



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

FACULTAD DE INGENIERÍA

"ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL UTILIZANDO  
MODELO BIM".

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO CIVIL

PRESENTA:  
MAX CHRISTOPHER MURCIO JUAREZ

DIRECTOR DE TESIS:  
TOMAS G. SÁNCHEZ REYES



CIUDAD UNIVERSITARIA, MÉXICO, D.F. MAYO 2013.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS CIVIL Y GEOMÁTICA  
COMITÉ DE TITULACIÓN  
FING/DICyG/SEAC/UTIT/086/12

Señor  
MAX CHRISTOPHER MURCIO JUÁREZ  
Presente

En atención a su solicitud me es grato hacer de su conocimiento el tema que propuso el profesor M.I. TOMÁS GUADALUPE SÁNCHEZ REYES, que aprobó este Comité, para que lo desarrolle usted como tesis de su examen profesional de INGENIERO CIVIL.

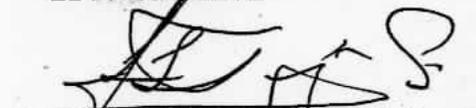
**"ANÁLISIS Y DISEÑO ESTRUCTURAL UTILIZANDO MODELO BIM"**

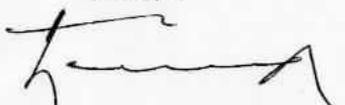
- INTRODUCCIÓN
- I. MODELAJE DE LA ESTRUCTURA
- II. INTRODUCCIÓN DE CARGAS AL MODELO
- III. ANÁLISIS ESTRUCTURAL
- IV. DISEÑO ESTRUCTURAL
- V. INSTALACIONES Y ACABADOS
- VI. PRESENTACIONES
- VII. CONCLUSIONES

Ruego a usted cumplir con la disposición de la Dirección General de la Administración Escolar en el sentido de que se imprima en lugar visible de cada ejemplar de la tesis el Título de ésta.

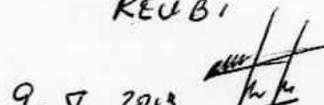
Asimismo le recuerdo que la Ley de Profesiones estipula que deberá prestar servicio social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito para sustentar Examen Profesional.

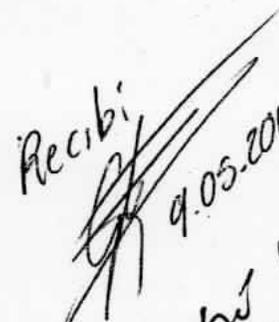
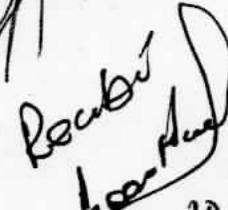
Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"  
Cd. Universitaria a 7 de septiembre del 2012.  
EL PRESIDENTE

  
M.I. JOSÉ LUIS TRIGOS SUÁREZ  
JLTS/MTH\*gar.

Recibi  
  
9/Mayo/2013

Recibi  
  
08/05/2013

REUBI  
  
9-V-2013

Recibi  
  
9.05.2013  
Recibi  
  
Hugo Segura Haab  
09/05/2013



## Contenido

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.....	1
Modelo BIM.....	3
Diseño Conceptual. ....	4
Diseño Detallado (Estructuración). ....	4
Análisis y Diseño Estructural. ....	5
Documentación. ....	6
Fabricación. ....	6
Construcción 4D/5D. ....	7
Logística de Construcción.....	7
Operación y Mantenimiento. ....	8
Renovación.....	8
CAPÍTULO 2. MODELAJE DE LA ESTRUCTURA. ....	10
Introducción: Proceso de Modelaje de un Sistema Estructural.....	10
Modelo Estructural Conceptual. ....	10
Modelaje Computacional de la Estructura.....	11
Elementos Estructurales más Comunes. ....	11
Materiales. ....	16
Condiciones de Apoyo.....	18
Mallado de Elementos Finitos (MEF). ....	19
Aplicación del Modelaje de la Estructura.....	22
Consideraciones Generales. ....	22
Características del Canal. ....	23
Creación del Modelo. ....	24
CAPÍTULO 3. CARGAS. ....	34
Introducción. ....	34
Aplicación de Cargas en Programas de Cómputo. ....	35
Nodales.....	35
En Barras. ....	36
Sobre Superficies.....	39



Gravitacionales de Peso Propio.....	42
Inerciales de Masa.....	42
Cargas Especiales.....	44
Combinaciones de Cargas. ....	47
Aplicación de Cargas al Modelo .....	48
Cargas. ....	48
Combinaciones. ....	49
Introducción de Cargas al Modelo. ....	50
<b>CAPÍTULO 4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.....</b>	<b>55</b>
Introducción. ....	55
Tipos de Análisis. ....	56
Análisis Estático. ....	56
Análisis Dinámicos.....	58
Análisis Modal. ....	59
Análisis Armónico.....	59
Análisis Espectral.....	60
Análisis Sísmico. ....	61
Análisis Paso a Paso.....	61
Análisis Pushover.....	62
Análisis Elasto-plástico de las Barras.....	63
Análisis Footfall. ....	63
Aplicación al Modelo BIM. ....	64
<b>CAPÍTULO 5. DISEÑO ESTRUCTURAL.....</b>	<b>76</b>
Módulos de Diseño. ....	76
Modulo Acero/Aluminio.....	77
Modulo Madera. ....	80
Módulo de Concreto Reforzado.....	80
Reglamento Estructural para Diseño de Edificaciones.....	82
Aplicación al Modelo.....	83
Creación del Armado Tridimensional en el Modelo de Información para la Edificación.....	97
<b>CAPÍTULO 6. INSTALACIONES Y ACABADOS.....</b>	<b>112</b>



Aplicación al Modelo.....	112
Entorno. (Diseño del Sitio) .....	114
Instalaciones.....	121
CAPÍTULO 7. PRESENTACIONES.....	128
Planos. ....	128
Tablas. - Informes.....	128
Videos.....	128
Imágenes fotorealistas. ....	128
BIM. ....	129
Digitalización. ....	129
Aplicación al Modelo.....	129
Planos. ....	129
Dibujo de Detalles. ....	136
Vistas 3D.....	138
Imágenes Fotorealistas. ....	139
Listas, Tablas y Cuantificaciones. ....	143
Recorridos Virtuales. ....	144
Exportación. ....	146
CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES. ....	150
ANEXO. ....	152
PLANOS.....	168
BIBLIOGRAFÍA:.....	178



## CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN.

En la actualidad el empleo de las computadoras y el software especializado se han vuelto esencial en las áreas de ingeniería civil, debido a la capacidad que ofrecen al ingeniero de potencializar su trabajo, reduciendo también los tiempos de ejecución de los mismos. Baste mencionar, para ilustrar esto, algunos de los muchos ejemplos en los que el empleo de estas herramientas se ha vuelto parte de su laborar diario, como en el caso de crear escritos en editores de texto, realizar operaciones matriciales en hojas de cálculo, elaborar memorias de cálculo en una combinación de las dos herramientas anteriores, crear dibujos de planos en formato CAD y realizar múltiples cálculos con programas especializados, que para el ingeniero civil estructurista representa realizar el análisis y diseño de edificaciones, como veremos en el desarrollo de este trabajo.

El análisis y diseño estructural ha ido evolucionando al pasar del tiempo, mediante el desarrollo de métodos y herramientas de cálculo cada día más sofisticadas y precisas, que junto con los dispositivos digitales, llevan a cabo la operación de resolver sistemas con una gran número de ecuaciones, dando la oportunidad de conocer el comportamiento estructural de las edificaciones, sin las grandes simplificaciones requeridas para su solución de manera manual, que implicaba un cálculo conservador y por ende más robusto que el necesario.

Hoy en día existen muchos programas que están disponibles en forma de software comercial y software libre, los cuales están especializados en el análisis y diseño estructural de edificaciones, contándose entonces con una gran gama disponible, con aplicaciones que pueden ir desde estructuras con formas tridimensionales muy complejas donde se pueden ocupar diferentes elementos estructurales y materiales, hasta modelos de vigas simples bidimensionales.

El uso de la paquetería especializada depende de la complejidad de la estructura a modelar y de la potencialidad y capacidad del programa a usar, sin embargo es conveniente señalar, que la mayoría del software libre tiene limitaciones que en ocasiones inhibe su uso a problemas específicos de baja complejidad. De forma comercial existe también una gran variedad de paquetes para análisis y diseño estructural, entre los cuales se pueden mencionar como los más utilizados profesionalmente, el SAP2000, ETABS y STAAD Pro, que son programas con una gran aplicación en múltiples tipos de estructuras 2D y 3D, teniendo la posibilidad de manejar diferentes materiales como concreto, acero, aluminio, madera, además de que pueden manejar varios tipos de análisis, según sea el caso o la precisión requerida de los cálculos, así como manejar códigos de construcción de diferentes países para diseñar los elementos estructurales, etc., por lo que todas estas capacidades los hace tener gran aceptación entre la comunidad de ingenieros estructuristas.



Estos tipos de programas por si solos, ofrecen las herramientas necesarias, que los hacen tener un gran capacidad para realizar el análisis y diseño de las estructuras, pero se puede decir que éstos actúan como entes aislados dentro de un proceso más global como requiere el desarrollo de un proyecto completo, que implica una participación multidisciplinaria de especialidades que incluye además de la ingeniería estructural, la electromecánica para instalaciones, la hidráulica sanitaria para agua y drenaje y la arquitectura para acabados, adicionalmente a la de construcción, supervisión y seguimiento durante el proceso de construcción, montaje y puesta en operación de los equipos e instalaciones de la edificación. En los paquetes de análisis y diseño tradicionales la entrada de datos para el análisis estructural y la salida de resultados del diseño estructural requieren de un trabajo adicional “manual”(no automatizado), que a menudo provoca inconsistencias en los productos finales del diseño, como son los planos para construcción. Como ejemplo de lo citado se señala, que la información necesaria para el análisis proviene de notas arquitectónicas, planos, especificaciones en bosquejos, que son plasmados en el modelo estructural analítico que es creado a partir de un plano o croquis, el cual, posteriormente con la información de salida, representa el diseño de la estructura, que en caso de que se trate de un armado de un elemento de concreto reforzado, se hace en forma de notas o croquis para crear posteriormente los planos estructurales y al realizar esta acción, si se presentan modificaciones al proyecto, este intercambio de información de los datos de inicio a los resultados, puede crear complicaciones, como falta de consistencia en detalles, errores en planos y con ello retrabajos de corrección, entre otros, que son inevitables en la mayoría de los casos.

Actualmente, para evitar las inconsistencias en los planos e información de un proyecto, en el cual existe siempre una participación de grupos multidisciplinarios, se han venido desarrollando plataformas de manejo de información, en las cuales se genera, para un proyecto, un solo modelo en el cual los grupos multidisciplinarios de especialidades vacían y manejan la información, de tal manera que cualquier cambio autorizado por el responsable del proyecto, se refleja de manera automática e inmediata en la información de todos los usuarios de la plataforma, evitando con esto las inconsistencias en información intergrupala y evitando retrabajos innecesarios. Este proceso como solución y mejoramiento a los sistemas tradicionales en el proceso de diseño, construcción y operación de un proyecto de edificación, surge con el nombre de metodología BIM.

## Modelo BIM.

Esta generación de modelo es nombrada así por su acrónimo en inglés "Building Information Model", que en español es conocida como "Modelado de Información para la Edificación".

Esta metodología de modelaje está conformada por herramientas, procesos y tecnologías, para llevar a cabo un proyecto integral de edificación, desde su concepción hasta el final de su vida útil, coordinando el ambiente multidisciplinario, donde participan inversionistas, propietarios, arquitectos, ingenieros estructurales, ingenieros de instalaciones, ingenieros de obra, fabricantes, gestores y en general, todos aquellos involucrados que tienen que ver con el diseño, construcción y operación del proyecto. Esta coordinación se logra mediante una plataforma tecnológica que integra varios programas de software especializados, trabajando en conjunto sobre una única base de información, lo cual permite tener un intercambio de datos en tiempo real de manera coherente, precisa y completa, mejorando así aspectos como son la eficiencia y efectividad.

BIM va más allá de solo un modelo geométrico en 3D, es una representación digital de las características físicas y funcionales del proyecto, e integra el tiempo como una cuarta dimensión y el costo como una quinta.

El esquema BIM, genéricamente, se muestra en la ilustración 1.1 y se describe brevemente a continuación.

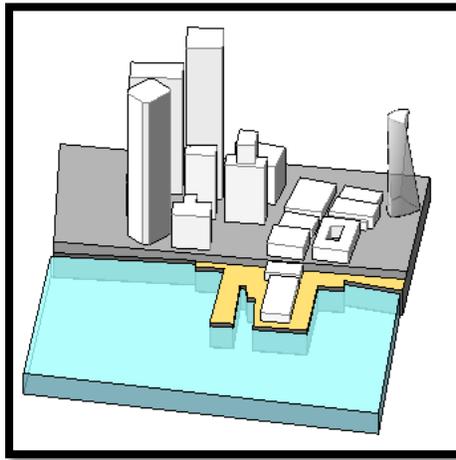


Ilustración 1.1. El esquema BIM, representa la interacción y los sectores involucrados en la edificación.

La metodología del modelaje BIM, contempla los pasos siguientes:

### **Diseño Conceptual.**

El proceso BIM se inicia en la fase conceptual, donde se modelan las propuestas sobre la concepción que se tiene sobre la infraestructura futura, generalmente se concibe junto con los propietarios o directivos para desarrollar la idea del proyecto en base a sus necesidades y estudios, se observan espacios, áreas, formas y entorno. Este tipo de modelos ayudan en la toma de decisiones ya que es una gran herramienta visual, al mismo momento que la idea del proyecto comienza a tener una base, puesto que este modelo 3D, se convierte en información sobre la cual se trabajará en fases posteriores.



**Ilustración 1.2. Ejemplo de diseño conceptual.**

### **Diseño Detallado (Estructuración).**

Teniendo como base el bosquejo del modelo 3D, en esta etapa, se definen de forma más precisa las dimensiones de la edificación, se especifican materiales, en sí, se define la arquitectura del proyecto conforme a las normas establecidas, se da el predimensionamiento estructural y se definen las instalaciones electromecánicas. El modelo tridimensional ya no es solo información geométrica, puesto que el modelo, no está compuesto solo por líneas como usualmente es en los sistemas tradicionales, en este caso son elementos estructurales como losas, columnas, vigas, muros, paneles, cimentaciones, etc. El modelo ahora contiene también información sobre los materiales, el tipo de función, propiedades, dimensiones, clasificación, con estas características a este nivel, se pueden realizar estimados someros sobre volúmenes, costos, tiempos de ejecución. De este modelo puede obtenerse una visualización más detallada de la edificación, tener una idea más clara de los espacios, en sí, una visión real de lo será el proyecto, y en caso necesario realizar las modificaciones pertinentes.

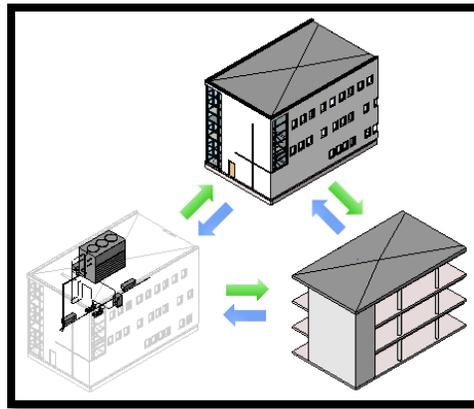


Ilustración 1.3. Arquitectura, predimensionamiento e instalaciones.

### **Análisis y Diseño Estructural.**

En esta parte del proceso, se parte de la información recabada en el modelo de diseño detallado (predimensionado), para que a partir de esto se incorporen los aspectos relacionados con la idealización del comportamiento estructural de la edificación, se consideran las acciones y sus combinaciones a las que se someterá la estructura en base a su probabilidad de ocurrencia, tomando en cuenta también el tipo de análisis aplicable a cada caso particular, para con ello determinar elementos mecánicos, esfuerzos y deformaciones que son la base para el diseño estructural, realizando en su caso las modificaciones necesarias al modelo, para obtener una estructura óptima, que cumpla con los parámetros de funcionalidad, seguridad y economía requeridos, teniendo en cuenta siempre, la reglamentación de acuerdo al lugar y a las especificaciones del proyecto. En esta parte del proceso BIM, se realimenta el modelo general para efectuar en él sus modificaciones pertinentes, resultado del análisis y diseño estructural, que finalmente redundará en la definición de secciones transversales definitivas de elementos de concreto, sus armados de refuerzo, perfiles estructurales metálicos, etc. Posteriormente, en esta misma etapa, se incorporan los sistemas mecánicos, eléctricos y de saneamiento, agregando también los detalles arquitectónicos y de acabados, para tener por último la revisión de posibles obstrucciones en intersecciones de la estructura con las instalaciones y completar el modelo.

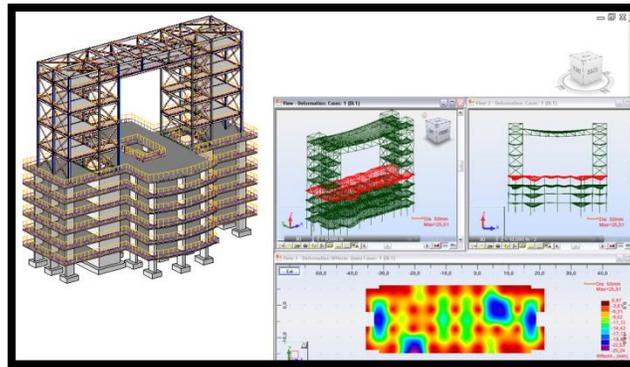


Ilustración 1.4. Análisis y diseño estructural.

### Documentación.

En el proceso BIM se contempla la generación de la información de salida que se obtiene del modelo de información para la edificación, la cual se obtiene de manera instantánea y coordinada, puesto que toda la información viene de una sola fuente, siendo su manipulación muy sencilla, pudiendo de ella obtener planos, especificaciones para fabricantes, cuantificación de obra, programa de obra, plan de secuencia de montaje, paseos virtuales realistas, diseño de maquetas e informes sobre los cálculos realizados y en sí, todo lo necesario para la correcta ejecución coordinada del proyecto.

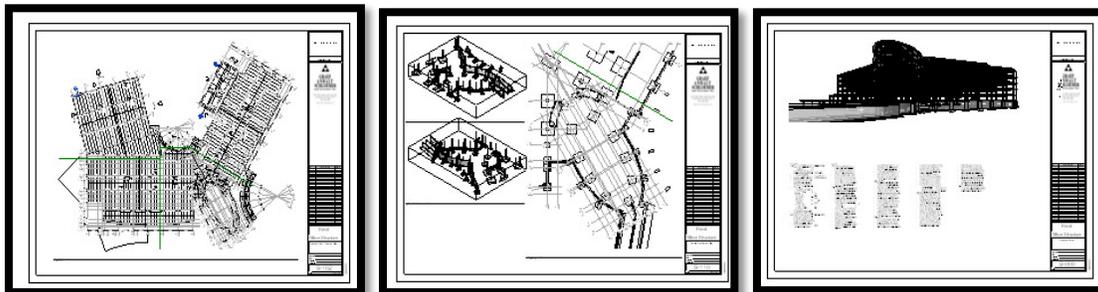


Ilustración 1.5. Documentación.

### Fabricación.

En el proceso BIM, la documentación generada permite la prefabricación de muchas piezas de la edificación. Esto es posible al tener en cuenta que con esta plataforma se pueden evitar conflictos en la construcción, ya que el modelo maneja un carácter de contemplación real, corrigiendo a tiempo posibles interferencias, ya sea físicas, como temporales, con lo cual se puede crear un plan de pedidos de fabricación, minimizando desperdicios y posibles atrasos en entregas.

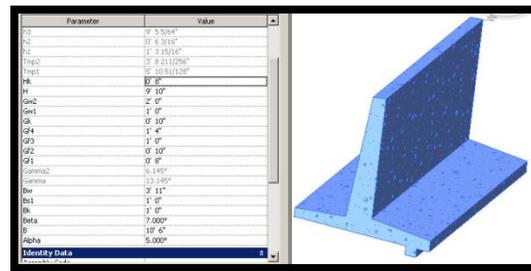


Ilustración 1.6. Prefabricado.

### Construcción 4D/5D.

El concepto 4D y 5D se refieren a la introducción de los factores tiempo y costo, que al tener toda la información disponible, permite crear una simulación de construcción conforme a una ruta crítica, visualizando el proceso de construcción y con ello también ir conociendo cual es la cantidad de insumos o recursos necesarios a aplicar en cada momento, con lo cual se puede establecer un plan de financiamiento adecuado con el tiempo y avance de la construcción, con el fin de evitar contratiempos, costos extras, o falta de capital.

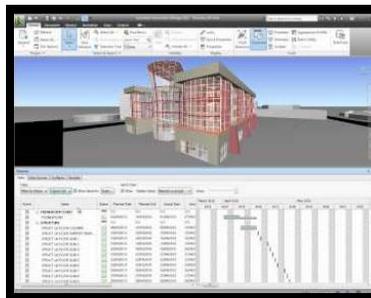


Ilustración 1.7. Construcción 4D

### Logística de Construcción.

Utilizando también la metodología BIM, es posible llevar un control de la planeación y seguimiento de la construcción, para que la obra se mantenga dentro de los tiempos requeridos, los montos presupuestados y con la calidad necesaria, así como el control de entrega de insumos, la disposición adecuada de los frentes de trabajo, para que con todo ello se pueda obtener un flujo constante y ordenado de trabajo.

Al disponerse de esta información en el modelo, se puede conocer en todo momento cual es el estado de la obra, su avance, la ubicación de la maquinaria y equipos especiales, cuales son los estados de los pedidos y en sí, llevar el control de la obra en tiempo y costo, conociendo todos los factores que inciden en ella, con el fin de evitar conflictos o sorpresas.

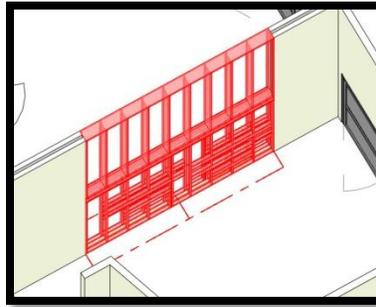


Ilustración 1.8. Ubicación de elementos.

### Operación y Mantenimiento.

De acuerdo con el uso o servicio para el cual fue diseñada la edificación, a partir de la información disponible en el modelo BIM, se puede supervisar su correcto funcionamiento y mantener en óptimas condiciones los edificios, las estructuras, las obras de ingeniería civil, los equipos y la maquinaria de plantas industriales. Lo anterior proporcionando el mantenimiento apropiado, para asegurar una disponibilidad total de las instalaciones, reducir los costos por averías, disminuir el gasto por nuevos equipos, así como maximizar su vida. Al contener esta información en el modelo, se podrá tener un programa detallado de operación y mantenimiento, que nos permita llevar a cabo esta función de la mejor manera, así como tener identificados y monitoreados, los puntos delicados para operación, en donde se tendría que poner especial atención.

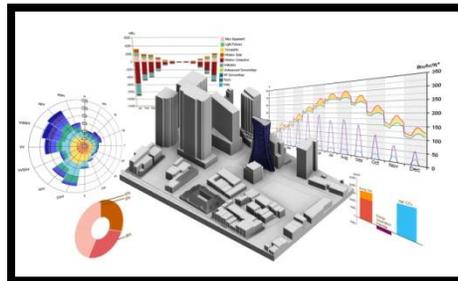


Ilustración 1.9. Operación y mantenimiento.

### Renovación.

Al pasar del tiempo, algunas necesidades de la edificación pueden cambiar, sin haber agotado aun su vida útil, debido tal vez a una ampliación, a un cambio de maquinaria, aplicación de nuevas tecnologías, etc. Con la aplicación del modelo BIM, el estado de la infraestructura se conoce en todo momento, dado que toda esta información se tiene en el modelo de información, lo cual permite proyectar cualquier modificación de una manera expedita, integrando un nuevo proyecto en un modelo donde se retomarán las fases de diseño, construcción y operación.



**Ilustración 1.10. Ampliación.**

Estas fases de modelaje BIM deben tener una secuencia lógica, pero no necesariamente introducidas al modelo en una forma rígida, dado que la metodología BIM al tener un modelo central, puede adquirir o aportar información en cualquier momento a lo largo de la vida del proyecto, con lo cual ofrece gran flexibilidad y dinamismo para modificaciones al proyecto.

Como se mencionó anteriormente la plataforma tecnológica sobre la cual trabaja BIM, es un conjunto de programas de software que interactúan entre sí. De forma comercial existen varios proveedores que ofrecen esta plataforma, como son Autodesk, Bentley, Tekla, Digital Project, Structure Works, entre otros.

La exposición de esta tecnología de modelaje, en esta tesis, se restringirá hasta la fase de diseño estructural y se ejemplificará su uso mediante la utilización de la plataforma comercial de Autodesk.

En el presente trabajo, por tanto, se mostrará el proceso innovador BIM, diseñando un canal de entrada de una estructura de control, en un proyecto hidráulico, cuya geometría fue determinada mediante el estudio de su funcionalidad hidráulica.

El enfoque principal se dará a los conceptos involucrados en el modelado, análisis y diseño estructural, así como la salida y presentación de la información, sin referirse a los métodos y programas de construcción y operación.



## CAPÍTULO 2. MODELAJE DE LA ESTRUCTURA.

### **Introducción: Proceso de Modelaje de un Sistema Estructural.**

El fin que tiene la edificación de una estructura es satisfacer una necesidad social, la cual puede ser tan diversa, como crear vías de comunicación, proveer casas habitación, edificios de oficinas y comercios, instalaciones industriales, etc., que redundan siempre en la creación de la infraestructura de un país.

Ahora bien, para satisfacer las necesidades específicas que pueden tener las edificaciones como pueden ser casas, edificios de oficinas, escuelas, almacenes, hospitales, puentes, caminos, presas, puertos, aeropuertos, industria, etc., se debe elegir entre las diversas formas, materiales y sistemas estructurales que pudieran emplearse, aquellas que se adapten de mejor manera a la naturaleza y destino de la edificación, como ejemplo podemos citar un puente que busca librar un claro determinado, en un sitio particular con las condiciones existentes de topografía y geología, cubriendo una función específica, como puede ser paso para peatones, vehículos, acueductos u otros, lo cual debe tomarse en consideración para la selección de la geometría y sistema estructural que se seleccione.

En la concepción de la edificación, al seleccionar el material, sistema y forma estructural a emplear, hay que tener en cuenta, adicionalmente a los aspectos de resistencia y funcionalidad, aspectos de la economía, el tiempo de construcción, el medio ambiente y la constructibilidad. En la economía, se tiene que considerar, por tanto, a la hora de plantear el sistema estructural del proyecto, que éste responda a la funcionalidad y seguridad al menor costo posible, tomando en cuenta para esto, aspectos tales como el tiempo de construcción requerido para la entrada en operación de la obra, las condiciones climatológicas del sitio, que puedan implicar costos importantes adicionales por requerimientos de mantenimiento de la estructura durante la vida útil de la misma, así como la complejidad y costo de los sistemas constructivos planteados para el desarrollo de la obra, incluyendo ubicación de obras temporales de construcción, como son los necesarios para plantas de concreto, trituradoras de materiales, bancos de almacenamiento de agregados, los accesos de construcción, accesos a bancos de materiales y accesos definitivos entre otros.

### **Modelo Estructural Conceptual.**

De acuerdo con lo antes señalado, una vez que se ha conceptualizado la edificación, con una forma geométrica general del proyecto, tomando en cuenta sus consideraciones estéticas, espaciales y de orientación, habiendo elegido el arreglo de elementos estructurales para conformar el sistema estructural principal que regirá a la edificación y su comportamiento, se dispone del modelo estructural conceptual del proyecto. El sistema estructural, por su comportamiento mecánico estructural, puede incluir elementos que trabajen a tensión o compresión simple, elementos que trabajan a flexión, a cortante, a torsión o una combinación de



estos. Dependiendo del trabajo estructural de la edificación se buscará la alternativa de estructuración que mejor satisfaga los requerimientos del trabajo a la cual se verá sometida.

En resumen, las características mecánicas estructurales más importantes con que debe cumplir el sistema estructural asignado a una edificación son: resistencia, rigidez y ductilidad. Esto con el fin de que la elección de la configuración de los elementos del sistema estructural resista las diversas condiciones de cargas que se presenten, tenga la rigidez suficiente en las direcciones en que estas actúan como pueden ser tanto horizontales como verticales, para cumplir con límites de servicio y que a la falla la estructura presente ductilidad en su conjunto, para evitar que se presente un colapso brusco.

Para tener un modelo estructural conceptual completo se requiere definir el predimensionamiento de los elementos del sistema estructural adoptado con el material seleccionado, para disponer de las primeras dimensiones de los elementos estructurales, los cuales nos servirán de base, para llevar a cabo el proceso de análisis y diseño estructural, y de este proceso iterativo, determinar mediante cálculos, las secciones definitivas que resistan satisfactoriamente los esfuerzos inducidos por las acciones y cumplan con los límites de servicio establecidos para estructura. Muchas veces el predimensionamiento se hace en base a la experiencia que adquiere el ingeniero a través del tiempo, pero cuando se carece de ella, existen algunas sugerencias generales de algunos criterios de diseño sencillos, que pueden servir de apoyo para realizar el dimensionado previo.

### **Modelaje Computacional de la Estructura.**

Para representar el modelo conceptual de la estructura en la plataforma BIM, se procede a seleccionar las herramientas computacionales a aplicar, las cuales incluyen los elementos estructurales disponibles, sus propiedades dimensionales y físicas, incluyendo la discretización utilizada para los elementos por medio de definiciones de mallas, las condiciones de apoyo, las propiedades mecánicas de los materiales asignados, las cargas a introducir y sus combinaciones.

De acuerdo con lo señalado, a continuación se menciona de manera genérica la descripción de la potencialidad y variedad de las herramientas disponibles para la realización del modelaje computacional de los elementos estructurales, dejando para el siguiente capítulo la discusión del modelaje de las acciones a aplicar.

### **Elementos Estructurales más Comunes.**

De acuerdo con su comportamiento mecánico, los elementos estructurales disponibles para modelar el sistema estructural en la mayoría de los programas de cómputo disponibles se pueden agrupar en los elementos siguientes, cuyas características principales se describen de manera genérica:

Cable.- Solo soporta las cargas por esfuerzos de tensión a lo largo del elemento, no posee rigidez para soportar esfuerzos de flexión, compresión o cortantes, la forma que adopta depende de las cargas que le son aplicadas, de polígono funicular si son cargas concentradas, de parábola cuando es sometido a una carga distribuida, y de catenaria que es la forma que adopta para la influencia de su propio peso.

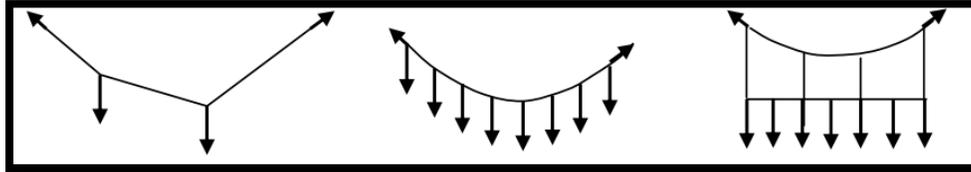


Ilustración 2.11. Formas adoptadas por los cables debido a las cargas.

Arco.- Sus esfuerzos principales son a compresión, su comportamiento es similar a un cable invertido, aunque este puede poseer rigidez adicional, para resistencia a flexión y cortante.

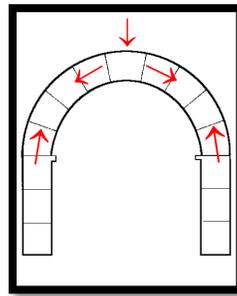


Ilustración 2.12. Arco en compresión.

Columna.- Es un elemento estructural comúnmente vertical que soporta y transmite las cargas de la edificación, principalmente sus esfuerzos son axiales de compresión, aunque también pueden ser sometidas a tensión, flexión y cortante con lo cual presenta una combinación de los esfuerzos llamada de flexocompresión o flexotensión. Su resistencia puede verse afectada por efectos de su geometría, donde se relacionan sus dimensiones transversales con la dimensión longitudinal, a esto se le denomina esbeltez, la cual debe tenerse en cuenta ya que su forma de falla depende de este efecto. Se le denomina columna corta cuando su falla es por aplastamiento y se presenta en columnas que no son esbeltas, la falla por pandeo se presenta en columnas largas donde se caracteriza por presentar una esbeltez mayor, por último se le denomina columna intermedia cuando se presenta una combinación de falla por esbeltez y pandeo.

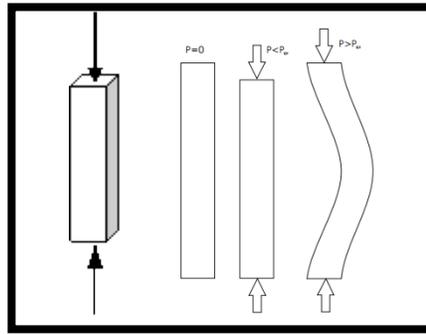


Ilustración 2.13. Columna con carga axial y efectos de esbeltez.

Viga.- Su geometría es parecida a la columna donde dos de sus dimensiones son menores a comparación de la tercera, pero en este caso las cargas actúan en sentido perpendicular a su dimensión más grande. El elemento es sometido principalmente a esfuerzos internos de flexión y cortante. Su resistencia depende principalmente de su sección transversal, que determina su área e inercia, la flexión es afectada directamente por la inercia, y el cortante indirectamente por el área. Los claros que puede librar dependen también de su sección transversal y del material de la viga.

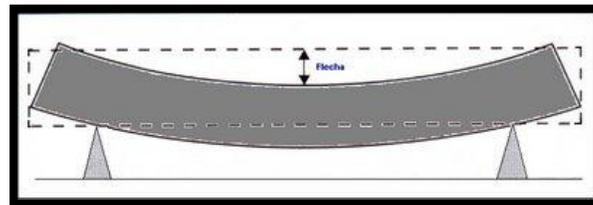
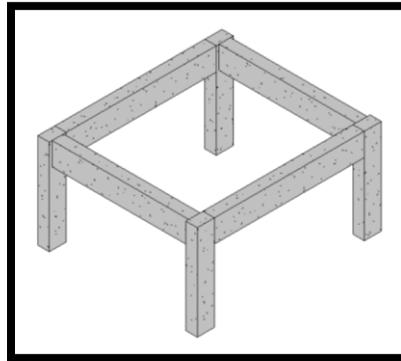


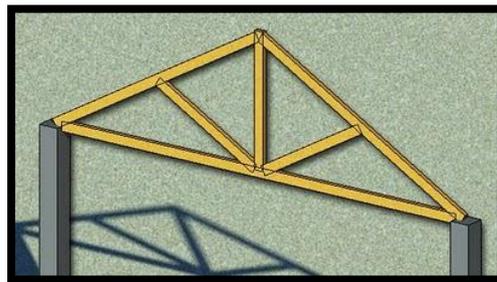
Ilustración 2.14. Viga con carga uniformemente distribuida.

Marcos.- Es un sistema formado por la combinación de elementos viga y columna, su estabilidad está determinada por la rigidez de sus uniones, ya que de ello depende la transferencia de los momentos flexionantes entre sus miembros. Bajo acciones verticales, los elementos del marco son sometidos a esfuerzos de compresión y flexión, donde los primeros predominan en las columnas y los segundos en las vigas, considerando proporciones usuales. Los marcos pueden ser planos o espaciales, una serie de estos marcos, paralelos entre sí y unidos por vigas horizontales, constituye la estructura tipo esqueleto que encontramos hoy en la mayoría de los edificios de acero o de concreto armado, donde las columnas pueden considerarse parte de dos marcos perpendiculares entre sí.



**Ilustración 2.15. Marco tridimensional.**

Armaduras.- Es un sistema estructural compuesto por elementos barra unidos en sus extremos con articulaciones para formar un armazón, a estas uniones se les denomina nodos. Sus elementos lineales son sometidos por tanto solo a esfuerzos axiales, ya sea en compresión o tensión. Las cargas se aplican en sus nudos. La armadura es uno de los principales tipos de estructuras empleados en ingeniería, ya que proporciona una solución práctica y económica debido a su ligereza del peso y gran resistencia.



**Ilustración 2.16. Armadura estructural.**

Losa o placa horizontal.- es un elemento estructural monolítico plano con un espesor relativamente pequeño con respecto a sus otras dos dimensiones, transmiten las acciones recibidas sobre su plano, hacia los apoyos en una o dos direcciones. Sus esfuerzos principales son de flexión. Su resistencia a la flexión es parecido a una viga, solo que en dos dimensiones.

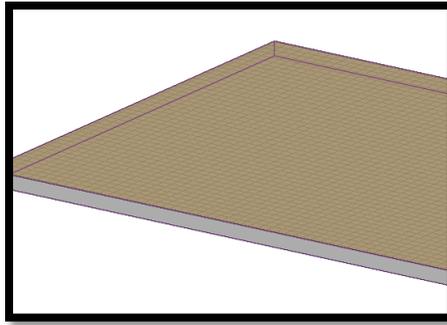


Ilustración 2.17. Losa estructural.

Muros.- Es una placa vertical, donde dos de sus dimensiones son más grandes que la tercera. Hay varios tipos de muros que se diferencian por las acciones a las que son sometidos, y al comportamiento estructural que presentan.

Muro de carga.- Predominan las cargas verticales distribuidas en su longitud, por lo cual sus esfuerzos principales son a compresión, pero debido a su poco espesor es susceptible a momentos flexionantes debidos a excentricidades, lo que reducen su resistencia. Este elemento puede también ser afectado por efectos de esbeltez.

Muro panel.- Sujeto a cargas laterales, aprovecha su gran peralte que ofrece gran rigidez a este tipo de acciones limitando las deflexiones horizontales.

Muro diafragma.- Es un muro albergado en un marco, rigidizándolo ante cargas aplicadas sobre su plano, sus esfuerzos son principalmente cortantes en el plano, actúa semejante a barras diagonales de arriostamiento.

Muro con cargas normales a su plano.- su comportamiento es como el de una losa, sus esfuerzos principales son de flexión. Usualmente utilizados en tanques, depósitos y muros de contención.

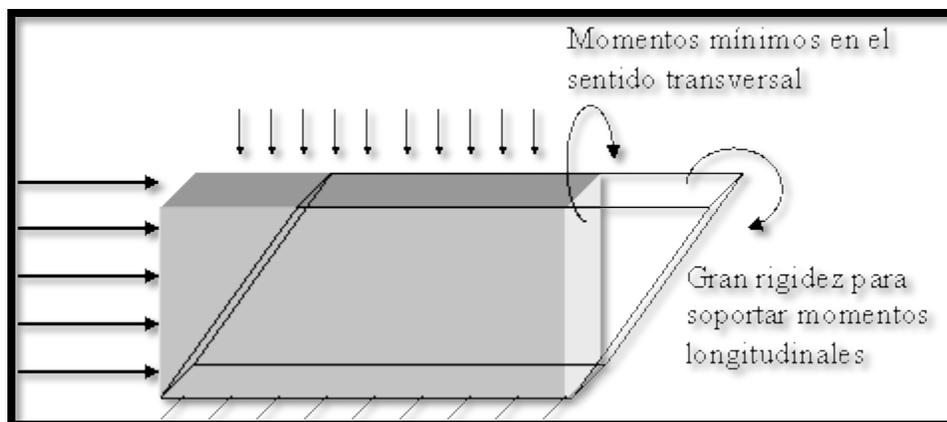


Ilustración 2.18. Muro bajo diversas acciones que definen su comportamiento.

Una placa que actúa como viga con flexión en su plano se denomina ménsula. La diferencia con respecto a una viga normal es que tiene, una baja relación claro-peralte (menor de cuatro), por lo que las deformaciones de cortante predominan sobre las de flexión y la hipótesis de secciones planas no se cumple. Se trata de elementos de alta rigidez que se emplean especialmente cuando es necesario transferir grandes cargas concentradas de una a otra posición, como en el caso de los soportes de grúas sobre traveses de carril en edificaciones industriales. Además de los problemas de flexión y cortante, los de pandeo pueden regir su diseño.

Cascarón.- Es un elemento estructural tipo placa curva de espesor delgado, que puede trabajar en sus dos direcciones con esfuerzos que pueden ser de compresión, tensión, de cortante, torsión y de flexión, estos se presentan dependiendo de su comportamiento, que está determinado por la forma que tenga el elemento y las acciones que soporta. Algunos cascarones usuales pueden ser las cúpulas, bóvedas cilíndricas, paraboloides hiperbólicos, entre otros.



Ilustración 2.19. Estructuras tipo cascarón.

### **Materiales.**

Al plantear el modelo de la estructuración es muy importante la selección del material a emplear en el proyecto, se debe elegir junto con el sistema estructural puesto que los sistemas estructurales tienen asociado el comportamiento del material utilizado. El material define la resistencia, la flexibilidad, la durabilidad entre otras características de la estructura. Conocer las propiedades de los materiales nos permite realizar un análisis más preciso, el cual simule el comportamiento real de la estructura ante sus solicitaciones. Para la selección adecuada del material se deben tener en cuenta sus propiedades mecánicas para satisfacer los requerimientos de seguridad, economía y funcionalidad de la estructura. A continuación se enuncian algunas de las características mecánicas, físicas y de producción a evaluar para la selección del material más adecuado a utilizar.

- Resistencia.
- Rigidez.
- Dureza.
- Fatiga (Tipo de falla).



- Homogeneidad.
- Densidad.
- Resistencia al fuego.
- Expansión térmica.
- Durabilidad.
- Apariencia.
- Disponibilidad.
- Manejo del material (si requiere mano de obra especializada).

Dentro de los materiales que más frecuentemente se aplican en la construcción de obras de ingeniería civil, se pueden mencionar los siguientes:

Concreto simple.

Es una mezcla de cemento (o aglomerante), agua, agregados (arena y grava) y aditivos. Puede adoptar muchas formas debido a que se trabaja en estado líquido. Su principal característica es que resiste muy bien los esfuerzos de compresión, pero no presenta buen comportamiento bajo tensión, cortante o flexión. Es un material de bajo costo, resistente a la humedad, fuego, desgastes y de gran durabilidad.

Acero.

Su uso es muy amplio en las edificaciones, es un material muy versátil en las estructuras, tiene una gran variedad de formas y tipos. Tiene una gran resistencia a los esfuerzos de tensión y compresión y es muy confiable en cuanto su uniformidad en calidad. En sí, tiene muy buen comportamiento en las estructuras, en general posee algunas desventajas que limitan su uso, como es su elevado costo, propenso a la corrosión, rápida absorción de calor. Desde el punto de vista de trabajo estructural, debe revisarse la posibilidad de pandeo, cuando las piezas se encuentran sometidas a compresión, por carga axial o por flexión.

Concreto reforzado.

Es el material más utilizado en la construcción, ya que utiliza las bondades estructurales del concreto y el acero. Aprovecha en forma muy eficiente las características de buena resistencia en compresión, durabilidad, resistencia al fuego y moldeabilidad del concreto, junto con las de alta resistencia en tensión y ductilidad del acero, para formar un material compuesto, que reúne muchas de las ventajas de ambos materiales. Manejando de manera adecuada la posición y cuantía del refuerzo, se puede lograr un comportamiento dúctil en elementos sujetos a flexión, cortante y carga axial.



Mampostería.

Ladrillos, bloques de concreto, piedras unidas por medio de cementante. Permite un ahorro en costos y tiempos de ejecución, además de tener una apariencia agradable o estética. Es utilizado en muros que deben soportar cargas verticales y horizontales, y como muros diafragma.

Madera.

Su uso como material estructural es poco común en nuestro país, es un material natural de poco peso. Tiene una resistencia a tensión superior a la de compresión. Es susceptible a cambios en la humedad y ataque de insectos, aunque estas desventajas pueden ser tratadas con medios adecuados de preservación del material.

### **Condiciones de Apoyo.**

El modelaje de los apoyos o soportes debe buscar simular las condiciones reales sobre las cuales se sustentará la estructura. Por medio de los soportes se transmiten las acciones de la superestructura a la cimentación o el suelo sobre el cual descansa esta, para proporcionar la estabilidad requerida en la edificación. Los tipos de modelos de apoyos más utilizados se proporcionan por los grados de libertad restringidos. Los grados de libertad son seis en el espacio y permiten movimiento de rotación o traslación. Se debe comprender su comportamiento y cómo influyen en la estructura para poder elegir el más adecuado a aplicar en el análisis. Estos apoyos van desde el empotramiento que restringe los seis grados de libertad, por lo cual no permite giros ni desplazamientos, hasta apoyos que solo restringen un grado de libertad como el apoyo simple.

También se cuenta con otras condiciones de apoyo como lo es el flexible, que actúa como un resorte donde la fuerza de reacción es proporcional a la deformación lineal o angular. Este tipo de apoyo puede simular el proporcionado por un suelo, considerando también que un suelo es un material que no soporta esfuerzos a tensión por lo cual, al presentarse estos esfuerzos, la contribución del resorte debe eliminarse y con ello redistribuir cargas, con lo que se presenta una condición de comportamiento no lineal en el sistema estructural.

En los programas actuales de análisis se presentan también opciones para realizar simulaciones de interacción suelo estructura en las cimentaciones, considerando la estratigrafía y propiedades inherentes a esta en los suelos que subyacen a la cimentación de las edificaciones.

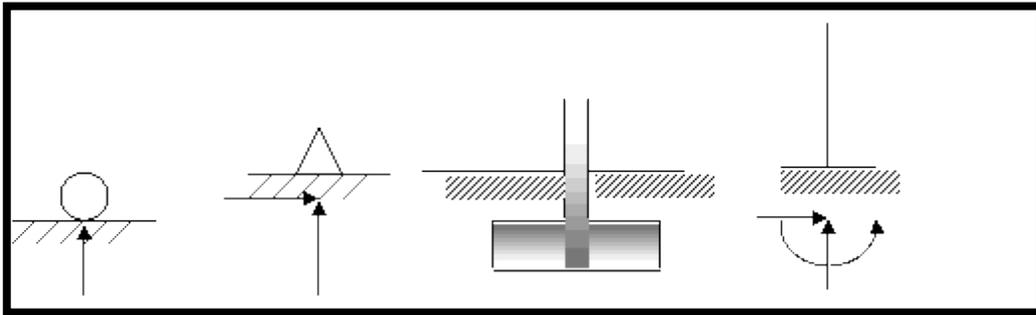


Ilustración 2.20. Ejemplos de apoyos, apoyo simple, apoyo con restricción en dos direcciones, y apoyo empotrado, restringe giros y desplazamientos.

Apoyos elásticos.

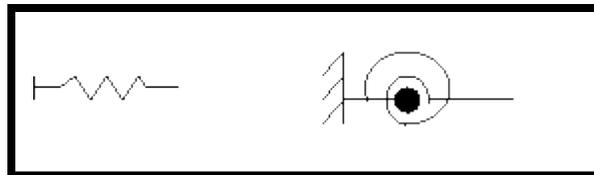


Ilustración 2.21. Resortes de rigidez lineal y rigidez angular.

Las restricciones de apoyos pueden ser definidas como apoyo rígido, apoyo elástico, apoyo con desplazamiento o rotación, apoyo con fricción, apoyo con amortiguamiento, o que el apoyo responda a una función no lineal definida. Con estas características los programas actuales son capaces de simular muchas condiciones reales de cimentación y soporte de estructuras.

Estos programas generalmente cuentan con un módulo para simulación de suelos, el cual al introducir los parámetros y propiedades de los materiales, asociados a la estratigrafía del terreno de cimentación, calcula automáticamente el coeficiente  $k$  del modulo de reacción del suelo.

Otra forma de poder definir una cimentación en contacto con el suelo es directamente en un elemento tipo losa, en las propiedades del elemento se puede asignar los parámetros de una cimentación elástica o con el modulo de simulación de suelos.

### **Mallado de Elementos Finitos (MEF).**

Para el modelaje de la estructura es necesario discretizarla con elementos que pueden ser unidimensionales, bidimensionales y tridimensionales (objetos barra, superficie y volumen sólido), que se conectan entre sí mediante puntos representativos llamados nodos. Al conjunto de nodos que conforman y unen elementos entre sí, considerando su relación adyacente se le denomina malla.

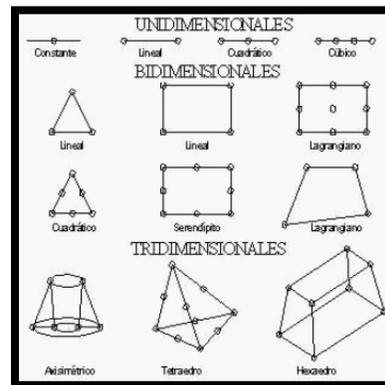
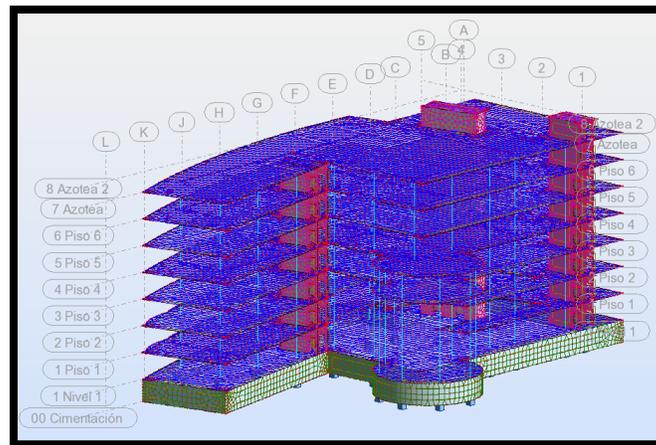


Ilustración 2.22. Elementos finitos.

Las mallas contienen a elementos que a su vez cuentan con propiedades físicas, dimensionales y mecánicas de los materiales que componen la estructura, como son espesor, coeficiente de dilatación, densidad, modulo de elasticidad, modulo de cortante, y coeficiente de Poisson.

La importancia de una buena selección de malla radica, en que ésta sea la mínima necesaria para representar con precisión suficiente, el comportamiento estructural de la edificación. Al haber una mayor densidad de elementos en la malla, se tienen mayor numero de nodos que son los puntos característicos donde se realizan los cálculos y se obtiene una mejor precisión en resultados. También cabe tomar en cuenta que mientras más nodos se tenga mayor es el tiempo que tardará el programa en obtener los resultados al realiza más operaciones, aunque con las computadoras actuales que disponen de suficiente memoria esto no resulta insalvable, puede resultar innecesario para algunos casos de aplicación. Es necesario mencionar por tanto que la definición de la malla y por ende de la complejidad del modelo deber ser analizada detenidamente, para seleccionar aquella que se ajuste a modelar adecuadamente el problema físico, con un número razonable de elementos, para con esto obtener resultados de precisión suficiente para el diseño de la estructura.

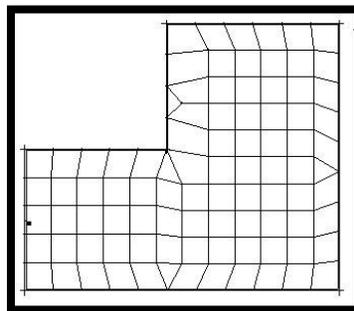
En el programa Robot, la generación de la malla de nodos puede realizarse automáticamente sobre los elementos estructurales, teniendo la posibilidad de configurar manualmente los parámetros de generación, adecuada al modelaje requerido de la estructura, para obtener la precisión deseada en los resultados, como lo es una mayor precisión de los resultados o tener una mejor apreciación del comportamiento de la estructura en ciertos puntos críticos de la misma.



**Ilustración 2.23.** Aplicación del mallado de elementos finitos a un modelo estructural de una edificio.

Existen tres opciones disponibles automáticas en el programa Robot, para selección del mallado para modelaje de la estructura, cada una de ella hace ciertas consideraciones para llevar a cabo la generación de la malla.

Generación simple de mallado (Coons).- Este método trata de crear una malla un tanto simétrica utilizando elementos triangulares, cuadriláteros y mixtos, este tipo de método es recomendable para elementos estructurales simétricos o con formas regulares poco caprichosas.



**Ilustración 2.24.** Ejemplo método Coons.

Generación compleja de mallado (Delaunay).- Este método genera una malla más adecuada al comportamiento de la estructura en las formas de los contornos de los elementos (concentraciones de esfuerzos), también hace consideraciones especiales en las zonas de las aberturas en los elementos estructurales.

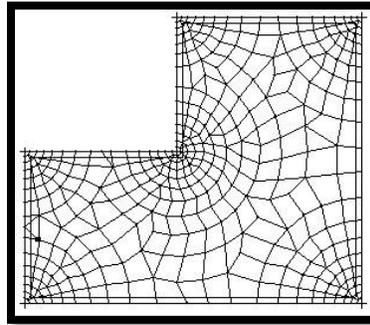


Ilustración 2.25. Ejemplo método Delanauy.

Selección automática del método de mallado.- Al seleccionar esta opción el programa decide que método escoger en base a la complejidad de la forma del elemento estructural, y con esto el tamaño y distribución de la malla.

Adicionalmente, si es necesario realizar la adecuación del patrón de malla ya seleccionado, aumentándolo o disminuyéndolo, para representar adecuadamente el trabajo estructural del elemento o sistema estructural modelado, se puede emplear la generación de los elementos que componen la malla de acuerdo a 3 opciones:

Automática. Realiza la discretización de la malla mediante la selección de un número finito de elementos especificado por el usuario.

Usuario. Se especifican el número de divisiones que harán en cada dirección del modelo, para conformar los elementos de la malla.

Tamaño del elemento. Se hace la adecuación de la malla especificando la dimensión aproximada por lado de cada elemento.

Existe por tanto la posibilidad de tener un mayor y mejor control sobre la precisión del modelaje configurando la malla mediante las opciones avanzadas, que ofrece una gran herramienta para la confiabilidad del resultado del análisis y diseño estructural en estructuras complejas.

## Aplicación del Modelaje de la Estructura.

### Consideraciones Generales.

Para ilustrar el análisis y diseño estructural mediante modelo BIM, se utilizará un canal de entrada a una obra hidráulica de un vertedor, del cual un arreglo general en planta muestra las dimensiones definidas para el canal, obtenidas a partir de un estudio de funcionamiento hidráulico en modelo físico, dado que estas obras, para su definición geométrica y garantía de buen comportamiento hidráulico, requieren siempre de la realización de pruebas en un modelo a escala en el cual, en función de mediciones, se pueda validar o adecuar su geometría para garantizar un buen funcionamiento hidráulico. El arreglo del sistema estructural seleccionado consta, de manera general, de muros laterales y losa de cimentación. La obra consiste en un canal que encauza el agua hacia una sección de control con compuertas, el objetivo de la obra es el de

controlar el gasto del agua del río hacia aguas abajo, para contribuir al control de inundaciones en la zona.

La obra se ubica a en la margen derecha del río.



Ilustración 2.26. Arreglo general a partir de estudio hidráulico.

### Características del Canal.

Por requerimientos hidráulicos funcionales, el nivel de piso del canal se encuentra a la cota 12.00 m.s.n.m., el nivel de aguas máximas de operación se encuentra a 16.50 m.s.n.m. y el nivel de aguas máximas extraordinarias es la cota 20.50 m.s.n.m.

Con el fin de mejorar el comportamiento estructural del canal, debido al gran claro de losa y por aspectos hidráulicos, para evitar la erosión del suelo subyacente al pie de la entrada y salida del canal se colocaron dentellones al inicio y final de este.

De acuerdo con los estudios de mecánica de suelos, el tipo de suelo donde se cimentará la estructura, su módulo de reacción y sus características mecánicas como son, el ángulo de fricción, peso volumétrico, la cohesión, etc., se encuentran definidos y se toman como datos para realizar elaboración del modelo y análisis del canal.

A continuación se muestra la geometría del canal de entrada, con sus dimensiones generales.



Ilustración 2.27. Canal de Entrada en formato CAD, planta y perfil.

Teniendo en cuenta el modelo conceptual de la estructura, sus consideraciones generales y la información disponible, se comienza con el proceso de análisis y diseño utilizando la metodología BIM.

### Creación del Modelo.

El modelo de la estructura se crea e ilustra, mediante el empleo del programa de software Autodesk Revit Structure, que es una plataforma BIM donde se modela el canal utilizando elementos estructurales en 3D, los cuales además permiten el ser definidos como objetos con información de sus dimensiones, integración en un sistema estructural y características mecánicas de materiales.



Un par de definiciones que nos ofrece la firma de Autodesk acerca del programa, con lo cual se aclara su potencialidad de empleo en esquema BIM son las siguientes:

**"Revit Structure es el software para modelación estructural de múltiples materiales y dibujo, que brinda modelación física y analítica para hacer diseños, coordinación y documentación— como también enlaces bi-direccionales a aplicaciones de análisis que son líderes en la industria."**

**"El software Revit Structure integra un modelo físico para múltiples materiales con un modelo analítico que se puede editar independientemente para realizar análisis, diseño y documentación eficientes."**

Como se ha mencionado previamente, el modelo BIM, no requiere de una secuencia estricta de pasos a seguir al realizar el proceso de diseño de un proyecto. El diseño puede comenzar con la etapa de diseño conceptual dimensional, en este caso la información recibida por el estudio hidráulico es un diseño geométrico funcional de la estructura que responde al desempeño requerido del canal.

Ahora bien, se puede decir que AUTOCAD ha tenido un gran desempeño desde su aparición en el mercado, pero su uso solo se limita al dibujo. Se hace esta aclaración puesto que en ocasiones se establece la comparación entre programas y en este caso con Revit. Pero Revit no solo presenta el dibujo, sino que crea el proyecto de edificación por llamarlo de alguna forma en una realidad virtual, esto basado en objetos con propiedades físicas y especificaciones de su diseño y construcción.

Para esta estructura se ha elegido como material, el concreto reforzado, por su resistencia a condiciones de contacto con el agua y el suelo, es común utilizar esta elección en obras hidráulicas, su costo es un factor también en consideración, así como, el que esta combinación de materiales, se presta al dar forma en los muros curvos que se necesitan para la geometría del canal.

