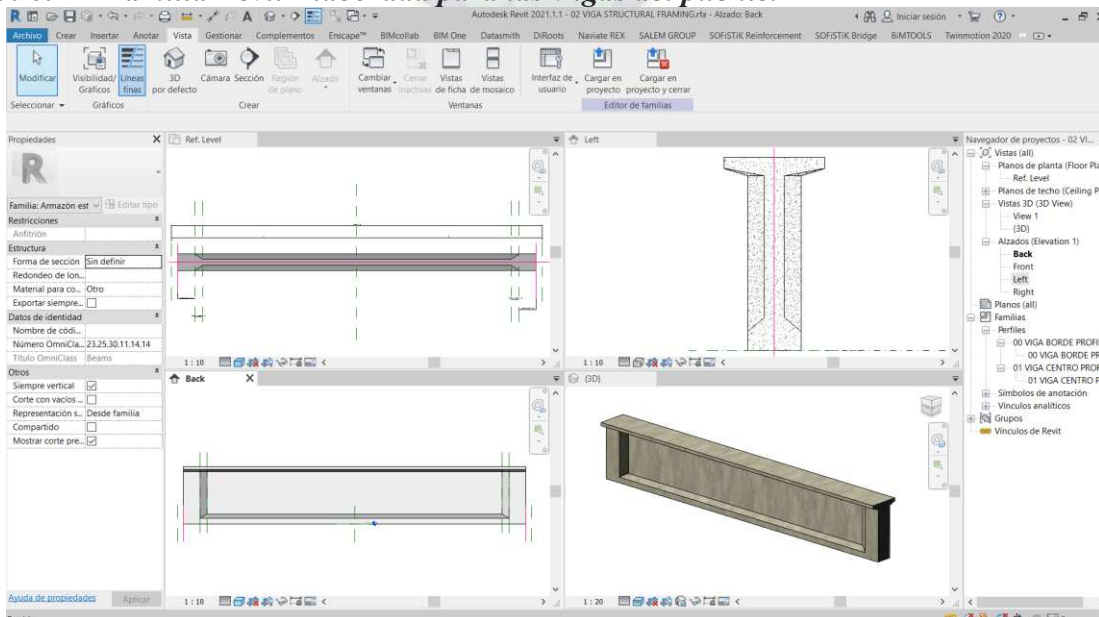


Fuente: Elaboración propia.

Se modelaron varias familias del tipo barandado para los puentes, lo que estas familias pueden hacer:

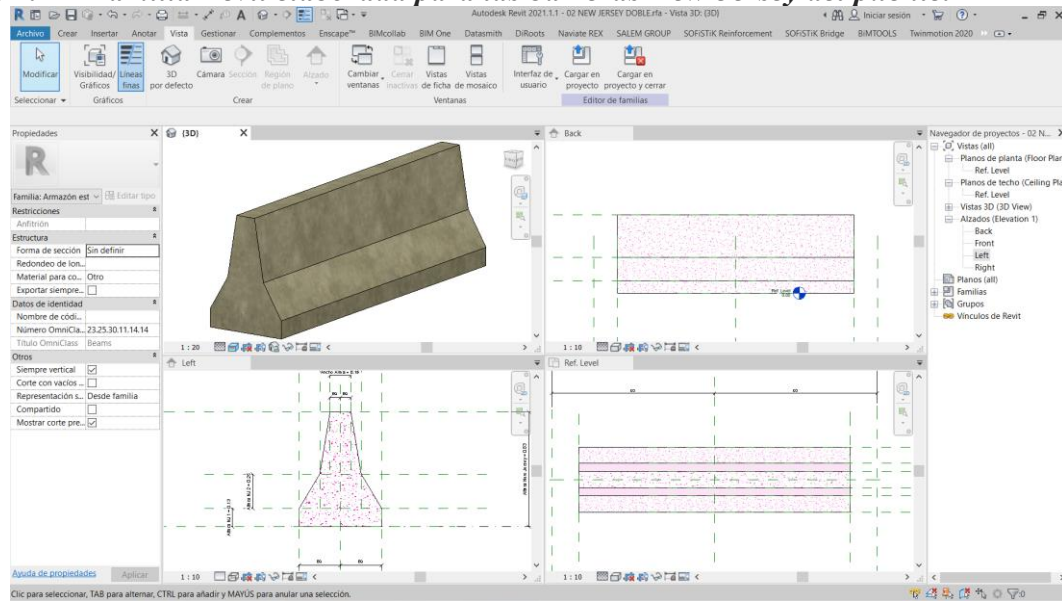
- Cambiar sus dimensiones.
- Cambiar la separación de sus elementos.
- Modificar la separación de los elementos tipo viga.

Figura 90. Familia Revit Elaborada para las Vigas del puente.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 91. Familia Revit elaborada para las barreras New Jersey del puente.



Fuente: Elaboración propia.

También se elaboraron familias del tipo viga prefabricada, familia tipo New Jersey, entre otras, con las ventajas ya expuestas anteriormente.

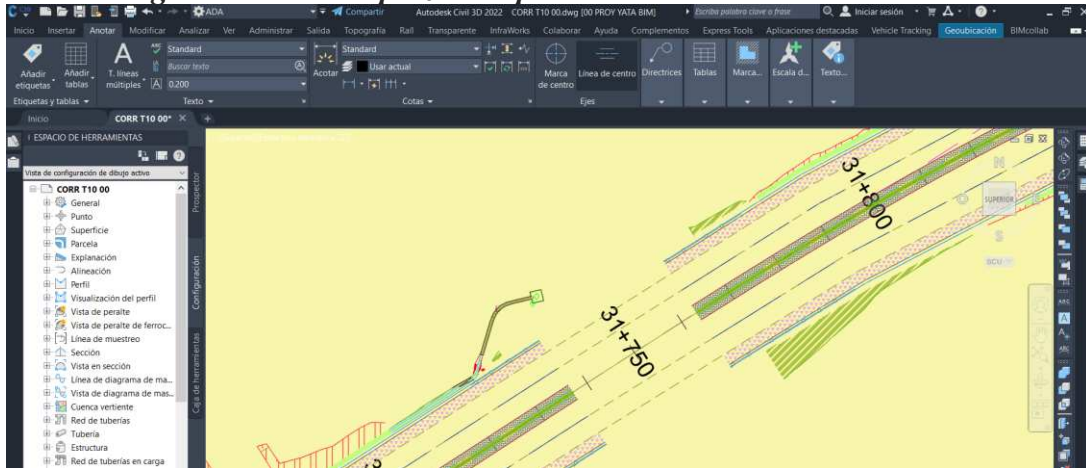
Estas familias no solo ayudan a la cuantificación de los elementos, sino también a la gestión de los mismos, ya no son como los bloques de AutoCAD, es decir son más que solo la geometría estos están nutridos de información, como su respectivo código de clasificación. También se puede colocar más información como: el tipo de material, resistencia característica del hormigón (si corresponde), fabricante, etc.

11.10.4.5.1. Emplazado.

Como se mencionó esta es la etapa más complicada dentro de las estructuras, ya que requiere un intercambio de información bastante amplio. Estos pasos se explicarán a continuación:

- **Etapa 1. Ubicación.** La ubicación del puente está sujeto a la topografía y la red hídrica del proyecto. Con esta información se puede tener idea de la longitud del puente. Después en dicha longitud, el corredor se modelará con otro assembly o ensamblaje. En esta etapa también se exportan las curvas de nivel a Revit para poder modelar la infraestructura del puente.

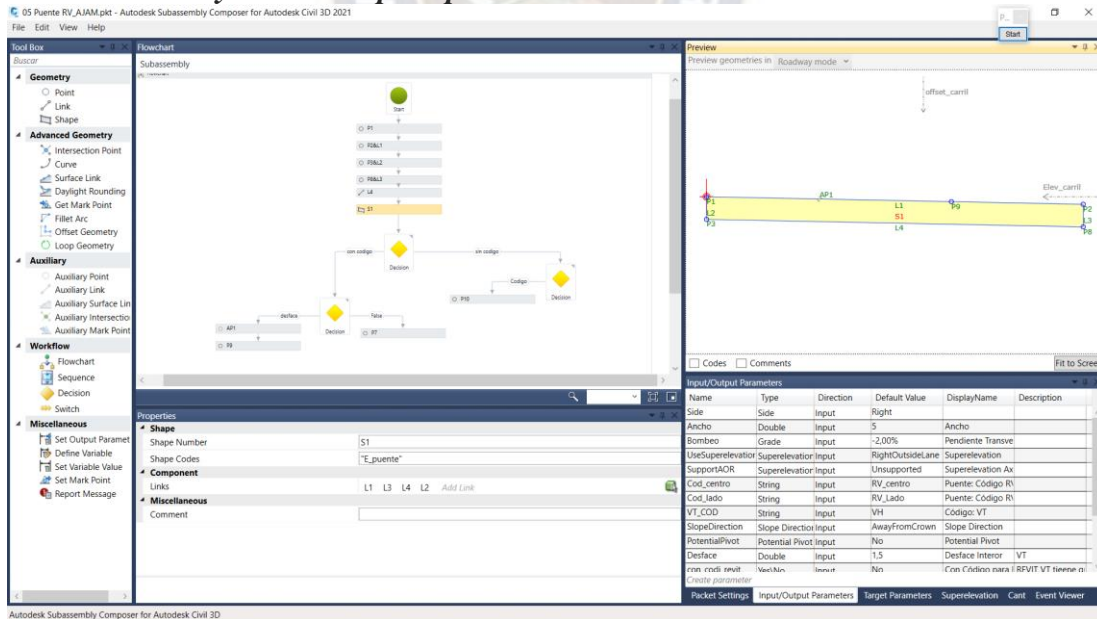
Figura 92. *Región donde se emplazará el puente.*



Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 2. Subassembly Composer.** Con el ensamblaje realizado exclusivamente para puentes en civil 3d, se hizo el corredor de esa región. Es importante este assembly porque con él se extraerán los datos con los que se modelará el puente, en la plantilla se dejaron códigos, que identifican a la FL de los que se desean extraer datos. Estos estarán al borde de los carriles (Izquierda y derecha) y al centro del eje.

Figura 93. *Assembly elaborado para puentes en Civil 3D.*

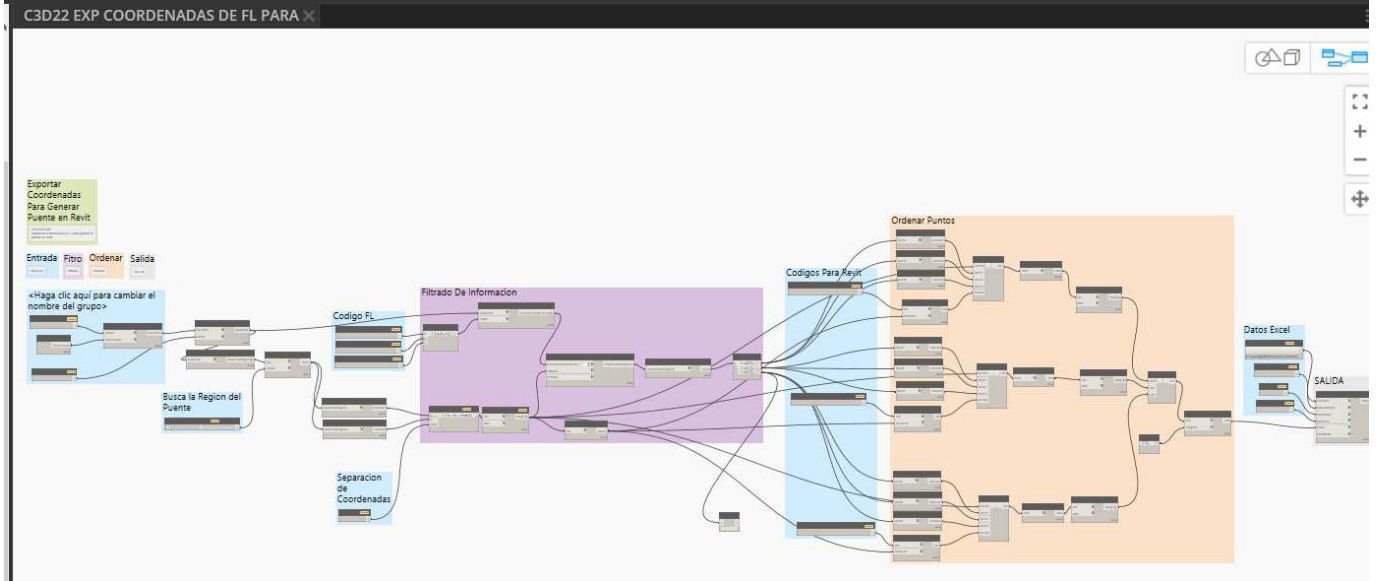


Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 3. Extraer Coordenadas.** Con la programación visual (Dynamo para Civil 3D), se hizo un Dynamo para extraer las coordenadas ESTE, NORTE y COTAS de un determinado FL en función del código que se puso a este, en la “etapa 2” además de

que con este Dynamo se clasificarán los datos extraídos en función de su ubicación (código de ubicación) los mimos que son: Derecha, Izquierda y Centro.

Figura 94. *Dynamo para Civil 3D. elaborado para exportar los datos y clasificarlos.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 95. *Archivo Excel exportado con los datos del FL y su código de ubicación.*

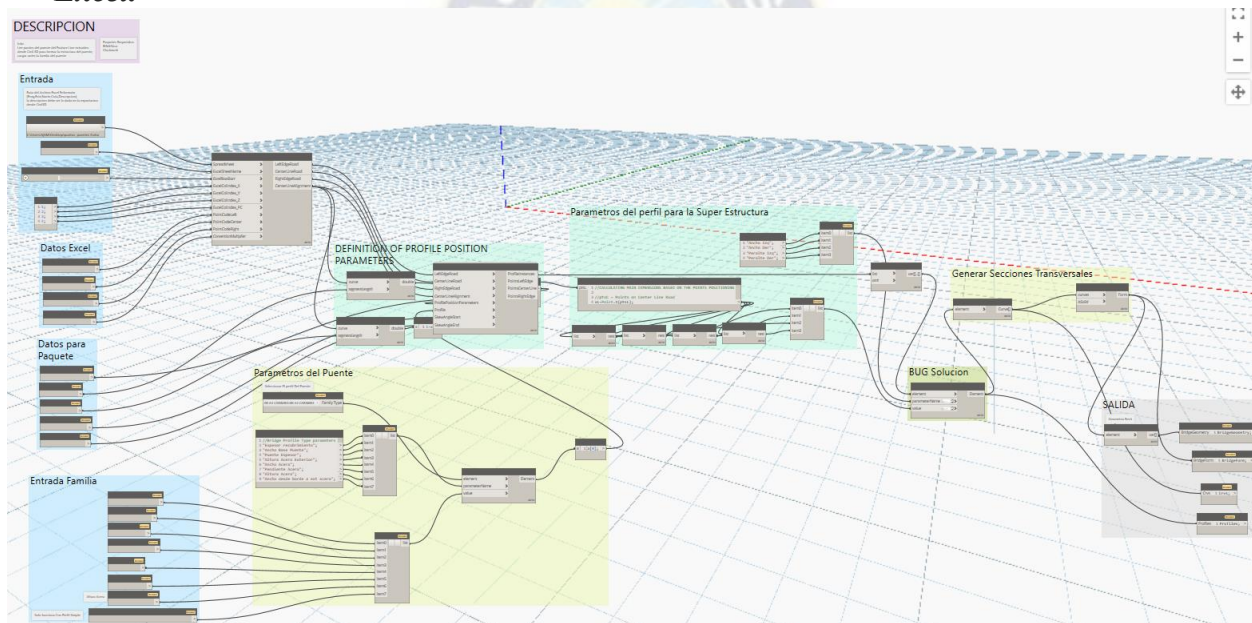
	Progresiva	Este	Norte	Cota	Código de Ubicación
1	31737,03	298345,343	7878488,04	3284,61944	Centro
2	31737,53	298345,763	7878488,32	3284,59174	Centro
3	31738,03	298346,183	7878488,59	3284,56444	Centro
4	31738,53	298346,603	7878488,86	3284,53694	Centro
5	31739,03	298347,023	7878489,13	3284,50944	Centro
6	31739,53	298347,443	7878489,4	3284,48194	Centro
7	31740,03	298347,864	7878489,67	3284,45444	Centro
8	31740,53	298348,284	7878489,94	3284,42694	Centro
9	31741,03	298348,704	7878490,21	3284,39944	Centro
10	31741,53	298349,124	7878490,49	3284,37194	Centro
11	31742,03	298349,544	7878490,76	3284,34444	Centro
12	31742,53	298349,964	7878491,03	3284,31694	Centro
13	31743,03	298350,384	7878491,3	3284,28944	Centro
14	31743,53	298350,804	7878491,57	3284,26194	Centro
15	31744,03	298351,225	7878491,84	3284,23444	Centro
16	31744,53	298351,645	7878492,11	3284,20694	Centro
17	31745,03	298352,065	7878492,38	3284,17944	Centro
18	31745,53	298352,485	7878492,65	3284,15194	Centro
19	31746,03	298352,906	7878492,92	3284,12444	Centro

Fuente: Elaboración propia.

La imagen anterior muestra las coordenadas exportadas desde Civil3D hacia MS Excel por medio de Dynamo, este Dynamo puede exportar datos por ejemplo cada milímetro, en este caso se eligió cada 50cm, y esta tarea se realiza de forma inmediata, con la metodología CAD esto es imposible.

- **Etapa 4. Modelar Familia del Tablero.** Para esta parte del modelado se elaboró una familia para que se proyecte a lo largo del eje que se exportó en formato Excel en la “**etapa 3**”, también se elaboró un Dynamo para Revit que modelará a partir del archivo Excel importado el tablero del puente, utilizándose el paquete BIM4Struc.

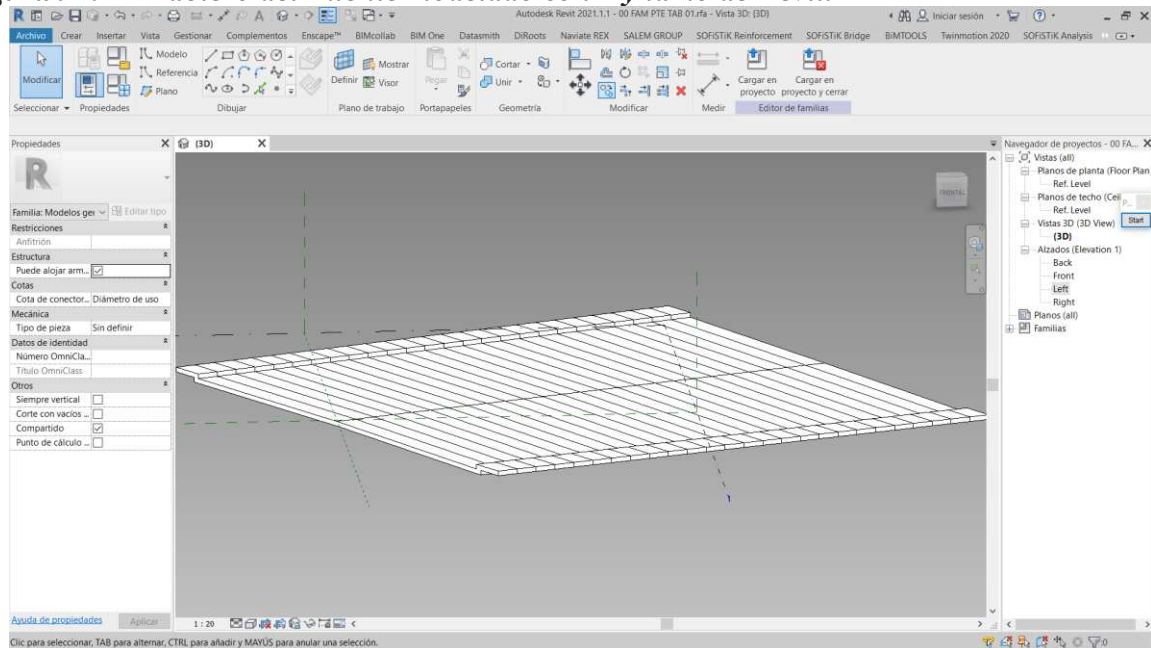
Figura 96. Dynamo para Revit Elaborado para modelar el tablero del puente desde MS Excel.



Fuente: *Elaboración propia.*

El anterior Dynamo importa las coordenadas desde el archivo Excel que se generó anteriormente, con la codificación que tenía cada punto los ordena en función a dicha codificación, y posteriormente con las coordenadas: este, norte y cota. Se asigna esos valores a la familia que se cargó en forma de sección, esto se repite a lo largo del tramo que comprende el puente, conformándose así las secciones con su respectivo peralte y sobreebancho, después esto se une con un barrido, de esta manera se forma el tablero del puente en formato de familia, y ya está lista para su uso.

Figura 97. **Tablero del Puente modelado con Dynamo de Revit.**

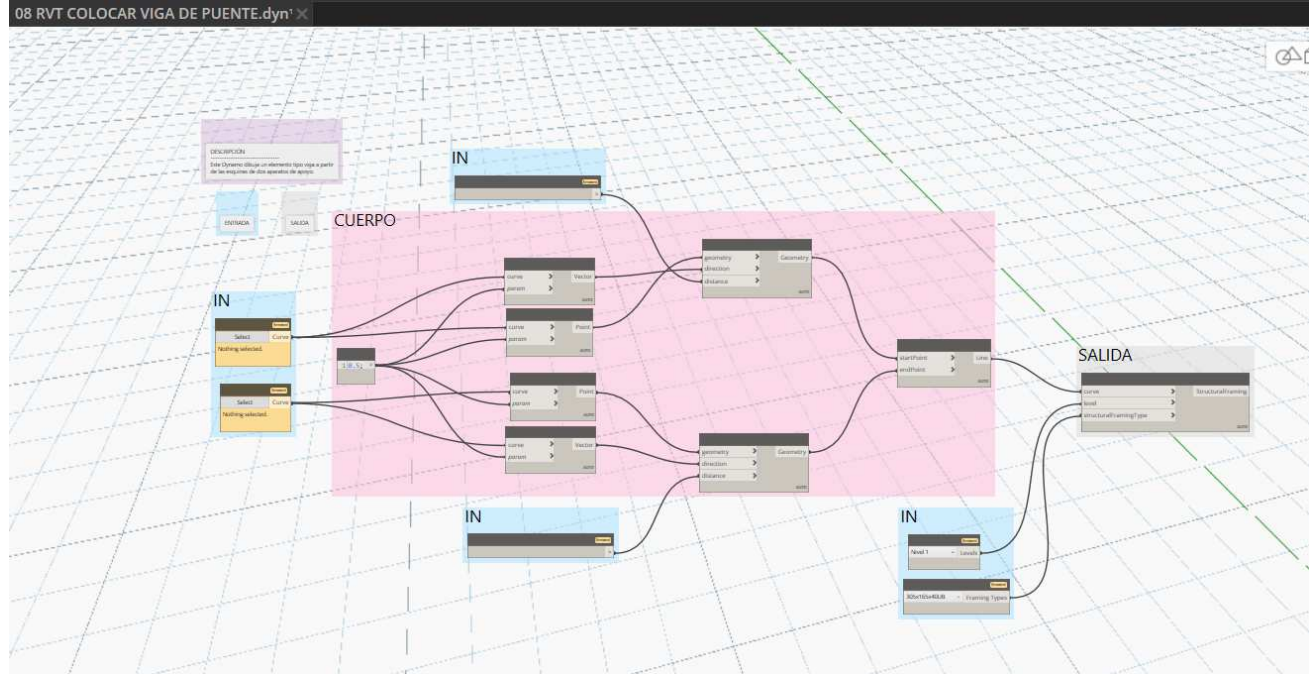


Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 4. Modelar la Infraestructura.** Con la topografía importada en la “Etapa 1” y las familias correspondientes que se presentaron en el segmento “Familias”, se modelaron los estribos del puente, cabe mencionar que la aprobación de este modelado en un proyecto de ejecución, estaría en función de lo que se diga en el departamento de estructuras, y la geotecnia del terreno es primordial para realizar el modelado, sin embargo, por no contar con esta información, además que lo primordial para este proyecto es la demostración de que es posible realizar un modelo BIM de una carretera con flujos de trabajo avanzados, es por ello que el proyecto se basará en el modelado de las estructuras. Es así que se modelaron los estribos del puente incluyendo los aparatos de apoyo, donde descansarán las vigas del puente.
- **Etapa 5. Emplazado de las Vigas del Puente.** Esta tarea de tratarse de un puente convencional (Sección constante), sería bastante fácil, empero uno de los principales problemas es, que la sección del puente va cambiando además de que se encuentra en una zona de pendiente vertical del trazo, eso hace que para modelar vigas (que se hace en función a niveles o “Level’s”) se tenga que elaborar muchos niveles y sea problemático, es por ello que para ello se elaboró un Dynamo para Revit con el cual se modelarán y colocarán las vigas en función de los aparatos de apoyo, de esta manera la tarea se realiza en menor tiempo. También se modelaron los diafragmas del puente

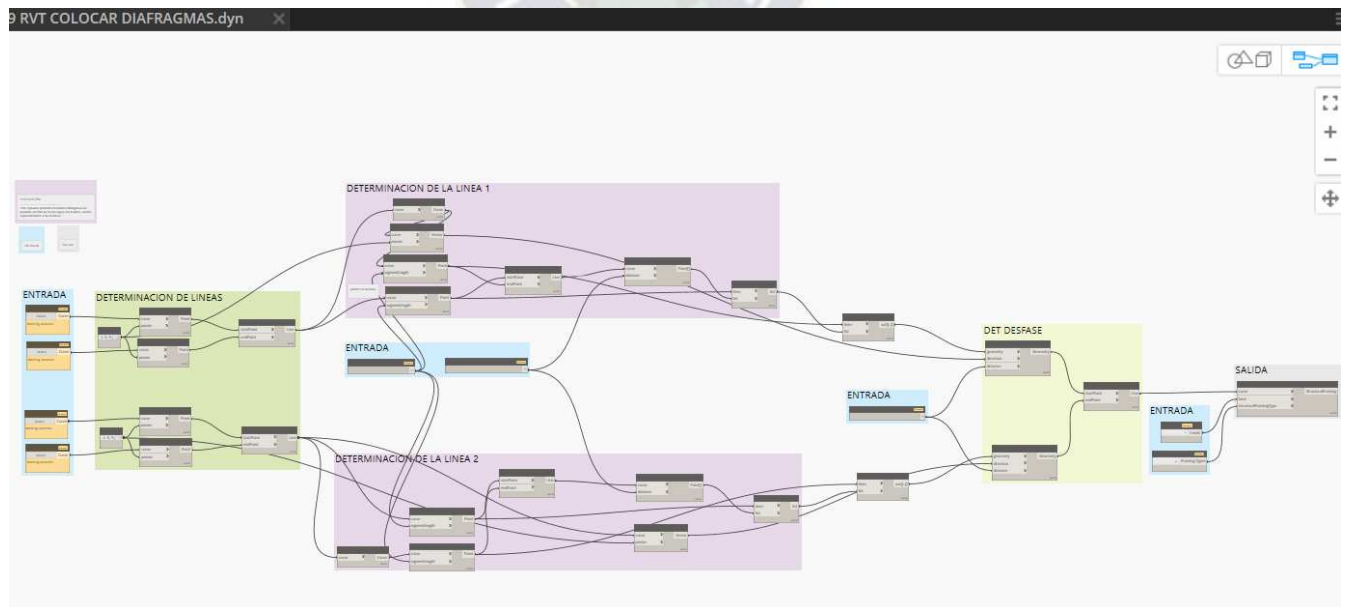
presentándose el mismo problema para ello se realizó otro Dynamo para modelar los diafragmas del puente.

Figura 98. *Dynamo de Revit elaborado para colocar las vigas del puente.*



Fuente: Elaboración propia.

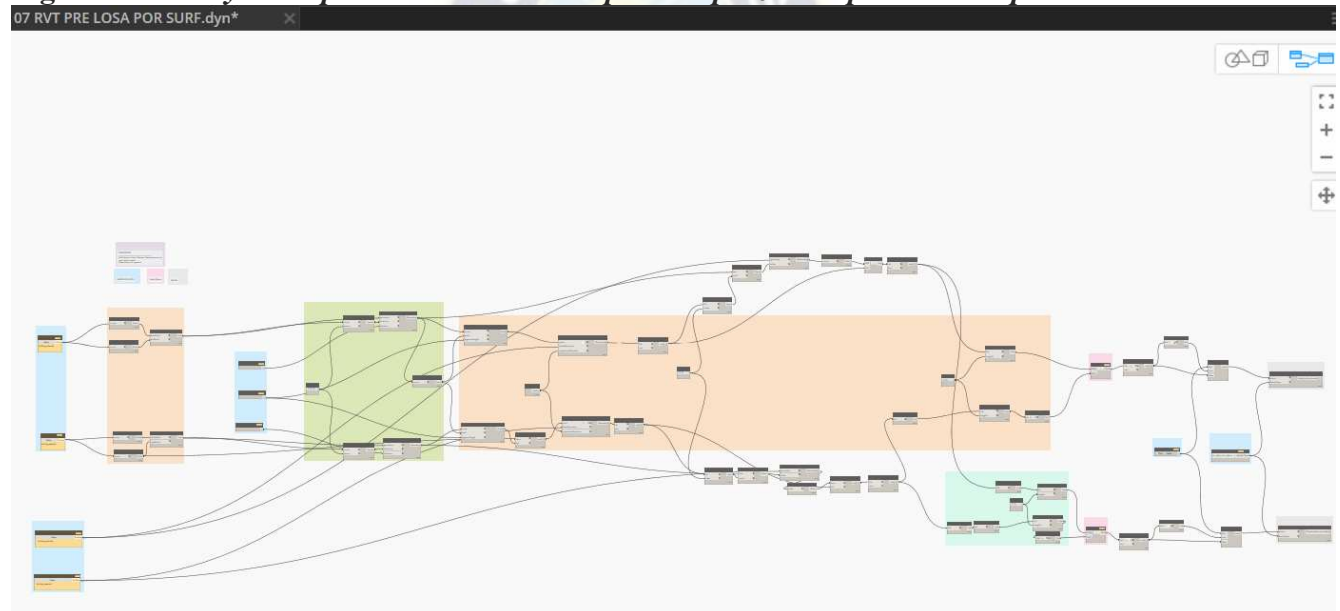
Figura 99. *Dynamo para Revit elaborado para colocar los Diafragmas del puente.*



Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 6. Pre losas.** Uno de los procesos constructivos más fáciles desde el punto de vista de la construcción es el uso de las prelosas, pero desde el punto de vista del modelado esta etapa es muy complicada y sumamente compleja, por el simple hecho de que cada “prelosa” debería modelarse a mano tomando esto muchísimo tiempo, es una de las razones por las cuales no se realiza el modelado de este tipo de elementos. Pero con una metodología más madura si se pudo realizar esta tarea, de forma rápida y efectiva. Para esto se utilizó la programación visual, Dynamo de Revit y también se programó un nodo especial con el lenguaje de programación Python, sin el cual no sería posible completar la tarea.

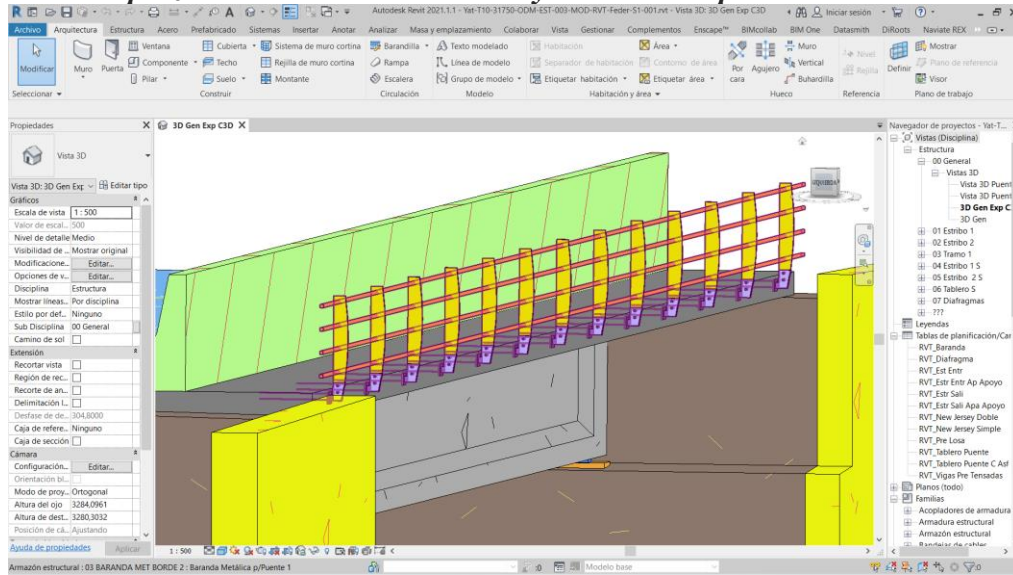
Figura 100. *Dynamo para Revit elaborado para emplazar las prelosas del puente.*



Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 7. Super Estructura.** El tablero que se modeló en la “Etapa 4” y con la infraestructura modelada en las anteriores Etapas, se modelará la super estructura con los elementos que lo componen como las barandas y las barreras tipo New Jersey. Para esta tarea también se utilizó la programación visual Dynamo de Revit para realizar esta tarea de forma automatizada, ya que modelar cada uno de los elementos de forma manual y/o copiar un modelo realizado no era una opción viable, por ello se realizó la programación visual en Dynamo para Revit.

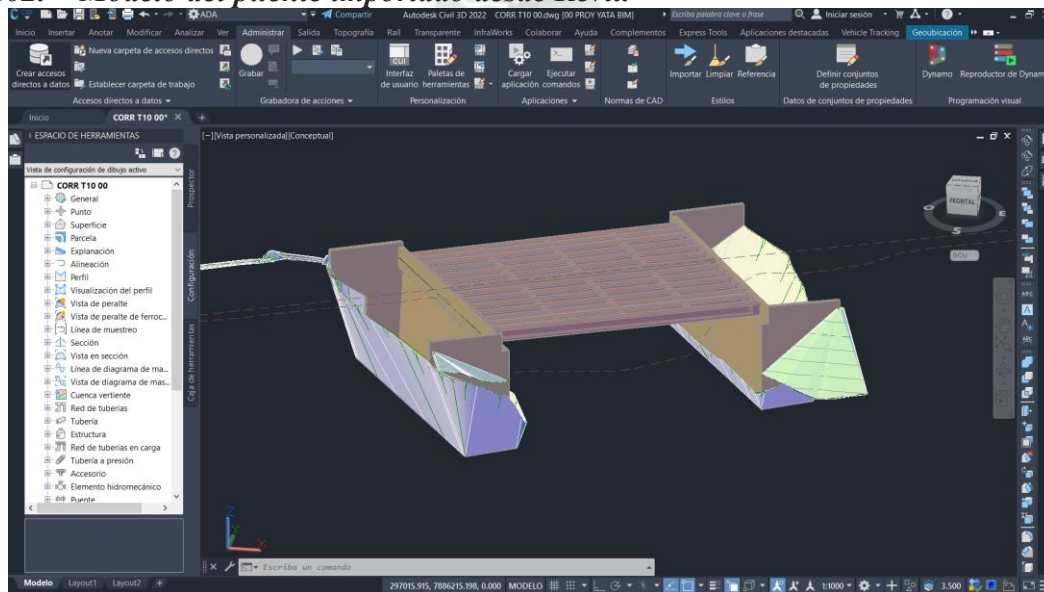
Figura 101. **Emplazado de Barreras metálicas y Barreras de protección.**



Fuente: Elaboración propia.

- **Etapa 8. Exportación CAD.** Posteriormente hay que llevar a Civil 3D el modelo del puente realizado y terminado en Revit, primero para verificar la compatibilidad y calidad del modelo, pero la razón más importante es para realizar el modelo de explanaciones de puente, los mismos que son áreas de corte para la construcción de los estribos, relleno de los estribos y acabados tipo abanico del estribo. Esta información es necesaria para la cuantificación de la partida. Esta fue la forma de proceder para realizar el modelo BIM3D del puente.

