



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Cuantificación de la Estructura de Control  
de la obra "Dragado Laguna Churubusco"  
en Texcoco, Estado de México, haciendo  
uso de Tecnología BIM.**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Civil**

**P R E S E N T A**

Erik Contreras Gómez

**DIRECTOR DE TESIS**

Ing. Marcos Trejo Hernández



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018**

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	3
1. Antecedentes .....	5
1.1. Condiciones de desalojo de las aguas residuales en el Valle de México .....	5
2. Principales obras de infraestructura de captación pluvial y de drenaje en la ZMVM para evitar una inminente inundación .....	9
2.1. Riesgo latente .....	9
2.2. Infraestructura reciente .....	11
2.2.1. Túnel Emisor Oriente.....	12
2.2.2. Sistema Río de la Compañía.....	15
2.2.3. Problemática de la Laguna Churubusco.....	20
3. Dragado de la Laguna Churubusco y construcción de Estructura de Control .....	22
3.1. Dragado .....	22
3.1.1. Marco de referencia.....	22
3.1.2. Clasificación del dragado .....	22
3.1.3. Aprovechamiento del material dragado .....	23
3.2. Objetivo del Dragado de la Laguna Churubusco .....	24
4. Estructura de Control.....	28
4.1. Compuertas de elevación vertical .....	28
4.2. Objetivo de la Estructura de Control en la obra "Dragado de la Laguna Churubusco" .....	29
4.3. Problemática abordada en la cuantificación de la Estructura de Control .....	33
4.4. Hipótesis formuladas.....	34
5. Tecnología BIM (Building Information Modeling) .....	35
5.1. Definición de BIM.....	35
5.1.1. BIM en la industria de la construcción .....	36
5.2. Definición de Realidad Virtual .....	38
5.2.1. Realidad Virtual en México .....	39
5.3. Importancia del modelado 3D en la construcción .....	39
5.3.1. BIM para la infraestructura .....	40
6. Cuantificación de obra .....	43
6.1. Cuantificación de obra a través de interpretaciones bidimensionales.....	43
6.2. Corroboración previa del proyecto y corrección posterior usando tecnología BIM .....	44
6.3. Cuantificación de obra a través de tecnología BIM (estudio de caso Estructura de Control) .....	45
7. Conclusiones .....	54
8. Bibliografía .....	54

## **INTRODUCCIÓN**

La realización de este trabajo escrito tiene como fin básico, delatar el hecho de que hace falta obligatoriamente un bosquejo (por llamarlo de alguna manera práctica) del proyecto que se pretende construir en tercera dimensión, que sirva como una ayuda de fácil y previa visualización para toda persona que esté involucrada o no en el proyecto.

Desde décadas anteriores, se acostumbra a modelar una maqueta física para que esta previa visualización sea del interés del cliente o de quien esté interesado en su construcción.

Entre más grande sea el proyecto, con mayor razón habría de ser modelada esta maqueta física, pero para proyectos u obras pequeñas o que no son de gran volumen, además de implicar un costo y tiempo extra en la elaboración de la misma, a veces solo basta con la interpretación visual e imaginativa que ofrecen un conjunto de planos de dos dimensiones.

Sin embargo, se ha dado casos, como el expuesto al final de este trabajo escrito; donde, aun siendo una obra de mucha relevancia, para las posteriores obras del NAICM, solo se cuenta con los planos de la Estructura de Control en dos dimensiones con los que se pretendió usar de base para poder cuantificar algunos de los conceptos de obra que se tenían en el catálogo de obra.

La experiencia que se tuvo al momento de verificar y conciliar el volumen del concreto que se tenía que colar para la construcción de la Estructura de Control, fue que la ambas partes, tanto la supervisión de obra, como el área técnica de la constructora no se podían poner de acuerdo cuál era el volumen real colado.

La solución propuesta a dicho desacuerdo fue la elaboración o modelado de la Estructura de Control en 3D a través del software AutoCAD basándose en los planos que ya se tenían y a partir de ahí se confirmó cuál era el volumen real total.

¿Qué es y qué significa BIM para la infraestructura?

BIM es un proceso para planificar, diseñar, construir y administrar infraestructura que involucra la creación y el uso de modelos 3D inteligentes. En comparación con los dibujos en 2D tradicionales, estos modelos brindan a las partes interesadas una mejor comprensión del proyecto, lo que lleva a resultados de proyectos de mayor calidad.

BIM no es una tecnología, sino un enfoque basado en datos, en lugar de en un dibujo, para permitir a los profesionales ejecutar el trabajo de manera más eficiente y efectiva; integrar contribuciones de otros; hacer cambios; explore alternativas y entregue soluciones más adecuadas que aborden las necesidades de todos los interesados.

Algunas de las tecnologías aplicables a la infraestructura incluyen:

- Sistemas geoespaciales.
- Captura virtual de la obra o proyecto.
- Modelado civil paramétrico.
- Gestión de datos.
- Diseño estructural y análisis.
- Visualización avanzada.