Se ha mencionado que se utilizarán los elementos losa y muro para conformar la estructuración del canal. Se comienza con un predimensionamiento de los muros laterales, para ello se utiliza la tabla 9.5(a) del ACI - 318 donde se presentan recomendaciones para espesores de losas.

	Espesor mínimo, $h$			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que no soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{l}{20}$	$\frac{l}{24}$	$\frac{l}{28}$	$\frac{l}{10}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{l}{16}$	$\frac{l}{18.5}$	$\frac{l}{21}$	$\frac{l}{8}$

Tabla 2.1. ACI 318 Tabla 9.5(a).



Utilizando la tabla anterior, se idealiza al muro trabajando en voladizo debido a las cargas en su plano trabajara a flexión, se considera empotrado en el extremo inferior por la rigidez de la unión con la losa de cimentación.

Se toma como  $\ell$ , la altura del muro, tomando como referencia el nivel de piso de la losa de cimentación y el NAME, se tiene:

$$20.50 - 12.00 = 8.50 \text{ m}$$

Se toma una holgura para evitar el rebase del agua por encima del muro debido a su movimiento dinámico, por seguridad y considerando dimensiones prácticas:

$$\begin{aligned} \ell &= 10 \text{ m.} \\ h &= \frac{\ell}{10} = 1 \text{ m.} \end{aligned}$$

El espesor por la formula es de un metro, pero se considera que las cargas de empuje de suelo y agua pueden provocar deflexiones en el plano del muro en la condición de canal vacio, también que los recubrimientos deben considerables debido a la acción del flujo del agua en el canal, lo cual podría provocar erosión, por lo que se debe proteger adecuadamente el refuerzo, también se tiene en cuenta que los refuerzos necesarios para la sección del muro pueden resultar de un diámetro relativamente grande, se determina tomar un espesor de muro:

$$h = 1.5 \text{ m.}$$

Por las acciones en los muros se considera que los momentos mayores se presentarán en la base del muro por lo cual podría considerarse un sección variable para el muro, pero en una condición de vaciado rápido del canal, la subpresión podría resultar ser muy alta, haciendo que el canal flote, por ello se hace la consideración para el análisis que el peso de una sección constante puede ser favorable a la estabilidad del canal.

Se cuenta con dentellones en el inicio y fin del canal, estos son propuestos a partir del análisis de las líneas de flujo a través del canal, esto con el fin de evitar que el agua pase por debajo del canal, de los planos generales, el dentellón se desplanta en la cota 5.80 m.s.n.m., por lo que se tiene una altura del dentellón de 6.2 m.

Aplicando el mismo criterio de dimensionamiento para el muro tenemos.

$$\begin{aligned} \ell &= 6.2 \text{ m.} \\ h &= \frac{\ell}{10} = 0.62 \text{ m.} \end{aligned}$$

Y haciendo las mismas consideraciones de holguras tomadas para los muros:

$$h = 0.8 \text{ m.}$$



En el caso de la losa de cimentación se utilizará la condición más desfavorable de las formulas para el predimensionamiento del espesor, por lo que:

$$\ell = 24 \text{ m.}$$
$$h = \frac{\ell}{20} = 1.2 \text{ m.}$$

Haciendo consideraciones de holgura y por uniformidad con los muros se propone para su análisis:

$$h = 1.5 \text{ m.}$$

Resumiendo el predimensionamiento anterior:

Elemento	Espesor
Muro	1.5 m.
Dentellón	0.8 m.
Losa de cimentación	1.5 m.

Para comenzar en la creación del modelo, se cuenta con los arreglos generales de planta y perfil del canal en formato de AutoCAD, obtenidos del modelo hidráulico del canal, los que nos servirán como base o guía para realizar el modelo tridimensional en Revit.

Estos dibujos de AutoCAD son introducidos en el programa Revit Structure, al trabajar en un ambiente tridimensional, se tiene la facilidad de colocar los planos de forma ortogonal entre sí, cuidando que los trazos sean correspondientes, es decir, que las cotas, dimensiones, cadenamientos de la planta, se encuentren alineados con los del perfil.

A partir de estos planos guía, se crean ejes y niveles, que delimitarán a los elementos estructurales, esta acción resulta muy sencilla, puesto que Revit reconoce las líneas de AutoCAD, lo que hace que al seleccionar las líneas de la planta se tracen los ejes realizando automáticamente la numeración correspondiente, de igual manera seleccionando las líneas del dibujo de perfil, se definen los niveles.

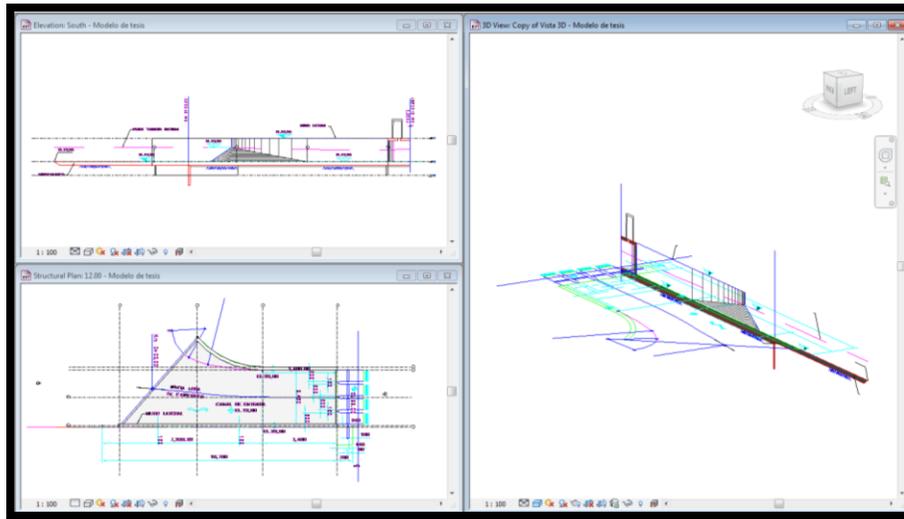


Ilustración 2.28. Planos guía en formato de CAD, introducidos en el ambiente Revit.

Revit realiza el modelo a base de elementos estructurales directamente, como son en este caso, muros y losas, cada uno de estos objetos contiene sus parámetros y características que los definen, tal como se muestran a continuación:

Para crear una losa en el proyecto definimos su espesor en este caso 150 cm., contiene valores asignados por defecto para sus características, en este caso, elegimos un tipo de concreto específico de  $f'c = 250 \text{ kg/cm}^2$ , y los recubrimientos de 7.5 cm. Para introducir la losa al modelo, en base a las líneas guía del dibujo en planta, únicamente se seleccionan los trazos que conforman el contorno y se crea el elemento.

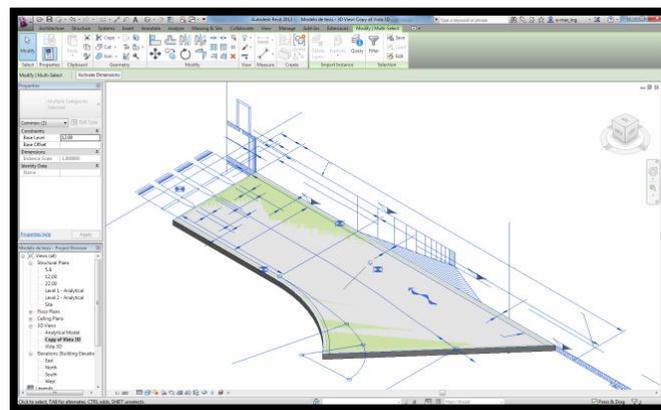
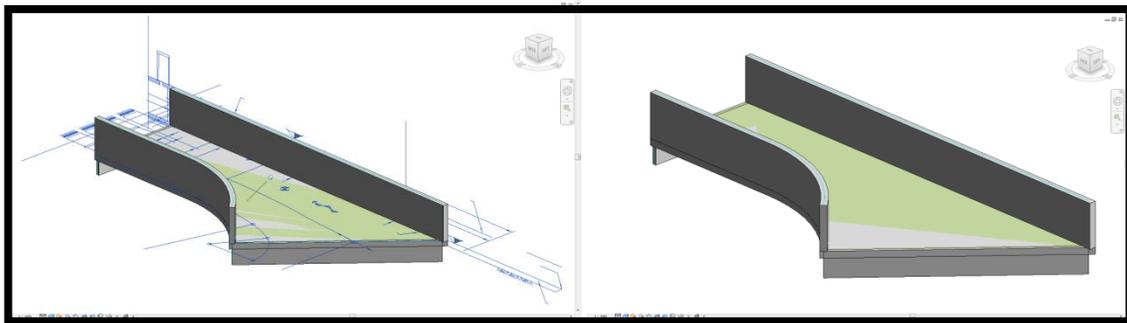


Ilustración 2.29. Creación de la losa del canal.

La definición de un muro se hace igualmente por su espesor, en este caso 150 cm. para muros laterales y de 80 cm. para dentellones, las dimensiones de altura y longitud son tomadas automáticamente al alojarse entre los ejes y niveles, teniendo también la posibilidad de introducirse manualmente, pero resulta innecesario en este caso por disponerse de información

dimensional, en AutoCAD. Estas dimensiones, la altura y longitud, en Revit, son dinámicas, que al estar alojados entre ejes y niveles, cuando son modificados, las dimensiones de los muros se ajustan automáticamente, esta capacidad facilita los cambios de espacios y alturas de entresijos de una manera general, sin estar cambiando uno por uno. Este tipo de modificaciones generales también se puede realizar para las propiedades y características de los elementos estructurales.

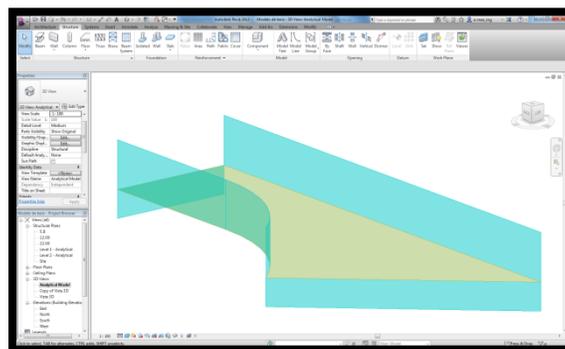
La colocación de los muros también se puede hacer directamente sobre los planos de AutoCAD, se crean seleccionando las líneas que puedan indicar la pared interior, la exterior, o siguiendo el eje del muro, ya sean curvas, líneas o polilíneas. Una vez creado el modelo en Revit, los planos pueden ser desechados u ocultados para únicamente trabajar con el modelo de la estructura.



**Ilustración 2.30. Vista del canal conformado por sus elementos, muros, losas y dentellones.**

Como se puede apreciar, el modelado de la estructura realizado por medio de elementos en Revit, plataforma BIM, reduce considerablemente el tiempo al crear el modelo tridimensional, teniendo en cuenta que a la par también se crea el modelo analítico, además de que estos objetos contienen información acerca de sus propiedades y características.

Una vez creado el modelo físico del canal, se revisa y ajusta mediante el modelo alámbrico interno, formado por líneas en las que se puede verificar la consistencia geométrica ya que pueden existir inconsistencias entre uniones o que la representación no sea la adecuada para realizar el análisis.

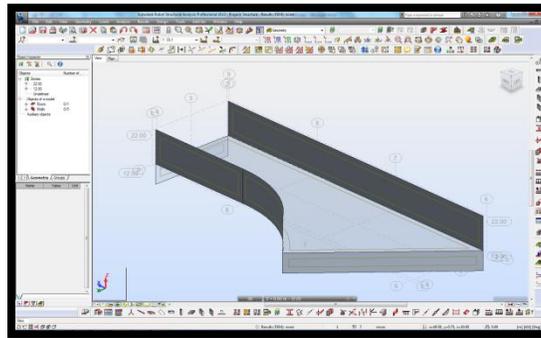


**Ilustración 2.31. Modelo alámbrico analítico en Revit.**

Como siguiente paso se tiene que realizar la asignación de apoyos al modelo, esta tarea puede ser realizada en Revit, que también tiene la capacidad de realizar un análisis estructural muy básico, pero resulta conveniente trasladar el modelo al programa Autodesk Robot Structural Analysis Professional, que es un programa especializado en el análisis y diseño estructural y que forma parte de la plataforma BIM de Autodesk.

Autodesk Robot Structural Analysis Professional es un programa de análisis y diseño estructural, basado en la tecnología MEF (mallado de elementos finitos) lo que lo hace muy poderoso y preciso para el análisis estructural, maneja gran variedad de tipos de análisis lineales y no lineales, esto permite analizar de forma rigurosa el comportamiento no lineal de una estructura, también es posible el uso de múltiples idiomas, unidades y códigos de diseño específicos.

El traslado del modelo resulta ser muy sencillo, en el programa Revit se selecciona la herramienta "enlace con Robot Structural Analysis", con la cual aparece una ventana de configuración de integración. Algunas de las opciones disponibles de configuración son, correcciones, especificación del caso de peso propio, liberación en barras, materiales, entre otros. Una vez realizado el traslado se muestra un reporte con las especificaciones de esta acción.



**Ilustración 2.32. Modelo analítico en Robot Structural Analysis Professional.**

Para evitar posibles contratiempos se realiza una breve revisión sobre el código seleccionado para el análisis, las unidades y materiales asignados al modelo y las propiedades del material como módulo de elasticidad, resistencia, etc.

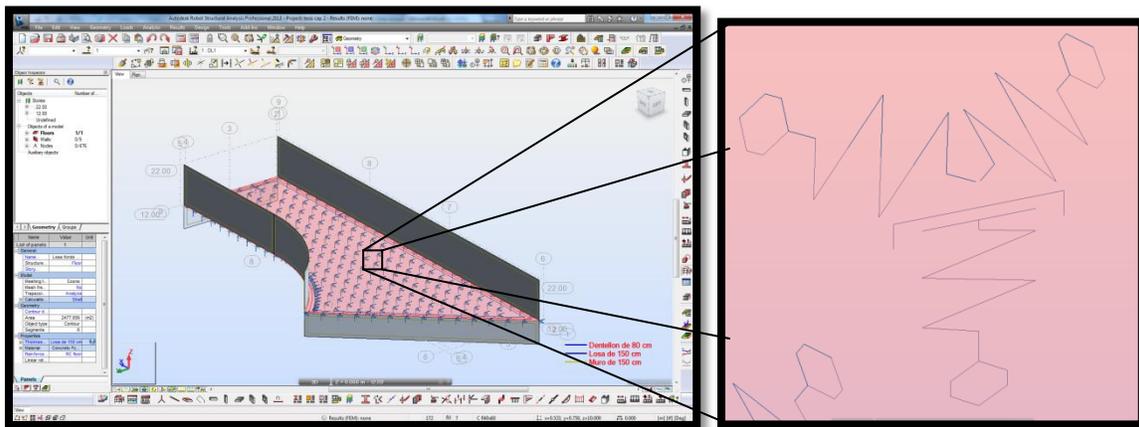
Resulta más conveniente hacer la definición de apoyos en el programa Robot, debido a que es un programa especializado en el análisis estructural, que ofrece las herramientas que permiten simular el comportamiento esperado de los soportes, considerando rigidez lineal en este caso.

Los apoyos que pueden emplearse en este modelaje del canal pueden darse de tres formas diferentes: por nodos, de forma lineal y por área. Dependiendo del tipo de aplicación elegida para simulación del soporte, el programa realiza los cálculos necesarios para que su asignación sea

correcta, por ejemplo al realizarse por área, solo se elige el panel al que se asigna el soporte y el programa calcula el área tributaria que asigna al apoyo en el elemento finito.

Para el proyecto en desarrollo se pretende idealizar la interacción suelo – estructura para la losa de cimentación. Del estudio de la mecánica de suelos se obtiene el módulo de deformación elástica para el sitio donde se localiza el canal, siendo  $k = 258 \text{ t/m}^3$ .

El apoyo se define como un apoyo por superficie, ya que será asignado a la losa, el tipo de apoyo es elástico con el modulo  $k$  señalado, también se tomará en cuenta la consideración de que el suelo no trabaja a tensión por lo cual se permitirá la liberación del apoyo en el sentido en el que actuarían las tensiones entre la losa y el suelo. Con esta última consideración que se hace a los apoyos, el tipo de análisis que se tendrá que llevar a cabo es no lineal.



**Ilustración 2.33. Asignación y vista de los apoyos con rigidez.**

Del estudio del funcionamiento hidráulico, se determinó que el muro izquierdo en la parte de la entrada, tenga una masa de concreto con forma alabeada, cuya función es la suavizar la entrada de agua, para homogeneizar las velocidades en las líneas de flujo de una sección transversal. La masa de concreto resulta de un tamaño considerable haciendo notar sus dimensiones en el canal, tomando en cuenta la afectación que provocara a la estructura del canal, hará rigidizar la zona de entrada del muro izquierdo. Para representar este efecto de rigidización de la masa de concreto en el modelo analítico, se aplicaran apoyos con giros restringidos en la zona donde se encontrará el muro alabeado de concreto con la losa de piso. En este caso la aplicación de la restricción a los nodos se hará por nudo para poder delimitar de mejor forma el lugar ocupado por la masa de concreto, también para ello se utilizaran líneas auxiliares sobre la losa.

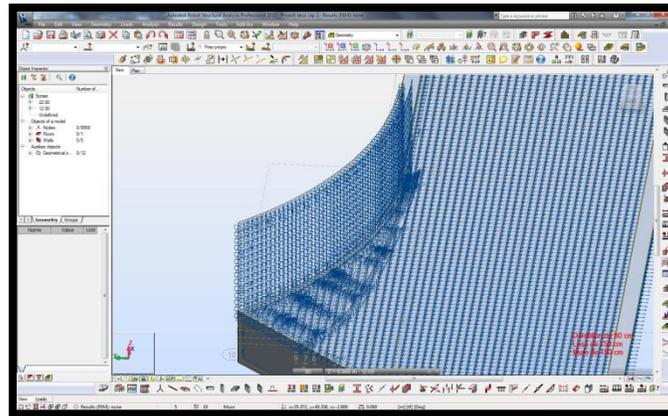


Ilustración 2.34. Zona de muro alabeado idealizado con restricción de giros.

Se selecciona el método de generación automática de mallado, dado que tenemos varios elementos estructurales con formas regulares como los muros y dentellones y debido a que la losa tiene una forma irregular se requirió elegir la modificación de malla por medio de la selección de la dimensión de los elementos que conforman la estructura, restringiendo en esta opción de tamaño del elemento para la generación de la malla una dimensión de 0.75 m., aceptando los valores por defecto de las opciones avanzadas de mallas.

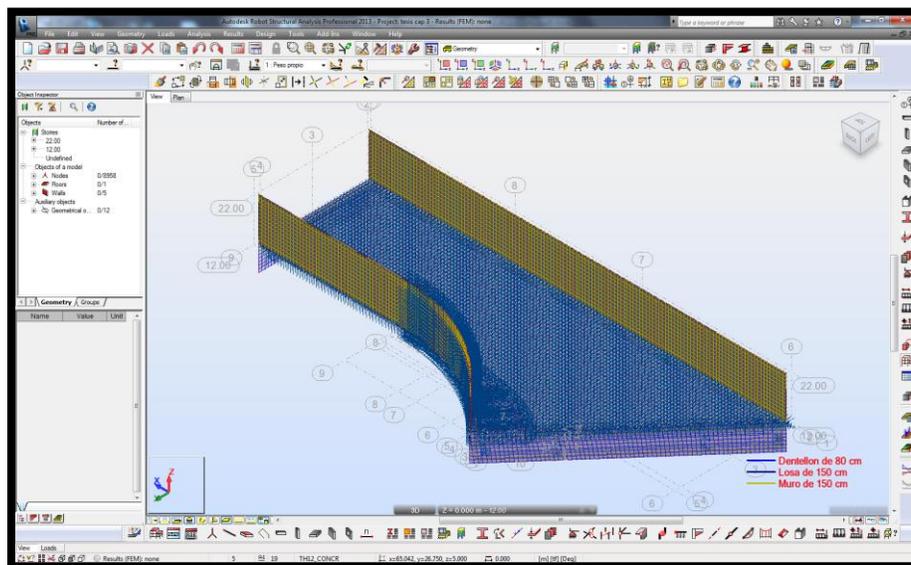


Ilustración 2.35. Mallado del modelo estructural del canal.

En la ilustración se puede observar el mallado ya generado por el programa, también se puede observar que los símbolos de los apoyos se muestran con mayor densidad en la losa del canal, esto es debido a que al generar el nuevo mallado, se obtienen más nodos, a los cuales se les reasignan automáticamente las condiciones de apoyo, se recalculan también los valores de las áreas tributarias de cada nodo y su consecuente rigidez asociada.





## CAPÍTULO 3. CARGAS.

### Introducción.

Las cargas o acciones son las fuerzas o deformaciones inducidas que producen elementos mecánicos en las estructuras, como ejemplo de estas acciones se pueden mencionar las debidas al peso de: los materiales de construcción, a las producidas por la ocupación del edificio, por sus instalaciones, por acciones ambientales, por movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos entre otros. Estas acciones son clasificadas generalmente conforme su naturaleza o duración, como se menciona a continuación:

**Carga muerta.** Son las acciones que mantienen su magnitud con respecto al tiempo, dentro de esta clasificación se encuentran las acciones debidas al peso de los materiales que conforman todos los elementos de la edificación, incluyendo elementos arquitectónicos, peso del equipo de servicio fijo como maquinaria, presiones y empujes de suelos que se encontrarán actuando siempre sobre las estructuras, etc.

**Carga viva.** Estas cargas varían en magnitud y/o movimiento con el tiempo, su determinación es estadística, por lo general esta acción depende del tipo o uso de la edificación, involucrando para la determinación de las magnitudes, entre otros, equipos y muebles, materiales almacenados, ocupantes del edificio, vehículos, etc.

**Cargas ambientales.** Son causadas por efectos que puede tener el ambiente sobre la estructura, en este caso dependen del sitio donde se ubique la edificación, entre estas cargas pueden mencionarse las acciones de viento, nieve, sismo, inundaciones, temperatura, hielo, lluvia, etc.

El análisis de cargas a aplicarse para el análisis y diseño de una estructura establece las combinaciones de cargas cuyas magnitudes reales o más probables que sean o puedan ser críticas durante la vida útil de una estructura.

Por la velocidad de aplicación de las cargas, estas pueden clasificarse en:

**Cargas Estáticas.**

La aplicación de estas cargas a la estructura para fines de análisis se considera suficientemente lenta, como para despreciar cualquier efecto dinámico. Este tipo de cargas, simula acciones como son, las gravitacionales de peso propio, las térmicas debidas a cambios de temperatura en estructuras restringidas a desplazamiento y acciones o empujes del terreno entre otras muchas.

**Cargas Dinámicas.**

Las cargas dinámicas son aquellas que varían en un periodo relativamente corto de tiempo, por lo que su efecto no puede ser despreciado, bajo este tipo de acciones se encuentran las fuerzas inerciales de sismo, las fuerzas explosivas, las de impacto, los empujes como el producido por



viento y las fuerzas producidas por la operación de maquinaria en las que este efecto es importante, por lo cual es necesario tomarlas en consideración en el análisis y diseño.

Algunas de las consecuencias de la aplicación de cargas dinámicas pueden ser que por el impacto de un cuerpo en movimiento, pueden originarse en la estructura o en parte de ella efectos amplificatorios, resonancia en el caso de que la carga dinámica actúe y su frecuencia coincida con el período de vibración del elemento estructural.

En general, dentro de este tipo de cargas se deben simular en el análisis estructural las causadas por: impactos, por sismos, por cargas móviles, como son las producidas por el desplazamiento de un vehículo, el de la carga de grúas viajeras, etc.

### **Aplicación de Cargas en Programas de Cómputo.**

La representación de las acciones son un factor importante en el proceso de análisis y diseño estructural puesto que de estas depende la respuesta que tendrá la estructura, la cual se considerará para proponer el dimensionamiento de los elementos que compondrán la edificación, y que tendrán que resistir estas acciones.

En el proceso BIM al trabajar con un modelo tridimensional, la aplicación de las cargas se hace por lo general en el espacio tridimensional, por lo que es necesario realizar un correcto y detallado análisis de cargas.

Al introducir las cargas al programa, primordialmente deben declararse el tipo de cargas que se maneja en el modelo, en este caso, de acuerdo a su naturaleza, esto con el fin de facilitar su manejo, orden, y en forma relevante, diferenciarlas, puesto que inducen en la estructura comportamientos diferentes. Los programas especializados en el análisis estructural disponen de varias herramientas que facilitan la aplicación de las cargas, estas opciones buscan simular la forma real en la que actúan sobre la estructura.

El ingeniero debe buscar, por tanto, la mejor forma de modelar las acciones en el programa, para aplicarlas al modelo para el análisis utilizando de la manera más conveniente las herramientas con las que se dispone en la paquetería. Dentro de estas posibilidades de modelaje, a continuación se mencionan algunas de ellas, las cuales se encuentran presentes en la mayoría de los paquetes que manejan el proceso BIM.

### **Nodales.**

Un nodo es un punto de cálculo en el modelo, donde se obtienen resultados del análisis, y puede ser también un punto de aplicación para una o más acciones, como es una fuerza, un momento, un desplazamiento lineal o una rotación. El nodo se puede encontrar en un extremo de algún elemento estructural, como puede ser en la parte superior de una columna, donde se aplican

acciones, en el extremo de una viga se puede aplicar un desplazamientos y acciones. También una acción por nodo puede encontrarse en el interior de un elemento placa como lo es una losa. A este tipo de carga se le denomina nodal.

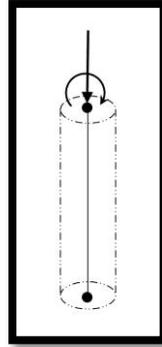


Ilustración 3.36. Carga y momento en un nodo de una columna.

### En Barras.

Esta herramienta actúa exclusivamente como su nombre lo indica en elementos tipo barra, que por lo general son vigas pero ello no excluye a los demás elementos. La aplicación de las acciones por esta herramienta pueden ser de varias formas:

Carga uniformemente distribuida. Es una fuerza que se aplica sobre toda la barra sin variar su magnitud, se declara como una fuerza por unidad de longitud. Un ejemplo de este tipo de carga, es el peso propio de una viga de sección constante, que al tener la misma sección en toda su longitud la acción de su peso no varía a lo largo de la viga.

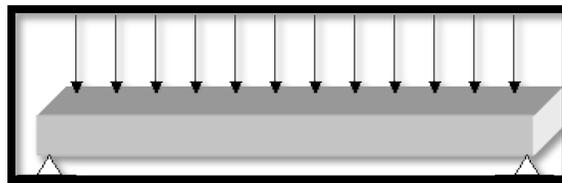
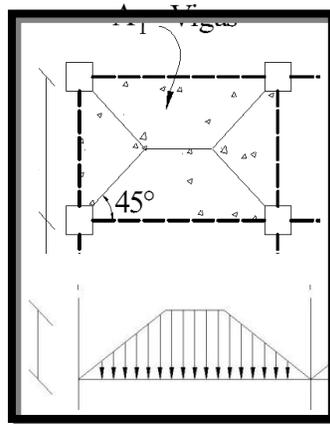


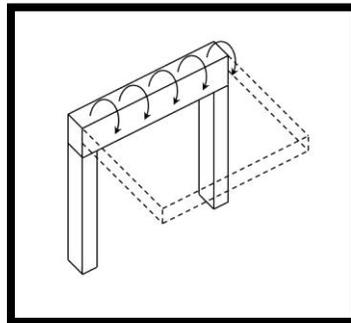
Ilustración 3.37. Carga uniformemente distribuida.

Carga trapezoidal. Este tipo de acción se distribuye a lo largo de la barra, pero la magnitud de su acción puede ser variable, esta puede tener entre dos, tres y cuatro declaraciones de cargas diferentes. Este tipo de cargas puede ser utilizadas, por ejemplo, para tomar en cuenta la acción de una carga tributaria de una losa sobre la viga.



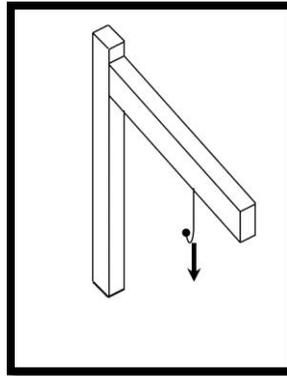
**Ilustración 3.38. Carga trapezoidal sobre viga.**

Momento uniforme. Es la acción de un momento ya sea flexionante o torsional que actúa con la misma magnitud a lo largo de toda la barra. Este tipo de acción puede idealizarse en una viga, que por ejemplo, recibe la acción del peso de una losa en voladizo.



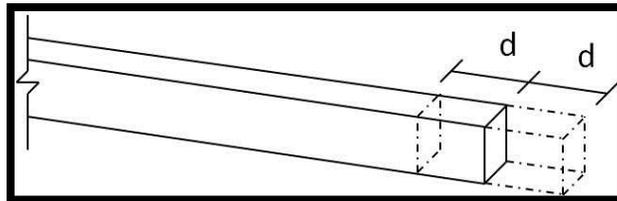
**Ilustración 3.39. Ejemplificación de momento uniforme.**

Fuerza en la barra. Esta acción es una fuerza y/o momento que se declara aplicado en un punto cualquiera a lo largo de una barra, un ejemplo de aplicación en el uso de este tipo de acción, se encuentra cuando se tiene un peso suspendido de una grúa tipo bandera.



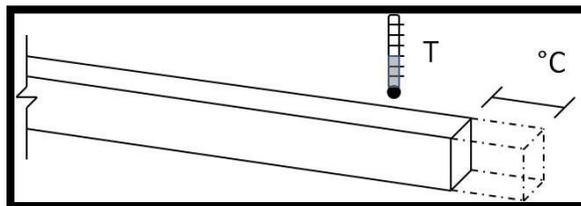
**Ilustración 3.40. Fuerza en barra de una grúa bandera.**

Desplazamientos prescritos. Esta acción se aplica como un cambio de longitud en la barra, ya sea un acotamiento o alargamiento, el cual es definido por el usuario en unidades de longitud.



**Ilustración 3.41. Dilatación o contracción impuesta.**

Carga térmica. Esta carga puede representar los efectos de dilatación y contracción en un elemento, se declara como un cambio de temperatura que actúa en el elemento estructural y que provoca un cambio de longitud en función del coeficiente de expansión térmica del material. Estos efectos deben tomarse en cuenta en lugares donde pueden existir cambios de temperatura extremos, en estructuras que se encuentran con restricciones a desplazarse.



**Ilustración 3.42. Dilatación térmica.**

Carga plana sobre las barras. Esta herramienta resulta muy práctica al aplicar una carga definida por unidad de área y que actúa sobre un sistema de barras, automáticamente asigna la carga correspondiente a cada barra, lo que evita realizar este cálculo manualmente, la carga por unidad de área puede variar conforme un plano inclinado definido por tres puntos. Un ejemplo práctico de este tipo es al distribuir el peso de un sistema de techumbre sobre las vigas y largueros de una nave industrial.

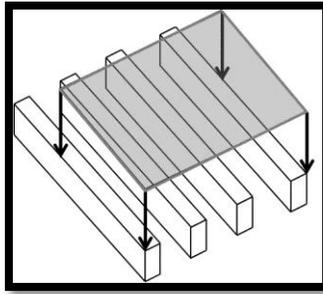


Ilustración 3.43. Carga plana sobre sistema de vigas.

### Sobre Superficies.

Este tipo de herramienta se aplica para modelar acciones distribuidas perpendiculares a elementos planos, muchas cargas de este tipo pueden ser aplicadas para simular elementos de revestimiento, sobre cubiertas planas pero que no presentan ninguna propiedad mecánica, únicamente su función es distribuir las acciones al crear áreas tributarias de las cargas que recibe, y asignarlas a los elementos sobre los que son definidos. Existen también distintas maneras de aplicar acciones a este tipo de elementos superficie como se mencionan a continuación:

Carga plana uniforme. Es una fuerza que actúa por unidad de área que se distribuye uniformemente sobre toda la superficie, la resultante de esa fuerza actuante, sería el área total de la superficie por la magnitud de la carga uniforme. Este tipo de herramientas es muy útil al aplicar cargas vivas en edificios, donde se tiene cargas establecidas por unidad de área.

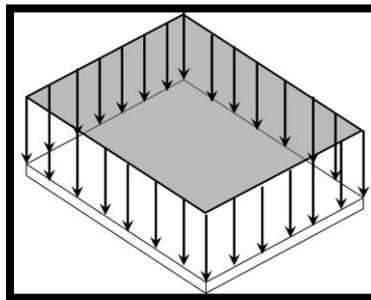
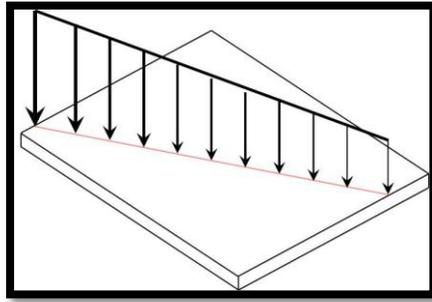


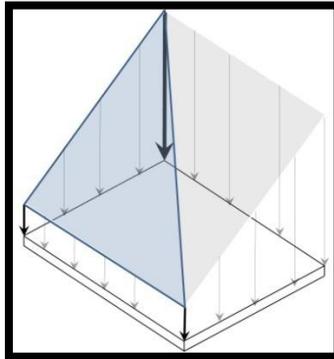
Ilustración 3.44. Carga plana sobre superficie.

Carga lineal. Este tipo de acción como su nombre lo indica actúa como una fuerza y/o momento ya sea uniforme o variable que se desarrolla a través de una línea sobre un elemento tipo superficie plana, la definición de la línea se hace por medio de dos puntos en donde se declaran sus magnitudes, por lo cual su variación solo puede ser lineal. Esta carga es muy práctica para simular el peso de un muro divisorio, que no deben agregarse al modelo estructural ya que no presenta una función estructural pero debe asignarse como una carga puesto que forma parte del peso propio de la estructura.



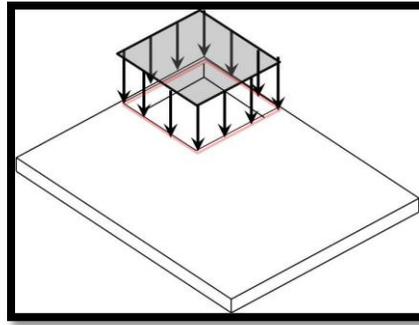
**Ilustración 3.45. Carga variable lineal.**

Carga variable definida por tres puntos. Esta carga define por medio de tres puntos un plano que define la distribución de la carga que actúa sobre un elemento plano, en cada uno de los puntos de definición puede tener diferentes magnitudes por lo cual el plano de cargas simula la variabilidad de esta. Este tipo de modelaje de acciones es muy conveniente para simular empujes de tierras o de agua, ya que se puede representar una carga triangular sobre un muro de manera muy sencilla.



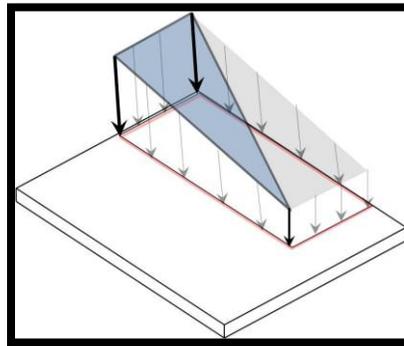
**Ilustración 3.46. Carga variable sobre el plano.**

Carga uniforme sobre contorno. Esta modelación de la acción aplica una carga uniformemente distribuida sobre un área, en este caso delimitada por un contorno definido por el usuario, esta carga también puede ser aplicado a contornos de huecos en las losas, muros y demás elementos planos, la reacción total equivale a multiplicar el área que delimita el contorno por el valor de la fuerza que actúa por unidad de área.



**Ilustración 3.47. Carga uniforme sobre contorno.**

Carga variable sobre contorno. Esta carga actúa sobre una superficie plana, su área de aplicación es delimitada por un contorno definido por el usuario, la magnitud de la fuerza varía conforme un plano que es definido por tres puntos en los cuales también se introduce el valor de sus magnitudes en cada punto. Esta carga es útil para simular por ejemplo la aplicación de una rampa de tierra que descansa sobre una losa de cimentación irregular.



**Ilustración 3.48. Carga variable sobre contorno.**

Carga térmica. Esta acción se aplica en elementos tipo placa cuando en ellos se tiene una variación de temperatura, la cual puede presentarse de manera uniforme, con una variación lineal entre dos puntos o variar entre tres puntos como la definición de un plano de fuerzas, pero en este caso temperaturas que cambian la longitud del elemento en función de su coeficiente de expansión térmica. Un ejemplo de aplicación de este tipo de simulación puede ser su empleo en losas de piso hechas de concreto en un lugar con variaciones de temperatura considerables, puesto que se deben analizar que las juntas tengan la separación necesaria para evitar el agrietamiento de las losas, o en su caso introducir los elementos mecánicos presentes cuando se tienen restricciones a la deformación.

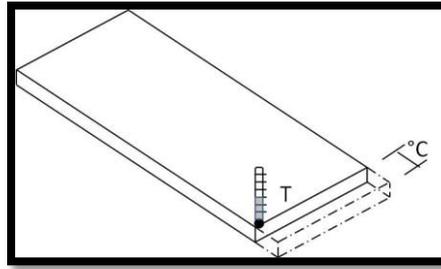


Ilustración 3.49. Carga térmica en el plano.

Cargas sobre ejes aplicadas a paneles. Este tipo de acción puede ser una fuerza o momento uniforme que actúa sobre elementos tipo placa, puede ser aplicado a los bordes, o bien se pueden definir líneas o polilíneas auxiliares que marquen una trayectoria a seguir sobre la superficie de la placa. Este tipo de carga igualmente se puede aplicar en edificaciones al idealizar el peso de muros divisorios con formas caprichosas.

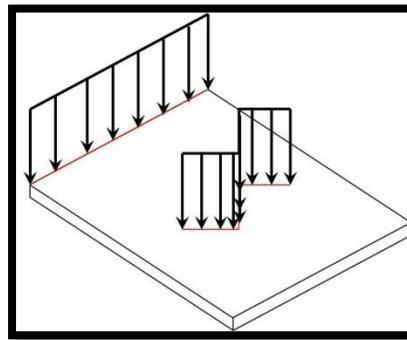


Ilustración 3.50. Cargas aplicadas sobre ejes.

### Gravitacionales de Peso Propio.

Los programas en general, tienen herramientas que aplican el peso propio de todos los elementos de la estructura de manera automática, esta acción toma en cuenta las dimensiones especificadas para los elementos estructurales y el peso específico del material del que se compone, lo cual evita estar aplicando a cada elemento una carga de peso propio. Un uso adicional de este tipo de carga es que se puede indicar el sentido en el que actúe el peso propio de cada elemento estructural, así como ser afectados por un factor de carga.

### Inerciales de Masa.

Este tipo de cargas participan como acciones dinámicas ya que generan fuerzas de inercia en la estructura. Estas cargas pueden ser aplicadas a estructuras marítimas, donde las cargas de transporte son muy importantes, como es el caso de una estructura que es izada y desplazada por

una grúa, puede generar velocidades o aceleraciones a causa del movimiento o al tener una estructura transportada sobre barco, es sometida a este tipo de fuerzas inerciales por el movimiento del oleaje sobre el barco, y este transmitido a la estructura.

Fuerzas de inercia debidas a diversas aceleraciones. Estas cargas se generan debido a la fuerza resultante debida a la aceleración de una masa ( $F=ma$ ), la cual puede ser declarada en función a la aceleración de la gravedad  $g$ .

Fuerza centrífuga y de aceleración angular. Este tipo de fuerza es generada a partir de la masa del elemento y la velocidad o aceleración angular especificada por el usuario.

Masa en nodos. Con esta herramienta se pueden agregar masas en los nodos de la estructura, para un análisis dinámico, o bien son tomados en cuenta para las fuerzas de aceleración, velocidad centrífuga y aceleración angular.

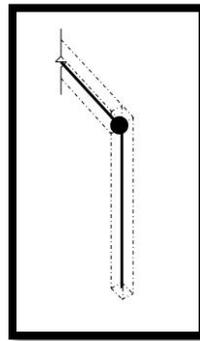


Ilustración 3.51. Masa en nodos.

Masa en barras. Su aplicación es parecida a la herramienta anterior, pero en este caso su aplicación es a un barra entera con la posibilidad de tener una variación de masa en su longitud.

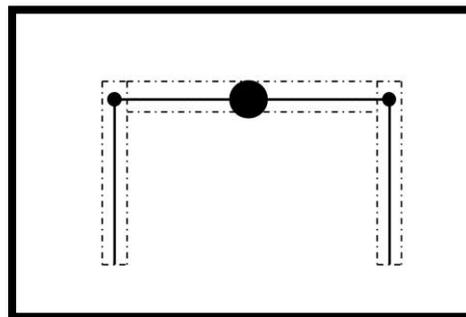


Ilustración 3.52. Masa en barras.

Conversión de cargas a masas.

Este tipo de herramienta permite la conversión de cargas estáticas (cargas gravitacionales) a masas, que deben ser tomadas en cuenta para los cálculos dinámicos. La conversión de las cargas

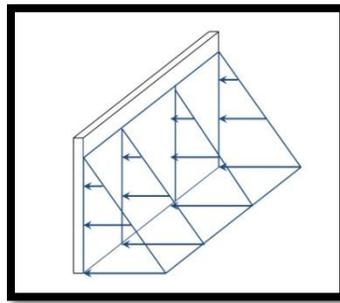
se realiza de la siguiente manera: las fuerzas concentradas son transformadas a masas concentradas, cargas distribuidas a masas distribuidas y los momentos como inercia rotacional.

### **Cargas Especiales.**

Muchos de los paquetes de análisis modernos, incluyendo el Robot tienen algunos módulos de generación de cargas automáticas, esto con el fin de facilitar la aplicación de las solicitaciones sobre la estructura, por lo que a continuación se hace una breve descripción genérica de su aplicación y para el modelaje de cargas especiales.

#### **Carga hidrostática.**

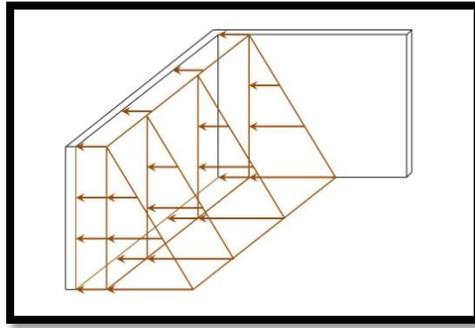
En el caso del paquete Robot, éste tiene la posibilidad de aplicar automáticamente una carga de presión estática de agua con su variación de presiones sobre el área de una superficie. Para la aplicación de esta acción, solo se determina, el peso específico del líquido, una sobrepresión en caso de haberla, y la altura del nivel de líquido, seleccionando los paneles, se les asigna una carga equivalente a la presión que ejerce un líquido sobre un elemento plano vertical.



**Ilustración 3.53. Carga hidrostática.**

#### **Carga por empuje de tierras.**

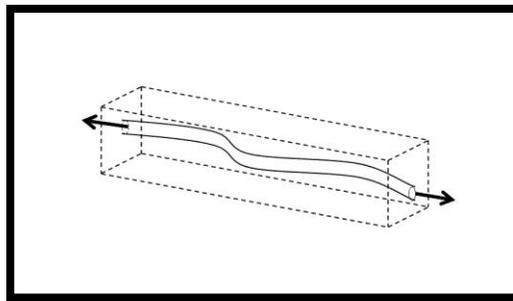
En el mismo Robot, como en otros paquetes, es posible también definir el perfil estratigráfico de un suelo, puede ser a partir de una base de datos o bien definido por el usuario, con ello crea una carga de presión de suelos, como puede ser para muros de contención y para cimentaciones entre otros. Los empujes que pueden ser calculados por el programa son por presión pasiva, presión activa y presión estática, estas acciones pueden tomar en consideración el nivel freático, una sobrepresión sobre el relleno del suelo, el ángulo del relleno en la parte superior y la influencia de estructuras cercanas. El paquete también puede presentar un reporte de los factores tomados en cuenta para el cálculo de la presión del suelo sobre los elementos estructurales, que bien pueden ser elementos tipo placa o barras.



**Ilustración 3.54. Empuje de tierras con sobrecarga.**

Carga de presfuerzo en vigas.

En el programa es posible crear elementos tipo barra de concreto presforzado, pudiendo modelar los torones o alambres del elemento y aplicar excentricidades a partir del eje neutro de la barra, posteriormente la fuerza del presfuerzo. Las pérdidas en los elementos pretensados se calculan de acuerdo con el código de diseño seleccionado.



**Ilustración 3.55. Viga pretensada.**

Carga de viento y nieve 2D/3D.

Las cargas automáticas de viento y nieve se pueden generar de acuerdo con el código seleccionado de los disponibles en el programa utilizado. En 2D se aplican a secciones de armaduras donde se configuran los parámetros que intervienen en los cálculos de acuerdo al código, algunos de ellos es si tiene huecos, parapetos, si se encuentra apoyada sobre un suelo, manejar una envolvente de altura, etc. De manera similar a esta se hacen consideraciones para modelar las acciones en el caso de nieve.

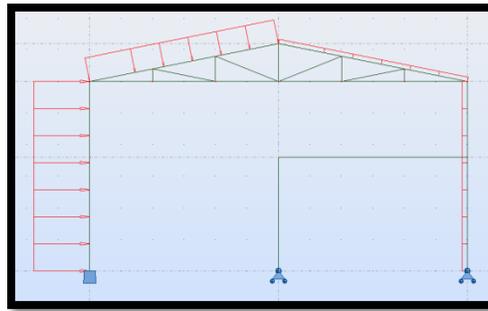


Ilustración 3.56. Carga de viento en 2D.

Para el caso de cargas 3D, su aplicación es más general, extendiéndose a edificios, naves industriales, torres para tendido eléctrico, torres ejesimétricas. Su aplicación depende del código seleccionado disponible en el paquete y la modelación tiene que hacerse de acuerdo con el tipo de estructura a la que afectara la acción del viento, el sitio, las condiciones de la zona, etc., con este tipo de modelación también se puede simular la acción de la nieve en las estructuras.

#### Cargas móviles.

Este tipo de herramientas de modelaje disponible en los paquetes modernos, es muy útil para simular la acción de cargas móviles como son las debidas a la acción de vehículos sobre un puente o una grúa viajera sobre una estructura. Este tipo de acción puede declararse como cargas concentradas, cargas lineales o cargas planas, esto permite analizar la estructura bajo la sollicitación de un conjunto de fuerzas que actúan a través de una ruta definida por el usuario.

En el programa Robot, por ejemplo, es posible seleccionar tipos de cargas de vehículos de una base de datos de acuerdo a un código, o bien, que las características del vehículo sean definidas por el usuario, donde se dispone de varias herramientas para simular lo mejor posible distintos tipos de cargas móviles y su influencia sobre la estructura.

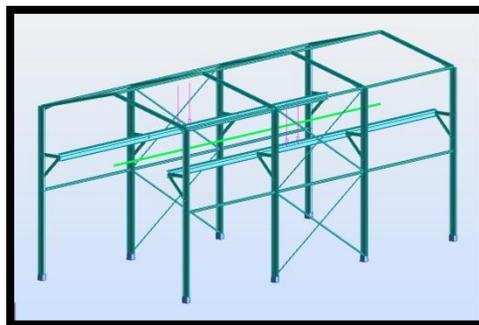


Ilustración 3.57. Carga móvil - Grúa viajera.



### **Combinaciones de Cargas.**

Tomando en consideración que en el diseño actual prevalece el criterio de diseño por estados límites de falla y de servicio, se requiere, para el estado límite de falla, analizar la estructura afectando las acciones por los factores de carga que establecen los reglamentos y combinar estas acciones de acuerdo a los mismos. Para el análisis de estados límite de servicio, los cuales están asociados a deformaciones que aun sin comprometer la seguridad puede afectar la funcionalidad de la estructura, como pueden ser las provocadas por deflexiones, agrietamientos y vibraciones, se emplean combinaciones de carga, pero sin aplicación de factores de carga a las acciones consideradas.

Ahora bien, como se mencionó previamente, si cada factor de carga cubre una sollicitación, puede ser que en realidad se presenten más de una acción al mismo tiempo, por lo que de acuerdo con el código que se esté aplicando, se determinan ciertas combinaciones de acciones. El código ACI, que es el utilizado para ejemplificar el proceso BIM en el presente trabajo, establece las combinaciones de cargas a considerar en el análisis estructural, con sus respectivos factores para cada una de las acciones, donde se toma en consideración la probabilidad de ocurrencia de estas combinaciones simultáneamente, pudiéndose tener para cada estado límite diferentes combinaciones de acciones.

Al aplicar las combinaciones se busca encontrar cuál de ellas provoca la respuesta más desfavorable que se puede presentar para la estructura y en base a esta realizar el diseño de la misma.

Si bien los códigos marcan los parámetros mínimos a considerar, el ingeniero debe tener criterio para analizar la situación particular de la estructura y determinar si es necesario tomar en cuenta una participación mayor de alguna de las acciones, así como cumplir con el código, pero adicionar las combinaciones especiales que no cubra dicho código que puedan presentarse en la estructura, por lo cual, el ingeniero estructurista debe analizar minuciosa y detenidamente las posibilidades de tener que aplicar alguna combinación inusual o extrema no considerada por los códigos pero aplicable en el caso específico que se analice.

El programa Robot puede realizar combinaciones de cargas automáticamente en base a alguno de los múltiples códigos que maneja. En el caso del ejemplo que se viene desarrollando, se utilizó el ACI 318.

En general, para el análisis, es posible elegir el código para el cual se generaran las combinaciones, así como seleccionar el criterio de diseño, ya sea por estados límite, Load and Resistance Factor Design (LRFD) o por esfuerzos permisibles, Allowable Stress Design (ASD).

Una vez que se elije el criterio de diseño a utilizar, por ejemplo el de estados límite, se puede seleccionar la combinación automática completa de acciones o combinación automática simplificada, su diferencia reside en que en las simplificadas solo se generan las combinaciones específicas donde buscan maximizar una sola reacción, como un momento en un sentido, y en las



combinaciones completas es para todas las reacciones. Las combinaciones que se generan toman en cuenta los estados límite de servicio y de falla, además también genera combinaciones accidentales que son inusuales o extremas.

En el programa también se pueden realizar las combinaciones manuales, es decir declaradas por el usuario, al elegir esta herramienta primero se selecciona el tipo de combinación, si se trata de un estado límite de servicio o un estado límite de falla, el programa automáticamente le asigna un nombre a la combinación pero el usuario puede modificarlo. Posteriormente se pueden configurar los factores, para cada tipo de carga por su naturaleza, ya sea muerta, viva, de sismo, etc., o bien al realizar la combinación se puede ir declarando cada uno de los factores que afectan a las cargas. Al final es posible presentar todas las combinaciones en una tabla, que permite su modificación en caso de una corrección.

## Aplicación de Cargas al Modelo

### Cargas.

Cuando el modelo de la estructura del canal que ha sido generado en Revit, se transfiere a Robot para su análisis y diseño estructural, la carga de peso propio viene asociada al modelo, de tal manera que Robot, solo le asigna como tipo de carga, la de peso propio de naturaleza carga muerta y es considerada en todos los elementos estructurales del modelo. Ahora bien el canal tendrá, en adición a ésta, más acciones a las que estará expuesto durante su vida útil y que tendrán que tomarse en cuenta.

### Consideraciones.

Los muros del canal estarán sometidos a un empuje de tierras de terreno natural, el nivel que tendrá el terreno será la cota 18.00 m.s.n.m., considerando también presiones de agua sobre el muro a la cota 16.50 m.s.n.m., y una sobrepresión sobre el relleno por el paso de vehículos.

El peso propio de la masa de concreto en el muro alabeado izquierdo, considera su forma, que es de prisma triangular que se desarrolla a lo largo de una curva, y que disminuye en una de sus dimensiones, por lo que su peso varía desde la altura del muro hasta el nivel de la losa del canal.

Se considera también la carga de subpresión a la que estará sometida la losa del canal, esta es causada por el nivel freático existente en el terreno.

También se hará la consideración, por el funcionamiento del canal, que el peso del agua dentro del canal se debe a la presencia de agua a la cota 16.50 m.s.n.m. y con una variación hasta la cota 14.00 m.s.n.m., en condiciones de operación.

El sismo se tomará en cuenta como una carga de sobrepresión dinámica que actuará sobre los muros del canal, considerando presencia de nivel mínimo de agua en el canal.



### **Combinaciones.**

Debido a que el suelo de cimentación fue representado por resortes elásticos, los cuales pueden funcionar únicamente en compresión, el análisis del modelo será no lineal, por lo que las combinaciones de las cargas no pueden ser realizadas como la superposición de cada una de ellas. Para llevar a cabo el análisis, por tanto, es necesario un modelo por cada combinación de cargas, y en cada modelo las cargas se introducen en un solo tipo de carga con la afectación del factor correspondiente de acuerdo a su naturaleza.

Al analizar el modelo se tomarán en cuenta cinco combinaciones de diseño, las cuales fueron determinadas en base al análisis de las condiciones que se presentarán en la vida útil de la estructura y que tendrán mayor afectación a la misma. A continuación algunas consideraciones para determinar las combinaciones de cargas.

Para la construcción del canal se contará con una pantalla impermeable alrededor del mismo, la cual abatirá el nivel de agua permitiendo la construcción del canal manteniendo bajo el nivel freático en los rellenos que afectan a los muros durante la construcción.

Para el canal en operación se considera que siempre tendrá un nivel de agua mínimo a la cota 14.00 m.s.n.m., y que en operación normal a la cota 16.50 m.s.n.m.

Combinación 1. La primera condición inusual en construcción, considera peso propio de la estructura, una eficiencia del 30% de la pantalla impermeable, empujes de tierra laterales con presiones de agua, subpresión en la losa y sin agua en el canal.

Combinación 2. La segunda condición es extrema en construcción, considera peso propio de la estructura, una eficiencia del 30% de la pantalla impermeable, empujes de tierra laterales con presiones de agua, subpresión en la losa, sismo y sin agua en el canal.

Combinación 3. La tercera condición es en operación normal del canal, considera el peso propio de la estructura, el nivel de agua del canal en operación normal, la subpresión en la losa y los empujes de tierras laterales con presiones de agua.

Combinación 4. La cuarta condición en operación con sismo, considera el peso propio de la estructura, el nivel de agua del canal en operación normal, la subpresión en la losa, los empujes de tierras laterales con presiones de agua y sismo.

Combinación 5. Esta quinta condición es extrema para el canal, considera un decaimiento en el nivel de agua en el canal de la cota 16.50 a 14.00 m.s.n.m., pero al tener un suelo de relleno arenoarcilloso, la presión de agua sobre los muros se abate con más lentitud provocando una diferencia entre los niveles de agua dentro y fuera del canal, se mantiene la subpresión en la losa con el nivel de 16.50 m.s.n.m., y sismo.

Se tomará también dos combinaciones de servicio para revisar desplazamientos, asentamientos en el canal, así como revisar los esfuerzos en el suelo sobre el que descansa el canal.

### Introducción de Cargas al Modelo.

Para introducir las acciones que tendrán efecto sobre la estructura y, para representarlas en el modelo, se ocupan las herramientas de cargas con las que cuenta el programa.

La carga por peso propio, como se mencionó anteriormente, se toma en cuenta automáticamente al transferir el modelo a Robot, pero al agregar nuevos elementos al modelo, estos pueden no tener asignada la carga, por lo cual, para asegurar la asignación del peso propio de la estructura, se recomienda revisar esta condición en la tabla de cargas que puede desplegar el paquete.

Se presentan a continuación la introducción de cargas al modelo, para mostrar mejor su representación, las ilustraciones, muestran individualmente las cargas y no la combinación lineal completa de ellas.

Para asignar las presiones de tierra sobre los muros se utiliza la herramienta especial “carga por empujes de tierra”. Del estudio de mecánica de suelos se toman los parámetros mecánicos del suelo que estará en contacto con los muros, a partir de esta información se declara un suelo con las características mencionadas.

Con el suelo introducido se construye un perfil estatigráfico de suelo que afectara a los muros tomando en cuenta los niveles establecidos, el nivel de agua freática y la sobrecarga en el terreno por circulación de vehículos.

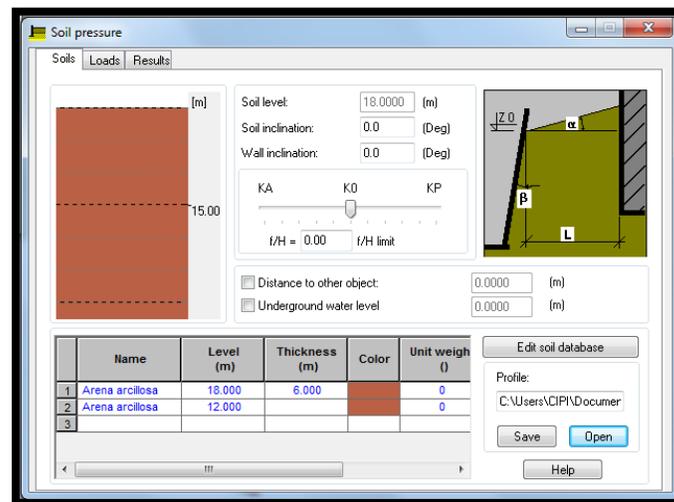
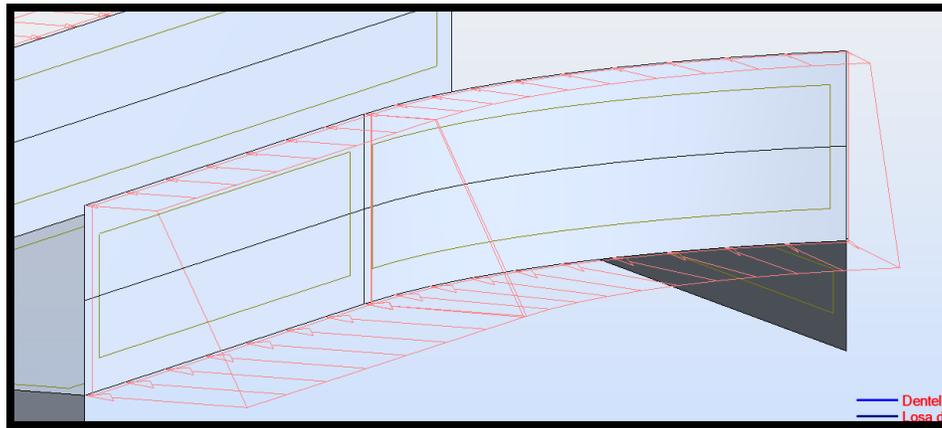


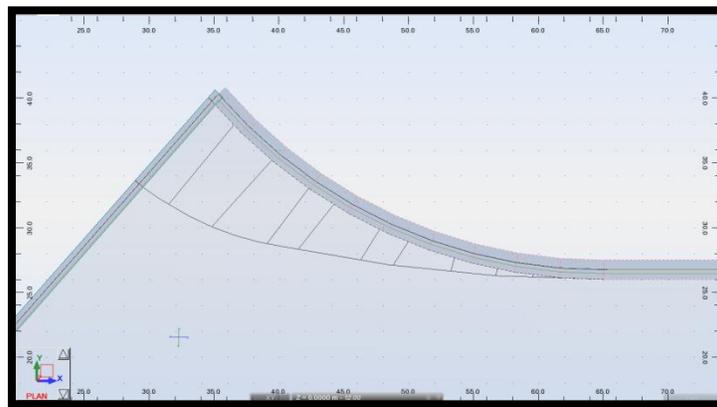
Ilustración 3.58. Presión de suelos.