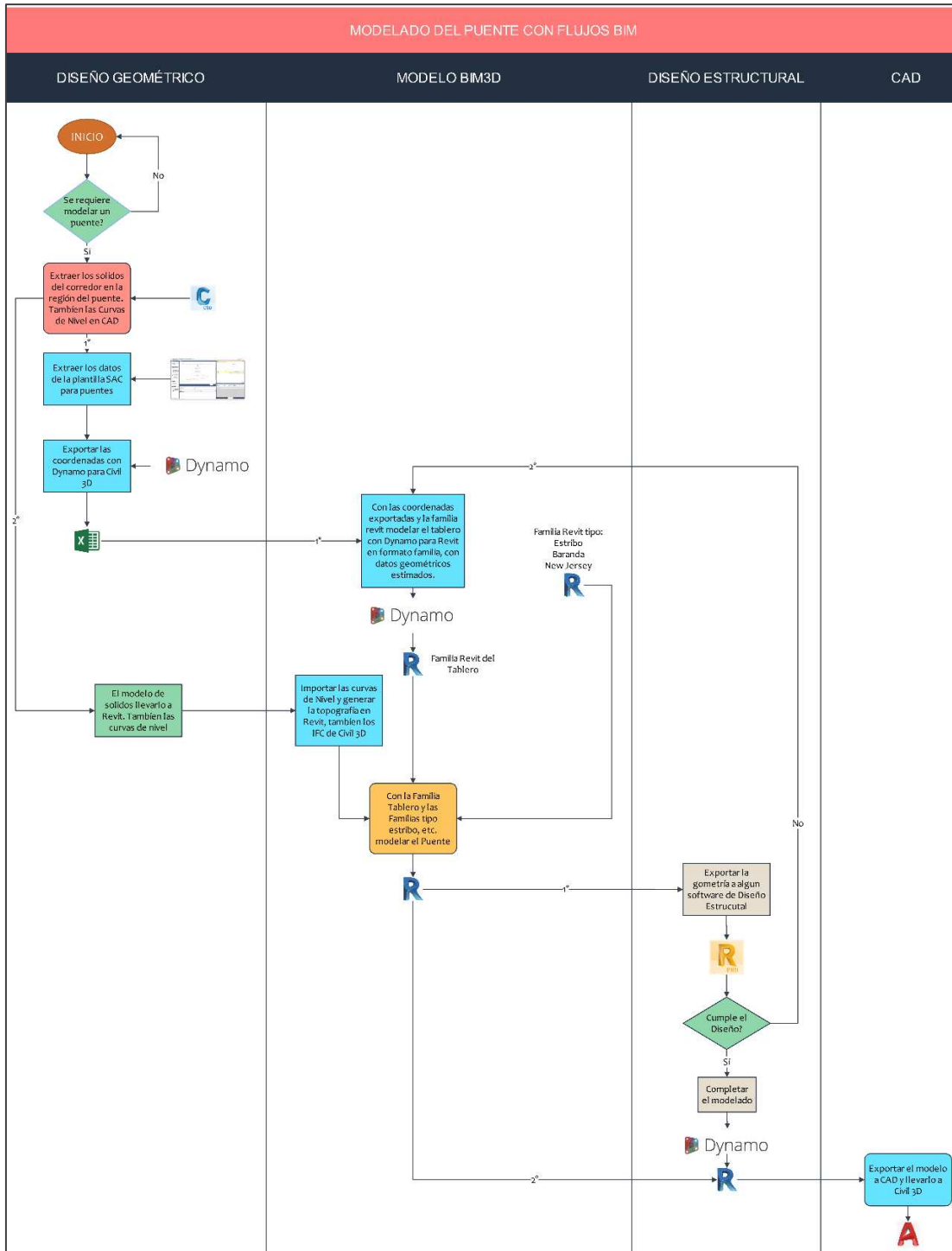
Figura 102. **Modelo del puente importado desde Revit.**



Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentará el flujo de trabajo realizado para la modelación de un puente, desde una etapa inicial o necesidad de un puente hasta la obtención del modelado con el que se calcularán los volúmenes de excavación y terraplén.

Flujo de Trabajo 04. Modelamiento de un Puente.



Fuente: Elaboración propia.

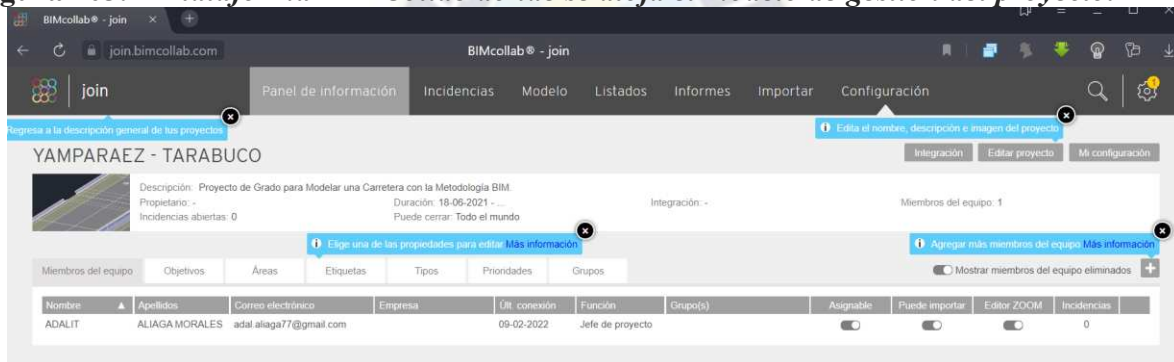
11.10.5. Flujo de trabajo para la Gestión del Modelo BIM (Equipo de Trabajo).

Es atribución del BIM Manager establecer la metodología para realizar este trabajo y garantizar que se trabaje con modelos actualizados y no se trabajen con datos obsoletos. Es por ello que se emulará el trabajo de una oficina técnica y para ello se trabajó con plataformas que nos ayuden a ese propósito.

11.10.5.1. BIMCollab.

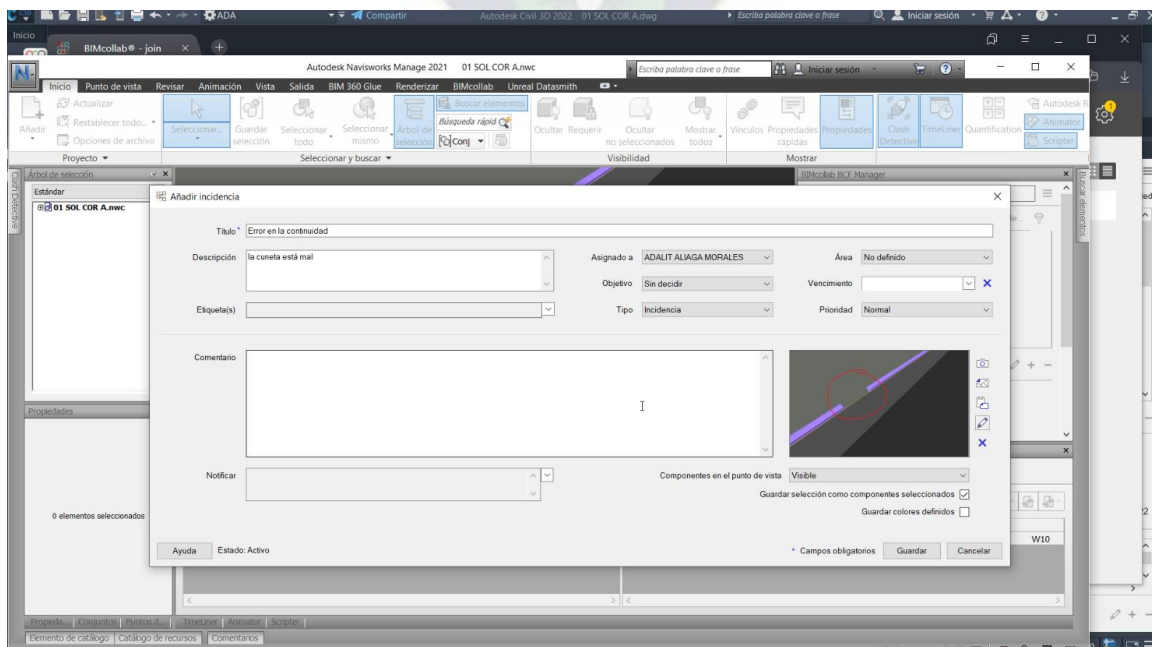
Esta plataforma sirve para que el equipo de trabajo gestione los “issues” de los modelos BIM, nos permite juntar varios modelos BIM y realizar después un análisis de interferencia, al igual que encontrar algún error de concepto, y gestionar su pronta solución.

Figura 103. *Plataforma BIMCollab donde se aloja el modelo de gestión del proyecto.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 104. *Plugin de BIMCollab para Navisworks.*



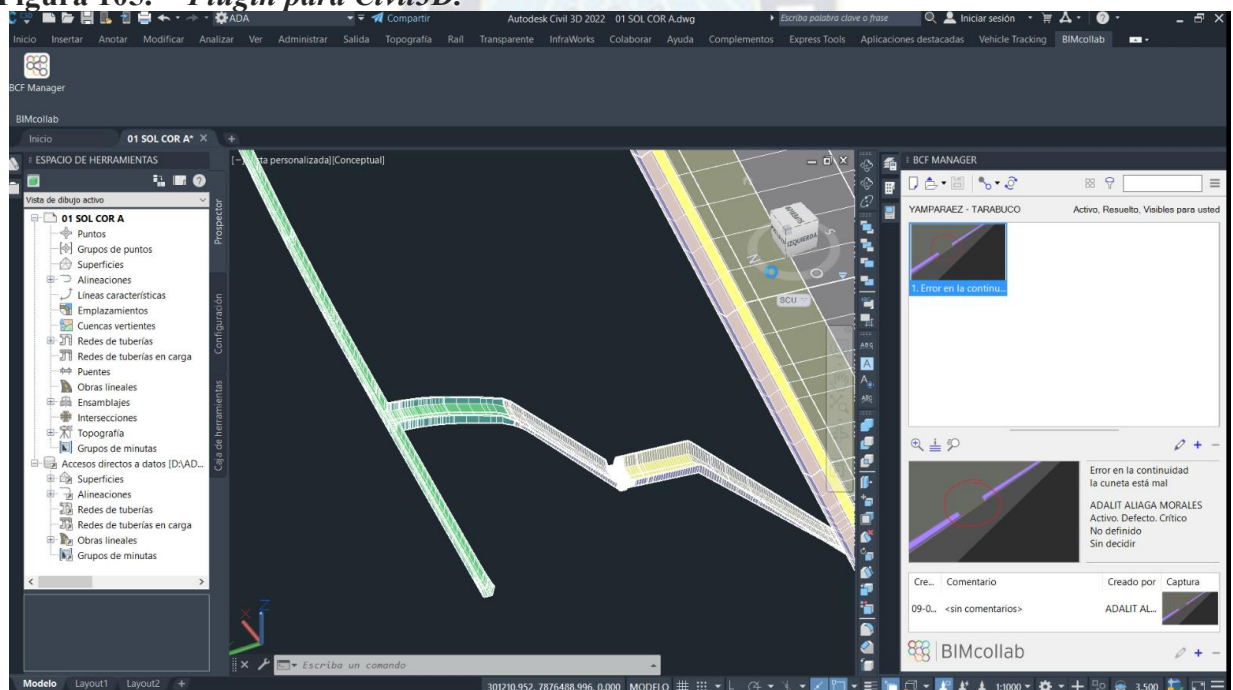
Fuente: Elaboración propia.

En estas imágenes se puede observar, primero la plataforma online para gestionar los modelos, segundo un plugin para Navisworks con el fin de vincular los “issues”.

El flujo de trabajo que se está proponiendo para la coordinación del proyecto es el siguiente:

- Se coordinaron los modelos por medio de Navisworks.
- Los “issues” de los modelos serán realizados desde Navisworks, con su debida descripción.
- Con eso se realizará la notificación al profesional del área en cuestión.
- Con el plugin ya sea para Revit o Civil se identificará el problema y le tendrá que dar solución. Ya que los “issues” están vinculados.
- Después dicha “issue” estará cerrada.

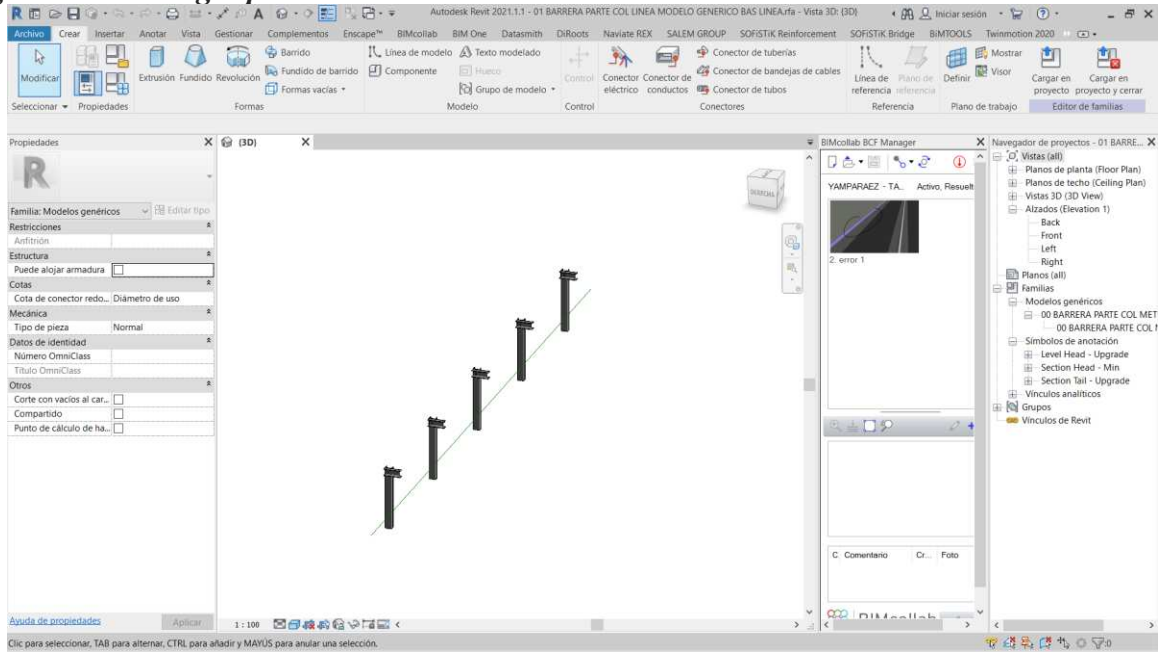
Figura 105. Plugin para Civil3D.



Fuente: Elaboración propia.

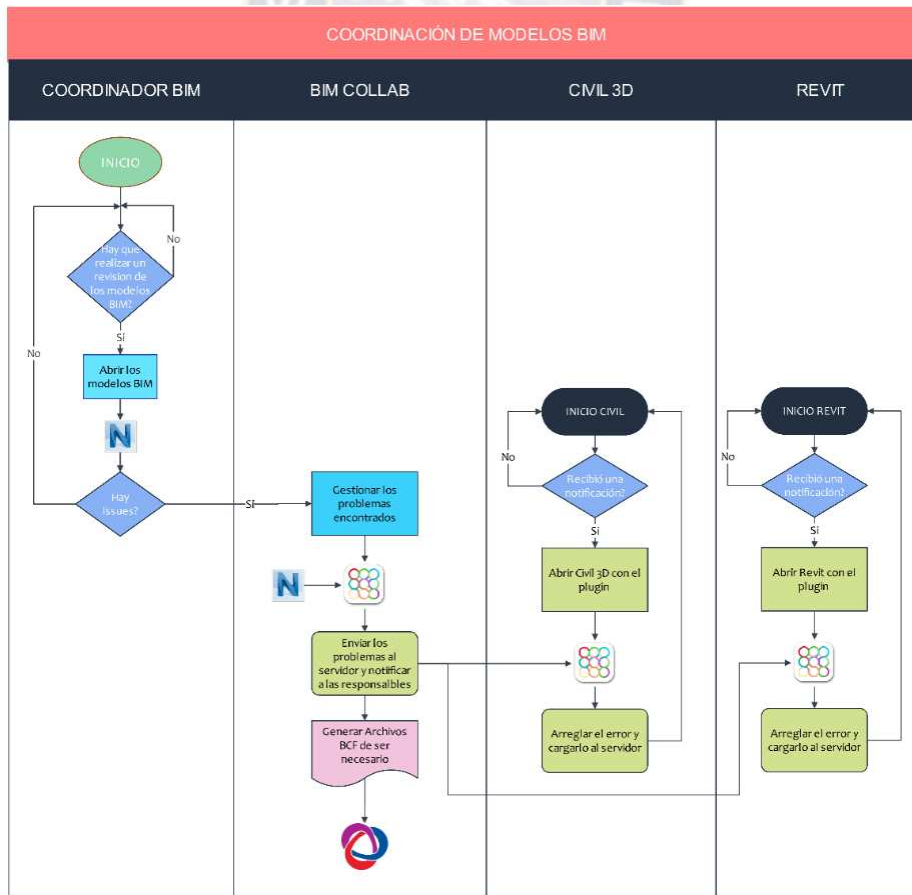
En las imágenes superiores e inferiores se pueden ver los plugin's de los programas de modelado y coordinación, con un flujo de trabajo adecuado se podrán resolver todos los problemas que se encuentren en el proyecto. Desde el punto de vista del modelado de los elementos todo esto tiene que ser propuesto por el BIM MANAGER, este trabajo tiene que ser realizado por el Coordinador BIM del proyecto.

Figura 106. Plugin para Revit.



Fuente: Elaboración propia.

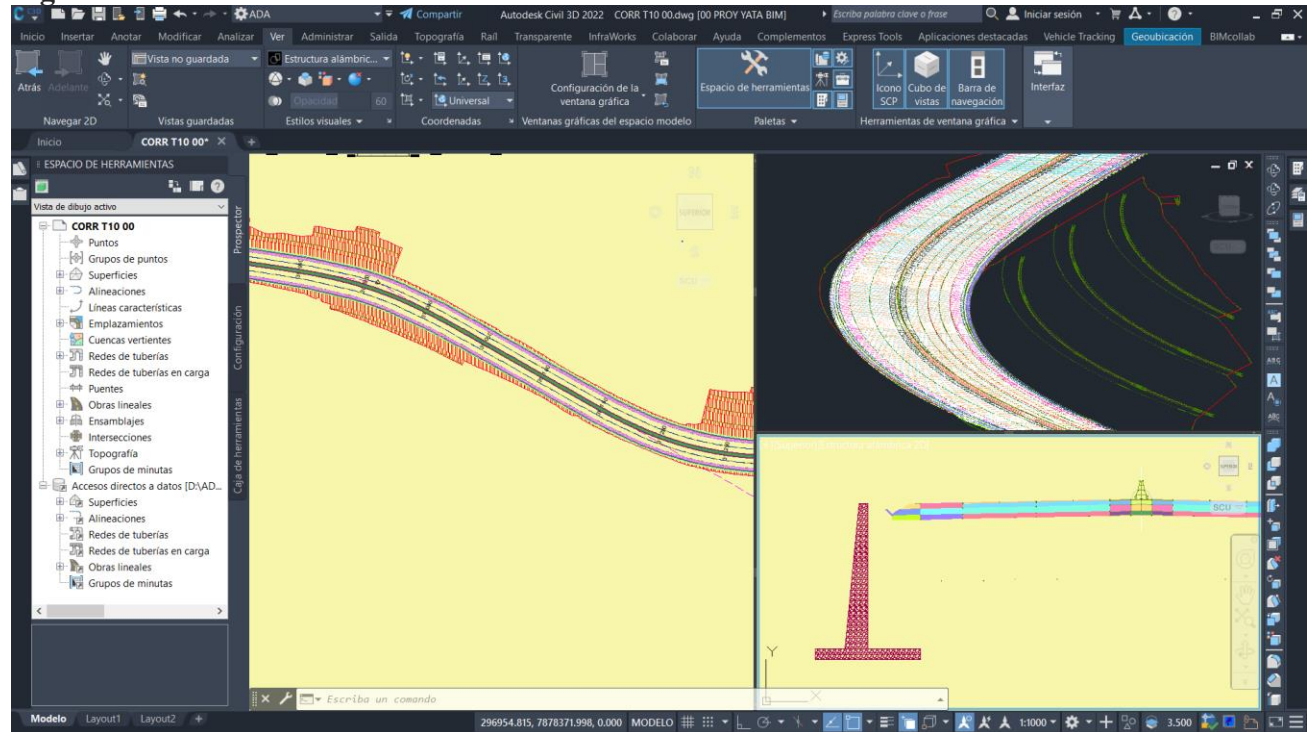
Flujo de Trabajo 05. Trabajo para la coordinación de los modelos BIM.



Fuente: Elaboración propia.

Con la gestión de los problemas al realizar la modelación del corredor, la posibilidad de que estos problemas aparezcan durante la construcción disminuye considerablemente, para ello hay que seguir los flujos de trabajo propuestos por el BIM MANAGER,

Figura 107. Corredor Vial Elaborada con Civil 3D.



Fuente: Elaboración propia.

11.10.6. Flujo de Trabajo para la Revisión de los Modelos BIM (Exploradores BIM).

Los modelos BIM deben ser sujetos de revisión con mucha frecuencia, en especial por el equipo que supervisará el proyecto o el cliente o el representante de este. Esta revisión en un proyecto BIM debe hacerse aplicando herramientas que nos permitan explotar al máximo estos modelos.

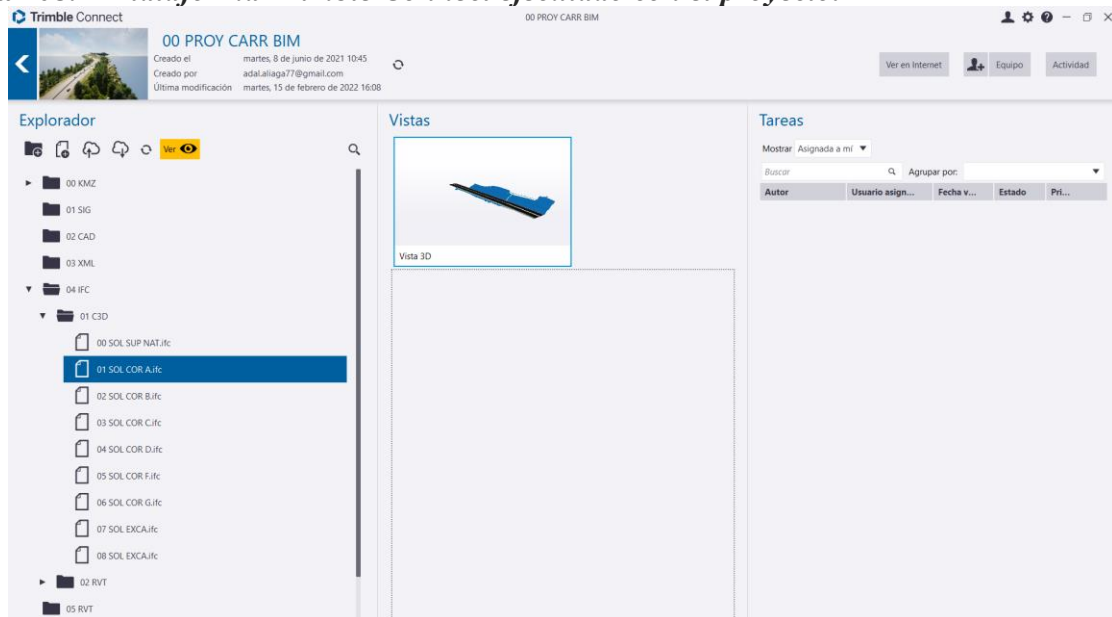
11.10.6.1. Trimble Connect.

Este servidor es un ECD por defecto al igual que BIM360¹⁸ de Autodesk, pero esta será utilizada en su versión “libre”, y solo para la visualización de los modelos solidos IFC, para emular el flujo de trabajo para realizar esta tarea. Para ello hay que seguir los siguientes pasos:

- Cargar el proyecto en el servidor de Trimble Connect, con los IFC's ordenados.

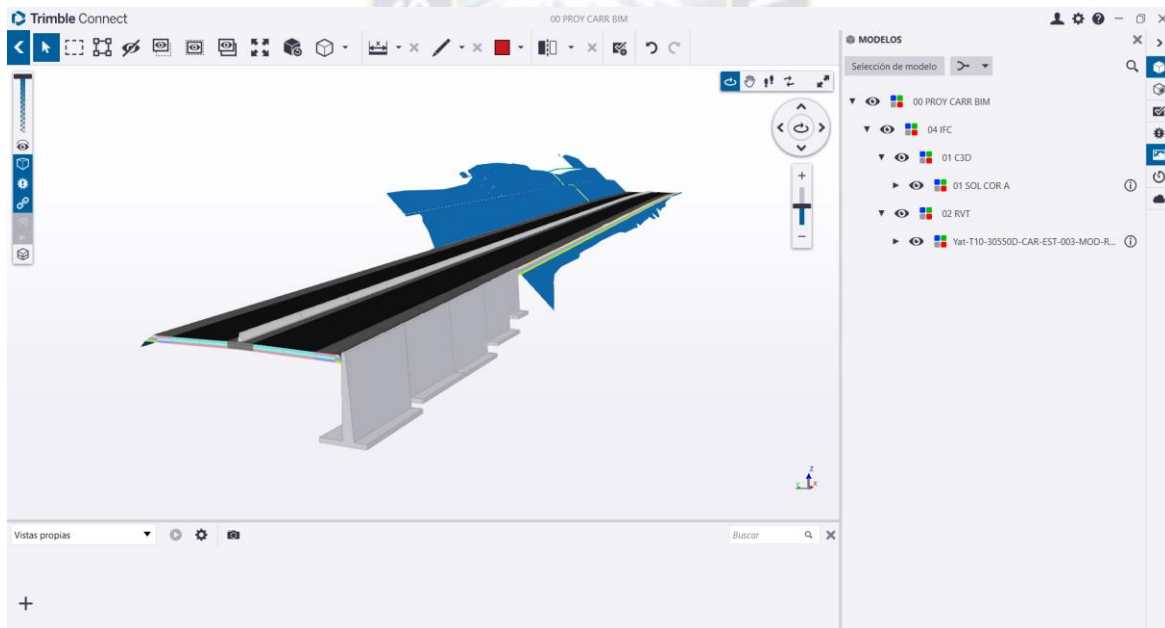
¹⁸ BIM360 es un ECD es decir un entorno común de datos por excelencia, dentro de esta plataforma se pueden gestionar las incidencias, y la revisión de los modelos BIM, el punto negativo es el elevado costo de la licencia, por ello se mostró el flujo de trabajo con las herramientas cuyo costo es más accesible.

Figura 108. *Plataforma Trimble Connect ejecutado con el proyecto.*



Fuente: Elaboración propia.

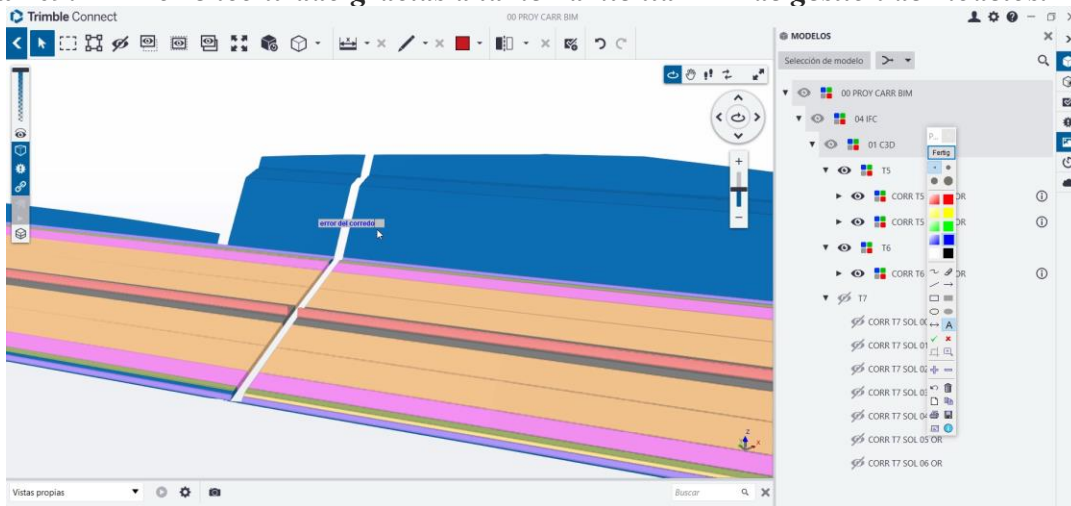
- Agregar a los profesionales que participarán en la exploración.



Fuente: Elaboración propia.

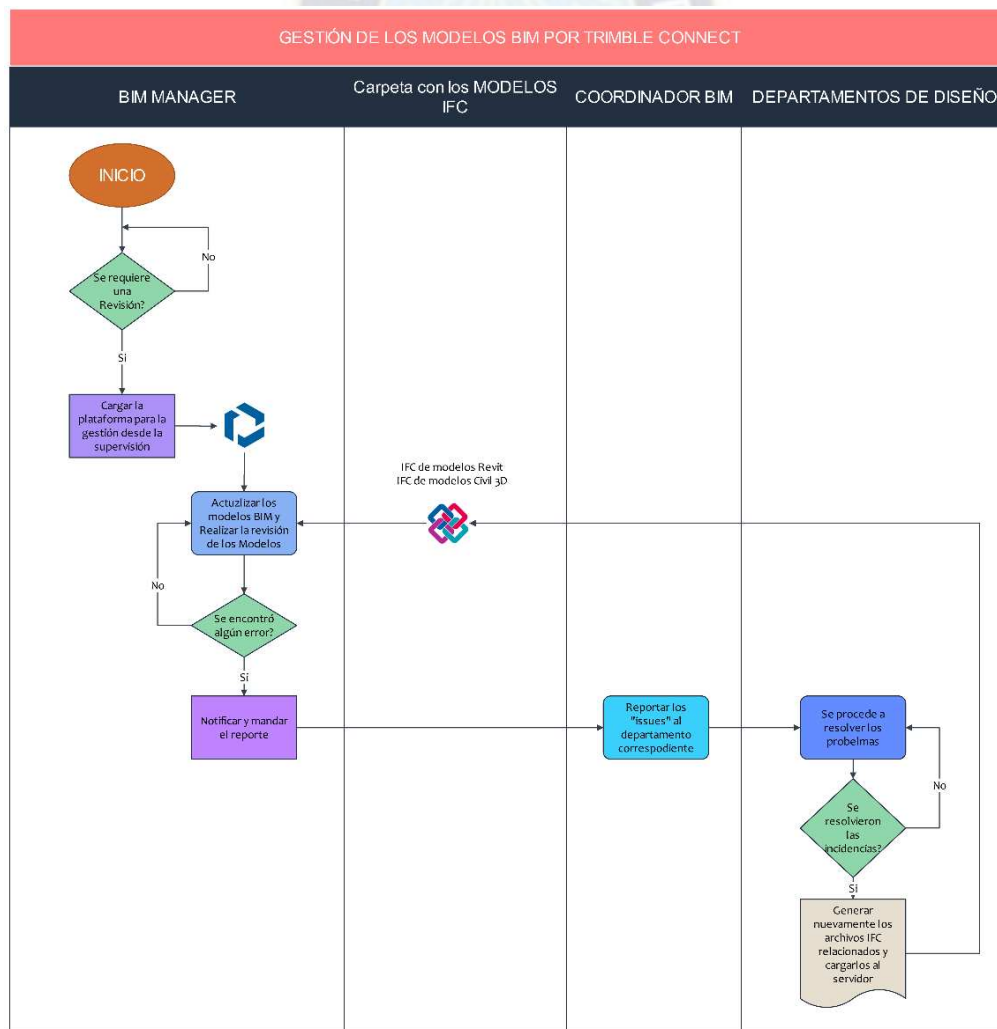
Solo se necesita de esos pasos para que se puedan revisar los modelos BIM, con esta plataforma se podrá revisar las dimensiones, cotas, espesores, coordenadas de los modelos emplazados, además que se podrá visualizar todos los modelos en una sola plataforma exclusiva para la revisión del proyecto. De existir algún error este debe de notificarse lo antes posible al encargado del área para que este sea subsanado lo antes posible.

Figura 109. Error encontrado gracias a la herramienta BIM de gestión de modelos.



Fuente: Elaboración propia.

Flujo de Trabajo 06. Gestión de los Modelos BIM por Trimble Connect.



Fuente: Elaboración propia.

11.11. ANÁLISIS DE PRECIOS UNITARIOS APU.

El APU nos da una estimación de costo por unidad de partida, tomando en cuenta todos los insumos para realizar dicha partida como ser: materiales, mano de obra, equipo y herramientas y los gastos indirectos que componen la partida. Todas las partidas que componen el análisis de precios unitarios cuentan con los mismos insumos de manera general. Para ello hay que tener en cuenta el rendimiento de los insumos como, por ejemplo: de la mano de obra y maquinaria. Con estos valores se puede determinar el costo por unidad de partida. Este análisis debe de realizarse con mucho cuidado con los datos más fiables posibles, puesto que con los rendimientos de las partidas posteriormente se calcularán los tiempos de ejecución de toda la obra. Entonces el APU tiene incidencia directa en el presupuesto y cronograma de la obra.

Dada su importancia la base de datos con la que estos deben de realizarse tienen que ser muy fiables y para algunos casos estos deben de necesitar de muchos más datos provenientes del estudio de ingeniería, tal es el caso del movimiento de tierras, por ejemplo, este necesita de estimaciones de tiempo para la maquinaria que se necesite, la capacidad de la maquinaria su eficiencia, ciclos de trabajo también se necesita saber la distancia a la que se encontrarán los buzones para poder calcular el rendimiento de la partida y con este, poder calcular el número de maquinarias que se necesitarán para completar la partida. Empero en el presente proyecto se realizó la base de datos con los que se trabajará el APU en función a datos provenientes de revistas especializadas en el tema de precios unitarios, también se consultó con páginas web relacionadas con la construcción. Puesto que realizar todos los cálculos para cada una de las partidas está fuera de los alcances del proyecto, sin embargo, se reconoce su importancia y es por eso que se los realizó para mostrar un flujo de trabajo más real.

Esta tarea por lo general se realiza con programas especializados para el presupuesto de obra, en el mercado existen varios programas, como Quark, Prescom, Presto, etc. Tanto Quark como Prescom no son programas BIM es decir no hay flujo de trabajo que garantice la interoperabilidad entre ellos y una base de datos BIM, presto si es un programa BIM pero el uso de su licencia tiene un costo considerable, además de que estos programas están realizados para el intercambio de información con Revit, y por lo tanto no hay un flujo de trabajo estable para llevar la información desde Civil 3D hacia Presto, por ello se realizó un flujo de trabajo propio bastante bueno para solventar este inconveniente.

Figura 110. *Base de dato del Análisis de Precios Unitarios.*

ANALISIS DE PRECIO UNITARIO								
PROYECTO YAMPARAEZ - TARABUCO TRAMO 10								
Actividad 1: EXCAVACIÓN NO CLASIFICADA DE CORREDOR								
Unidad: M3								
Moneda Pesos bolivianos								
Cuadrilla 1								
Rendimiento Und Jornada M3 1164,4832								
Jornada HR 8								
Codigo Clasificacion 10.20.20.20								
Descripción	Und.	Cuadrill	Cantidad	% Productividad	Precio Unitario		Costo Total	
					Improductivo	Productivo		
1.- MATERIALES								
			0,00000			0,00000	0,000	
TOTALES MATERIALES							0,000	
2.- MANO DE OBRA								
AYUDANTE DE MAQUINARIA Y EQUIPO	HR	1	0,00687			15,000	0,103	
CHOFER	HR	3	0,02061			16,250	0,335	
OPERADOR EQUIPO PESADO	HR	3	0,02061			19,000	0,392	
CAPATAZ	HR	0,1	0,00069			24,000	0,016	
SUBTOTAL MANO DE OBRA							0,846	
BENEFICIOS SOCIALES - %							81,74%	0,692
IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO - %							14,84%	0,230
TOTALES MANO DE OBRA							1,767	
3.- EQUIPO Y HERRAMIENTAS								
CARGADORA FRONTAL 938H 180 HP	HR.	1	0,00687			444	3,050	
TRACTOR C/TOPADORA C/ RIPER D6T 200 HP	HR.	1	0,00687			700	4,809	
VOLQUETA 12 M3	HR.	3	0,02061			160	3,298	
EXCAVADORA DE ORUGAS 143 HP	HR.	1	0,00687			420	2,885	
HERRAMIENTAS - %							5,00%	0,088
TOTAL EQUIPO Y HERRAMIENTAS							14,131	
4.- GASTOS GENERALES								

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa parte de la base datos concernientes a los precios unitarios, esta se realizó de la siguiente manera:

- Cada elemento de la clasificación BIM utilizada, se representa como una partida dentro del APU.
- Cada partida del APU está relacionada con su respectivo código de clasificación BIM.

Con estos preceptos es que se realizó la base de datos del APU, obteniéndose para cada partida su precio unitario, y su rendimiento por unidad de partida enlazada a su respectivo código de clasificación.