BIM para la inversión en infraestructura permite a los participantes obtener mejoras inmediatas a los flujos de trabajo actuales adoptando una o más de las tecnologías apropiadas para su trabajo. Siempre que el proceso

utilice y genere datos estructurados, las tecnologías BIM acelerarán la ejecución del trabajo y mejorarán la precisión independientemente de la tecnología empleada.

## **1. Antecedentes.**

La Zona Metropolitana del Valle de México tiene características únicas. Es una de las concentraciones urbanas más grandes del mundo ubicada en una cuenca cerrada sobre lo que originalmente fue un sistema lacustre integrado por cinco grandes lagos, Texcoco, Xaltocan, Zumpango, Xochimilco y Chalco.

En época de lluvias la Cuenca se convertía en un solo lago de dos mil kilómetros cuadrados de superficie. Esta condición es la causa de las periódicas inundaciones que desde la fundación de Tenochtitlan han tenido que enfrentar sus habitantes.

A partir del Virreinato la estrategia fue abrir salidas artificiales a la cuenca. En los siglos XVII y XVIII, se realizó el tajo de Nochistongo, inaugurado en 1788, 151 años después de su inicio; posteriormente en el México independiente y concretamente en 1900 entró en servicio el Gran Canal del Desagüe, para el cual se construyó el primer túnel de Tequixquiac, obra complementada con un segundo túnel que inicia operaciones en 1947; en 1962 y 1975 se incorporan al sistema los emisores del Poniente y el Central, respectivamente.

### **1.1. Condiciones de desalojo de las aguas residuales en el Valle de México.**

La Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM) actualmente alcanza una superficie de 1,894 kilómetros cuadrados la cual representa casi el 22 por ciento del área de la cuenca del Valle de México y el 95 por ciento de la superficie que ocupaban los lagos en la cuenca en el siglo XVI (Fig. 1).



*Figura 1. Lagos del Valle de México en el siglo XVI.*

El crecimiento se dio sobre todo en los últimos treinta años del siglo XX (vid. Supra. Fig. 2), asentándose la mancha urbana en sitios que antes formaron parte del sistema lagunar, lo cual ha demandado, y lo sigue haciendo a la fecha, servicios urbanos cada vez más amplios y complejos, entre los que destaca el sistema de drenaje.

Es un hecho que la intensidad de las lluvias, y su distribución en el espacio y tiempo han cambiado severamente; las lluvias ahora son más concentradas, de mayor duración y, en consecuencia, de mayor intensidad. Por otro lado, el suelo del valle está formado por arcillas blandas con muy alto contenido de agua, altamente deformables y compresibles. La extracción de agua para abastecimiento del consumo de la ciudad, ha propiciado hundimientos acelerados y diferenciales que afectan fuertemente a la infraestructura de la ciudad.



Figura 2. Crecimiento de la mancha urbana sobre el antiguo lago de Texcoco.

En particular, se ha reducido la capacidad de los cauces superficiales y subterráneos que permiten el desalajo de las aguas de lluvia, aumentando la probabilidad de presencia de las inundaciones que hoy afectan a la población en su actividad diaria, su patrimonio y su vida.

El fenómeno de hundimiento ha afectado de manera particular al Gran Canal del Desagüe por lo que en los últimos años se ha incrementado la dependencia del Sistema de Drenaje Profundo, de tal manera que no fue posible darle mantenimiento entre 1992 y 2007. Este hecho, como es evidente, expone a la ZMVM a inundaciones de consecuencias severas en caso de una falla del Túnel Emisor Central, columna vertebral del sistema de drenaje de esa zona.



En la actualidad la capacidad del Sistema de Drenaje es insuficiente y presenta serios problemas. En 1975, cuando la población de la zona metropolitana era de 10 millones de habitantes, la capacidad de desalojo era de 280 metros cúbicos sobre segundo, para el año 2007 esta se vio reducida a sólo 165 metros cúbicos sobre segundo, con casi el doble de población, haciéndose necesaria la implementación de acciones de emergencia para la inspección y reparación del Sistema de Drenaje Profundo y, además fue necesario decidir la construcción de un nuevo túnel emisor para disponer de una capacidad total de desalojo de 315 metros cúbicos sobre segundo y permitir el mantenimiento alternado con el Túnel Emisor Central.

Por otro lado, los grandes drenes de la ciudad, otrora ríos, que cruzan en el sentido poniente-oriente, tales como los ríos de los Remedios, Tlalnepantla, Consulado; río de la Piedad y sus afluentes, Becerra, Tacubaya, etc.; río Churubusco y sus afluentes, San Ángel, Mixcoac, Magdalena, etc. y río San Buenaventura, prácticamente han desaparecido como corrientes superficiales y, en su lugar, se han construido conductos cerrados que también han sido afectados por los hundimientos regionales y locales del subsuelo, reduciendo su capacidad de conducción y evacuación de las redes primarias que vierten a ellos por gravedad o bombeo a través de grandes plantas.