El programa automáticamente calcula el diagrama de presiones que actuará en las paredes exteriores de los muros, y presenta un informe con diagramas de las consideraciones para realizar dicho cálculo. Se seleccionan los paneles y se aplica la carga a los muros.

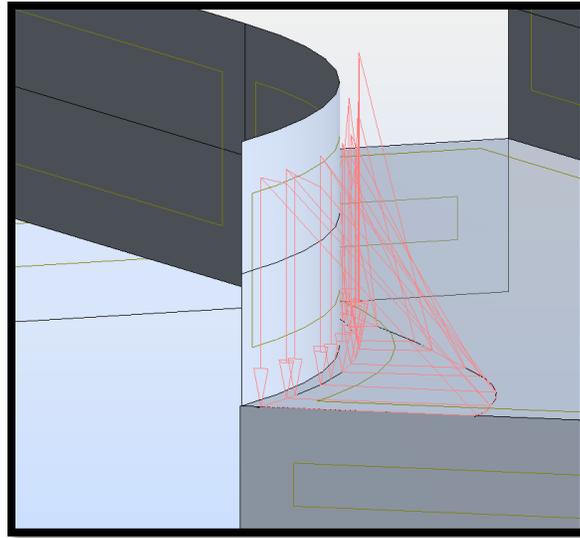


**Ilustración 3.59. Carga de empuje de tierras con agua y sobrepresión en el relleno.**

Para introducir el peso de la masa de concreto alabeada, se utiliza la herramienta de carga por superficie con carga variable sobre contorno. Para determinar la carga se toma la variación en la altura del muro alabeado desde lo alto del mismo, hasta al nivel de la losa del canal, esto es de la cota 22.00 a 12.00 m.s.n.m. (10 m.), se utiliza el peso específico del concreto para encontrar el valor de la carga ( $\gamma = 2.4 \text{ ton/m}^2$ ). Debido a la forma poco convencional del alabeado, fue necesario introducir la carga por partes, seccionando la curva del muro para hacer que la idealización de la carga se simule adecuadamente, recordando que esta carga actúa sobre un plano. En cada sección de carga se definirá también el contorno del área que afecta cada sección. Para definir el plano de carga por el cual varía cada sección, se hace de la herramienta para acciones por medio de tres puntos.



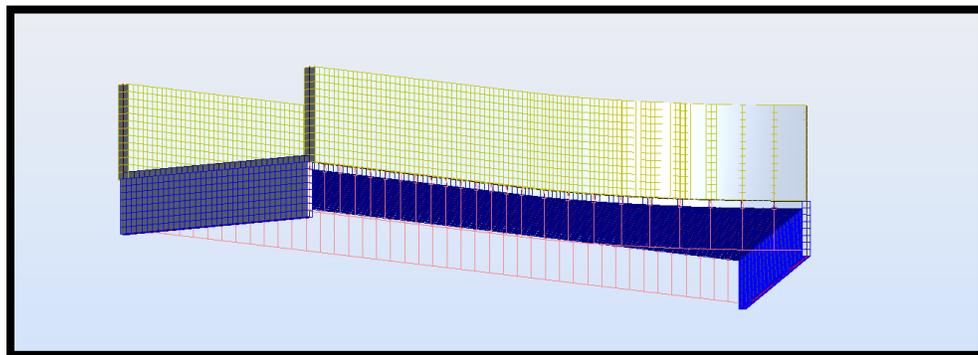
**Ilustración 3.60. Seccionamiento de muro alabeado.**



**Ilustración 3.61. Cargas por masa de concreto alabeado.**

La subpresión se modela con la herramienta carga plana uniforme, esta actúa por unidad de área. Para determinar el valor de la carga, se toma en cuenta que el nivel de agua desde la cota 16.50 a 10.50 m.s.n.m., esta es aplicada en la parte inferior de la losa del canal. El valor de la subpresión se obtiene de la diferencia de cotas por el valor del peso específico del agua.

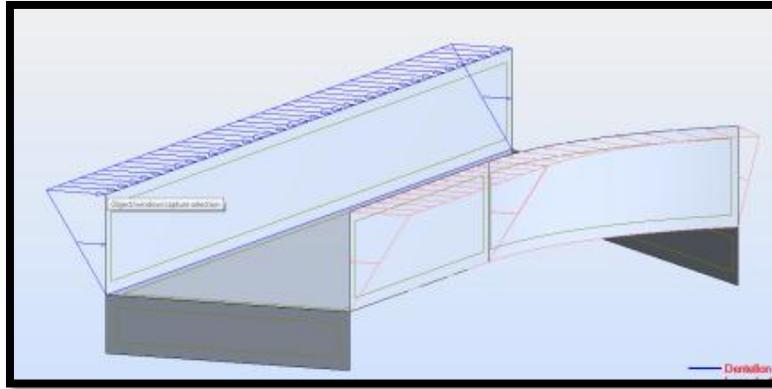
Para introducir esta carga se activa la herramienta por superficie, se introduce el valor de la carga por unidad de área, y se aplica a la losa, al realizarse los cálculos, automáticamente la carga se repartirán en áreas tributarias hacia los nodos del mallado de elementos finitos.



**Ilustración 3.62. Carga de subpresión.**

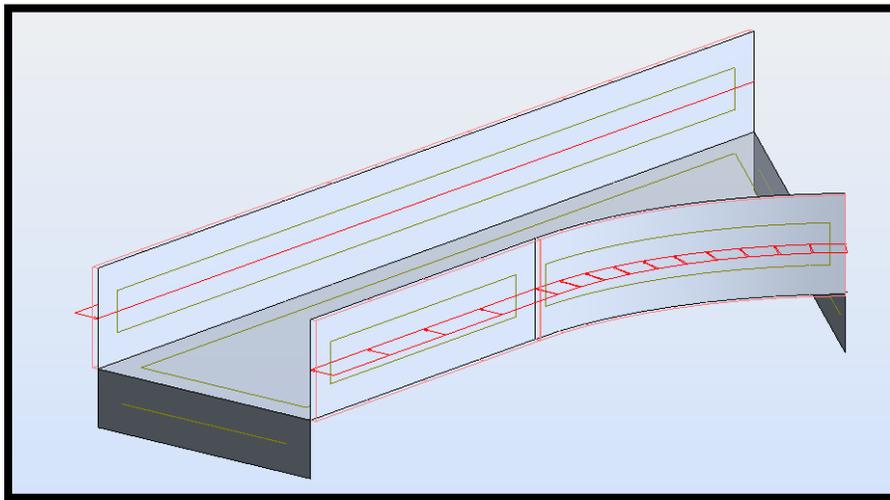
Para considerar el sismo, se calcula la acción del relleno sobre los muros, para esto se tomará un incremento dinámico de presión activa, que se presenta como una cuña de presiones en forma de triangulo invertido y la fuerza de inercia del peso propio causado por el sismo. Para determinar la magnitud de la cuña de presiones se utiliza el coeficiente de incremento de presión dinámica activa a partir de la fórmula de Mononobe-Okabe.

La cuña de presiones se modelará con la herramienta carga variable definida por tres puntos, se aplicara a los muros definiendo la variación de la carga por medio de un plano inclinado.



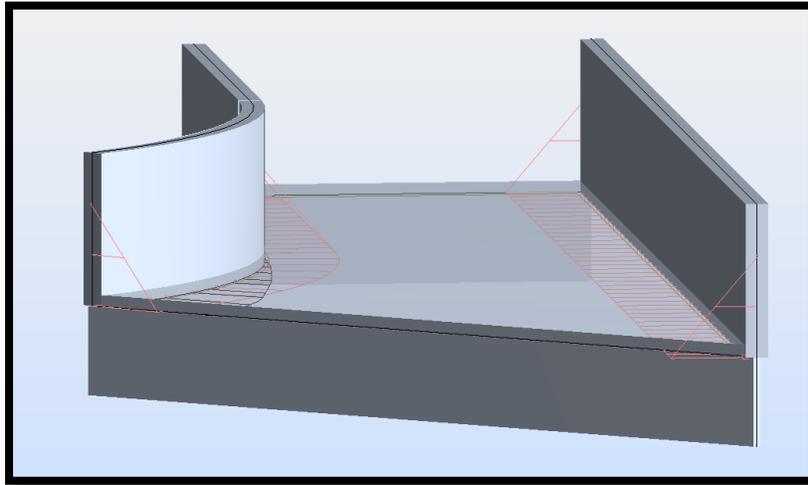
**Ilustración 3.63. Carga de incremento dinámico por sismo.**

La carga de inercia del peso propio del muro se aplicara en el centro de gravedad del muro, está es afectada por el coeficiente sísmico horizontal de la zona a partir del mapa de regionalización sísmica de la Republica Mexicana del manual de diseño de obras civiles de CFE. Para este tipo de carga se utiliza la herramienta carga sobre ejes aplicada a paneles, se utiliza una línea auxiliar para determinar la trayectoria de la carga a largo del muro, este eje se ubica a la altura del centro de gravedad del muro.



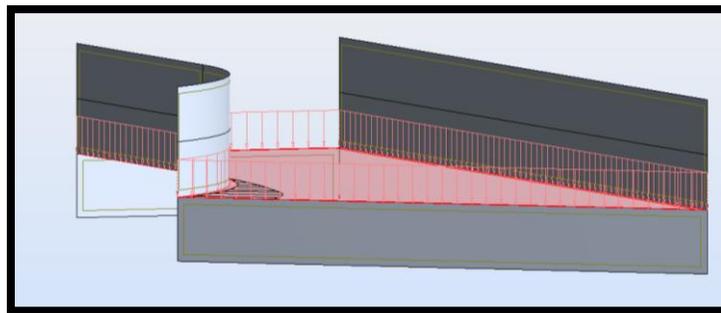
**Ilustración 3.64. Aplicación de fuerza de inercia.**

Para considerar la acción del agua dentro del canal se utiliza la carga especial hidrostática, por lo que, para introducir la carga al modelo solo se requiere especificar la altura del nivel de agua y el peso específico, para que ésta automáticamente se tome como un diagrama de presiones que afecta a los muros del canal.



**Ilustración 3.65. Carga de agua dentro del canal.**

Adicionalmente a la carga del agua sobre los muros, se aplica la acción del peso del agua sobre la losa del canal, para ello se aplicará la herramienta de carga por superficie, esta acción tomará el valor de la diferencia entre el nivel de agua y la cara superior de la losa, esta altura del agua por su peso específico y será la carga que actuará por metro cuadrado ( $16.50 \text{ m.s.n.m.} - 12.00 \text{ m.s.n.m.} = 4.5 \text{ m}$ ).



**Ilustración 3.66. Acción del peso del agua sobre la losa.**



## CAPÍTULO 4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

### Introducción.

El análisis estructural busca determinar, para el sistema estructural, sus reacciones, elementos mecánicos, el estado de esfuerzos internos y las deformaciones, que son consecuencia de la aplicación de acciones sobre la estructura. Para obtener estos resultados se dispone de varios métodos matemáticos determinísticos, que difieren en complejidad y precisión, cuya aplicación depende del comportamiento esperado de la estructura y/o sus acciones. En el programa Robot, como en la mayoría de los paquetes de análisis estructural, se adopta por defecto el análisis elástico lineal, pero dispone de varios tipos de análisis basados todos ellos en métodos matriciales, los cuales se mencionan a continuación, entre los cuales es posible elegir los más adecuados para el análisis de una estructura en particular. En este capítulo, se dará una breve descripción de ellos y su aplicabilidad a problemas específicos; sin incluir una presentación detallada de la metodología ya que cada tipo de análisis conlleva todo un fundamento teórico que queda fuera del alcance del presente trabajo.

La paquetería moderna de análisis estructural, parte de la siguiente ecuación general de equilibrio:

$$MQ'' + CQ' + KQ = F(t) - f(t, Q)$$

Donde:

K – Es la matriz de rigidez en la forma de suma de matrices componentes:

$$K = K_0 + K_\sigma + K_{NL}, \text{ donde:}$$

$K_0$  - La matriz de rigidez inicial.

$K_\sigma$  - La matriz de rigidez de los esfuerzos (depende de los cambios de rigidez que toma el elemento bajo un estado de esfuerzos, efectos de segundo orden).

$K_{NL}$  - La matriz de rigidez de otros componentes dependientes de Q (producto de la rigidez lateral y de esfuerzos resultantes de una deformación, efectos de tercer orden).

C - Matriz de amortiguamiento.

M - Matriz de masas.

Q - Vector de desplazamientos.

Q' - Velocidades (primera derivada del vector Q respecto del tiempo).

Q'' - Aceleraciones (segunda derivada del vector Q respecto del tiempo).



$F(t)$  - Vector de fuerzas externas.

$f(t, Q)$  - Vector de fuerzas no equilibradas.(o residuales, estas fuerzas son prácticamente cero al alcanzar el equilibrio cuando la convergencia es revisada y se detiene el proceso de cálculo , estos valores son muy pequeños en comparación con los parámetros de tolerancia).

## Tipos de Análisis.

### Análisis Estático.

Para el caso de análisis estático, la ecuación general de equilibrio se simplifica, partiendo de la condición de que en dicho análisis no existen variaciones de las acciones con respecto al tiempo. Al hacer esta consideración, las velocidades y aceleraciones de las masas son igual a cero, por ende las fuerzas y energía de inercia y amortiguamiento se nulifican. El análisis estático, bajo los supuestos mencionados puede ser de dos tipos, dependiendo del material y la geometría de la estructura. Estos tipos son el lineal y el no lineal:

Lineal.

Para este análisis, se hacen las consideraciones que se tendrán deformaciones pequeñas en la estructura, que el material es perfectamente elástico y obedece la ley de Hooke, al tomar en cuenta estas acepciones, la relación carga - deformación obedece a una dependencia lineal. Bajo esta condición es aplicable el principio de superposición de causas y efectos, con lo cual, es posible realizar la combinación de diferentes cargas básicas que pueden afectar simultáneamente a la estructura, mediante la suma de sus efectos individuales. Al hacer la simplificación antes mencionada del análisis estático y con un comportamiento lineal, la ecuación matricial general de equilibrio queda de la siguiente manera:

$$K_0 Q = F$$

No lineal.

El comportamiento no lineal puede clasificarse en dos tipos no linealidad estructural (por característica de respuesta de algún elemento, o por el material de que se encuentra constituido), y no linealidad geométrica.(análisis de segundo orden, considerando deformación de los elementos al establecer el equilibrio y efecto  $P - \Delta$ )

La no linealidad estructural, se presenta cuando el sistema estructural tiene al menos un elemento estructural que responde a un comportamiento no lineal, esto es que el elemento tiene un tipo de restricción que le impide tener un comportamiento completamente lineal, como lo es un elemento rótula no lineal (unión viga-columna con comportamiento plástico del material), o alguna condición estructural como en el caso de un elemento tipo cable (restringido a solo tensión), un apoyo con liberación en una sola dirección y sentido, etc.

De acuerdo con lo antes señalado, la no linealidad estructural está asociada siempre a la existencia de al menos un solo elemento estructural en el sistema, que presente una no linealidad estructural o no linealidad de material

Si la estructura incluye elementos no lineales ( como cables, apoyos que trabajan en solo compresión y material plástico), los cálculos son aplicados mientras se realiza el método de incrementos.

La no linealidad de material, es debida a las características del material, esto es a la relación esfuerzo-deformación del material, por ejemplo materiales elasto-plásticos, plásticos, entre otros.

La no linealidad geométrica se presenta, cuando por la geometría del sistema estructural, las deformaciones en el mismo influyen de manera importante en el comportamiento estructural al tener efectos de orden superior siendo el de segundo orden, el que toma en cuenta el cambio de rigidez de un elemento bajo la influencia de un estado de esfuerzos en el elemento, al mismo tiempo considera la generación de momentos resultantes de la acción de fuerzas verticales en nodos con desplazamientos horizontales.

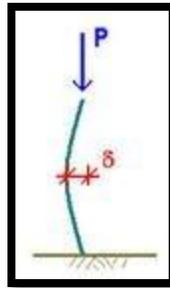


Ilustración 4.67. Efecto de segundo orden.

En la no linealidad geométrica, los de tercer orden corresponden al efecto P-Delta, que toma en cuenta la adición de rigideces laterales y esfuerzos, que resultan de deformaciones, este efecto también considera adicionalmente las fuerzas producidas por la estructura deformada.

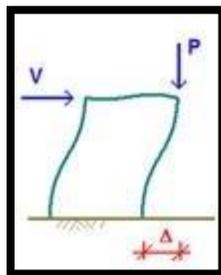


Ilustración 3.68. Efecto de tercer orden o P-Delta.



El análisis no lineal consiste en la aplicación incremental de cargas, en los cálculos las cargas no son consideradas al mismo tiempo, son gradualmente incrementadas y resueltas sucesivamente, hasta encontrar un estado de equilibrio.

La simplificación de la ecuación general de equilibrio para el análisis estático no lineal queda de la siguiente forma:

$$(K_0 + K_\sigma + K_{NL})Q = F(t) - f(t, Q)$$

El análisis por pandeo se considera como un análisis no lineal por geometría, toma en consideración la influencia que tienen, en elementos esbeltos, los incrementos de carga en la disminución de su rigidez, esto es, se evalúa la seguridad de una pieza estructural en la cual se puede presentar una carga crítica, que pueda provocar una falla por pandeo y por ende la inestabilidad del elemento. El coeficiente de carga de pandeo se determina a través de una solución del problema de eigenvalores lineal. El eigenvector define el modo de pandeo asociado a la carga crítica .

Al resolver el problema de eigenvectores, el análisis de pandeo determina para los modos de pandeo requeridos por el usuario, las fuerzas críticas asociadas.

En el análisis de una estructura esquelética de un edificio completo, el análisis de pandeo determina la carga crítica global utilizando el proceso de extracción de eigenvalores, para la mejor predicción de las cargas críticas, pudiéndose emplear la aproximación de columna equivalente para corroboración de los resultados del modelo.

### **Análisis Dinámicos.**

El análisis dinámico consiste primordialmente en la determinación de la variación en el tiempo de las deflexiones, a partir de los cuales los esfuerzos pueden ser calculados directamente tomando en cuenta las propiedades de la estructura tales como su masa, amortiguamiento y rigidez. Este tipo de análisis toma en cuenta las acciones que cambian de magnitud, dirección o punto de aplicación en un periodo corto de tiempo, tomando en cuenta las aceleraciones y velocidades, por ende el amortiguamiento y la fuerza de inercia.

La forma general de la ecuación para el análisis dinámico de estructuras es:

$$My'' + Cy' + Ky = P(t)''$$



Donde:

M - Matriz de masas del sistema.

C - Matriz de amortiguamiento del sistema.

K - Matriz de rigideces de la estructura.

$y''$  - Vector de aceleraciones.

$y'$  - Vector de velocidades.

v - Vector de desplazamientos.

P - Vector de fuerzas .

En Robot pueden realizarse varios tipos de análisis dinámicos, los cuales se describen brevemente a continuación:

#### **Análisis Modal.**

El análisis modal determina todos los parámetros para los modos básicos de vibración libre de la estructura, como son eigenvalores, eigenvectores, el factor de participación modal y el porcentaje de participación de la masa. Los modos más importantes a considerar corresponden a las menores frecuencias (llamadas frecuencias naturales de vibración) porque pueden ser los modos predominantes en la vibración de la estructura.

En Robot el número de modos a calcular puede ser especificado por el usuario, o definir un rango de valores para los parámetros de vibración libre. Los eigenvalores y formas del modo se obtienen de la siguiente ecuación:

$$(K - \omega_j^2 M)U = 0$$

K – Matriz de rigidez.

$\omega_j$  – Frecuencia circular.

M – Matriz de Masas.

U - Vector de formas modales.

#### **Análisis Armónico.**

Este análisis toma en consideración las fuerzas o desplazamientos en una estructura causados por una acción que puede idealizarse por medio de una función periódica seno o coseno. Este tipo de



acción puede ser causada por maquinaria en rotación la cual produce excitaciones armónicas debido a las excentricidades de las masas.

En el análisis armónico, el usuario define la estructura y cargas como en un análisis estático lineal. Las acciones impuestas se interpretan como amplitudes de fuerza de excitación. Su frecuencia, ángulo de fase y el periodo son definidos por el usuario. La ecuación de movimiento que se resuelve en el análisis armónico (asumiendo que el amortiguamiento de la estructura se desprecia) es:

$$F = b \text{ sen } (\omega t)$$

b - Vector de amplitudes de las fuerzas.

F - Vector de fuerzas externas.

$$(K - \omega_j^2 M)Q = F$$

K – Matriz de rigidez.

$\omega_j$  – Frecuencia circular.

M – Matriz de Masas.

Q - Vector de desplazamientos.

El desplazamiento, fuerza interior y amplitudes de reacción son generadas por el análisis.

Adicionalmente, es posible determinar un análisis armónico en el dominio de la frecuencia, consiste en realizar secuencialmente el análisis armónico para valores de frecuencias sucesivos en un rango seleccionado.

### **Análisis Espectral.**

Muy utilizado en el diseño sísmico, este tipo de análisis presenta la reacción o respuesta espectral ante una excitación en la base de la estructura que la soporta. La respuesta espectral es un diagrama de máxima reacción (representada en términos de desplazamientos, velocidades, aceleraciones o algún otro parámetro de interés) que produce una determinada acción dinámica sobre la estructura, como lo es un sismo.

El análisis calcula los valores del análisis modal y también calcula lo siguiente para cada una de las formas de vibración: coeficientes de participación para el análisis espectral, valor del espectro de aceleración de excitación, coeficientes modales, desplazamientos, las amplitudes internas de reacción y fuerza que son producidas por el análisis.



La ecuación de movimiento que resuelve el análisis espectral es:

$$KQ + MQ'' = -MA$$

K – Matriz de rigidez.

Q - Vector de desplazamientos.

Q'' - Aceleraciones (segunda derivada del vector Q respecto del tiempo).

M – Matriz de Masas.

A - Aceleración en la base de la estructura.

### **Análisis Sísmico.**

El análisis sísmico para una estructura en Robot, que responde a un código seleccionado, puede realizarse por dos métodos diferentes:

El método de fuerzas laterales equivalentes. La idea de este método es distribuir la fuerza sísmica a cada piso que sea capaz de transmitir cargas laterales, las fuerzas son generadas y aplicadas a diafragmas rígidos o elementos estructurales verticales (columnas, muros) que puedan recibir las fuerzas laterales. Cada código define específicamente las limitaciones de la aplicación de este método, entre las limitaciones más comunes, ser una estructura regular y tener una altura máxima especificada del edificio. Las fuerzas generadas también pueden ser aplicadas a los centros de masa de los diafragmas o paneles.

Por el método de espectro de respuesta. En este caso todos los parámetros del espectro son definidos como en el caso modal, pero adicionalmente se requieren parámetros específicos de acuerdo al código seleccionado para determinar la forma del espectro.

### **Análisis Paso a Paso.**

El análisis paso a paso permite obtener la respuesta de la estructura para ciertos puntos de tiempo seleccionados de una función de tiempo definida (difiere de los otros análisis disponibles en el programa Robot que dan los resultados para un sólo instante), la función de variación de las cargas puede ser definida por cualquier caso de carga estático.

Las diferencias básicas entre los tipos de análisis similares:

El análisis de cargas móviles difiere del análisis paso a paso porque el primero no toma en consideración los efectos dinámicos; en cambio la diferencia entre el análisis armónico y el análisis paso a paso estriba en que en el primer tipo de análisis se presenta la respuesta de la estructura solamente en forma de amplitudes y no en función de tiempo.

Los tipos de estructuras y de cargas disponibles son los mismos que para el análisis lineal.

El análisis paso a paso consiste en encontrar la solución de ecuación de la siguiente variable de tiempo "t":



$$M a(t) + C v(t) + d(t) = F(t)$$

con los valores iniciales :

$$d(0) = D_0 \text{ y } v(0) = V_0$$

donde:

M - Matriz de masas.

K - Matriz de rigideces.

C =  $\alpha$  M +  $\beta$  K - Matriz de amortiguamiento.

$\alpha$  - Coeficiente multiplicador definido por el usuario.

$\beta$  - Coeficiente multiplicador definido por el usuario.

d - Vector de desplazamientos.

v - Vector de velocidades.

a - Vector de aceleraciones.

F - Vector de cargas.

El análisis paso a paso no lineal permite obtener la respuesta de la estructura en la cual, cualquier elemento no lineal puede ser definido. Los parámetros del análisis paso a paso no lineal son casi idénticos a los parámetros del análisis paso a paso lineal y los parámetros no lineales son los mismos para el análisis estático no lineal.

El análisis paso a paso no lineal consiste en la solución de la siguiente ecuación para la variable temporal

“t”:

$$M a(t) + C v(t) + Nd(t) = F(t)$$

Donde los valores iniciales son conocidos,  $d(0) = d_0$  y  $v(0) = V_0$

N - Vector de fuerzas internas, el cual tiene una relación no lineal con el vector de desplazamientos d.

### **Análisis Pushover.**

El análisis pushover es un análisis estático no lineal de la estructura, permite presentar el comportamiento de la estructura bajo efecto de diferentes tipos de cargas debidas a sismos. La magnitud de la carga de la estructura es aumentada de una manera incremental conforme



vectores de fuerza o desplazamiento. El aumento de valores de la carga posibilita la detección de las partes débiles de la estructura y los modos de colapso de la estructura. El análisis de modos de colapso constituye una prueba de verificación de la resistencia de la estructura. En el momento de definir este tipo de análisis es necesaria la definición de las rótulas no lineales.

### **Análisis Elasto-plástico de las Barras.**

El análisis elasto-plástico permite considerar la no linealidad debida al material. Hay que mencionar que en la no linealidad debida al material, no se considera el cambio de la rigidez del material causado por factores externos como la temperatura; tampoco se consideran las cuestiones reológicas (cambio en las propiedades del material a través el tiempo). El análisis elasto-plástico se efectúa sólo para elementos barra de la estructura.

Del análisis elasto-plástico se generan los siguientes resultados:

**Deformaciones.** En el análisis elasto-plástico se calculan directamente las flechas en barras. Se obtienen los valores de los desplazamientos y las rotaciones de los nudos de la división interna de la barra (para el análisis la barra divide su longitud en varios puntos característicos donde se ubican nodos de cálculo), para obtener las flechas en un punto cualquiera de la barra, se aplica la interpolación lineal entre los puntos de división interna.

**Fuerzas internas.** Las fuerzas internas en la barra se calculan de la misma forma que para el análisis lineal. Sólo para el análisis P-delta se utiliza otro algoritmo, las fuerzas internas en la barra consideran la influencia de la excentricidad debida a la flecha de la barra, las flechas se calculan para los puntos o nodos de la división interna de la barra.

**Esfuerzos.** En el análisis elasto-plástico la distribución de los esfuerzos normales en la sección, no es lineal cuando se rebasa el esfuerzo de proporcionalidad del material y por esto, los esfuerzos se calculan de manera independiente para cada zona, algunas zonas pueden estar dentro del rango plástico mientras que otras en el rango elástico de esfuerzos, por lo tanto no se puede determinar el esfuerzo en un solo punto a lo largo de la barra.

### **Análisis Footfall.**

El análisis footfall, examina el efecto de una carga móvil peatonal como vibraciones en la estructura (interpretado como una fuerza armónica en determinado intervalo de frecuencia). Este tipo de análisis puede ser aplicado únicamente en estructuras sin no linealidad estructural, geométrica o de material, esto es que la estructura no puede contener barras elasto-plásticas, apoyos unidireccionales o no lineales, liberaciones, cables y elementos restringidos a trabajar solo en tensión o compresión.

El objetivo del análisis footfall es evaluar la respuesta vertical en los nodos de la estructura (el factor de respuesta, aceleración, velocidad y desplazamiento) que es inducido por la fuerza armónica aplicada en los mismos. Uno de los resultados más importantes del análisis es el factor de respuesta, que especifica en qué condiciones, las vibraciones calculadas exceden a las permitidas, que son perceptibles para el ser humano.

## Aplicación al Modelo BIM.

El tipo de análisis que se realizará para el modelo del canal de entrada, será estático no lineal, este tipo de análisis es elegido por el programa automáticamente, debido a la no linealidad estructural que se presenta en el modelo, que es debida a la idealización de apoyos de la cimentación sobre resortes elásticos que únicamente trabajan a compresión.

Como se mencionó en el capítulo anterior, se tendrán cinco combinaciones de cargas para el análisis por estado límite de falla y debido a la no linealidad por los apoyos, no es posible aplicar el principio de superposición de causas y efectos, por lo que se tiene que generar un modelo por cada combinación de cargas.

El programa realiza todos los cálculos del análisis una vez que se encuentran determinados todos los parámetros que tienen influencia en el comportamiento de la estructura, teniéndose la facilidad de que antes de realizar los cálculos, se le requiera al programa el realizar una verificación sobre el modelo, para detectar posibles errores o anomalía en la introducción de los datos, que son marcados como errores, advertencias y notas. Estas inconsistencias pueden presentarse a causa de un mallado incorrecto, no asignación de material, falta de apoyos suficientes o problemas con un elemento, entre otras muchas causas. Una vez realizada la verificación al modelo y que ésta haya sido satisfactoria, se realizan los cálculos al modelo y aparece una pantalla que muestra el progreso y estado del análisis que se lleva a cabo.

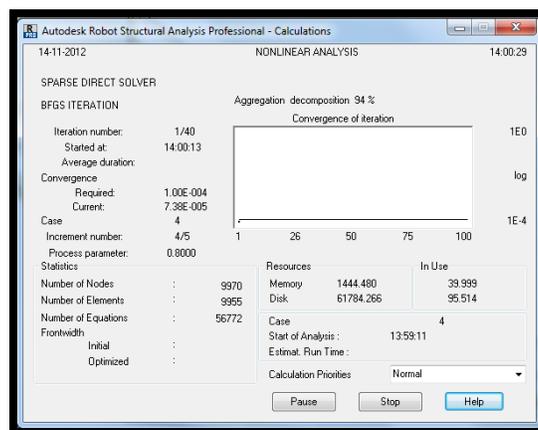


Ilustración 4.69. Ventana de estado y progreso del análisis estructural.

Los elementos estructurales que componen el canal son la losa y los muros, los cuales se encuentran sometidos a cargas normales aplicadas en su plano, por lo que los elementos mecánicos más relevantes se presentarán como fuerzas cortantes y momentos flexionantes, estos últimos serán los primeros que se revisarán y compararán de todas las combinaciones en la dirección más desfavorable; y así determinar cuál es la condición más crítica en la que se presentan los mayores momentos flexionantes para el canal.

Primero se revisan los mapas de intensidades de los momentos flexionantes en el canal, y se determina cuáles son los más significativos y en qué condiciones.

Los resultados se presentan bajo la siguiente convención de signos locales que utiliza Robot en los elementos estructurales.

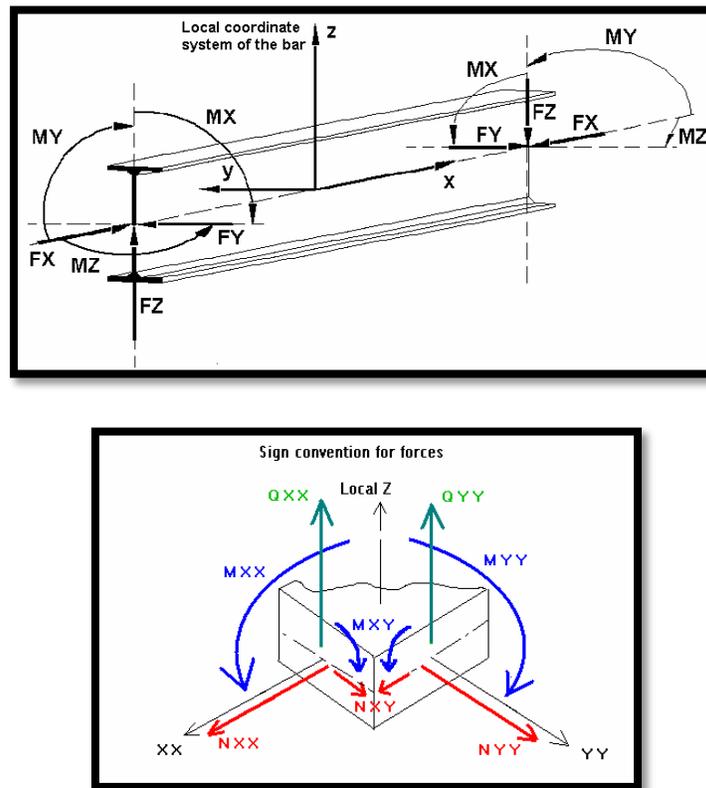


Ilustración 4.70. Convención de signos locales para los resultados en los elementos estructurales en Robot.

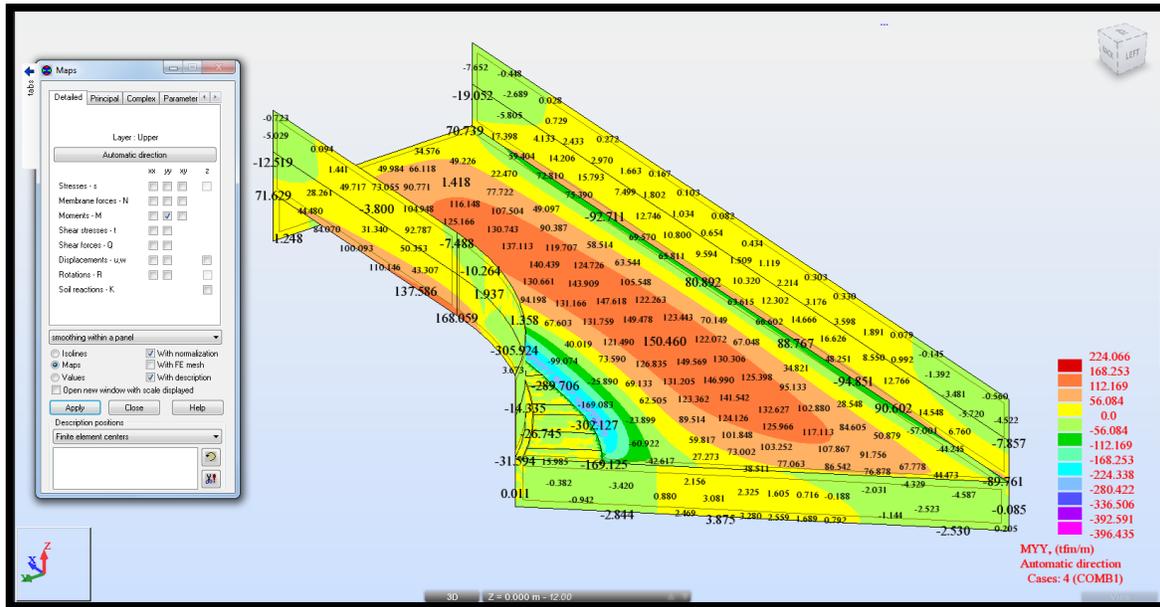


Ilustración 4.71. Mapa de intensidades de momentos en el sentido transversal.

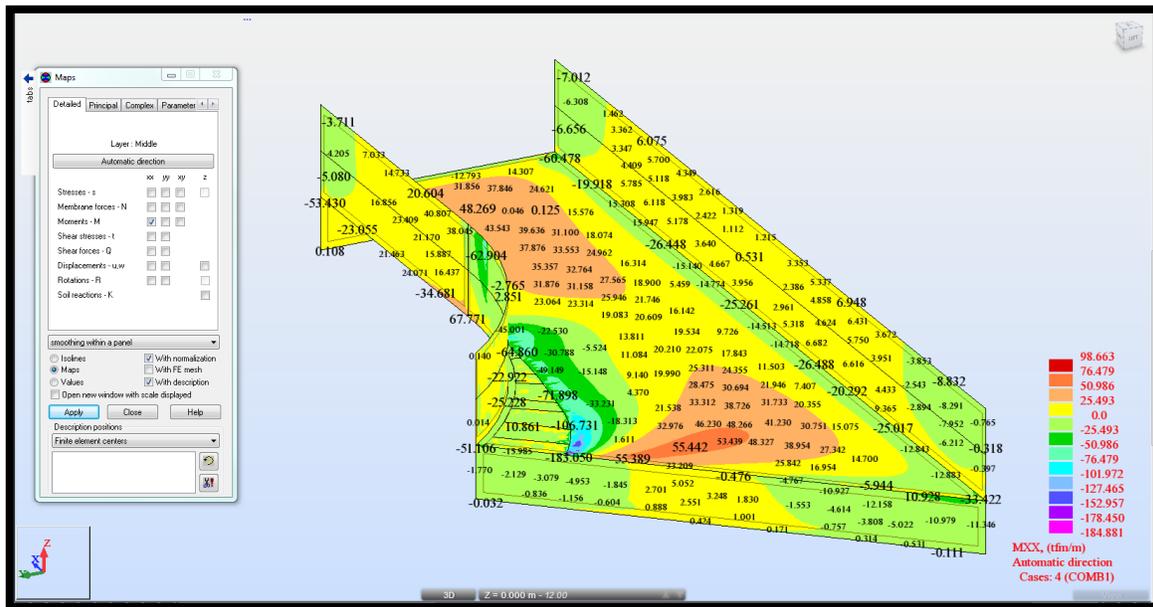


Ilustración 4.72. Mapa de intensidades de momentos en el sentido longitudinal.

La combinación 1, (Peso Propio + Empuje de tierras + Subpresión, con sus debidos factores de carga) es la que presenta los mayores momentos flexionantes, conforme el mapa de intensidades de momentos en el sentido transversal, se presentan dos puntos donde los momentos son los mayores para cada tipo de elemento, la losa y los muros. En la losa el momento mayor positivo local se presenta en la parte central de la entrada, y el mayor momento negativo local se presenta en el contorno modelado de la frontera del alabeado. También se tiene un momento considerable

en el muro derecho. Estos valores pueden analizarse más minuciosamente ubicando los momentos en los nodos por medio de los valores que el programa presenta en tablas de resultados. También es posible obtener del programa, los diagramas de elementos mecánicos, tal como se muestra en la Ilustración 4.7 que permite identificar la congruencia de resultados, con el comportamiento estructural esperado.

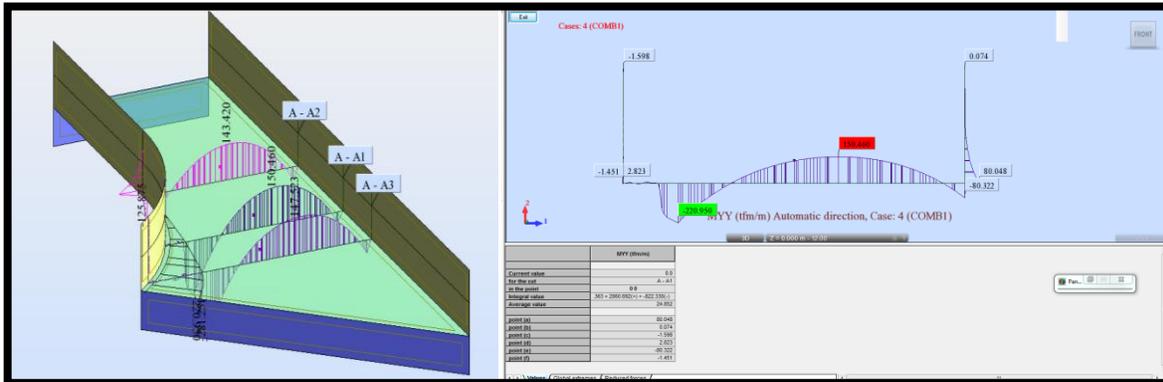


Ilustración 4.73. Diagramas de momentos en los puntos más críticos.

En las figuras anteriores se muestra como se presentan los diagramas de momentos flexionantes directamente en el modelo estructural, o individualmente en una ventana con el diagrama y una tabla de puntos característicos del mismo.

Los diagramas que se muestran sobre el modelo, están trazados en las secciones en donde se tienen los puntos más críticos, donde se presentan los mayores momentos flexionantes.

Ahora bien, para evaluar el comportamiento estructural del canal, se procedió a predimensionar preliminarmente el refuerzo que se tendría que proporcionar para la losa y los muros, con la estructuración seleccionada y verificar que ésta es adecuada para el proyecto. De acuerdo con lo señalado, se determinó el área de acero en centímetros cuadrados por metro de longitud, mediante la aplicación de la fórmula de momento flexionante resistente en una sección, y despejando el porcentaje de acero tal como se muestra en la siguiente fórmula:

$$\rho = 0.85 \frac{f'_c}{f_y} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{2M_u}{0.85 \phi b d^2 f'_c}} \right)$$

$$A_s = \rho b d$$

Donde:

$A_s$  - Área de acero de refuerzo longitudinal.

$f'c$  - Resistencia del concreto.

$f_y$  - Esfuerzo de fluencia del acero.

$b$  - Ancho de la sección en estudio.

$d$  - Distancia desde la fibra extrema en compresión hasta el centroide del refuerzo.

$\rho$  - Porcentaje de acero de la sección.

$\phi$  - Factor de reducción de resistencia.

$M_u$  - Momento ultimo actuante en la sección.

De la revisión de la cantidad de acero requerida por la sección de momento flexionante máximo en la losa, y utilizando varilla de 1", se observa que se requiere una distribución de varillas con separación menor a @15 cm., en el punto más crítico. Repitiendo el ejercicio con varillas de 1 1/4" se obtiene un distribución con espaciamiento de varillas @25cm. Observando que los armados que se requieren con esta estructuración son cuantiosos y darían mallas muy cerradas y patrones de difícil construcción, se consideró necesario hacer modificaciones a la estructuración, para disminuir los momentos flexionantes, para simplificar los patrones de armado con espaciamientos más funcionales.

Para ello se consideró modificar la estructuración inicial para incluir un tercer dentellón en la parte central del canal para seccionar la losa en dos tableros y tener una redistribución de los momentos, para que los momentos flexionantes en cada tablero de losa se vean disminuidos.

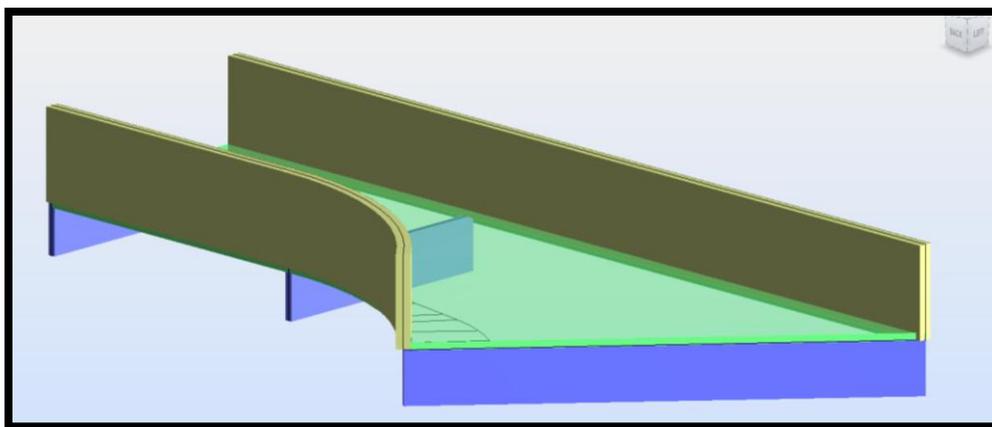


Ilustración 4.74. Estructuración del canal con tercer dentellón.

Esta nueva estructuración fue analizada bajo las mismas consideraciones antes mencionadas, nuevamente realizados los análisis de las combinaciones, y determinando aquella combinación para la cual se presentan los mayores momentos, que resulta la misma condición que para la estructuración anterior (combinación 1), en el nuevo mapa de intensidades se observan las reducciones que se obtienen en cuanto a momentos flexionantes.

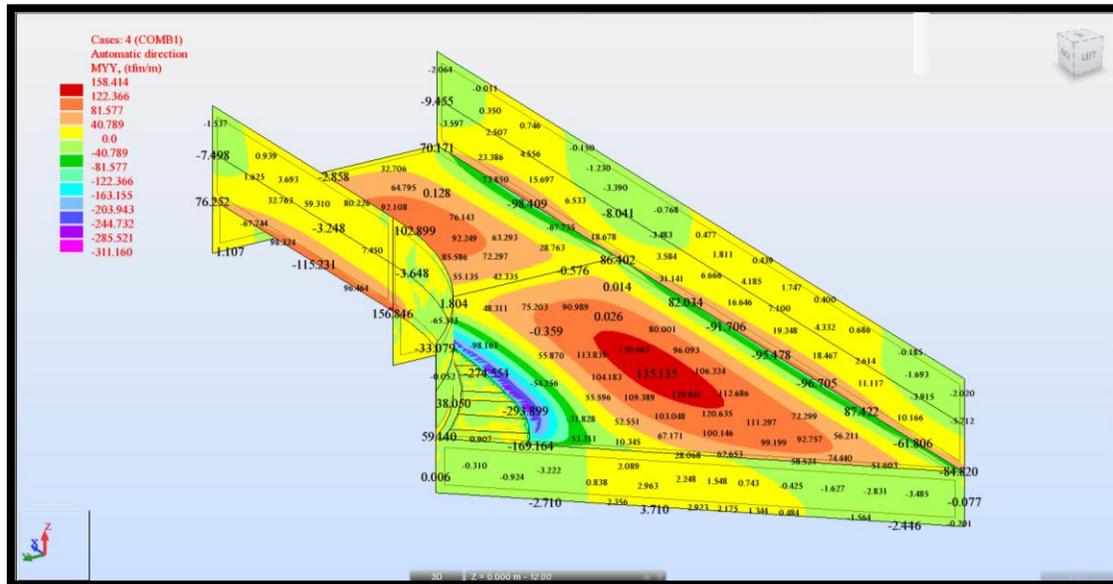


Ilustración 4.75. Mapa de intensidades en el sentido transversal.

Con estos resultados del análisis se revisan los momentos flexionantes máximos y se evalúan nuevamente la cantidad de acero necesario por flexión y su distribución en las parrillas de armado. En este caso la distribución 1" @ 15 cm., cumple con la resistencia para el momento último en el punto más crítico.

Del análisis de las combinaciones de servicio, calculadas sin factores de carga, se revisa que las deformaciones y desplazamientos máximos de la estructura no exceden los valores límites permitidos de acuerdo con lo establecido por la normativa seleccionada, para funcionalidad de la estructura.

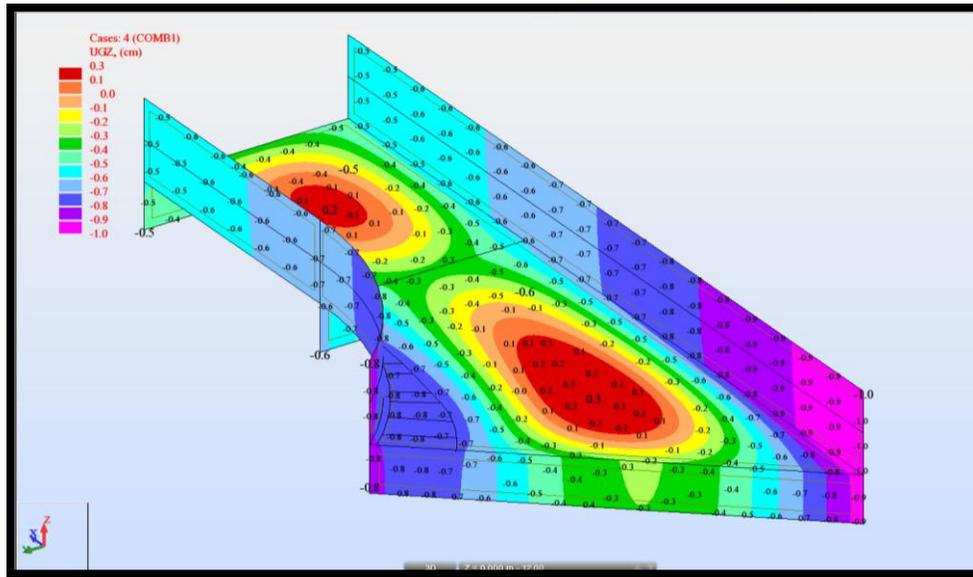


Ilustración 4.76. Mapa de intensidades de desplazamientos verticales.

En la figura anterior se muestra el mapa de intensidades de desplazamientos verticales, en el cual se puede observar que la magnitud de estos es muy pequeña, sobre todo en la parte más angosta del canal y en el centro de la losa se presentan levantamientos, por lo que una leve variación en el aumento de la subpresión podría poner en riesgo la estabilidad de la estructura, causando que el canal flote.

Así que, debido a esto, se propone modificar nuevamente la estructuración del canal para poder asegurar la estabilidad del mismo. Para ello, en la estructuración propuesta, se amplía la losa fuera de los muros, en 1 m., hacia los lados del canal, proporcionando entonces alerones que estarían sometidos a la acción del peso del relleno lateral y con esto evitar que se presente la flotación del canal.

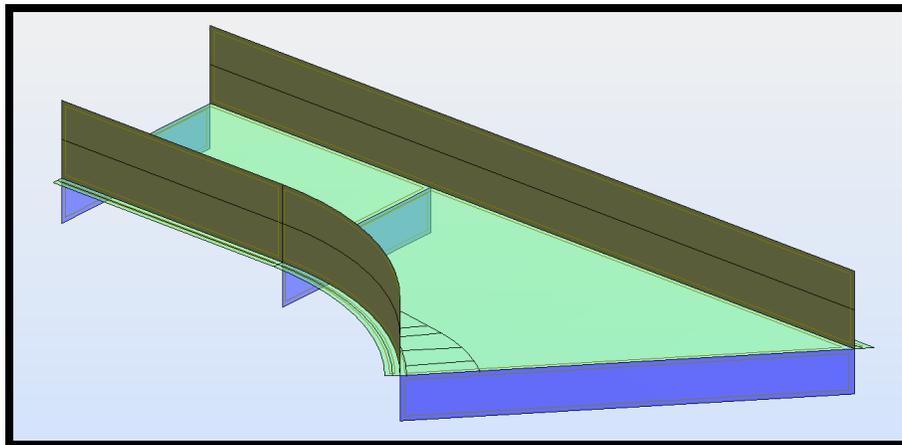


Ilustración 4.77. Nueva estructuración con tercer dentellón y ampliación lateral.

En la imagen anterior se muestra la nueva estructuración del canal, la cual será nuevamente analizada por las combinaciones de estado límite de falla, para obtención de los elementos mecánicos.

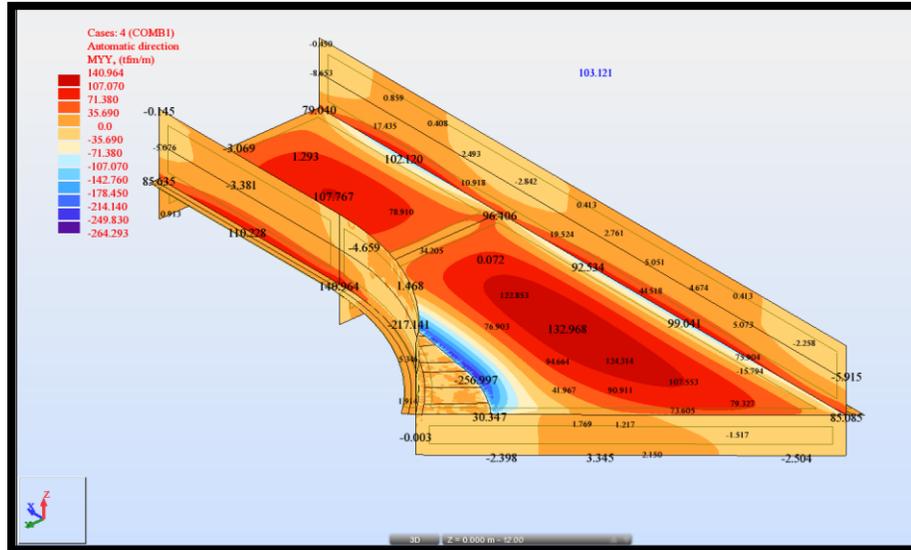


Ilustración 4.78. Mapa de intensidades de momentos transversales..

En la imagen anterior se observa que con la nueva estructuración, se presenta una reducción de momentos en comparación con la estructuración anterior, lo cual incrementa la seguridad en el diseño estructural.

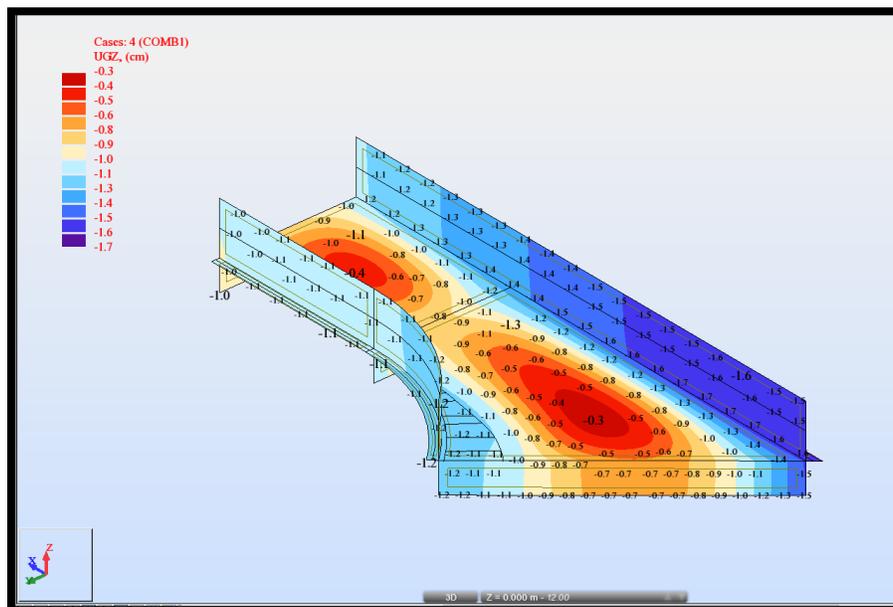


Ilustración 4.79. Mapa de intensidades de desplazamientos verticales.

En la imagen anterior se muestran los desplazamientos verticales, producto de los análisis de las condiciones de servicio, en los cuales ya no se presentan levantamientos en la losa, con lo cual se logra asegurar de que el canal no presentará flotación.

En esta sección del análisis estructural se propusieron algunas modificaciones a la estructuración para mejorar el comportamiento del canal, mecánicamente y en el aspecto de estabilidad. En las imágenes anteriores se presentaron los momentos flexionantes y desplazamientos que regirán el diseño de la estructura, pero se revisan todos los elementos mecánicos y deformaciones provenientes del análisis estructural. Todos los resultados del análisis serán utilizados para el diseño estructural.

A continuación se muestran el resto de los elementos mecánicos y deformaciones que se presentan en el canal.

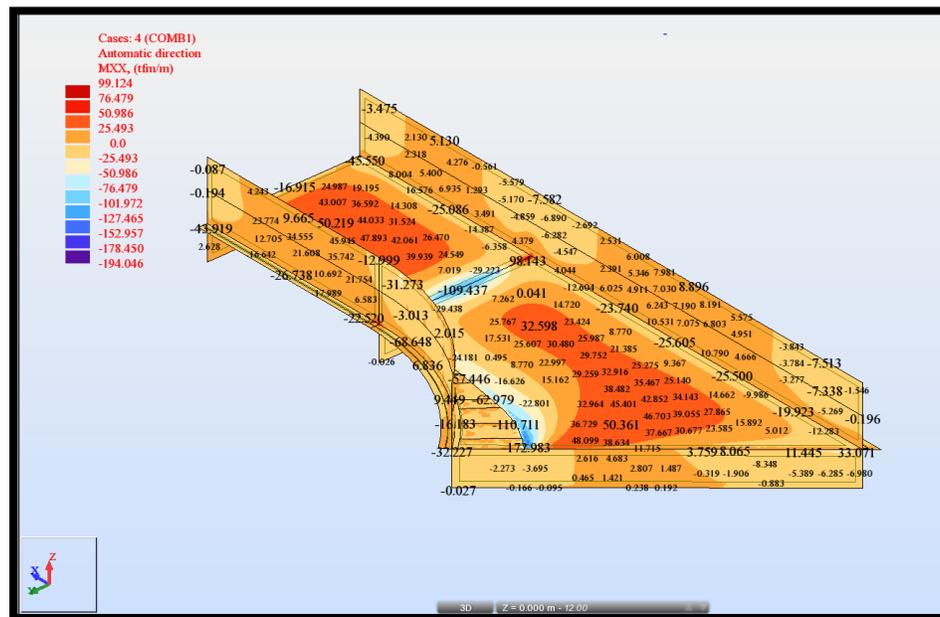


Ilustración 4.80. Momentos en el sentido longitudinal.