11.12. CUANTIFICACIÓN.

11.12.1. Desventajas de la Cuantificación por la metodología Tradicional.

La cuantificación de un proyecto de ingeniería Civil es una etapa muy compleja, y de realizarse esta con la metodología CAD o tradicional suele llevar mucho tiempo el realizarla. A continuación, se explicarán las desventajas del metrado con la metodología CAD o tradicional.

- Para determinar los volúmenes de corte y relleno hay que trabajar con los planos de secciones transversales, por ello los planos ya tienen que estar completados para realizar esta tarea.
- Los datos de los planos que indican el valor numérico de corte y relleno se colocan a mano, y hay que calcularlos uno por uno. Y esta labor es muy larga y las probabilidades de cometer un error son muy grandes.
- Calcular los volúmenes de las capas del corredor vial de igual manera es una tarea tediosa y bastante laboriosa.
- El cómputo métrico de los elementos como alcantarillas, puentes, badenes, muros de contención, espigones, etc. Se realizan con los planos CAD, eso implica que existe gran posibilidad de cometer errores en el metrado, y que se presenten los errores CAD¹⁹.
- Realizar el cómputo métrico de los elementos como las cunetas, bordillos, zanjas, etc. (Obras lineales), se realiza de forma precaria y con ayuda de los planos de secciones transversales, eso se traduce en: datos poco fiables, al trabajarse con planos de por ejemplo c/20m. hace que exista un serio error al calcular exactamente donde empezará y donde terminarán esos elementos.
- Para realizar el cómputo métrico de los muros de contención, de igual manera se trabaja con las secciones transversales, y al tratarse de obras de estructuras mayores la incertidumbre expresada en el anterior inciso, hace que se pueda cometer un serio error al momento de realizar el presupuesto de obra, sin hablar de que la estructura estaría mal emplazada desde la etapa de diseño. Y este error solo se encontrará durante la construcción, y posiblemente habrá que destinar dinero no presupuestado para mitigar ese error.
- Cómputo métrico de las barreras de protección, se presenta el mismo inconveniente expresado en el anterior inciso, es por ello que este tipo de tareas al realizarse sección por sección es muy lento de ejecutar, y la única forma de visualizar este elemento en planta es hacerlo manualmente, y por ello el tiempo perdido tanto para representar muros de contención, barreras, cunetas, etc. Es mucho más de lo que debería, sin

¹⁹ Son errores que se presentan por la incongruencia de los planos.

mencionar que en caso de que existiese un cambio de trazo o que se cambie alguna pendiente, todo el trabajo realizado no servirá de nada.

- En general realizar cálculos métricos de un proyecto de ingeniería vial realizado con la metodología tradicional, se traduce en tiempo gastado innecesariamente, además de que existe una seria incertidumbre acerca de los resultados obtenidos, sumando a eso que con planos CAD es común que exista incongruencia en los planos y precisamente de estos deberá salir la información, requiriéndose así más tiempo tratando de resolver algo que ya debería estar resuelto para esa etapa.

11.12.2. Cuantificación del Proyecto.

El proyecto cuenta con tres áreas importantes dentro de lo que a la cuantificación corresponde, siendo estas las obras lineales, no lineales y superficie.

Las obras lineales hacen referencia en exclusiva al corredor con todas sus capas correspondientes, cunetas, zanjas, barreras de protección, New Jersey etc. Las obras no lineales son: alcantarillas, puentes, badenes, muros de contención, etc. Las de superficie son las que resultan del cálculo que nos indica el volumen que se debe de excavar o rellenar, para completar esa tarea. Para el presente proyecto al tratarse el mismo sobre la metodología BIM, se desarrollaron flujos de trabajo adecuados para los miembros que componen los modelos BIM del proyecto.

11.12.2.1. Cuantificación de Elementos Lineales Civil 3D.

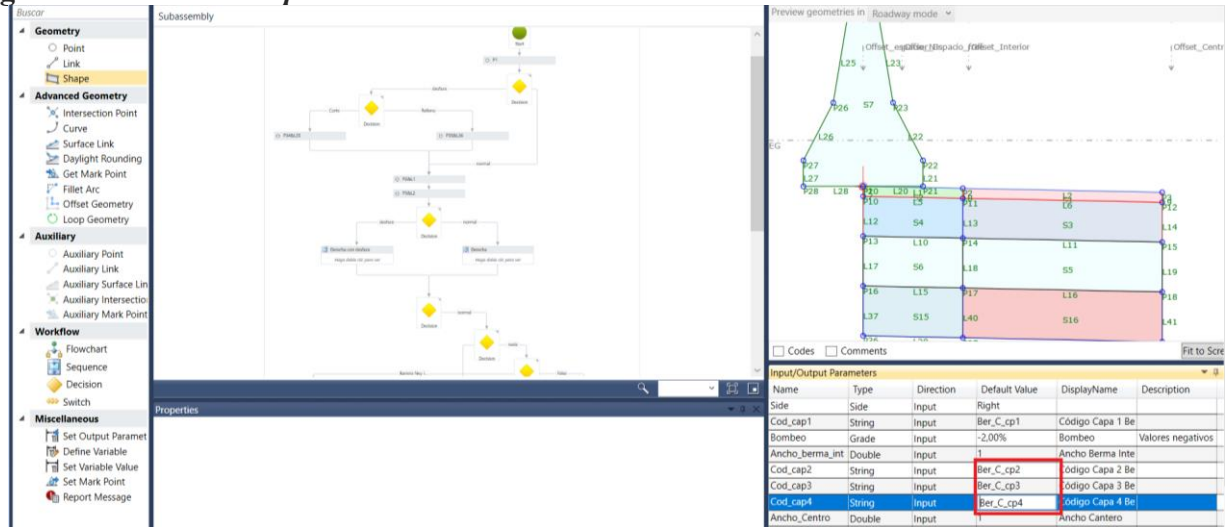
11.12.2.1.1. Códigos de Clasificación.

La obra lineal se realizó en Civil3D y es allí donde se tiene que realizar la cuantificación de los elementos que lo componen, con el uso de herramientas avanzadas. Esto se logró gracias al uso adecuado de la herramienta SAC en una etapa anterior del proyecto.

En el momento de la confección de los elementos que se modelen con SAC, debe de estudiarse que es lo que se necesitará de dicho modelo, es decir la información que se necesitará extraer, por ejemplo en el caso de elementos lineales, lo que se necesitará será la extracción de points, para la extracción de áreas se necesitará los links, para la extracción de un modelo de sólidos del corredor se necesitará la extracción de shapes, los elementos mencionados: points, links,

shapes, según sea requerido deberán contar con su código en especial si su extracción será necesaria en una etapa más avanzada del proyecto.

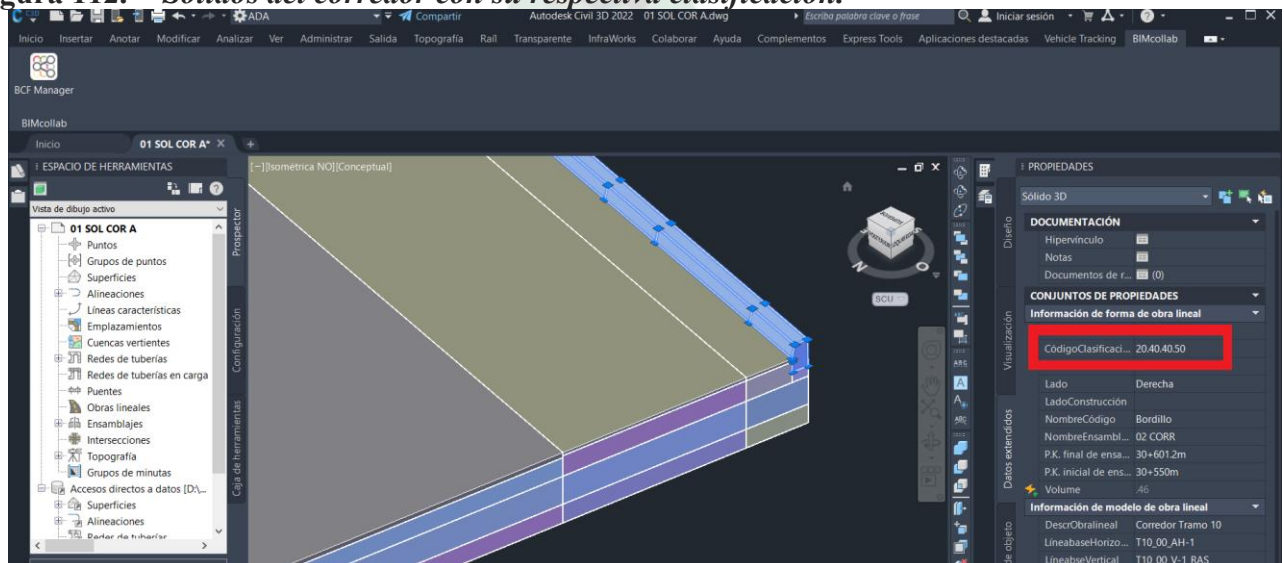
Figura 111. Plantilla para el Cantero Central elaborada como SAC.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa remarcado el espacio correspondiente al código del “shape” con el que posteriormente se conformaron los distintos sólidos del corredor, de esta manera se vinculan los “shape’s” de la obra lineal con la clasificación que corresponde a cada elemento. Eso como ya se mencionó se realizó con la GuBIMClass que se modificó para este proyecto, es así que se garantiza que cada elemento del corredor vial cuente con su respectivo código de clasificación.

Figura 112. Sólidos del corredor con su respectiva clasificación.



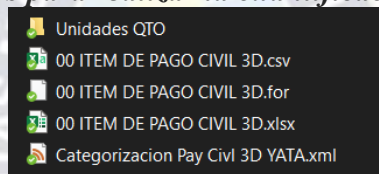
Fuente: Elaboración propia.

En la gráfica anterior se observa un modelo de sólidos del corredor y remarcado se encuentra su código de clasificación asignado para realizar la cuantificación de este componente.

11.12.2.1.2. *Cuantificación con los códigos de clasificación y organización.*

Se elaboraron varios archivos para poder realizar esta tarea de la forma más eficiente posible, los mismos que se presentarán a continuación. Civil 3D trabaja con dos archivos principales para la cuantificación, el primero se trata de un archivo “*item de pago*” el mismo que sirve para realizar la cuantificación en función de la clasificación y la unidad de la partida, el segundo archivo es un XML realizado para la organización de las partidas que se deben calcular.

Figura 113. *Archivos elaborados para realizar la cuantificación dentro de Civil 3D.*



Fuente: *Elaboración propia.*

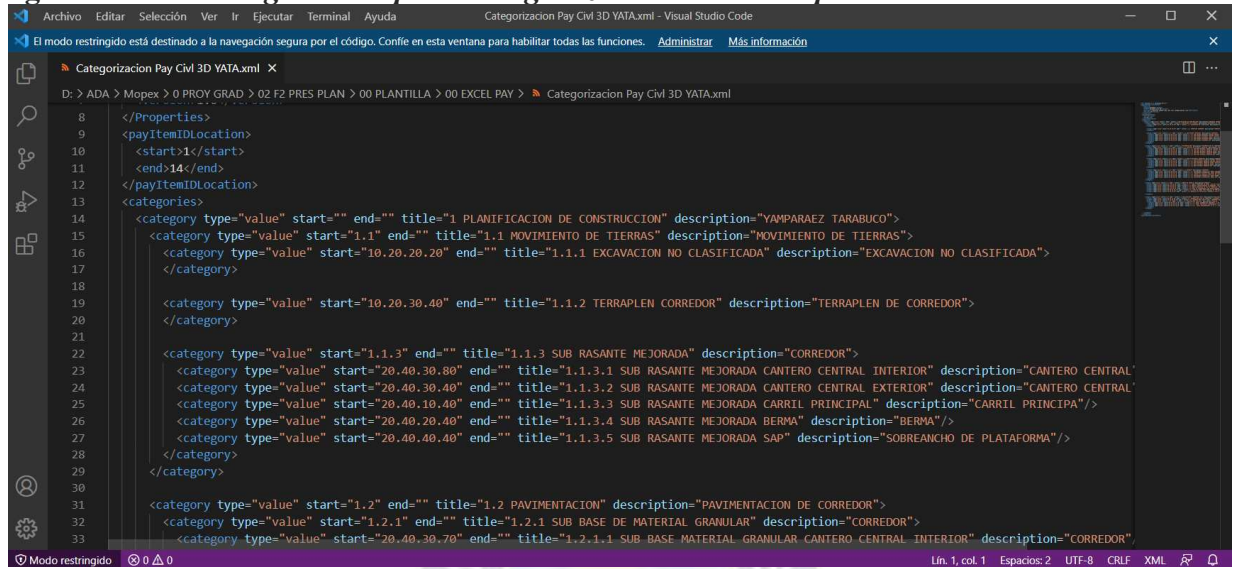
Figura 114. *Item de Pago dentro de Civil 3D.*

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Pay Item	Item Description-USC	UNIT	E					
2	10.20.20.20	Excavación no Clasificada de Corredor	M3						
3	10.20.30.40	Relleno o Terraplén de Corredor con Material de Corte	M3						
4	20.40.10.10	Carpeta de Concreto Asfáltico en Caliente Carril Principal	M3						
5	20.40.10.20	Base Material Granular Carril Principal	M3						
6	20.40.10.30	Sub Base Material Granular Carril Principal	M3						
7	20.40.10.40	Sub Rasante Mejorada Carril Principal	M3						
8	20.40.20.10	Tratamiento Superficial Doble Berma	M2						
9	20.40.20.20	Base Material Granular Berma	M3						
10	20.40.20.30	Sub Base Material Granular Berma	M3						
11	20.40.20.40	Sub Rasante Mejorada Berma	M3						
12	20.40.30.10	Tratamiento Superficial Doble Cantero Central Exterior	M2						
13	20.40.30.20	Base Material Granular Cantero Central Exterior	M3						

Fuente: *Elaboración propia.*

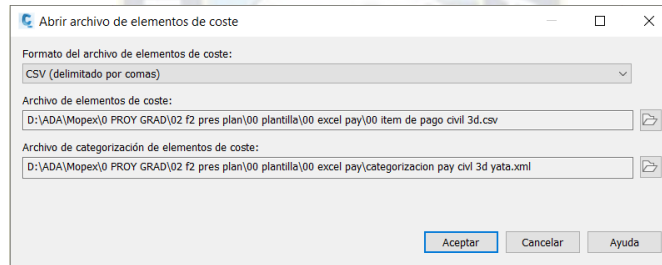
En la imagen superior se encuentra el archivo que recogió la cuantificación con la clasificación de los modelos BIM; en la imagen inferior se encuentra el archivo XML generado que ordenó las partidas en función de lo establecido en el documento Excel donde está el APU. Es necesario comprender este lenguaje informático, para que sea más fácil el manejo de la información dentro de Civil 3D, después estos archivos deben de cargarse a Civil 3D.

Figura 115. XML generado para la organización de los cómputos dentro de Civil 3D.



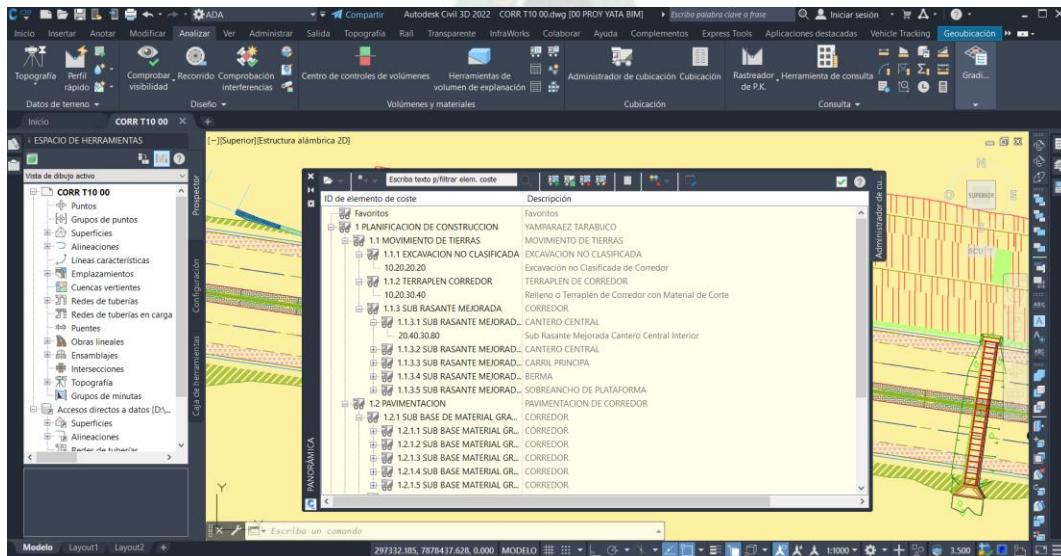
Fuente: Elaboración propia.

Figura 116. Cuadro de diálogo de Civil 3D para cargar los archivos que realizarán la cuantificación.



Fuente: Elaboración propia.

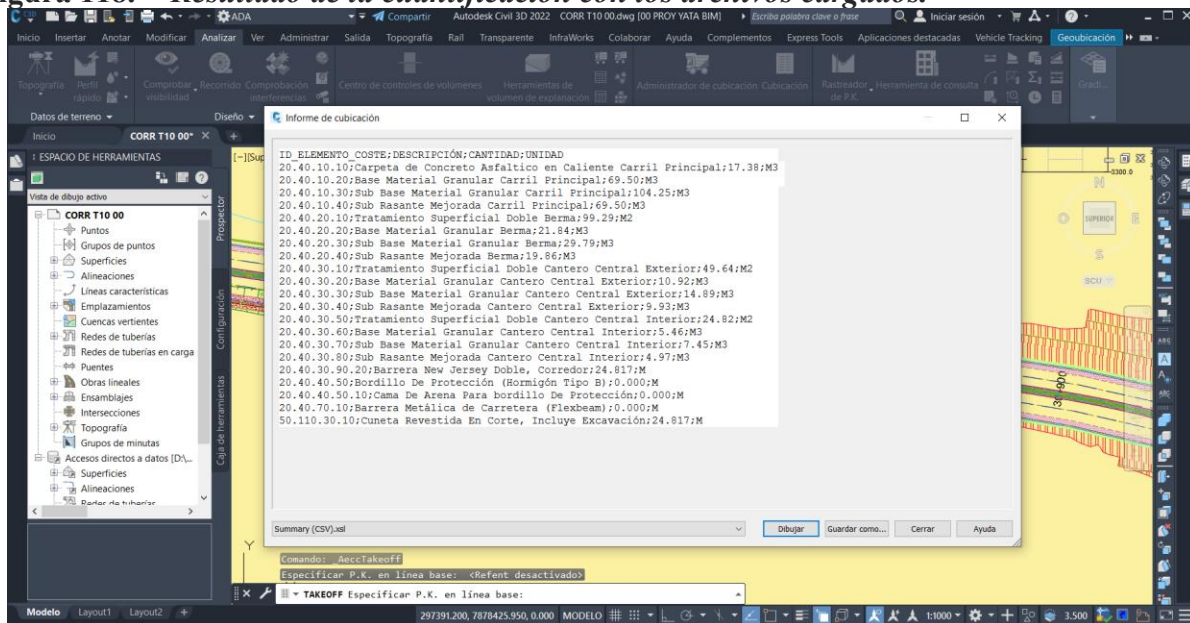
Figura 117. Las partidas del APU ordenadas con el XML generado.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen anterior se observa cómo se ordenan las partidas gracias a los archivos cargados en Civil 3D, de esta manera ya queda todo listo para realizar la cuantificación del corredor vial. Dentro del tramo 10 (es el tramo en el que se realizarán los modelos BIM más maduros y la planificación de construcción) se realizaron regionalizaciones, es decir se realizó una mini tramificación, para emular el trabajo con un corredor más grande. Es por ello que se dividió el corredor del Tramo 10 en sub regiones desde la “A” a la “G”.

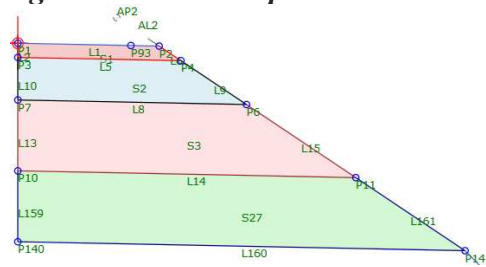
Figura 118. Resultado de la cuantificación con los archivos cargados.



Fuente: Elaboración propia.

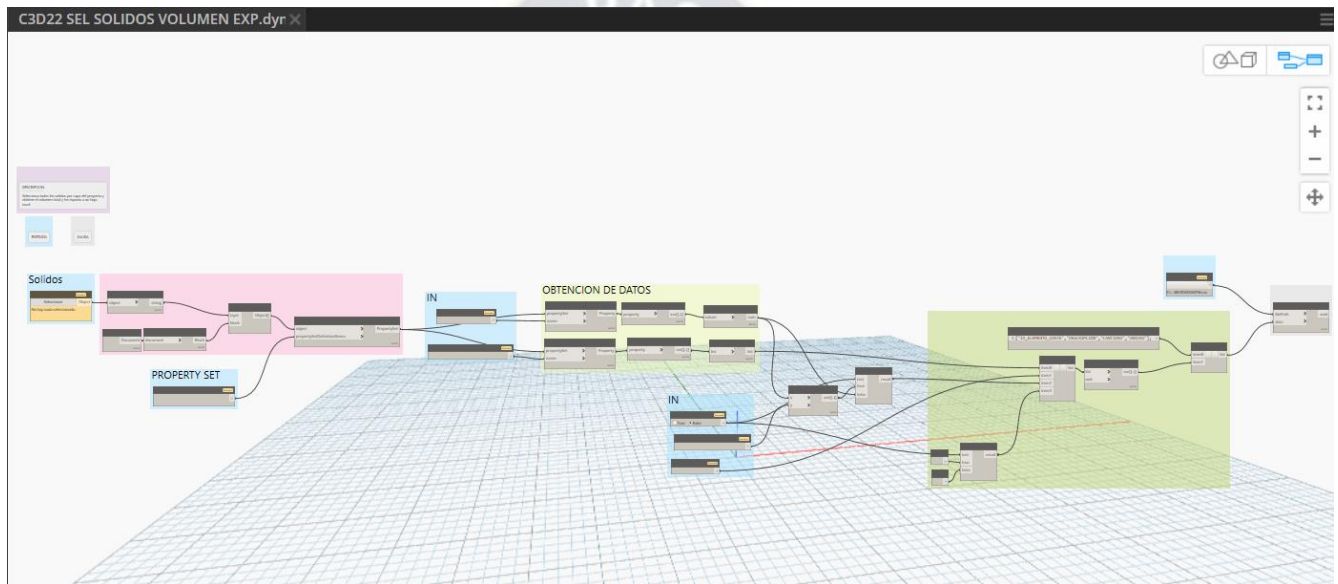
Se realizó la cuantificación de las sub regiones del tramo 10 en función a las progresivas de estas, también se realizó esta tarea con las cunetas a pie de terraplén y zanjas de coronación, es decir todas las obras lineales presentes en el proyecto están en una región determinada y su cuantificación fue acorde a esa información, es decir se cuantificará por regiones. Como ya se había mencionado pero por su importancia, es imperativo explicar que la cuantificación de estos elementos se realiza por medio de los componentes realizados en SAC, los “point” para los elementos lineales como las barreras de seguridad, los “link” para determinar los volúmenes del corredor, pero hay elementos de los cuales no es posible cuantificar por su geometría, tal es el caso de la plantilla generada para el SAP del corredor, la geometría con la que se debe de calcular los volúmenes por este medio, darían resultados erróneos, es por ello que se recurrió a la programación visual nuevamente, para solventar este inconveniente.

Figura 119. *Plantilla de SAP generada en SAC para el corredor del proyecto.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 120. *Dynamo de Civil 3D elaborado para realizar la cuantificación en función de la capa de esta.*



Fuente: Elaboración propia.

El anterior Dynamo presentado calculó los volúmenes de los elementos en función de su capa, y los exporta a un archivo TXT, con su código de clasificación correspondiente. Con ayuda de la programación visual se solucionó este problema.

11.12.2.1.3. Formato de Guardado de la Información.

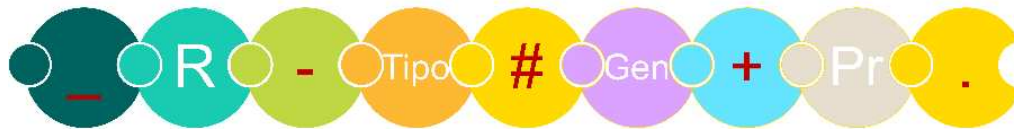
Los archivos provenientes de una obra lineal de Civil 3D deben de ser tratados de una forma especial, para garantizar los flujos de trabajo planeados, su tratamiento especial consiste en:

- Se deben realizar con un formato específico.
- Estos deben tener un nombre que siga una codificación ya establecida.
- Deben de ser guardados en una carpeta ya definida según su tipo.

El formato que se tiene que utilizar para su elaboración es la correspondiente al archivo CSV dentro de la carpeta “Takeoff Report Style Sheets”, que es donde están los estilos de presentación de los datos cuantificados.

El nombre que estos archivos deben de tener está en función a una codificación que ya se definió, y esta no puede cambiar porqué los flujos de trabajo ya no realizaría su función.

Figura 121. Codificación para guardar los archivos de cuantificación lineales Civil 3D.



Fuente: Elaboración propia.

La ilustración superior muestra el formato tipo, siendo los caracteres de guindo elementos que sirven para separar la información, estos caracteres no pueden cambiar y permanecen constantes. los textos que se encuentran en medio se describirán a continuación:

- **R = Región.** Es la región del corredor a la que hace referencia la cuantificación, como se mencionó se realizó una mini tramificación cuyos valores van desde “A” hasta la “G”, en caso de hacer referencia a todo el tramo el valor utilizado será “TT”.
- **Tipo** Es un parámetro que se dio al proyecto para gestionar e identificar elementos del proyecto, este parámetro se coloca en función del tipo de elemento que se haya cuantificado, siendo estas: Obra Lineal, Drenaje, Drenaje Banquina (zanja de coronamiento), Señalización.
- **Gen = General.** Este parámetro para este tipo de cuantificación hace referencia a la obra en general de la cual salieron los cómputos, en este caso tiene el valor de: Carretera.
- **Pr = Progresiva.** Es la progresiva donde inicia el elemento que se cuantificó respecto del alineamiento principal, esto es válido para cunetas, drenaje de banquina, cuneta a pie de terraplén; en el caso del cómputo métrico del corredor (Capa sub base, capa base, etc.) se debe colocar el rango del espacio que se cuantificó.

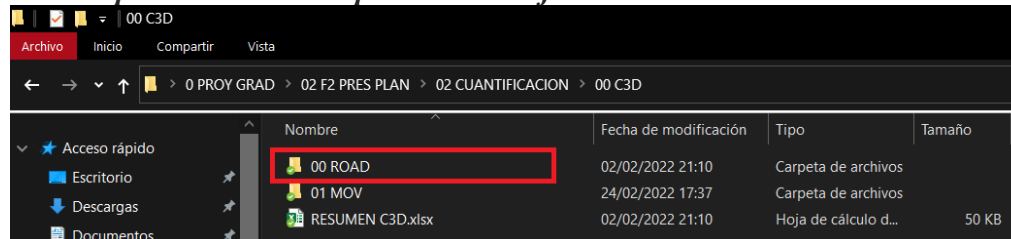
Con estas recomendaciones los nombres de los archivos serán, por ejemplo:

D-Drenaje#Carretera+31706.txt

A-Drenaje Banquina#Carretera+30754 30820.txt

Estos archivos deben de guardarse en formato TXT en la carpeta seleccionada para la cuantificación de la obra lineal, esta carpeta ya debe de estar definida y en el presente proyecto es la siguiente:

Figura 122. Carpeta seleccionada para la cuantificación de las obras lineales.



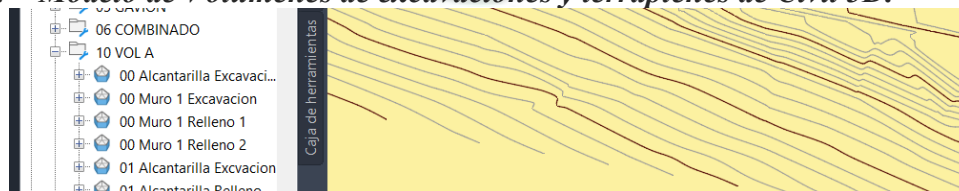
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en el cuadro remarcado, allí deben de guardarse los archivos de la obra lineal, siguiendo los puntos anteriores, en el caso del SAP se puede crear una carpeta dentro de la carpeta “00 ROAD” donde se colocarán los archivos correspondientes. La carpeta “00 ROAD” está dentro de la carpeta “00 C3D”, que es la carpeta que almacenará todos los archivos relativos a Civil 3D a su vez esta está dentro de la carpeta “02 CUANTIFICACION” que es la que almacenará todos los archivos de la cuantificación del proyecto.

11.12.2.2. Cuantificación para superficies Civil 3D.

En este subtítulo se verán las formas en las que se determinaron los volúmenes de corte y terraplén de: Corredor, Cunetas, Estribos de puentes, Muros de contención, en fin, toda obra que concierne al proyecto. Para el corredor se utilizaron los modelos de superficie DATUM de estos, en el caso de los estribos, muros, etc. Como se mostró durante su emplazamiento, con este se realizaron modelos de explanación y con las superficies de estos es que se calcularon los volúmenes.

Figura 123. Modelo de Volúmenes de excavaciones y terraplenes de Civil 3D.



Fuente: Elaboración propia.

Los valores que muestra el módulo de Volúmenes de Civil 3D, se colocaron en un solo archivo en formato Excel, mismo que tiene que tener el siguiente formato.

Figura 124. Formato de MS Excel para la cuantificación del movimiento de tierras en Civil 3D.

	A	B	C	D	E	F	G	H
	Código de movimiento	Descripción	Cantidad	Región	Tipo	General	Progresiva	
2	10.20.20.50	Excavación no Clasificada para Estructuras sin Agotamiento, Estribo	1940,99	E	Estribo Entrada	Puente	31750	
3	10.20.30.50	Relleno y Compactado para Estructuras. Estribo	791,13	E	Estribo Entrada	Puente	31750	
4	10.20.20.50	Excavación no Clasificada para Estructuras sin Agotamiento, Estribo	1004,15	E	Estribo Salida	Puente	31750	
5	10.20.30.50	Relleno y Compactado para Estructuras. Estribo	554,43	E	Estribo Salida	Puente	31750	
6	10.20.30.50	Relleno y Compactado para Estructuras. Estribo (Abanico)	6,43	E	Estribo Entrada	Puente	31750	
7	10.20.30.50	Relleno y Compactado para Estructuras. Estribo (Abanico)	46,56	E	Estribo Salida	Puente	31750	

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra el formato con el que se debe de rellenar el documento, en las “Hojas” del archivo Excel se colocará el sufijo “Region ” seguido por la región a la que corresponda. Dentro de la hoja Excel se rellenarán los datos tal y como se muestran, en seguida de desglosarán los valores que podrán tener los campos “Tipo” y “General”.

- Tipo: Bajante Prefabricado, Cabezal Alcantarilla Entrada, Cabezal Alcantarilla Salida, Camara de Alcantarilla Cuerpo de Alcantarilla, Drenaje, Drenaje Banquina, Estribo Entrada, Estribo Salida, Excavación Alcantarilla, Excavación Corredor, Excavación de Encauce, Excavación Drenaje, Excavación Muro, Excavación Obras Complementarias, Obra Lineal, Relleno Alcantarilla, Relleno Corredor, Relleno Muro, Relleno Obras Complementarias, Salida de Drenaje, Señalización, Super Estructura, Zampeado Salida.
- General: Alcantarilla, Bajante, Carretera, Muro Estructural, Puente.

Figura 125. Carpeta seleccionada para la cuantificación de las superficies.

Nombre	Fecha de modificación	Tipo	Tamaño
00 ROAD	02/02/2022 21:10	Carpeta de archivos	
01 MOV	24/02/2022 19:29	Carpeta de archivos	
RESUMEN C3D.xlsx	02/02/2022 21:10	Hoja de cálculo d...	50 KB

Fuente: Elaboración propia.

Este archivo se tiene que guardar en la carpeta remarcada en la imagen superior, esta se guardará en formato MS Excel nativo.

El nombre con el que debe guardarse este tipo de cuantificación es el siguiente:

Figura 126. *Codificación para guardar los archivos de cuantificación superficies Civil 3D.*



Fuente: Elaboración propia.

Solo deben cumplir con el carácter de inicio (guindo), es decir el nombre debe de iniciar con “_”.

11.12.2.3. Cuantificación para obras no lineales, Revit.

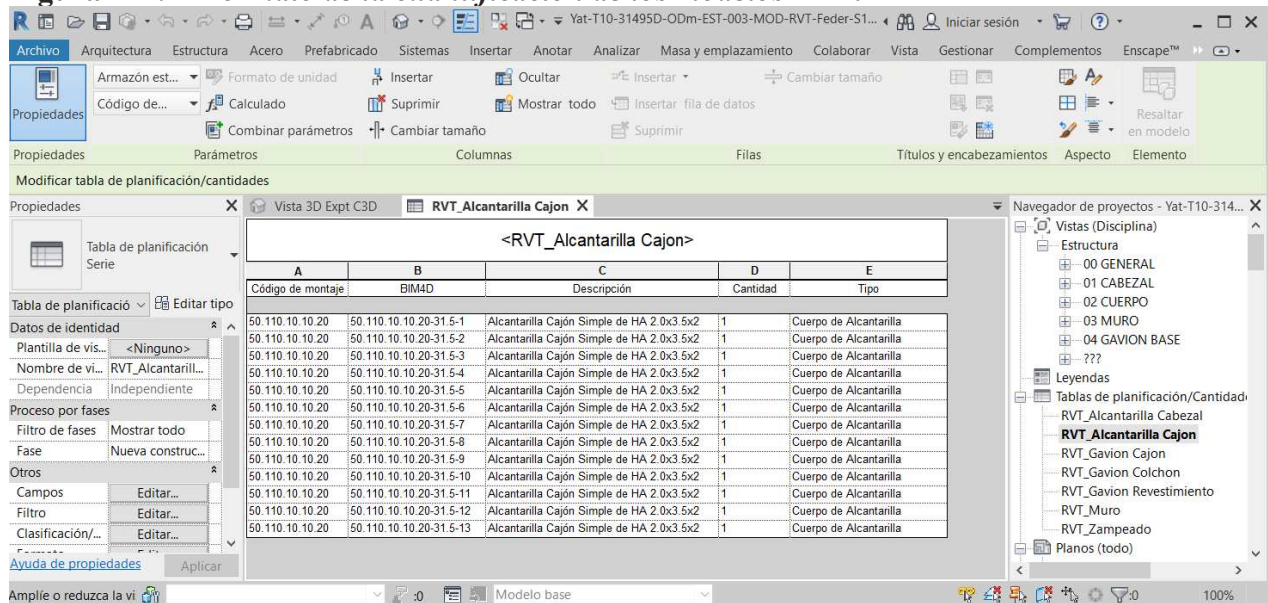
11.12.2.3.1. Códigos de Clasificación.

Los códigos de clasificación de los elementos modelados en Revit se colocaron en las familias, para que esta tarea sea más rápida, en el caso de que se haya modelado algún elemento del tipo “Modelado in situ” su respectivo código debe de colocarse en dicho modelo según la GuBIMClass modificada.

11.12.2.3.2. Cuantificación de los elementos.

La cuantificación se realiza en función de la partida a la que corresponda, como es de conocimiento general una de las ventajas de trabajar con programas BIM es que los cambios realizados en el modelo se ven reflejados en los cálculos métricos, es por ello que solo en algunos casos hay que hacer un ajuste a la cuantificación realizada. Con la metodología BIM la cuantificación está ligada directamente al modelo BIM, en cambio con la metodología tradicional, para empezar no es posible realizar un modelo digital del elemento, además por lógica no hay correlación entre un modelo digital y el archivo Excel (cuantificación), como análogo al modelo digital se tiene un modelo 2D (planos) en donde se dibuja y acota el elemento a diseñar y son con estas cotas con las que se rellena la hoja Excel donde se cuantificará dicho elemento, este flujo de trabajo es sumamente inapropiado, porque los cálculos dependen de que se rellenen los datos correctos, y los datos correctos dependen de que se haya dibujado y acotado correctamente, es por ello que hay mucha probabilidad de cometer errores con esta metodología.

Figura 127. Formato de la cuantificación de los modelos BIM.