Las lagunas y vasos de regulación existentes en la parte plana de la ZMVM así como las redes primarias de drenaje superficial, también se han visto afectadas por los hundimientos locales y regionales, por lo que se ha reducido su capacidad de desalojo, afectando también a las redes secundarias, con lo que se incrementa la cantidad de zonas bajas susceptibles de inundarse.

## 2. Principales obras de infraestructura de captación pluvial y de drenaje en la ZMVM para evitar una inminente inundación.

### 2.1. Riesgo latente de inundaciones.

En caso de presentarse una falla en el actual Sistema de Drenaje, las consecuencias para la capital del país serían catastróficas: la obstrucción del Túnel Emisor Central llevaría a una inundación generalizada de las zonas centro y oriente que, con base en estudios apoyados por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, inundaría una superficie de más de 217 kilómetros cuadrados, más el 10 por ciento de la superficie urbana actual, con más de 5 metros de agua sobre el aeropuerto internacional Benito Juárez (Fig. 3).

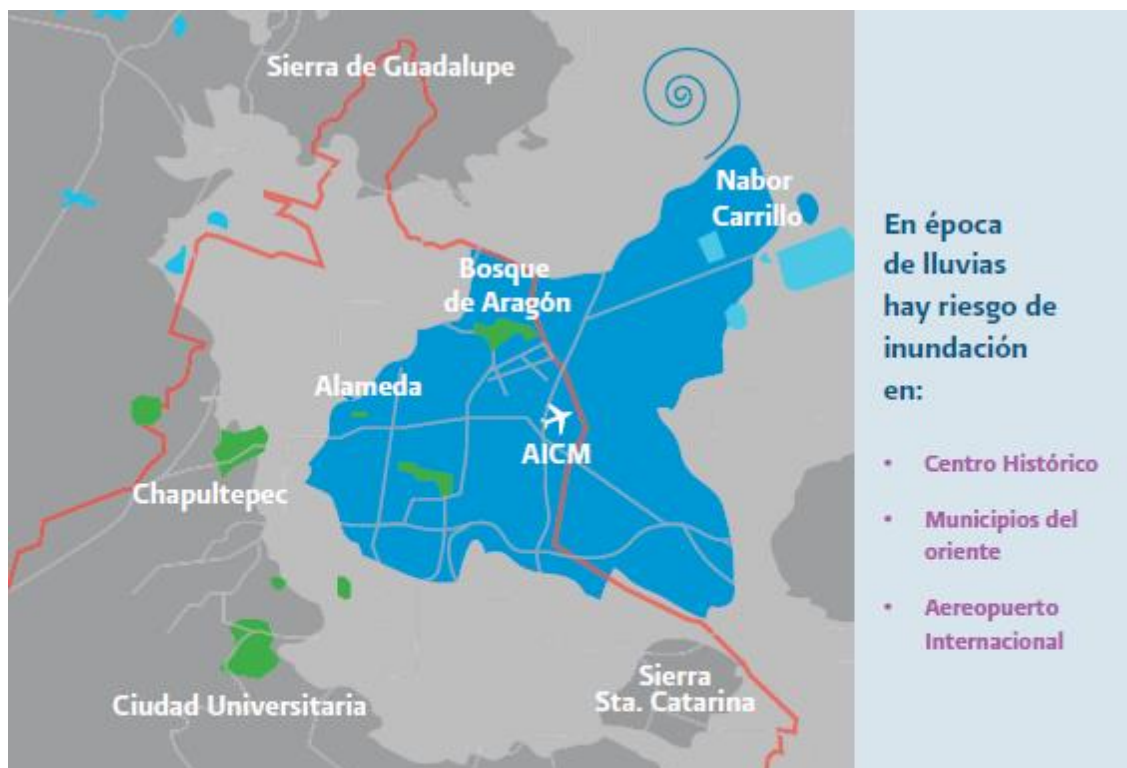


Figura 3. Zona susceptible (en azul) de inundación ante una inminente falla en el Sistema de Drenaje del Valle de México.

Esta posible situación paralizaría actividades políticas y económicas no sólo de esta ciudad, sino del país en general.

Para eliminar la posibilidad de que esta condición catastrófica llegara a presentarse, además de realizar las labores de inspección y reparación del Túnel Emisor Central, es necesario incrementar en 150 metros cúbicos sobre segundo la capacidad de desalojo total y garantizar la posibilidad de llevar a cabo las labores de mantenimiento que año con año requiere el drenaje profundo.

De hecho, ya en épocas recientes, ha habido inundaciones de consideración, generadas por los cambios en los patrones de lluvia.