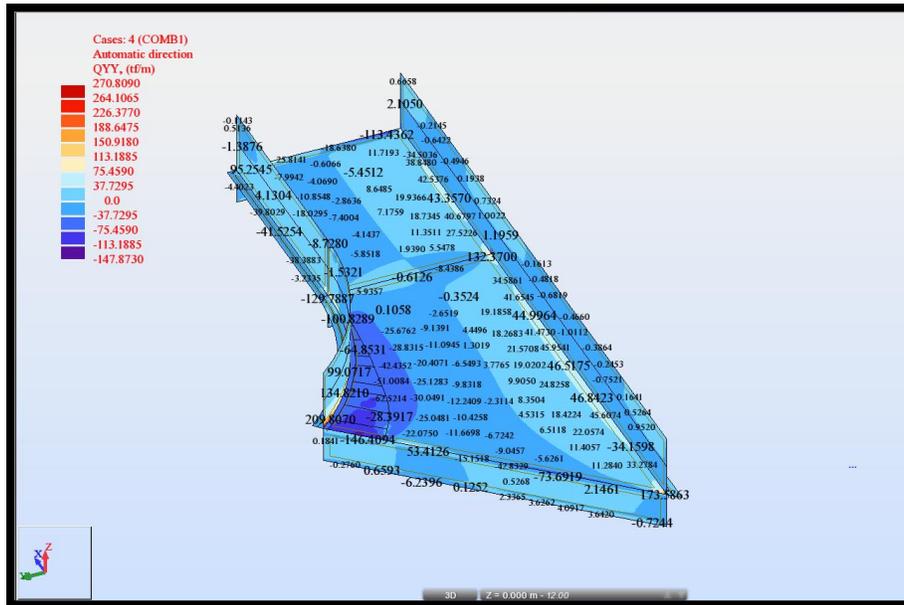


Ilustración 4.81. Esfuerzos cortantes en sentido transversal.

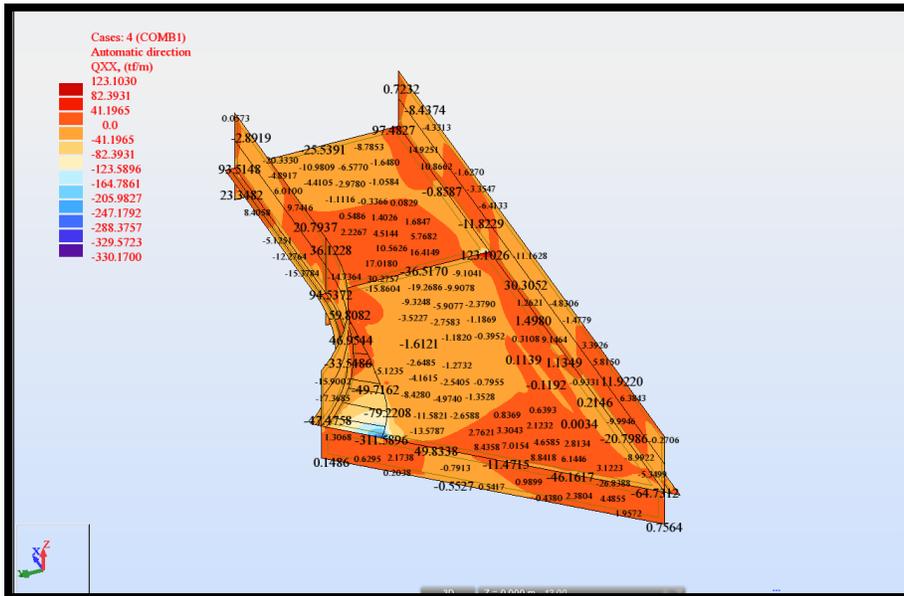


Ilustración 4.82. Esfuerzos cortantes en sentido longitudinal.

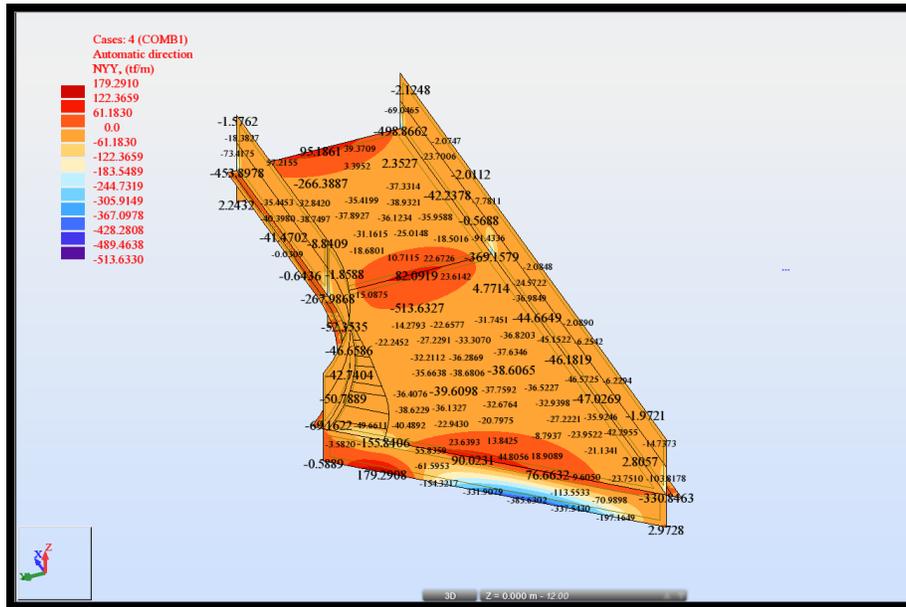


Ilustración 4.83. Esfuerzos normales horizontal en losa vertical en muros.

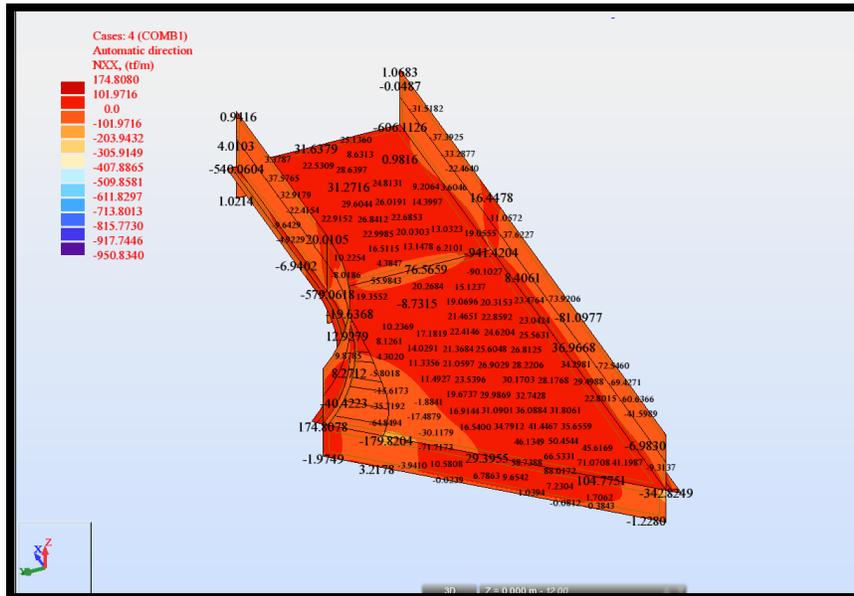


Ilustración 4.84. Esfuerzos normales horizontales en muros verticales en losa.

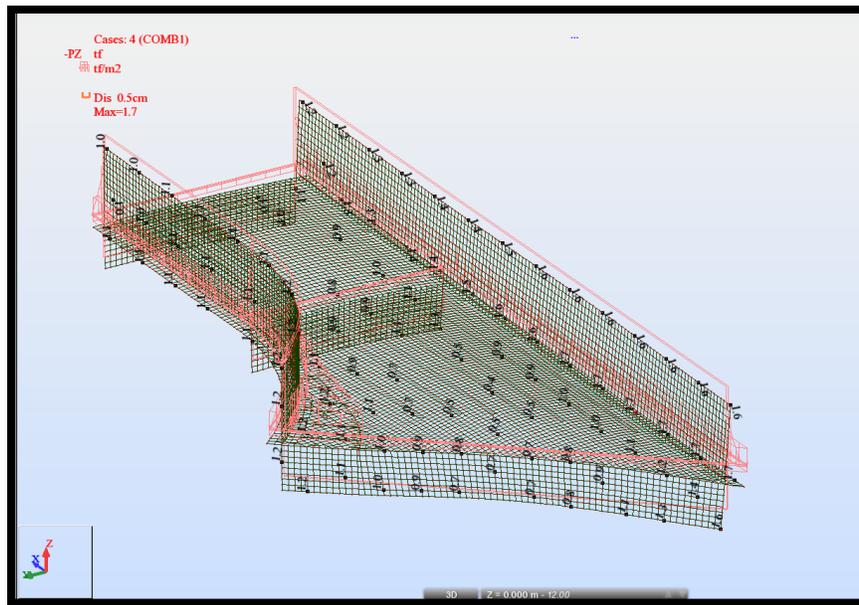


Ilustración 4.85. Deformada del canal.

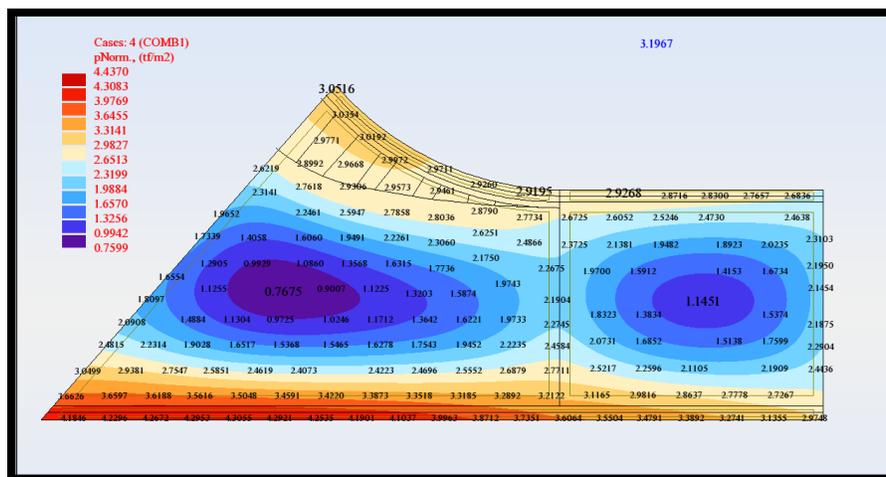


Ilustración 4.86. Reacción del suelo de cimentación.

Tomado en cuenta que los resultados obtenidos del análisis estructural, indican que la estructuración adoptada cumple con deformaciones y elementos mecánicos razonables, ésta se selecciona como aceptable y se pasa a la fase de diseño estructural a detalle.



## CAPÍTULO 5. DISEÑO ESTRUCTURAL.

De acuerdo con las premisas básicas del diseño estructural, éste busca proporcionar la mejor solución estructural para cumplir los objetivos de seguridad, funcionalidad y economía de la edificación.

Los parámetros mínimos para brindar seguridad y funcionalidad a las estructuras se encuentran establecidos en los reglamentos y códigos internacionales de aplicación obligatoria para el diseño estructural de las edificaciones, de acuerdo con el sitio en que estas se vayan a construir. En algunos casos a falta de un código de aplicación obligatoria para el sitio de construcción, o por indicaciones específicas del dueño de la edificación, se emplean, para el diseño estructural, códigos, normas y/o reglamentos específicos.

De acuerdo con lo señalado, al dimensionar los elementos estructurales, se pretende aprovechar de la mejor manera las características del material y la estructuración, para obtener la seguridad y funcionalidad sin incurrir en un costo excesivo. El costo es aspecto importante a considerarse en el diseño estructural por lo que influye grandemente en la determinación de la solución final.

El diseño estructural es generalmente un proceso iterativo, debido a que al buscar la mejor solución pueden plantearse nuevas formas de estructuración, analizar nuevos dimensionamientos, cambio de materiales, proponer nuevas secciones, etc., por lo que estas tareas resultan dependientes debido a que al realizar un cambio en cualquiera de los conceptos mencionados, se puede implicar el definir un nuevo concepto que afecta el diseño de manera completa.

Recordemos ahora que el proceso completo del diseño estructural consta de las siguientes fases:

- Estructuración.
- Análisis de cargas
- Análisis estructural.
- Diseño estructural.
- Dibujo y memoria de cálculo (transferencia de resultados).

De las cuales, las tres primeras han sido abordadas ya en este trabajo en los capítulos anteriores, por lo que en este capítulo trataremos los aspectos relacionados con la cuarta fase, que es el diseño estructural, considerando los materiales más usuales de construcción, que se describen en los incisos siguientes:.

### Módulos de Diseño.

En la actualidad, los programas modernos de diseño estructural utilizan módulos especializados para diseño estructural, con los materiales más comunes de construcción. Esto se debe a que en dichos módulos se puede hacer uso de códigos o reglamentos de diversos países, aplicables a materiales específicos de construcción.



En el caso del programa Robot, el diseño/verificación de las estructuras se realiza por módulos de diseño, que son especializados para los tipos de materiales más comunes con los que se construyen las estructuras. Los módulos de diseño con los que cuenta el programa son: concreto reforzado, acero/aluminio y madera.

El diseño/verificación, se menciona así en este trabajo, debido a que como se ha mencionado previamente, el diseño consiste, en estructuras hiperestáticas, en revisar que la propuesta estructural dada en la fase de estructuración, cumple, en todos sus elementos estructurales, con todos los requisitos impuestos por el código seleccionado para diseño.

### **Modulo Acero/Aluminio.**

En Robot, en el caso de estructuras metálicas, una vez obtenidos los resultados del análisis estructural se puede activar el módulo de diseño en acero/aluminio, en el cual, seleccionando uno de los códigos disponibles de diferentes países y versiones, se realiza la verificación/diseño de la estructura.

La verificación de una sección estructural, en el programa Robot, puede realizarse por elementos o por grupos de elementos, lo primero se refiere a que se puede elegir un miembro o varios pertenecientes a la estructura (un miembro es el elemento básico de cálculo en el módulo de diseño de acero, p.ej. una viga, una columna, etc.), para cada uno de los cuales el programa presenta un resumen con los resultados más relevantes, así como, si cumplen o no, con los criterios establecidos en el código aplicable. En caso de no cumplir con los criterios se muestra si es debido a inestabilidad de la sección (el miembro supera el valor de esbeltez admisible) o a que su índice de eficiencia sea mayor a uno (coeficiente que multiplica al límite de fluencia del material, al ser mayor a uno, el material se encuentra en su rango plástico).

Para el caso de la verificación por grupos, el programa Robot, presenta un solo resultado global para todo el grupo de elementos (los grupos son definidos antes de realizar la verificación, están compuestos por varios miembros que tendrán la misma sección al finalizar diseño, generalmente se agrupan por su función estructural, como pueden ser, grupo columnas exteriores, grupo vigas principales o grupo vigas secundarias), de esta manera si uno de los miembros del grupo no cumple con los criterios del código, el resultado presentado será que el grupo no cumple con los requisitos del código.

Para realizar la verificación de miembros de acero es posible definir una configuración de los parámetros aplicados durante esta tarea, estos parámetros varían dependiendo del código seleccionado para el módulo de diseño de acero/aluminio, algunos de los parámetros aplicados pueden ser entre otros:

- Elección del número de puntos de cálculo por miembro.

- Definir el índice de eficiencia del miembro, que es el coeficiente que multiplica al límite de fluencia del material.
- La máxima esbeltez.
- El no tomar en cuenta las barras con secciones de formas complejas. (estás necesitarán una análisis más específico, debido a la forma de su sección, está opción es comúnmente utilizada para diseño por grupos).
- Verificación de cortante en estado elástico.
- Análisis de fuego.
- Excluir alguna o varias fuerzas internas o definir límites inferiores y superiores para que las fuerzas sean consideradas en la verificación (en algunos casos alguna de las fuerzas internas puede resultar "insignificantes" para tomarse en cuenta en la verificación, estas puede ser excluidas, o bien tomarse en cuenta a partir de un valor específico, p. ej., la fuerza axial en una viga).
- Selección del estado de deformaciones iniciales producto de un caso de carga.

En el diseño de elementos estructurales que se lleva a cabo por medio de grupos de miembros, el programa selecciona la sección que mejor cumple con los criterios del código, está selección se toma de un tipo de familia de secciones y al realizar esta operación, para sensibilidad del diseñador, se muestra una tabla con tres secciones consecutivas de la familia, siendo la que se muestra al centro o la que cumple de mejor manera con los criterios del código sin excederlos, y las dos restantes, una con la sección inmediata superior de la familia, la cual excede los requerimientos y la otra, inmediata inferior de la familia, que no cumple con los requerimientos, como ayuda para sensibilización de que pudiera ser útil para compra de material.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 1 1						
1 Column_1	IPE 270	STEEL	62.36	231.56	1.63	2 WIND1
	IPE 300		56.17	208.98	0.97	
	IPE 330		51.06	197.29	0.59	

Ilustración 5.87. Tabla de resultados de la verificación por grupos.

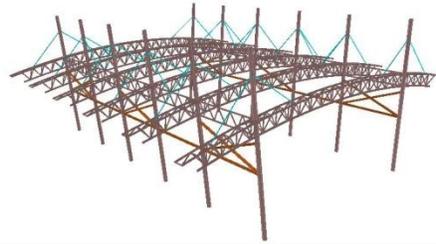
Existe otra opción en Robot para la selección de la sección de diseño, que es la opción de diseño con optimización, en la cual se realiza básicamente la función anterior del diseño, solo que adicionalmente busca cumplir con uno o más criterios de optimización que se establezcan por el diseñador, como pueden ser los que a continuación se muestran:

- Peso.
- Máxima altura de sección.
- Mínima altura de sección.

- Máximo ancho de ala.
- Mínimo ancho de ala.
- Espesor mínimo del ala.
- Espesor mínimo del alma.

La optimización en la elección de la sección de diseño se realiza mediante un proceso iterativo, que comienza tomando los resultados del análisis estructural realizado con la estructuración original, se configuran los parámetros de pandeo para cada tipo de miembro según su comportamiento estructural, posteriormente se definen los grupos de diseño seleccionando los elementos que cumplen funciones estructurales similares y que tendrán la misma sección, se realiza la configuración de parámetros del código a cumplir, así como la elección del criterio de optimización, para que al realizar los cálculos se encuentre una sección que cumple con los requerimientos y que reemplace a la sección actual, por lo cual la estructura original se modifica tendiéndose que analizar nuevamente, dado que la rigidez de la estructura se modifica y muestra otro comportamiento al tener una nueva sección en sus elementos, por lo cual se repite el diseño y este puede encontrar nuevamente otra sección de diseño optimizada, este procedimiento resulta iterativo., La sección final se encuentra cuando el resultado del análisis corresponde en diseño a la misma sección previamente optimizada.

### Iteración de diseño.



### Análisis y resultados.

Member	Section	Material	Lay	Laz	Ratio	Case
Code group : 1 Columns						
32 Column_32	IPE 270	STEEL	62.36	231.56	1.19	2 WIND1
	IPE 300		56.17	208.98	0.70	
	IPE 330		51.06	197.29	0.43	

Selección de la sección de diseño y reemplazo en la estructura original.



### **Modulo Madera.**

Básicamente el modulo de diseño estructural en madera es muy similar al de diseño en acero, con las variantes que toman en cuenta las propiedades de los elementos de madera, así como el comportamiento del material en sí (es un material ortotrópico). La revisión y diseño de estructuras de madera puede emplear cualquiera de los ocho códigos de diseño que contiene el modulo.

EL algoritmo de diseño es el mismo que el utilizado para el modulo de diseño de acero, con sus consideraciones en la configuración de parámetros de diseño donde se toman en cuenta criterios específicos para madera, entre los cuales se encuentran la humedad, un coeficiente que modifica la resistencia de material dependiendo la duración de algún caso de carga sobre la estructura, así como reducción en la resistencia debida al fuego entre otros.

### **Módulo de Concreto Reforzado.**

El diseño de concreto reforzado se compone de submódulos uno enfocado a losas y paneles de concreto reforzado, el otro enfocado a elementos esqueléticos de concreto reforzado entendiendo estos como elementos tipo viga, columna, cimentación, zapatas, viga de gran peralte, muro y nodo estructural viga columna (El muro puede ser tomado como panel o losa, dependiendo del tipo de esfuerzos que se producen por su comportamiento estructural, si es un muro a cortante, efecto de membrana, a flexión).

#### **Paneles y losas.**

Para llevar a cabo el diseño de paneles y losas, se deben configurar los parámetros de diseño, como son, la dirección del refuerzo principal, el tipo de cálculo para el refuerzo (si es por flexión simple, compresión/tensión o ambos), valores permisibles para deflexión y agrietamiento, el recubrimiento del refuerzo, y la limitación del refuerzo mínimo.

El procedimiento de diseño de un panel o losa se realiza, utilizando los elementos mecánicos resultado del análisis estructural, se divide en dos partes principales, la primera es el cálculo del refuerzo teórico (que es el refuerzo teórico necesario por sección o unidad de área para aportar la resistencia que requiere la sección para soportar los elementos mecánicos actuantes, a partir de las expresiones del código seleccionado) y la segunda es el proporcionamiento del refuerzo práctico de construcción (la distribución y arreglo de varillas de diámetro/s comercial/es, con las que se armará la sección para su construcción, que cumple siempre con ser un armado mayor o igual al teórico obtenido en el paso previo).

Para la determinación del armado teórico, en el programa Robot, se dispone de tres posibles métodos de cálculo de refuerzo, el analítico, el de momentos equivalentes simplificado(NEN) y el momentos equivalentes completo (Wood & Armer).



Con los cálculos del refuerzo teórico como base, se realiza el proporcionamiento del refuerzo práctico real que se colocaría en la construcción, para lo cual el programa realiza una distribución de armado de manera automática a partir de algunos parámetros previamente definidos por el diseñador del refuerzo como son, un rango determinado de diámetros de las varillas a usar de refuerzo, utilizar en algún caso varillas o malla electrosoldada como refuerzo o la combinación de ellas y los dobleces a utilizar de acuerdo al código seleccionado.

El programa determina el refuerzo en base a un algoritmo de optimización para proponer una lista de distribuciones de refuerzo, en donde se muestra el armado para cada lecho y en las dos direcciones de la parrilla de refuerzo. En algunos casos las propuestas automáticas generadas por el programa no resultan prácticas constructivamente, por lo dicho programa cuenta con una opción para considerarlas solo como base y modificarlas manualmente por el diseñador para hacer una propuesta constructivamente más viable. Con los armados prácticos determinados, el programa Robot verifica que el armado seleccionado cumpla con el código y con el refuerzo teórico requerido, al finalizar esta verificación se presenta un modelo tridimensional del elemento donde se muestra la apariencia física del armado incluyendo dobleces y traslapes, también se muestra una tabla con la cuantificación total del armado.

Elementos esqueléticos de concreto reforzado.

Cuando los elementos son tipo columnas, vigas, uniones columna-viga, muros de cortante, trabes de gran peralte y zapatas, el programa dispone de un procedimiento similar al previamente expuesto aplicable a placas/membranas, con el cual se obtienen los armados de refuerzo, de acuerdo al código aplicable seleccionado.

Para realizar el diseño el programa transfiere los elementos estructurales al módulo de diseño y reconoce cada uno de los elementos mecánicos para realizar la propuesta de armado. El reconocimiento estructural se basa en las propiedades de la estructura, su geometría, su sistema coordinado local sistema de soporte, así como los elementos mecánicos producto del análisis estructural.

A partir de los resultados del análisis estructural, utilizando el código de diseño seleccionado, el módulo de diseño permite determinar el área de refuerzo requerido y el espaciamiento de las varillas de refuerzo dentro de una sección transversal del elemento estructural. Para realizar los cálculos para determinación del refuerzo requerido se establecen en el programa los parámetros de diseño, como son, los requeridos para condición de pandeo, recubrimientos, elección de características del material, exposición al medio ambiente, riesgo sísmico, diámetro de varillas y estribos, etc.

Los cálculos del refuerzo requerido proponen una distribución del armado para la sección transversal del elemento estructural. Los resultados se pueden presentar en una tabla, o en forma



de gráficos, que muestra el elemento en 3D junto con la propuesta de armado, los diagramas de elementos mecánicos de momentos flexionantes, momentos torsionales, fuerzas axiales, cortantes o de interacción dependiendo cual sea el caso del elemento estructural a diseñar., Por último el programa Robot presenta una nota de cálculo con todos los parámetros adoptados por el programa para realizar la propuesta de armado.

El usuario tiene la libertad de establecer armado diferente a la propuesta hecha por el programa, el cual una vez incorporado al modelo, se revisa por el programa conforme el código adoptado para el modulo de diseño de elementos de concreto. De igual forma que en la propuesta automática se muestran los resultados para la propuesta hecha por el usuario.

En ocasiones debido al resultado del diseño se requiere proponer una nueva sección para los elementos estructurales, con lo cual se deberá realizar nuevamente el análisis estructural y una nueva propuesta de armado, esta tarea en este caso, es de carácter iterativo, el diseño final además de cumplir con los requerimientos del código, debe cumplir con otros criterios que deben ser incorporados por el diseñador, los cuales afectan el diseño de la estructura como son los aspectos de economía y constructibilidad.

### **Reglamento Estructural para Diseño de Edificaciones.**

En el desarrollo de este trabajo se ha hecho mención que los programas actuales de diseño estructural disponen de diversos códigos o reglamentos, con los cuales realizar el diseño, que son documentos oficiales aplicables en diversos países, los cuales contienen la normatividad a la que se deben sujetar las construcciones, en su planeación, diseño, construcción y mantenimiento en un país determinado. El reglamento o código proporciona la normatividad para todo tipo de construcciones ya sean públicas o privadas, estableciendo las normas arquitectónicas de seguridad mínimas y de funcionalidad que deben cumplir los proyectos. En nuestro país, casi todos los estados de la República Mexicana tienen reglamentos locales, que en su mayoría se apegan mucho al reglamento del Distrito Federal, ya que éste es el más antiguo, y por las experiencias de los sismos de 1985, también el más moderno y completo.

Que un edificio, este bien diseñado y debidamente calculado estructuralmente, es tan solo la mitad del camino, también debe estar bien construido, es por ello que en el reglamento se disponen de igual manera las reglas mínimas para que una construcción esté debidamente construida, que los procedimientos sean los adecuados para lograr una estructura de calidad, y que todo ello se logre sin importunar colindancias vecinas o terceras personas.

La elección del reglamento aplicable para el análisis y diseño se hace con el fin de cumplir con la seguridad estructural y funcionalidad de acorde con los establecido de manera obligatoria en el sitio de ubicación de la construcción.

### Aplicación al Modelo.

Una vez que se ha realizado el análisis estructural al canal de entrada, se han evaluado sus resultados y a partir de ellos se realizó una reestructuración, modificando su geometría para presentar un mejor comportamiento de la estructura ante las solicitaciones a las que se verá sometida. Enseguida se muestra el diseño a detalle donde a partir de la estructuración final propuesta, se obtiene el refuerzo en los elementos estructurales y se revisa éste en su cumplimiento con el código ACI-318-08, garantizando así las condiciones mínimas de seguridad, calidad y funcionalidad.

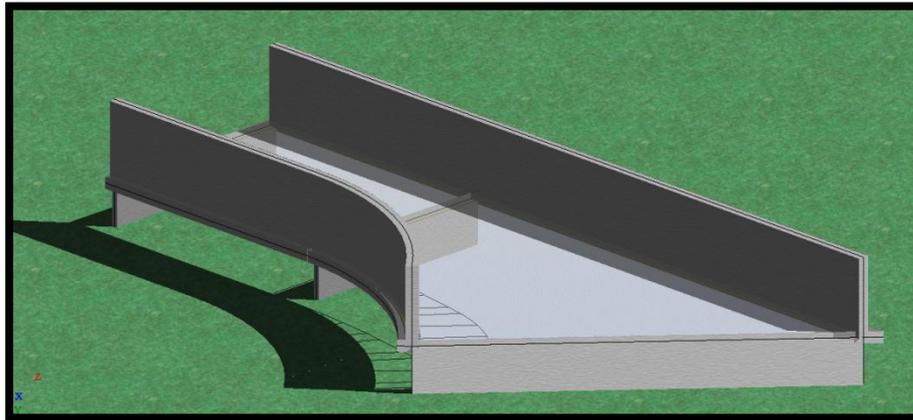


Ilustración 5.88. Estructuración del canal, producto del análisis estructural y el prediseño.

Para realizar el diseño a detalle en el programa Robot, primero se debe establecer los parámetros de diseño, donde se definen aspectos relacionados con la dirección de colocación del refuerzo, consideraciones de cálculo para el refuerzo (simplificación hecha para tomar en cuenta solo algunas fuerzas internas o todas para el cálculo del refuerzo, como son: flexión, compresión/tensión o ambas), características de los materiales, valores permisibles para deflexión y agrietamiento, así como considerar este efecto en la propuesta del refuerzo, la especificación del espesor de recubrimiento, el rango de diámetros de las varillas a utilizarse, y el criterio de generación del armado mínimo.

Para la definición de los elementos losa y muro se adoptaron los siguientes parámetros: en la dirección del refuerzo principal se opta por la asignación automática, esta se basa en el sistema local de cada elemento estructural, los ejes coordenados locales fueron ajustados durante la estructuración y análisis, para que los resultados de armados se presentaran de manera ordenada y en las mismas dos direcciones en todos los elementos. Se seleccionó el cálculo para el refuerzo por flexión simple, ya que en las losas y muros este es el efecto que predomina.

En la parte de materiales, se estableció que se utilicen los valores que fueron asignados en el programa para los elementos de concreto y se revisó que tenga asignado el grado correcto de acero.



En lo concerniente a la definición de los parámetros de deflexiones y agrietamiento, se toman los valores que por defecto, establece el programa, esto es, sin la corrección por agrietamiento y deflexión, debido a que la combinación de cargas que rige el diseño de la estructura es por estado límite de resistencia. Por otra parte, en la verificación de los casos de estado límite de servicio, al tener elementos de gran peralte las deflexiones y agrietamientos se tienen deformaciones y fisuras dentro de los valores permisibles por el código, por lo que tampoco es necesaria la corrección de refuerzo.

En lo referente al dimensionamiento del acero de refuerzo, el diámetro de varillas seleccionado inicialmente para su distribución, fue de 1". Esta consideración se hizo a partir del prediseño del canal, donde se utilizó esta varilla para proponer una distribución del refuerzo.

Para el recubrimiento mínimo de las varillas, se tomó de 7.5 cm., de acuerdo con el reglamento aplicado, que es el del ACI, que en su sección ACI-318-08 (7.7.1), especifica para: Concreto colocado contra suelo y expuesto permanentemente a él, sea ese valor el que se considere.

El armado mínimo por temperatura se desactivó, esto en función de que la sección del elemento tiene un peralte muy grande, tanto en losa como en muros, por lo que el armado por temperatura y contracción, al aplicar el reglamento, resultaría muy grande y para estructuras especiales en contacto con agua y de grandes peraltes, como es en este caso, el porcentaje de acero a considerar como mínimo, se determina no con todo el espesor del elemento, sino considerando únicamente un espesor del orden de 60 cm. En los comentarios del código ACI hace referencia a que el porcentaje de armado por temperatura es propuesto de forma empírica, pero se condiciona a cumplir con la resistencia a la fluencia del acero en los empalmes y anclajes, por lo que se evaluará la colocación del armado mínimo dependiendo del armado que resulte por diseño.

Todos estos parámetros son aplicados a cada elemento estructural de losas y muros para comenzar con el diseño. Únicamente para los dentellones, en el cálculo del refuerzo, se consideran elementos mecánicos de compresión/tensión + flexión simple, debido a que la losa puede transmitir dichos elementos mecánicos sobre el canto del muro del dentellón, dado que estos pueden tomar valores considerables.

Con el modelo de la estructura en el ambiente del módulo de diseño de concreto reforzado, se calcula primeramente el refuerzo teórico, lo cual resulta muy sencillo con el programa, en la que solo aparece una ventana con las opciones para realizar este cálculo, se optan por las características que tiene por defecto, ya que toma los parámetros con que se ha ido modelando la estructura y sus características. El programa toma en consideración todas las fuerzas internas para realizar el cálculo del refuerzo teórico.

A continuación se presentan los mapas de intensidades del armado teórico en los elementos estructurales del canal.

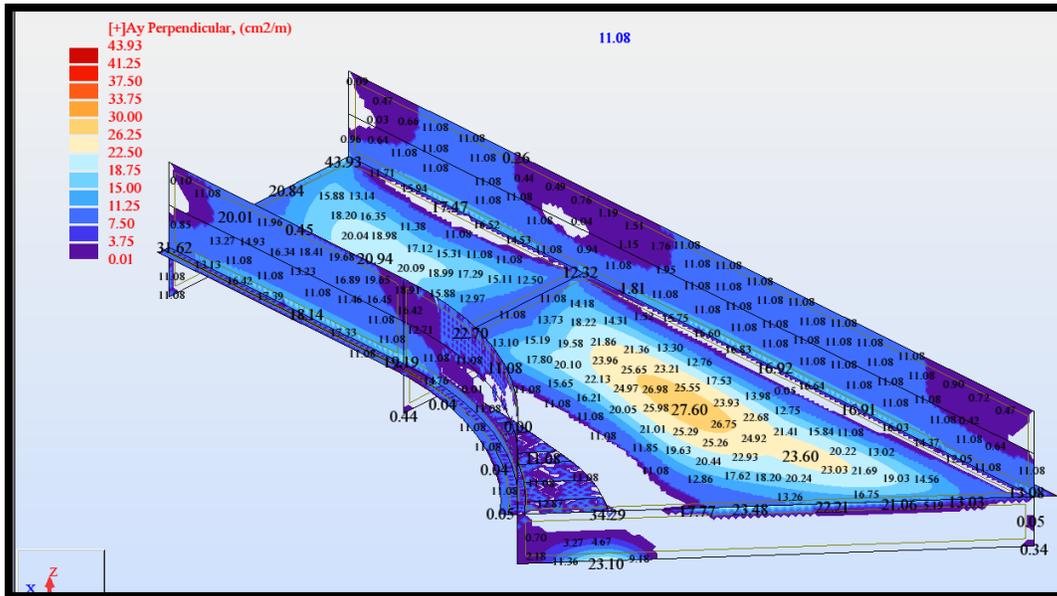


Ilustración 5.89. Mapa de intensidades del armado teórico en sentido transversal, lecho superior.

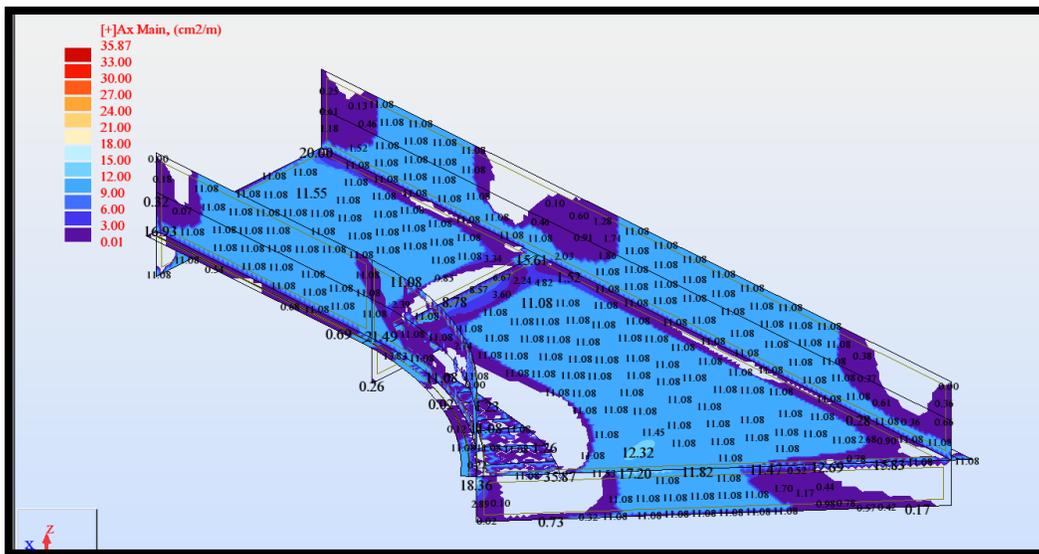


Ilustración 5.90. Mapa de intensidades del armado teórico en sentido longitudinal, lecho superior.

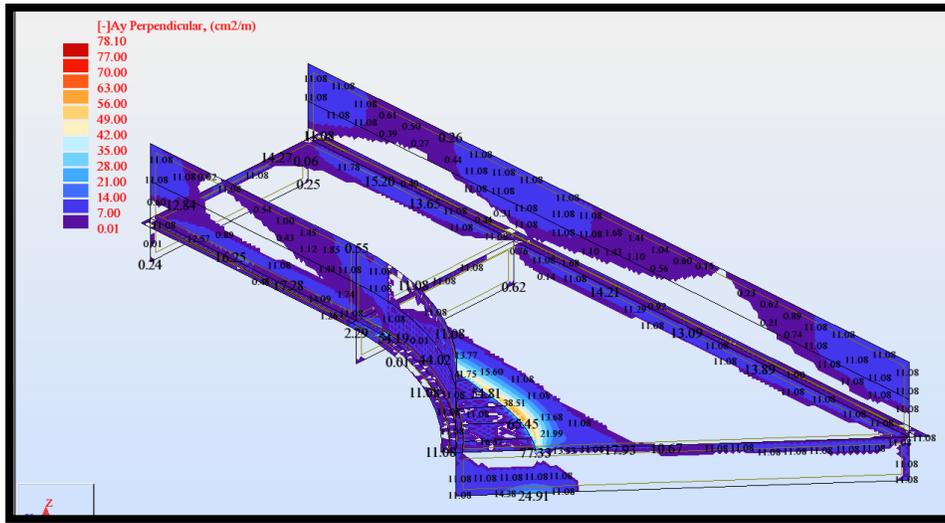


Ilustración 5.91. Mapa de intensidades del armado teórico en sentido transversal, lecho inferior.

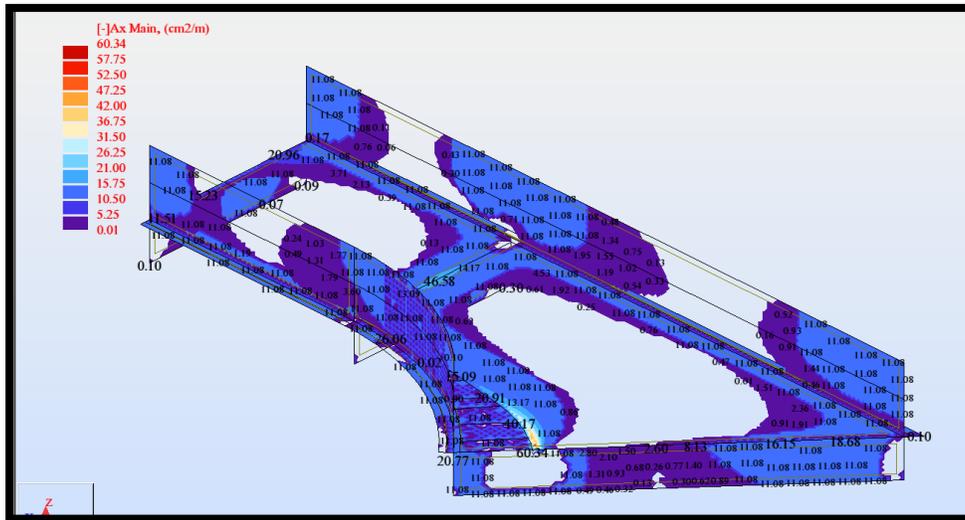


Ilustración 5.92. Mapa de intensidades del armado teórico en sentido longitudinal, lecho inferior.

Con el armado teórico calculado, se seleccionan todos los elementos estructurales que componen el canal para ser trasladados al módulo de propuesta de armado.

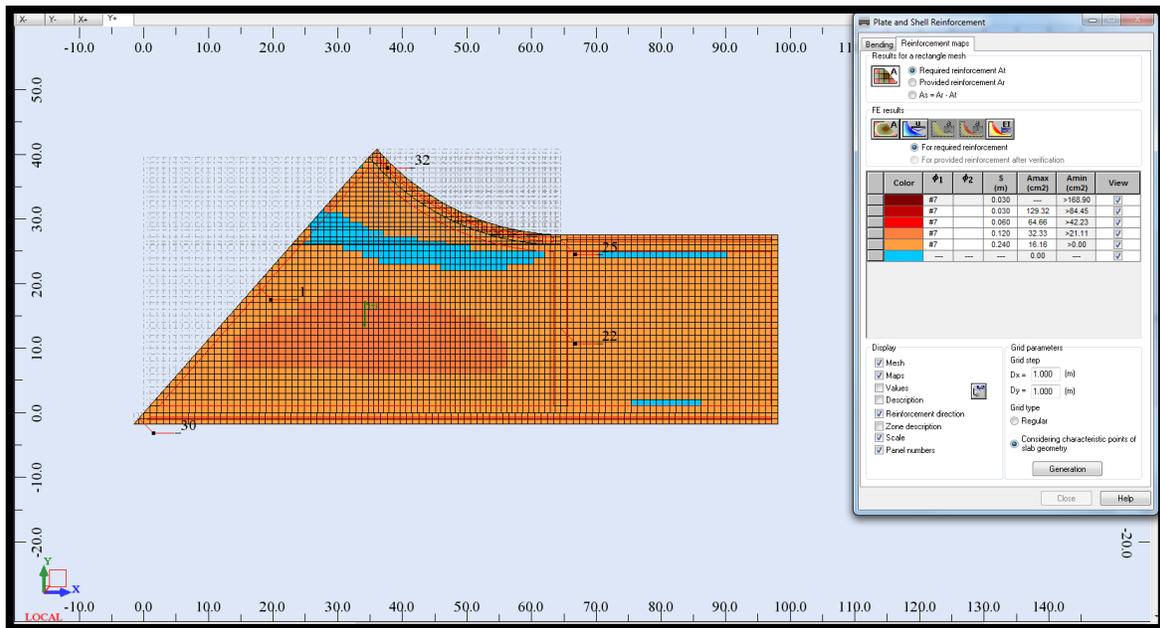


Ilustración 5.93. Ambiente del modulo de diseño de concreto, refuerzo proporcionado para la losa fondo del canal.

La propuesta de armado se realiza por elemento estructural, o por elementos contiguos que se presenten sobre el mismo plano, en este caso se muestra la losa fondo del canal, y muestra el mapa de intensidades de acero de refuerzo teórico, este mapa de intensidades se muestra diferente para cada sentido y cada lecho, por lo que deben ser cuatro propuestas del armado.

En el modulo de armado propuesto, se configuran los parámetros para el cálculo de optimización de propuestas de armado y los parámetros para el refuerzo.

En las opciones de optimización se eligen los diámetros para las varillas que se podrán utilizar para realizar las propuestas de armado automáticas, en este caso se elige varilla del #8, se deseleccionan las mallas electrosoldadas y por último se confirma o cambia el grado de resistencia para el acero, se elige el diámetro que predominará en el refuerzo principal y por último se elige la forma del doblés en los extremos de la varilla.

Se realiza el cálculo y el programa muestra las propuestas en una lista, donde se muestra adicionalmente el peso de todo el refuerzo.

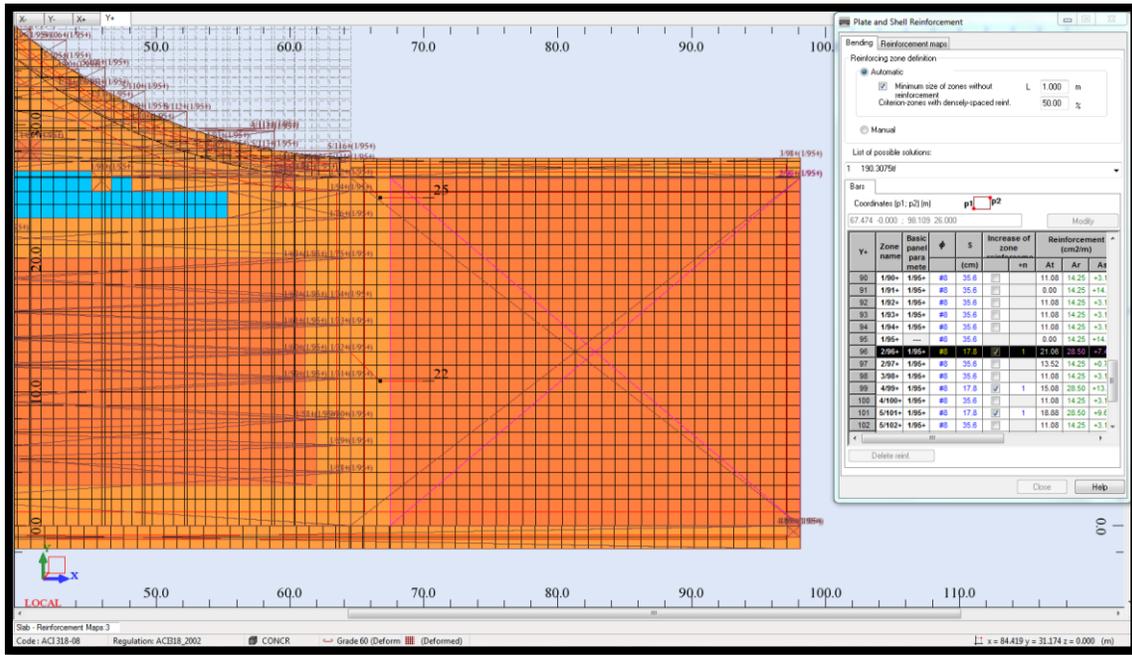


Ilustración 5.94. Distribuciones de refuerzo por zonas.

El armado se propone por zonas, por lo que en cada una de ellas se propone una distribución basándose en los resultados del refuerzo teórico.

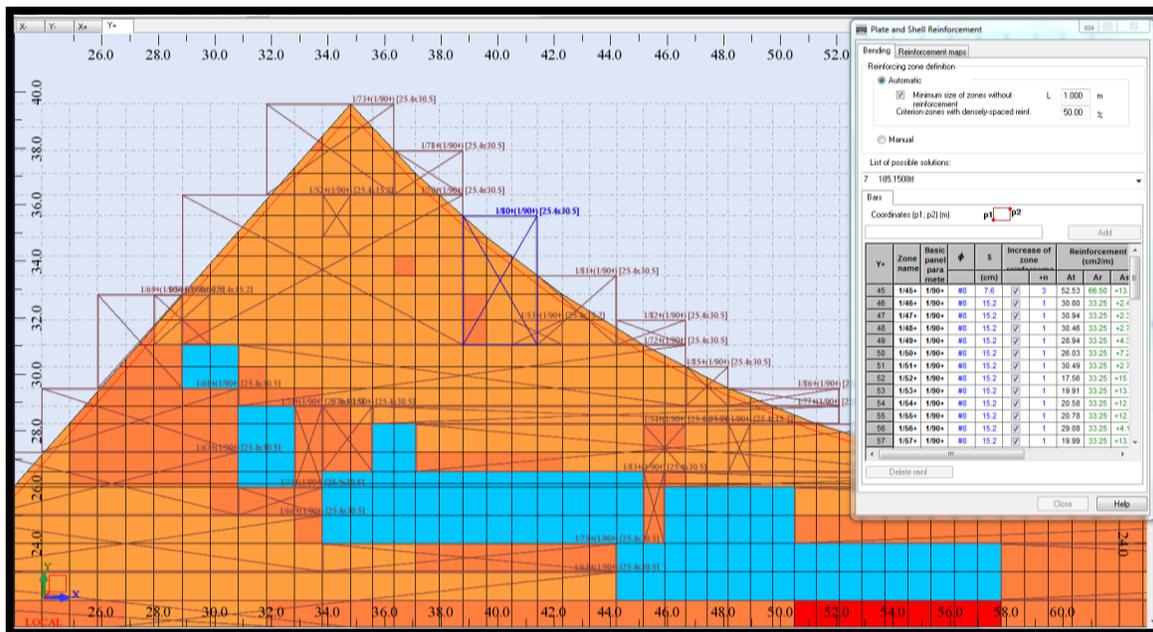


Ilustración 5.95. Zonas de distribución de refuerzo en la losa, propuesta automática, a cada recuadro en la losa corresponde una distribución que se muestra en la ventana de la parte derecha, la ventana muestra una lista de todas las distribuciones de las zonas.

En los resultados de la propuesta automática se tiene una zonificación con armados muy densos que puede tener conflictos para su construcción, por lo que se ajustan manualmente las propuestas automáticas, borrando las zonificaciones y proponiendo una nueva distribución adecuada de varillas basada en los mapas de refuerzo requerido.

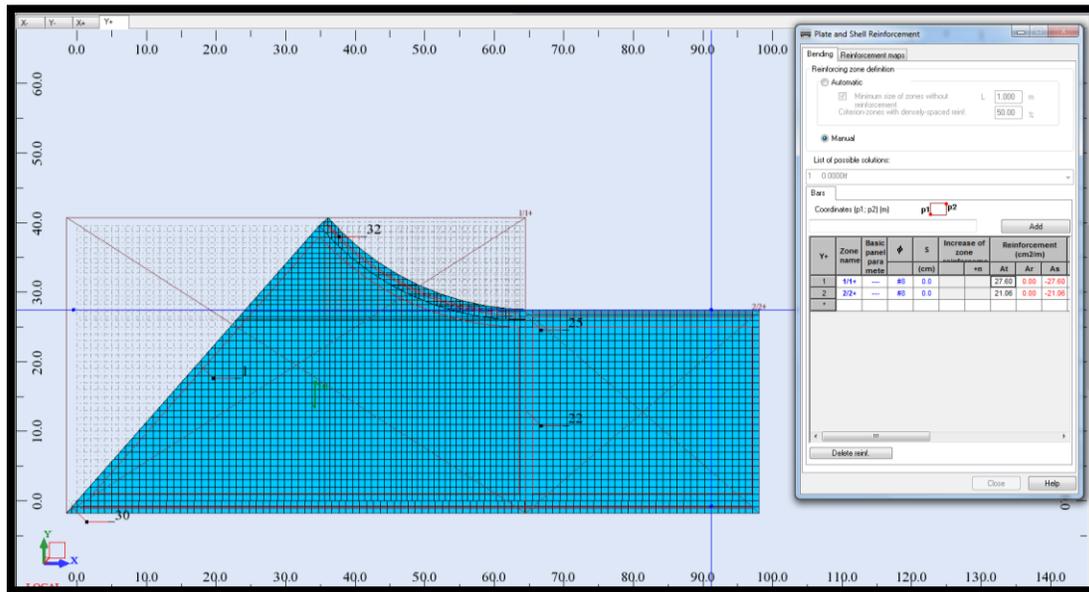


Ilustración 5.96. Nuevas zonas de refuerzo propuestas, se muestran como rectángulos con sus respectivas diagonales.

En la imagen anterior se muestran solamente dos zonas lo cual simplifica la propuesta de distribución de armado. Si se le asigna un distribución a cada zona, por ejemplo, 1" @ 30 cm., el programa identificará los faltantes de armados, el cual se identifica con el fondo de color azul.

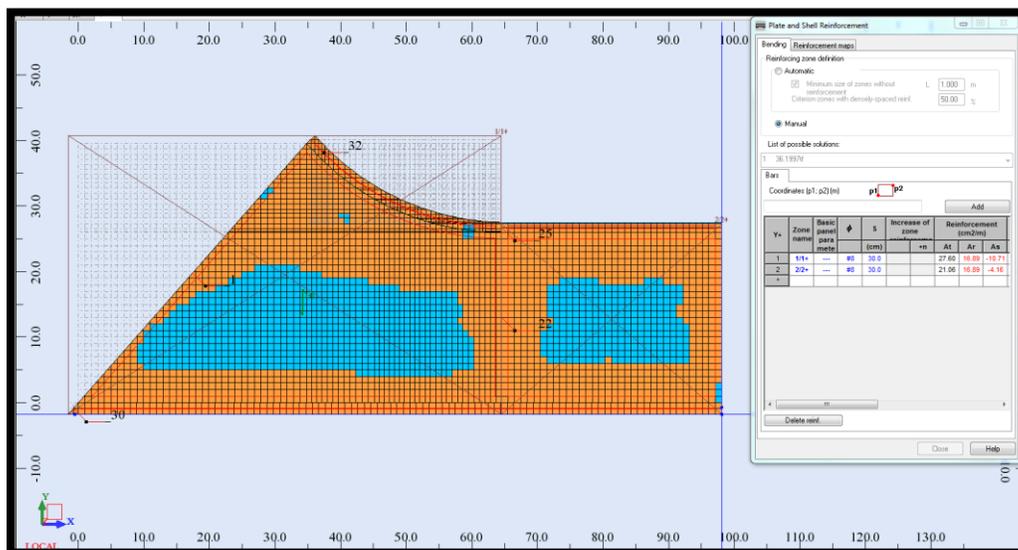
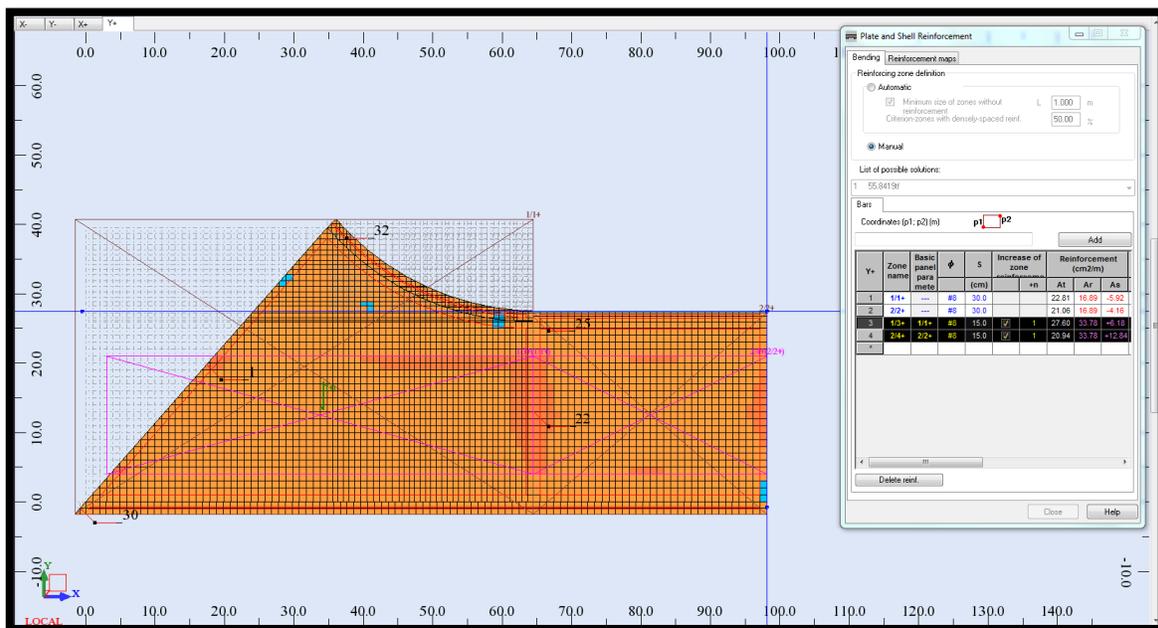


Ilustración 5.97. Se muestra las áreas que aun con la distribución propuesta presentan un déficit de acero.

En la imagen anterior se muestra que después de proponer la distribución el mapa cambia, ahora muestra en naranja las zonas donde la distribución propuesta cubre el requerimiento de refuerzo, en las azules donde aun se requiere más cantidad de acero.

Para satisfacer el requerimiento de acero de refuerzo se proponen dos zonas más, donde se hará un bastoneo de varillas entre la distribución anterior, por lo que en la zona con bastoneo se tendrá una distribución de 1" @ 15 cm.

En la parte derecha de la ilustración 5.11 y 5.12, se muestra una tabla con las zonas y distribuciones propuestas, en ella también se muestra la acero de refuerzo requerido, la cantidad de acero propuesto por la distribución y la diferencia entre estos dos últimos, esta herramienta se utiliza para realizar las propuestas prácticas de acero cubriendo los requerimientos de refuerzo.



**Ilustración 5.98. Armado en el lecho superior sentido transversal, 1" @ 30cm. en toda la losa y refuerzo con bastones intercalados de 1" @ 30cm en la parte central de la losa.**

Ahora en la ilustración 5.12, se muestra que en la zonificación y distribución, se presenta el refuerzo con más orden que en la propuesta automática, esta nueva distribución de acero presenta menores dificultades para llevarse a cabo constructivamente, y comparando el peso del acero se observa que éste es menor que el propuesto de forma automática. Este procedimiento se realiza para cada sentido del refuerzo y en ambos lechos.

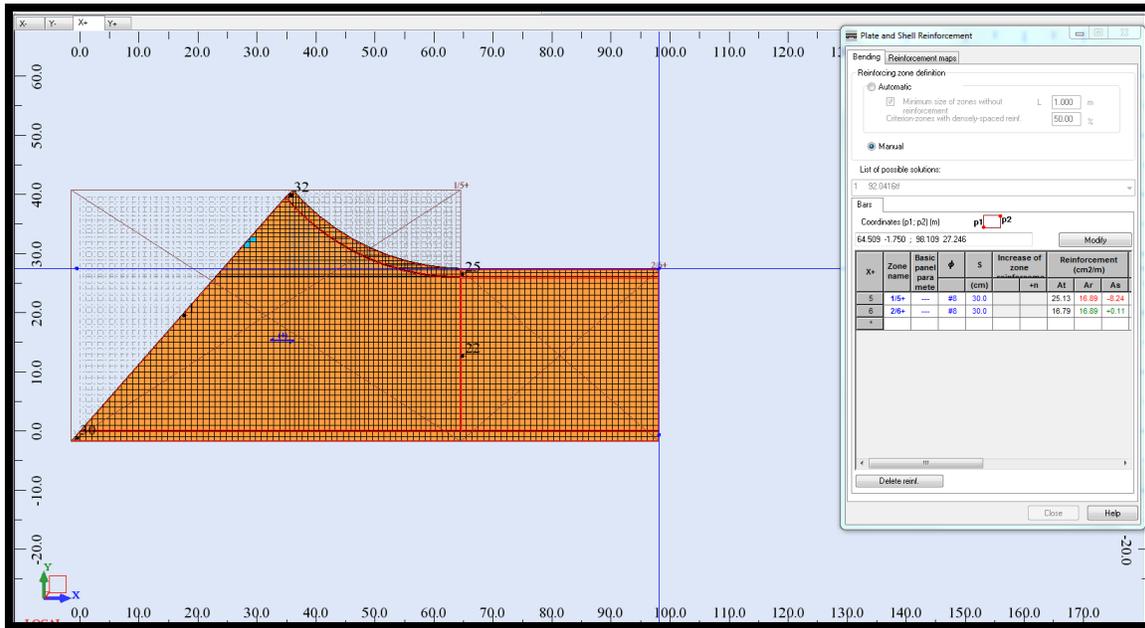


Ilustración 5.99. Armado del lecho superior en sentido longitudinal, 1" @ 30cm., en toda la losa.