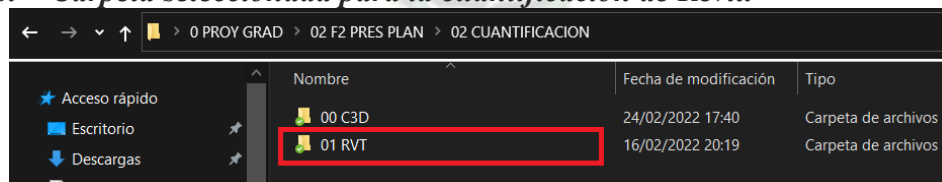


Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa el formato en que se tiene que realizar la correspondiente cuantificación, los nombres de las tablas de cuantificación deben de tener el sufijo “**RVT_**” y el orden de los campos debe ser idéntico al de la imagen superior.

Estos archivos deben de guardarse dentro de la carpeta destinada para almacenar los archivos provenientes de Revit. Cada alcantarilla, puente, muro, etc. Cuenta con su respectivo archivo MS Excel dentro de la carpeta remarcada en la imagen inferior.

Figura 128. Carpeta seleccionada para la cuantificación de Revit.



Fuente: Elaboración propia.

Ya se estableció donde se guardarán los archivos provenientes de Revit, y como en los otros casos existe un formato en el que deben ser guardados estos archivos. La correspondiente codificación ya se explicó anteriormente.

Figura 129. Codificación para guardar los archivos de cuantificación Revit.

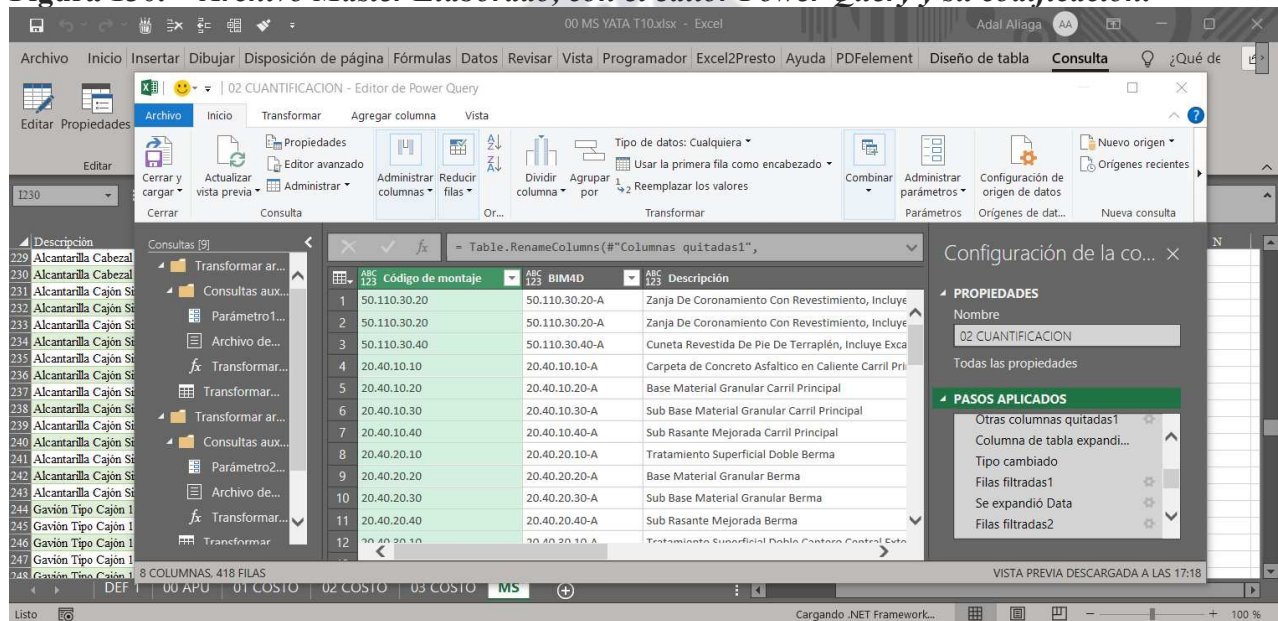


Fuente: Elaboración propia.

11.12.3. Flujo de Trabajo para la cuantificación.

Una de las grandes ventajas de la cuantificación de la metodología BIM, es que es fácil de gestionar los datos numéricos que se obtienen, para ello se realizó un archivo tipo Master en el que se compilarán todos los datos del proyecto, con MS Power Query se realizó el archivo Master, gracias a la codificación que se realizó con Power Query se realizará una base de datos de todas las cuantificaciones del proyecto las que se realizaron con Civil 3D y las que se hicieron con Revit, de esta manera esta tarea es semiautomática.

Figura 130. Archivo Master Elaborado, con el editor Power Query y su codificación.

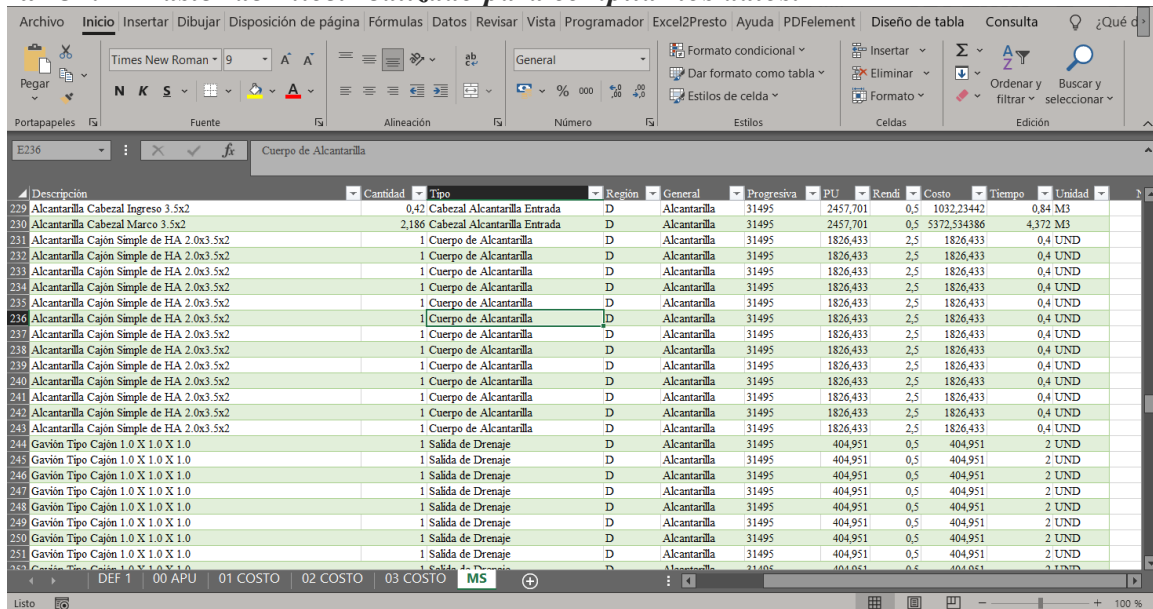


Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa el editor Power Query compilando los archivos de cuantificación, en la imagen inferior se ve el archivo master elaborado con todas las cuantificaciones realizadas en el proyecto.

Los formatos de los archivos para la cuantificación que se realizaron son muy importantes, incluso el formato de estos, puesto que el editor de Power Query recopila los pasos que se realizaron y los guarda para una posible actualización de datos, es por ello que esta tarea se realizará solo una vez y cuando los datos del proyecto se actualicen o cambien por alguna cuestión como el cambio de trazo o información actualizada, se actualizará el editor y los datos permanecerán siempre vigentes, así con este flujo de trabajo se estableció un método para evitar trabajar con datos obsoletos.

Figura 131. *Master de Excel realizado para compilar los datos.*



Descripción	Cantidad	Tipo	Región	General	Progresiva	PU	Rendi	Costo	Tiempo	Unidad
Alcantarilla Cabezal Ingreso 3.5x2	0.42	Cabezal Alcantarilla Entrada	D	Alcantarilla	31495	2457,701	0,5	1032,23442		0,84 M3
Alcantarilla Cabezal Marco 3.5x2	2.186	Cabezal Alcantarilla Entrada	D	Alcantarilla	31495	2457,701	0,5	5372,534386		4,372 M3
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Alcantarilla Cajón Simple de HA 2.0x3.5x2	1	Cuerpo de Alcantarilla	D	Alcantarilla	31495	1826,433	2,5	1826,433		0,4 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND
Gavión Tipo Cajón 1.0 X 1.0 X 1.0	1	Salida de Drenaje	D	Alcantarilla	31495	404,951	0,5	404,951		2 UND

Fuente: Elaboración propia.

Como se dijo los archivos de cuantificación ya sean de Civil 3D o Revit, tenían que tener un nombre en función de una codificación, el beneficio de realizar esa tarea de esa manera es que facilita la tarea para que el editor de Power Query pueda compilarlos como se ve en el Master de la anterior imagen, de no guardar los archivos como se estableció, no se podrán compilar y no se podrán utilizar en modelos BIM más maduros.

11.13. BIM 4D & BIM 5D.

BIM 4D es un modelo más maduro de BIM3D, siendo esta la representación de cada elemento BIM3D con el cronograma de actividades. Entonces necesitamos un modelo BIM3D, también un cronograma de actividades o la planificación de la construcción, con este modelo se pueden estudiar escenarios de construcción para mejorar los tiempos de ejecución de obra. Cabe mencionar que con la metodología tradicional no hay forma de realizar el enlace entre un modelo digital y el cronograma de obra, ya que directamente el modelo digital no existe, además el cronograma de actividades en general es decir no es detallado.

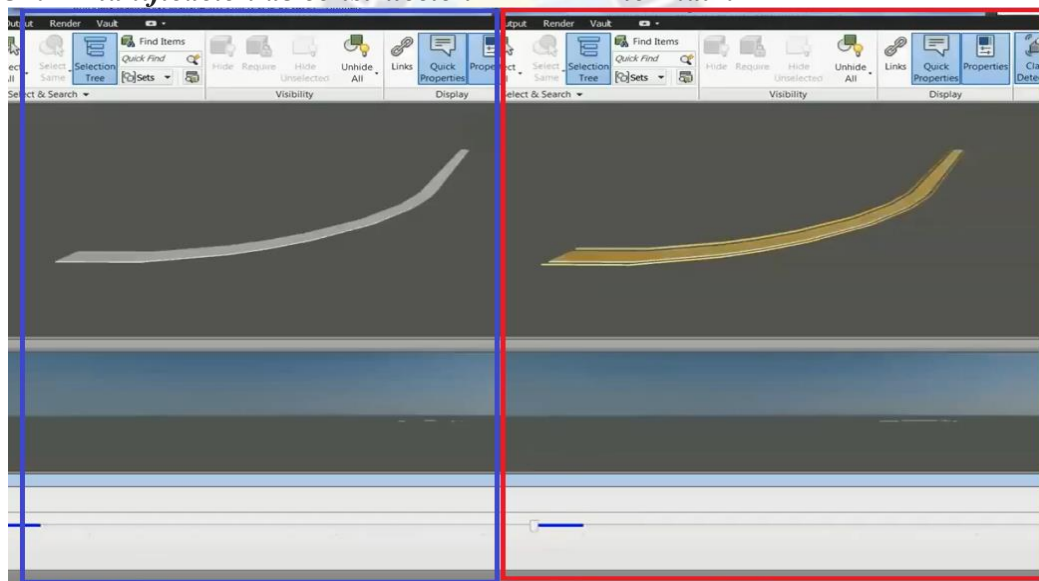
11.13.1. Planificación de Construcción BIM4D.

Un modelo BIM 4D común, es decir uno utilizado casi siempre, enlaza cada elemento del modelo BIM con su respectiva parte en MS Project, por medio del código de clasificación BIM, como ya se sabe el código de clasificación BIM es general y por lo tanto para realizar un adecuado enlace hay que realizar filtros, para que se garantice que los elementos correctos se

están enlazando en MS Project. Como se puede deducir esta tarea es bastante morosa, sobre todo en proyectos grandes de ingeniería que contengan muchos elementos BIM 3D, además de que no se tiene control cuasi total sobre los elementos BIM respecto de la planificación, no obstante, es lo que se suele hacer para esta dimensión BIM.

Para este proyecto el modelo BIM 4D, se realizó desde otra perspectiva, para que la elaboración de dicho modelo sea lo más eficiente posible, y que el modelo que se genere sea más avanzado que un modelo BIM 4D normal. Un modelo BIM 4D normal tiene algunas deficiencias, por ejemplo, la construcción digital no es acorde a lo que sucedería en un proyecto vial real, ya que este tipo de metodología en general se utiliza para edificaciones y está optimizado para ello.

Figura 132. Planificación de construcción BIM 4D “normal”.



Fuente: Canal de YouTube “DatechSpain”.

En la imagen superior se observa un modelo BIM4D “normal”, las imágenes con un lapso corto entre ellas, se ve como aparentemente los modelos solo aparecen totalmente, para solucionar este problema se desarrolló un flujo de trabajo que se explicará a continuación:

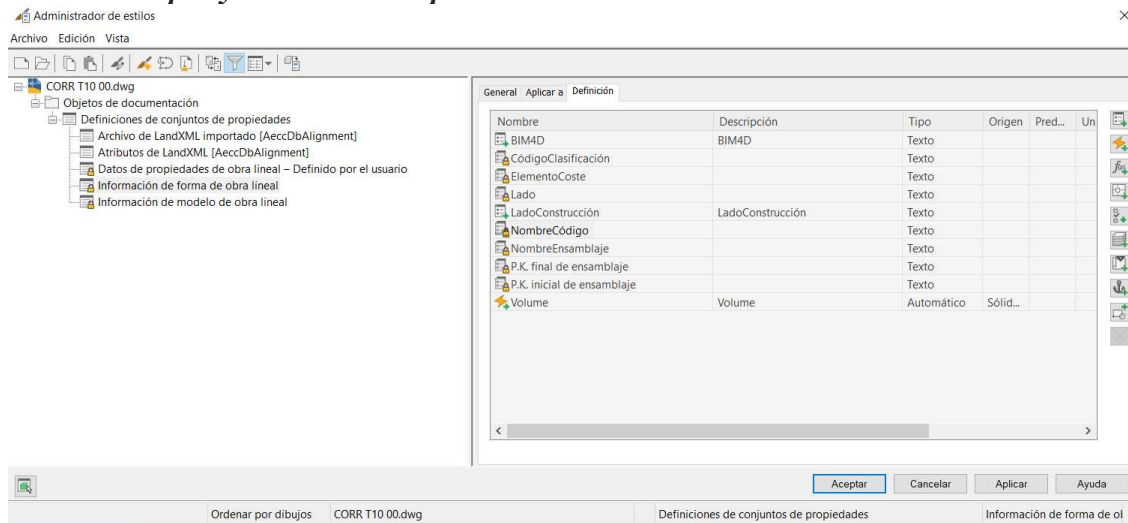
11.13.1.1. Modelo BIM 3D.

El modelo BIM 3D que se genera por defecto para obras viales, está entero, es por ello que en BIM 4D, se ve como si este solo apareciese lo cual es un problema para una planificación con fines de optimizar tiempos de ejecución, o poder observar el avance de la obra de forma más realista, y así saber con cuanto tiempo se cuenta para la construcción de una alcantarilla u obra. Pero dividir los sólidos del corredor de forma manual es una tarea imposible de realizar,

es por ello que se utiliza el modelo BIM3D aún con esa deficiencia. La solución que se encontró fue, realizar una programación visual para realizar esta tarea de forma automática y rápida.

- Se elaboraron un conjunto de Property Sets para los modelos lineales, estos parámetros BIM4D que nos ayudarán a poder identificar cada elemento BIM3D de forma única, en función de dichos parámetros.

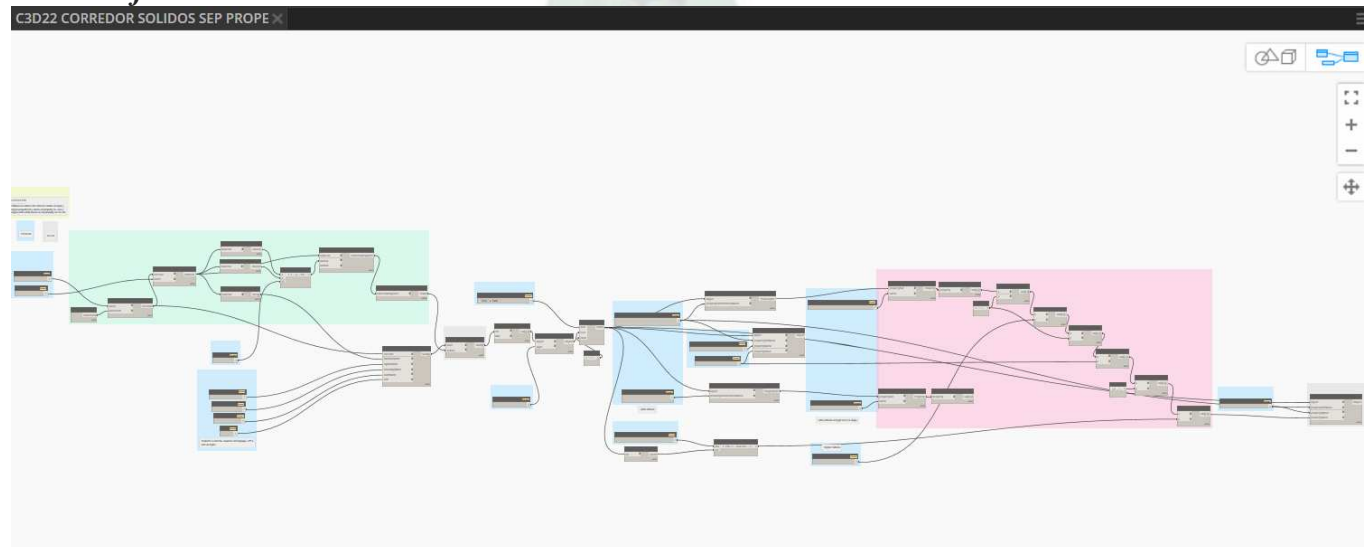
Figura 133. Property Set elaborado para el modelo de sólidos de Civil 3D.



Fuente: Elaboración propia.

- Teniendo un conjunto de Property Sets, la tarea ahora es dividir los sólidos del Corredor en una determinada longitud y agregar dichos parámetros a cada elemento que se genere.

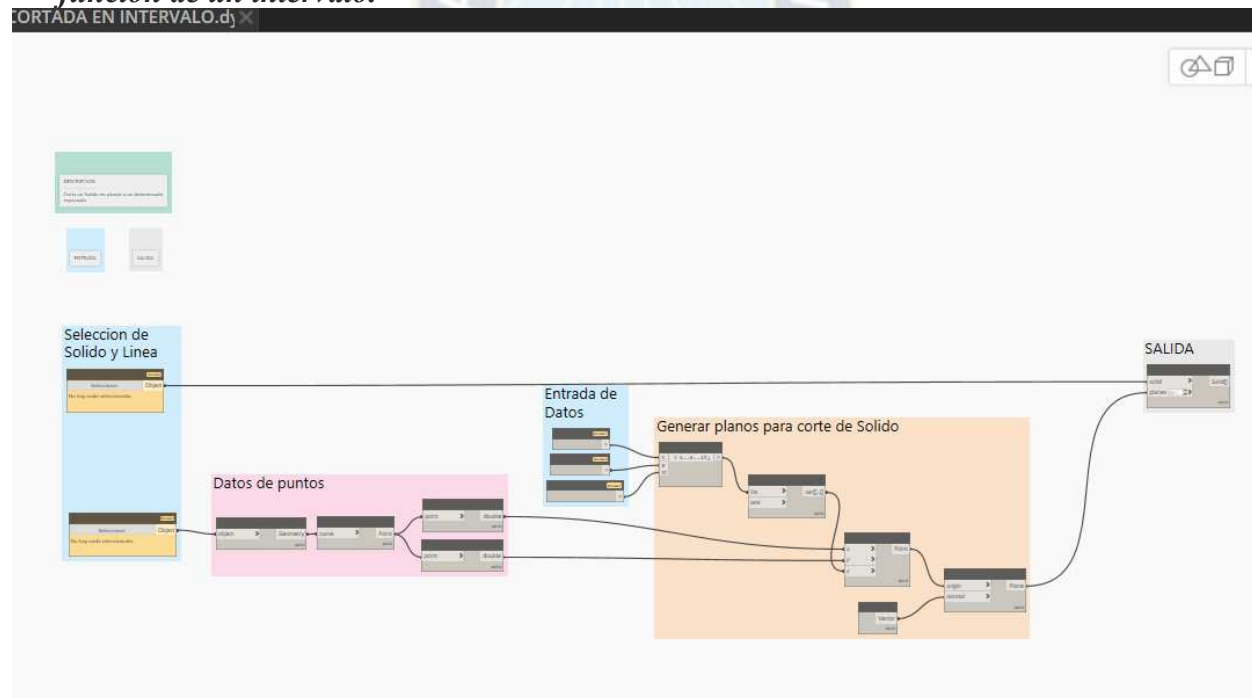
Figura 134. Dynamo para Civil 3D, para dividir los sólidos y agregar sus códigos de identificación.



Fuente: Elaboración propia.

- Habiendo realizado esta tarea para cada región del corredor, ya se contaría con un modelo BIM 4D lineal capaz de ser explotado de manera adecuada, ya que cada uno de los sólidos del corredor tendrá su parámetro “BIM4D” que identifica en función de su código de clasificación, la región en la que se encuentra dicho sólido, lado del corredor vial, y la posición constructiva de esta. Y estos códigos se agregaron automáticamente a cada sólido.
- Como ya es de conocimiento general, los modelos BIM 4D por lo general no muestran el movimiento de tierras por la dificultad que esto conlleva, siendo que realizar esta tarea es aún más complicado que con los sólidos del corredor vial, en algunos casos se suelen utilizar programas de edición para representar esta tarea. Es por ello que se realizaron programaciones visuales para realizar esta tarea de forma automática.

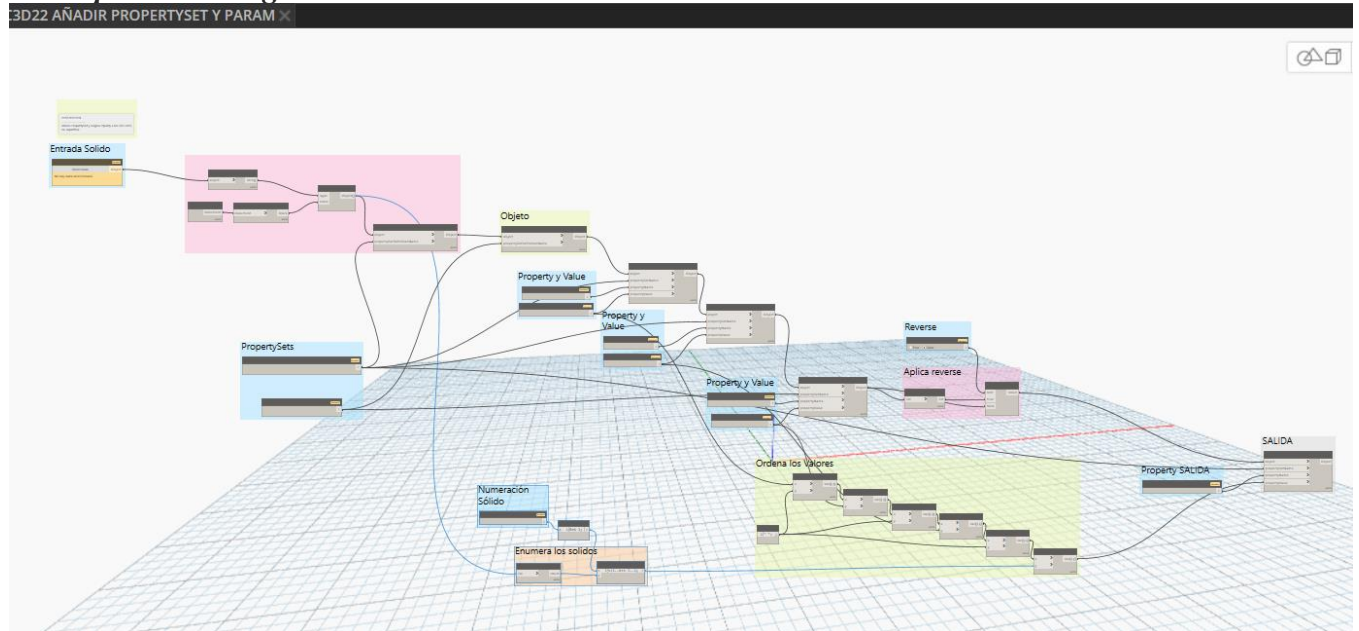
Figura 135. Dynamo para Civil 3D, elaborado para dividir los sólidos de la superficie en función de un intervalo.



Fuente: Elaboración propia.

- Estos son solo sólidos que no llevan mucha información necesaria, es por ello que se elaboró otra programación para agregarles los códigos y numerarlos respectivamente. Para dividir el sólido de la superficie, es necesario contar con una polilínea cerca del sólido con el que se extraerán las coordenadas del modelo, también hay que conocer un estimado de las cotas mínima y máxima para que realice el rango con el que trabajará.

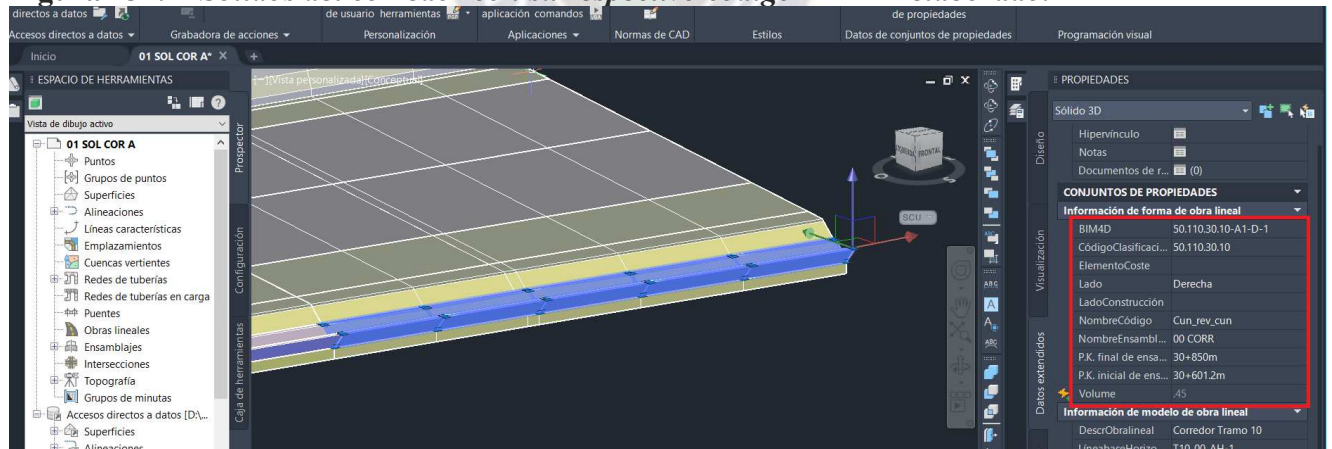
Figura 136. *Dynamo para Civil 3D, elaborado para asignar los Property sets, y sus respectivos códigos BIM4D.*



Fuente: *Elaboración propia.*

Habiendo realizado esta tarea el resultado obtenido es el que se muestra en la imagen inferior. Con este Dynamo los valores asignados se realizan de manera automática, en función de los datos de entrada que se tengan, como el código, región, lado, etc.

Figura 137. *Sólidos del corredor con su respectivo código BIM4D elaborado.*



Fuente: *Elaboración propia.*

- Para uniformizar los modelos BIM obtenidos, se debió realizar una tarea similar en Revit, darle unos parámetros que permitan identificar a cada elemento del modelo BIM. Para ello se realizó un archivo de parámetros compartidos, que servirán de base a todos los modelos BIM que se realicen en Revit.

Figura 138. Archivo de parámetros realizados para los modelos de Revit.

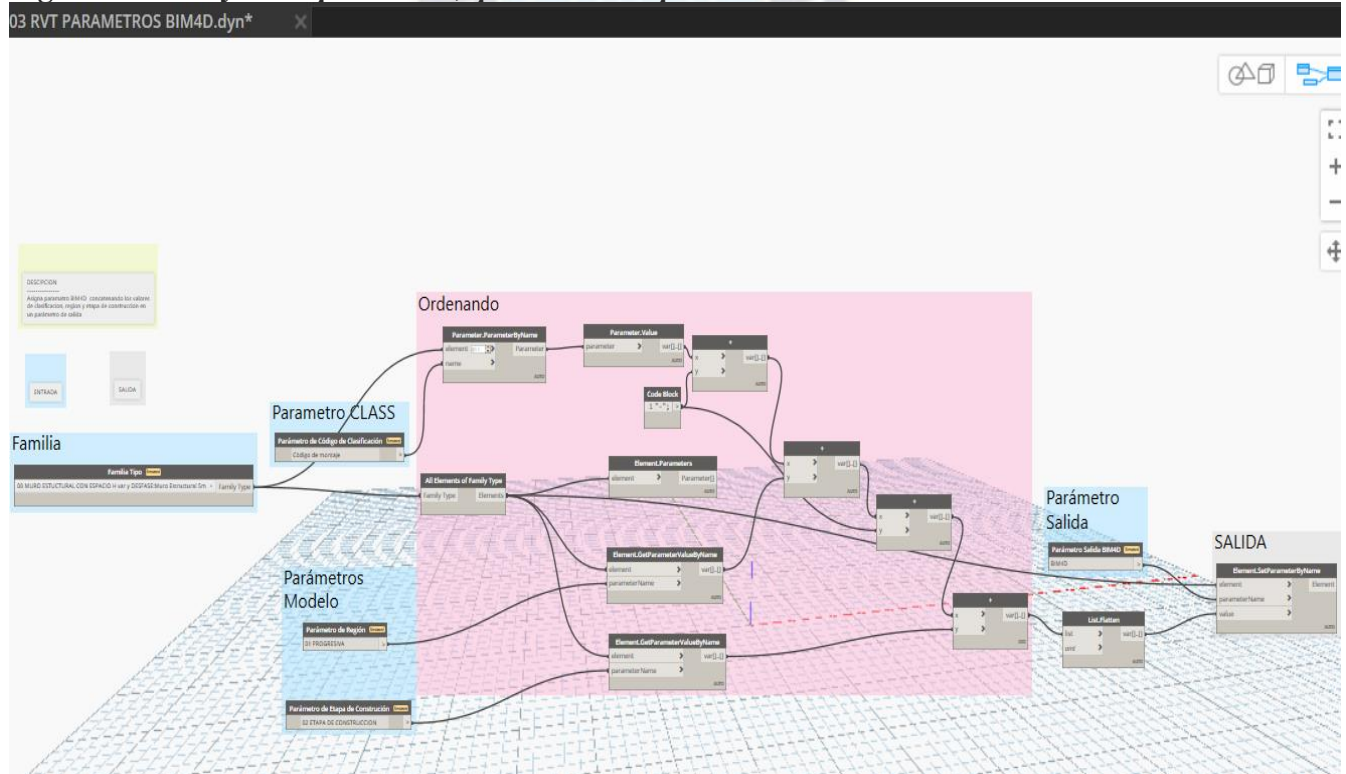
```

00 Parametros Compartidos.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
# This is a Revit shared parameter file.
# Do not edit manually.
*META VERSION MINVERSION
META 2 1
*GROUP ID NAME
GROUP 1 Etapa
*PARAM GUID NAME DATATYPE DATACATEGORY GROUP VISIBLE DESCRIPTION USERMODIFIABLE HIDEWHENNOVALUE
PARAM 1991a81c-0393-4c7b-81e0-5b4c00a530b4 Progresiva TEXT 1 1 1 0
PARAM 9f4edd44-eeb2-43fe-afff-22e7b2b3ba6b Numero de Proyecto TEXT 1 1 1 0
PARAM 8f9c3496-c96d-4d40-b951-980780675b1e BIM4D TEXT 1 1 1 0
PARAM e1ab5dcb-5d1c-4db9-b4f9-9aa620b0a66e 01 PROGRESIVA TEXT 1 1 1 0
PARAM eb5a7bce-1913-48bb-810e-dfafe25efe25 QT DES TEXT 1 1 1 0
PARAM c03736d5-51a6-41a1-895a-48cea8c8346f 02 ETAPA DE CONSTRUCCION TEXT 1 1 1 0
    
```

Fuente: Elaboración propia.

- Teniendo parámetros elaborados hay que asignarlos a los modelos BIM que se generaron, en Revit previamente, con Dynamo para Revit se añadieron los valores que estos deben tener.

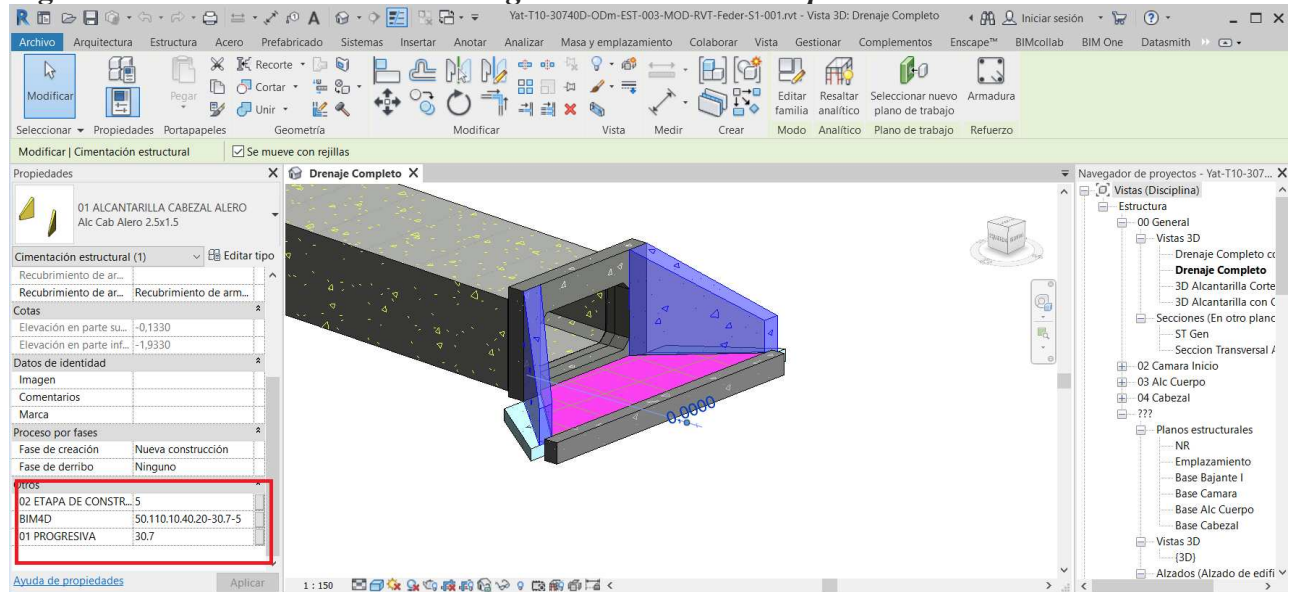
Figura 139. Dynamo para Revit, que añade los parámetros BIM 4D.



Fuente: Elaboración propia.

- Se debe de realizar esta operación a cada uno de los elementos que comprendan el modelo BIM, como ya se sabe estos parámetros contarán con datos como la clasificación, progresiva, etapa. Realizando esta tarea cada elemento se vuelve único dentro del proyecto, habiéndose realizado esta tarea para todos los elementos se tiene:

Figura 140. Modelo de alcantarilla generado en Revit con parámetros BIM4D.

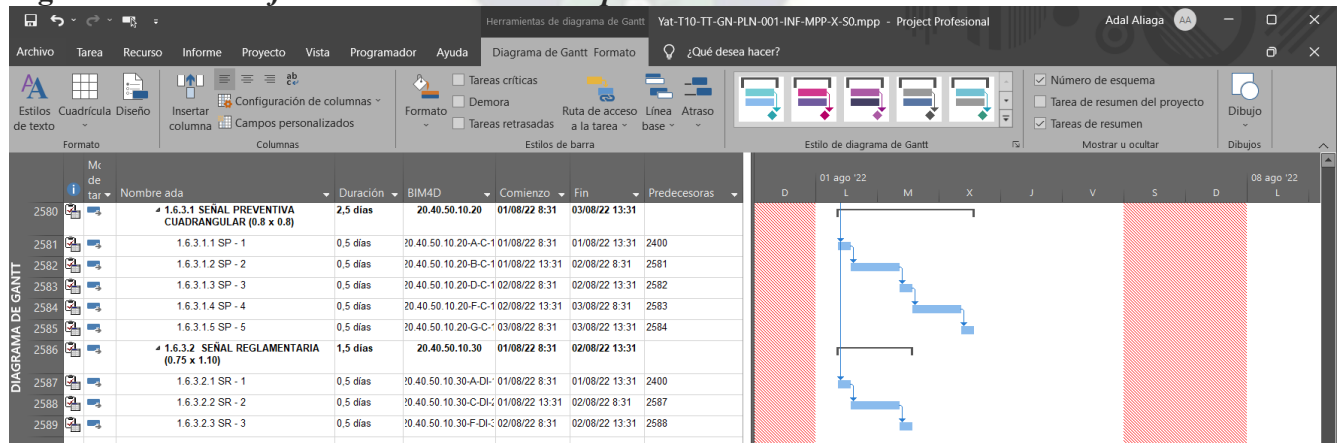


Fuente: Elaboración propia.