El alto riesgo de inundaciones en la zona metropolitana del valle de México, con enormes consecuencias económicas, políticas y sociales obligaron a poner en marcha la Ingeniería y la construcción de la infraestructura de drenaje identificada en el Programa de Sustentabilidad Hídrica del Valle de México. Las fuentes de financiamiento para estudios, proyectos y obras provienen, fundamentalmente, de recursos federales y de recursos del Fideicomiso 1928 "para apoyar el proyecto de saneamiento del Valle de México".

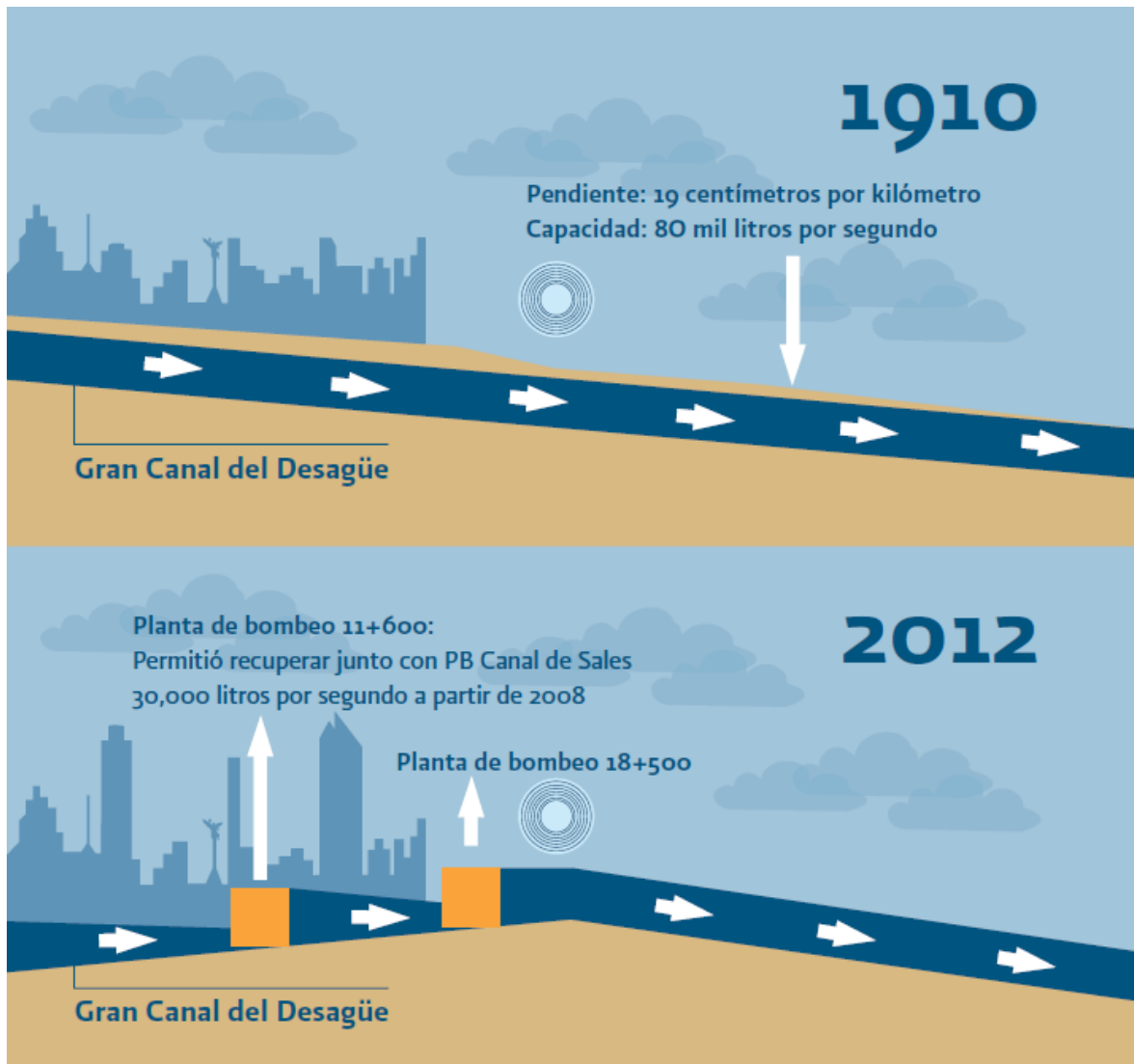


Figura 4. Pérdida de pendiente y capacidad del Gran Canal de Desagüe (ejemplo).