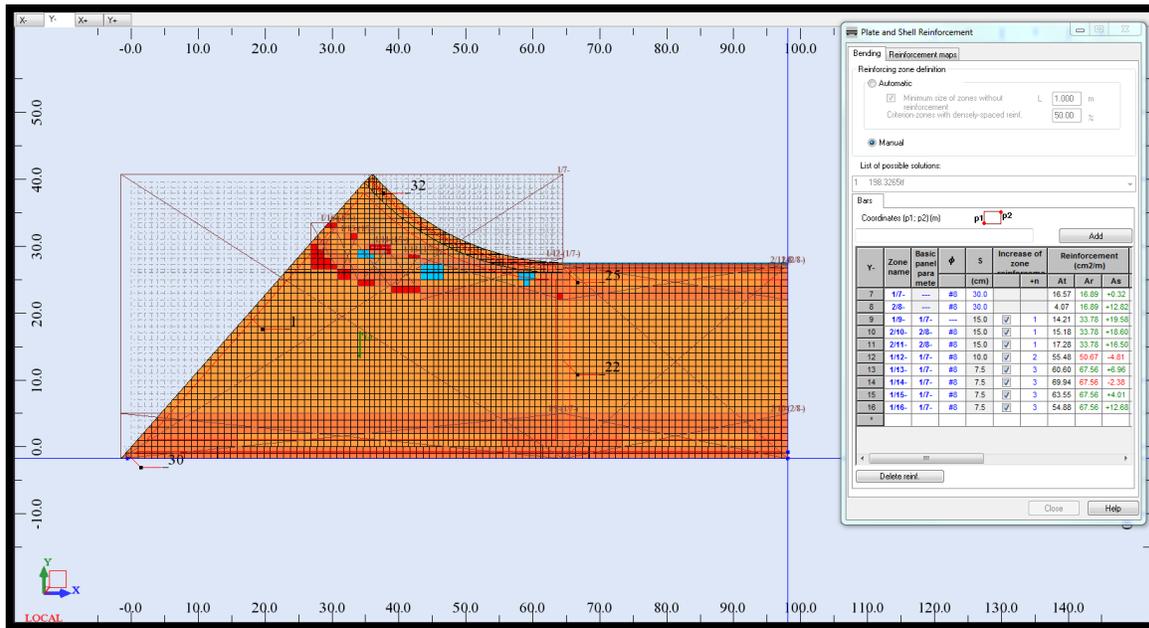
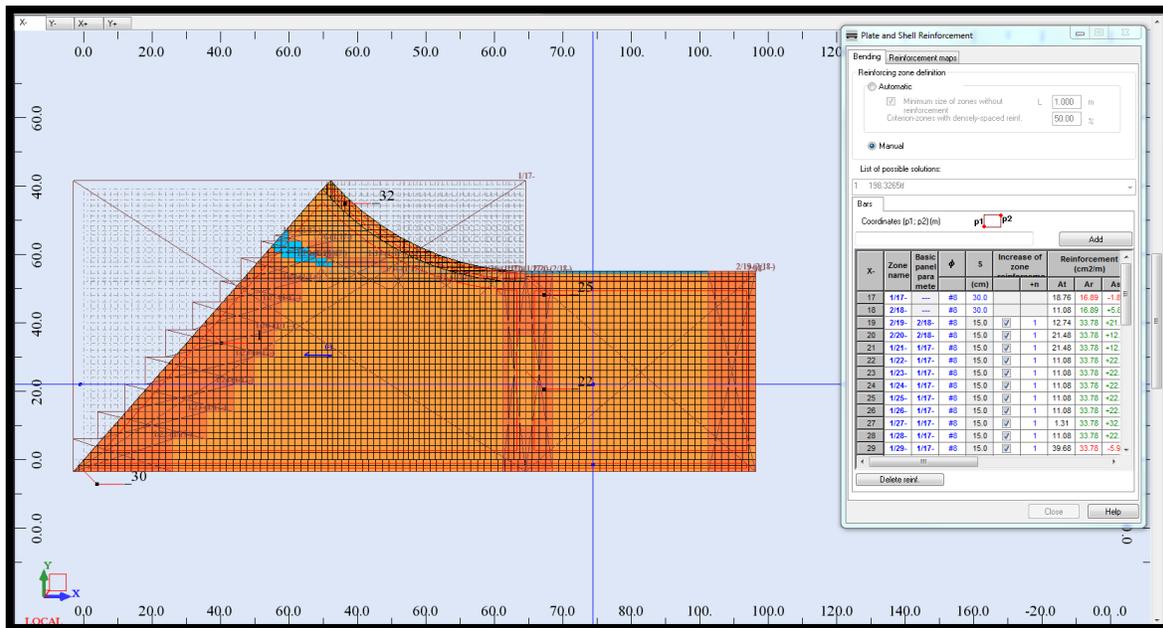


Ilustración 5.100. Armado lecho inferior en sentido transversal, 1" @ 30cm., sobre toda la losa y bastoneo en los extremos de 1" @ 30cm.



**Ilustración 5.101. Armado de lecho inferior en sentido longitudinal, 1" @30cm., y bastoneo en zonas de union con dentellones de 1" @30cm.**

Con los armados determinados para construcción, se generará el armado con traslapes y dobleces, en tridimensional, a la vez que se revisa éste con el código seleccionado. Al finalizar esta verificación se muestra una nota, donde se menciona si se tiene alguna zona en la que no se cumpla con el refuerzo de acero necesario. En la ilustración 5.15, se muestra que hay una zona en azul que indica falta de refuerzo, para esa zona se revisará con la formula de resistencia a flexión, puesto que en esa parte se tiene un cambio de sección por la masa de concreto del alabeado de entrada, se hace la consideración que para idealizar el cambio de sección se manejan apoyos restringidos al giro para simular la rigidez de la masa de concreto. De la revisión se acepta la propuesta de armado puesto que el talud crece con una variación de 1:1.1, por lo que la sección de concreto varía considerablemente en peralte en cada sección y por tanto es capaz de soportar el elemento mecánico momento a flexión en cada punto con la revisión realizada.

El programa puede generar una nota de cálculo con todas las consideraciones hechas para la revisión de diseño, así como, los datos más relevantes de la estructura, este tipo de información es muy importante e ilustrativa al presentar la memoria de cálculo.

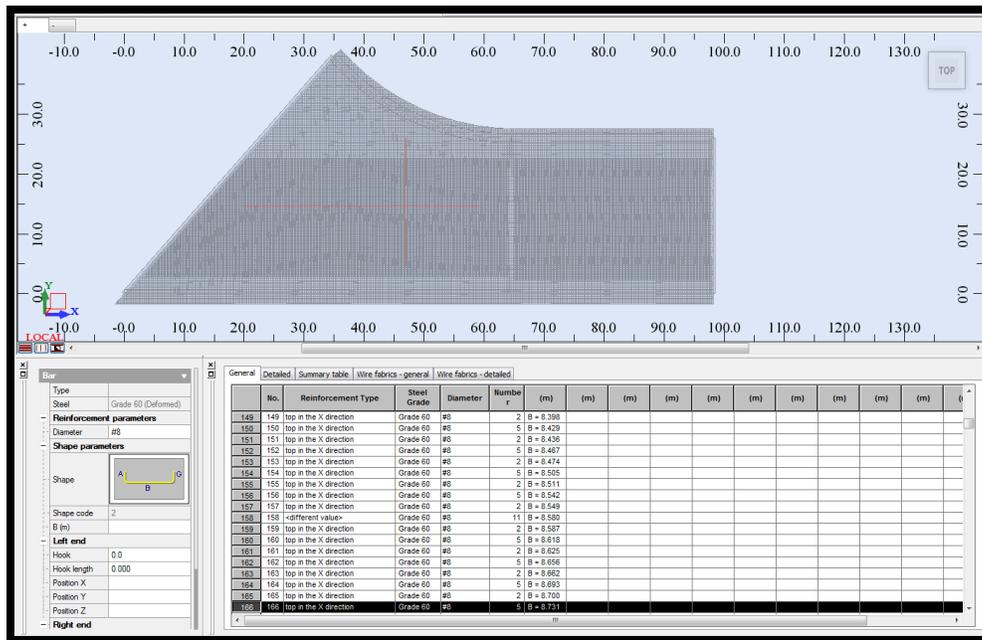


Ilustración 5.102. Presentación de armados y despiece.

En la ilustración 5.16, 5.17 y 5.18 se muestran armados de la losa, la tabla con el despiece del refuerzo y detalles de refuerzo como son los dobleses y traslapes.

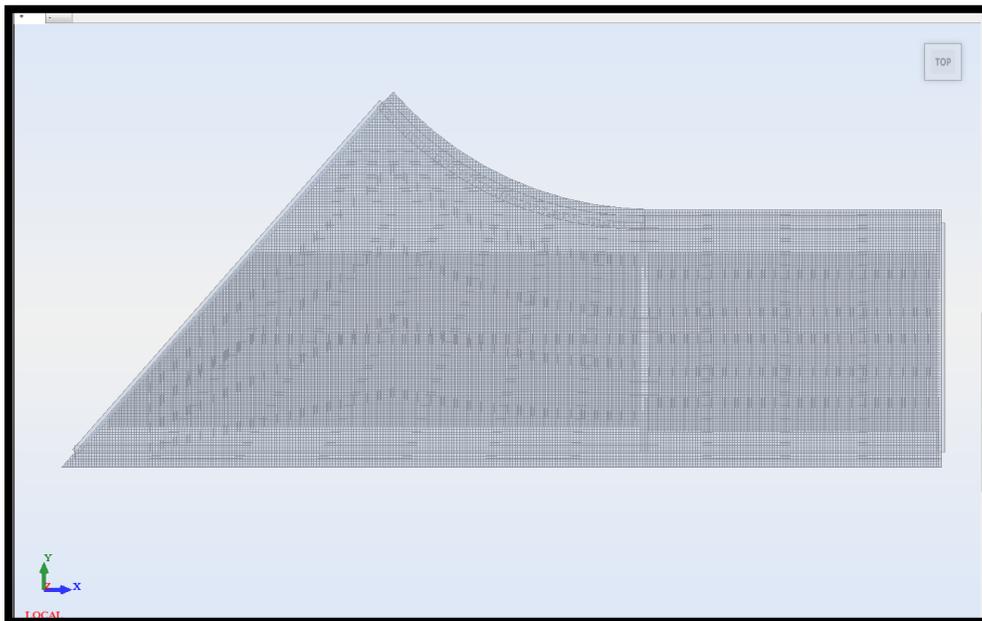


Ilustración 5.103. Armado tridimensional de la losa fondo del canal, de parrilla superior.

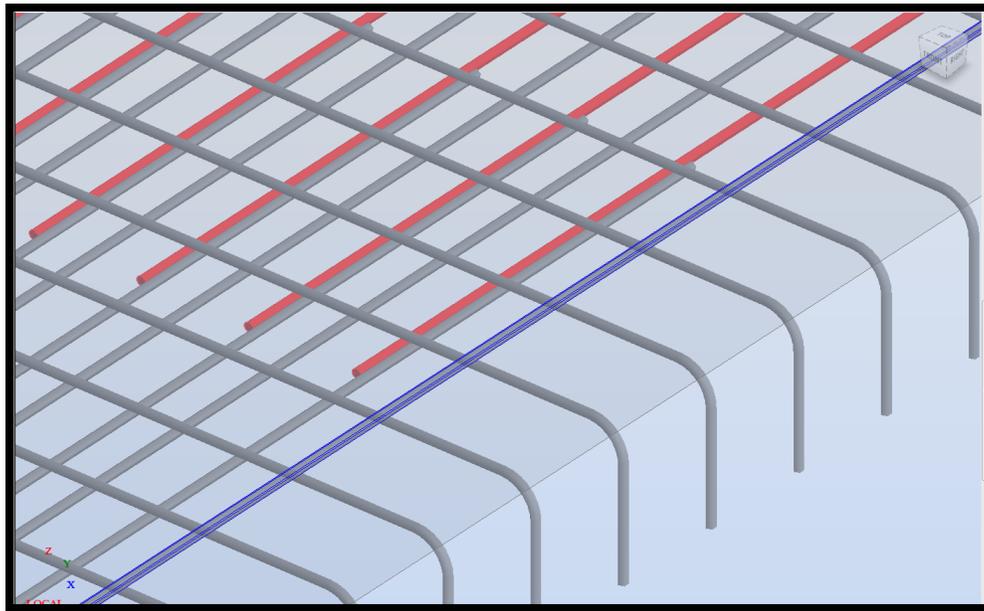


Ilustración 5.104. Detalle del armado de dobleces y traslapes.

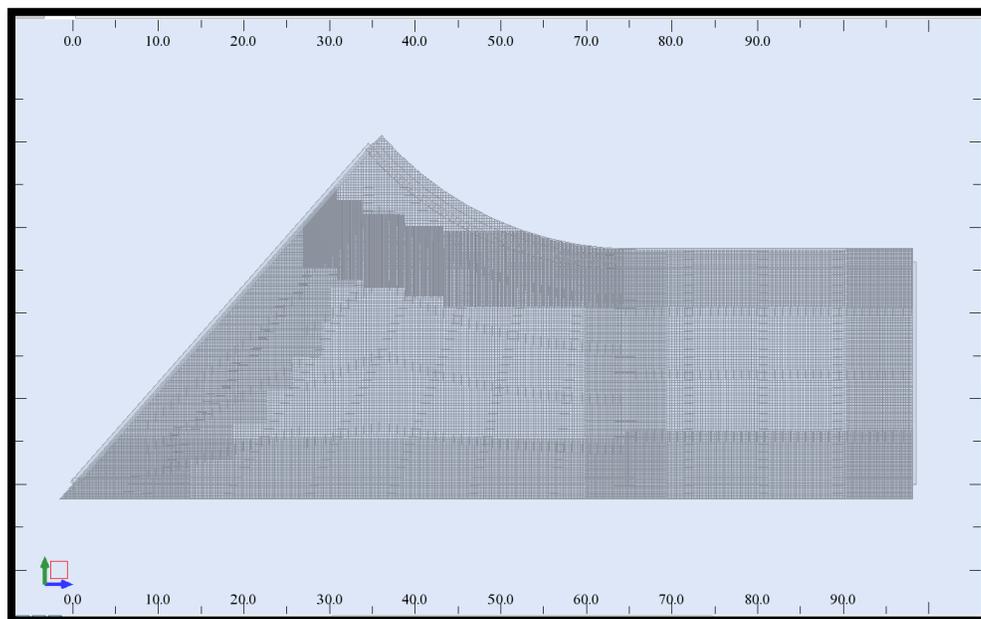


Ilustración 5.105. Armado tridimensional de la losa fondo del canal, parrilla inferior.

Este proceso es aplicado para todos los elementos estructurales que componen el canal, incluyendo también los muros y dentellones.

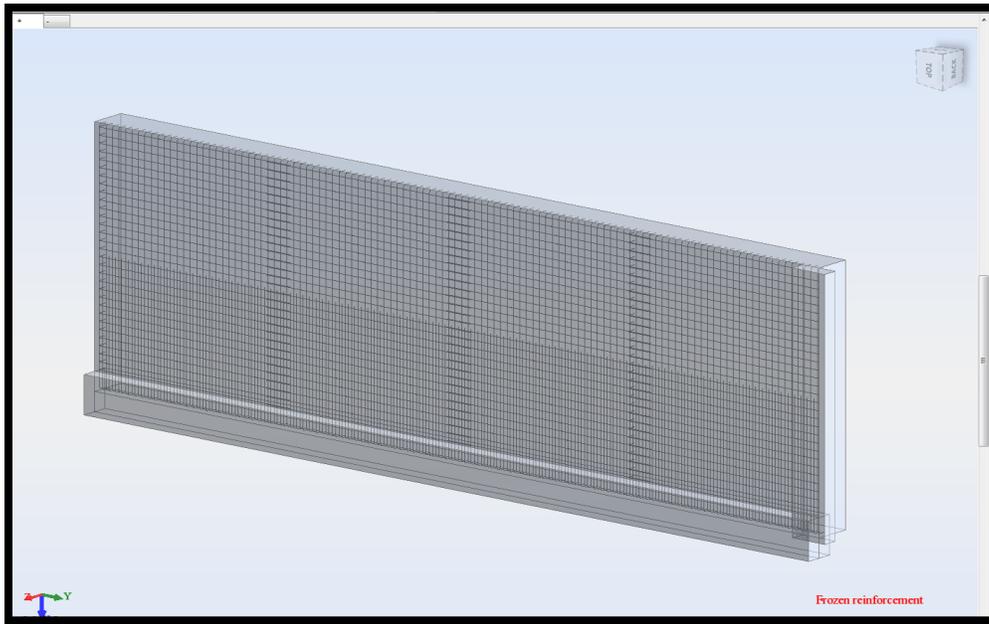


Ilustración 5.106. Uno de los muros del canal con refuerzo de bastones en la cara exterior del canal. Distribución 1" @ 30 cm ambas caras con refuerzo de bastones en la cara exterior de 1" @ 30cm.

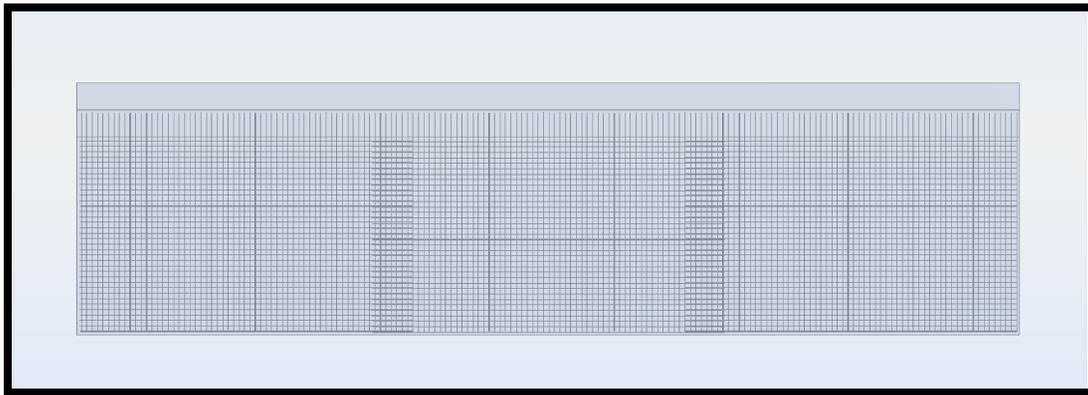


Ilustración 5.107. Dentellón del canal, distribución del armado 1" @ 30cm. ambas caras.

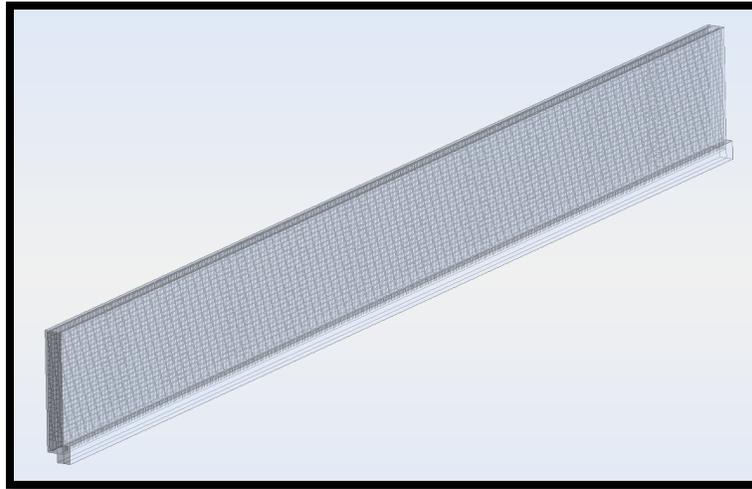


Ilustración 5.108. Armado de muro.

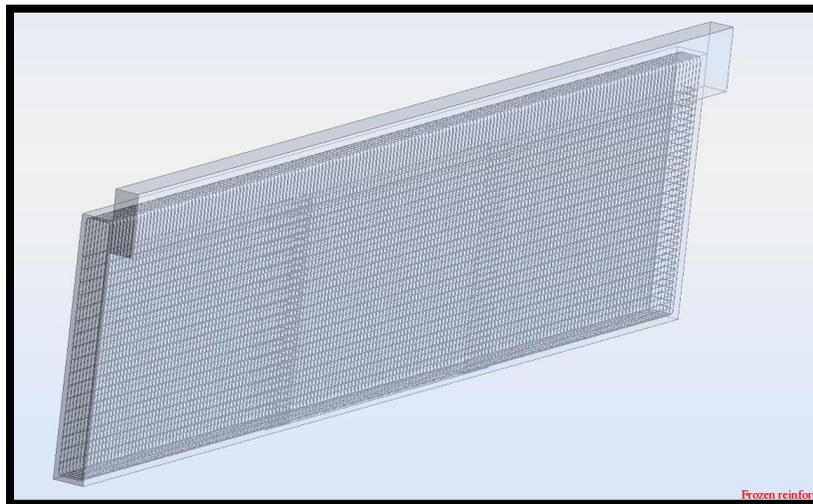


Ilustración 5.109. Armado de dentellón en perspectiva.

Como se mencionó, este proceso fue realizado para todos los elementos que componen el canal, con excepción del muro alabeado, el programa no cuenta con un procedimiento para generar estos tipos de armados tridimensionales, por lo cual se revisaron las secciones internas del muro alabeado mediante las fórmulas y procedimientos correspondientes, se propuso un armado de una parrilla de 1" @ 30cm. en la pared alabeada y una parrilla de 1" @ 30cm. en la cara externa del muro con un refuerzo de bastoneo de 1" @ 30cm.



La expresión que se usa para calcular la contribución del concreto al cortante es:

$$V_c = \phi 0.53\sqrt{f'_c}b_wd$$

Donde:

$\phi$  - Factor de reducción de cortante = 0.75.

$f'_c$  - Resistencia nominal del concreto en  $\text{kg}/\text{cm}^2$ .

$b_w$  - Ancho de la sección.

$d$  - Peralte efectivo (distancia al centroide del acero de refuerzo desde la fibra extrema a tensión), en cm.

$V_c$  - Contribución del concreto a cortante.

La expresión que se usa para calcular el esfuerzo resistente al aplastamiento del concreto es:

$$\sigma_c = \phi \cdot 0.85 \cdot f'_c$$

Donde:

$\sigma_c$  - Esfuerzo resistente por aplastamiento del concreto.

$\phi$  - factor de reducción por aplastamiento = 0.65.

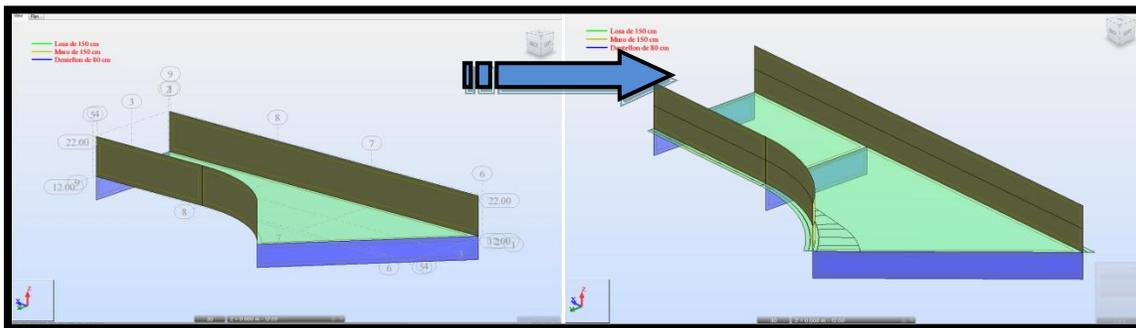
$f'_c$  -resistencia nominal del concreto.

### **Creación del Armado Tridimensional en el Modelo de Información para la Edificación.**

Como se ha mencionado previamente, a partir del diseño estructural teórico obtenido del análisis del comportamiento de la estructura, se propuso modificar el modelo original, debido a que no consideraba el dentellón central y la ampliación de la losa fondo hacía los costados, propuestos para mejorar el desempeño de la estructura y su resistencia. La nueva estructuración e información de los armados estructurales se modelo y calculó utilizando el programa especializado en el análisis y diseño estructural Robot, debiéndose actualizar el modelo central de información, por lo que la nueva estructuración y armados deben ser trasladados al programa Revit. Esta actualización de datos, genera automáticamente en el programa Revit la estructuración faltante y modifica la ya existente, logrando con esto la consistencia entre el modelo de información y el modelo matemático.

El programa Revit Structure, permite el uso de herramientas especializadas en el modelaje del aspecto estructural de las edificaciones, con ello se puede obtener gran detalle al realizar la representación de los armados en los elementos estructurales, haciendo posible mostrarlos en 3D, a la vez que se obtiene una visualización de lo que sería la distribución de varillas en la realidad al construir la edificación, este carácter del programa permite visualizar problemas relacionados con la constructibilidad del diseño, ello permite tomar las medidas pertinentes con anticipación, para evitar problemas durante la construcción.

El traslado del modelo de cálculo a Revit resulta muy sencillo, en el programa Revit se tiene el modelo original, sin dentellones y sin la extensión de la losa, en la misma interfaz del "enlace con Robot Structural Analysis" que se utilizó para enviar el modelo a Robot, tal como se describió en el capítulo 2 del presente trabajo, se tiene la opción de actualizar a partir de un archivo del programa de análisis y diseño, se puede actualizar toda la estructura o solo las partes seleccionadas en Robot, entre las opciones de transferencia de información están los resultados de reacciones y fuerzas internas, las propuestas de refuerzo (vigas, columnas, zapatas), los resultados de refuerzo teórico. En este caso se trasladará la información referente a los refuerzos y se actualizará toda la estructura.



**Ilustración 5.110. El modelo original y el modelo modificado de acuerdo al diseño estructural en Robot.**

Al finalizar la transferencia de datos al modelo, el programa muestra un reporte con las actualizaciones que se realizaron así como, las advertencias y errores que puedan presentarse en el traslado de información.

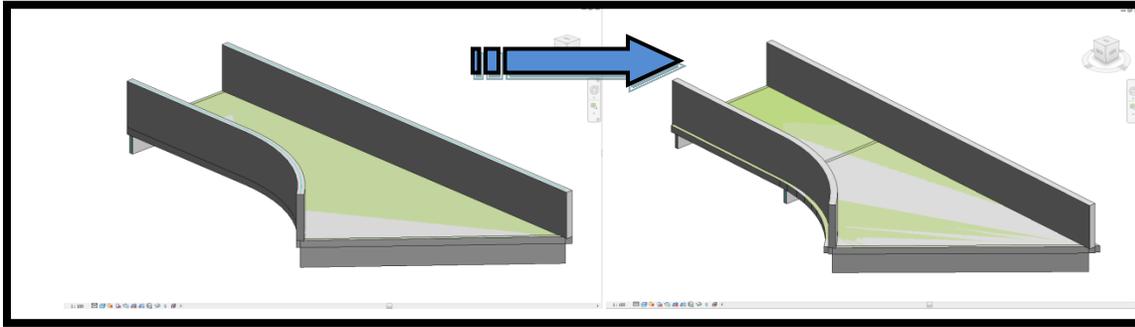


Ilustración 5.111. El modelo original y el modelo actualizado de acuerdo al diseño estructural en Revit.

En la imagen anterior se muestra el modelo anterior y el modelo actualizado, los armados se generan automáticamente al actualizar el modelo en Revit pero solo en elementos estructurales tipo viga, columna y zapatas, para las losa y muros se deben generar en el ambiente de Revit.

Ahora se detallará todo el modelo, agregando los faltantes de la estructura, como lo es el alabeado del muro y lo necesario para generar los planos de detalle.

Se modelará el alabeado como un elemento tipo componente de sitio, para ello se hace uso del plano de la planta del canal que se encuentra en formato de AutoCAD en el modelo, éste servirá como guía para trazar el componente tipo masa de concreto, que formará parte del muro alabeado.

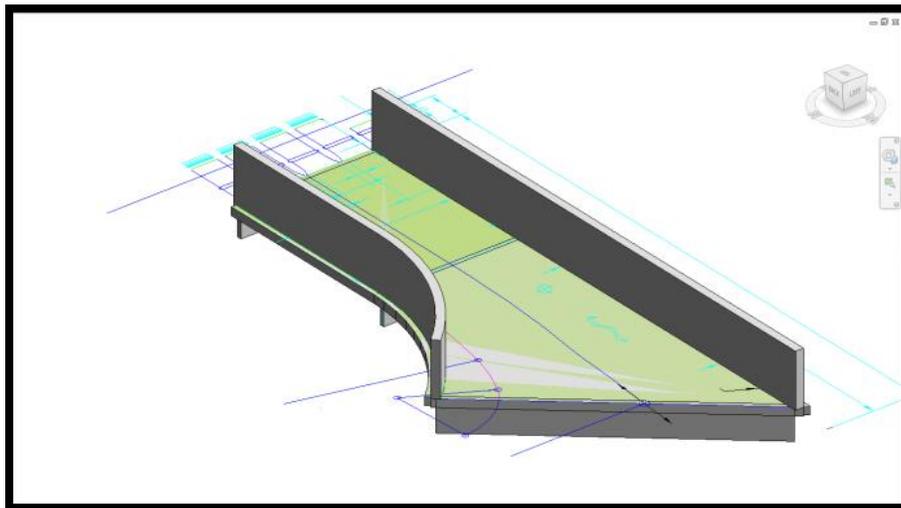


Ilustración 5.112. Modelo actual con el plano en planta en formato CAD.

Sobre la planta se traza el contorno del alabeado, este contorno definirá una figura extruida, que tendrá la altura del muro. La cara superior es modificada para que se forme la figura del muro alabeado.

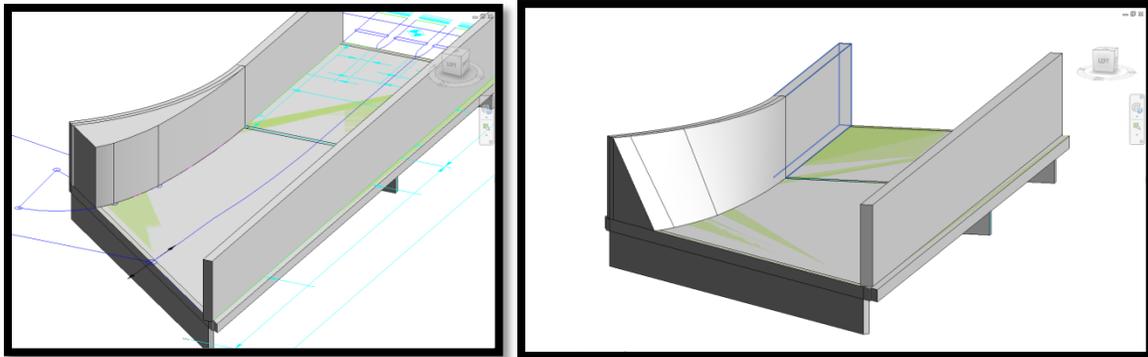


Ilustración 5.113. Extrusión y creación del muro alabeado.

Como el modelo se modificó en Robot siendo una representación alámbrica, los remates pueden tener inconsistencias, por lo que se tiene que revisar el modelo y realizar los ajustes necesarios para presentar un acabado uniforme.

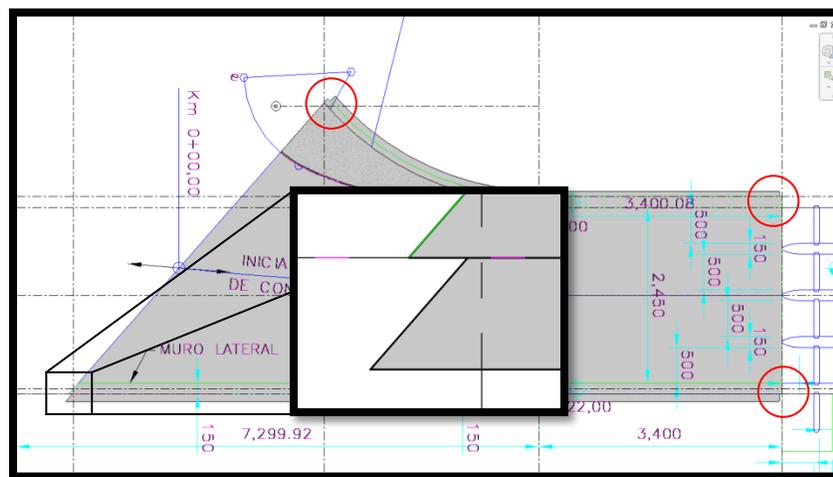


Ilustración 5.114. Inconsistencias presentadas por modificación en el programa Robot.

Al canal se le agregará una junta de construcción, la cual será la unión con la estructura de control del canal.

Se realiza una vista en corte sobre el dentellón y la losa, el cual permitirá tener una vista en perfil de la sección, en donde se podrá modificar su perfil y diseñar la junta de construcción, también en el corte posteriormente se podrá colocar la forma de la varilla que confinará la junta de construcción.

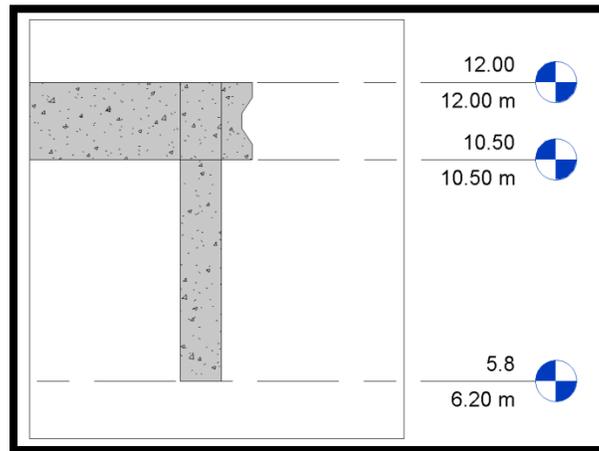


Ilustración 5.115. Perfil de la junta de construcción y dentellón.

Habiendo detallado la forma estructural del canal queda como se muestra en la siguiente ilustración.

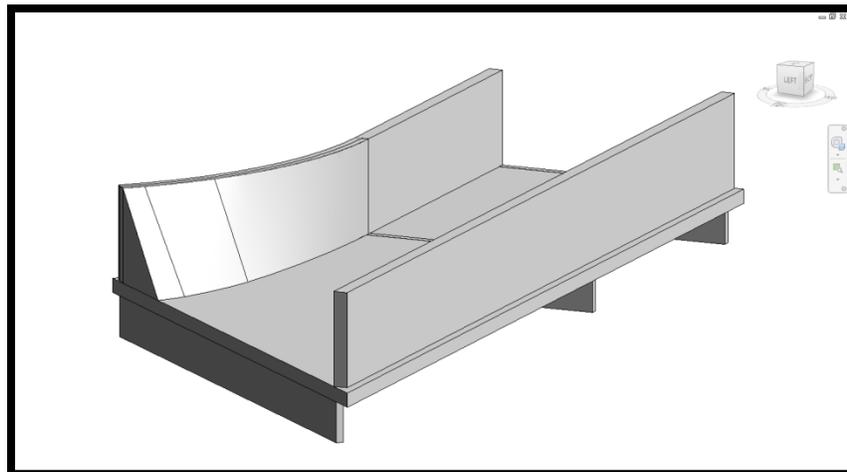


Ilustración 5.116. Modelo estructural final del canal de entrada.

En el caso de zapatas, trabes y columnas, como se menciono anteriormente, el traslado de información de la distribución de varillas genera automáticamente el armado tridimensional en el

modelo, para el caso de muros y losas, la información de los armados se contiene en los elementos y la generación del armado tridimensional en estos elementos es por llamarlo así, de manera manual.

Para realizar el armado de la losa fondo del canal; al seleccionar el elemento se activan las opciones de armado. El armado se configura eligiendo el tipo de distribución que se puede hacer por máximo espaciamiento o por número fijo de barras, también se puede elegir un recubrimiento adicional en los lechos superior o inferior.

En el caso de la losa fondo se eligió la distribución por máximo espaciamiento, las características de la distribución se hacen para cada lecho, inferior y superior, en las direcciones principal y secundaria, pudiendo tener cuatro distribuciones de varillas por zona de refuerzo, también se selecciona el tipo de gancho en el extremo de la barra ( de 90°, 180° o especificado por el usuario), así como el sentido hacia donde se orienta el gancho (arriba o abajo).

Para el caso de esta losa, se tiene que de la información proveniente del análisis y diseño estructural realizado en Robot, se determinó que para el lecho inferior se colocará una malla uniforme en ambas direcciones con una distribución de 1"@30cm., en toda el área de la losa, también se determinó tener un refuerzo adicional a base de bastones en la zona cercana al perímetro de la losa y en la zona del dentellón central.

De acuerdo a esta distribución, el armado de la losa se creará por medio de seis zonificaciones, una que comprende toda el área de la losa y las demás pertenecientes a los lados que conforman el perímetro y centro de la misma.

Para crear una zona de armado en Revit se dibuja su contorno el cual contendrá una distribución y se elige su configuración del espaciamiento, el tipo de gancho, el sentido de gancho (arriba, abajo), si el armado es de distribución principal o secundaria, y si pertenece al lecho inferior o superior.

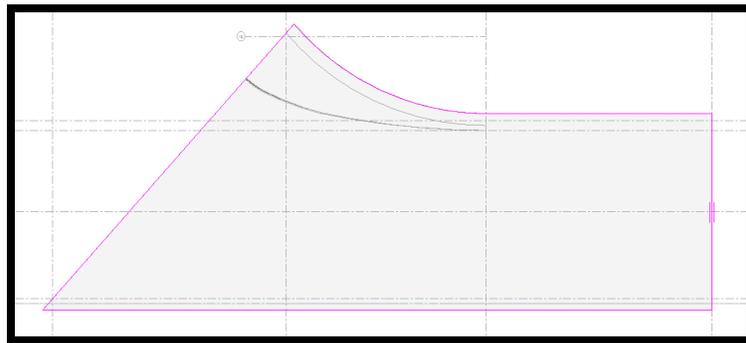
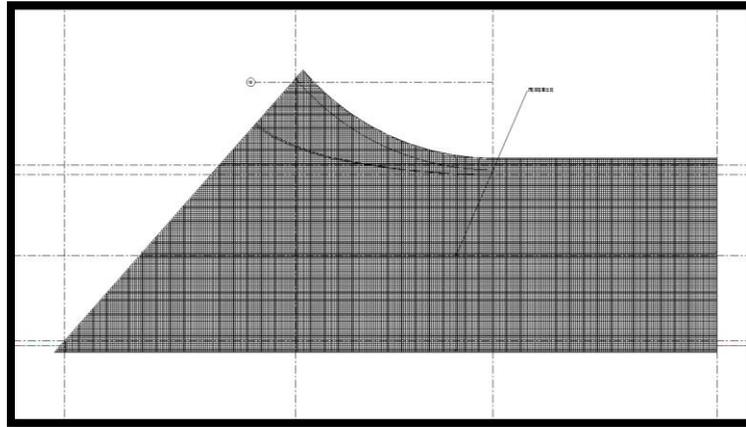


Ilustración 5.117. Contorno de la zonificación de la malla uniforme del lecho inferior de distribución 1"@30cm.

El refuerzo de acero se aloja en el elemento estructural respetando el recubrimiento que fue definido cuando se creó el elemento estructural tipo losa, y por lo tanto en todos los elementos de la estructura se tiene un recubrimiento definido. El recubrimiento del elemento de acuerdo al ACI es de 7.5 cm por estar colocado contra el suelo y permanentemente expuesto a él.



**Ilustración 5.118.** Armado de la malla inferior de la losa fondo del canal, distribución 1" @30cm. ambas direcciones.

El bastoneo por zonas, se realiza con el fin de optimizar la cantidad de acero, el bastoneo se coloca únicamente en las zonas donde la malla principal de varillas no es suficiente para resistir las acciones a las que se someterá la estructura, y por lo tanto, se necesita tener una mayor cantidad de acero.

Una vez creada la malla principal del lecho inferior, se definirán las zonas de bastoneo de refuerzo. De acuerdo a la información proveniente de Robot, cada zona de bastoneo tendrá varillas en una sola dirección y en este caso solo para el lecho inferior. En la siguiente ilustración se muestra dos zonificaciones adicionales a la malla uniforme principal, el bastoneo en todas las zonas tiene una distribución de 1" @30cm.

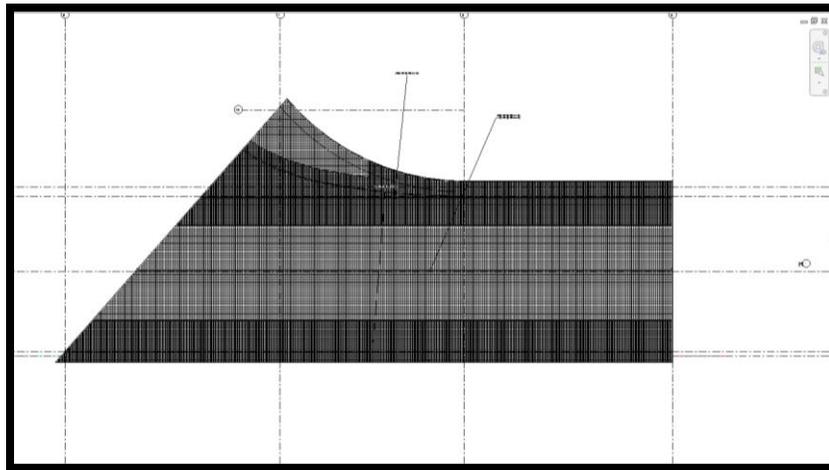


Ilustración 5.119. Armado de losa, malla principal y bastoneo de varilla en dos zonas de las orillas.

La dirección del bastoneo se realiza dependiendo la zona de refuerzo en cuestión, esto es, cada zona tendrá un bastoneo en una sola dirección.

En el lecho inferior se puede observar que las mayores solicitaciones se encuentran en el contorno del elemento.

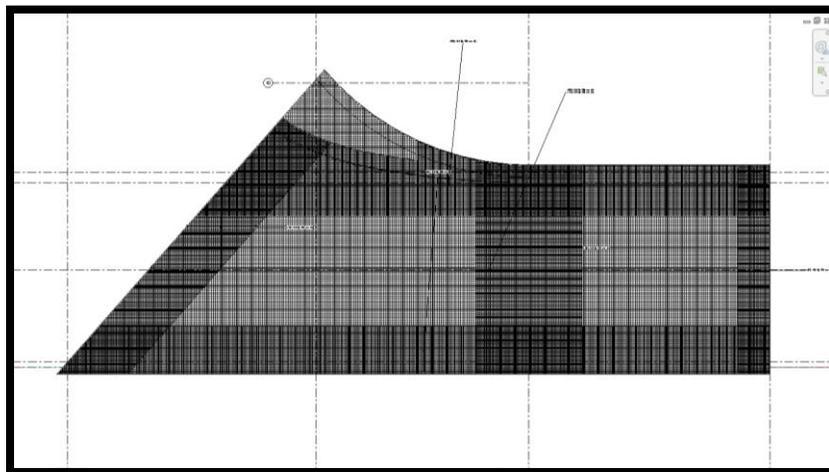
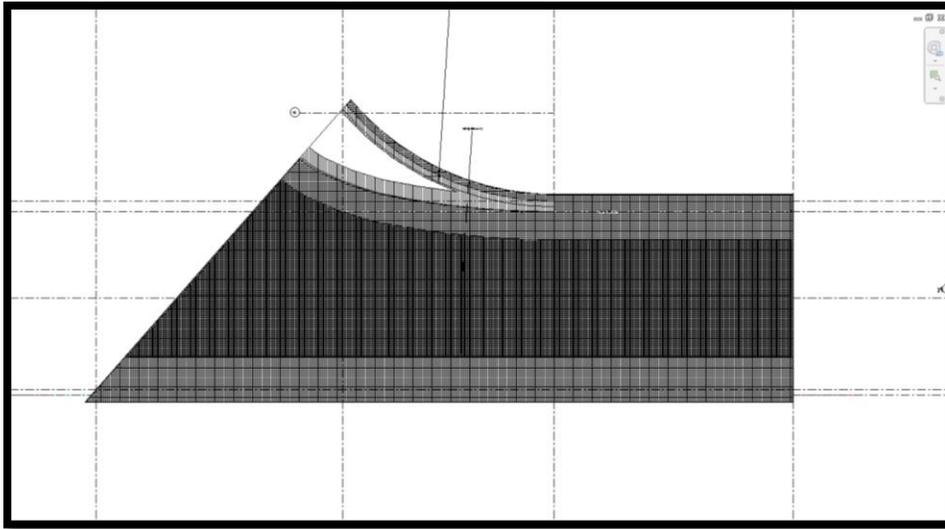


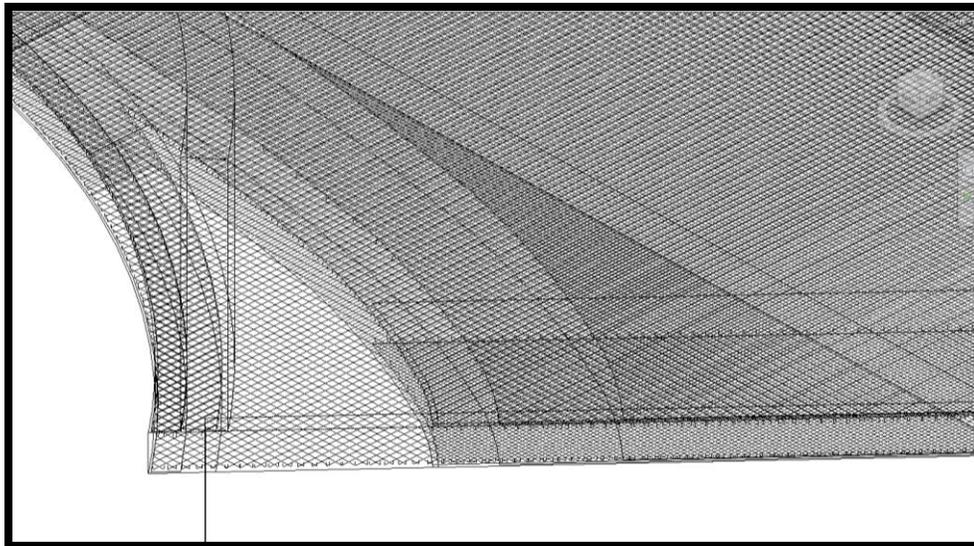
Ilustración 5.120. Refuerzo completo del lecho inferior de la losa fondo del canal.

Para el lecho superior, se realiza el mismo procedimiento descrito anteriormente, en este caso adicional a la malla uniforme de  $1''@30\text{cm.}$ , se tiene un bastoneo únicamente en la parte central; se deja una área descubierta de refuerzo puesto que en esa parte, la resistencia será aportada por la masa de concreto del muro alabeado.



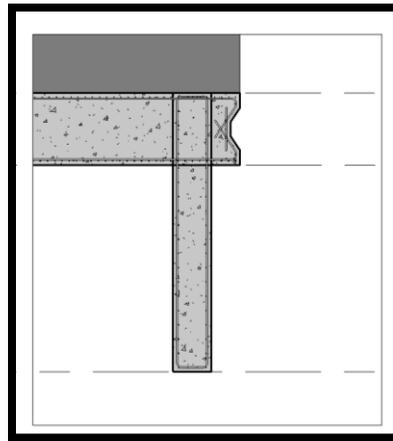
**Ilustración 5.121.** Distribución y zonificación del refuerzo en el lecho superior de la losa fondo del canal.

Los armados se crean bidimensionalmente por comodidad, como se observa en las ilustraciones anteriores, pero estos son generados tridimensionalmente, en la siguiente ilustración se muestra una vista del armado para la losa fondo del canal en la zona del muro alabeado.



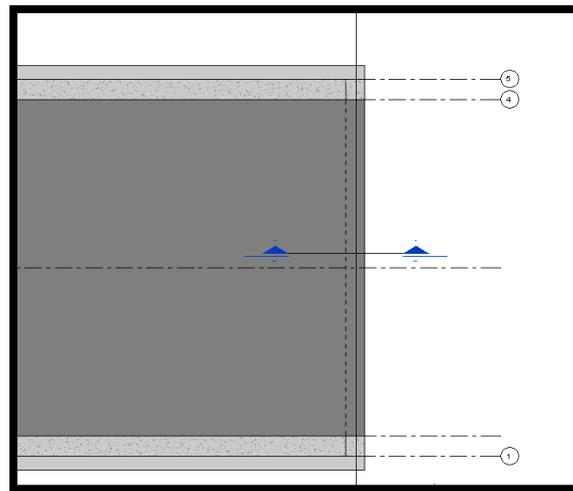
**Ilustración 5.122.** Armado tridimensional de la losa fondo del canal en la zona del muro alabeado.

Con un procedimiento parecido se realiza el armado tridimensional en muros y dentellones. Para ubicar correctamente las zonas de armados, en muros y dentellones se realizan planos de corte en el modelo, esto permitirá ver en forma bidimensional, un plano sobre el cual se coloca el armado. Cuando se inserta un plano de corte se define la profundidad hasta donde será visible.



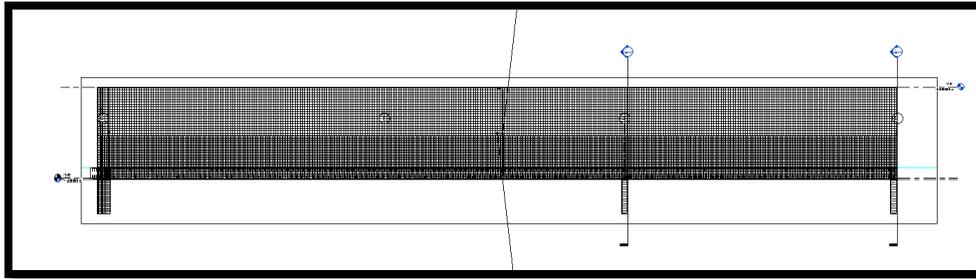
**Ilustración 5.123. Colocación del armado de la junta de construcción en una sección de corte.**

El plano de corte se define por una línea trazada en la vista de planta como se muestra en la siguiente ilustración, para este corte se define también la profundidad de manera que sea únicamente visible el muro.



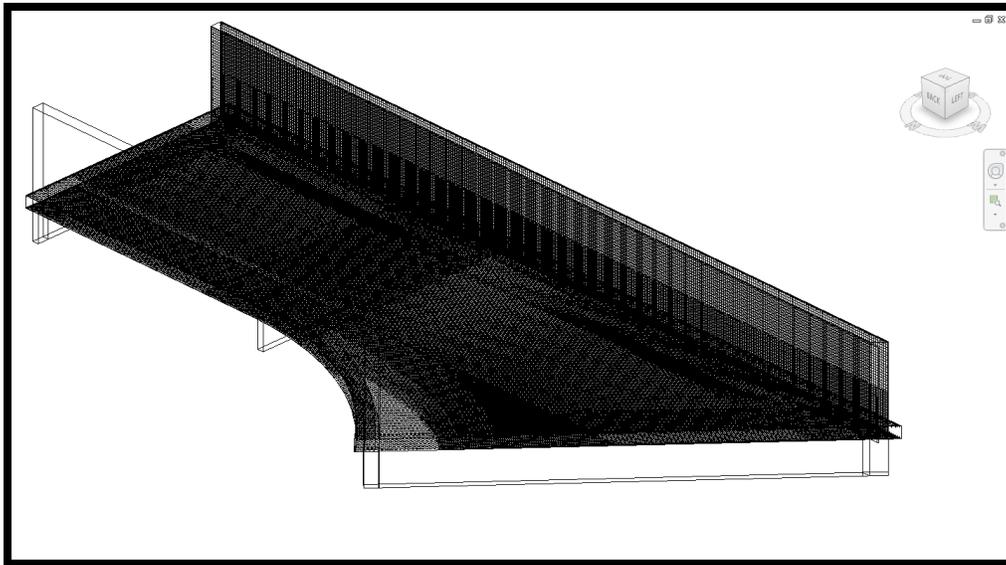
**Ilustración 5.124. Plano de corte en vista en planta, La vista del corte se abre haciendo doble clic en el símbolo de corte.**

Para el armado del muro se definirán dos zonas, la malla principal que tendrá un distribución de 1"@30cm., en ambas direcciones y en ambos lechos, y la segunda zona que será el bastoneo refuerzo que tendrá la misma distribución pero que solo se presentará en la base de la cara exterior del muro.



**Ilustración 5.125. Armado final del muro en la margen derecha.**

En la siguiente ilustración se muestra el armado tridimensional del canal, donde se observa el muro lateral derecho y la losa fondo con sus respectivos armados.



**Ilustración 5.126. Armado tridimensional de losa fondo y muro lateral derecho.**

De esta forma se va generando el armado en cada uno de los elementos estructurales, creando cortes y aplicando la distribución de las varillas en cada zona del elemento, únicamente para la masa de concreto del muro alabeado el procedimiento debe realizarse de otra manera, en la siguiente ilustración se muestra el armado del canal utilizando los procedimientos antes descritos.

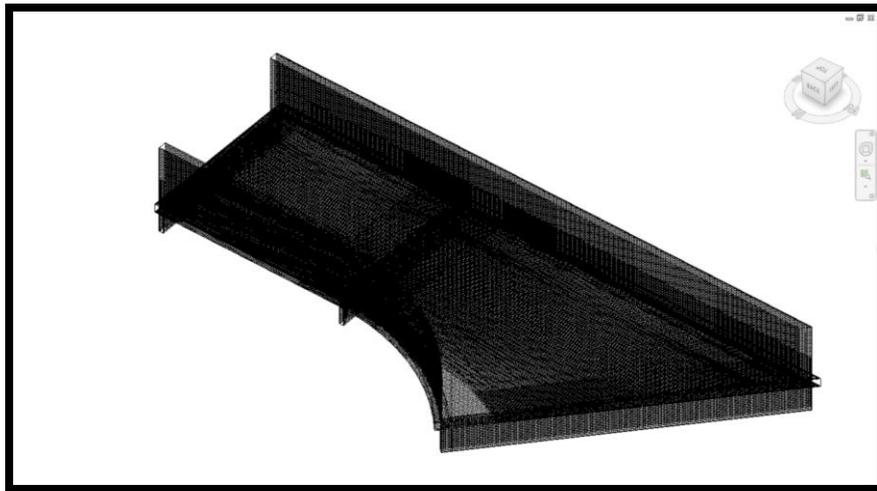


Ilustración 5.41. Armado de losas y muros.

El espesor de muros y losas es de 1.5 m., por lo cual se colocará armado en los cantos de la losa y muros, las vistas de corte son de gran ayuda en la colocación de este tipo de armado al permitir su manipulación bidimensional sobre un plano. En la siguiente imagen se muestra el canto de la losa de la margen derecha. Este armado se realiza en los cantos restantes de losas y muros

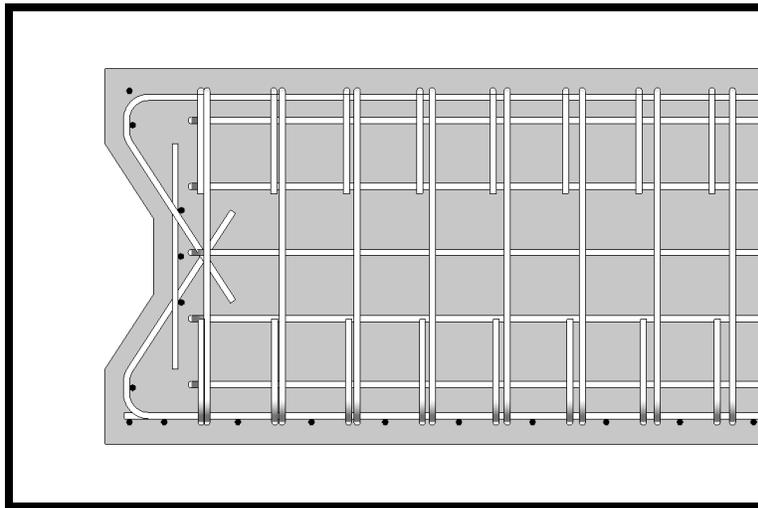


Ilustración 5.1272. Armado del canto de la losa.

Debido a que la forma del muro alabeado es irregular, el programa no puede generar el refuerzo por zonas, la colocación del armado resulta un tanto más complicada puesto que se debe ir

colocando varilla por varilla, primero se ubican verticalmente en la parte superior del muro, posteriormente un una vista de corte estas son llevadas hasta su posición inclinada que deberán tener en el alabeado como se muestra en la ilustración 5.43.