11.13.1.2. Planificación de Construcción MS Project.

Primero se configuró Ms Project para poder usarlo, estableciendo fechas de inicio, periodo de días laborales, feriados, etc. Segundo se realizó el cronograma con las tareas para poder gestionar mejor los parámetros de los modelos BIM generados, en MS Project se agregaron parámetros personalizados BIM4D para enlazar los elementos.

Figura 141. Planificación de construcción para el Modelo BIM 4D.



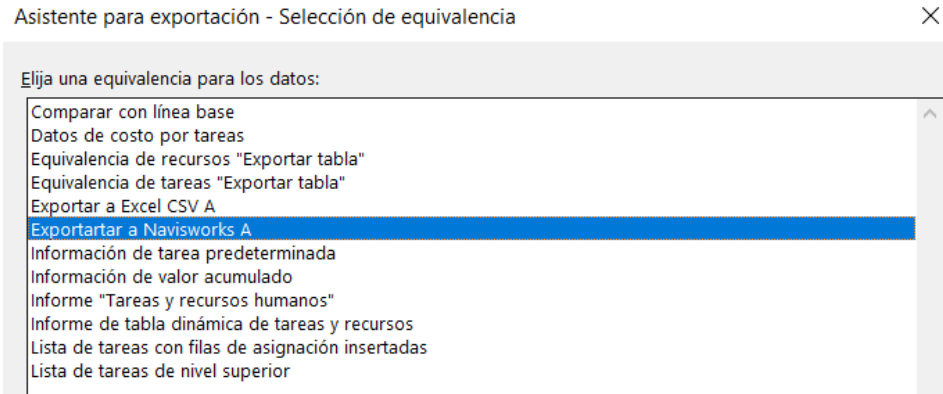
Fuente: Elaboración propia.

11.13.1.3. Autodesk Navisworks.

Habiéndose realizado la planificación de la construcción de la carretera, al tratarse de un modelo BIM este tiene que visualizarse desde un programa especializado para dicha tarea, para esta

dimensión de BIM se utilizó Autodesk Navisworks. Mismo que necesita de un archivo CSV, para armar y realizar el cronograma en Navisworks.

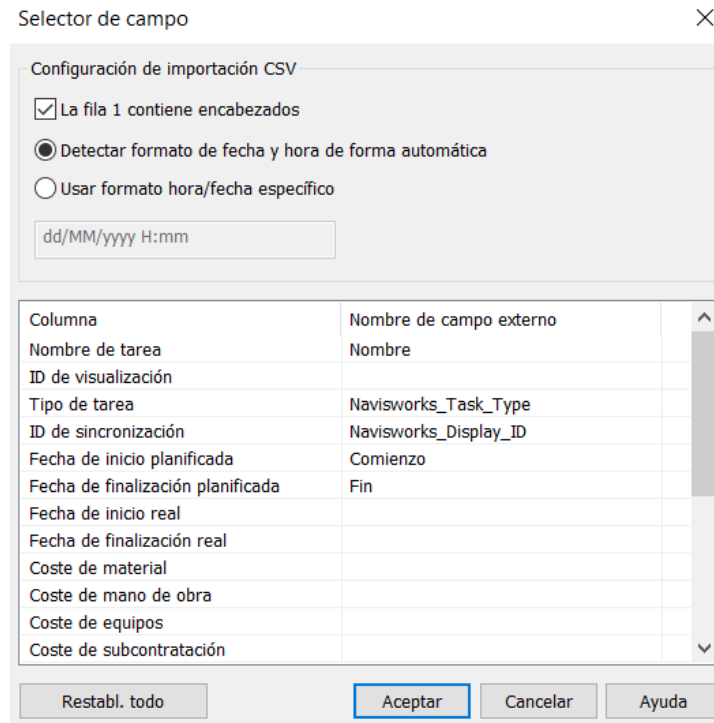
Figura 142. Formato de Exportación CSV para Navisworks.



Fuente: Elaboración propia.

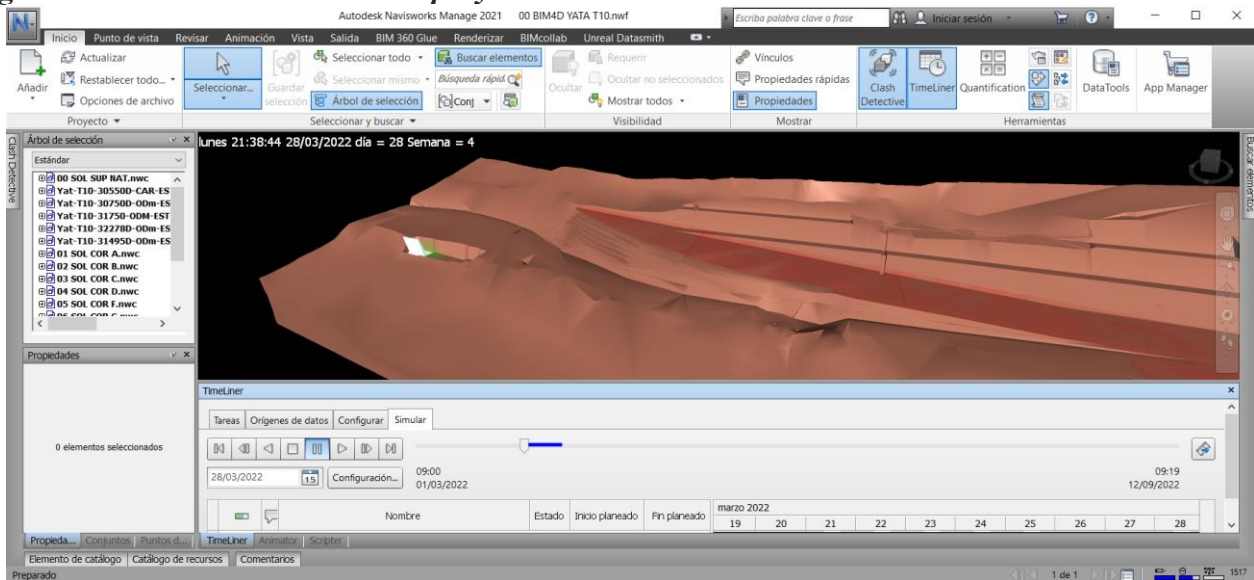
Al trabajar los modelos con los parámetros BIM4D que se generaron, tanto en los modelos BIM como en la planificación de la construcción, estos se enlazaran de manera automática, cualquier cambio en MS Project después de ser exportado y actualizado se reflejará de manera inmediata en Autodesk Navisworks, de esta forma se pueden tener un cuasi control en “tiempo real” del modelo BIM 4D.

Figura 143. Importación del Archivo para generar el cronograma en Navisworks.



Fuente: Elaboración propia.

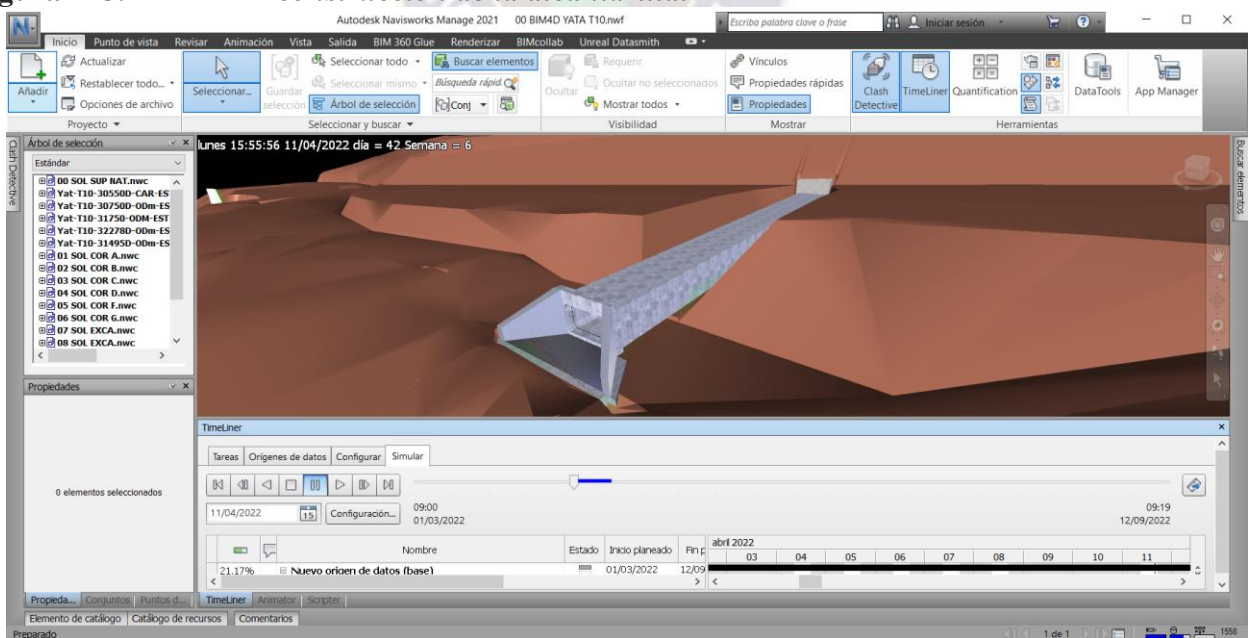
Figura 144. Modelo BIM 4D del proyecto en Autodesk Navisworks.



Fuente: Elaboración propia.

Entonces la misión de enlazar las tareas a su respectivo elemento del modelo BIM, se realizó en segundos, esta tarea en BIM normal se realizaría en mucho tiempo, es por ello lo importante que resulta el uso avanzado de las herramientas actuales, de no haber realizado el trabajo tal y como se realizó el resultado jamás sería como el obtenido para este proyecto.

Figura 145. BIM 4D construcción de la alcantarilla.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa el modelo de construcción de la alcantarilla, cabe mencionar que esto con la metodología CAD tradicional sería imposible de realizar, y sumamente

complicado de realizar con la metodología BIM “normal o común”, ya que este modelo también muestra los movimientos de tierras; pero se obtuvieron excelentes resultados con la metodología BIM y el lenguaje de programación que se realizaron. Con los escenarios estudiados se pueden mejorar los tiempos de ejecución de la obra, dando los resultados: 163, 148 y 145 días, debemos hacer hincapié en que los rendimientos y precios unitarios que se utilizaron fueron extraídos de revistas de construcción, es por ello que en realidad los resultados varíen un poco, lo mismo sucede con el presupuesto, pero el fin es mostrar que se puede realizar el trabajo satisfactoriamente.

11.13.1.4. POWER BI.

En el acápite de cuantificación del presente proyecto, se elaboró un archivo Llamado “Master” mismo que compilaba los datos de la cuantificación, se mencionó que en este también se encontraba el APU del proyecto, con el Editor de Power Query se realizó el enlace de las cantidades de cada partida, con su respectivo precio unitario, dando lugar así al presupuesto parcial de cada elemento BIM, también se estableció con Power Query una relación entre la cantidad de cada partida con el rendimiento de dicha partida, dando como resultado, el tiempo que se tomará para realizar dicha partida, obteniéndose así las duraciones. Lo realmente bueno del flujo de trabajo que se realizó es que esta tarea es automática. Y por lo tanto solo tendrá que realizarse una sola vez, salvo algunas configuraciones y correcciones.

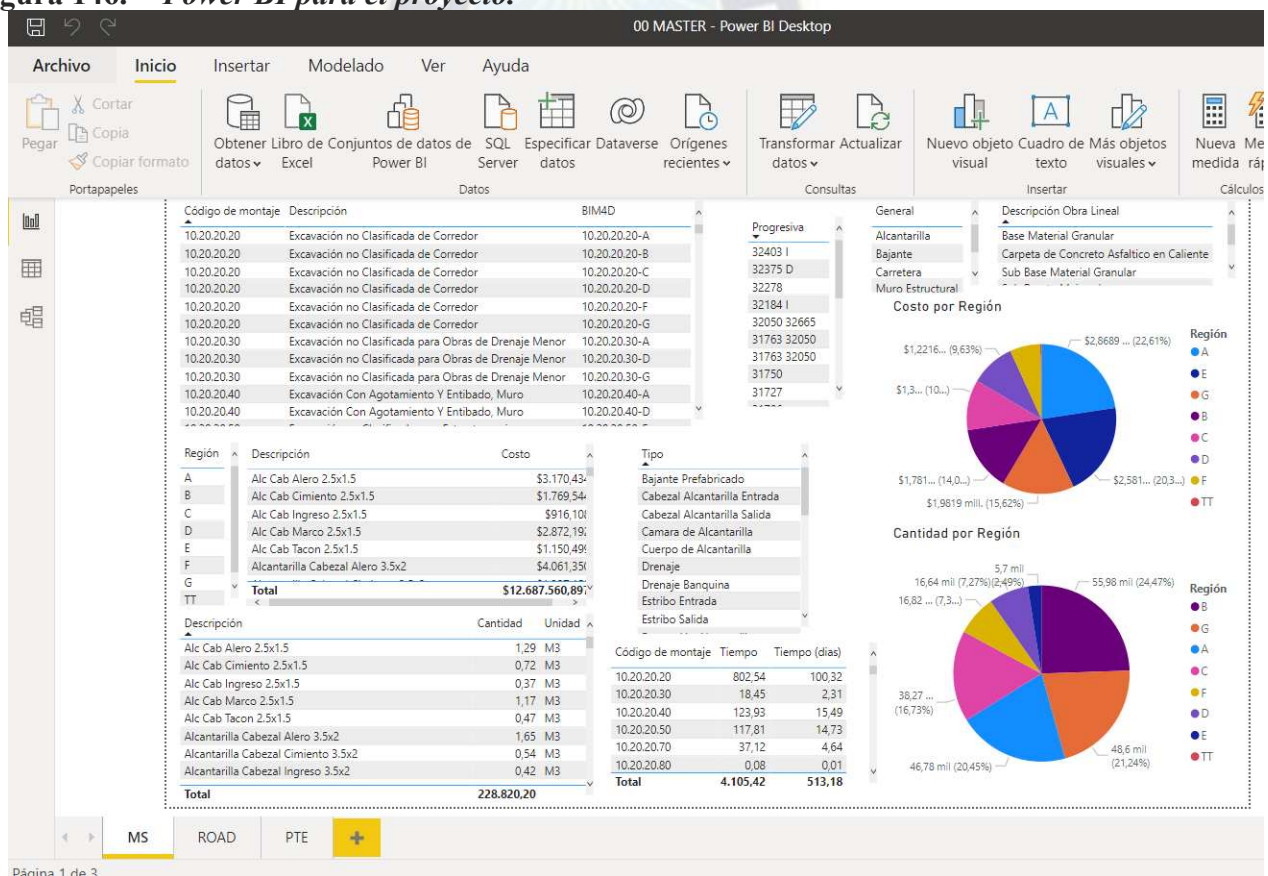
Power BI es una herramienta de Microsoft, con la que se puede visualizar la información generada de forma más entendible y gráfica, porque el uso de tablas Excel, en algunas ocasiones no suele ser de mucha utilidad al momento de la toma de decisiones. A continuación, se explicarán algunas desventajas que tiene la metodología tradicional.

- No se tiene una forma adecuada de gestionar la información, es decir no hay un repositorio informático del proyecto, no se puede saber cuántas alcantarillas hay, en que progresivas están, sin tener que abrir todos los documentos necesarios para verificar esa información.
- El equipo de trabajo no tiene acceso a la información del proyecto en cualquier momento, si requiere de algún dato como la cuantificación de un elemento, por lo general esta información se le traspa por medios como mensajería instantánea o correo electrónico, y si hubo algún cambio, esta tarea debe de realizarse nuevamente.

- El problema más grande es el acceso a la información, y que los datos tienden a volverse obsoletos con mucha frecuencia.

Es por ello que se realizó un Power BI como repositorio de información del proyecto, es una de las razones del porque los archivos de cuantificación debían de guardarse con un formato especificado y en una carpeta especificada. Con Power BI se importan los datos automáticamente y se visualizan en función de las necesidades que se tengan, por ejemplo, en la imagen inferior se observa el repositorio que se realizó, en él se pueden ver los datos del proyecto, como se requieran, se pueden ver las cantidades por regiones, cuantas alcantarillas hay, en que progresivas están, el tiempo que se demorarán en elaborarlas, en que regiones hay muros de contención, etc.

Figura 146. Power BI para el proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Este Power BI puede ser compartido con un enlace de invitación, y cualquier cambio en el Power BI se verá reflejado en el enlace, el mismo archivo Power BI está en el ECD, así los cambios realizados serán visualizados inmediatamente en el Power BI, entonces ya no se

correrá el peligro de trabajar con datos obsoletos y se podrá tener acceso a esos datos en cualquier momento.

11.13.2. BIM 5D.

BIM 5D es tener un modelo BIM con su respectivo presupuesto de obra y que este sea dinámico es decir que cambie en función de cómo va cambiando el proyecto, esto suele hacerse con un programa especializado, pero eso conlleva una inversión de dinero para la utilización de la licencia, empero esta tarea se puede realizar utilizando otras herramientas y flujos de trabajo, es por ello que se elaboró el archivo “Master” que se presentó en el acápite de “Cuantificación”, donde con el editor de Power Query y los códigos de clasificación se enlazaron los datos correspondientes a la cuantificación con su precio unitario, de esa manera se pudo obtener los presupuestos de cada partida siendo eso el modelo BIM 5D del proyecto.

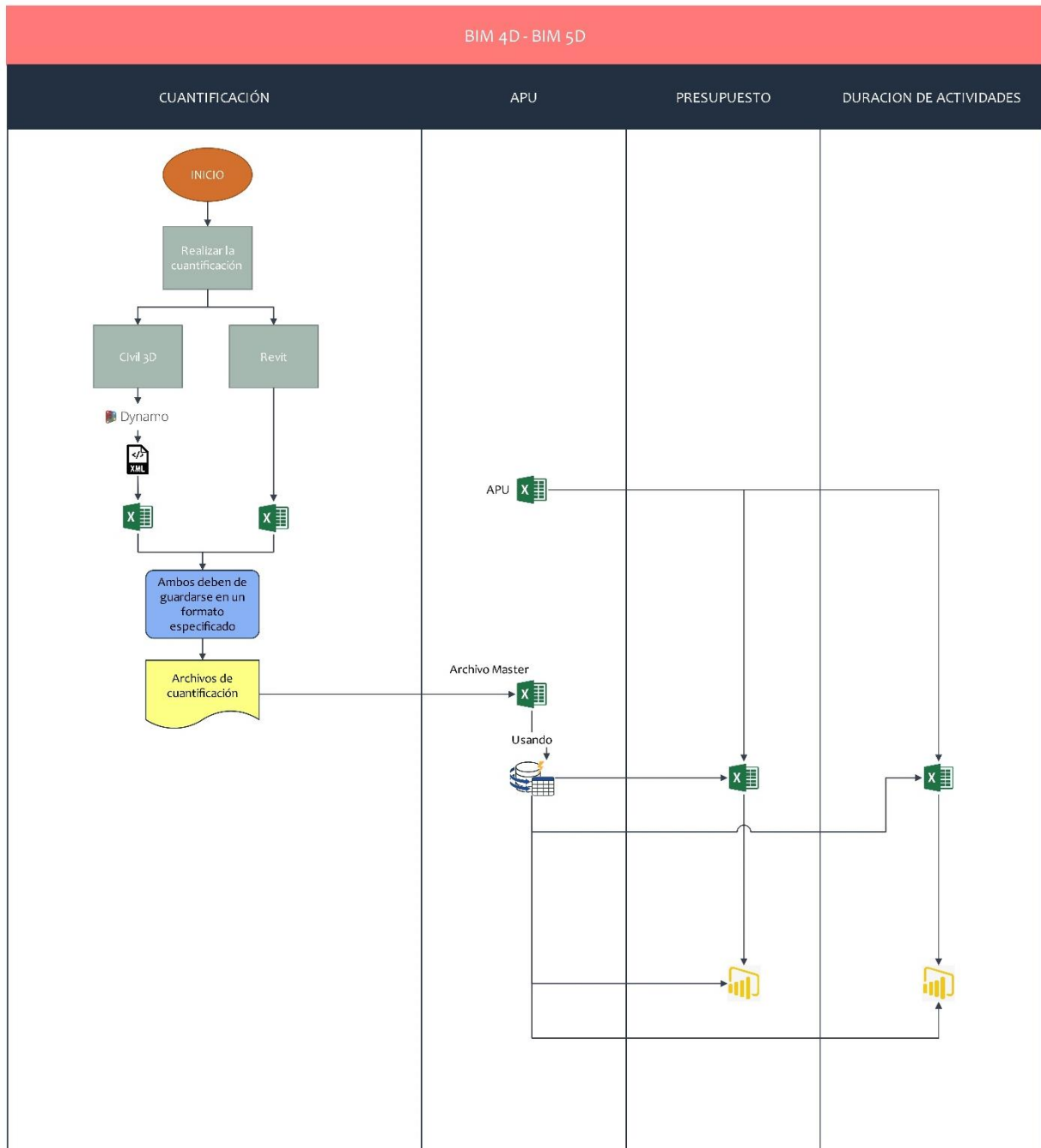
Esto también se llevó a MS Project, para que el presupuesto de igual manera esté en ese archivo, por medio de los “recursos” de MS Project, estos se llenaron con los datos provenientes del APU, y así los presupuestos también estarán en MS Project. Dando como resultado Bs 12855114.84, como ya se había aclarado anteriormente, pero es importante hacerlo notar, los datos con los cuales se obtuvieron los precios unitarios, provienen de revistas de construcción, ya que no está en los alcances el realizarlos además de que se necesita mucha más información del que se pudo obtener para realizarlos (solo se cuenta con la topografía), por esta razón el presupuesto obtenido es meramente referencial.

Figura 147. Formulario de los recursos de Ms Project.

Nombre del recurso	Propietario de asignac.	Unidades	Costo
CAPATAZ		0,10	34,56
CHOFER		1,00	234,00
OPERADOR EQUIPO LIVIANO		1,00	273,60
OPERADOR EQUIPO PESADO		2,00	547,20
PEON		1,00	194,40
CAMION CISTERNA 10000LT		1,00	3.888,00
COMPACTADORA PATA DE CABRA 129.4 HP		1,00	4.320,00
MOTONIVELADORA 120K 125 HP		1,00	4.608,00
TRACTOR AGRICOLA 90 HP		1,00	1.872,00
BENEFICIOS SOCIALES			1.001,25
IMPUESTOS AL VALOR AGREGADO			332,32

Fuente: Elaboración propia.

Flujo de Trabajo 07. Proceso del modelo BIM4D BIM5D.



Fuente: Elaboración propia.

Con el editor de Power Query, y el programa Power BI enlazamos la información en una sola base de datos donde se podrá consultar cualquier información que se requiera, en cualquier momento, y en caso de que se agregue algún nuevo ítem entonces tendrá que modificarse el APU y dicho elemento tendrá que exportarse con su código de clasificación BIM, y el editor de Power Query junto con Power BI harán el resto de las operaciones.

11.13.3. *Ventajas y Desventajas de Navisworks.*

Para poder contar con un modelo BIM 4D más avanzado, como se mostró se utilizó el lenguaje de programación Dynamo, es por ello que se pudo contar con un modelo avanzado que incluso muestra el movimiento de tierras, pero esto solo se consiguió gracias a la programación. Los roles que un profesional puede desempeñar en un proyecto BIM son muy variados, y desde el punto de vista de Navisworks, hay algunos en los que serviría más que en otros, y se consideró importante saber esta información, para saber en qué ocasiones deberíamos utilizar Navisworks y en cuales no deberíamos utilizarla. Remarcando lo siguiente:

Tabla 35. Puntos fuertes de Autodesk Navisworks.

Descripción	SI	NO
Modelo BIM 4D	SI	
Modelo BIM 4D Avanzado	SI	
Gestionar Issues	SI	
Coordinación	SI	
Gestionar personal		NO
Cuantificación	SI	
Gestionar Recursos		NO

Fuente: Elaboración propia.

En la anterior tabla se observan los casos en los que Navisworks sería útil, cabe mencionar que el modelo “BIM 4D avanzado”, no es posible de realizar sin la utilización del lenguaje de programación Dynamo tanto para Revit y Civil 3D, entonces Navisworks si desempeñamos la función de un Modelador BIM 4D, Coordinador BIM, o encargado de realizar las cuantificaciones (en caso de no utilizar las herramientas de Civil 3d y Revit), nos será de mucha utilidad, sin embargo si tenemos la función de director de proyecto, deberíamos buscar otra herramienta, porque lo que necesitaríamos sería poder gestionar el personal correspondiente, es decir, saber que ingeniero está a cargo de una región del proyecto, esto para proyectos grandes, también es importante saber los recursos que se están utilizando, como mano de obra y materiales, para saber cuándo los necesitaremos y en qué cantidad, también nos interesaría conocer el avance del proyecto, es decir saber si estamos retrasados o estamos a tiempo y esto no se puede saber solo con el cronograma de actividades, sino que hay que realizar varios tipos de análisis como por ejemplo el de la “Curva S” o análisis del valor ganado, con estos análisis podríamos saber el estado del proyecto y si se logrará llegar a tiempo al siguiente hito. Todos estos puntos débiles se pueden realizar con MS Project, pero realizarlas desde el mismo Navisworks sería de mucha más utilidad.

11.14. SEÑALIZACIÓN.

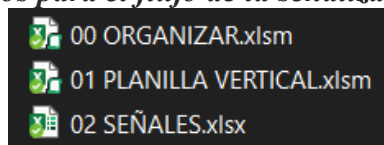
La señalética vertical tiene por objetivo brindar al conductor información visual, acerca de la carretera en la que circula, este tipo de información visual pueden ser: restrictivas, informativas y preventivas, de esta manera estas señales nos pueden decir a qué velocidad se puede circular por una carretera, si existen curvas en la carretera y que distancia se encuentra una gasolinera, por ejemplo. Uno de los principales usos de la señalización es disminuir la probabilidad de cometer un accidente. Además, como se sabe para realizar la señalización vertical del proyecto, el alineamiento ya debe estar terminado, no se puede hacer esa tarea con un alineamiento no terminado sería perder valioso tiempo. Por lo tanto, el margen de tiempo para la conclusión de esta tarea es limitado su retraso se traduciría en inconvenientes para finalizar el proyecto a tiempo.

Como objetivo se planteó realizar un flujo de trabajo para colocar las señales verticales del proyecto. El flujo de trabajo para realizar la señalización con la metodología tradicional es poco eficiente, estas señales deben de colocarse manualmente en cada plano, y se pueden llegar a tener hasta 300 señales o más depende de la vía que se estudiando, ya sean preventivas, reglamentarias e informativas. El colocar estas señales en el plano con CAD, no solo demora mucho tiempo, sino que también es muy complicado poder realizar sin que se cometa algún error. Uno de los beneficios de las metodologías actuales es que se pueden realizar automatización de tareas, y así mejorar el tiempo en el que se ejecutan las tareas.

11.14.1. Flujo de Trabajo.

Para ello se elaboraron varios archivos en MS Excel con el lenguaje de programación Visual Basic (Macros para Excel). Los archivos generados están en el ECD del proyecto, y deben estar disponibles para su utilización cuando sea necesario.

Figura 148. *Archivos realizados para el flujo de la señalización.*



Fuente: Elaboración propia.

La función de estos archivos se presentará a continuación:

- **00 ORGANIZAR.** Este archivo se realizó para que se ordenen los datos que se importaron de Civil3D, además debía de obtenerse los datos concernientes al diseño de las señales verticales.

Figura 149. Archivo generado en MS Excel con Visual Basic para ordenar los datos.

The screenshot shows the Microsoft Excel interface with a data table and a VBA macro editor window. The data table has the following columns: Índice de entidad, Tipo de entidad, Longitud, P.K. Inicial, P.K. final, Orientación, Radio, and Delta. The VBA macro editor shows the following code:

```

Function DeltaCarr(uno As Range, dos As Range) As Double
    If uno < 180 And dos < 180 Then
        If uno > dos Then
            DeltaCarr = uno - dos
        Else
            DeltaCarr = dos - uno
        End If
    End If

    If uno < 90 Then
        If dos > 270 Then
            DeltaCarr = (360 - dos) + uno
        End If
    End If
End Function
    
```

Fuente: Elaboración propia.

- **01 PLANILLA VERTICAL.** Este archivo se generó para colocar los valores resultantes de la anterior tabla, con ellos se podrá obtener que tipo de señales se colocarán, en que progresivas se colocarán, el lado (Izquierda, derecha). En el que estos estarán.

Figura 150. Macro de Excel para obtener tipo de señal, y progresiva.

The screenshot shows the Microsoft Visual Basic for Applications editor window with the following code:

```

Function tange(d1 As Range, d2 As Range, d3 As Range, d4 As Range) As Double
    'd1 progresiva de inicio 0+000
    'd2 progresiva siguiente
    'd3 progresiva sig
    'd4 progresiva final
    f1 = d3 - d1
    f2 = d4 - d2
    If d1 = 0 And d2 = 0 And d3 <> 0 Then
        tange = d3 - d1
    Else
        tange = d3 - d2
    End If
    If d3 = 0 And d4 <> 0 Then
        tange = d4 - d2
    End If
End Function
    
```

Fuente: Elaboración propia.

En la imagen inferior se ve el archivo Macro de Excel generado para realizar el diseño de las señales verticales obteniendose las progresivas donde estas se emplazarán, y el tipo de señalizacion que se utilizarán.

Figura 151. Planilla de diseño de las señales verticales del proyecto.

DATOS : ALINEAMIENTO HORIZONTAL											
TRAMO II											
PI	RADIO	Δ	PROGRESIVAS				TANGENTE [m]	Vp [Km/h]	Vp Adop [Km/h]	SEÑAL DERECHA	SEÑAL IZQUIERDA
No	m	°	TE ó PC	EC	CE	ET ó PT					
INICIO			30+872,36	30+942,36	30+975,99	30+550,00	322,36	80	80		
PI-01	280 +	21,20463211	31+126,91	31+188,91	31+399,43	31+045,99	80,92	80	80	SP-4	SP-3
PI-02	250 -	62,45750619	31+735,64	31+847,64	31+936,67	32+048,67	274,21	80	80	SP-1	SP-2
PI-03	380 +	30,31091424	32+060,61	32+144,61	32+195,11	32+279,11	11,94	80	80	SP-4	SP-3
PI-04	580 -	13,28611873	32+665,00				385,89	80	80	SP-3	SP-4
FIN							0,00	80	80	0,00	0,00

Fuente: Elaboración propia.

- **02 SEÑALES.** Este archivo sirve para ordenar las señales, en función de su tipo, ya sean preventivas, restrictivas, etc. Con dos fines uno se mostrará más adelante en parte de emplazamiento, el otro fin es que de esta manera sean más fáciles de gestionar.

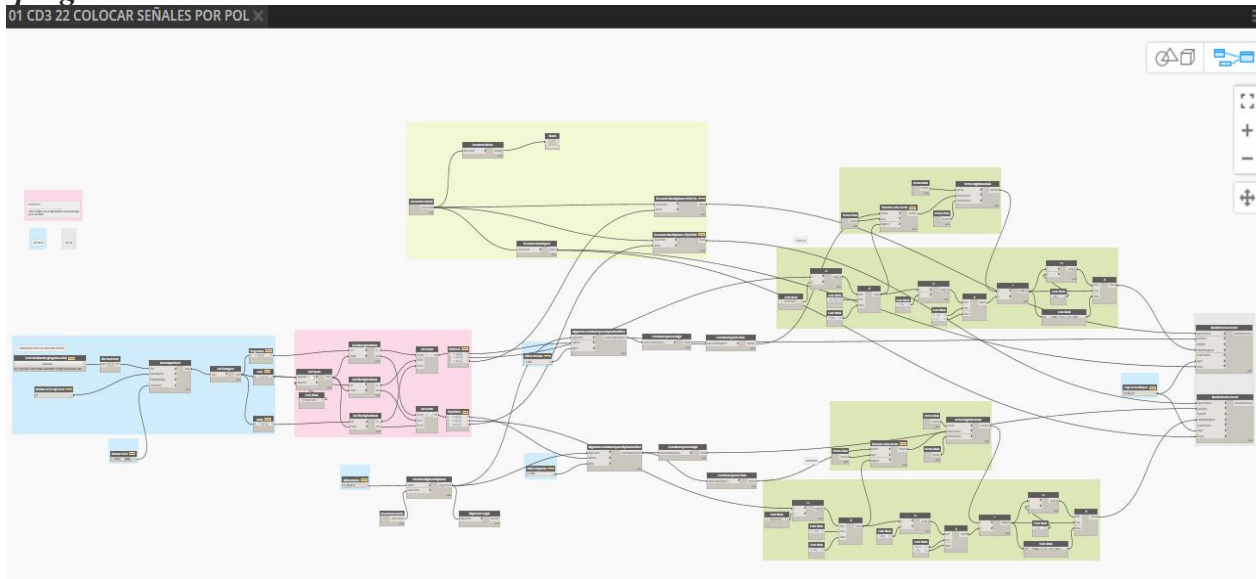
Estos archivos se realizaron con el editor de Power Query lo que garantiza que se actualicen cuando la información cambie, salvo algunas correcciones en ciertas ocasiones. El trabajo más complicado viene a continuación, y este es el emplazamiento de dichas señales en las progresivas del corredor.

11.14.2. Emplazamiento de las señales Verticales.

Para esta tarea se realizó con programación visual un Dynamo para Civil 3d, misma que importa los datos del Excel “02 SEÑALES” los emplaza con su respectiva progresiva y lado también asigna una capa de Civil 3D para su fácil gestión y ese es uno de los fines con el que se realizaron los flujos anteriores. Ahora la señalética está emplazada en sus respectivas progresivas, en el lado que le corresponde, una de las ventajas de realizar esta tarea con programación es que una tarea que normalmente tomaría varias horas de trabajo, ahora se puede realizar en solo segundos, pero otra ventaja igual de importante es que se pueden ver las señales emplazadas y

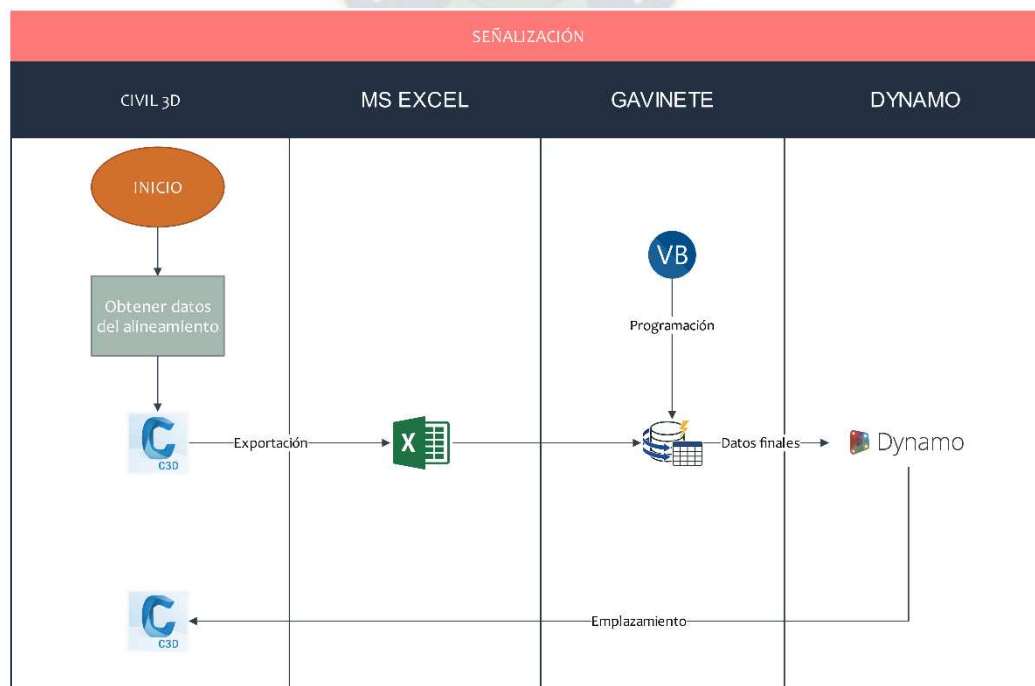
así ver los casos en los que las señales están unas cerca de otras, teniendo ese panorama, nosotros ya podremos, realizar los cambios según sea conveniente y dichos cambios serán visualizados en el proyecto en tiempo real. Y tratar de realizar esto solo con la metodología tradicional sería imposible.