## 2.2. Infraestructura reciente.

Las obras mencionadas en el presente trabajo, todas ellas igual de importantes, forman parte del Sistema Troncal de Drenaje Primario del Valle de México. Sin embargo, para resolver la problemática del Sistema de

Drenaje, asociada a la capacidad de regularización y de emisión, se ha concebido algunas obras complementarias (por mencionar algunas de ellas):

- La construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO), bajo convenio con la Gerencia de Estudios de Ingeniería Civil de la Comisión Federal de Electricidad se desarrolló la ingeniería básica con base en la cual se formalizó un contrato para proyecto y construcción de un túnel de 62 kilómetros de longitud y 7 metros de diámetro, con capacidad para conducir 150 metros cúbicos sobre segundo y 25 lumbreras para construcción, y posterior operación del TEO, incluida la L0 que corresponde con la L2 del Túnel Interceptor Río de los Remedios.

- La construcción de nuevas lagunas de regulación, además del dragado y rehabilitación de las presas y lagunas existentes, entre otras, se construyeron la presa La Gasera, las lagunas de regulación Casa Colorada Profunda y El Fusible y se dragaron y rehabilitaron las presas del Poniente, Vaso El Cristo, Carretas y Fresnos así como también la Laguna Churubusco. La capacidad de regulación actual asciende a 14.7 millones de metros cúbicos.

### *2.2.1. Túnel Emisor Oriente.*

La Zona Metropolitana del Valle de México es el centro político y económico del País, con una alta concentración de población, sus aguas residuales se descargan en la cuenca del Río Tula, parte de ellas son utilizadas para la agricultura.

En la actualidad su infraestructura es insuficiente para proporcionar los servicios, el Emisor Central es el único conducto principal por el que pueden salir las aguas del Valle de México, y a causa del hundimiento regional en la Ciudad de México, el Gran Canal del Desagüe ha perdido pendiente hidráulica y parte de su capacidad de desalojo (vid. Infra. Fig. 4).

Por el peligro que corren el orden social, la economía, los servicios públicos, la salubridad, la seguridad y el medio ambiente, y por la posibilidad de provocar pérdidas o costos adicionales importantes en la Zona Metropolitana del Valle de México ante una posible inundación provocada por la falla del Túnel Emisor Central, en 2007 con más de 15 años sin ser inspeccionado, se estableció una condición de fuerza mayor, requiriéndose un nuevo drenaje profundo: el Túnel Emisor Oriente (TEO), que permitirá conducir 150 metros cúbicos sobre segundo, correspondientes con el déficit de infraestructura de emisión que se tenía en ese año.

Cabe recordar que el incremento en capacidad en 30 metros cúbicos sobre segundo que se dio en el año 2008, por la construcción de las obras de emergencia, es sólo de carácter temporal, permitiendo la inspección y mantenimiento del sistema de drenaje profundo durante el estiaje, en tanto se concluye el TEO.

El TEO trabajará por gravedad y recibirá las aguas residuales y pluviales provenientes de los túneles Interceptor Oriente y del Interceptor Río de los Remedios, cuyos caudales confluirán en lo que se denomina Lumbrera 0 del TEO. Es aquí desde donde se concibe el TEO hasta el municipio de Atotonilco de Tula, en el Estado de Hidalgo, con más de 150 metros de profundidad en el cruce con la sierra de Guadalupe (lumbrera 20).

Junto con el Túnel Emisor Central, conducirá las aguas residuales de la ciudad de México a la PTAR Atotonilco para el tratamiento y reúso de hasta 35 metros cúbicos sobre segundo. Los excedentes en lluvia, serán vertidos hacia el río Tula (actualmente se trabaja en la revisión y rectificación del río Tula para dar una capacidad de emisión máxima de hasta 400 metros cúbicos sobre segundo).

Debido a la insuficiencia del drenaje profundo y a la falta de un sistema alternativo, es inminente una catástrofe de grandes magnitudes y para disminuir ese riesgo es necesario implementar acciones oportunas así como construir las obras necesarias, entre estas la construcción del Túnel Emisor Oriente (TEO).

Al construir el Túnel Emisor Oriente como drenaje complementario al Emisor Central, amplía la capacidad de desagüe del Valle de México y permitirá realizar los trabajos de mantenimiento necesarios en ambos drenajes y así tener una adecuada operación del sistema.