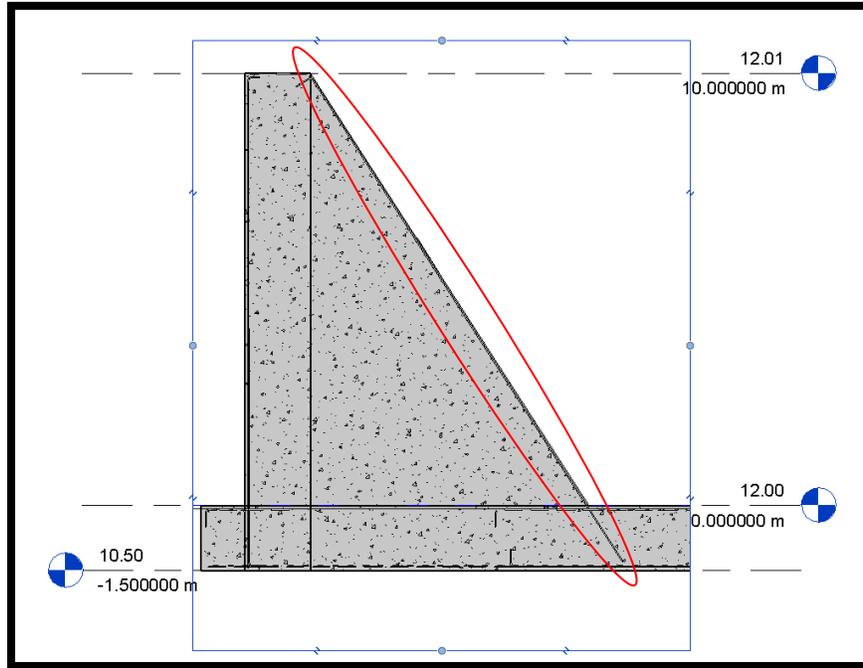


Ilustración 5.1283. Vista en corte del muro alabeado para colocar la varilla inclinada.

En la siguiente imagen se observa únicamente la parte correspondiente al muro alabeado con todo el armado vertical e inclinado que se coloca sobre la cara de la masa de concreto. Se colocó una plantilla del armado en formato CAD para facilitar su ubicación.

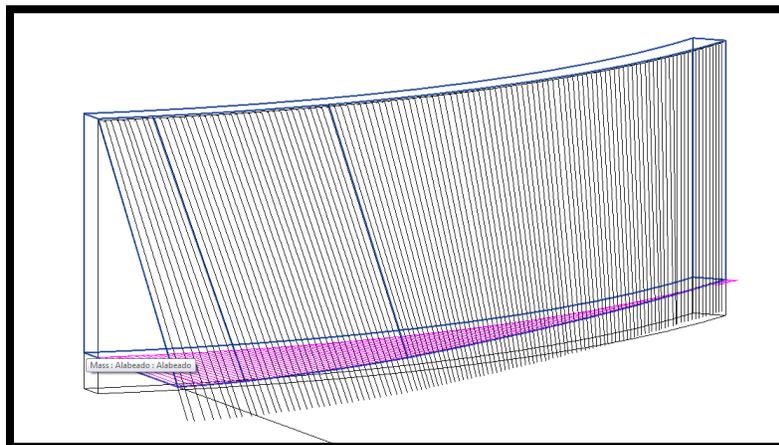
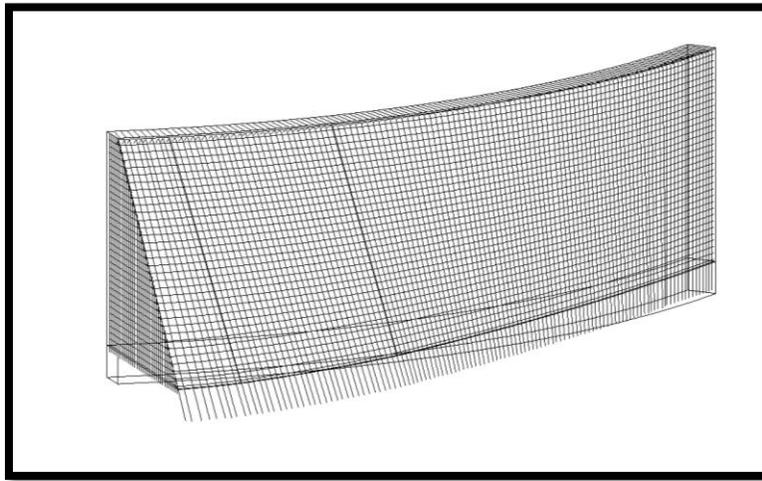


Ilustración 5.1294. Armado vertical e inclinado sobre la cara interior del muro alabeado.

De manera similar se coloca el armado horizontal en el muro alabeado en este caso en lugar de un plano de corte se utiliza un plano de elevación pero aplicando el mismo principio, dibujar cada barra sobre la cara interior, también se utiliza un corte lateral para colocar una malla que cerrará el alabeado, en la ilustración siguiente se muestra como queda el armado completo de la cara interior de la masa de concreto del muro alabeado, el armado exterior permanece oculto para apreciar de mejor forma el armado.



**Ilustración 5.1305. Armado Sobre cara interior del muro alabeado.**

Con el armado del muro alabeado se completa todo el armado estructural del canal, del cual se obtendrán los planos por medio de las vistas cortes y proyecciones, el acotamiento se hace directamente ya que maneja mediadas reales, mediante la proyección tridimensional se puede obtener la cuantificación de los materiales. Como el modelo es una representación de la realidad, se pueden observar futuros problemas a la hora de realizar la construcción, como es la interferencia entre los armados o en qué lugar será necesario un espacio adicional en la excavación para colocar correctamente el armado, entre otros. En las siguientes imágenes se muestran otras vistas del armado tridimensional.

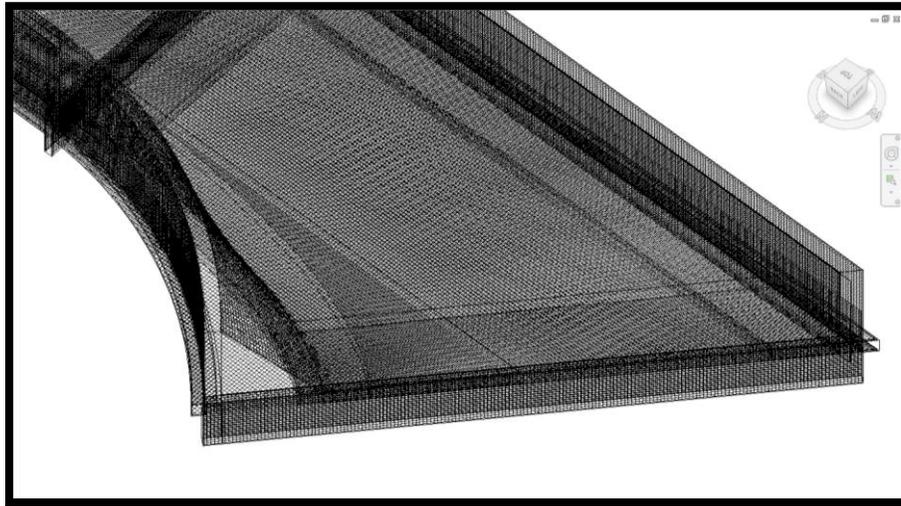


Ilustración 5.1316. Armado tridimensional del canal en la zona de entrada al canal.

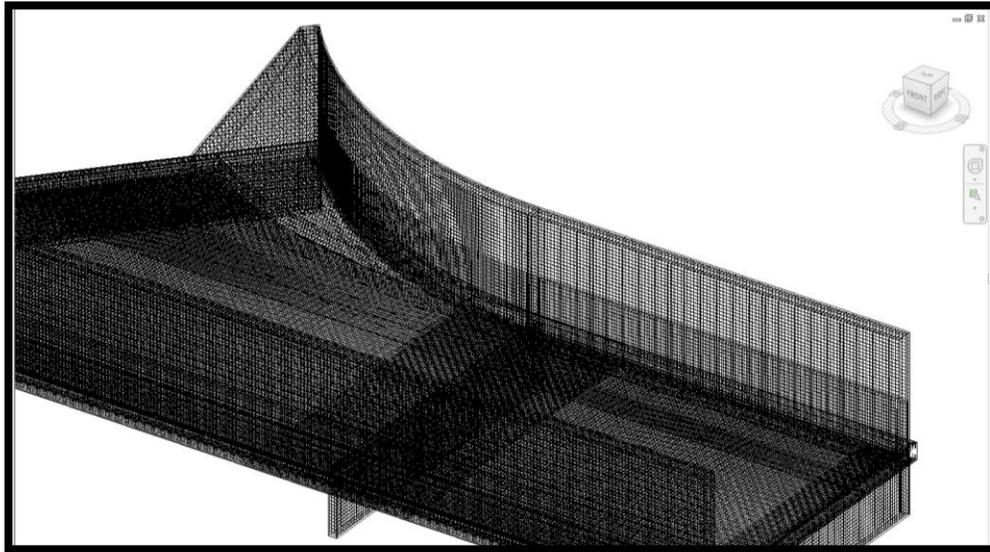


Ilustración 5.1327. Otra perspectiva del armado tridimensional del canal.



## CAPÍTULO 6. INSTALACIONES Y ACABADOS.

Dentro de los programas que forman la plataforma BIM, se encuentran los programas especializados tanto en el diseño arquitectónico como en las instalaciones de un proyecto de edificación, estas herramientas trabajan conjuntamente para conformar a detalle el modelo tridimensional con la información necesaria para su construcción.

Esta parte de la plataforma BIM, especializada en el diseño arquitectónico e instalaciones, contiene las herramientas que permiten crear modelos de manera dinámica, con gran detalle, con visualizaciones de gran calidad, y que gracias a sus análisis de consumos de energía permiten crear, diseños de edificios sustentables. Estas herramientas ofrecen el nivel de detallado de los acabados que se tendrá en los elementos estructurales y arquitectónicos, así como potencialidad para reproducir las características del entorno de la edificación, para visualizar como es el sitio de la edificación, la ornamentación, topografía, etc.

Como se ha mencionado, los programas de la plataforma BIM encargados de modelar los sistemas de instalación, como son: aire acondicionado y mecánicos, las instalaciones eléctricas y las instalaciones de tuberías (sanitarias), tienen la potencialidad para realizar los cálculos de estos tipos de instalaciones, como son los análisis de flujo de aire real, para determinar el equipo electromecánico y el tamaño de los ductos de aire acondicionado, el análisis de cargas eléctricas para determinar los calibres de los cables para el sistema eléctrico, la fricción y velocidad en tuberías para determinar su diámetro en el sistema hidrosanitario. Estas y más características permiten crear diseños de instalaciones precisos y con un empleo óptimo de materiales.

La interacción entre estos modelos permite crear un diseño realista con gran detalle, a la vez que se considera un aspecto óptimo, económico, ofreciendo funcionalidad y seguridad. El modelo es capaz de ofrecer la visualización real de la edificación, la simulación de su construcción, así como facilitar la generación de documentación tanto para compra de materiales, como para seguimiento de la construcción, lo que permite realizar mejores proyectos de manera más eficiente.

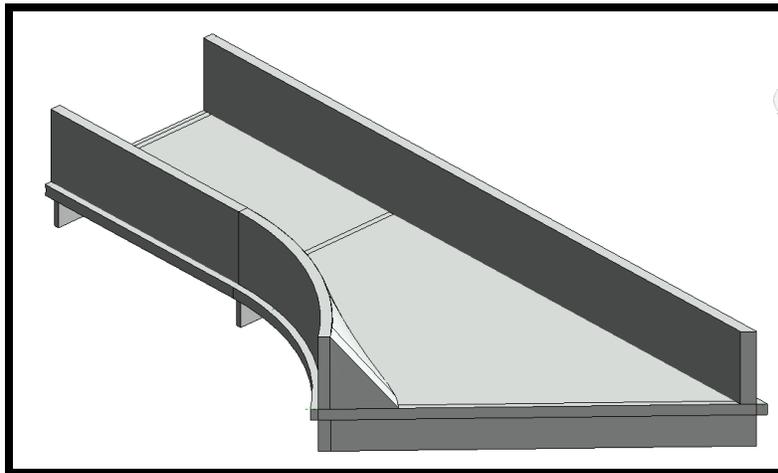
### Aplicación al Modelo.

En la plataforma BIM utilizada, el programa Revit de Autodesk, integra la información para el modelaje mediante tres módulos, que son el arquitectónico, el estructural y el MEP, este último conocido así por su acrónimo en inglés Mechanical, Electrical and Plumbing, que se orienta a las instalaciones mecánicas, eléctricas y sanitarias. Estos tres módulos pueden trabajar por tanto en conjunto bajo la misma plataforma, lo cual permite crear un modelo detallado y con información de todos los aspectos relacionados con su diseño y construcción y no solamente en el aspecto dimensional, como sucede con programas de dibujo como sería el caso de AutoCAD de Autodesk.

Partiendo de que el modelo del canal cuenta inicialmente con la información de la estructuración completa, es decir información dimensional e información estructural asociada a características de los materiales concreto y acero, así como el dimensionamiento de los armados de la estructura, se decidió, incorporar al modelo los detalles arquitectónicos de acabados e instalaciones eléctricas para iluminación que requiere esta construcción.

Por lo que corresponde a la información arquitectónica, se detallaron aspectos como el acabado del concreto en el canal y la apariencia que tendría, para su presentación mediante imágenes fotorealistas, en las cuales se incorpora también el entorno del sitio para una mejor representación.

Así mismo, al modelo del canal se le agregaron los componentes de sitio que simulan el agua en el canal, para ello se crea una forma tridimensional basándose en el contorno del interior del canal.



**Ilustración 6.133. Modelo estructural del canal.**

La mecánica para lograr lo antes señalado se hace a partir del perfil del canal interior, se crea un elemento tridimensional en volumen, este elemento es dinámico, pudiendo moverse arrastrando sus caras, de esta forma se ajusta la altura de la figura.

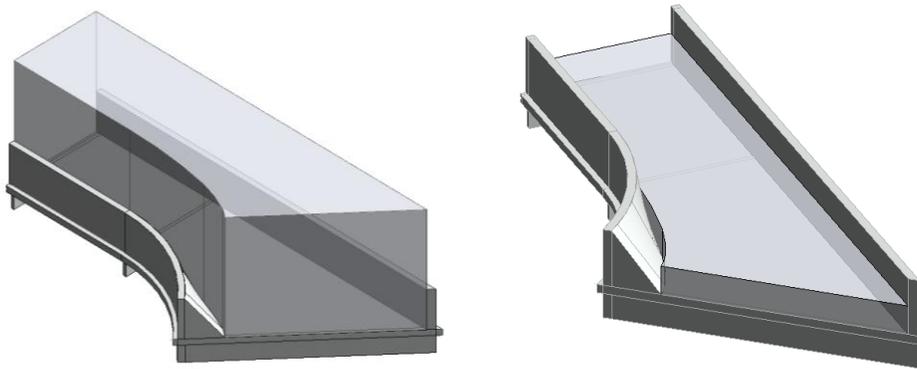


Ilustración 6.134. Modelado de volumen de agua.

Ajustado el tamaño, se le dará la forma del muro alabeado, para ello se modificará la cara superior del elemento tridimensional, al terminar se declara en sus propiedades que será de material agua y automáticamente obtiene la apariencia. Al finalizar esta acción en el canal se tendrá la visualización del agua para una mejor presentación y una vista más realista.

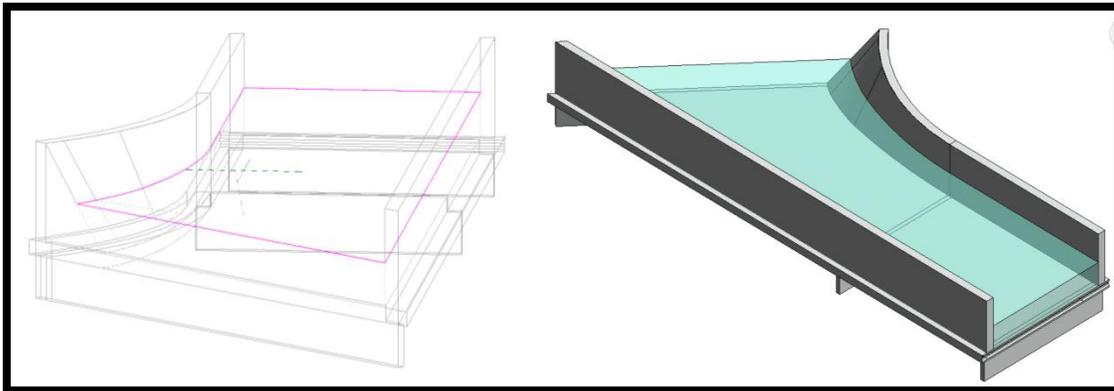
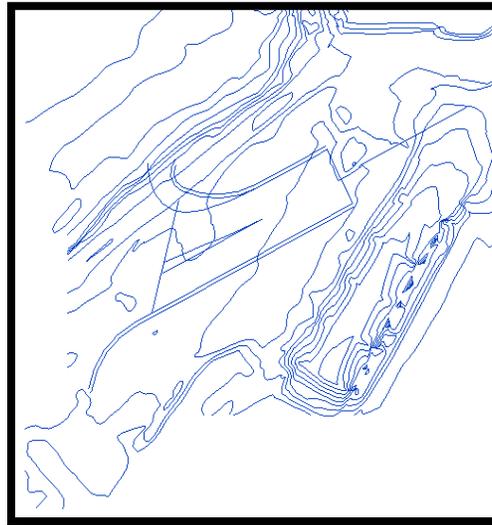


Ilustración 6.135. Modificación de perfil superior en volumen de agua.

### Entorno. (Diseño del Sitio)

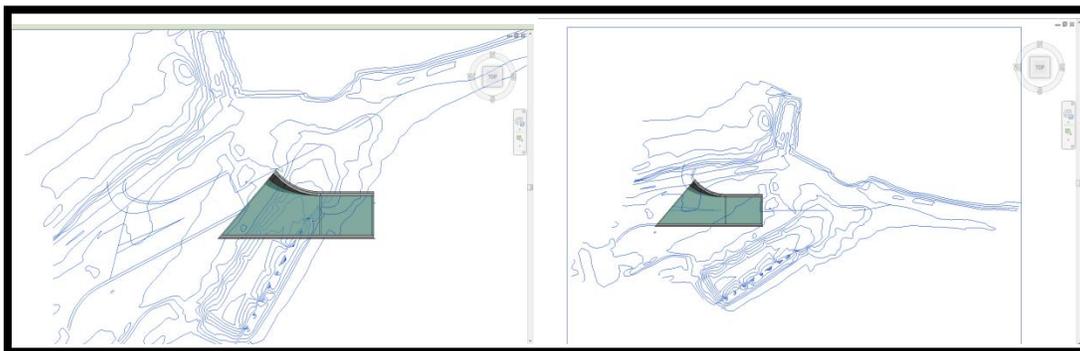
El modelaje del entorno sobre el cual se ubicará el canal es importante para dar realismo a las presentaciones, debiendo partir para ello de la información topográfica que se tiene del plano general.

A continuación se muestra la vista en planta de la ubicación del canal y las curvas de nivel que marcan la topografía del terreno.

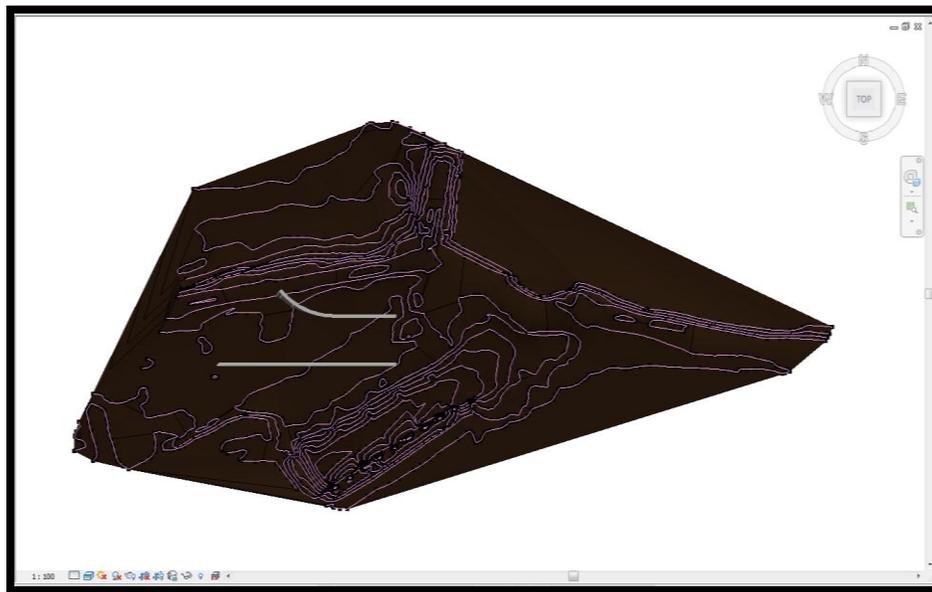


**Ilustración 6.136. Topografía y ubicación del canal de entrada.**

La topografía que en este caso se tiene, es un archivo en formato CAD que es insertado en el programa Revit, el cual reconoce el formato integrando la información en el modelo, debiendo ésta ser orientada y colocada conforme al modelo del canal, a partir de las curvas de nivel, lo cual crea un relieve topográfico que representa el sitio donde se ubicará la obra de control. En las siguientes imágenes se muestran los pasos seguidos para la orientación de la información del archivo CAD en el modelo BIM.

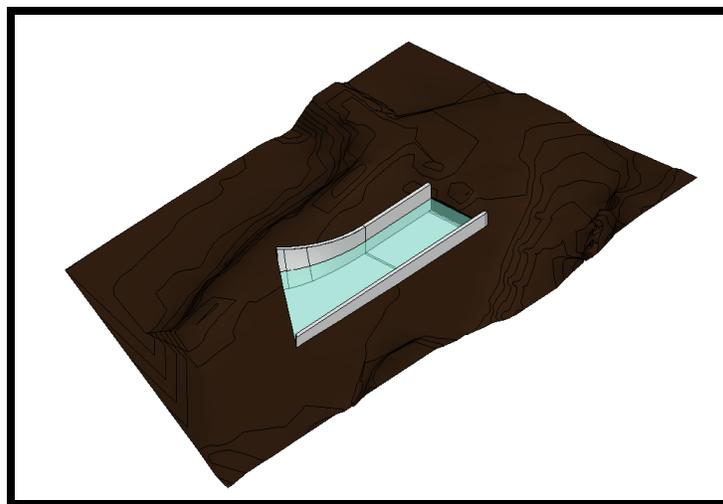


**Ilustración 6.137. Orientación y ubicación del modelo del canal de entrada.**



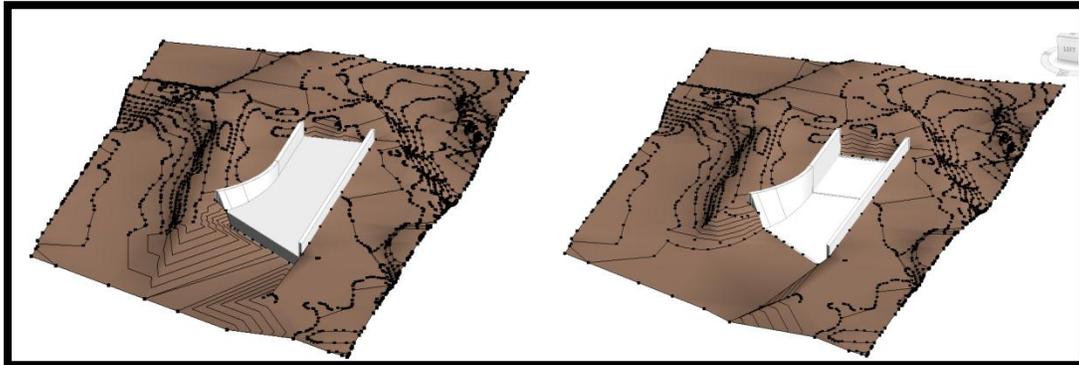
**Ilustración 6.138. Creación del relieve topográfico a partir curvas de nivel del formato CAD.**

En la ilustración anterior se muestra el relieve creado, también se observa el archivo de CAD que muestra las curvas de nivel y parte de la estructura del canal. Posteriormente el archivo CAD es eliminado y se corta en el relieve topográfico la silueta del canal, también el relieve es recortado en sus bordes con el propósito de tener una mejor presentación.



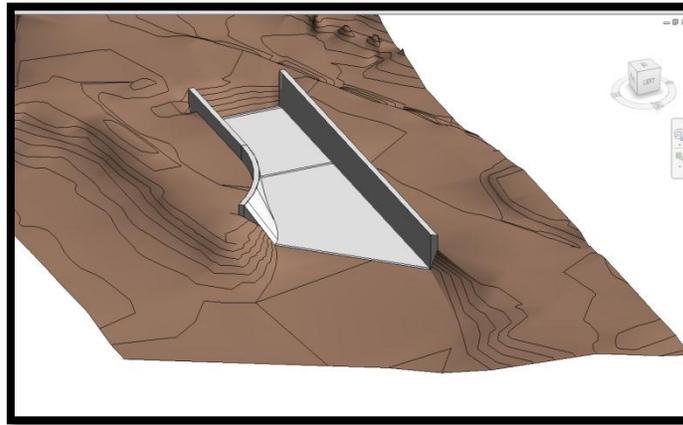
**Ilustración 6.139. Recorte de relieve topográfico.**

El relieve topográfico muestra la forma como se encuentra el lugar antes de la construcción. Al colocar el canal este relieve topográfico se modifica para encauzar el agua hacia el interior del canal por lo que se modificará el modelo del relieve, siendo éste editable mediante puntos con información de la altura topográfica. El elemento que representa el agua es ocultado para facilitar el ajuste del relieve y la concordancia tanto con la losa fondo del canal, como con el alabeado del muro.



**Ilustración 6.140. Modificación de relieve topográfico por medio de puntos con elevaciones.**

En la siguiente figura se muestra el resultado final de la modificación del relieve del cauce del río.



**Ilustración 6.141. Estructura del canal de entrada y encauce del relieve topográfico.**

Como siguiente paso se inserta un elemento tridimensional que será parte del diseño conceptual del entorno del canal, para representar la continuación del canal que es la zona de control o zona de compuertas.

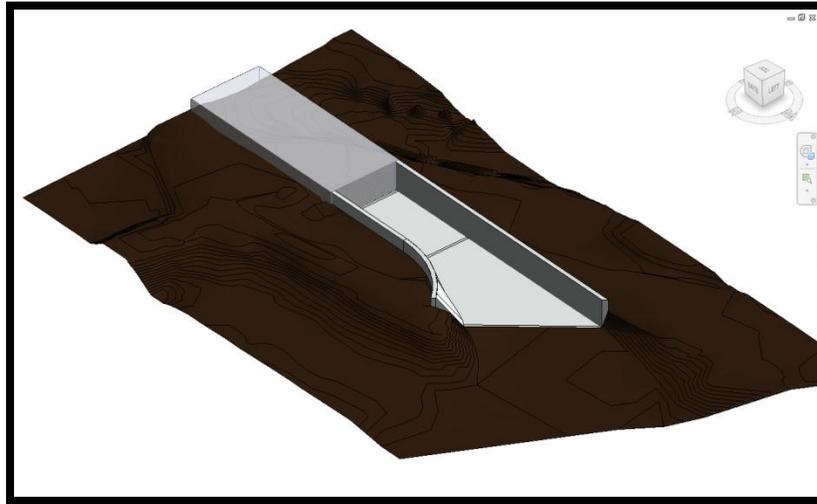


Ilustración 6.142. Canal de entrada y diseño conceptual de entorno.

En la ilustración anterior se muestra el entorno del canal con la incorporación del bloque representativo conceptual de las obras contiguas.

Enseguida se modificará el elemento que representa el agua en el canal, para su adecuación a las condiciones del sitio.

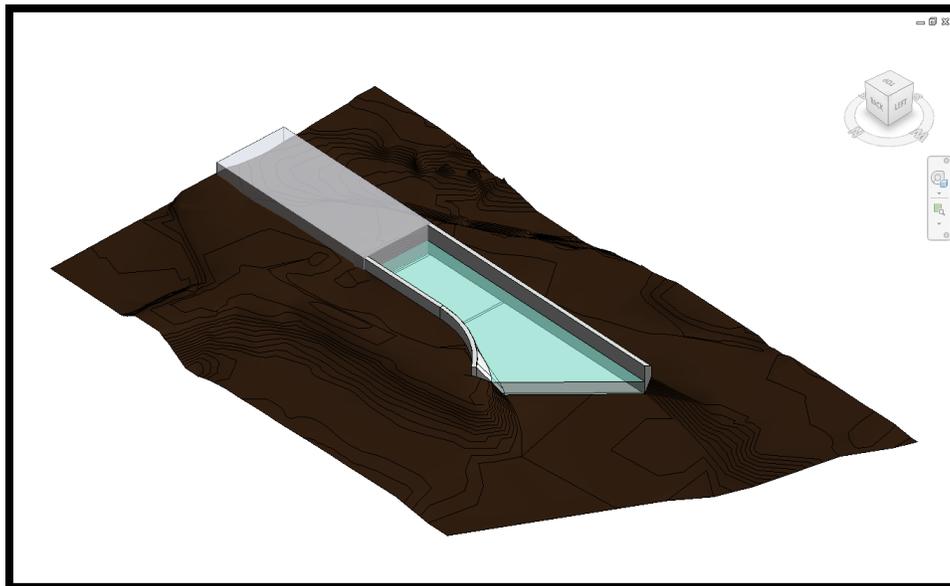
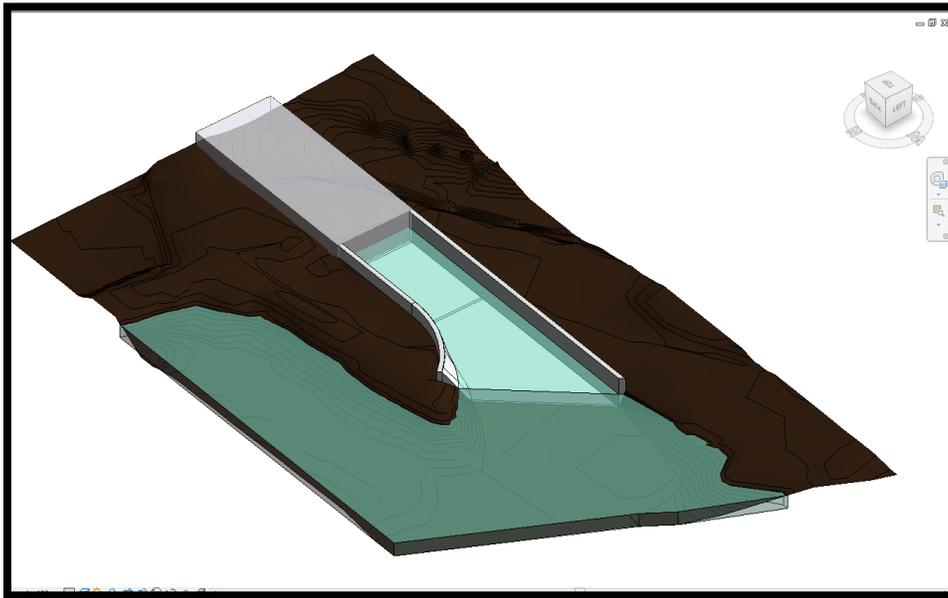


Ilustración 6.143. Canal de entrada con agua y diseño conceptual del entorno

En la figura anterior se muestra el elemento agua solo en el interior del canal, pero en la realidad el agua provendría del cauce del río, por lo que para representar esto se modificará el volumen de agua, para que el contorno del elemento siga la forma del embalse a la curva de nivel asociada al nivel del agua en el interior del canal, que en este caso marca la altura 16.50 m.s.n.m.



**Ilustración 6.144. Modelo del canal de entrada con entorno conceptual.**

La figura que se muestra como diseño conceptual del entorno no tiene ningún acabado en específico, por lo que a éste se le asignará un tipo de acabado, para ello es necesario utilizar las propiedades del elemento disponibles para el modelaje en Revit asignando un tipo de material.

Se elige el modelo conceptual y al seleccionar en los tipos de materiales disponibles en Revit, aparecerán un par de ventanas como se muestra en la siguiente ilustración.

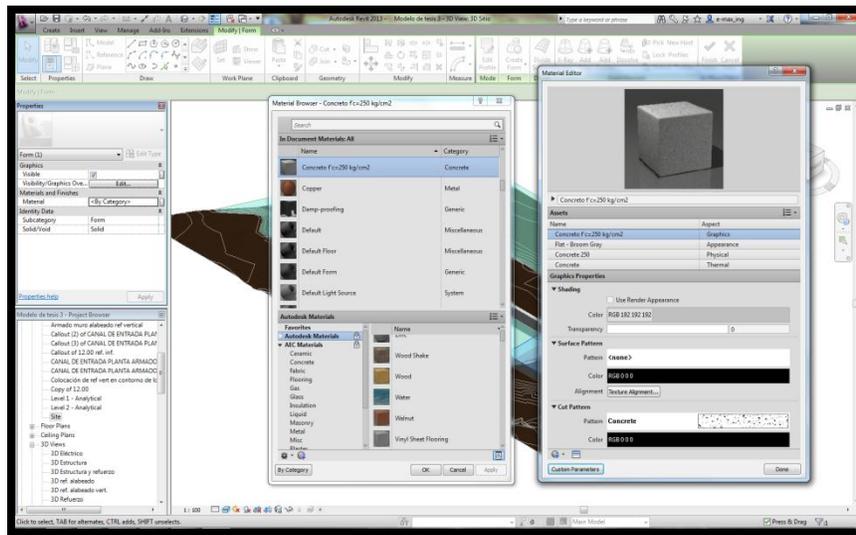


Ilustración 6.145. Aplicación de material y acabados.

En la imagen de la ventana izquierda se muestra una lista con los materiales disponibles para seleccionar el material del que está hecho el elemento, en la ventana derecha se muestran las propiedades del material como son propiedades gráficas, propiedades de apariencia, propiedades físicas y propiedades térmicas. Para el modelo conceptual se elige el material concreto. En la siguiente figura se muestra el modelo con el entorno finalizado y la apariencia del canal.

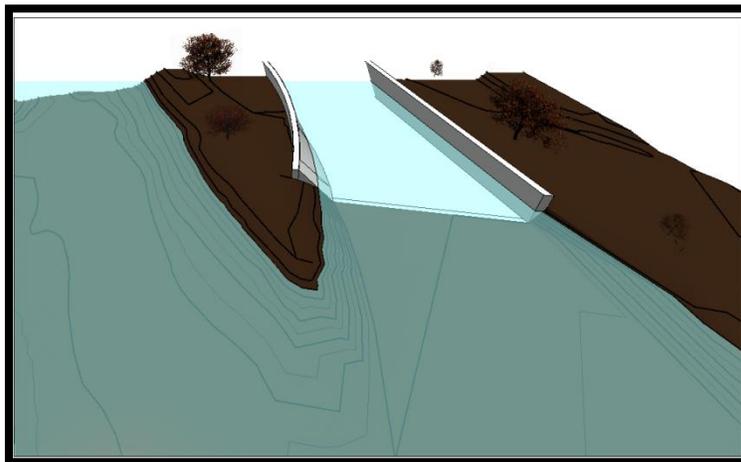


Ilustración 6.146. Vista del modelo con componentes de sitio.

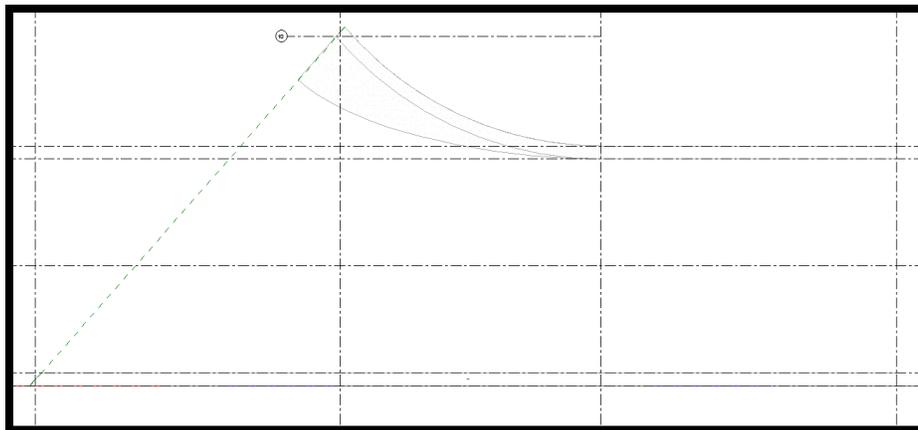
Por último se pueden agregar elementos de sitio, estos pueden ser árboles que se encuentran en los alrededores, para con esto dar una representación más realista al entorno.

### Instalaciones.

Como se mencionó anteriormente, en la parte de instalaciones, se incluirán en el modelaje las asociadas a la colocación de reflectores a lo largo del canal para tener iluminación en el cauce del mismo.

Esta instalación dentro del procedimiento BIM y sus herramientas para instalaciones eléctricas, se requiere por aspectos de seguridad, por lo que se ilustra su aplicación sin ahondar en los requerimientos de luminiscencia. Para mostrar el procedimiento del diseño de una instalación eléctrica, se requiere primero de crear una planta tipo techo, para que en esta vista se coloque todo el equipamiento eléctrico, así como los recursos luminosos para tener las instalaciones adecuadas.

Para nuestro caso, la vista tipo techo está asociada al nivel 12.00 m.s.n.m., y es visible desde el nivel 22.00 m.s.n.m., que en este caso es considerado como el techo del nivel inferior (12.00 m.s.n.m.), en Revit, en las opciones de vista se selecciona primero el tipo de disciplina eléctrica, esta acción atenúa los elementos estructurales para resaltar únicamente los elementos de la instalación eléctrica.



**Ilustración 6.147. Planta del canal en la disciplina de instalaciones eléctricas.**

Para comenzar con el modelaje de la instalación eléctrica del canal, se coloca el panel de distribución que es donde se tienen los interruptores de corriente y los dispositivos de seguridad para los circuitos. También se colocan las lámparas seleccionadas, que en este caso serían a base de iluminación de focos LED, las cuales serán colocadas en la parte superior de los muros del canal, también colocan todos los dispositivos y equipamiento eléctrico que formará parte de la instalación eléctrica.

Las lámparas tendrán una distribución de tresbolillo a lo largo del canal, con una separación de diez metros entre lámparas contiguas.

Al panel de distribución se le asigna un sistema de distribución eléctrica, que es la caída de tensión proveniente de la acometida, para este caso se considera una caída de tensión monofásica de 120V, esta asignación se realiza seleccionando de una lista proporcionada por Revit, de caídas de tensión que pueden ser de fase trifásica o monofásica.

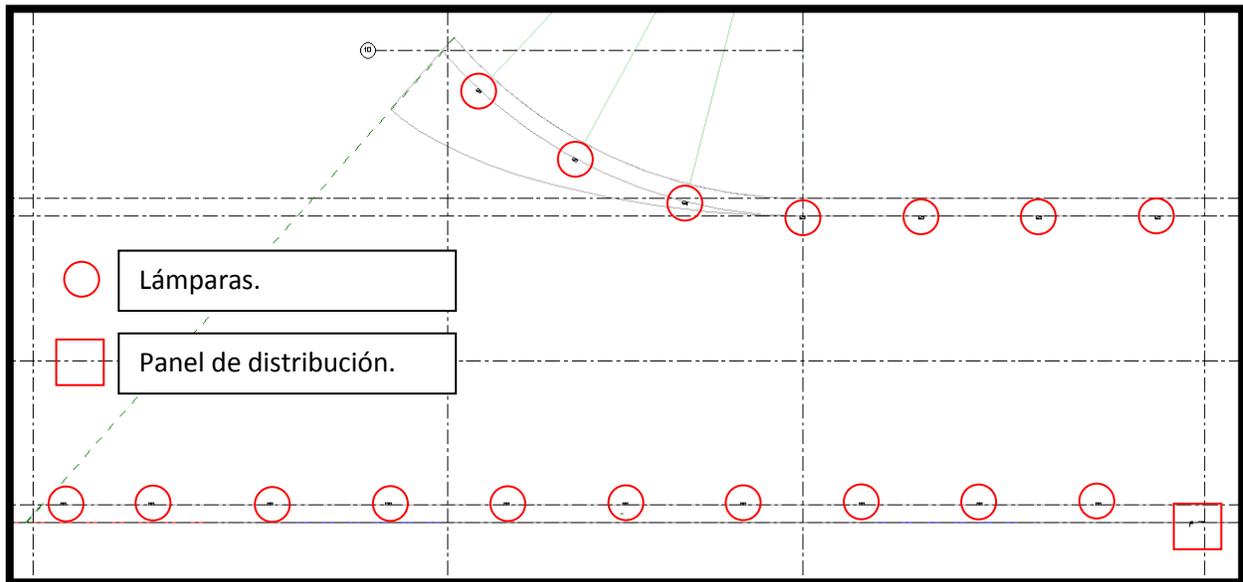


Ilustración 6.148. Ubicación de lámparas en distribución de tresbolillo.

Una vez colocados los dispositivos, equipamientos eléctricos y recursos luminosos, se crean los circuitos de luz y potencia.

La creación de un circuito se realiza seleccionando los dispositivos, equipo eléctrico y recursos luminosos que pertenecen al circuito, estos se agrupan asignándole un nombre al circuito, al cual a su vez se le asigna un panel de distribución. Revit se encarga de calcular automáticamente el calibre del cableado, manteniendo una caída de tensión menor al 3%. El cálculo se basa en la capacidad del circuito y en la longitud del mismo, el tamaño del cable se elige de una base de datos que contiene los calibres nominales de los cables ya sea de cobre o aluminio, pudiendo actualizar la base de datos manualmente para futuros cálculos. Para este proyecto se manejan dos circuitos uno para cada muro del canal, donde se contemplan todas las lámparas.

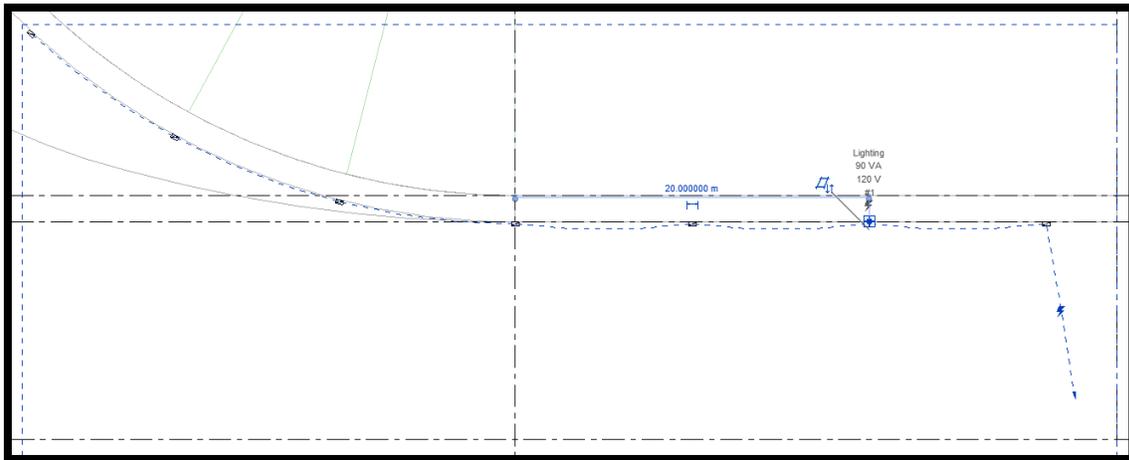


Ilustración 6.149. Circuito de muro izquierdo.

Definidos los circuitos, se asignan los accesorios de iluminación, que serán los sistemas de interruptores específicos, estos sistemas son independientes de los circuitos de iluminación y potencia. El proceso de creación del sistema de interruptor es similar al procedimiento de crear los circuitos, se selecciona el interruptor, se asigna un nombre al sistema y se eligen los accesorios que controlara dicho interruptor, en este caso serán dos interruptores, cada uno controlará las lámparas de cada muro.

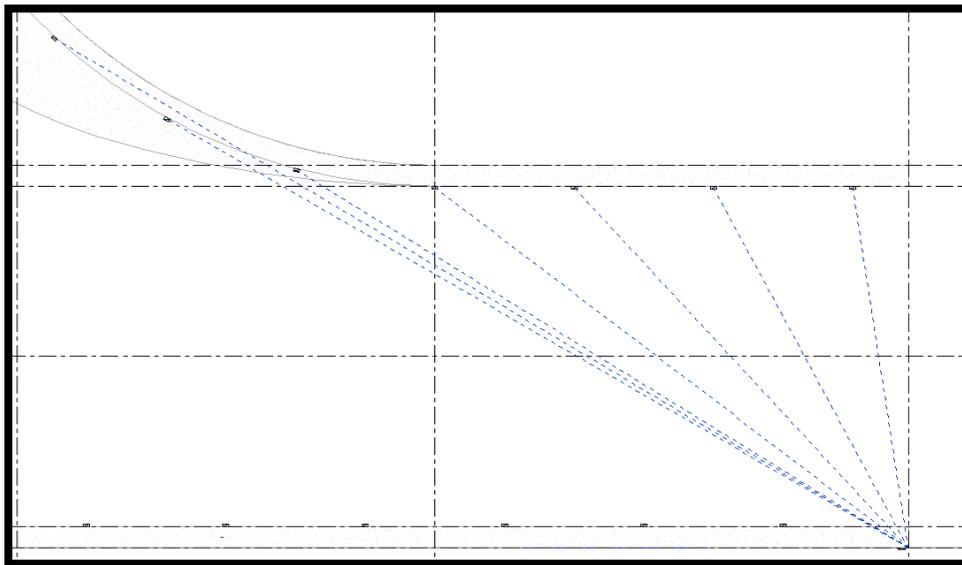


Ilustración 6.150. Circuito de interruptor de muro izquierdo.

El cableado se puede realizar en Revit, de tres maneras diferentes, de manera manual, automática o una combinación de ambas, al seleccionar el circuito el programa muestra el cableado a base de líneas punteadas, se activan los cables y estos aparecen con líneas continuas que muestran el trayecto del cableado. Los cables se pueden representar por medio de dos simbologías,

con arcos, como son comúnmente representados o por medio de líneas rectas con bordes redondeados.

Para nuestro caso, como se muestra en la ilustración 6.19, el cableado automático se muestra muy cercano al muro por lo cual su apreciación no es muy clara, por lo que los cables que se generan automáticamente por medio de representaciones de arco, son modificados manualmente, aumentando el radio de curvatura de los arcos para hacerlos más notorios (Ilustración 6.20).

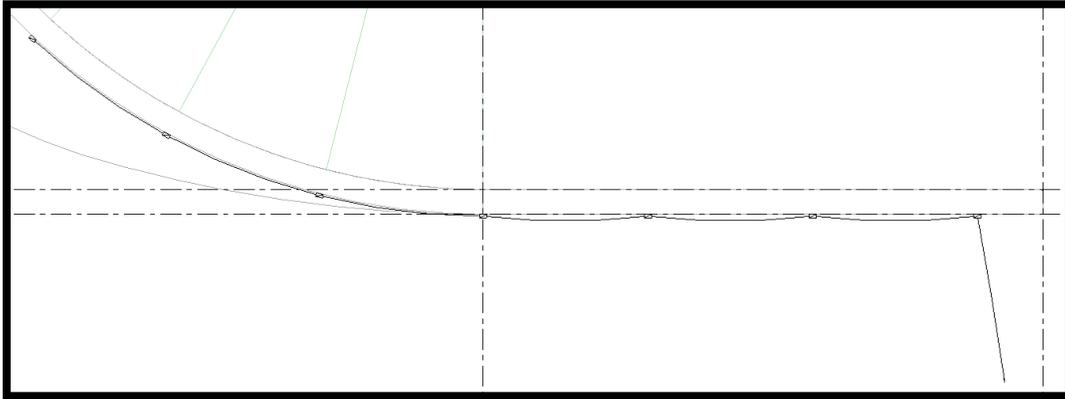


Ilustración 6.151. Cableado de circuito del muro izquierdo.

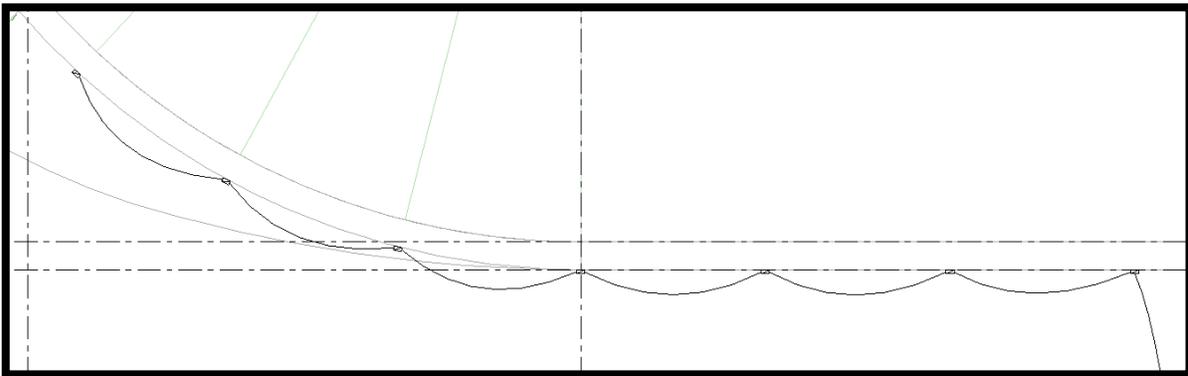


Ilustración 6.152. Ajuste de cables del circuito del muro izquierdo.

Al asignar los cables automáticamente, Revit establece valores por defecto, los cuales se pueden modificar en la paleta de propiedades, entre estas características se tiene el número de conductores en la línea, el material del conductor, a que panel de distribución se encuentra conectado, a que circuito pertenece, si se eligió su calibre por medio de cálculo automático o manual, el número de cables vivos, neutros y de tierra, así como el tamaño del calibre del cable. De acuerdo con lo señalado, el cableado del circuito luminoso queda de la siguiente manera en el canal.

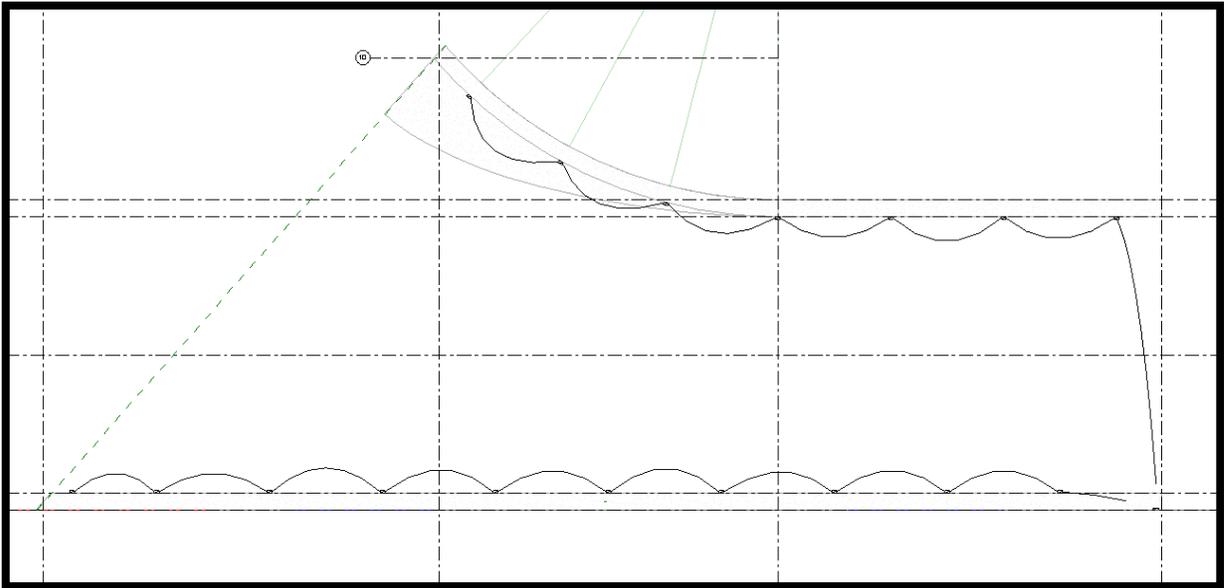


Ilustración 6.153. Planta del cableado de circuitos.

Ahora se procede a dibujar los tubos conductores para la protección del cableado, estos serán de tubo PVC para la protección contra la humedad, se hace el trazo del conducto protector sobre el muro, este irá embebido en el concreto para evitar el desgaste por efecto del clima y medio ambiente, los accesorios de conexión irán superficialmente expuestos para facilitar la instalación de los cables.

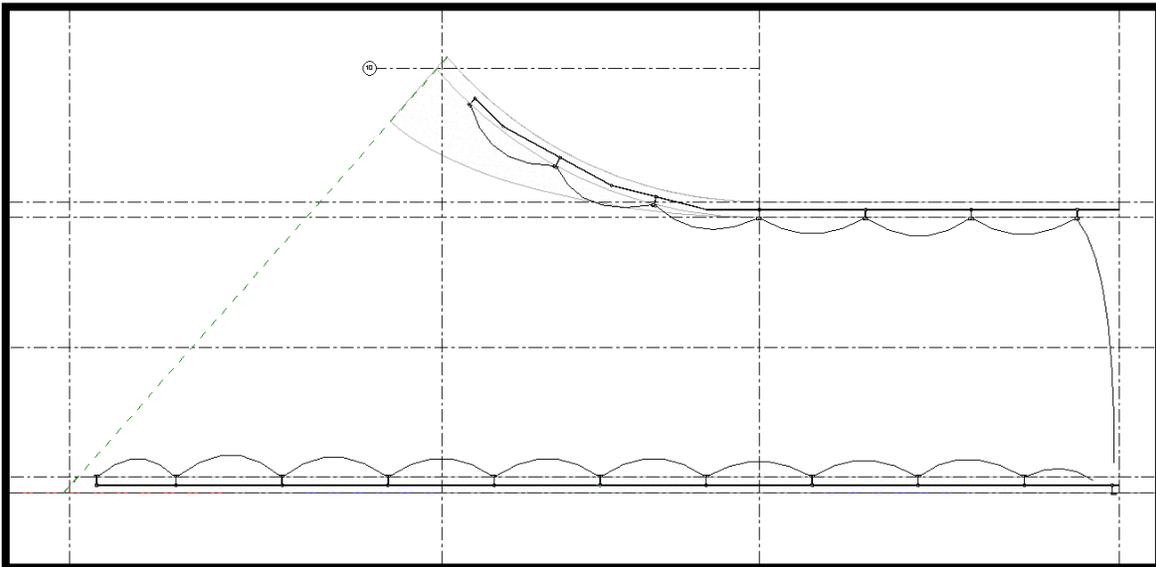


Ilustración 6.154. Planta con cableado, ubicación de tubos conductores y accesorios.

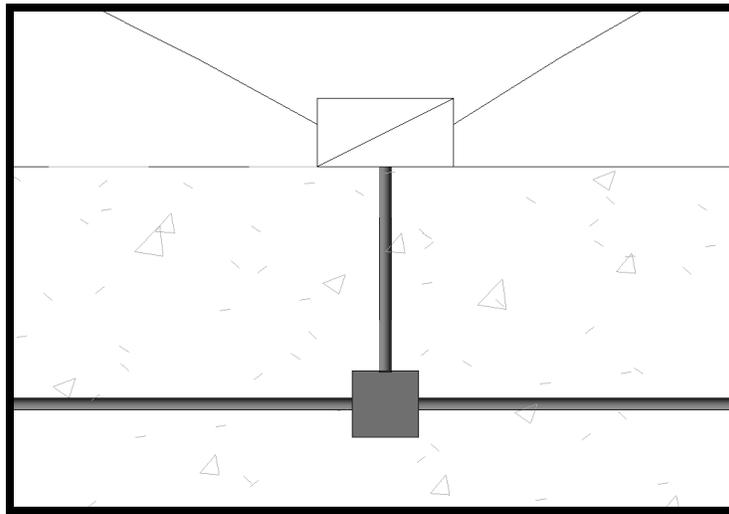


Ilustración 6.155. Detalle de lámpara, tubos de conducción y accesorios.

Por último se colocan las etiquetas y anotaciones en el modelo a los dispositivos eléctricos, recursos luminosos, cables, conductos y demás elementos que pertenecen a la instalación eléctrica.

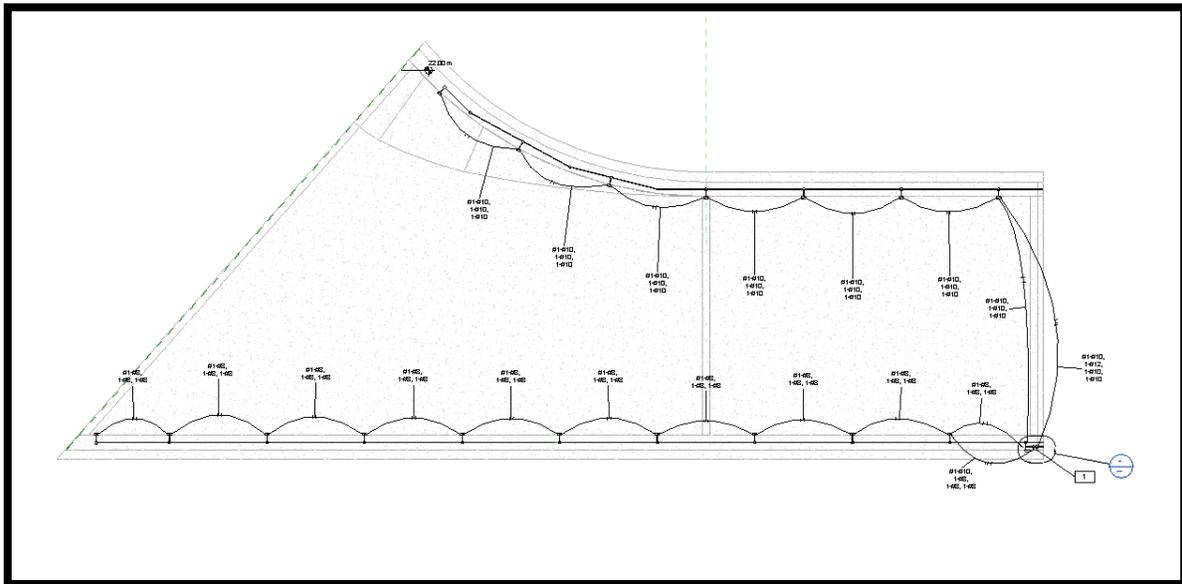


Ilustración 6.156. Vista de la instalación eléctrica.