Figura 152. Dynamo para Civil 3D elaborado para colocar las señales verticales en su progresiva.



Fuente: Elaboración propia.

Flujo de Trabajo 08. Señalización de una carretera.



Fuente: Elaboración propia.

11.15. VR DEL PROYECTO.

Con la metodología tradicional CAD, era común presentar un render²⁰ del proyecto, es decir una visualización de un punto de vista del proyecto, ya sean estos unas simples imágenes render's o unos videos render's, pero esto no se realiza con un modelo del proyecto, es decir esto se realizaba con un programa especializado para la edición de videos, como Cinema 4D, 3D Max, Maya, entre otros, es decir para realizar esto era necesario realizar el modelo manualmente dentro de estos programas y recién agregarles las texturas correspondientes, eso dentro de la filosofía LEAN constituye un re trabajo, puesto que se trata de un trabajo que se realiza que no era necesario realizar de trabajar con metodologías más actuales. Los inconvenientes de trabajar de esta manera son los siguientes:

- Se tiene que realizar un modelo digital desde cero.
- El modelo que se realiza no es dinámico.
- No representa un modelo 100% fiable.

Los inconvenientes mencionados son muy complicados de resolver con la metodología tradicional, pero con un uso adecuado de la metodología BIM esto es posible de realizar sin tantas complicaciones, siendo la principal ventaja que representa un modelo altamente fiable para su revisión y exploración. Con un modelo VR podremos realizar una exploración a un modelo de construcción que representa el 100 % de fiabilidad del modelo real, es por ello que se trata de una simulación de la etapa de operación del proyecto y con esta podremos tomar mejores decisiones.

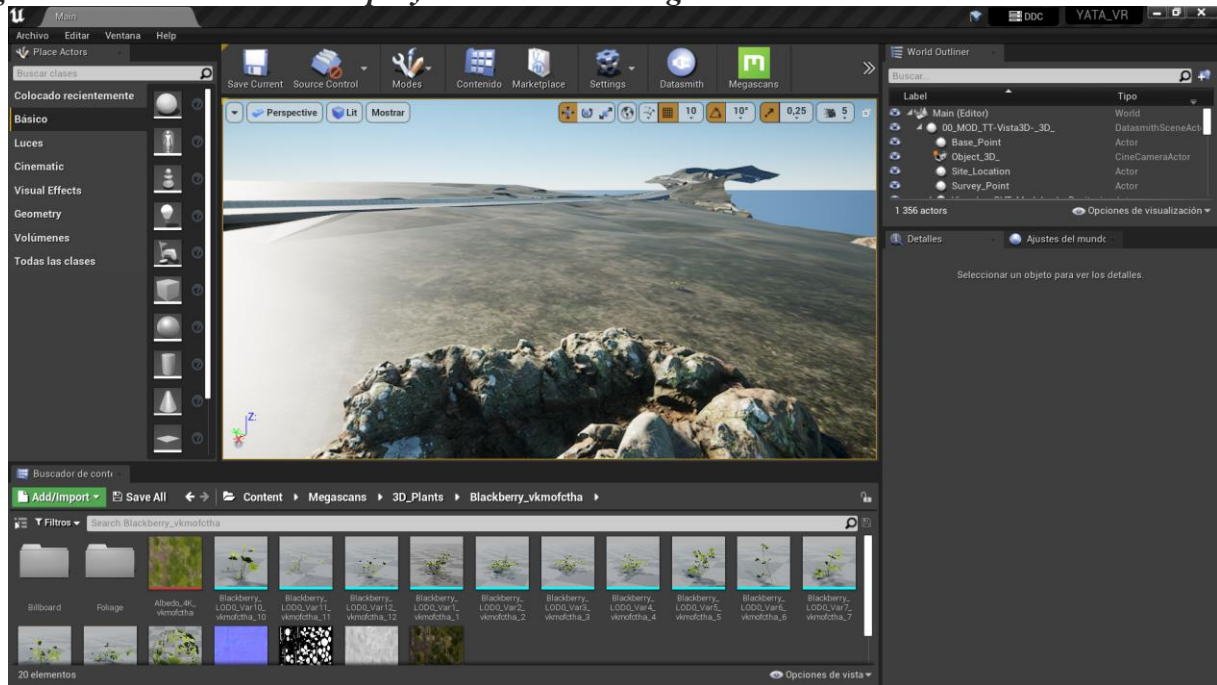
Para poder llevar a cabo este modelo se realizaron dos VR uno en el Engine de Unreal Engine y el otro dentro de Twinmotion en donde se podrán ver mejor la representación gráfica del proyecto.

El modelo VR está nutrido netamente del modelo BIM3D, no se necesita nada más que el modelo BIM para realizar este modelo dentro de Unreal Engine. Las texturas que tenga este modelo serán importadas desde cualquier servidor en función del tipo de clima y vegetación que se tenga en el área del proyecto.

²⁰ Visualización del modelo con texturas.

11.15.1. Unreal Engine.

Figura 153. *Modelo VR del proyecto en Unreal Engine.*



Fuente: Elaboración propia.

Figura 154. *Modelo VR del proyecto en Unreal Engine vista 2.*

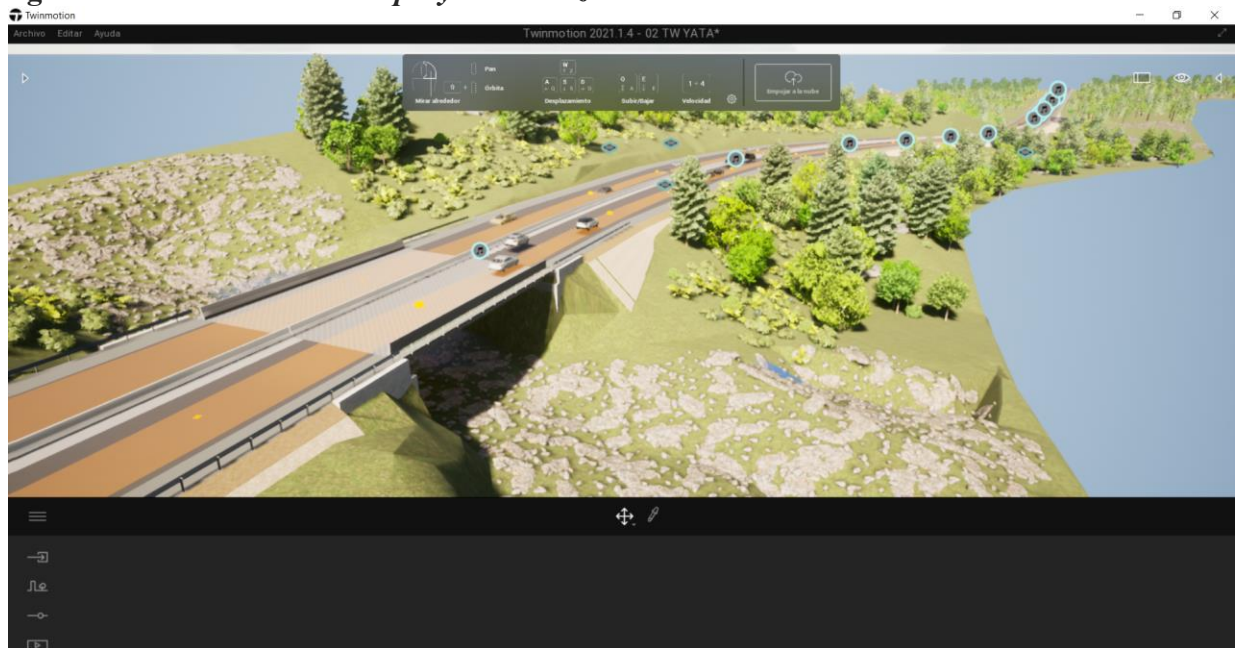


Fuente: Elaboración propia.

Una vez terminado el VR del proyecto, este puede ser exportado para su visualización y exploración del proyecto.

11.15.2. Twinmotion.

Figura 155. Modelo VR del proyecto realizada en Twinmotion.



Fuente: Elaboración propia.

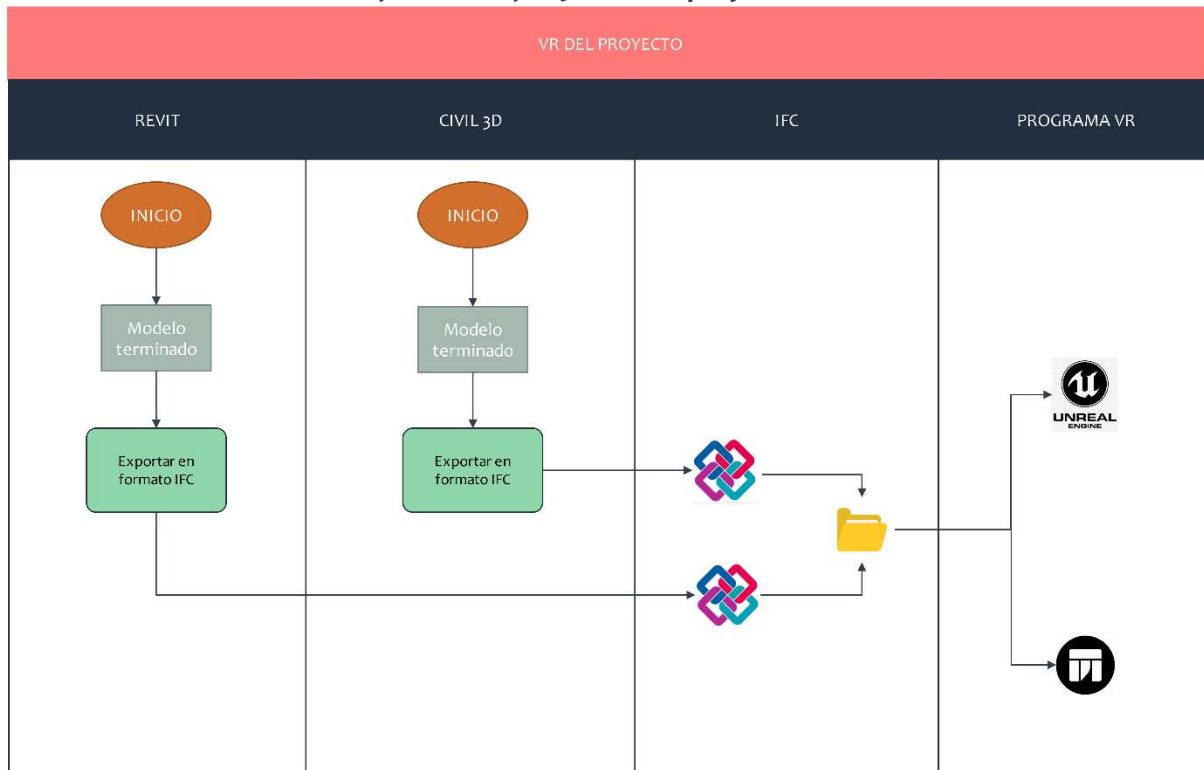
Twinmotion es una herramienta que nos permite realizar la visualización del proyecto, cuenta con herramientas parecidas a las que tenemos en Unreal Engine, el motor gráfico que tiene, nos permite explorar el proyecto con bastante fluencia.

Figura 156. Vista del proyecto hecha con Twinmotion.



Fuente: Elaboración propia.

Flujo de Trabajo 09. VR del proyecto.



Fuente: Elaboración propia.

Este flujo de trabajo también puede hacerse con Autodesk Navisworks, pero existe un problema ya que los proyectos viales por lo general tienden a estar en coordenadas muy alejadas del punto de origen, y suelen ocurrir problemas al momento de generar la geometría del proyecto, esto solo ocurre con las vías ya que las edificaciones si están cerca del punto de origen, es por ello que en general no es tan recomendable la utilización de un VR con Autodesk Navisworks.

CAPÍTULO IV

12. ANÁLISIS Y RESULTADOS.

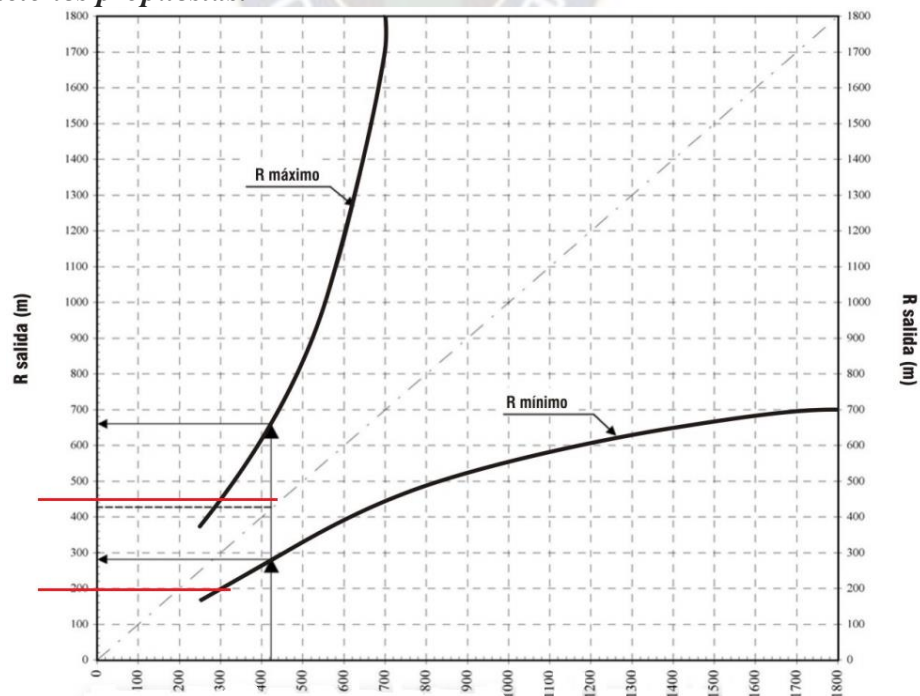
En el presente proyecto como ya se mencionó se utilizaron varias herramientas y se establecieron varios flujos de trabajo y herramientas elaboradas con lenguajes de programación. A continuación, se mostrarán los resultados que se obtuvieron gracias a la implementación de estos flujos de trabajo.

12.1. DISEÑO GEOMÉTRICO.

12.1.1. Ecuaciones propuestas para automatizar el proceso para las curvas horizontales CASO II de la Tabla 2.1-1 del Manual de la ABC.

Para el diseño geométrico de los elementos horizontales, el Manual de Carreteras de la ABC, nos da tres casos, en función de las características del elemento horizontal que la precede, para ello hay que recurrir a las siguientes gráficas y otras tablas, es por ello que se determinaron las funciones que representan a dichas gráficas, a continuación, se mostrarán los resultados tanto del método planteado por el manual de la ABC como por el método desarrollado para este proyecto.

Figura 157. *Analizando en la gráfica del manual, un radio de entrada “x” para compararla con las ecuaciones propuestas.*



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

Según la gráfica anterior, para una radio de entrada de 300m, los radios de salida están aproximadamente, entre 200 y 450 metros.

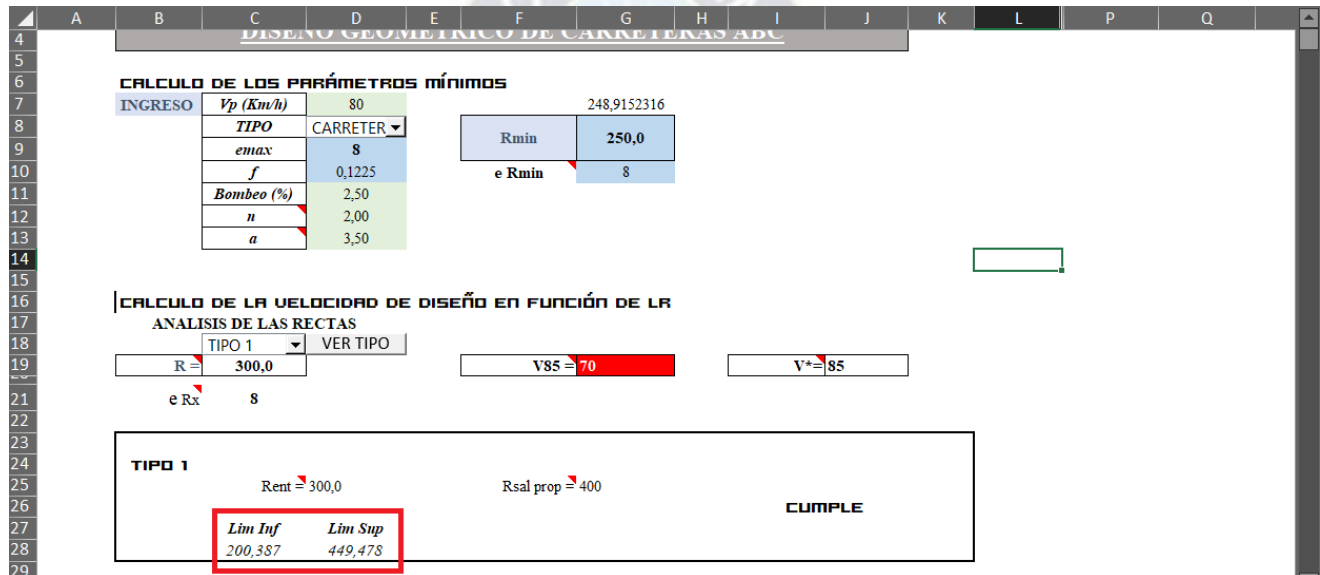
Según las ecuaciones que se propusieron para esta gráfica, que son las siguientes:

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

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

Se obtuvieron los siguientes resultados: 200.387 y 449.478 m.

Figura 158. Macro de Excel y cálculo para comparar los resultados para un radio de entrada de 300m.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver, los resultados que se obtuvieron con la macro que se programó son técnicamente iguales que los determinados por medio de la gráfica. Validando así las ecuaciones halladas.

12.1.2. Caso I de la Tabla 2.1-1 del Manual de la ABC.

Para el Caso I del manual de la ABC cuando la longitud en recta es mayor a 400m se utilizan tablas para determinar los parámetros de diseño geométrico.

Figura 159. Figura 2.3-3 del manual de la ABC para obtener los datos de diseño.

R (m)	e%	Ve (km/h)	f
250	8,0	80,1	0,122
300	8,0	86,6	0,117
330	8,0	90,1	0,114
350	8,0	92,3	0,112

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

En la imagen anterior para una velocidad de proyecto de 80 km/h, con una longitud en recta entre $L_r > 400m$ y $L_r < 600m$, la tabla nos da los valores para utilizar en el diseño geométrico, pero como ya se sabe, para ello se programó en Visual Basic. A continuación, mostraremos los resultados obtenidos con dicha programación.

Figura 160. Macro de Excel para el Caso I para un radio de 300m.

CALCULO DE LOS PARÁMETROS MÍNIMOS

INGRESO	Vp (Km/h)	80	248,9152316	
	TIPO	CARRETER	Rmin	250,0
	emax	8	e Rmin	8
	f	0,1225		
	Bombeo (%)	2,50		
	n	2,00		
	a	3,50		

ANÁLISIS DE LAS RECTAS

TIPO 2 VER TIPO

R = 300,0 V85 = 80 V* = 85

e Rx = 8

TIPO 2

V85 = 90

Defina el tipo de zona del tramo

Zona Restrictiva

Zona no Restrictiva

CORRESPONDE

$$Ve^2 + A \cdot R \cdot Ve - 127 \cdot R \cdot (e + B) = 0$$

A = 0,112 B = 0,193

CALCULO DEL RADIO EN FUNCION DE LA V85

R = 329,389 R (m)

e Rx = 8

Ve = 86,5612 2,09212E-05 Ve

fve = 0,1167

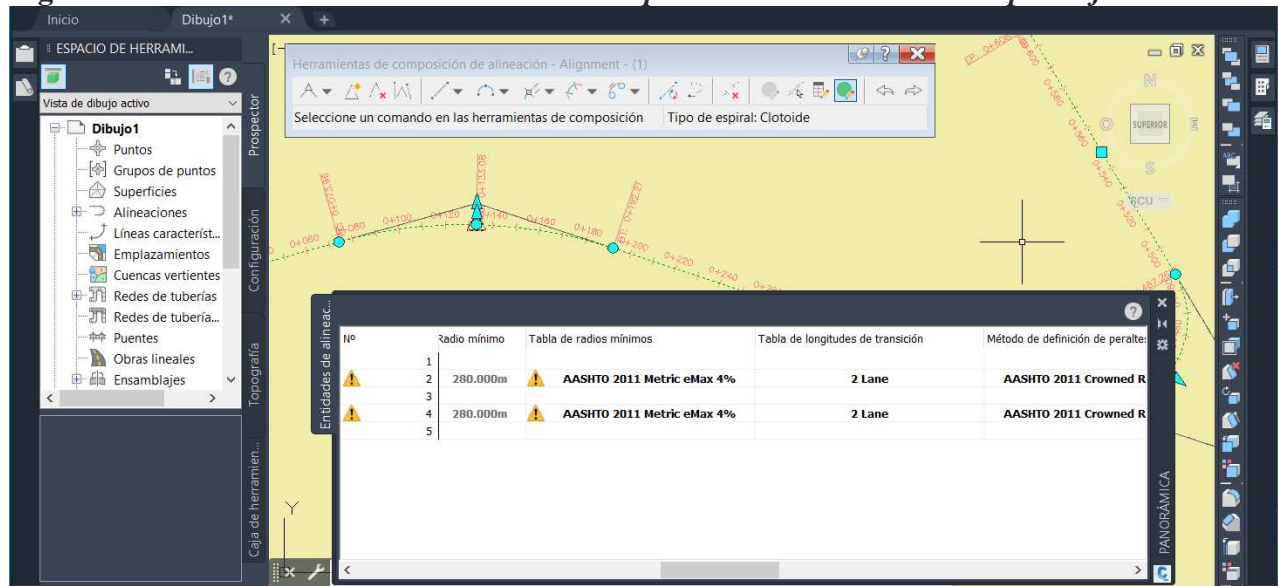
Fuente: Elaboración propia.

Como se observa, los resultados que se obtienen por medio de la programación que se realizó y los que se proponen en la tabla del manual de la ABC son idénticos, haciendo notar que es más fácil trabajar con la información de la Macro que se programó, que estar consultado la tabla con cada curva que se diseñe, de esa manera como es lógico, podremos diseñar las curvas más rápido y eliminando la posibilidad de cometer algún error en la lectura de los datos.

12.1.3. Asistente de Diseño Geométrico.

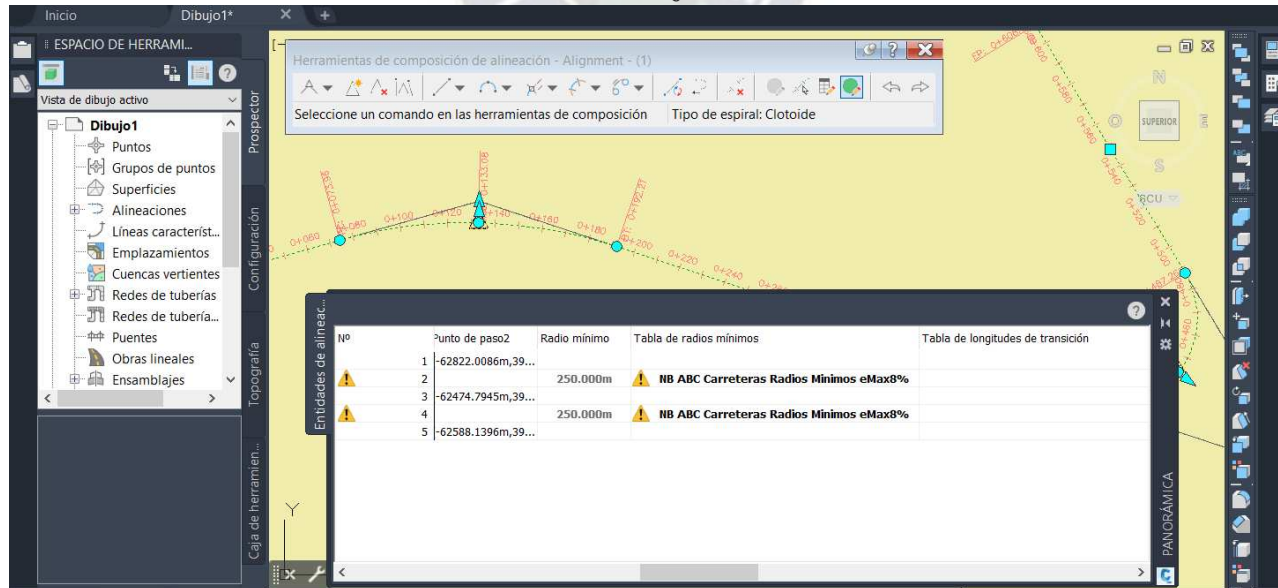
Este se desarrolló con el lenguaje informático XML, en Visual Code Studio, con el fin de ayudar a comprobar los parámetros mínimos de la carretera dentro de Civil 3D con el Manual de Carreteras de la ABC.

Figura 161. Alineamiento en Civil 3D con los parámetros de la AASHTO por defecto.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 162. Mismo alineamiento en Civil 3D con el XML del Manual de la ABC que se realizó.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se observa que el asistente nos informa que el alineamiento no cumple con dos de los parámetros mínimos según el manual de carreteras de Bolivia.

Tabla 36. Datos del Alineamiento horizontal de uno de los tramos del proyecto, obtenido con las herramientas elaboradas.

Numero	Longitud	Radio	Line/Chord Direction	A Value	Este INI	Norte INI	Este FIN	Norte FIN	PK Inicial	PK Final
L10	322,361		S81° 36' 23.63E"		297249,1115	7878472,6406	297568,0197	7878425,5857	30+550	30+872.4
L15	322,361		S81° 36' 23.63E"		297249,1115	7878472,6406	297568,0197	7878425,5857	30+550	30+872.4
L20	322,361		S81° 36' 23.63E"		297249,1115	7878472,6406	297568,0197	7878425,5857	30+550	30+872.4
L25	322,361		S81° 36' 23.63E"		297249,1115	7878472,6406	297568,0197	7878425,5857	30+550	30+872.4
L5	322,361		S81° 36' 23.63E"		297249,1115	7878472,6406	297568,0197	7878425,5857	30+550	30+872.4
S11	70,000			140	297568,0197	7878425,5857	297636,7366	7878412,5015	30+872.4	30+942.4
S19	70,000			140	297568,0197	7878425,5857	297636,7366	7878412,5015	30+872.4	30+942.4
S27	70,000			140	297568,0197	7878425,5857	297636,7366	7878412,5015	30+872.4	30+942.4
S35	70,000			140	297568,0197	7878425,5857	297636,7366	7878412,5015	30+872.4	30+942.4
E3	70,000			140	297568,0197	7878425,5857	297636,7366	7878412,5015	30+872.4	30+942.4
C6	33,625	280,000	S71° 00' 15.29E"		297636,7366	7878412,5015	297668,5117	7878401,5631	30+942.4	30+976
C10	33,625	280,000	S71° 00' 15.29E"		297636,7366	7878412,5015	297668,5117	7878401,5631	30+942.4	30+976
C14	33,625	280,000	S71° 00' 15.29E"		297636,7366	7878412,5015	297668,5117	7878401,5631	30+942.4	30+976
C18	33,625	280,000	S71° 00' 15.29E"		297636,7366	7878412,5015	297668,5117	7878401,5631	30+942.4	30+976
C2	33,625	280,000	S71° 00' 15.29E"		297636,7366	7878412,5015	297668,5117	7878401,5631	30+942.4	30+976
S12	70,000	280,000		140	297668,5117	7878401,5631	297730,7215	7878369,5764	30+976	31+046
S20	70,000	280,000		140	297668,5117	7878401,5631	297730,7215	7878369,5764	30+976	31+046
S28	70,000	280,000		140	297668,5117	7878401,5631	297730,7215	7878369,5764	30+976	31+046
S36	70,000	280,000		140	297668,5117	7878401,5631	297730,7215	7878369,5764	30+976	31+046
E4	70,000	280,000		140	297668,5117	7878401,5631	297730,7215	7878369,5764	30+976	31+046
L6	80,924		S60° 24' 06.95E"		297730,7215	7878369,5764	297801,0858	7878329,6071	31+046	31+126.9
L11	80,924		S60° 24' 06.95E"		297730,7215	7878369,5764	297801,0858	7878329,6071	31+046	31+126.9
L16	80,924		S60° 24' 06.95E"		297730,7215	7878369,5764	297801,0858	7878329,6071	31+046	31+126.9
L21	80,924		S60° 24' 06.95E"		297730,7215	7878369,5764	297801,0858	7878329,6071	31+046	31+126.9
L1	80,924		S60° 24' 06.95E"		297730,7215	7878369,5764	297801,0858	7878329,6071	31+046	31+126.9
S9	62,000			124,5	297801,0858	7878329,6071	297856,1770	7878301,2574	31+126.9	31+188.9
S17	62,000			124,5	297801,0858	7878329,6071	297856,1770	7878301,2574	31+126.9	31+188.9
S25	62,000			124,5	297801,0858	7878329,6071	297856,1770	7878301,2574	31+126.9	31+188.9
S33	62,000			124,5	297801,0858	7878329,6071	297856,1770	7878301,2574	31+126.9	31+188.9
E1	62,000			124,5	297801,0858	7878329,6071	297856,1770	7878301,2574	31+126.9	31+188.9
C5	210,522	250,000	N88° 22' 09.54E"		297856,1770	7878301,2574	298060,4512	7878307,0728	31+188.9	31+399.4
C9	210,522	250,000	N88° 22' 09.54E"		297856,1770	7878301,2574	298060,4512	7878307,0728	31+188.9	31+399.4
C13	210,522	250,000	N88° 22' 09.54E"		297856,1770	7878301,2574	298060,4512	7878307,0728	31+188.9	31+399.4
C17	210,522	250,000	N88° 22' 09.54E"		297856,1770	7878301,2574	298060,4512	7878307,0728	31+188.9	31+399.4
C1	210,522	250,000	N88° 22' 09.54E"		297856,1770	7878301,2574	298060,4512	7878307,0728	31+188.9	31+399.4
S10	62,000	250,000		124,5	298060,4512	7878307,0728	298113,8404	7878338,5108	31+399.4	31+461.4
S18	62,000	250,000		124,5	298060,4512	7878307,0728	298113,8404	7878338,5108	31+399.4	31+461.4
S26	62,000	250,000		124,5	298060,4512	7878307,0728	298113,8404	7878338,5108	31+399.4	31+461.4
S34	62,000	250,000		124,5	298060,4512	7878307,0728	298113,8404	7878338,5108	31+399.4	31+461.4
E2	62,000	250,000		124,5	298060,4512	7878307,0728	298113,8404	7878338,5108	31+399.4	31+461.4
L7	274,208		N57° 08' 26.03E"		298113,8404	7878338,5108	298344,1765	7878487,2906	31+461.4	31+735.6
L12	274,208		N57° 08' 26.03E"		298113,8404	7878338,5108	298344,1765	7878487,2906	31+461.4	31+735.6
L17	274,208		N57° 08' 26.03E"		298113,8404	7878338,5108	298344,1765	7878487,2906	31+461.4	31+735.6
L22	274,208		N57° 08' 26.03E"		298113,8404	7878338,5108	298344,1765	7878487,2906	31+461.4	31+735.6
L2	274,208		N57° 08' 26.03E"		298113,8404	7878338,5108	298344,1765	7878487,2906	31+461.4	31+735.6
S13	112,000			206,30	298344,1765	7878487,2906	298441,0333	7878543,3134	31+735.6	31+847.6
S21	112,000			206,30	298344,1765	7878487,2906	298441,0333	7878543,3134	31+735.6	31+847.6
S29	112,000			206,30	298344,1765	7878487,2906	298441,0333	7878543,3134	31+735.6	31+847.6
S37	112,000			206,30	298344,1765	7878487,2906	298441,0333	7878543,3134	31+735.6	31+847.6

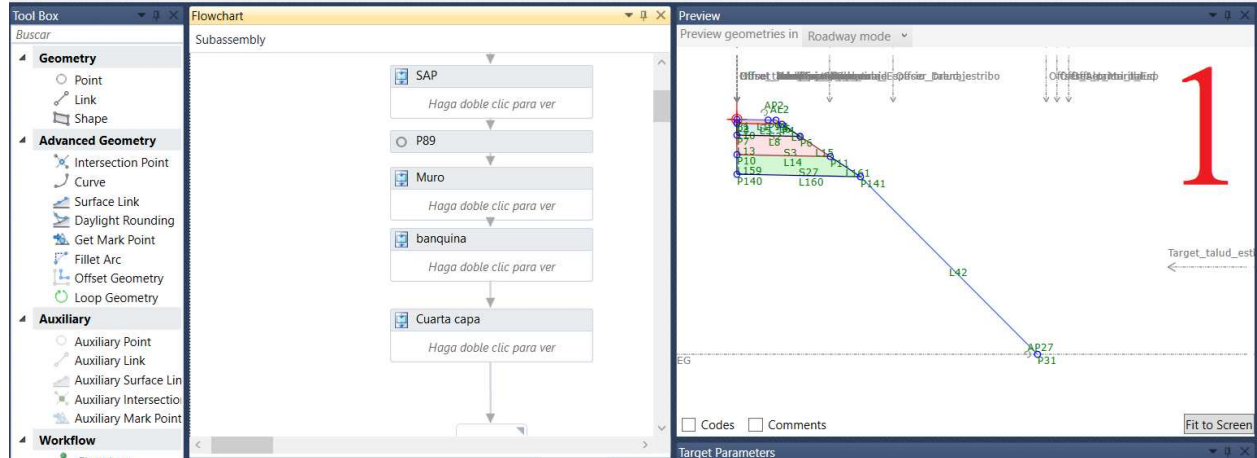
Fuente: Elaboración propia.

Entonces como resultado del trabajo realizado obtuvimos un diseño geométrico dinámico, una macro de Excel que nos ayuda en el diseño sin la necesidad de consultar las gráficas y tablas, y Civil 3D nos informará sobre los parámetros mínimos según el manual de carreteras de la ABC.

12.1.4. Plantillas SAC para la generación del Corredor.

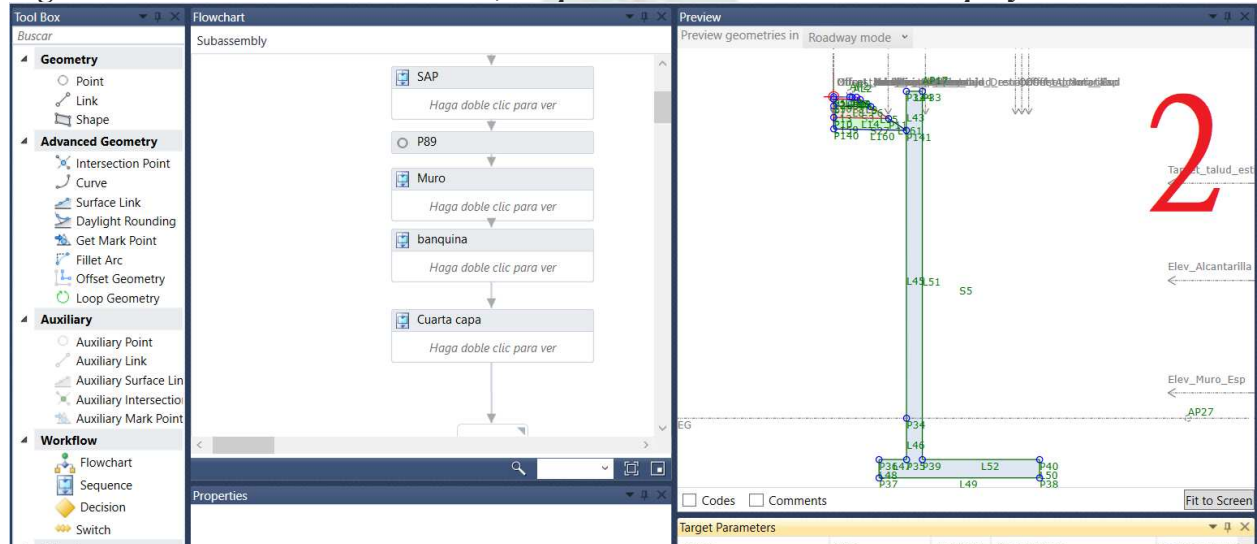
Dentro de un proyecto realizado con la metodología tradicional o CAD, uno de los grandes problemas es que la información que se genera en el proyecto, hay que generarla manualmente, eso hace que el trabajo sea lento en su ejecución, además de que la fiabilidad de los datos que se obtienen queda en entredicho, es por ello que con programas BIM, es posible eliminar esa incertidumbre, ya que la revisión de cada parámetro del proyecto la hará el programa.