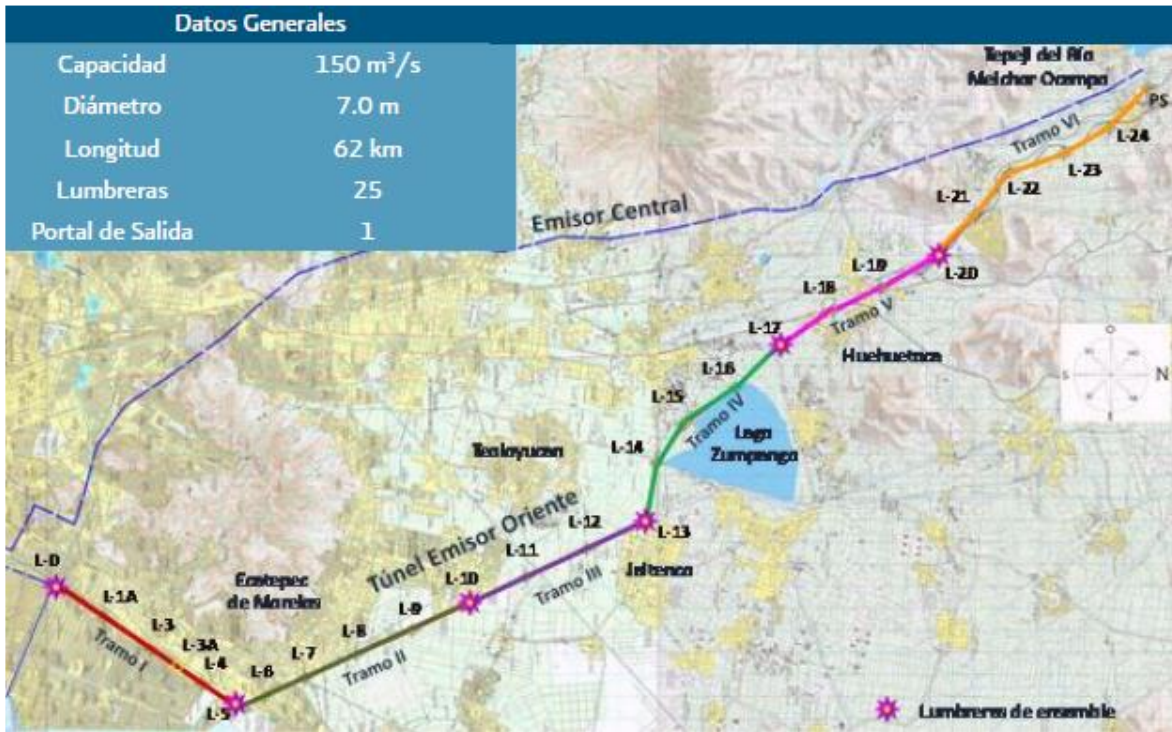


Figura 5. Trazo del Túnel Emisor Oriente.

El Proyecto comprende la construcción del Túnel con un diámetro terminado de 7m y una profundidad de 32 a 150 m; 23 Lumbreras, con un diámetro interior de 12 y 16 m y el Portal de Salida sobre el río El Salto (Fig. 5 y 6), las lumbreras servirán para maniobras de montaje de las máquinas tuneladoras y para servicio durante la operación. La longitud total del túnel es del orden 61.3 km; la excavación y la colocación del soporte primario a base de dovelas de concreto prefabricadas será realizada con máquinas tuneladoras.

El primer tramo en este proyecto, es paralelo al trazo del Gran Canal del Desagüe, que inicia en la Lumbrera 2 de Túnel Interceptor Río de Los Remedios en los límites del Distrito Federal con el Estado de México; el trazo

se mantiene paralelo y dentro del derecho de vía del Gran Canal, hasta las proximidades con la Laguna de Zumpango, el trazo continua hacia el norponiente en los límites de dicha laguna y posteriormente en dirección hacia el norte a la misma zona donde descarga el Emisor Central en el Estado de Hidalgo.

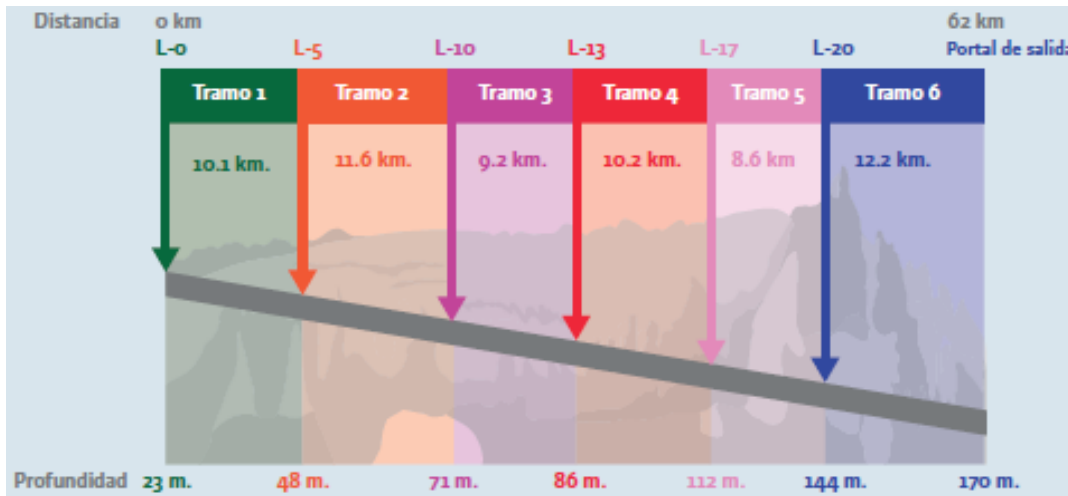


Figura 6. Perfil de longitudes y profundidades (sin escala) a lo largo de la excavación del Túnel Emisor Oriente.