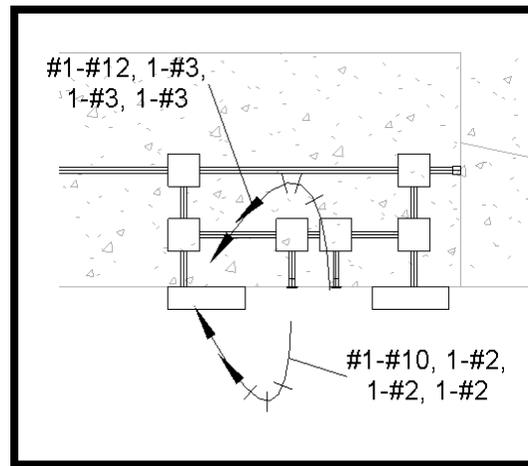


Ilustración 6.157. Detalle de panel de distribución e interruptores.

Una vez colocados todos los dispositivos que conforman la instalación eléctrica, Revit revisa si se encuentran componentes que no estén asignados a algún circuito, revisando también que todos los circuitos estén asignados a un panel de distribución adecuado. El programa alertará por medio de mensajes de advertencia, acerca de las inconsistencias encontradas y mostrará los elementos que presenten problemas resaltándolos en la imagen para su mejor identificación.

De igual manera Revit también revisa las conexiones de la tubería de conducción, por lo que al activar esta herramienta, el programa muestra por medio de símbolos de advertencia, en que lugares el tubo de conducción no se encuentra conectado con algún dispositivo o algún otro elemento que comprenda la tubería de canalización.

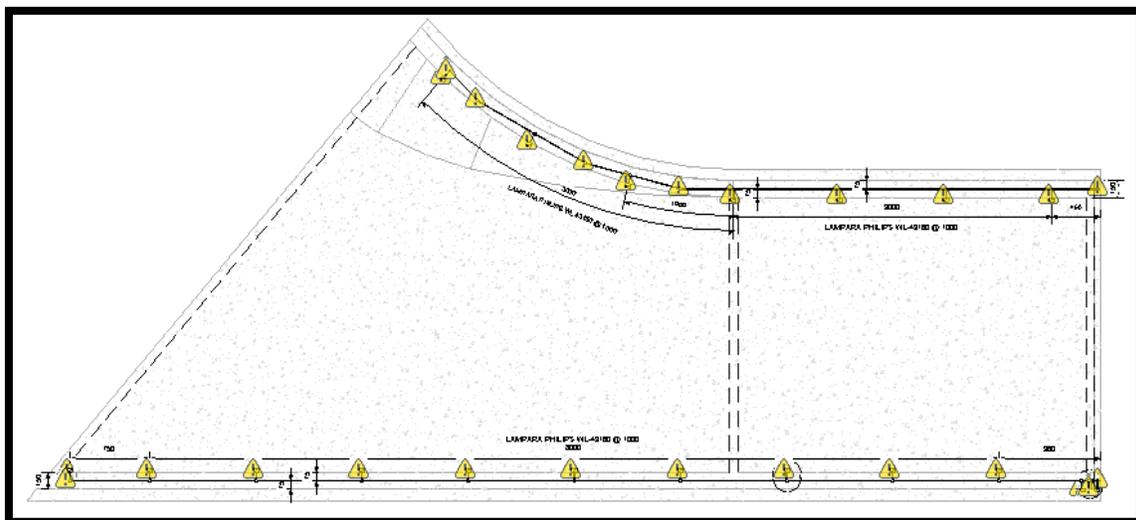


Ilustración 6.158. Advertencias mostradas por Revit donde el tubo de conducción no se encuentra conectado con otro elemento.



## CAPÍTULO 7. PRESENTACIONES.

El modelo de información para la edificación puede ser compartido con las personas involucradas en un proyecto, existiendo varios medios para esto, entre ellos se pueden mencionar: planos, tablas, videos, imágenes y de manera digital. La forma a elegirse para compartir la información depende de la función que desarrollará ésta en el proyecto, la persona a quien se le dirija, por ejemplo a un cliente es mejor presentarle una imagen fotorealista del modelo tridimensional o por medio de un video que muestre un desarrollo del modelo, en cambio para el encargado de la obra la presentación sería por medio de planos. En todos los casos, la información debe siempre ser congruente, suficiente, clara y ordenada, para que su interpretación sea la correcta.

Entre las formas disponibles para compartir información mediante el plataforma BIM se encuentran las siguientes:

### **Planos.**

Representan gráficamente formas y dimensiones de los componentes de una edificación. Entre algunos de los tipos de planos se encuentran los arquitectónicos, estructurales, mecánicos y de instalaciones, que reflejan aspectos relacionados con cada disciplina en específico. Estos pueden ser presentados en forma digital o en forma tradicional, en papel en los formatos estandarizados.

### **Tablas. - Informes.**

Tablas para presentar la información de las propiedades de la estructura representada en el modelo, así como las cuantificaciones de materiales de forma tabular, esta información funciona de manera bidireccional, las actualizaciones o modificaciones en el modelo son reflejadas automáticamente en las tablas y viceversa. Adicionalmente se pueden preparar informes que pueden ser integrados a la memoria de cálculo de la estructura y sus instalaciones.

### **Videos.**

Se pueden realizar recorridos visuales virtuales que simulan el caminar sobre una trayectoria en el modelo tridimensional, lo cual permite tener una perspectiva realista de los espacios y la distribución de los elementos que conforman la edificación, esta simulación se realiza a través de una animación de una serie de imágenes que muestran el modelo.

### **Imágenes fotorealistas.**

Consiste en imágenes extraídas del modelo, que son generadas por el programa, estas tratan de imitar imágenes tomadas con cámaras fotográficas. Las imágenes fotorealistas utilizan complejos algoritmos que simulan los efectos de luz, sombras, texturas, y el entorno del ambiente.



## BIM.

En sí el modelo de edificación de información es una forma de compartir información ya que éste puede ser manejado simultáneamente por más de un usuario, y ser actualizado en tiempo real. El modelo contiene toda la información referente al proyecto de edificación de manera inmediata, actualizada al momento.

## Digitalización.

Internet se ha vuelto una herramienta indispensable en nuestros días al ser el medio que más información transporta actualmente. El modelo de información para la edificación tiene la potencialidad de que puede ser cargado en la red y accederse a él desde cualquier parte del mundo, teniendo siempre en cuenta que la seguridad de la información depende del proveedor de la plataforma BIM, un ejemplo de ello es Autodesk 360. La administración de la información debe ser realizada por un coordinador, para que éste delimite la información a compartir con cada usuario o punto de acceso al modelo.

## Aplicación al Modelo.

El modelo de información para la edificación ahora cuenta, para el canal, con todos los datos referentes al área de diseño del proyecto, por lo que se procederá a crear la documentación de construcción que se requiere presentar a los involucrados en la realización del proyecto, ya sea por medio de planos, o bien utilizando otros formatos adecuados a las labores de cada participante, lo cual permitirá ser liberados por cada responsable de una función específica del proyecto.

## Planos.

Para generación de planos, Revit cuenta con diferentes tipos de plantillas de presentación, las cuales pueden ser modificadas para generar un formato personalizado adecuado a las características deseadas por el usuario. En las siguientes imágenes se muestran a manera de ejemplo, dos plantillas, la primera que tiene cargada por defecto el programa y la segunda personalizada para la presentación de los planos del presente trabajo.

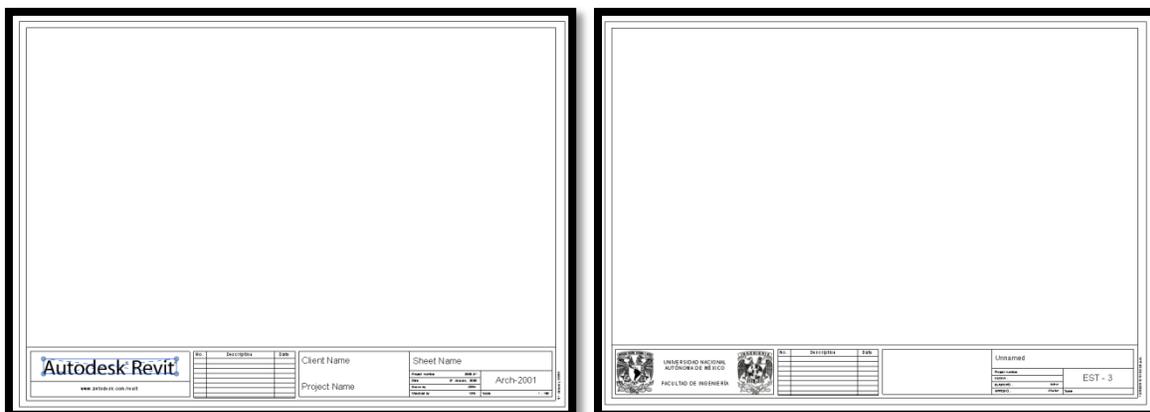
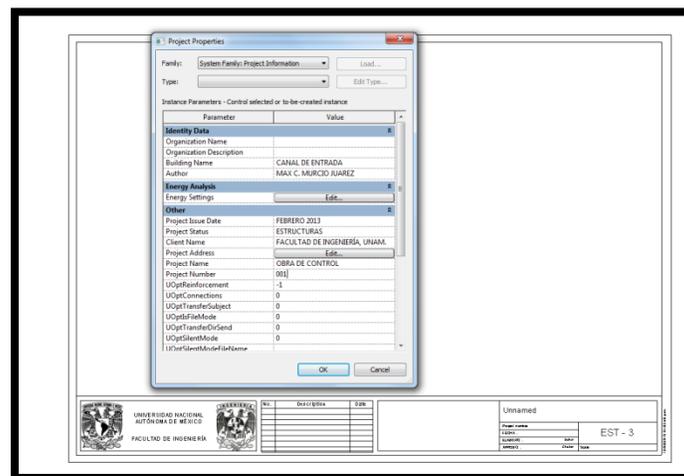


Ilustración 7.159. Plantillas de formatos para planos.

Estas plantillas se pueden presentar en diferentes tamaños de formatos A1, A2, A3, etc., (son tamaños estándar de papel definidos por las normas ISO, el tamaño inicial es A0 que tiene un área de 1 m<sup>2</sup>, sus lados tienen una relación tal que dividiéndolo al medio en su longitud, cada una de las mitades siguen guardando la misma relación, es decir, los tamaños subsecuentes es la mitad del anterior, ej., A1 es la mitad de A0) para cada formato puede ser una plantilla diferente.

Las plantillas contienen campos de información como son, nombre del plano, nombre del cliente, número de plano, fecha, autor, dibujado por:, revisado por:, entre otros. Estos datos son introducidos en la ventana de información del proyecto, los datos son actualizados en todos los planos automáticamente, por lo que de esta forma, al agregar un nuevo plano, éste contiene toda la información actualizada referente al proyecto. El programa lleva un contador interno que va enumerando los planos conforme son agregados, pudiendo ser el nombre asignado al plano el único dato a proporcionar para tener la carátula de éste.



**Ilustración 7.160. Ventana de información del proyecto.**

El modelo de información para la edificación es creado en una escala 1:100 configurada por defecto en el programa, debido a que los formatos son de dimensiones estándares, las representaciones gráficas del modelo a la escala mencionada, pueden no caber en el área de dibujo del plano, por lo que se deben presentar en alguna otra escala práctica para una fácil interpretación.

Escalar un dibujo en Revit resulta muy sencillo, en la barra de herramientas de control de vista, se señala la escala a la que se encuentra la vista actual, al hacer clic sobre esta se muestra una lista desplegable con varias escalas prácticas, también cuenta con la opción de definir una escala personalizada, la cual se activa al seleccionar o definir una nueva escala del dibujo, todos los elementos del proyecto son escalados automáticamente, el escalar el modelo éste solo es válido para la vista sobre la cual se está trabajando, por lo que cada vista contiene su propia escala.

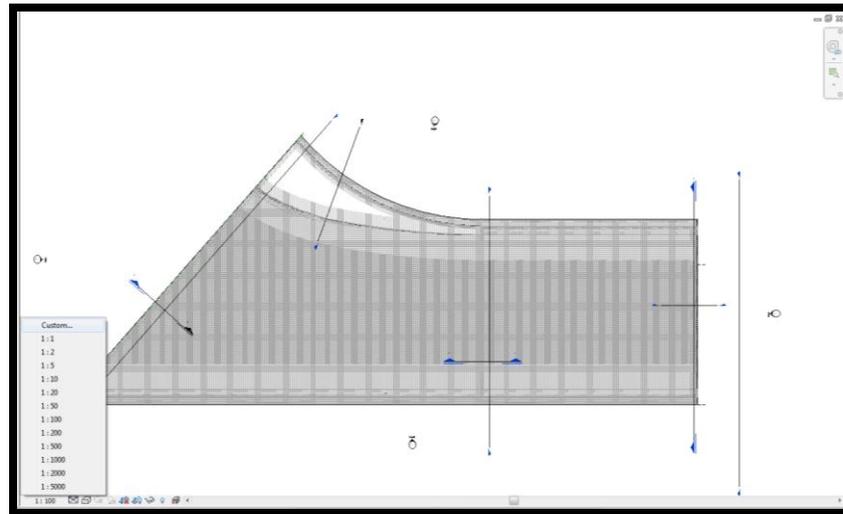


Ilustración 7.161. Lista de escalas prácticas y personalizada.

Definida la escala adecuada para la vista, ésta se incluirá en el área de dibujo del plano, para realizar esta acción, en el navegador del proyecto (contiene en listas toda la información del modelo de información para la edificación como son vistas, planos, elementos, familias, enlaces, plantas, secciones, dibujos, etc.) de la lista de vistas, se elige la que se añadirá al área de dibujo del plano, para agregarla basta con arrastrarla con el cursor del mouse, al realizar esta tarea, se muestra sobre el plano un contorno de rectángulo con las dimensiones de la vista escalada, mediante el rectángulo se ubica la vista en el plano.

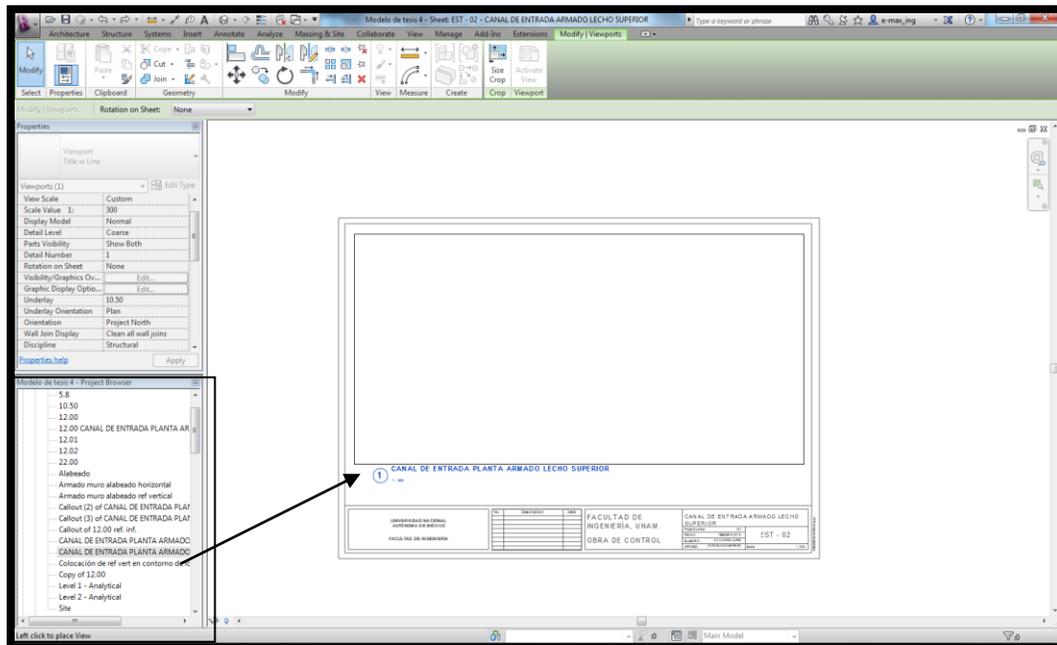


Ilustración 7.162. Incluir y ubicar una vista del modelo en el área de dibujo del plano.

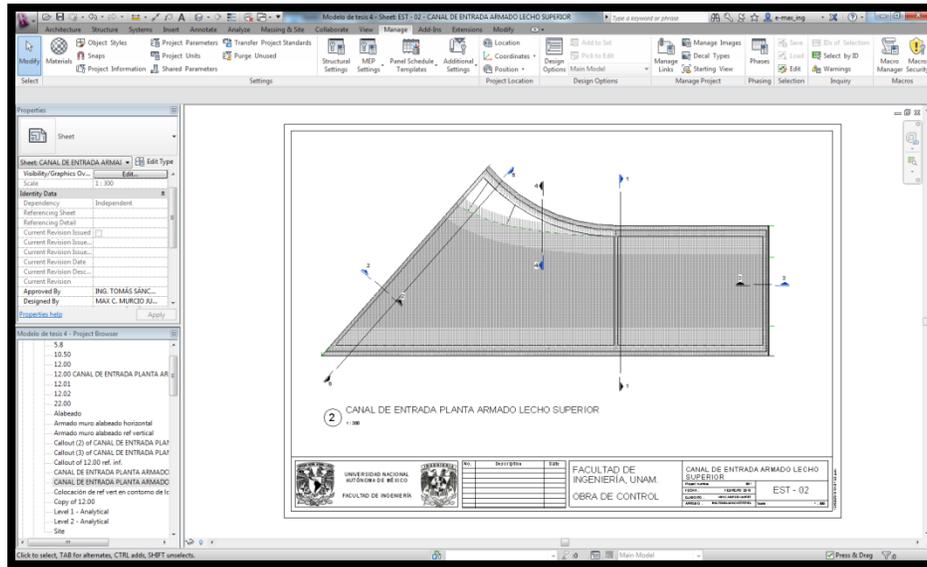


Ilustración 7.163. Vista en planta del modelo, presentada en el plano.

Al agregarse la vista, se coloca un título automáticamente, el nombre asignado es el que se tiene en la lista del navegador del proyecto.

Adicionalmente se puede activar una cuadrícula sobre el plano, la cual sirve de referencia para poder centrar o ubicar la vista del modelo en el área de dibujo del plano.

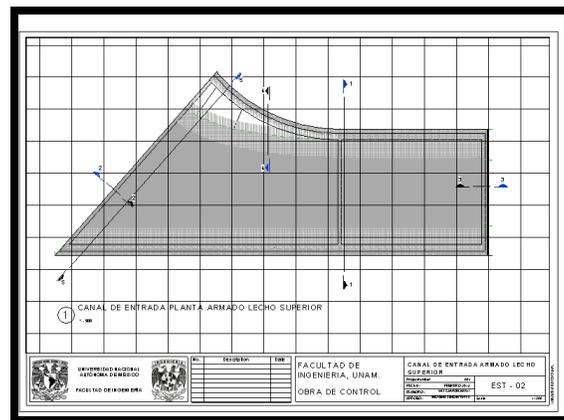


Ilustración 7.164. Cuadrícula de referencia para ubicación de la vista del modelo.

La vista del modelo se muestra en la siguiente imagen, para su interpretación completa y correcta es necesario agregar acotaciones, notas y aclaraciones al plano.

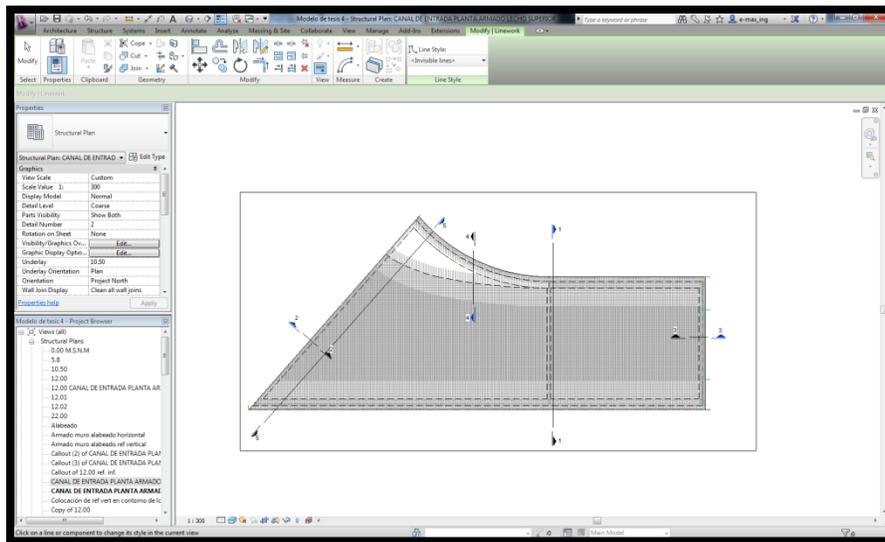


Ilustración 7.165. Vista en planta del modelo mostrando el armado de la losa.

La acotación resulta sencilla debido a que el modelo es una representación digital de la edificación en la realidad. Para agregar un cota de dimensión al plano se señala con el cursor de donde se desea tener la cota, colocándose ésta de manera automáticamente en el plano, adicionalmente se tiene la posibilidad de cambiar el rótulo de la dimensión por texto, o agregar ya sea abajo o arriba de la cota un posible comentario. En la siguiente ilustración se muestran las cotas del armado de varillas en la losa para el lecho superior, para su colocación solo se fueron señalando los paños de la losa, así como los inicios y finales de las varillas de refuerzo.

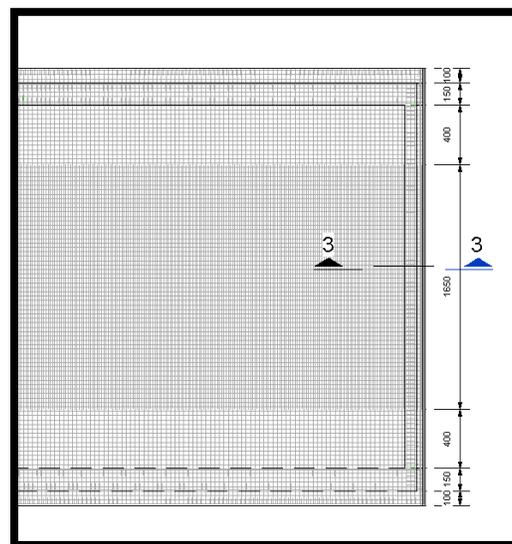
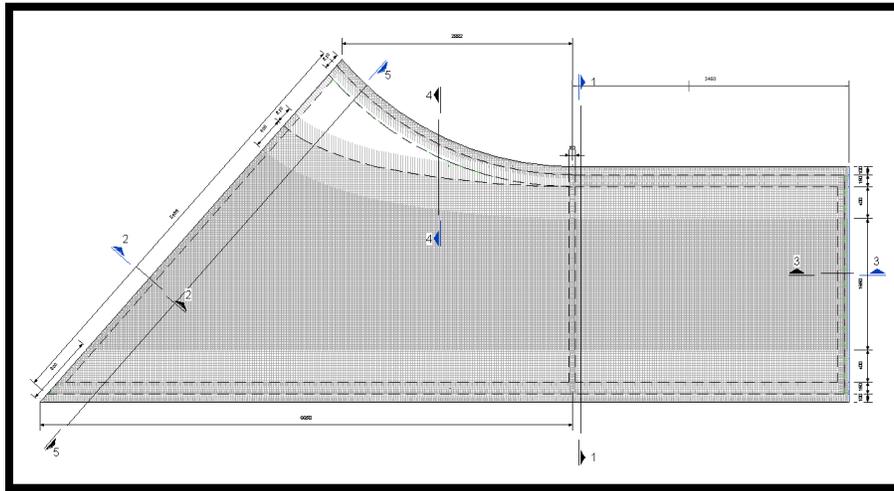


Ilustración 7.166. Acotación de la vista del modelo.

Se colocan las cotas de dimensión con el propósito de proporcionar explícitamente la información suficiente para llevar a cabo su colocación y distribución durante la construcción de los elementos que conforman el canal. Las cotas no deben de ir encimadas y debe evitarse su duplicidad, partiendo del objetivo de que sean suficientes para tener la información completa por el usuario, buscando también que su colocación sea distribuida para tener una mejor presentación de la información.



**Ilustración 7.167. Acotación final de la vista.**

También es necesario en ocasiones incluir notas adicionales para la correcta interpretación de la distribución de las varillas en la losa, por lo que se agregan anotaciones que especifican la colocación del armado estructural. En la siguiente imagen se muestra una anotación que indica que se colocarán varillas intercaladas entre la parrilla principal, y que irán a cada 30 centímetros de separación, en la interpretación de planos se utiliza simbología estandarizada que representa alguna acción, elemento o interpretación, por ejemplo:  $\varnothing 1'' @ 30 \text{ cm.}$ , el símbolo  $\varnothing$  significa diámetro, 1" indica el tamaño del diámetro de una pulgada, @ indica la distribución y se lee "a cada", por último la separación, en sí su interpretación completa es: varilla de una pulgada de diámetro a cada treinta centímetros.

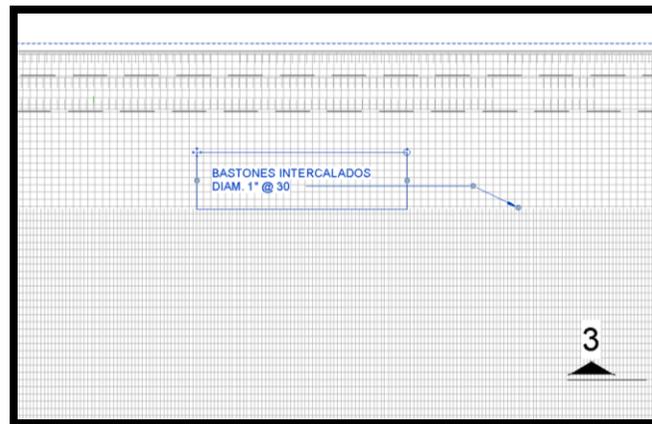


Ilustración 7.168. Anotación sobre la distribución de varillas en la vista.

En la siguiente imagen se muestra la vista acotada y con anotaciones, del armado en la losa fondo del canal para el lecho superior.

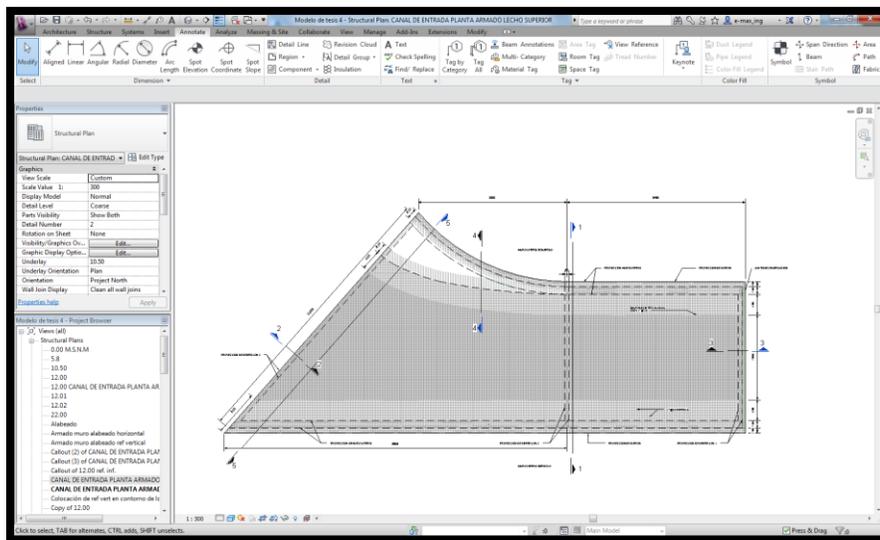


Ilustración 7.169. Vista en planta del modelo de información con anotaciones y cotas.

La vista anterior es en el modelo de información, esta vista fue agregada al plano de dibujo antes de colocar las acotaciones, Revit realiza automáticamente actualizaciones de la información por lo que las modificaciones hechas en el modelo de información son actualizadas en todas las vistas y planos involucrados, por lo que no es necesario un seguimiento en línea del proceso de creación de planos. Por último, al plano se le agregan notas, especificaciones y aclaraciones para la correcta comprensión del mismo por el usuario, entre las especificaciones se mencionan como se llevan a cabo los dobleces, traslapes y radios de curvaturas en los dobleces para las varillas utilizadas en la construcción de la losa, entre las notas se mencionan las unidades que se manejan en el plano y aclaraciones respecto a la información presentada en el mismo. En la siguiente imagen

se muestra el estado final del plano estructural del armado de la losa con las acotaciones correspondientes y la información requerida para llevar a cabo su interpretación y construcción.

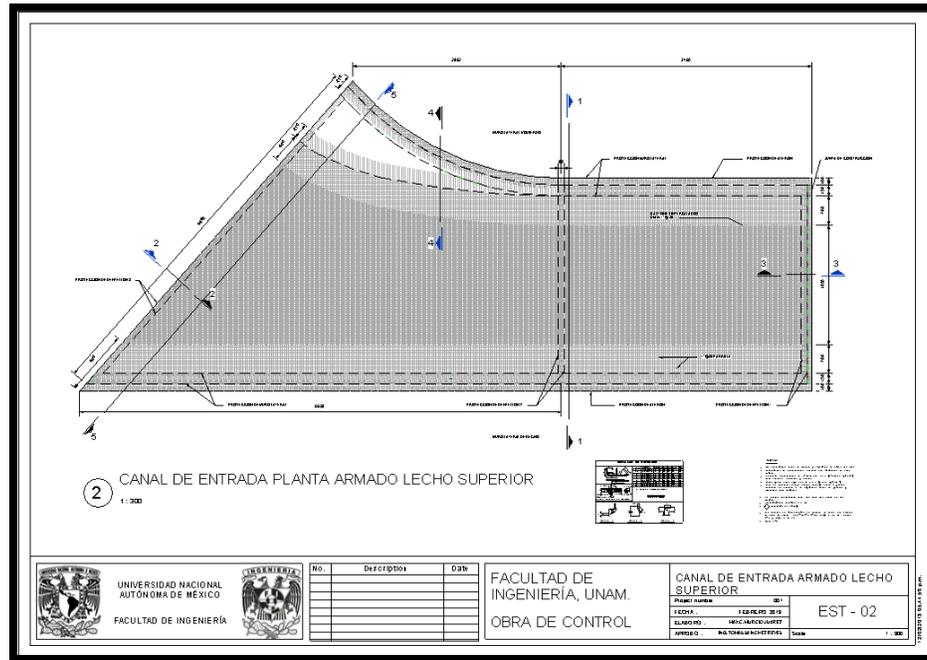


Ilustración 7.170. Plano estructural del armado de la parrilla inferior de la losa.

### Dibujo de Detalles.

El canal de entrada es parte de la obra de control de un vertedor, por lo que ésta colindará con otras estructuras, entre las cuales se encuentran las siguientes: en la zona de la masa del muro alabeado colindará con otra estructura que será un muro inclinado y en la unión de estas estructuras se colocará una junta impermeable de PVC. Para mostrar esta información se utilizará una vista de detalle que especificará como se realiza la colocación y construcción de dicha junta, para ello en Revit es posible crear un dibujo por medio de herramientas de dibujo que solo mostrará el detalle de su colocación sin crear en el modelo de información dicha junta tridimensionalmente. En las siguientes ilustraciones se muestra la creación de una vista de dibujo.

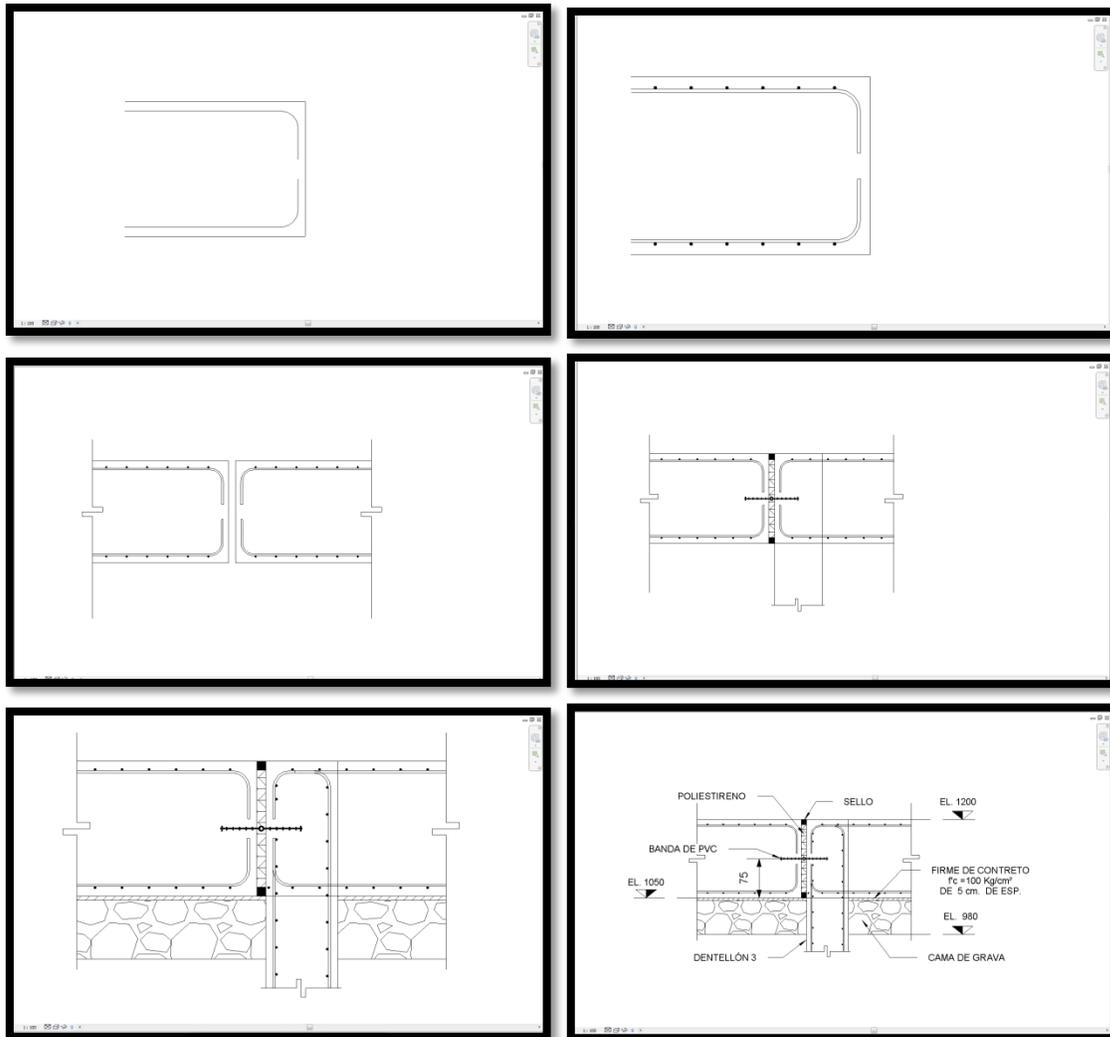


Ilustración 7.1713. Proceso de creación de dibujo de detalle.

Este tipo de vistas de dibujo solo contiene información gráfica, son representadas por medio de líneas y acotaciones, no contiene propiedades ni información adicional sobre los elementos que componen esta imagen, como es en el resto de las vistas del modelo, el gráfico se realiza en su escala real, y puede ser presentado en otras escalas de la misma forma que para las vistas del modelo. Estas vistas son agregadas de igual forma al plano, arrastrando su nombre desde el navegador del proyecto al área de dibujo del plano.

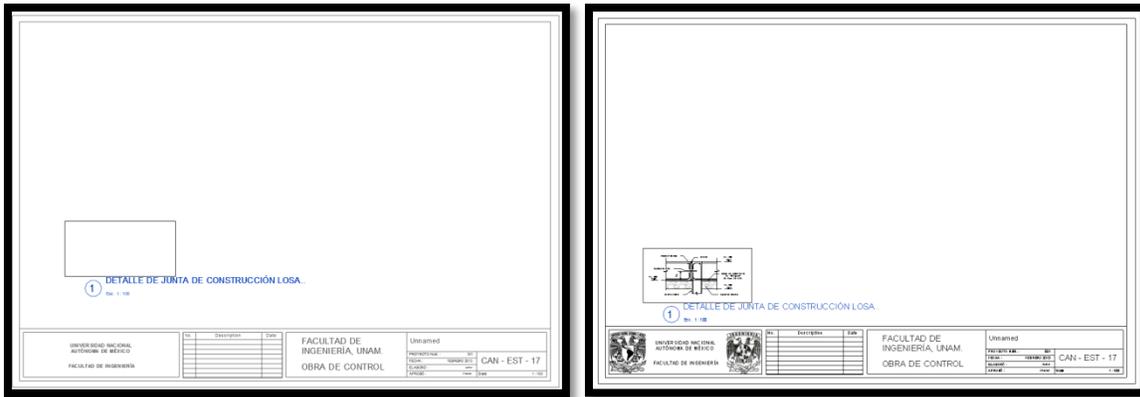


Ilustración 7.1724. Agregar un dibujo de detalle en el plano.

### Vistas 3D.

Para agregar una vista tridimensional a un plano, se selecciona primero el punto desde el cual se verá la perspectiva, para ello el modelo se puede girar, mover, etc., una vez elegida la vista en perspectiva, esta es fijada para evitar rotaciones del modelo y que con esto se desajuste o pierda su utilidad.

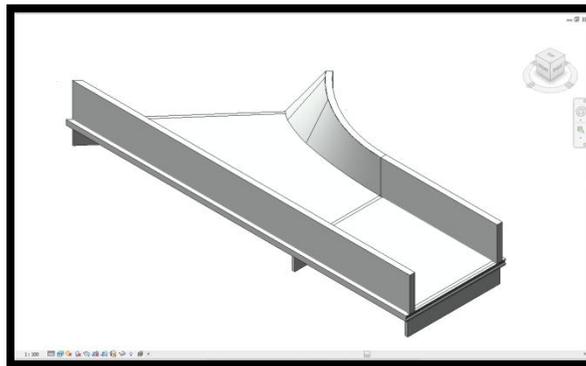


Ilustración 7.1735. Vista tridimensional del modelo fijada.

Una vez fijada la vista tridimensional, en ésta se pueden agregar anotaciones y etiquetas que serán visibles en el área del plano.

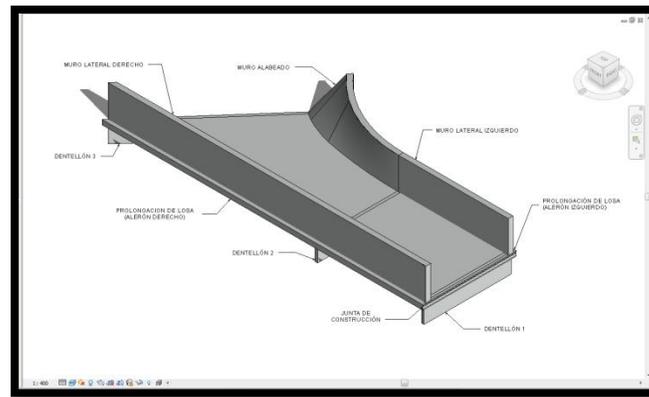


Ilustración 7.1746. Vista tridimensional del modelo de información con anotaciones.

Por último la vista es escalada y agregada al plano de la misma manera que se explicó anteriormente para ser presentada en el área de dibujo del plano.

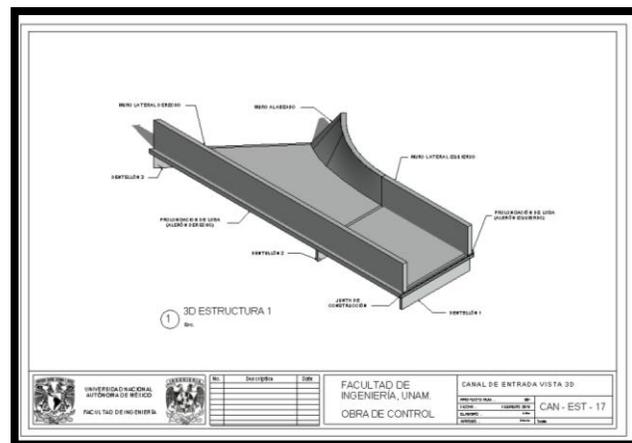
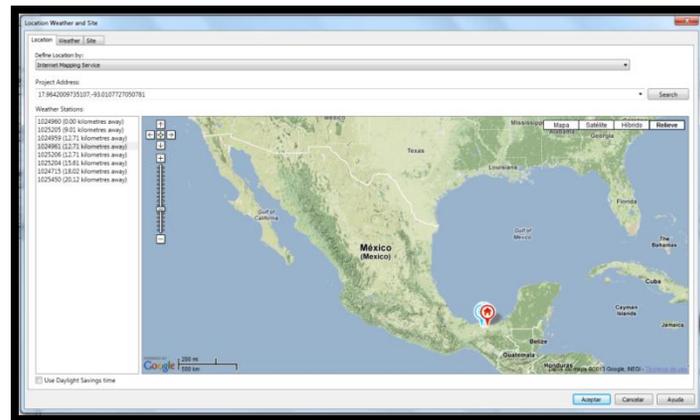


Ilustración 7.1757. Plano de vista tridimensional del canal.

### Imágenes Fotorealistas.

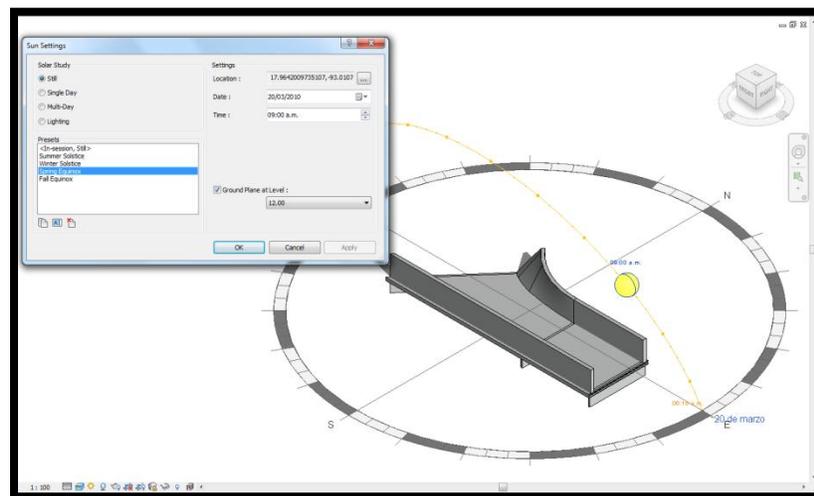
El programa Revit permite la creación de imágenes fotorealistas del modelo, estas imágenes incluyen aspectos del medio ambiente tales como los relacionados con la iluminación solar e iluminación artificial. Para este caso, el canal se ubica en el exterior, por lo que la iluminación del sol tendrá efecto sobre las imágenes.

Para realizar la proyección del sol, el programa toma en cuenta la ubicación geográfica del sitio de construcción. Esta ubicación puede ser proporcionada directamente por medio del cursor sobre un mapa satelital, o bien por medio de coordenadas UTM. El programa Revit se encuentra vinculado con la herramienta Google Earth lo cual le permite ubicar precisamente el sitio de la obra, ya sea en mapas satelitales, de relieve, urbano o híbrido.



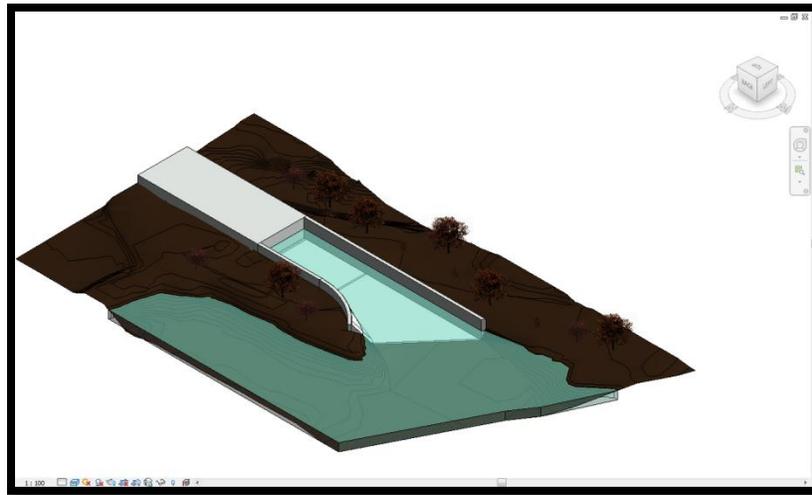
**Ilustración 7.1768. Ubicación del sitio de la edificación.**

Una vez ubicado el sitio geográfico de la obra, el programa también toma en cuenta la afectación de la iluminación solar por efecto del movimiento de traslación y rotación de la tierra, esto es, toma en cuenta las estaciones del año (primavera, verano, otoño e invierno), así como la hora del día para proporcionar una representación en un instante determinado del mismo, en una época del año establecida. Con esta información el programa puede hacer un recorrido solar para disponer de los datos necesarios para la iluminación de las imágenes fotorealistas.



**Ilustración 7.1779. Configuración de parámetros solares de iluminación.**

Configurada la ubicación, la estación del año y la hora de exposición del sol, en la vista realista se observan las proyecciones de las sombras dependiendo la posición del sol.



**Ilustración 7.20.** Vista realista del modelo de información para la edificación.

Ahora bien, para crear la imagen fotorealista, es necesario ubicar la posición de la cámara desde la cual supuestamente se tomará la imagen. Entre las configuraciones de la cámara se toma en cuenta la altura a la que se toma la imagen, la altura a la cual se enfoca la imagen, la profundidad de la imagen.



**Ilustración 7.1781.** Ubicación de la cámara.

Ubicada la posición de la cámara se configura la imagen que tendrá el efecto fotorealista.

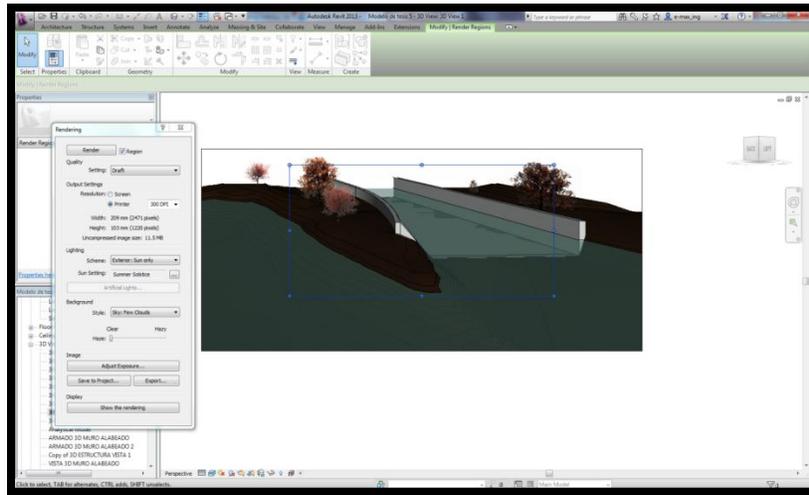


Ilustración 7.1792. Vista de la cámara y configuración de sus características.

Entre las características que se tienen en Revit, para la imagen fotorealista se encuentra la calidad, el tamaño de la imagen, la toma en exterior o interior, la configuración del fondo, y la exposición de la cámara, que maneja factores como, valor de exposición, reflejos, tonos medios, sombreado, puntos blancos, y saturación. Con la ayuda de estas herramientas se logran imágenes fotorealista de muy buena calidad, este tipo de imágenes tiene un gran atractivo en la presentación de un proyecto.

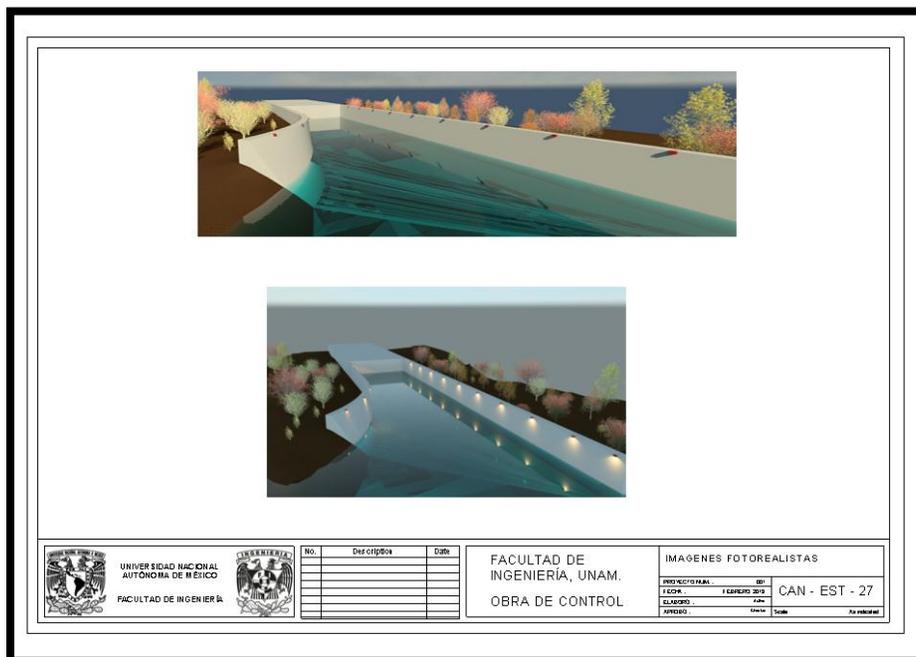
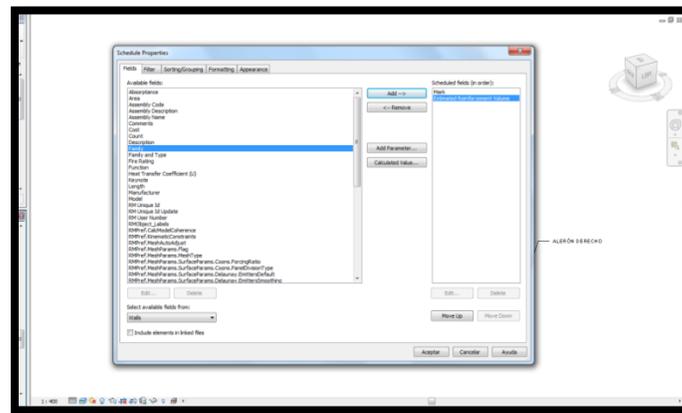


Ilustración 7.1803. Plano de imágenes fotorealistas.

**Listas, Tablas y Cuantificaciones.**

Revit puede presentar la información del proyecto en forma tabular, los datos son recabados de las propiedades de los elementos que conforman el proyecto. Esta herramienta permite crear fácilmente catálogos de conceptos, cuantificaciones, listas de materiales, listas de anotaciones, lista de revisiones, lista de planos, entre otros.

Para crear una lista de los muros con sus propiedades, se procede a tomar, de las opciones disponibles la de crear una nueva lista/cantidades. Al elegir esta opción se muestra una lista de todos los elementos, familias y componentes que conforman el modelo de edificación, en este caso se elige el elemento muros, una vez seleccionado el elemento, se despliega una lista de todas sus propiedades que pueden ser presentadas en la lista o tabla.



**Ilustración 7.1814. Selección de elementos presentes en el modelo.**

Para este caso se seleccionaron las propiedades que se consideran más relevantes para presentar los muros, como son: tipo, área, marca, función, contador, ancho, largo, volumen, material estructural, volumen estimado de acero de refuerzo.

ID	Family	Type	Area	Area	Function	Count	Volume	Length	Volume	Structure Material	Estimated Reinforcement Volume	
1	Basic Wall	Muro de 150 cm	1142 m <sup>2</sup>	150 mm	MURO SENCILLO	Exterior	1	150	881.1	1.022 m <sup>3</sup> ac	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	5712.022 28 cm <sup>2</sup>
2	Basic Wall	Muro de 150 cm	387 m <sup>2</sup>	150 mm	MURO DOBLADO	Exterior	1	150	3363	559.50 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	233282.30 cm <sup>2</sup>
3	Basic Wall	Muro de 150 cm	3387 m <sup>2</sup>	150 mm	MURO CUADRO	Exterior	1	150	3388	507.82 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	217232.70 cm <sup>2</sup>
4	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	142 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 1	Exterior	1	80	2600	121.52 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	478476.56 cm <sup>2</sup>
5	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	124 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 2	Exterior	1	80	2600	121.52 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	128623.83 cm <sup>2</sup>
6	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	315 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 3	Exterior	1	80	6289	281.14 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	244401.93 cm <sup>2</sup>
7	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	12 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 4	Exterior	1	80	162	6.88 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	
8	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	12 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 5	Exterior	1	80	215	16.37 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	
9	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	7 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 6	Exterior	1	80	150	5.64 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	
10	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	7 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 7	Exterior	1	80	150	5.64 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	
11	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	7 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 8	Exterior	1	80	150	5.64 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	
12	Basic Wall	Dintelado de 80 cm	7 m <sup>2</sup>	80 mm	DETELLO 9	Exterior	1	80	150	5.64 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	
13	Basic Wall	Muro de 150 cm	10 m <sup>2</sup>	150 mm	MURO DOBLADO	Exterior	1	150	150	10.00 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	73687.40 cm <sup>2</sup>
14	Basic Wall	Muro de 150 cm	10 m <sup>2</sup>	150 mm	MURO SENCILLO	Exterior	1	150	150	10.00 m <sup>3</sup>	Concreto Fc=25kg/m <sup>3</sup>	74291.61 cm <sup>2</sup>

**Ilustración 7.1825. Tabla de información de muros.**

Estas listas de datos y cuantificaciones, pueden ser agregadas a los planos, las tablas muestran información sobre los elementos que constituyen la edificación. Las tablas actualizan su información al modificar elementos del modelo de información, esto es, que si el modelo es modificado en alguna de sus propiedades que conforman la lista, la tabla agregada al plano reflejará dichas modificaciones automáticamente.

Lista de Materiales											
Family	Type	Area	Mark	Function	Count	Mark	Length	Volumen	Structural Material	Estimated	Estimated
										Requerimiento	Volumen
Muro Wall	Muro de 150 cm	1147 m <sup>2</sup>	MURO D'ESPESOR 2	Murador	1	150	3611	11922.47 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	3971242.28 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Muro de 150 cm	849 m <sup>2</sup>	MURO D'ESPESOR 2	Murador	1	150	2388	3582.00 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	1171917.92 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Muro de 150 cm	369 m <sup>2</sup>	MURO D'ESPESOR 2	Murador	1	150	1088	1632.00 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	544377.76 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	152 m <sup>2</sup>	SECCIONES 1	Murador	1	80	2669	1171.52 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	373381.76 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	112 m <sup>2</sup>	SECCIONES 2	Murador	1	80	2194	871.52 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	274448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	82 m <sup>2</sup>	SECCIONES 3	Murador	1	80	1617	646.72 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	204448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	72 m <sup>2</sup>	SECCIONES 4	Murador	1	80	1417	566.72 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	181448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	62 m <sup>2</sup>	SECCIONES 5	Murador	1	80	1217	486.72 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	158448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	52 m <sup>2</sup>	SECCIONES 6	Murador	1	80	1017	386.72 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	135448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	42 m <sup>2</sup>	SECCIONES 7	Murador	1	80	817	286.72 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	112448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	32 m <sup>2</sup>	SECCIONES 8	Murador	1	80	617	186.72 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	89448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Sección de 150 cm	22 m <sup>2</sup>	SECCIONES 9	Murador	1	80	417	96.72 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	66448.16 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Muro de 150 cm	10 m <sup>2</sup>	MURO D'ESPESOR 2	Murador	1	150	300	450.00 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	1497.48 cm <sup>3</sup>	
Muro Wall	Muro de 150 cm	10 m <sup>2</sup>	MURO D'ESPESOR 2	Murador	1	150	300	450.00 m <sup>3</sup>	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	1497.48 cm <sup>3</sup>	

Structural Foundation Schedule			
Mark	Structural Material	Detail	Estimated
		Requerimiento	Volumen
LOSA	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	180	2802.24 m <sup>3</sup>
LOSA CALABRÓN (OSERBIO)	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	150	81.00 m <sup>3</sup>
LOSA CALABRÓN (SERBIO)	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	150	81.00 m <sup>3</sup>
LOSA CALABRÓN (OSERBIO) (SERBIO)	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	150	81.00 m <sup>3</sup>
LOSA CALABRÓN DE CONTRAFRANQUEO	Concreto F'c=200 kg/cm <sup>2</sup>	150	81.00 m <sup>3</sup>

Ilustración 7.1836. Lista de materiales de los elementos de la edificación.

**Recorridos Virtuales.**

Los recorridos virtuales típicamente se realizan en una vista en planta, pero también pueden ser realizados en vistas 3D, en elevaciones, y vistas en sección. Para este caso, la trayectoria del paseo virtual se dibujara sobre la vista en planta del sitio. La línea guía se va trazando por medio del cursor sobre la vista en planta, los puntos seleccionados por donde pasará la trayectoria se suavizan por medio de curvas para obtener una visualización de la trayectoria sin cambios bruscos y por tanto más natural.

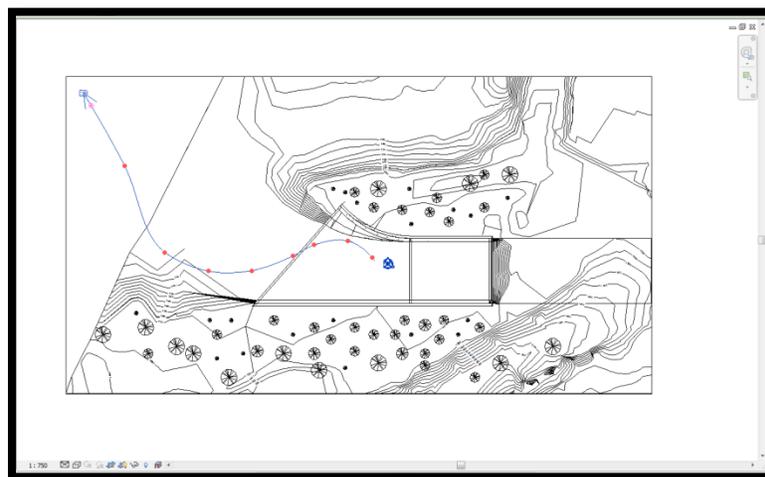


Ilustración 7.1847. Línea guía de la trayectoria.