Figura 163. Plantilla SAC para el desarrollo del SAP del corredor.



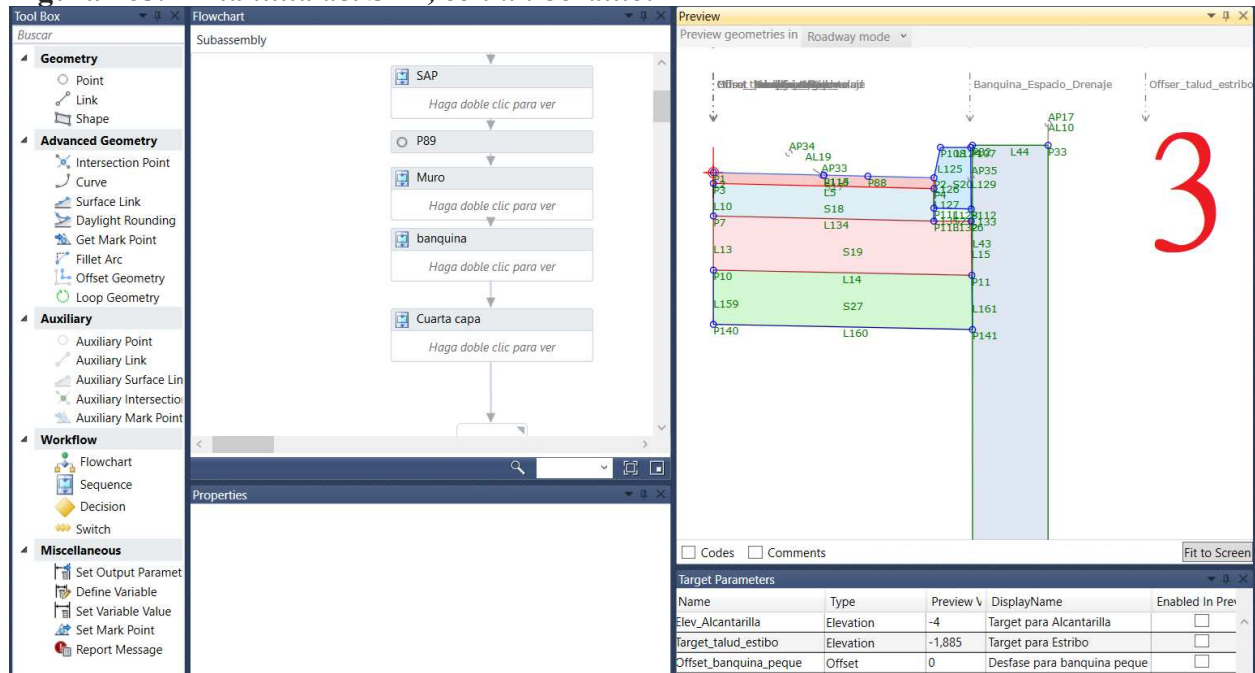
Fuente: Elaboración propia.

Figura 164. Plantilla SAC del SAP, adaptándose a las condiciones del proyecto.



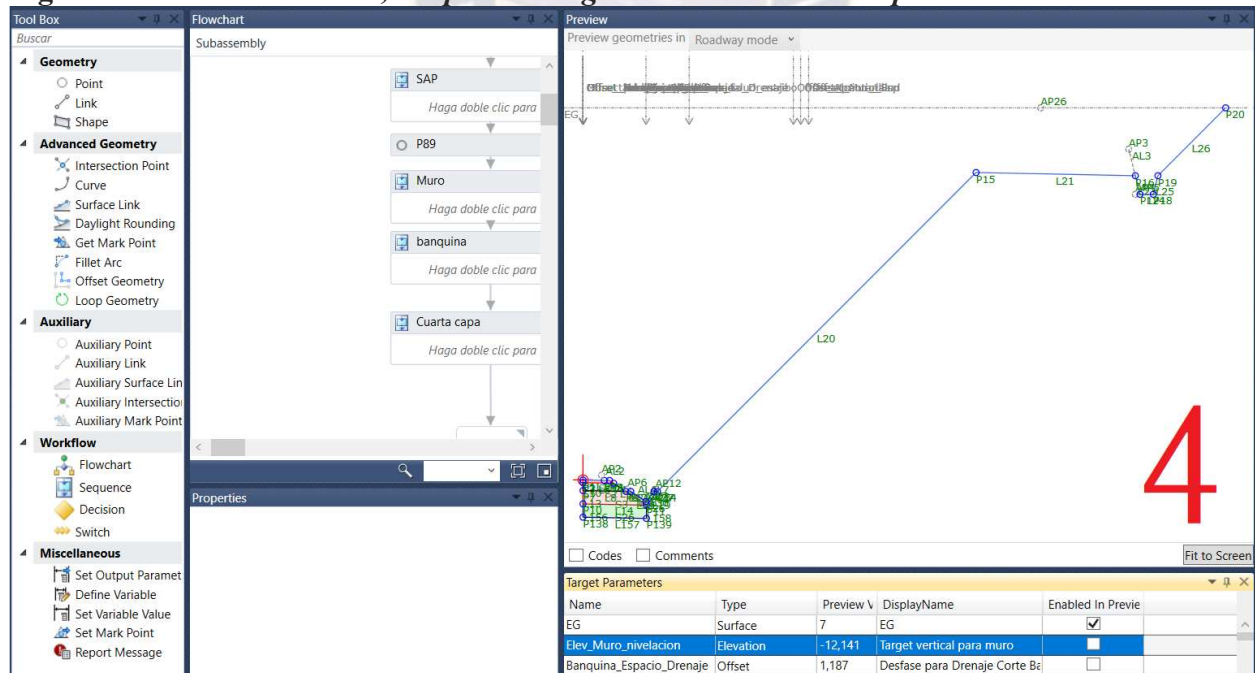
Fuente: Elaboración propia.

Figura 165. Plantilla del SAP, con un bordillo.



Fuente: Elaboración propia.

Figura 166. Plantilla SAP, adaptada a la generación de una banquina.



Fuente: Elaboración propia.

En las imágenes superiores, se observa la adaptabilidad de las plantillas realizadas para el proyecto, siendo que las cuatro imágenes corresponden a la misma plantilla, y el modelo que esta genera está en función de las características ya parámetros programados, podemos controlar con datos de

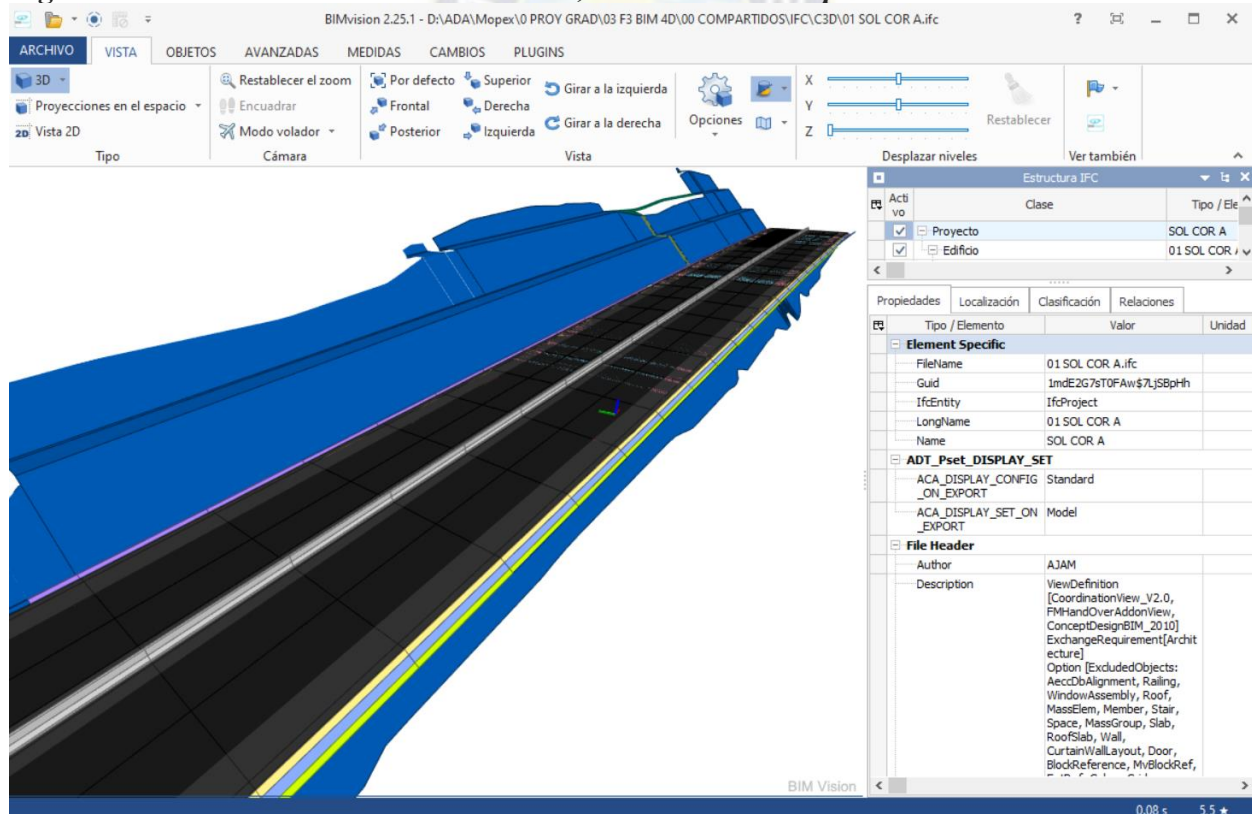
entrada el modelo que se modelará, también podremos añadir un bordillo cuando se considere necesario, entre otros elementos, como un FL para el modelo de las barreras de protección, etc.

Así el emplazamiento de los muros de contención, así como las barreras de protección, y otros elementos modelados en las plantillas que se hicieron, serán automáticos, reduciéndose el tiempo para realizar estas tareas considerablemente. Además de que de esta manera los modelos que se realicen, serán útiles para modelos BIM más maduros.

12.2. MODELO BIM 3D GENERADO.

Con las herramientas generadas para el diseño geométrico, las plantillas para el corredor que se hicieron en SAC, ya se pudo contar con un modelo de geometría del corredor.

Figura 167. Modelo BIM3D del corredor, realizado con las plantillas SAC.



Fuente: Elaboración propia.

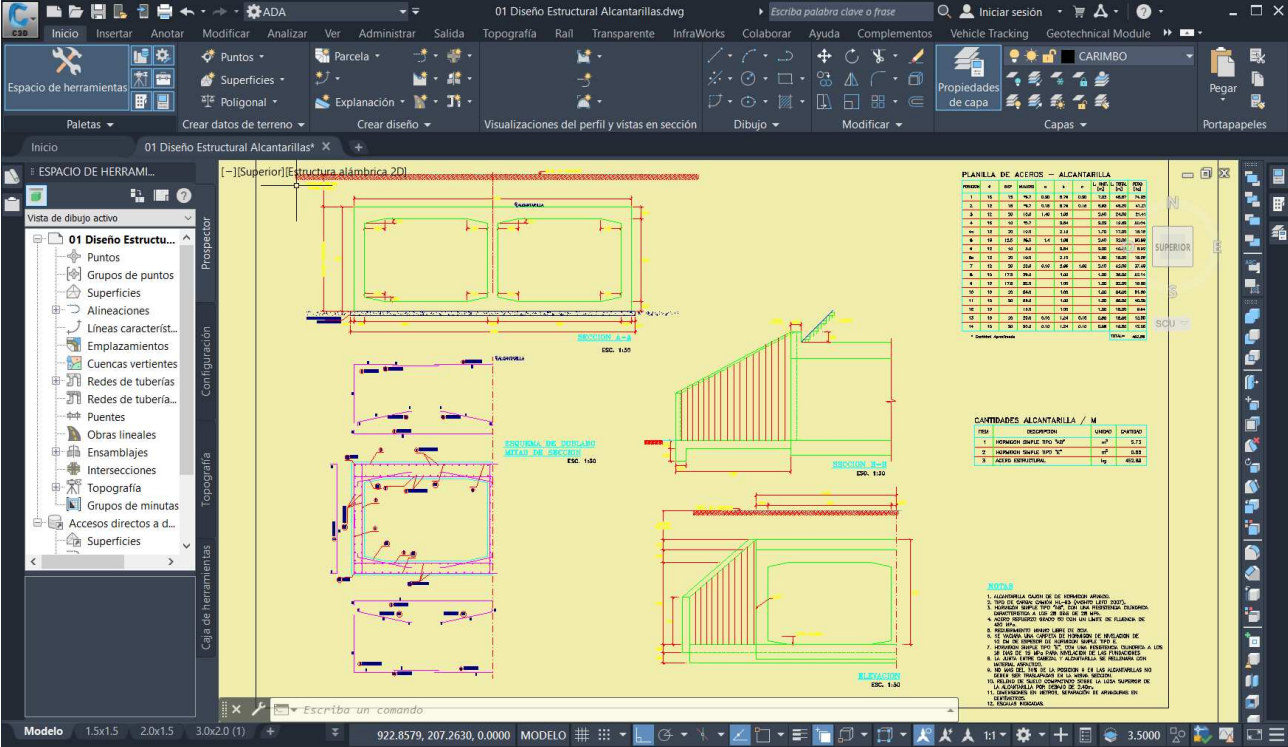
Al contar con un modelo de geometría con información de cada elemento, es posible realizar con este modelo BIM 3D un modelo BIM 4D, BIM 5D, metrados o cuantificaciones del modelo de forma inmediata, con la metodología tradicional esto se realizaría solo con las secciones transversales y solo de forma aproximada, es por ello que las cuantificaciones con un programa CAD es bastante lento, y poco fiable, esto no sucede con un programa BIM, incluso temas como

el movimiento de tierras puede ser tratado con esta metodología. Además, el modelo resultante de trabajar con el flujo propuesto, no solo cuenta con información relevante a la geometría, sino también contiene información que ayudará a su identificación, y esta servirá para realizar los modelos BIM 4D y BIM 5D.

12.3. CUANTIFICACIÓN.

La cuantificación dentro de la metodología tradicional, se realiza por medio de planos 2D, siendo el problema más común que el plano no represente el diseño, es decir ya que esto se acota y se hace por medio de bloques de AutoCAD, en ocasiones el acotado es incorrecto, eso lógicamente hace que la cuantificación esté mal, los planos de construcción también estarían mal, incluso los presupuestos, ya que con la cuantificación se calculan estos.

Figura 168. Plano de alcantarilla en un proyecto CAD.

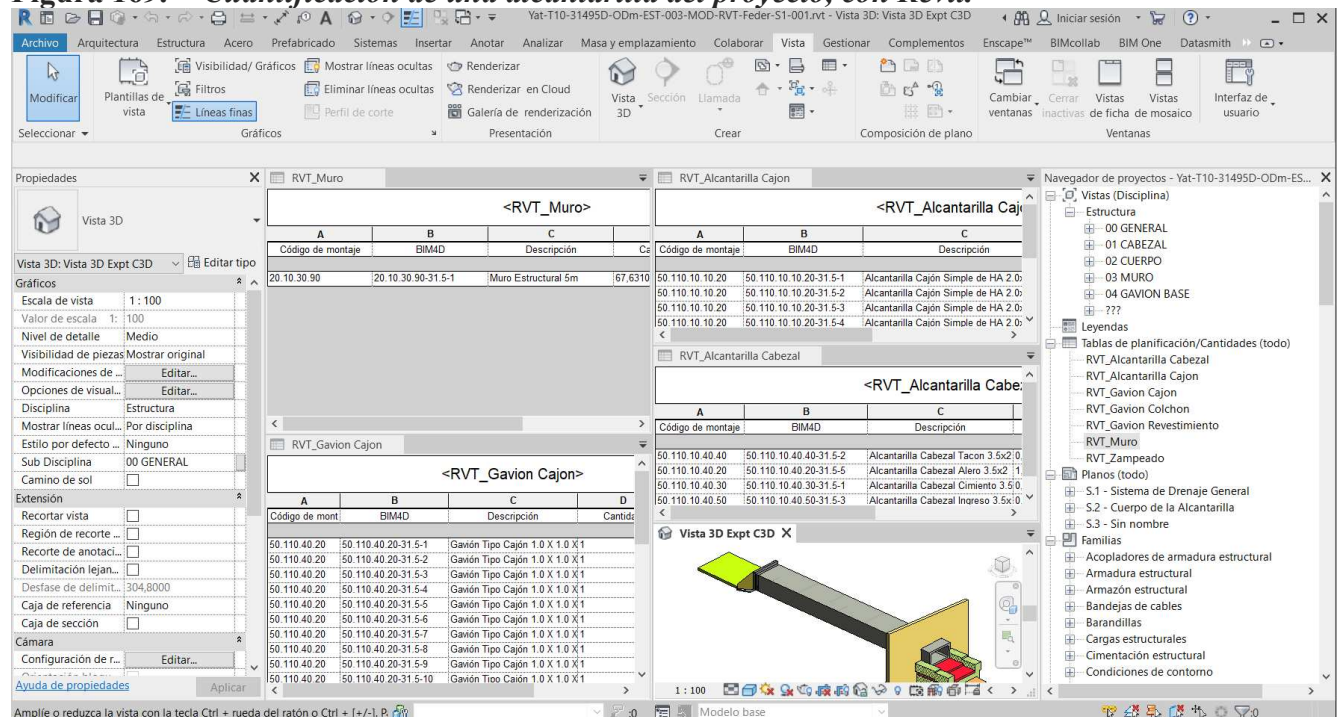


Fuente: Plano extraído de un proyecto real, durante el periodo de trabajo del autor del proyecto.

En la gráfica anterior se encuentra un plano tipo de una alcantarilla de un proyecto realizado con la metodología tradicional o CAD, lógicamente un modelo de geometría no existe, no hay correlación entre el plano y las cuantificaciones realizadas, es decir cualquier cambio en el diseño de la alcantarilla, no se verá reflejado en el plano, y las cuantificaciones hay que volver a realizarlas, sin tomar en cuenta que es muy probable que el plano esté mal realizado, o que tenga

errores en el acotado, no esté a escala, que las coordenadas estén mal, etc. Esto ya representa un problema si trabajamos con la metodología BIM o un programa BIM, ya que la cuantificación se realiza por medio de los modelos de geometría, es decir se hace de manera automática, al generar un modelo cualquiera que sea, las cuantificaciones se agregar automáticamente a sus parámetros de tipo, y cualquier cambio en la geometría se verá reflejado en los planos y las cuantificaciones, ahorrándonos mucho tiempo, en la cuantificación y la elaboración de los planos.

Figura 169. Cuantificación de una alcantarilla del proyecto, con Revit.



Fuente: Elaboración propia.

Para las cuantificaciones más complejas, se utilizó la programación visual como Dynamo para Civil 3D, esto porque se cuenta con la geometría del modelo que representa. Esta herramienta se utilizó principalmente para los modelos del SAP, porque su geometría es variable y al cuantificarlas por medio de las áreas se estaría cometiendo un error.

No existe dudas de lo ventajoso que resulta la utilización de programas BIM, dentro de la ingeniería civil sin importar el campo en el que se utilicen estas. No hay punto de comparación si la igualamos con lo que nos puede ofrecer la metodología tradicional o CAD.

Estos archivos como se dijo en su respectivo acápite, se deben de guardar con un formato en específico, para que la base de datos se actualice.

Figura 170. Ejemplo de los archivos de cuantificación que se realizaron y el formato de estos.

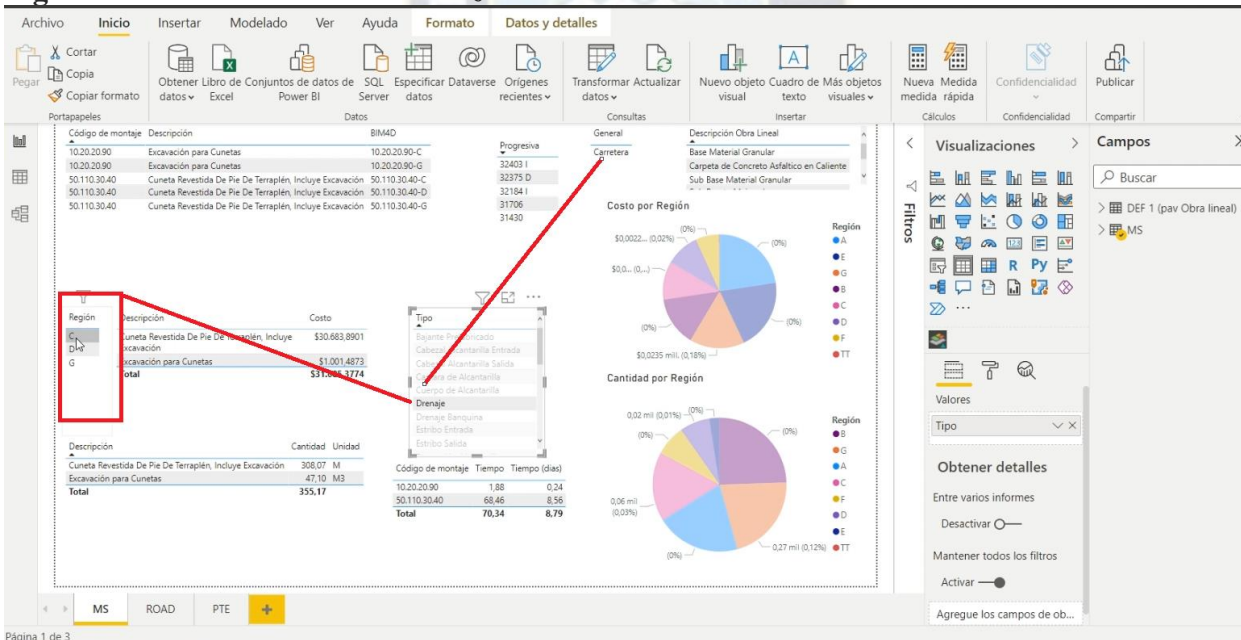


Fuente: Elaboración propia.

12.3.1. Actualización de la base de datos.

La ventaja de realizar todo como se planteó, es que los datos se pueden actualizar, es decir la base de datos se actualizará a medida que se realicen cambios en el proyecto. A continuación, se mostrará un ejemplo de dicho proceso.

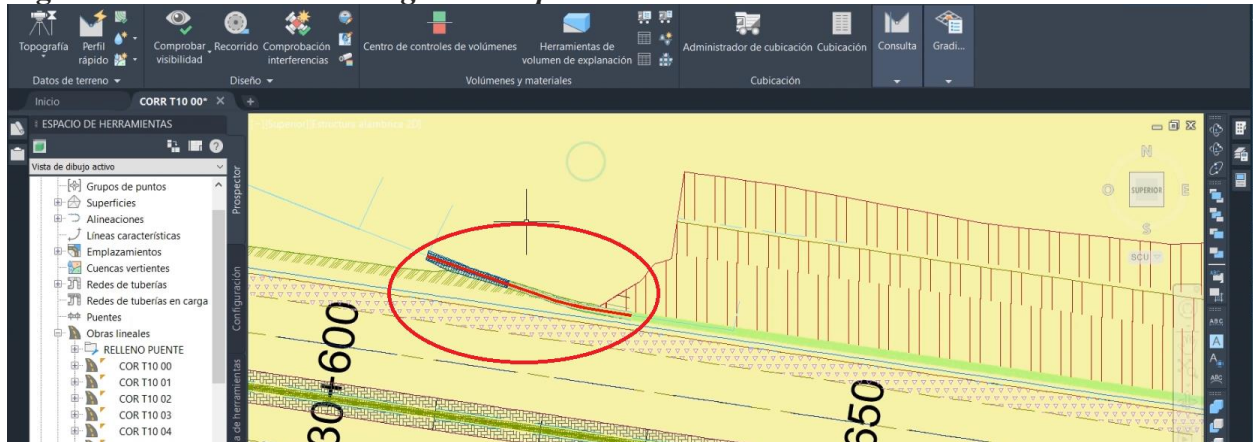
Figura 171. Base de datos visualizada con Power BI.



Fuente: Elaboración propia.

En la imagen superior se muestra la Base de datos con un filtro, es decir le pedimos al programa que nos muestre la información del proyecto, pero solo los drenajes (Cunetas) de la carretera, y se ve remarcado las regiones en las cuales hay cunetas, y toda la información relevante de ellas, entonces procedemos a modelar una cuneta en la región “A” para comprobar que la base de datos que realizamos se actualizará.

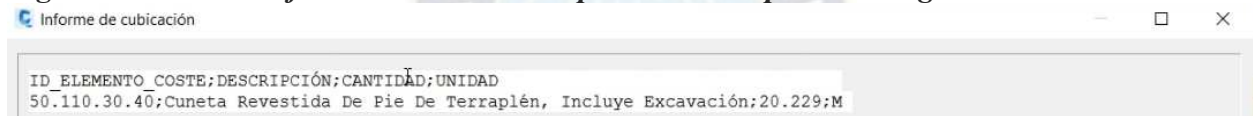
Figura 172. Cuneta en la región “A” que se modeló.



Fuente: Elaboración propia.

La cuneta que se está modelando no se hizo cuando se realizó la base de datos, es por ello que el resultado de los flujos de trabajo que se realizaron tiene que actualizar dicha información.

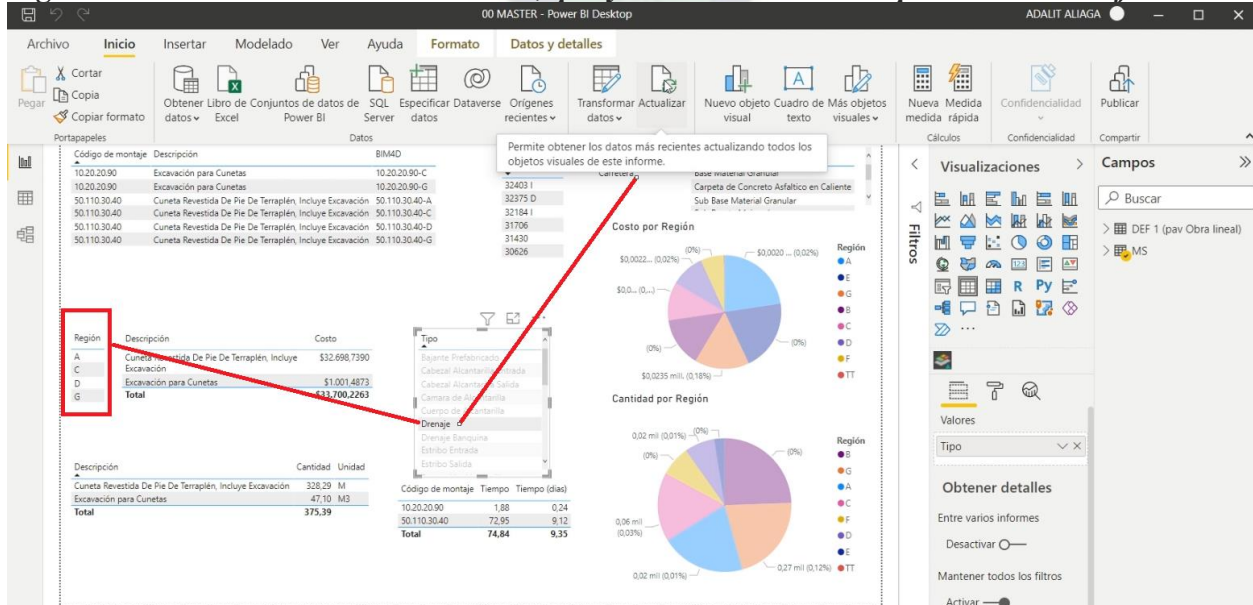
Figura 173. Cuantificación de la cuneta que se modeló por los códigos SAC.



Fuente: Elaboración propia.

La cuantificación que se muestra en la imagen superior debe de guardarse en la carpeta de cuantificaciones con el formato que se explicó en el acápite correspondiente, para que la base de datos del proyecto se actualice.

Figura 174. Base de datos actualizada, que ya muestra la cuneta que se modeló al final.



Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la imagen anterior, la base de datos se actualizó satisfactoriamente, fruto del resultado de trabajar con los flujos de trabajo que se hicieron, que dicho sea de paso esos flujos de trabajo son de mí autoría.

Entonces el trabajo del proyecto con la metodología BIM ayudó a obtener un modelo de la geometría, con la información necesaria para que esto sea útil desde el punto de vista de la planificación de la construcción, también se puede contar con la cuantificación de lo que se modela, y todo en una base de datos para que pueda ser revisado por los miembros del equipo de trabajo, de esta manera la información está disponible en cualquier momento. Y los cambios realizados a los modelos del proyecto, también tendrán incidencia en los metrados y presupuestos de obra, después de realizar una actualización.

El resultado del flujo de trabajo que se desarrolló, es poder contar con la información como: cantidades, presupuesto, tiempos, identificadores, ubicación, etc. De cada uno de los modelos que se elaboraron para este proyecto, y que estos sean fácilmente actualizables a medida que el cambie, esto sería imposible de trabajar con la metodología tradicional, en un proyecto tradicional hay que consultar muchas fuentes (planos, archivos Excel, otros) para poder consultar la información, porque no contamos con una base de datos general del proyecto.

12.4. MODELO BIM 4D.

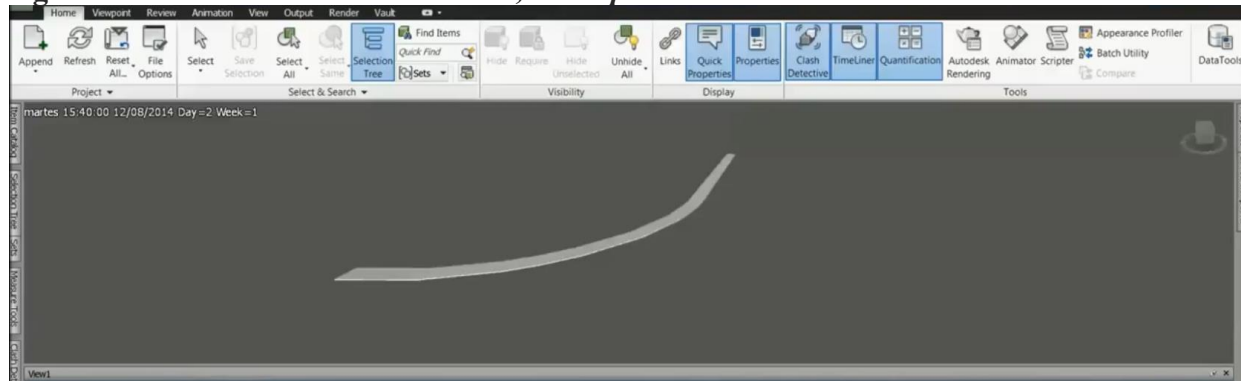
Con la metodología CAD, no es posible realizar un modelo BIM 4D, porque no existe un modelo con el cual enlazar la información de geometría, solo se puede hacer una planificación que por lo general es en Excel, o en MS Project, de esta manera se tienen los siguientes problemas:

- La planificación resultante es poco detallada.
- No hay un buen control de los modelos generados respecto de la planificación.
- No es posible ver el proceso constructivo de ningún modelo.
- No es posible estudiar varios escenarios de construcción.

Con la metodología BIM, los inconvenientes mencionados con anterioridad ya no existen, es posible enlazar la información de la planificación de construcción a un modelo BIM 3D. los programas para generar los modelos BIM4D como Navisworks, están realizados para edificaciones, presentándose problemas al momento de representar un modelo de construcción, que en el caso de carreteras será por barrido, por lo general esto solo sucedería de manera general

es decir los elementos solo aparecerían de manera instantánea. Como si se contara con muchas cuadrillas, esto dificulta la programación del proyecto si se piensan reducir los tiempos en los que la obra se realiza.

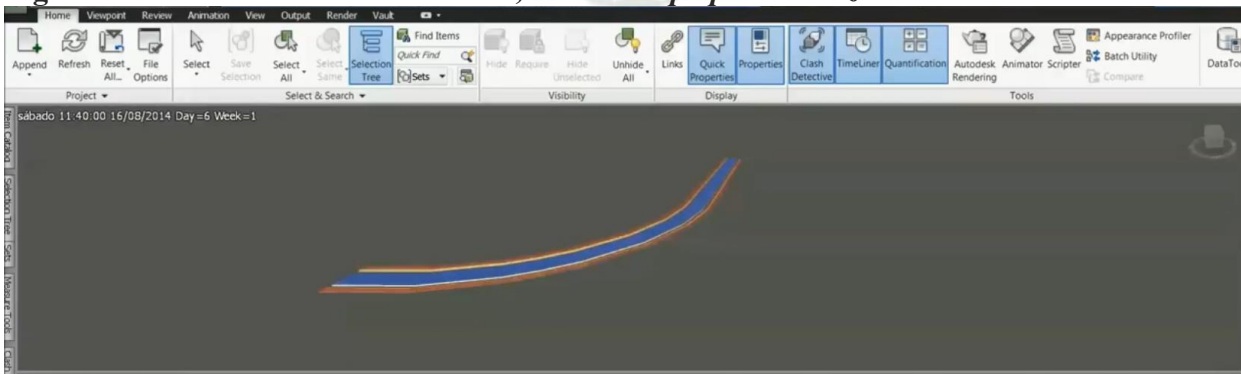
Figura 175. Modelo BIM 4D normal, en etapa inicial.



Fuente: Canal de YouTube "DatechSpain".

En la imagen superior se ve un modelo BIM 4D normal, es decir en esa imagen y en la siguiente los modelos aparecen por completo, como si el modelo constructivo indicase que se construyen por completo y no como barrido de los mismos. Eso solo será posible si se trabajase con varias cuadrillas de obreros al mismo tiempo, es por ello que este tipo de programas están hechos principalmente para edificaciones. En la siguiente imagen se observa el mismo modelo tras haber transcurrido poco tiempo, sin embargo, se ve como los modelos aparecen completos, esto es perjudicial al momento de realizar una planificación más detallada, y peor aun cuando entre este tramo existe alguna otra obra, de trabajar de esta manera no se podrá revisar los modelos para que dichas obras no se obstruyan durante su construcción. Además, con un modelo BIM 4D como este, no es posible realizar ni observar el movimiento de tierras durante la construcción del modelo BIM 4D.

Figura 176. Modelo BIM 4D normal, en una etapa poco avanzada.



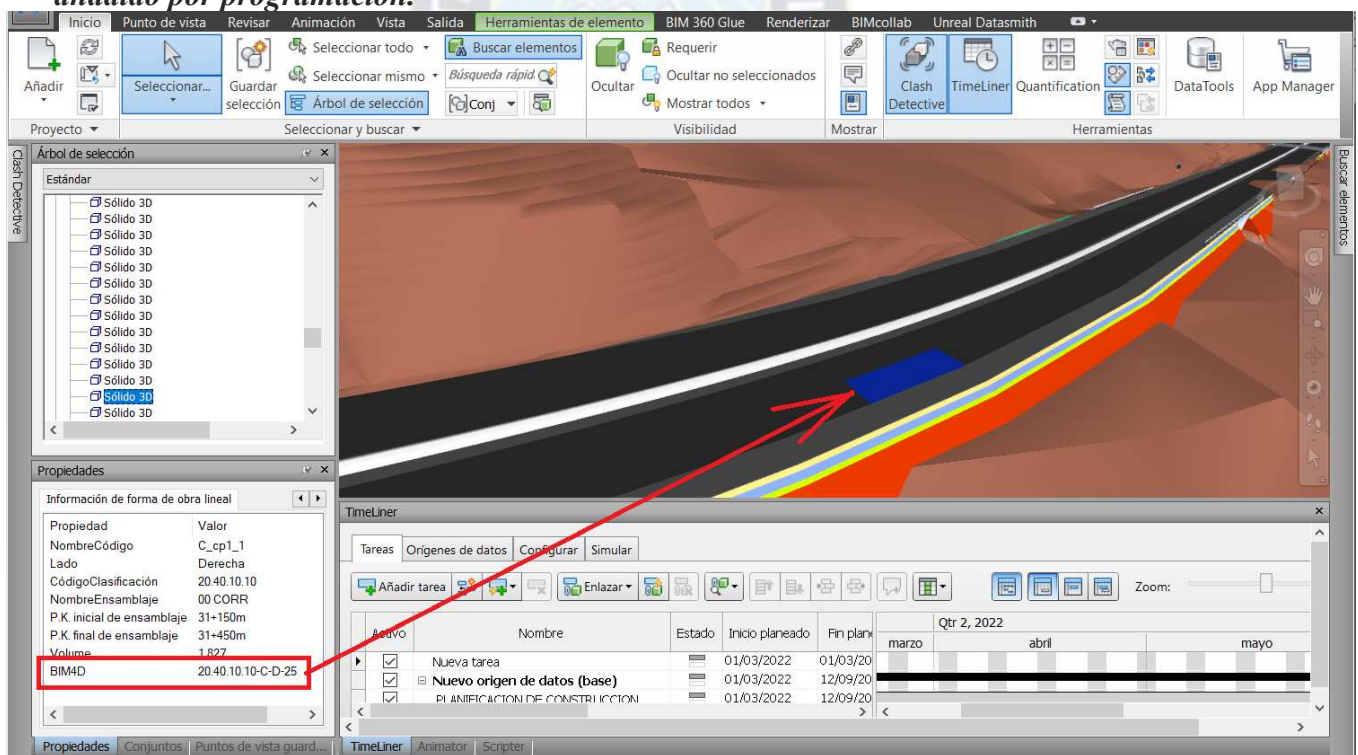
Fuente: Canal de YouTube "DatechSpain".