### 2.2.2. Sistema Río de la Compañía.

Ante la problemática que ha representado el canal Río de la Compañía y la ruptura de sus bordos en el tramo que va del cruce con la autopista México-Puebla a la carretera federal México-Puebla, el Gobierno Federal junto con el Estado de México, emprendieron las acciones para el control de avenidas sobre el Río de la Compañía, para evitar las inundaciones y proceder al retiro de los bordos del tramo conflictivo.

Se concibió una solución integral, más segura y duradera (vid. Supra Fig. 7), consistente en un sistema de presas para el control de los escurrimientos, aguas arriba de la confluencia de los ríos San Francisco y San Rafael, un túnel que permite conducir las aguas pluviales y residuales en el tramo conflictivo entre la autopista y la carretera federal México-Puebla, además de las obras de captación del agua proveniente por el río mismo



y de los municipios colindantes al túnel, así como una planta bombeo que permite elevar el agua del túnel al tramo de río donde éste ya no presenta problemas por los bordos.

Como complemento a estas obras, se lleva a cabo la construcción de un colector sanitario (vid. Supra Fig. 8 y 9) que permitirá durante las épocas de estiaje conducir las aguas negras sin bombeo, retirar los bordos del canal para eliminar los hundimientos diferenciales y posibilitar el mantenimiento del túnel. Este nuevo colector se conoce como Ducto de Estiaje.

De las obras identificadas en este sistema de drenaje son las siguientes:

- Un túnel de 5 metros de diámetro interior y casi 7 kilómetros de longitud, a una profundidad aproximada de 20 metros con capacidad para conducir hasta 40 metros cúbicos sobre segundo.
- Una planta de bombeo con capacidad de 40 metros cúbicos sobre segundo, que eleva 35 metros el agua conducida por el túnel hasta el canal Río de la Compañía, donde este ya no presenta problemas de asentamientos y, en consecuencia, de rompimiento de bordos, para llevarla por gravedad hasta su salida del Valle de México o regulación en el Lago de Texcoco. La planta de bombeo se integra por una lumbrera de rejillas y dos cárcamos de bombeo, con un total de 16 bombas de 2 metros cúbicos sobre segundo cada una y ocho bombas de 1 metro cúbico sobre segundo cada una, estas últimas permiten manejar el caudal base, accionadas por motores de 1000 y 500 caballos de fuerza cada uno respectivamente, además de las obras auxiliares y de edificación, como son los centros de generación con diez moto generadores de 2,500 Kilowatts de potencia nominal cada uno, oficinas administrativas y de control, así como equipos auxiliares (rejillas, compuertas, agujas y grúas). Esta planta de bombeo es accionada con energía eléctrica para un caudal de hasta 8 metros cúbicos sobre segundo que corresponde con el caudal base máximo extraordinario de aguas negras, aunque el respaldo de moto generación es para el 100 por ciento de la capacidad instalada.

- Un total de diez obras de captación al túnel. Las captaciones Ayotla Oriente y Darío Martínez se construyeron en dos etapas, manteniendo el bombeo hasta haber suspendido el flujo en el río, a fin de no poner en mayor riesgo la estabilidad de los bordos.
  
- La Presa de Regulación La Gasera, ubicada en la confluencia de los Ríos San Francisco y San Rafael, con capacidad de 800 mil metros cúbicos, para almacenar hasta un 55 por ciento del volumen producido por lluvias con periodos de retorno de hasta 100 años y desfogue controlado a no más de 30 metros cúbicos sobre segundo hacia el río en la parte baja. En 2010, se llevaron a cabo las obras de ampliación de 250 mil a 800 mil metros cúbicos.



Figura 7. Sistema de obras de drenaje del oriente-sur del Valle de México.