El recorrido virtual muestra por default 300 imágenes de toda la trayectoria, estos valores pueden ser modificados, se debe tener en cuenta que a mayor cantidad de imágenes es más lenta la reproducción de la animación. A continuación se muestran las vistas clave que son las vistas que corresponden a los puntos que dibujan la trayectoria.

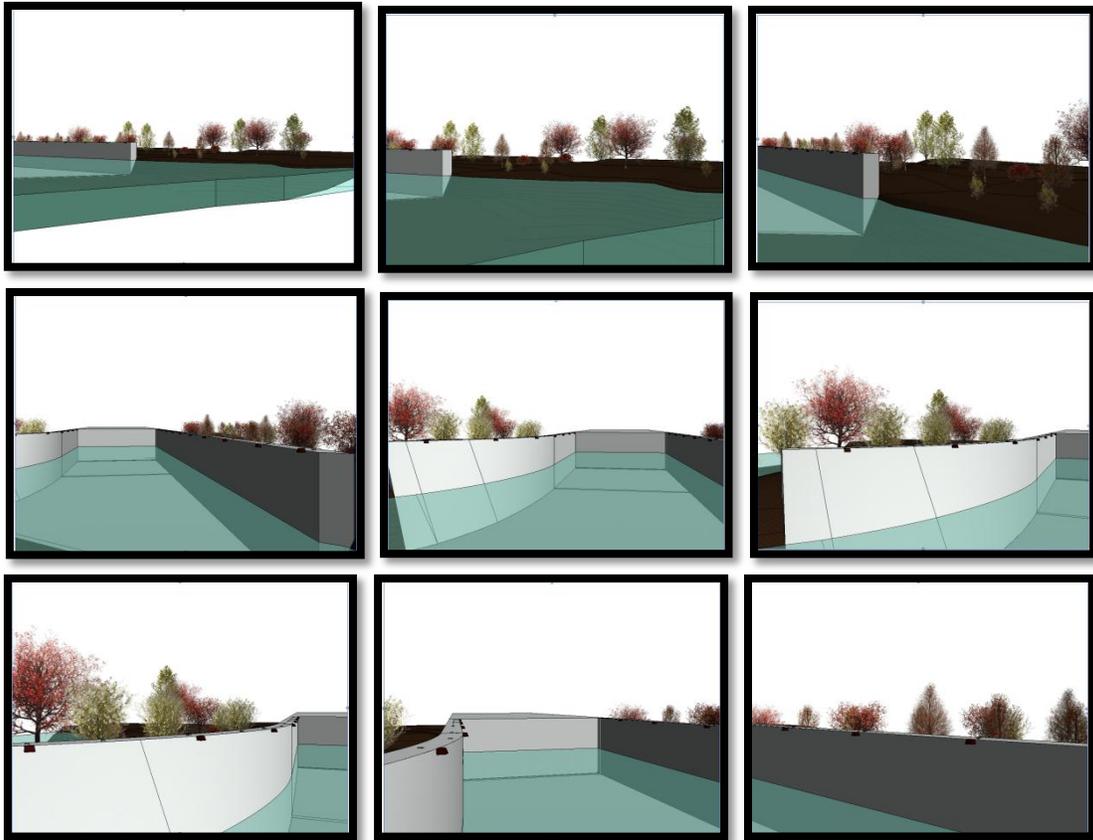


Ilustración 7.1858. Vistas de la trayectoria.

El paseo virtual se puede realizar en varios estilos visuales, como son estilo alámbrico, líneas ocultas, sombreado, consistente con los colores y realista.

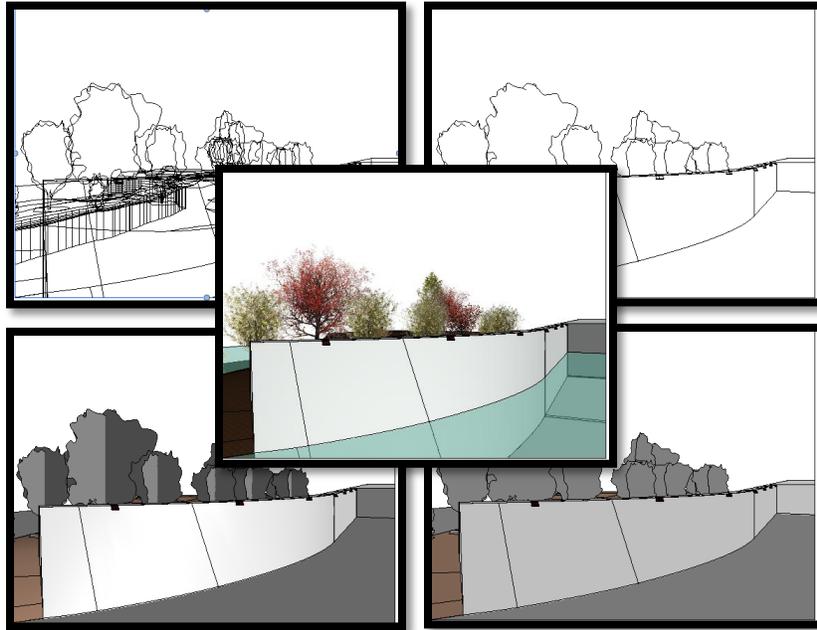


Ilustración 7.1869. Tipos de vistas.

**Exportación.**

El programa Revit permite convertir los formatos de los planos, por lo que éstos pueden ser presentados como imágenes .jpg, archivos .pdf, .dwg, .dwf, entre otros. Esto resulta útil cuando el cliente por requerimientos de sus proveedores durante la construcción, no cuentan con plataformas BIM y por tanto requieren el disponer de información en formatos tradicionales como el de AutoCAD.

Para convertir una vista de un plano a formato de CAD, se pone en pantalla la vista que deseamos convertir, en el menú archivo se elige exportar en formato .dwg y se elige la carpeta donde se creara y guardará el nuevo archivo.

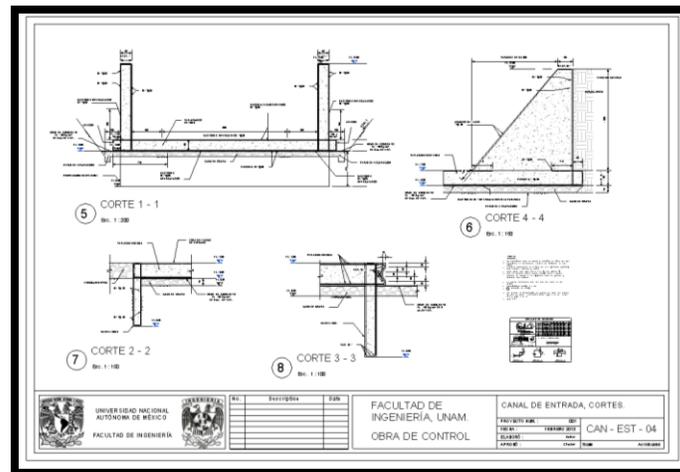


Ilustración 7.30. Plano en Revit.

El archivo guardado en .dwg presenta el plano en la plantilla para planos de AutoCAD, adicionalmente, en la pestaña modelo se muestran las vistas individuales de los dibujos que conforman el plano.

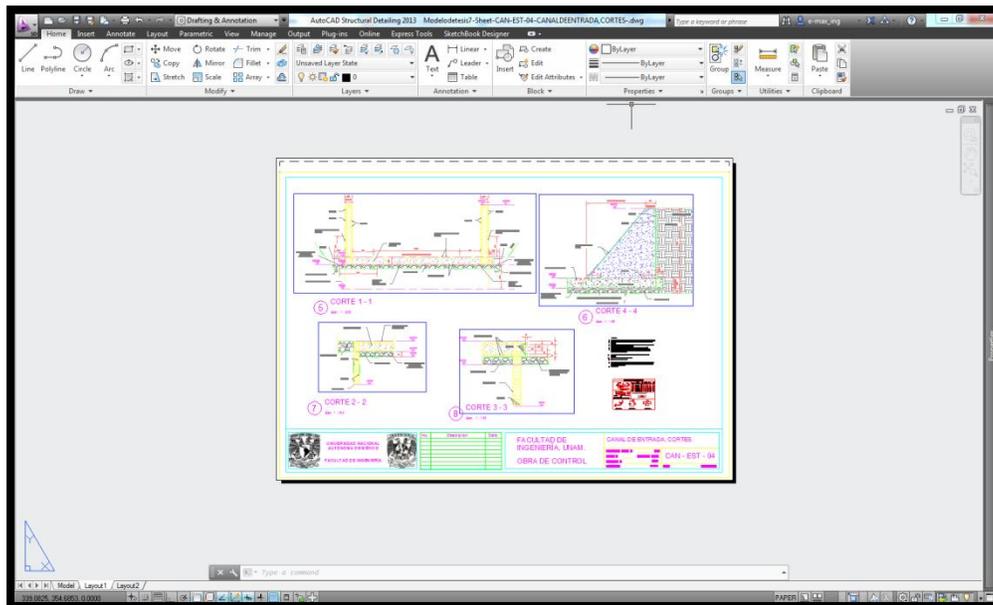


Ilustración 7.1871. Plano presentado en AutoCAD.

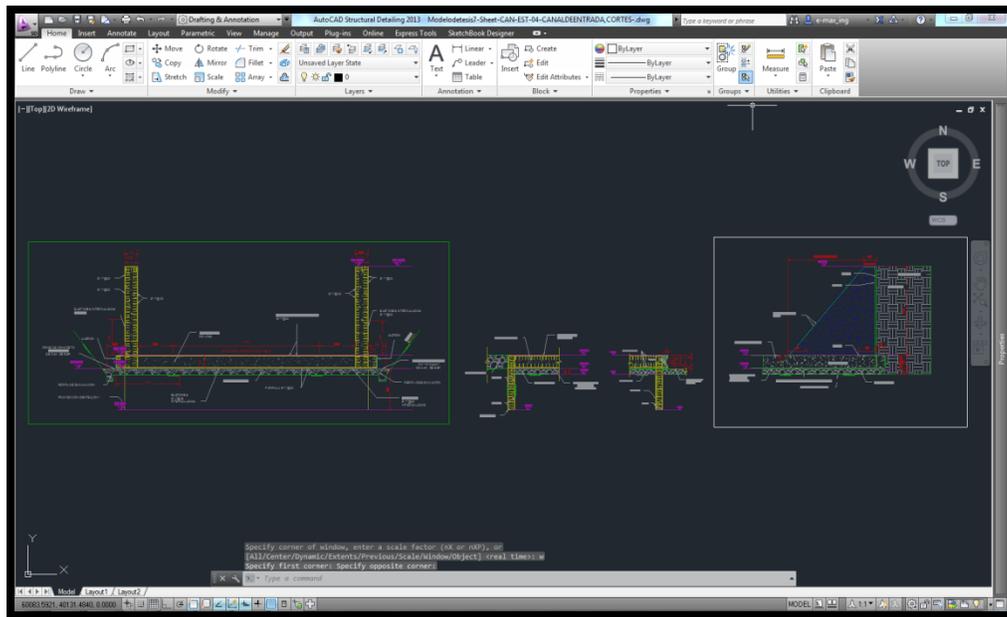


Ilustración 7.1882. Dibujos que conforman el plano de AutoCAD.





## CAPÍTULO 8. CONCLUSIONES.

Las conclusiones de este trabajo, en cuanto a aplicación de modelos BIM en el análisis y diseño estructural se mencionan a continuación:

1. La integración de la información de un proyecto en un modelo BIM trae consigo una reducción muy importante en el consumo de recursos humanos y materiales, asignados para revisión de planos e información, debido a la actualización inmediata de información en el modelo. Evitando lo que en un proyecto manejado en forma tradicional se requiere, para la revisión de concordancia requerida como interfase entre las diversas disciplinas que intervienen en dicho proyecto, que implica una cantidad muy importante de asignación de horas de ingeniería.
2. El emplear tecnología BIM requiere de un grupo pequeño operador de las herramientas de la plataforma empleada, pero con una alta capacitación especializada en el manejo de los programas, así como un grupo directivo técnico de ingeniería, experto en cada una de las disciplinas involucradas en el proyecto, para coordinación, así como encargado de proporcionar los criterios y decisiones a los operadores de la paquetería, para que el modelo simule adecuadamente el comportamiento físico y funcionamiento de las instalaciones de la edificación. Con esto se minimizan los grupos de ingeniería, pero éstos deben ser considerados con alta preparación técnica y capacitación en manejo de la plataforma.
3. La utilización de plataforma BIM elimina la necesidad de contar con grupos de dibujo, puesto que el operador de los programas genera el modelo y los planos, listas de materiales y demás documentos gráficos que elaboraban los grupos de dibujo, ahora solo son representaciones que el operador de la plataforma obtiene automáticamente del modelo, sin el riesgo de equivocaciones en cotas, cortes, vistas, etc.
4. La metodología BIM, por tanto, surge como una nueva alternativa, con proyección a establecer una nueva forma de llevar a cabo los proyectos de edificación, donde el manejo de la información hoy en día de manera oportuna, eficaz y congruente, se ha vuelto una ventaja altamente competitiva en el ámbito de la ingeniería civil como en muchas otras áreas, es por ello que la innovación que conlleva esta nueva tecnología, permite a los actuales y futuros ingenieros nuevas oportunidades de crecer profesionalmente.
5. El alcance de esta nueva tecnología va más allá de las fronteras, debido a la capacidad de poder albergarse en la nube, con lo cual le da una versatilidad de poder trabajar en varias partes del mundo sobre el mismo proyecto y que permite tener la información actualizada en tiempo real.
6. En el presente trabajo se han presentado las virtudes de este modelo pero cabe señalar que su adopción requiere un conocimiento competente para su uso y aplicación puesto que se requiere tiempo de inversión en su aprendizaje para un manejo eficiente. Es por ello que este tipo de tecnología debería formar parte de la enseñanza básica de los futuros ingenieros civiles.



7. Otra opinión en el aspecto educativo, es que por lo general se tiene la tendencia de que los nuevos o futuros ingenieros, aprendan haciendo hincapié en las universidades en el aprendizaje de los métodos determinísticos de solución de las estructuras, resolviendo cálculos a mano para entender el comportamiento de las mismas, dejando a un lado el resolver los cálculos mediante el uso de paqueterías modernas de cómputo. Si bien es cierto que no se puede descuidar el aspecto fundamental de los conocimientos básicos de los métodos de análisis, sería importante considerar el incorporar en la enseñanza el conocimiento de las características de la gran variedad de posibilidades de análisis estáticos y dinámicos que ofrecen los programas modernos, para que los estudiantes aprendan a seleccionar los adecuados a emplear para los casos prácticos que se presentarían en la vida profesional, aprendiendo a validar resultados y desarrollando sensibilidad para tener otra perspectiva de lo que es el moderno análisis y diseño de estructuras.
8. Actualmente con el uso de las computadoras en el análisis y diseño estructural, los aspectos más relevantes en los cuales recae la importancia de este proceso es el correcto modelaje de la estructura y acciones, así como también en la elección del método de análisis que sea aplicable y que mejor represente los aspectos a representar de la edificación.



# ANEXO.

**REPORTE DE DATOS DE ENTRADA.****Properties: Materials**

	Material	E (kgf/cm <sup>2</sup> )	G (kgf/cm <sup>2</sup> )	NI	LX (1/°C)	RO (tf/m <sup>3</sup> )	Re (kgf/cm <sup>2</sup> )
1	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	221359.44	92233.10	0.20	0.00	2.4000	250.00

**Panels: Panels**

Panel	Thickness	Material	Meshing type	Reinforcement type	Structure object	Mesh freeze
1	Losa de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Losa	Floor	No
2	Muro de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Muro	Floor	No
3	Muro de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Muro	Floor	No
4	Muro de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Muro	Floor	No
5	Dentellon de 80 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Dentellon	Floor	No
6	Dentellon de 80 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Dentellon	Floor	No
21	Dentellon de 80 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Dentellon	Floor	No
22	Losa de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Losa	Floor	No
25	Losa de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Losa	Floor	No
30	Losa de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Losa	Floor	No
32	Losa de 150 cm	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	Coons	Losa	Floor	No

**Properties: Panels**

Thickness name	Panel list	Material	Thickness type	Thickness (cm)	KZ (tf/m <sup>3</sup> )	Kx (tf/m <sup>3</sup> )	Ky (tf/m <sup>3</sup> )	Uplift
Losa de 150 cm	1 22 25 30 32	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	constant	150.000	258.0000	258.0000	258.0000	Uz+
Muro de 150 cm	2to4	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	constant	150.000	0.0	0.0	0.0	
Dentellon de 80 cm	5 6 21	Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>	constant	80.000	0.0	0.0	0.0	

**Quantities: Panels**

Type	Number	Thickness (cm)	Unit weight (tf/m <sup>2</sup> )	Area (m <sup>2</sup> )	Volume (m <sup>3</sup> )	Total weight (tf)
Concreto f <sub>c</sub> =250 kg/cm <sup>2</sup>						
Dentellon de 80 cm	3	80.0	1.92	607.21	485.771	1166
Losa de 150 cm	5	150.0	3.60	2737.82	4106.734	9856
Muro de 150 cm	3	150.0	3.60	1654.19	2481.280	5955
Total				4999.22	7073.786	16977

**Supports: Values**

--	--	--	--



Support name	List of nodes	List of objects	Support conditions
k=258t/m <sup>2</sup> Z+	465to468 482to537 539to541 543to549 558to575 615to630 633to646 648to655 675to680 579 682to1822 2506	5 6 21	KX=258.0000 (tf/m) KY=258.0000 (tf/m) KZ=258.0000 (tf/m) +
RXRZRZ	141to151 6 1881to1884 1925to1930 1970to1975 2015to2021 2060to2069 2108to2121 2160to2169 2207to2215 2253to2262 2300to2307 2344to2350 2387to2395 2432to2438 2475to2480 2517to2521 2558to2561 2597to2602 2638to2641 2677to2680 2716to2718 2754to2756 2791 2792 2827to2829 2864 2865 2900 2901 5209 5211 5212 5230to5235 5237to5241 5246 5248to5253 5259 5261 5264 5268 5270to5273 5281to5304 5306to5312 5317 5318 5326 5328 5332 5334 5336 5356to5358 5394to5405 5411to5413 5552to5565 5567 5569to5573 5576 5583to5587 5590 5595 5597		RX RY RZ
RXYZ	1to5 7to140 152to464 538 542 550to557 576to578 580to614 631 632 647 656to674 681		RX RY RZ

**CARGAS.**

**El análisis es no lineal, por lo que cada caso de carga es una combinación que contiene todas las acciones con sus respectivos factores, los siguientes datos corresponden a la condición de diseño.**

**Loads - Case: 1 (COMB1-ELU)****Values**

Case	Label	Case name	Nature	Analysis type
1	DL1	CM	dead	Static - Nonlin (auxiliary)

**- Case: 1 (CM)**

Case	Load type	List	Load values
1	self-weight	1to6 21 22 25 30 32	PZ Negative Factor=1.40
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m <sup>2</sup> ) PZ3=-33.6000(tf/m <sup>2</sup> ) N1X=65.042(m) N1Y=26.000(m) N1Z=0.0(m) N2X=56.719(m) N2Y=26.284(m) N2Z=0.0(m) N3X=56.872(m) N3Y=26.837(m) N3Z=0.0(m) P1(65, 26, 0) P2(58.2, 26.5, 0) P3(56.9, 26.8, 0) P4(56.7, 26.3, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m <sup>2</sup> ) PZ3=-33.6000(tf/m <sup>2</sup> ) N1X=56.719(m) N1Y=26.284(m) N1Z=0.0(m) N2X=53.265(m) N2Y=26.638(m) N2Z=0.0(m) N3X=53.543(m) N3Y=27.671(m)



			N3Z=0.0(m) P1(53.3, 26.6, 0) P2(56.7, 26.3, 0) P3(56.9, 26.8, 0) P4(54.9, 27.3, 0) P5(53.5, 27.7, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=53.265(m) N1Y=26.638(m) N1Z=0.0(m) N2X=48.818(m) N2Y=27.094(m) N2Z=0.0(m) N3X=49.980(m) N3Y=28.919(m) N3Z=0.0(m) P1(50, 28.9, 0) P2(48.8, 27.1, 0) P3(53.3, 26.6, 0) P4(53.5, 27.7, 0) P5(51.6, 28.3, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=46.307(m) N1Y=27.500(m) N1Z=0.0(m) N2X=48.818(m) N2Y=27.094(m) N2Z=0.0(m) N3X=47.776(m) N3Y=29.876(m) N3Z=0.0(m) P1(47.8, 29.9, 0) P2(46.3, 27.5, 0) P3(48.4, 27.1, 0) P4(48.8, 27.1, 0) P5(50, 28.9, 0) P6(48.4, 29.6, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=46.307(m) N1Y=27.500(m) N1Z=0.0(m) N2X=41.490(m) N2Y=28.329(m) N2Z=0.0(m) N3X=44.246(m) N3Y=31.800(m) N3Z=0.0(m) P1(41.5, 28.3, 0) P2(46.3, 27.5, 0) P3(47.8, 29.9, 0) P4(45.3, 31.1, 0) P5(44.2, 31.8, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=41.490(m) N1Y=28.329(m) N1Z=0.0(m) N2X=39.086(m) N2Y=28.767(m) N2Z=0.0(m) N3X=42.300(m) N3Y=33.030(m) N3Z=0.0(m) P1(42.3, 33, 0) P2(39.1, 28.8, 0) P3(40.2, 28.5, 0) P4(41.5, 28.3, 0) P5(44.2, 31.8, 0) P6(43, 32.6, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=39.073(m) N1Y=28.750(m) N1Z=0.0(m) N2X=34.828(m) N2Y=30.062(m) N2Z=0.0(m) N3X=39.456(m) N3Y=35.203(m) N3Z=0.0(m) P1(34.8, 30.1, 0) P2(36.6, 29.4, 0) P3(38.4, 28.9, 0) P4(39.1, 28.8, 0) P5(42.3, 33, 0) P6(39.7, 35, 0) P7(39.5, 35.2, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=34.828(m) N1Y=30.062(m) N1Z=0.0(m) N2X=31.511(m) N2Y=31.800(m) N2Z=0.0(m) N3X=36.535(m) N3Y=37.930(m) N3Z=0.0(m) P1(31.5, 31.8, 0) P2(32.5, 31.2, 0) P3(33.1, 30.9, 0) P4(34.8, 30.1, 0) P5(39.5, 35.2, 0) P6(37.1, 37.3, 0) P7(36.5, 37.8, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=31.511(m) N1Y=31.800(m) N1Z=0.0(m) N2X=29.227(m) N2Y=33.371(m) N2Z=0.0(m) N3X=34.837(m) N3Y=39.749(m) N3Z=0.0(m) P1(31.5, 31.8, 0) P2(30.9, 32.2, 0) P3(30.2, 32.6, 0) P4(29.2, 33.4, 0) P5(34.8, 39.7, 0) P6(35.4, 39.1, 0) P7(36, 38.5, 0) P8(36.5, 37.9, 0)
1	(FE) planar on contour	30	PZ1=-13.5900(tf/m2) P1(98.6, -1, 0) P2(98.6, 0, 0) P3(-0.127, 0, 0) P4(-1.01, -1, 0)
1	(FE) planar on contour	25	PZ1=-13.5900(tf/m2) P1(98.6, 27.5, 0) P2(98.6, 28.3, 0) P3(65, 28.3, 0) P4(65, 27.5, 0)
1	(FE) planar on contour	32	PZ1=-13.5900(tf/m2) P1(65, 28.3, 0) P2(65, 27.5, 0) P3(62.2, 27.6, 0) P4(58.8, 28, 0) P5(55.5, 28.7, 0) P6(52.3, 29.7, 0) P7(49.2, 31, 0) P8(46.2, 32.5, 0) P9(43.3, 34.3, 0) P10(40.6, 36.3, 0) P11(38.1, 38.6, 0) P12(36, 40.9, 0) P13(36.6, 41.5, 0) P14(38.6, 39.4, 0) P15(41.1, 37.1, 0) P16(43.8, 35.1, 0) P17(46.7, 33.3, 0) P18(49.7, 31.8, 0) P19(52.8, 30.5, 0) P20(56, 29.5, 0) P21(59.3, 28.8, 0) P22(62.7, 28.4, 0)



## REPORTE DE ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

Project properties: **Modelo de tesis**

File Name:: **Modelo de tesis 14.03.13.rtd**  
Folder: D:modelo para memoria  
Created: 14/03/13 17:52  
Modified: 14/03/13 18:17  
Size: 72073216

Author:  
Office:  
Address:

Characteristics of analysis example:

Structure type: Shell

Structure geometrical center coordinates:

X = 48.818 (m)  
Y = 20.256 (m)  
Z = 2.100 (m)

Structure gravity center coordinates:

X = 54.302 (m)  
Y = 13.794 (m)  
Z = 1.555 (m)

Central moments of inertia of a structure:

Ix = 2412558858.649 (kg\*m<sup>2</sup>)  
Iy = 11864475117.097 (kg\*m<sup>2</sup>)  
Iz = 13935872996.287 (kg\*m<sup>2</sup>)  
Mass = 16977022.752 (kg)

Structure description

Number of nodes:	9923
Number of bars:	0
Bar finite elements:	0
Planar finite elements:	9889
Volumetric finite elements:	0
Rigid links:	0
Releases:	0
Unidirectional releases:	0
Non-linear releases:	0
Compatibilities:	0
Elastic compatibilities:	0
Non-linear compatibilities:	0
Supports:	2075
Elastic supports:	1275
Unidirectional supports:	1275
Non-linear supports:	0
Non-linear hinges:	0
Cases:	4



Combinations: 1

#### Calculation summary

Solution method - SPARSE		
No of static degr. of freedom:	57138	
Bandwidth		
before/after optimization:	0	0
Time info [sec]		
Max time of aggreg. + decomp.:	10	
Max time of subspace iterat.:	0	
Max time of nonlinear iterat.:	50	
Total time:	63	
Disk and core usage [B]		
Total disk space:	6016016	
For solver TMP files:	0	
For subspace iter. TMP files:	0	
Memory:	46226396	
Stiffness matrix diagonal elements		
Min/Max after decomposition:	3.309467e+008	7.703458e+010
Precision:	12	

#### Table of load cases / analysis types

**Case 1 : CM**  
**Analysis type: Static - Nonlinear**  
**Auxiliary case**

#### Data:

Method	: Iterative
Number of load increments	: 5
Maximum number of iterations for one increment	: 40
Number of length reductions for one increment	: 3
Increment length reduction coefficient	: 0.500
Maximum number of 'line search' trials	: 0
Control parameter for 'line search' method	: 0.500
Maximum number of BFGS corrections	: 10
Tolerance for relative residual force norm	: 0.0001
Tolerance for relative displacement norm	: 0.0001
Matrix actualization after each iteration	

#### Non-linear process: convergent.

Maximum value of process parameter when convergence is obtained : 1.000



Maximum value of process parameter when convergence is not obtained : 1.000  
 Total number of load increments : 5  
 Total number of iterations : 6  
 Precision obtained for non-convergent increment : 1.35603e-005  
 Relative displacement norm : 1.35603e-005  
 Relative residual forces norm : 2.88396e-005

**Case 2 : ET**  
**Analysis type: Static - Nonlinear**  
**Auxiliary case**

**Data:**

Method : Iterative  
  
 Number of load increments : 5  
 Maximum number of iterations for one increment : 40  
 Number of length reductions for one increment : 3  
 Increment length reduction coefficient : 0.500  
 Maximum number of 'line search' trials : 0  
 Control parameter for 'line search' method : 0.500  
 Maximum number of BFGS corrections : 10  
  
 Tolerance for relative residual force norm : 0.0001  
 Tolerance for relative displacement norm : 0.0001  
 Matrix actualization after each iteration

**Non-linear process: divergent.**

Maximum value of process parameter when convergence is obtained : 0.000  
 Maximum value of process parameter when convergence is not obtained : 0.000  
 Total number of load increments : 0  
 Total number of iterations : 0  
 Precision obtained for non-convergent increment : 0.00000e+000  
 Relative displacement norm : 0.00000e+000  
 Relative residual forces norm : 0.00000e+000

**Case 3 : SUB**  
**Analysis type: Static - Nonlinear**  
**Auxiliary case**

**Data:**

Method : Iterative  
  
 Number of load increments : 5  
 Maximum number of iterations for one increment : 40  
 Number of length reductions for one increment : 3  
 Increment length reduction coefficient : 0.500  
 Maximum number of 'line search' trials : 0  
 Control parameter for 'line search' method : 0.500  
 Maximum number of BFGS corrections : 10  
  
 Tolerance for relative residual force norm : 0.0001  
 Tolerance for relative displacement norm : 0.0001



Matrix actualization after each iteration

**Non-linear process: divergent.**

Maximum value of process parameter when convergence is obtained : 0.000  
Maximum value of process parameter when convergence is not obtained : 0.000  
Total number of load increments : 0  
Total number of iterations : 0  
Precision obtained for non-convergent increment : 0.00000e+000  
Relative displacement norm : 0.00000e+000  
Relative residual forces norm : 0.00000e+000

**Case 4 : COMB1**

**Analysis type: Nonlin. Combination**

**Data:**

Method : Iterative

Number of load increments : 5  
Maximum number of iterations for one increment : 40  
Number of length reductions for one increment : 3  
Increment length reduction coefficient : 0.500  
Maximum number of 'line search' trials : 0  
Control parameter for 'line search' method : 0.500  
Maximum number of BFGS corrections : 10

Tolerance for relative residual force norm : 0.0001  
Tolerance for relative displacement norm : 0.0001  
Matrix actualization after each iteration

**Non-linear process: convergent.**

Maximum value of process parameter when convergence is obtained : 1.000  
Maximum value of process parameter when convergence is not obtained : 1.000  
Total number of load increments : 5  
Total number of iterations : 5  
Precision obtained for non-convergent increment : 6.35173e-006  
Relative displacement norm : 6.35173e-006  
Relative residual forces norm : 8.45075e-005



## REPORTE DE DISEÑO ESTRUCTURAL.

### 1. Slab: Plate3 - Panel no. 3

#### 1.1. Reinforcement:

- Type : Muro
- Main reinforcement direction : 0°
- Main reinforcement grade : Grade 60; Characteristic strength = 4218.42 kgf/cm<sup>2</sup>
- Bar diameters
 

bottom	d1 = 2.5 (cm)	d2 = 2.5 (cm)
top	d1 = 2.5 (cm)	d2 = 2.5 (cm)
- Cover
 

bottom	c1 = 7.0 (cm)
top	c2 = 7.0 (cm)

#### 1.2. Concrete

- Class : CONCR; Characteristic strength = 249.83 kgf/cm<sup>2</sup>
- Density : 2.4000 (tf/m<sup>3</sup>)

#### 1.3. Hypothesis

- Calculations according to : ACI 318-08
- Method of reinforcement area calculations : NEN
- Verification of punching : no
- Calculation type : simple bending

#### 1.4. Slab geometry

Thickness 1.500 (m)

##### Contour:

edge	beginning		end		length (m)
	x1	y1	x2	y2	
1	33.600	0.000	0.000	0.000	33.600
2	0.000	0.000	0.000	-10.000	10.000
3	0.000	-10.000	33.600	-10.000	33.600
4	33.600	-10.000	33.600	0.000	10.000

##### Support:

n°	Name	dimensions	coordinates		edge
		(m)	x	y	
0	linear	1.500 / 33.600	16.800	0.000	—
0	linear	1.500 / 33.600	16.800	0.000	—
0	linear	10.000 / 1.500	0.000	-5.000	—

\* - head present

#### 1.5. Calculation results:

**1.5.1. Maximum moments + reinforcement for bending**

	<b>Ax(+)</b> <b>Ay(-)</b>	<b>Ax(-)</b>	<b>Ay(+)</b>
Provided reinforcement (cm <sup>2</sup> /m):	16.89	17.64	33.78
Modified required reinforcement (cm <sup>2</sup> /m):	11.08	11.08	19.19
Original required reinforcement (cm <sup>2</sup> /m):	11.08	11.08	16.18
Coordinates (m):	1.500;-6.250 0.750;-9.250	0.750;-9.250	0.000;-0.833

**1.5.2. Maximum moments + reinforcement for bending**

	<b>Ax(+)</b> <b>Ay(-)</b>	<b>Ax(-)</b>	<b>Ay(+)</b>
Symbol: required area/provided area			
Ax(+) (cm <sup>2</sup> /m)	<b>11.08/16.89</b>	1.44/17.64	11.08/16.89
Ax(-) (cm <sup>2</sup> /m)	11.08/16.89	<b>11.08/17.64</b>	0.76/16.89
Ay(+) (cm <sup>2</sup> /m)	1.84/16.89	1.44/16.89	<b>19.19/33.78</b>
Ay(-) (cm <sup>2</sup> /m)	11.08/16.89	11.08/16.89	1.94/16.89
Coordinates (m)	1.500;-6.250 0.750;-9.250	0.750;-9.250	0.000;-0.833
Coordinates* (m)	66.542;26.750;6.250 65.042;26.750;0.833		65.792;26.750;9.250 65.792;26.750;9.250

\* - Coordinates in the structure global coordinate system

**2. Loads:**

<b>Case</b>	<b>Type</b>	<b>List</b>	<b>Value</b>
1	self-weight	1to6 21 22 25 30 32	PZ Negative
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m <sup>2</sup> ) PZ3=-33.6000(tf/m <sup>2</sup> ) N1X=65.042(m) N1Y=26.000(m) N1Z=0.0(m) N2X=56.719(m) N2Y=26.284(m) N2Z=0.0(m) N3X=56.872(m) N3Y=26.837(m) N3Z=0.0(m) P1(65, 26, 0) P2(58.2, 26.5, 0) P3(56.9, 26.8, 0) P4(56.7, 26.3, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m <sup>2</sup> ) PZ3=-33.6000(tf/m <sup>2</sup> ) N1X=56.719(m) N1Y=26.284(m) N1Z=0.0(m) N2X=53.265(m) N2Y=26.638(m) N2Z=0.0(m) N3X=53.543(m) N3Y=27.671(m) N3Z=0.0(m) P1(53.3, 26.6, 0) P2(56.7, 26.3, 0) P3(56.9, 26.8, 0) P4(54.9, 27.3, 0) P5(53.5, 27.7, 0)
1	(FE) planar on contour	1	PZ1=0.0(tf/m <sup>2</sup> ) PZ3=-33.6000(tf/m <sup>2</sup> ) N1X=53.265(m) N1Y=26.638(m) N1Z=0.0(m) N2X=48.818(m) N2Y=27.094(m) N2Z=0.0(m) N3X=49.980(m) N3Y=28.919(m) N3Z=0.0(m) P1(50, 28.9,



0) P2(48.8, 27.1, 0) P3(53.3, 26.6, 0) P4(53.5, 27.7, 0) P5(51.6, 28.3, 0)  
1 (FE) planar on contour 1 PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=46.307(m) N1Y=27.500(m) N1Z=0.0(m) N2X=48.818(m) N2Y=27.094(m) N2Z=0.0(m) N3X=47.776(m) N3Y=29.876(m) N3Z=0.0(m) P1(47.8, 29.9, 0) P2(46.3, 27.5, 0) P3(48.4, 27.1, 0) P4(48.8, 27.1, 0) P5(50, 28.9, 0) P6(48.4, 29.6, 0)  
1 (FE) planar on contour 1 PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=46.307(m) N1Y=27.500(m) N1Z=0.0(m) N2X=41.490(m) N2Y=28.329(m) N2Z=0.0(m) N3X=44.246(m) N3Y=31.800(m) N3Z=0.0(m) P1(41.5, 28.3, 0) P2(46.3, 27.5, 0) P3(47.8, 29.9, 0) P4(45.3, 31.1, 0) P5(44.2, 31.8, 0)  
1 (FE) planar on contour 1 PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=41.490(m) N1Y=28.329(m) N1Z=0.0(m) N2X=39.086(m) N2Y=28.767(m) N2Z=0.0(m) N3X=42.300(m) N3Y=33.030(m) N3Z=0.0(m) P1(42.3, 33, 0) P2(39.1, 28.8, 0) P3(40.2, 28.5, 0) P4(41.5, 28.3, 0) P5(44.2, 31.8, 0) P6(43, 32.6, 0)  
1 (FE) planar on contour 1 PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=39.073(m) N1Y=28.750(m) N1Z=0.0(m) N2X=34.828(m) N2Y=30.062(m) N2Z=0.0(m) N3X=39.456(m) N3Y=35.203(m) N3Z=0.0(m) P1(34.8, 30.1, 0) P2(36.6, 29.4, 0) P3(38.4, 28.9, 0) P4(39.1, 28.8, 0) P5(42.3, 33, 0) P6(39.7, 35, 0) P7(39.5, 35.2, 0)  
1 (FE) planar on contour 1 PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=34.828(m) N1Y=30.062(m) N1Z=0.0(m) N2X=31.511(m) N2Y=31.800(m) N2Z=0.0(m) N3X=36.535(m) N3Y=37.930(m) N3Z=0.0(m) P1(31.5, 31.8, 0) P2(32.5, 31.2, 0) P3(33.1, 30.9, 0) P4(34.8, 30.1, 0) P5(39.5, 35.2, 0) P6(37.1, 37.3, 0) P7(36.5, 37.8, 0)  
1 (FE) planar on contour 1 PZ1=0.0(tf/m2) PZ3=-33.6000(tf/m2) N1X=31.511(m) N1Y=31.800(m) N1Z=0.0(m) N2X=29.227(m) N2Y=33.371(m) N2Z=0.0(m) N3X=34.837(m) N3Y=39.749(m) N3Z=0.0(m) P1(31.5, 31.8, 0) P2(30.9, 32.2, 0) P3(30.2, 32.6, 0) P4(29.2, 33.4, 0) P5(34.8, 39.7, 0) P6(35.4, 39.1, 0) P7(36, 38.5, 0) P8(36.5, 37.9, 0)  
1 (FE) planar on contour 30 PZ1=-13.5900(tf/m2) P1(98.6, -1, 0) P2(98.6, 0, 0) P3(-0.127, 0, 0) P4(-1.01, -1, 0)  
1 (FE) planar on contour 25 PZ1=-13.5900(tf/m2) P1(98.6, 27.5, 0) P2(98.6, 28.3, 0) P3(65, 28.3, 0) P4(65, 27.5, 0)  
1 (FE) planar on contour 32 PZ1=-13.5900(tf/m2) P1(65, 28.3, 0) P2(65, 27.5, 0) P3(62.2, 27.6, 0) P4(58.8, 28, 0) P5(55.5, 28.7, 0) P6(52.3, 29.7, 0) P7(49.2, 31, 0) P8(46.2, 32.5, 0) P9(43.3, 34.3, 0) P10(40.6, 36.3, 0) P11(38.1, 38.6, 0) P12(36, 40.9, 0) P13(36.6, 41.5, 0) P14(38.6, 39.4, 0) P15(41.1, 37.1, 0) P16(43.8, 35.1, 0) P17(46.7, 33.3, 0) P18(49.7, 31.8, 0) P19(52.8, 30.5, 0) P20(56, 29.5, 0) P21(59.3, 28.8, 0) P22(62.7, 28.4, 0)  
2 (FE) planar 2to4 PZ1=-1.4388(tf/m2) PZ2=-1.4388(tf/m2) PZ3=-1.4388(tf/m2) N1X=0.0(m) N1Y=0.0(m) N1Z=6.000(m) N2X=1.000(m) N2Y=0.0(m) N2Z=6.000(m) N3X=0.0(m) N3Y=0.0(m) N3Z=3.150(m) Geometrical limits:P1(0, 0, 6) P2(1, 0, 6) P3(0, -1, 6) P4(0, 0, 5)  
2 (FE) planar 2to4 PZ1=-1.4388(tf/m2) PZ2=-1.4388(tf/m2) PZ3=-1.4388(tf/m2) N1X=0.0(m) N1Y=0.0(m) N1Z=3.150(m) N2X=1.000(m) N2Y=0.0(m) N2Z=3.150(m) N3X=0.0(m) N3Y=0.0(m) N3Z=0.0(m) Geometrical limits:P1(0, 0, 3.15) P2(1, 0, 3.15) P3(0, -1, 3.15) P4(0, 0, 2.15)  
2 (FE) planar 2to4 PZ1=-1.4388(tf/m2) PZ2=-1.4388(tf/m2) PZ3=-1.4388(tf/m2) N1X=0.0(m) N1Y=0.0(m) N1Z=0.0(m) N2X=1.000(m) N2Y=0.0(m) N2Z=0.0(m) N3X=0.0(m) N3Y=0.0(m) N3Z=-6.000(m) Geometrical limits:P1(0, 0, 0) P2(1, 0, 0) P3(0, -1, 0) P4(0, 0, -1)  
2 (FE) planar 2to4 PZ3=-4.5108(tf/m2) N1X=0.0(m) N1Y=0.0(m) N1Z=6.000(m) N2X=1.000(m) N2Y=0.0(m) N2Z=6.000(m)



N3X=0.0(m) N3Y=0.0(m) N3Z=3.150(m) Geometrical limits:P1(0, 0, 6) P2(1, 0, 6) P3(0, -1, 6) P4(0, 0, 5)  
 2 (FE) planar 2to4 PZ1=-4.5108(tf/m2)  
 PZ2=-4.5108(tf/m2) PZ3=-11.0106(tf/m2) N1X=0.0(m) N1Y=0.0(m) N1Z=3.150(m)  
 N2X=1.000(m) N2Y=0.0(m) N2Z=3.150(m) N3X=0.0(m) N3Y=0.0(m) N3Z=0.0(m)  
 Geometrical limits:P1(0, 0, 3.15) P2(1, 0, 3.15) P3(0, -1, 3.15) P4(0, 0, 2.15)  
 3 (FE) uniform 1 22 25 30 32 PZ=5.1150(tf/m2)

**Combination/Component****Definition**

### 3. Results - detailing

List of solutions:

Reinforcement: bars

Solution no.	Reinforcement range Diameter / Weight	Total weight (tf)
1	-	19.1629

Results for the solution no. 1

Reinforcement zones

Bottom reinforcement

Name	coordinates				Provided reinforcement At $\phi$ / (cm)	Ar
	x1 (cm2/m)	y1	x2 (cm2/m)	y2		
1/3- Ay Perpendicular <	0.000	-10.000	33.600	0.000	25.4 / 30.0	11.08
1/4- Ax Main <	0.000	-10.000	33.600	0.000	25.4 / 30.0	11.08

Top reinforcement

Name	coordinates				Provided reinforcement At $\phi$ / (cm)	Ar
	x1 (cm2/m)	y1	x2 (cm2/m)	y2		
1/1+ Ay Perpendicular <	0.000	-10.000	33.600	0.000	25.4 / 30.0	11.08
1/2+ Ax Main <	0.000	-10.000	33.600	0.000	25.4 / 30.0	11.08
1/5+(1/1+) Ay Perpendicular 15.0	0.000	-3.000	33.600	19.19	0.000	25.4 /

### 4. Material survey

- Concrete volume = 504.000 (m3)
- Formwork = 336.000 (m2)
- Slab circumference = 87.200 (m)
- Area of openings = 0.000 (m2)
- Steel Grade 60

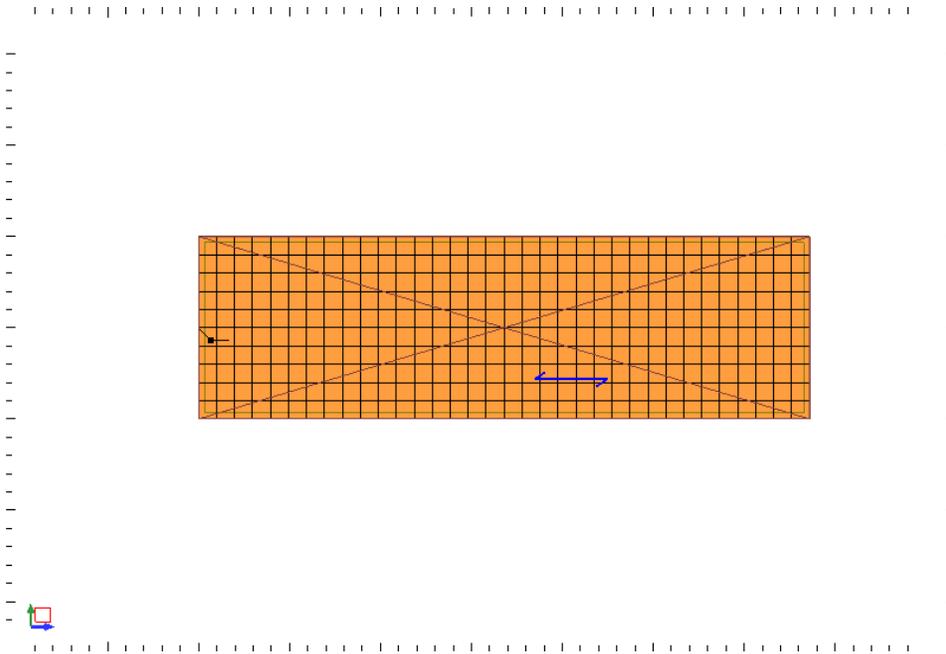


- Total weight = 20.8493 (tf)
- Density = 0.0410 (tf/m<sup>3</sup>)
- Average diameter = 25.4 (mm)
- Survey according to diameters:

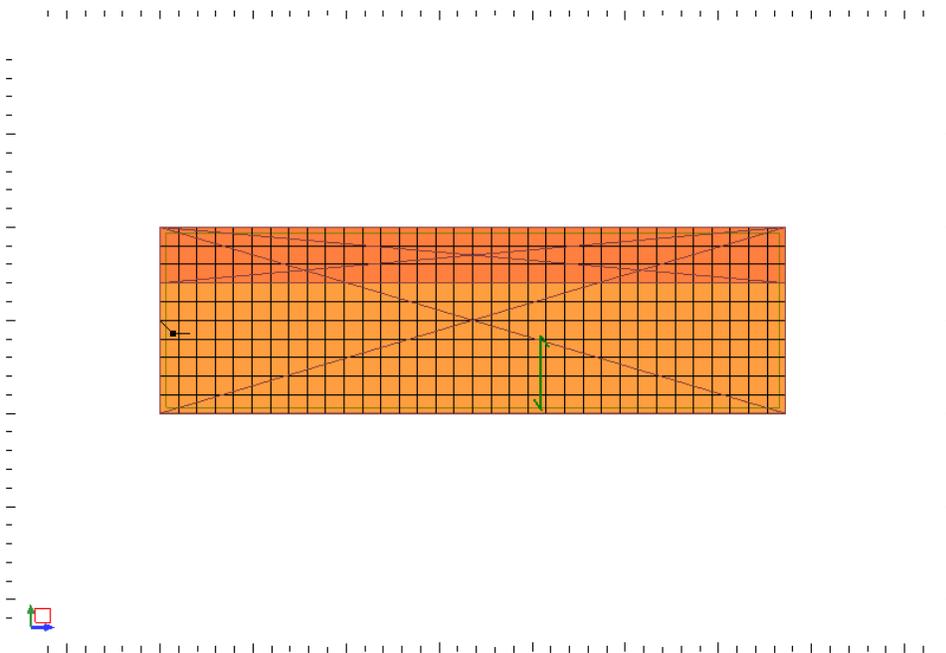
Diameter	Length (m)	Number:
#8	4.935	112
#8	9.267	124
#8	9.483	124
#8	10.546	224



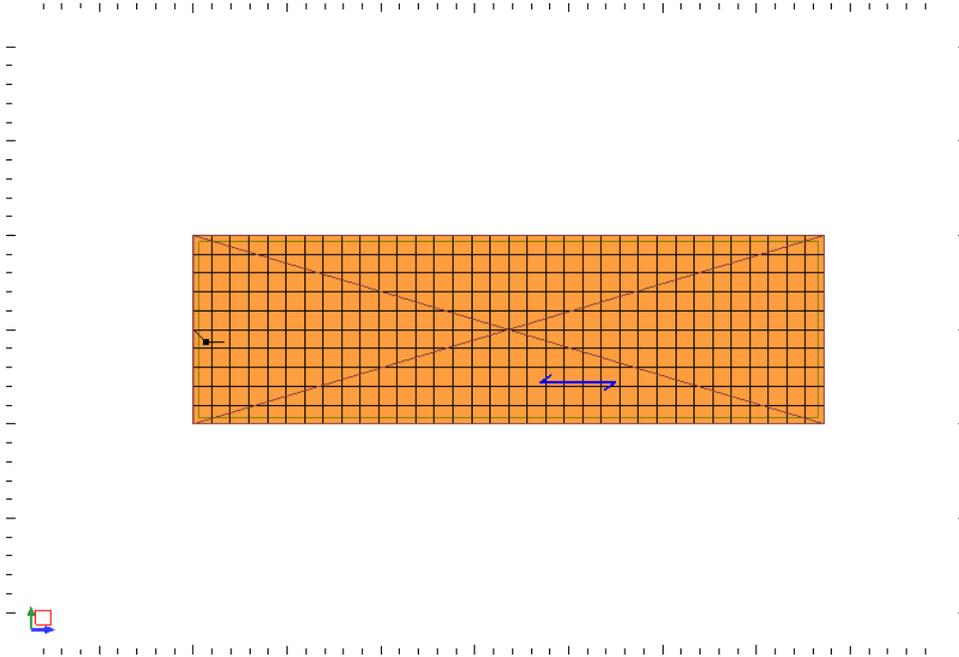
**Slab - Reinforcement Maps:3 : Plate3 - [+]Ay Perpendicular (cm<sup>2</sup>/m)**



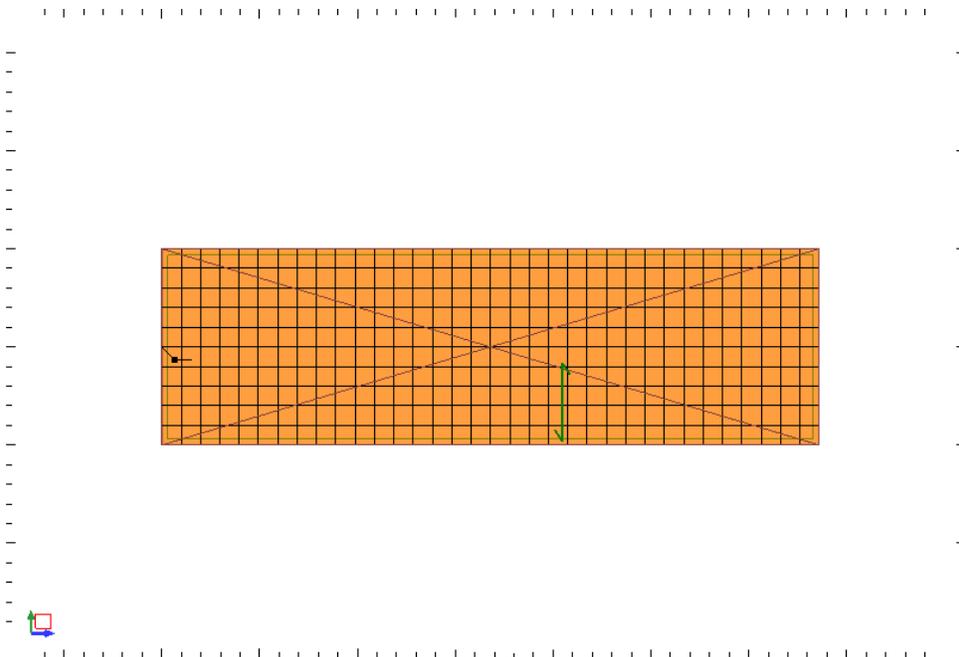
**Slab - Reinforcement Maps:2 : Plate3 - [+]Ax Main (cm<sup>2</sup>/m)**



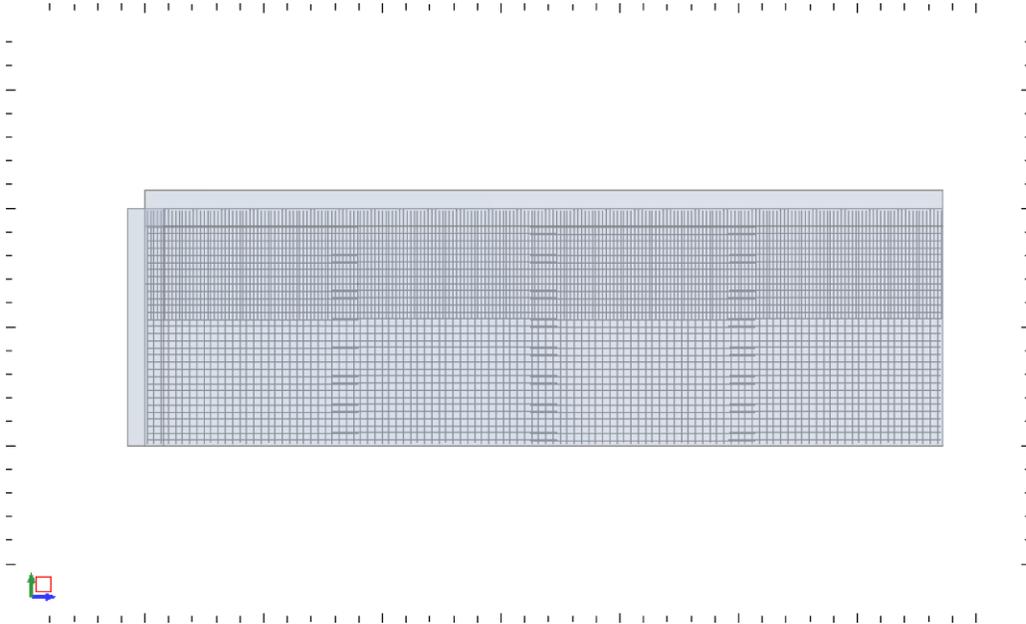
**Slab - Reinforcement Maps:1 : Plate3 - [-]Ay Perpendicular (cm<sup>2</sup>/m)**



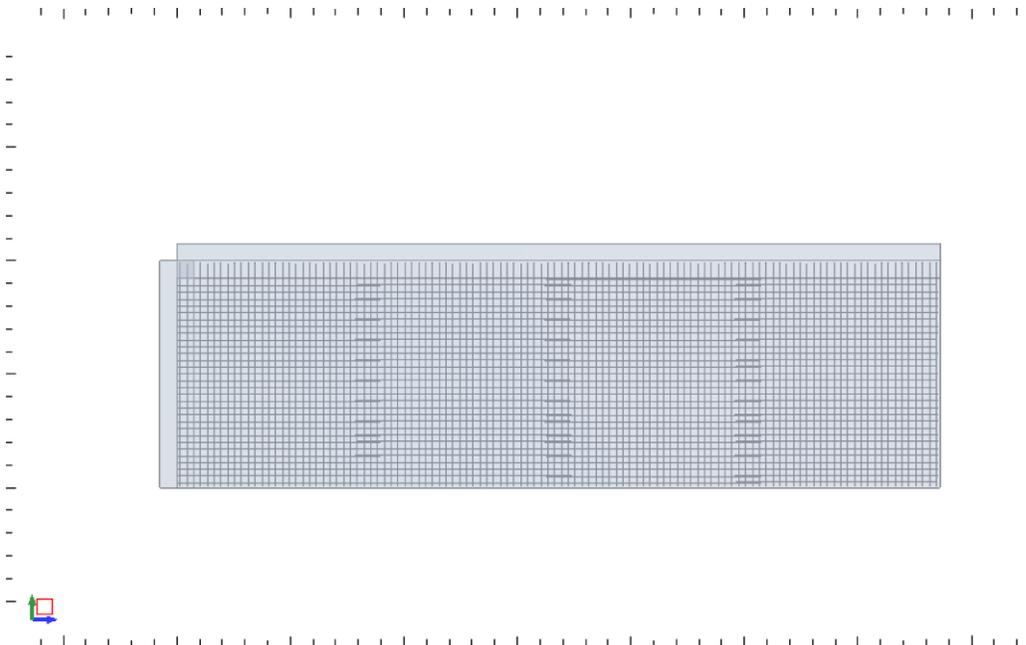
**Slab - Reinforcement Maps : Plate3 - [-]Ax Main (cm2/m)**



**Slab - Reinforcement : Projection XY: ( + )**



**Slab - Reinforcement: Projection XY: (-)**





## PLANOS





## BIBLIOGRAFÍA:

Gaceta Oficial del Distrito Federal, *Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras de Concreto*, México, GDF, 2004.

González Cuevas Óscar M., *Aspectos fundamentales de concreto reforzado*, 4a. Edición, México, Editorial Limusa, 2005.

Robert W. Fitzgerald, *Mecánica de Materiales*, 2a. Edición, México, Editorial Alfaomega, 1990.

Juarez Badillo Eulalio; Rico Rodriguez Alfonso, *Mécanica de suelos - Tomo II*, México, Editorial Limusa, 1973.

Meli Piralla Roberto, *Diseño estructural*, Primera edición, México, Editorial Limusa, 1985

Comité ACI, *Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural (ACI 318S-08) y Comentario*, USA, American Concrete Institute, 2008.

MacLeod Iain A., *Modern Structural Analysis*, Primera edición, Editorial Thomas Telford, 2005.

Moss Elise, *Revit Structure 2012 Basics*, Primera edición, Editorial Schroff Development Corporation, USA, 2011

Ken Jolly, *Creating Revit Family Content*, USA, 2008.

Help Autodesk Robot Structural Analysis. User's Guide.

<http://docs.autodesk.com/RSA/2013/ENU/index.html>

Revit 2013 Help Autodesk WikiHelp.

[http://wikihelp.autodesk.com/Revit/enu/2013/Help/00001-Revit\\_He0](http://wikihelp.autodesk.com/Revit/enu/2013/Help/00001-Revit_He0)

Revit 2012 Help Autodesk WikiHelp.

<http://wikihelp.autodesk.com/Revit/enu/2012/Help>

Discussion Groups Autodesk Structural Analysis

<http://forums.autodesk.com/t5/Autodesk-Robot-Structural/bd-p/351>