Esta es la forma tradicional de hacer un modelo BIM 4D, estas deficiencias son muy importantes y es por ello que se realizaron programaciones, para mejorar el modelo BIM 4D, y que este sea más avanzado y fácil de gestionar, sin la programación esta tarea sería imposible de realizar, es por ello que se utilizaron lenguajes de programación como Dynamo para Revit y Dynamo para Civil 3D, estos son lenguajes de programación gráfica o visual.

12.4.1. Programación de los modelos BIM 4D.

Lo que se realizó es dividir cada modelo BIM en partes más pequeñas, haciendo que el proyecto cuente con información necesaria para que el modelo sea de más ayuda para su planificación de construcción, empero el problema sería ahora añadir la información BIM 4D a cada uno de los modelos, esto sería casi imposible de realizar, por la cantidad de información con la que se contaría, es por ello que también recurrimos a la programación, para automatizar esta tarea.

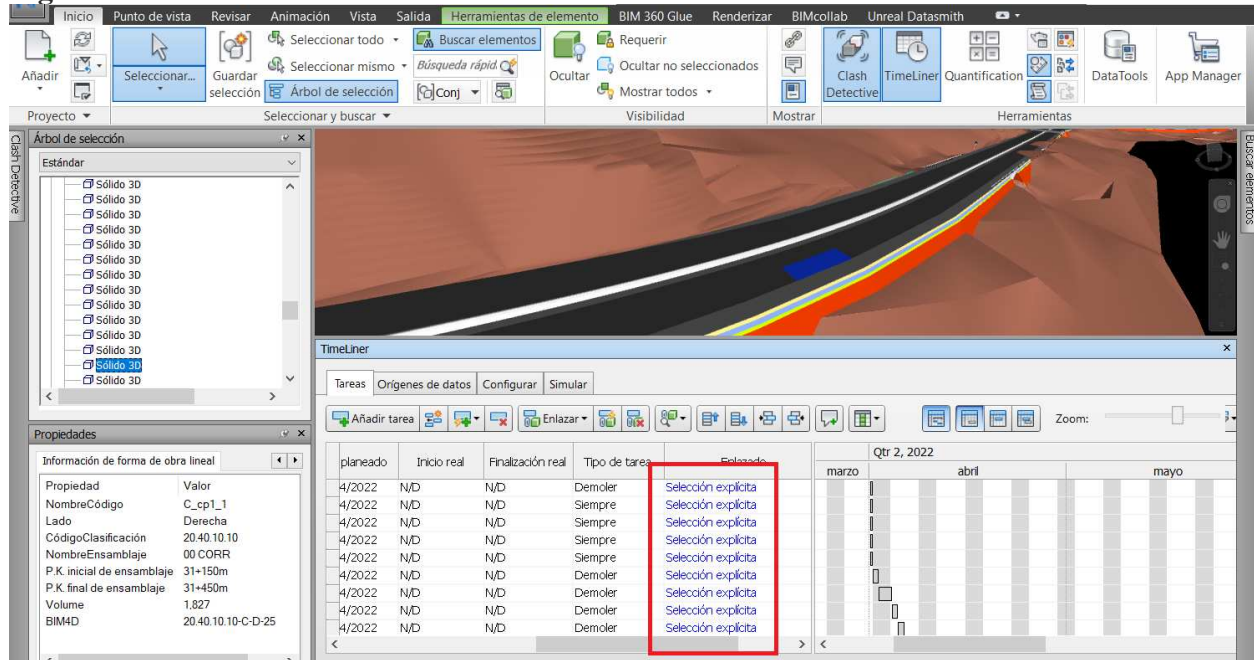
Figura 177. Modelo BIM 4D Avanzado que se realizó para el proyecto, con su parámetro añadido por programación.



Fuente: Elaboración propia.

El parámetro que se añadió a los modelos BIM 3D realizados en Autodesk Civil 3d y Autodesk Revit, hace que cada uno de los elementos sea único en todo el proyecto y así se pueda gestionar por separado, cada modelo con su respectiva línea en MS Project.

Figura 178. Enlace automático del Modelo BIM 4D.



Fuente: Elaboración propia.

Con la programación que se realizó tanto para dividir el corredor y añadir los parámetros especiales a dichos modelos, ahora podremos gestionar el modelo de geometría desde MS Project, también ahora podremos contar con el modelo tipo barrido del proyecto (que se asemeja más a la vida real) y el movimiento de tierras del mismo.

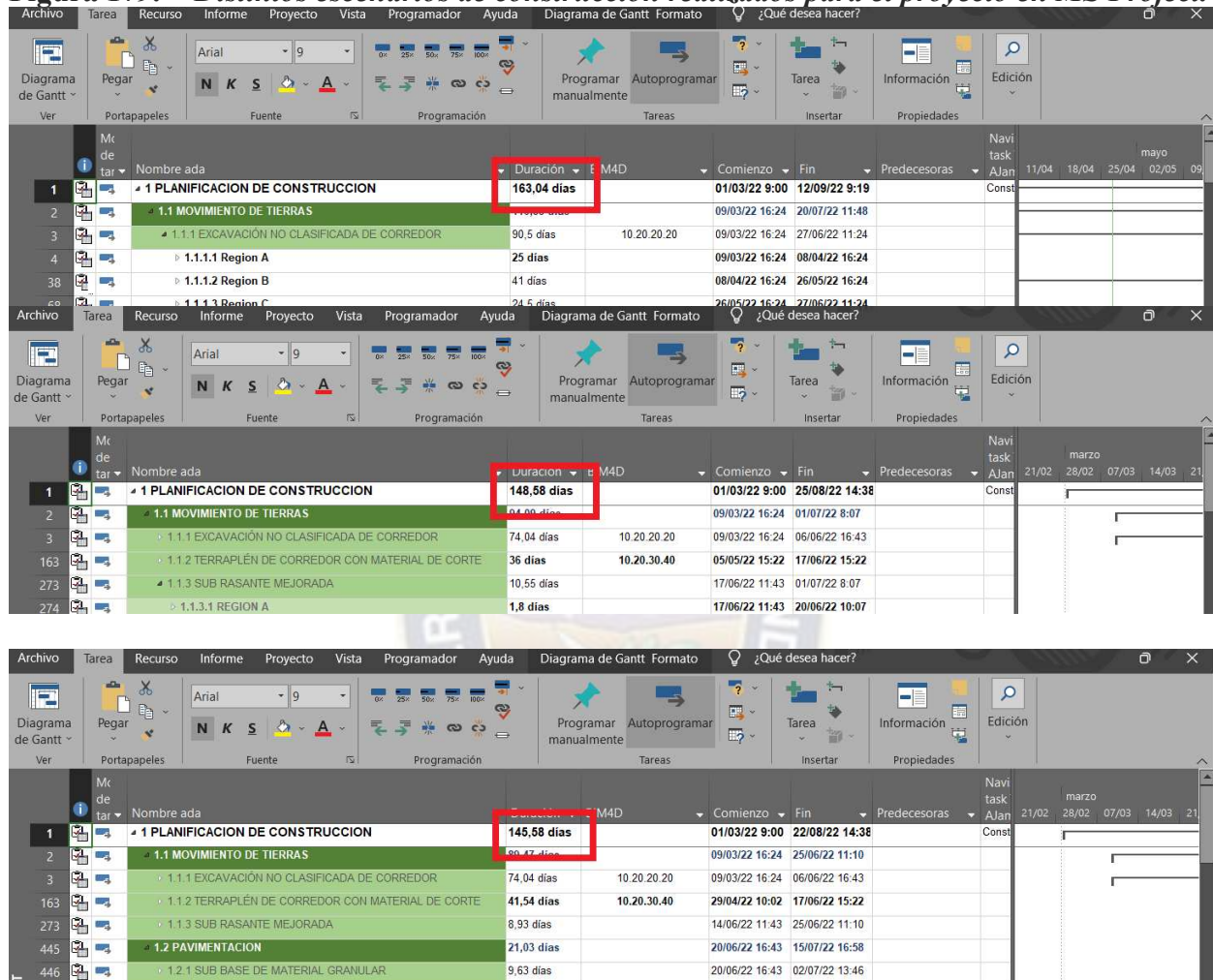
El resultado de trabajar como se planteó para este proyecto, es poder contar con un modelo BIM 3D, que sea fácil de enlazar con su parte en MS Project, es decir el enlace ya no se hará por medio de filtros, o manualmente, sino que se hará elemento a elemento automáticamente, además que ver la representación gráfica del movimiento de tierras en las regiones donde se encuentren modelos no lineales ayudará a la toma de decisiones y con ello se podrá contar con un modelo que será de mucha más utilidad, hay que recordar que el movimiento de tierras por lo general no se representa en un modelo BIM 4D, por lo complejo que resulta.

12.4.2. Beneficios del Modelo Generado.

Como ya se mencionó pero es lo más importante dentro del modelo BIM 4D es la gestión de los modelos BIM desde el archivo donde se encuentra la planificación de construcción del proyecto, y ver estos cambios en Navisworks de manera gráfica es decir animada, de esa manera es posible mejorar los tiempos de ejecución de la obra, planteándose distintos escenarios de construcción, y por medio del BIM 4D, mejorar los tiempos de ejecución de obra solo es posible de trabajar con

la metodología BIM, y los parámetros que se añadieron permiten realizar esta tarea en mucho menos tiempo ya que es automático el proceso.

Figura 179. Distintos escenarios de construcción realizados para el proyecto en MS Project.



Fuente: Elaboración propia.

En las anteriores imágenes se observan los distintos escenarios de construcción que se plantearon para el proyecto, esto solo fue posible gracias a la metodología BIM y los flujos que se desarrollaron para este proyecto, si trabajásemos con un BIM convencional llegar al mismo resultado sería imposible, y peor aún de trabajar con la metodología tradicional, es por ello que gracias a los distintos códigos de programación que se realizaron se tiene como resultado un modelo BIM 4D avanzado.

12.5. MODELO BIM 5D.

Para esta etapa se utilizó como base de datos una hoja en Excel cuya información es alimentada por Power Query, de los metrados con los que contará en el proyecto. Y el APU que se realizó con

los parámetros BIM4D que se añadieron a cada uno de los elementos de los modelos que se generaron, con la base de datos también se obtuvo información como: el tiempo de ejecución de cada modelo, además de los costos que estos tendrán, es decir el modelo BIM 5D, se genera a partir de los modelos BIM 3D, en función de los parámetros BIM 4D, del proyecto.

Figura 180. Base de datos del proyecto, con el parámetro de costo, tiempo, etc.

	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
	Descripción	Cantidad	Tipo	Región	General	Progresiva	PU	Rendi	Costo	Tiempo	Unidad	
2	Zanja De Coronamiento Con Revestimiento, Incluye Excavación	66,352	Drenaje Banquina	A	Carretera	30754	30820	90,158	5,5	5982,163616	12,064	M
3	Zanja De Coronamiento Con Revestimiento, Incluye Excavación	22,659	Drenaje Banquina	A	Carretera	30766		90,158	5,5	2042,890122	4,119818182	M
4	Cuneta Revestida De Pie De Terraplén, Incluye Excavación	20,229	Drenaje	A	Carretera	30626		99,602	4,5	2014,848858	4,495333333	M
5	Carpeta de Concreto Asfáltico en Caliente Carril Principal	210,45	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	388,732	40	81808,6494	5,26125	M3
6	Base Material Granular Carril Principal	841,8	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	14,017	150	11799,5106	5,612	M3
7	Sub Base Material Granular Carril Principal	1262,7	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	16,961	129,75	21416,6547	9,731791908	M3
8	Sub Rasante Mejorada Carril Principal	841,8	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	15,936	103,7941	13414,9248	8,110287579	M3
9	Tratamiento Superficial Doble Berma	1201,78	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	6,339	281,9843	7618,08342	4,26186848	M2
10	Base Material Granular Berma	264,39	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	14,017	150	3705,95463	1,7626	M3
11	Sub Base Material Granular Berma	360,53	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	16,961	129,75	6114,94933	2,778651252	M3
12	Sub Rasante Mejorada Berma	240,36	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	15,936	103,7941	3830,37696	2,315738563	M3
13	Tratamiento Superficial Doble Cantero Central Exterior	600,88	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	6,339	281,9843	3808,97832	2,130898777	M2
14	Base Material Granular Cantero Central Exterior	132,18	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	14,017	150	1852,76706	0,8812	M3
15	Sub Base Material Granular Cantero Central Exterior	180,25	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	16,961	129,75	3057,22025	1,389210019	M3
16	Sub Rasante Mejorada Cantero Central Exterior	120,16	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	15,936	103,7941	1914,86976	1,157676592	M3
17	Tratamiento Superficial Doble Cantero Central Interior	300,44	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	6,339	281,9843	1904,48916	1,065449388	M2
18	Base Material Granular Cantero Central Interior	66,11	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	14,017	150	926,66387	0,440733333	M3
19	Sub Base Material Granular Cantero Central Interior	90,17	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	16,961	129,75	1529,37337	0,69495183	M3
20	Sub Rasante Mejorada Cantero Central Interior	60,12	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	15,936	103,7941	958,07232	0,579223675	M3
21	Barrera New Jersey Doble, Corredor	300,383	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	1704,085	22	511878,1646	13,65377273	M
22	Bordillo De Protección (Hormigón Tipo B)	51,277	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	83,804	7	4297,217708	7,325285714	M
23	Cama De Arena Para bordillo De Protección	51,277	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	14,506	8	743,824162	6,409625	M
24	Barrera Metálica de Carretera (Flexbeam)	54,084	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	655,803	10	35468,44945	5,4084	M
25	Cuneta Revestida En Corte, Incluye Excavación	233,36	Obra Lineal	A	Carretera	30550	30850	103,514	6	24156,02704	38,89333333	M
26	Carpeta de Concreto Asfáltico en Caliente Carril Principal	226,74	Obra Lineal	B	Carretera	30850	31150	388,732	40	88141,09368	5,6685	M3
27	Base Material Granular Carril Principal	906,95	Obra Lineal	B	Carretera	30850	31150	14,017	150	12712,71815	6,046333333	M3
28	Sub Base Material Granular Carril Principal	1360,42	Obra Lineal	B	Carretera	30850	31150	16,961	129,75	23074,08362	10,48493256	M3
29	Sub Rasante Mejorada Carril Principal	906,95	Obra Lineal	B	Carretera	30850	31150	15,936	103,7941	14453,1552	8,737972582	M3
30	Tratamiento Superficial Doble Berma	1201,63	Obra Lineal	B	Carretera	30850	31150	6,339	281,9843	7617,13257	4,261336535	M2
31	Base Material Granular Berma	264,36	Obra Lineal	B	Carretera	30850	31150	14,017	150	3705,53412	1,7624	M3

Fuente: Elaboración propia.

Con la metodología tradicional no es posible contar con una base de datos de este tipo, y menos al nivel de detalle con el que se cuenta para el proyecto, incluso de trabajar con una metodología BIM común sería algo complejo llegar al mismo resultado, es por ello que se recurrió a la programación para obtener el resultado mostrado.

Con el modelo BIM 5D que se obtuvo queda en evidencia la importancia de lo siguiente:

- Establecer un formato para guardar los archivos de cuantificaciones.
- El uso de Power Query.
- El uso de Power BI.

Solo con esto se pudo obtener una base de datos dinámica, de la cual poder extraer información en cualquier momento.

13. CONCLUSIONES.

13.1. CONCLUSIÓN GENERAL.

En el presente proyecto se ha Realizado el diseño y modelamiento BIM 3D y 4D de una carretera, aplicando el manual vigente de la ABC para el diseño de carreteras. Para lograr integrar el manual con las herramientas de diseño de carreteras se ha creado un modelo BIM integral en un ECD. Lo más importante que contribuye este proyecto fue el ECD de la carretera integral, porque realizar un modelo BIM, que no esté en la nube, no tiene sentido y no es funcional, además el modelo BIM integral que se obtuvo es lo más parecido a un proyecto de ejecución ya que se cuenta con el corredor, alcantarillas, muros de contención, puente, bajante, banquetas, bordillos, new jersey, barreras de protección, señalética vertical, entre otros. Lo que fue de mayor utilidad para concretar este proyecto fue saber lenguajes de programación, porque con ellos se hizo el diseño geométrico más rápido, se realizó el modelo del puente mucho más rápido que si se hubiese realizado de manera convencional, con la programación se obtuvo un modelo BIM 4D y BIM 5D, al igual que la señalética, entre otros. Lo más complicado de realizar este proyecto fue plantear el tipo de MODELO que se necesitaría, para una buena aplicación de la metodología BIM. Este debe de modelarse al principio y lógicamente ya se tiene que saber cómo es que se modelarán, porque realizar estos cambios a medida que avanza el proyecto solo hará que se tenga que rehacer varias tareas, y eso es directamente una pérdida de tiempo.

Como se sabe el presente proyecto fue realizado por una sola persona, pero uno de los fines de este proyecto siempre fue que lo realizado en este proyecto sea útil para un proyecto real, el trabajo realizado fue hecho desde el punto de vista del trabajo de un equipo más grande, cosa que se asemeja a la vida real, ya que BIM no la puede realizar una sola persona.

13.2. CONCLUSIÓN ESPECÍFICA.

- Se realizó el modelamiento en Civil 3D, con un flujo de trabajo que permita tener siempre disponibles los archivos utilizados. Es decir, se contó con un entorno común de datos o ECD. Lo más importante de realizar el modelo BIM en un ECD, es que de esta manera la información estará disponible en cualquier momento, se

pueden agregar más profesionales al equipo de trabajo, permite una adecuada gestión de los modelos que se generen, porque la disponibilidad de la información tiene que estar garantizada en todo momento, también solo de esta manera cualquier profesional que trabaje con algún dato del proyecto sabrá que no está trabajando con un dato obsoleto, además así se garantiza que el proyecto no está sujeto a una unidad física. Lo que fue de más ayuda para este punto, fue la generación de los Data Shortcuts dentro de Autodesk Civil 3D, porque con ellos el trabajo entre varios profesionales está garantizado. Lo más difícil de generar el ECD, fue la organización de los archivos, deberían de existir iniciativas del País para normalizar este punto, porque todos los profesionales que trabajen con BIM, deberían de clasificar su información de igual manera, y no trabajar con sus propias clasificaciones.

- En este proyecto se Mostró el flujo de trabajo para modelar las obras de drenaje no lineales en Revit. Lo más importante de este objetivo es contar con modelos de las alcantarillas, bajantes, puentes, porque es necesario contar con los modelos para poder extraer información cuando sea necesario. Lo que más ayudó para concretar este objetivo fueron principalmente, la utilización de familias para normalizar los modelos, y la utilización de lenguajes de programación para automatizar las tareas más complejas, porque es importante saber utilizar y crear familias de elemento que nos ayudará en los procesos BIM, con la utilización de los lenguajes de programación el tiempo para generar los modelos se reduce considerablemente. Lo que fue más complejo de realizar para este objetivo fueron las familias porque se realizaron muchas familias tanto para las alcantarillas, puentes, etc. y además estas familias también deberían utilizarse para los modelos BIM más avanzados.
- Pensando en etapas más avanzadas de BIM se Mostraron flujos de trabajo de interoperabilidad entre Revit y Civil 3D. Lo más importante de mostrar los flujos de trabajo entre civil y Revit es garantizar que lo que se modele en Revit se exporte adecuadamente a Civil 3D, porque Civil 3D trabaja con coordenadas globales y Revit trabaja con coordenadas locales, entonces de no resolverse esto los modelos nunca se emplazarían en las coordenadas correctas y por lo tanto los modelos BIM 4D no podrían realizarse de manera integral. Lo que más ayudó para este objetivo

fue trabajar con archivos federados para realizar el enlace, porque al realizar cualquier actualización a los modelos, no se tenía que realizar el modelo nuevamente. Siendo lo más complejo para completar este objetivo lograr representar adecuadamente los modelos que se generen en Revit, porque cuando un objeto en Revit se aleja 16 km del origen se representa de manera errónea, y por lo general esto es lo que sucede con los proyectos de ingeniería vial.

- Se ha automatizado con programación propia el trabajo de emplazamiento de la señalética vertical. Lo más importante de la automatización es que el tiempo en el que se realiza el diseño y emplazado se reduce mucho, dado que el proceso común con CAD lleva bastante tiempo y no brinda las virtudes de un modelo BIM. Lo que más sirvió de ayuda para lograr la automatización fueron los lenguajes de programación, porque con ello se pudo emplazar la señalética en los puntos adecuados. Lo más difícil de lograr la automatización fue el mismo lenguaje de programación, porque se necesitaba un conocimiento avanzado de dicho lenguaje.
- Se realizó la planificación de construcción del proyecto en MS Project. Para lograr una adecuada planificación es necesario tener todos los recursos en el archivo Master, lo que permite ligar la información a la base de datos rápidamente otros recursos que fueran necesarios para el proyecto. Lo más importante de haber realizado la planificación de construcción fue que con dicha información se puede ligar MS Project al modelo BIM 4D, porque de esa manera se puede controlar el modelo desde MS Project. Lo que más ayudó a realizar dicha planificación fue gestionar los recursos del Master a MS Project, porque así se podrían cargar los insumos para cada partida. Lo más complicado al momento de realizar la planificación fue obtener los tiempos de ejecución de dicha partida, porque dicha tarea debía de realizarse lo más rápido posible.
- En el proyecto realizado se ha identificado que es necesario seguir las buenas prácticas para la gestión de los modelos BIM, estas buenas prácticas son: agregar un sistema de clasificación BIM a los modelos, gestionar la calidad de los modelos BIM y la gestión de interferencias, esto ha servido para identificar a tiempo errores e incongruencias de diseño, para que los errores se encuentren en la etapa de diseño y no durante la construcción, las herramientas que nos ayudaron para la gestión de

los modelos BIM fue Navisworks y BIMCollab. Lo más importante de mostrar las buenas prácticas fue resolver la duda ¿cómo se gestiona un proyecto BIM?, porque saber como tienen que gestionarse los modelos BIM es primordial para los profesionales que piensen incursionar en esta metodología. Lo que más ayudó para mostrar las buenas prácticas fueron las plataformas BIM, porque con ellas se pueden revisar los modelos BIM para encontrar errores. Lo que fue más difícil de realizar fue la integración de los modelos realizados en Autodesk Civil 3D en Autodesk Revit, porque estos trabajan con distintas coordenadas, así que esto tuvo que ser resuelto antes.

- Se realizó un Modelo BIM 4D del proyecto, para lograr un modelo BIM 4D adecuado se ha visto que es necesario tener la información estructurada de la siguiente manera: identificadores únicos de los modelos, y una base de datos de la información del proyecto, para obtener esta información se ha recurrido a la programación con Dynamo tanto para Civil 3D como Revit. Lo más importante de realizar un Modelo BIM 4D fue que solo con dicho modelo se pueden estudiar distintos escenarios de construcción, porque es importante reducir los tiempos de construcción y así poder tomar mejores decisiones. Lo que más ayudó a realizar el Modelo BIM 4D fue el lenguaje de programación visual Dynamo tanto para Civil 3d como para Revit, porque solo con la programación se pudo obtener un modelo BIM 4D avanzado, que pudiera ser controlado desde MS Project. Lo que fue más complicado para realizar el modelo BIM 4D fue mostrar de manera visual el movimiento de tierras del proyecto, porque el conocimiento en el lenguaje de programación que se necesitaba era avanzado.
- Se establecieron flujos de trabajo entre Civil 3D y Revit, también se ha podido observar que un trabajo directo entre Revit y Civil 3D no es posible debido a que un programa no puede leer de forma nativa la información del otro programa. Lo que más ayudó para establecer los flujos fue realizar un flujo de trabajo propio compuesto principalmente por la programación Visual o gráfica, porque solo así se garantizó que el flujo de información entre estas dos herramientas sea posible. Lo que fue más complicado de establecer dichos flujos fue el conocimiento en

programación que se necesitó, ya que se necesitaron conocimientos en Dynamo no solo para Civil 3D sino también para Revit.

- Se realizó un modelo de coordinación, para la coordinación de las distintas disciplinas que son parte de un proyecto de carreteras fue necesario establecer el uso de los códigos de clasificación BIM, sin dicho sistema no sería posible realizar una adecuada coordinación. Siendo de mucha ayuda la utilización de los “Property Sets” y los parámetros especiales en Civil 3D y Revit respectivamente, porque con estas herramientas se pudo añadir la información a los modelos BIM que se generaron. Lo más difícil de realizar el modelo de coordinación fue la asignación de los códigos de clasificación, porque estos deben de estar enlazados desde la plantilla de Civil 3D, y a su vez estos deben de estar enlazados desde la plantilla SAC.
- En el presente proyecto se pudo determinar las fortalezas y debilidades de Navisworks para un proyecto vial, estas fortalezas son: permite la gestión rápida de los modelos, puede leer información de otras plataformas, es posible generar un modelo BIM 4D avanzado (solo con programación), es posible actualizar la información para evitar tener que generar un modelo nuevamente. Las debilidades identificadas son: tener que saber programación para realizar un modelo BIM 4D Avanzado, no se puede trabajar con los recursos dentro de Navisworks, no es posible asignar responsables a determinadas áreas de trabajo, el enlazar los modelos con el cronograma por medio de filtros es bastante lento, Navisworks está más enfocado para edificaciones.

14. RECOMENDACIONES.

- Se recomienda nunca participar en un proyecto BIM de ejecución si es que no se tienen conocimientos claros de lo que es la metodología BIM. Esta recomendación está hecha en base a que en realidad muchos profesionales del mundo de la construcción no saben que es la metodología BIM, y la utilizan pensando que podrán aprender durante el curso del proyecto, y la realidad es distinta.
- Se recomienda el uso de un ECD, si bien este proyecto lo realizó una sola persona, el fin de este proyecto es dar los lineamientos para el trabajo interdisciplinario y colaborativo, es

por ello que se realizó un ECD, y su utilidad dentro de la metodología BIM es irrefutable, por la accesibilidad de los datos que genera, además que es un repositorio de información BIM.

- Se recomienda trabajar con una base de datos general del proyecto, es importante contar con una base a la cual realizar consultas cuando sea necesario. Además de que en esta base de datos se encontrará toda la información de los modelos BIM que se elaboraron.
- Se recomienda contar en el equipo de trabajo, con alguien que conozca de lenguajes de programación, automatización de tareas y generación de herramientas. Tener conocimientos en estas áreas fue primordial para concretar el proyecto, con dichos conocimientos se generaron con SAC, plantillas para el corredor, cunetas, etc. Se generó un asistente de diseño geométrico para Autodesk Civil 3D con el lenguaje informático XML en Visual Code Studio, con el lenguaje de programación Visual Basic se programó el diseño geométrico, el diseño de la señalización, con la programación visual por medio de Dynamo para Civil 3D y Revit se redujo bastante el tiempo de modelado de los componentes del proyecto. Esto es evidencia de lo beneficioso que resulta conocer de lenguajes de programación.
- Se recomienda que en el primer trabajo a realizar en un proyecto de ejecución BIM, se realice una reunión de coordinación en la cual se definen los usos BIM, niveles de información BIM, niveles de detalle BIM, para que en el proceso sepamos que se va a modelar y como se va a modelar. En esta reunión se tienen que establecer todos los tipos de modelos que se tendrán, es por ello que la experiencia de los involucrados es determinante al momento de establecer los lineamientos iniciales.
- Es importante tener conocimientos de topografía, formatos de uso, formatos de superficies y principalmente tener conocimientos de procesos de corrección de superficies para detectar oportunamente fallas o incoherencias que pueda haber cometido el encargado de dicho proceso. La topografía se utiliza en toda obra de ingeniería civil sin importar si esta es del tipo de estructuras, vías, sanitarias, etc. Y el ingeniero que la recibirá debe saber cómo debe de utilizarla, debe verificar si se realizaron a estas las correcciones topográficas, porque si se hizo un diseño de cualquier tipo en una superficie que no representa el terreno lo más cercano posible a la realidad, es una pérdida de tiempo, y por lo tanto el diseño

mencionado estaría mal desde el inicio, al igual que las cuantificaciones, y el presupuesto, ya que con el diseño es que se calculan estas.

- Se recomienda verificar las tablas y valores que presenta el manual de diseño geométrico de la ABC, puesto que se han detectado algunos errores en sus fórmulas y el uso de las tablas y gráficos es poco conveniente, es por ello que se recomienda la utilización de las ecuaciones que presenta después de comprobar que estén en lo correcto, y para los gráficos se presentaron en el presente proyecto algunas ecuaciones en lugar de estas gráficas, para automatizar el diseño.
- Se recomienda utilizar un archivo Master con Power Query para poder gestionar toda la información del proyecto. Fue de mucha importancia establecer formatos a los archivos en los que se encuentran los metrados, como se demostró en el acápite correspondiente, sin este tipo de formatos después es imposible gestionar la información en un repositorio de todo el proyecto.
- Se recomienda la utilización de parámetros de enlace para la realización del modelo BIM 4D, la utilización de estos parámetros nos permitió realizar lo siguiente:
 - Identificar cada modelo por separado.
 - Enlazar los modelos BIM con sus respectivas partes en MS Project.
 - Generar un modelo BIM 4D avanzado.
 - Obtener la base de datos BIM 5D.

Como se ve los beneficios de utilizar un simple parámetro son simplemente asombrosos, es por ello que se recomienda su utilización para los modelos que se puedan generar en cualquier proyecto BIM.

- Se recomienda utilizar plataforma BIM para la gestión de los modelos, porque en un proyecto BIM al trabajar con varios profesionales, es común que existan errores en los modelos que se generen y estos deben de ser corregidos oportunamente, la plataforma no solo ayuda a la identificación de los errores, sino también a gestionar su solución.
- Se recomienda que para mostrar el movimiento de tierras dentro del modelo BIM 4D, se identifiquen primero las regiones donde dicha animación será requerida, no es recomendable mostrar esa animación en todo el proyecto, porque realizarla, toma relativamente mucho tiempo, y habrá regiones donde simplemente dicha animación no será requerida.

- Se recomienda trabajar con nomenclaturas para los modelos BIM que se generen, porque dicha nomenclatura ayudará a que los modelos BIM sean fácilmente gestionables, es decir con la nomenclatura ya se podrán realizar búsquedas, filtrados, etc.
- Se recomienda realizar un modelo VR del proyecto, que nos permita entre otras cosas:
 - La exploración del proyecto.
 - Simular la etapa de operación del proyecto.
 - Sirve como base para la socialización del proyecto, en las zonas donde este se construirá.
 - Permite la identificación de algún error que se haya pasado por alto durante las anteriores etapas.



CAPÍTULO V

15. BIBLIOGRAFÍA.

- BIMForum Argentina. es la organización líder en la transformación de los procesos de la arquitectura, ingeniería y construcción para la generación de beneficios económicos, ambientales y sociales que se derivan de la implementación de BIM.
- Zigurat. Es un centro de formación BIM, uno de los más importantes en los países de habla hispana.
- Building Smart International. Es el centro de normalización y estandarización BIM, más importante del mundo.
- EspacioBIM. Es un centro de formación BIM, donde presentan los datos más relevantes de las normas relacionadas con la metodología BIM.
- Autodesk University. Es una iniciativa de Autodesk cuyo fin es mostrar el uso de las herramientas BIM de esta casa.
- BIMForum. LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION.
- Presupuesto & Construcción. Guía de productos y servicios.
- Diseño geométrico de carreteras - James Cárdenas Grisales.
- Manual De Carreteras Vol. 1 - Luis Bañón.
- Manual De Carreteras Vol. 2 - Luis Bañón.
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras ABC VOL 1.
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras ABC VOL 2.
- Manual de Diseño Geométrico de Carreteras ABC VOL 3.
- Manual de Obras Tipo ABC.

16. REFERENCIAS.

AASHTO. (2020). *LRFD BRIDGE DESIGN SPECIFICATIONS.*

Accasoftware. (2022). *Biblus* . Obtenido de Qué son los modelos federados BIM:
<https://biblus.accasoftware.com/es/que-son-los-modelos-federados-bim/#top>

ALBERDI, P. (2012). *Prefabricados ALBERDI.* Obtenido de
<http://www.prefabricadosalberdi.com/alberdi/de/bajantes-de-talud.asp?nombre=2448&cod=2448&sesion=1>

all-origami.ru. (2022). Obtenido de Origami para niños de 10 años: https://all-origami.ru/origami-dlya-detej-10-let/?ggeg_is_embeddable=false

ALLPE. (2021). *ALLPE.* Obtenido de SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA:
<https://www.allpe.com/>

Bolivia, A. (2007). *Manual de Diseño Geométrico ABC Vol 2.*

Bolivia, A. (2007). *Manual de Planos de Obras Tipo.*

Chapter, B. S. (2021). *Manual de Nomenclatura de Documentos al Utilizar BIM Junio.*

Civil, I. (s.f.). *Cueva del Ingeniero Civil.* Obtenido de Alcantarillas (Drenaje Transversal de Carreteras): <https://www.cuevadelcivil.com/2011/03/alcantarillas-puentes.html>

Colomer, S. M. (2 de Noviembre de 2020). *Linkedin.* Obtenido de BIM: Historia rápida:
<https://www.linkedin.com/pulse/bim-historia-rápida-salvador-moret-colomer>

Darós, J. (18 de Septiembre de 2019). *utilizandobim.* Obtenido de ¿Qué es la interoperabilidad?:
<https://utilizandobim.com/blog/interoperabilidad/>

Díaz, M. I. (s.f.). *PUENTES.*

Facultad de Arquitectura. (2022). Obtenido de Facultad de Arquitectura - UMSA:
<http://www.faadu.umsa.bo/wp/noticias/modelado-y-coordinacion-de-proyectos-bim-en-bolivia/>

Grisales, J. C. (2013). *Diseño Geométrico de Carreteras.* Bogotá: Ecoe Ediciones.

- Gruas y Aparejos.** (2021). *Gruas y Aparejos*. Obtenido de <https://www.gruasyaparejos.com/topografia/levantamiento-topografico/>
- GuBIMCat.** (Julio de 2017). *GuBIMClass*. Obtenido de Sistema de Clasificación BIM: http://gubimclass.org/downloads/GuBIMClass%20v.1.2_ES.pdf
- IBNORCA.** (2021). Obtenido de Normas Bolivianas: <https://www.ibnorca.org/tienda/catalogo/sub-categorias>
- Jim Bedrick, F. W.** (2021). LEVEL OF DEVELOPMENT (LOD) SPECIFICATION. *BIM FORUM*.
- Liz, J. T. (2015).** ¿Qué es BIM? *INECO*, 11.
- Luis Bañon Blazquez, J. F.** (s.f.). *Manual de Carreteras 1*.
- Manual de Diseño Geometrico ABC Vol 1. (2007).** Volumen 1 Diseño Geométrico. En A. B. Carreteras. La Paz.
- Smart, B. (2016).** *Building Smart*. Obtenido de ¿Qué es BIM?: <https://www.buildingsmart.es/bim/>
- UPB. (2022).** Obtenido de UPB : <https://www.upb.edu/es/search/node/BIM>
- Woldtech. (2022).** *Woldtech*. Obtenido de SISTEMAS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE PRELOSAS: <https://www.moldtechsl.es/es/actualidad/noticias/sistemas-para-la-construccion-de-prelosas>
- Xinaps. (7 de Abril de 2016).** *Medium.com*. Obtenido de ¿Qué estás haciendo en realidad con BIM?: <https://medium.com/@vabisoftint/what-are-you-actually-doing-with-bim-d367b97412f>

Adalit Juan Aliaga Morales

Z. Villa Cooperativa Av. Periférica #1095, Cel. 76282835,

adal.aliaga77@gmail.com