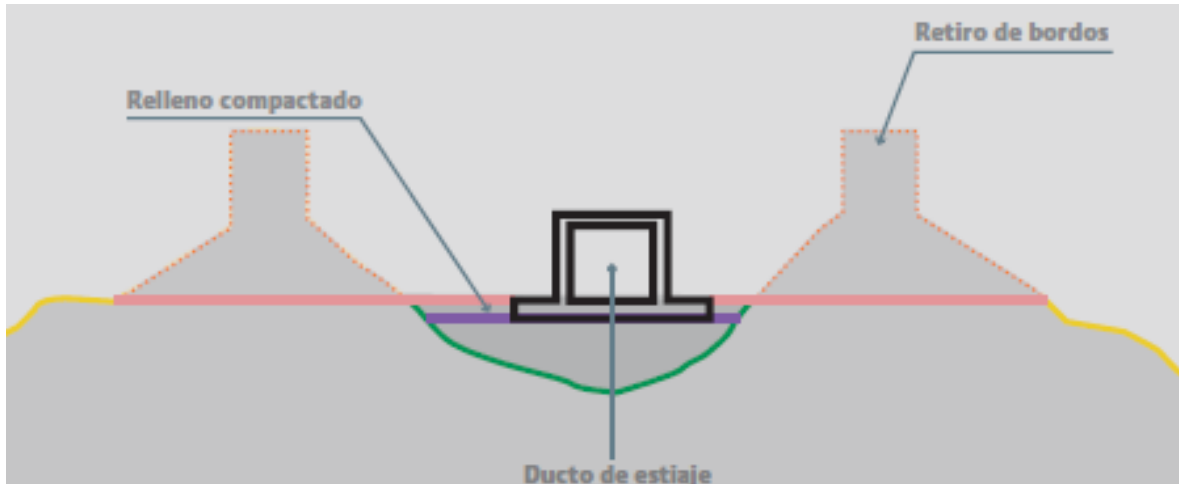


Figura 8. Croquis de retiro bordos y Ducto de Estiaje.



Figura 9. Colector sanitario Ducto de Estiaje y bordos retirados.

Las anteriores obras se encuentran bajo un protocolo de operación adecuado y de control de basura y sólidos, que permiten evitar flujos a través del cauce del río donde está construido el Ducto de Estiaje (en naranja) y, en consecuencia, daños a los bordos aún existentes que, de cualquier manera, deben ser retirados, pues se

encuentran actualmente en inminente inestabilidad. Este retiro de bordos se ejecuta conforme avanza la construcción del Ducto de Estiaje, que forma parte de la solución integral.

### *2.2.3. Problemática de la Laguna Churubusco.*

Debido a la creciente población de la zona urbana del Valle de México se tiene la problemática del suministro de agua potable así como el desalojo de las aguas residuales y pluviales básicamente de las comunidades en expansión como son: Atenco, Acolman, Papalotla y Texcoco. Cabe mencionar que debido a la falta de infraestructura, dichas aguas permanecen reguladas en las zonas bajas cercanas a la actual zona federal del lago de Texcoco.

Se pretende rehabilitar y rectificar la infraestructura de la Laguna de Regulación Churubusco y de los drenes: de Interconexión y Xochiaca, así como la construcción de Estructura de Control, las cuales se encuentra en una zona federal, y así poder contar con este vaso regulador en temporada de lluvias para evitar inundaciones en el Valle de México.

El conjunto de obras (Fig. 10) que se requirieron proyectar fue el denominado "Dragado de azolve y rectificación de la Laguna de Regulación Churubusco, Dren de Interconexión, Dren Xochiaca de la estructura de control a Dren General del Valle y construcción de Estructura de Control".



Figura 10. Localización del conjunto de obras complementarias al Dragado de la Laguna Churubusco.

### 3. Dragado de la Laguna Churubusco y construcción de Estructura de Control.

#### 3.1. Dragado.

##### 3.1.1. Marco de referencia.

La profundidad es el elemento básico de la infraestructura portuaria. La profundidad exige un mantenimiento cuidadoso, todos los materiales que se depositan en el fondo deben ser retirados para disponer de las profundidades de proyecto en forma continua.

Los trabajos de dragado para retirar los materiales que se depositan, **los azolves**, representan para algunos puertos o proyectos, inversiones sumamente cuantiosas, es por ello que la Ingeniería Portuaria dé mucha atención al estudio de los fenómenos que producen los azolves y a las soluciones para evitarlos o reducirlos y, en su caso, para encontrar los procedimientos más eficientes para retirarlos.

##### 3.1.2. Clasificación del dragado.

Se entiende por dragado a la extracción de materiales (fango, arena, grava, etc.) del fondo del mar en los puertos, así como en ríos, canales navegables y lagos o lagunas con el fin de aumentar la profundidad descargando estos azolves en las zonas de depósito, que pueden ser en agua, o utilizarlos en el relleno de áreas bajas, para asiento de instalaciones industriales y de urbanización o simplemente para sanear terrenos pantanosos que originan condiciones insalubre en algunas localidades.

Las operaciones del dragado deben cumplir una doble función:

- Extraer el material y
- Conducirlo hasta el lugar de descarga.

Y existen dos tipos de dragados, a saber:

- El de construcción y
- El de conservación.

El dragado de conservación, se efectúa con la finalidad de retirar los azolves que originan corrientes, marejadas, acarreo litorales y pluviales, etc. Este puede ser periódico o permanente.

### 3.1.3. Aprovechamiento del material dragado.

La información obtenida durante los trabajos de campo y laboratorio debe permitir tanto la elección de las herramientas de corte o disgregación, como las del equipo de remoción y transporte. Adicionalmente, debe definirse si el producto del dragado es apropiado para formar un relleno.

El material que se ha removido en un proyecto de dragado puede ser utilizado como relleno para agregados pétreos en la elaboración de concreto, para pavimentos, dependiendo de sus características.

Cuando se emplea como relleno, previamente a su colocación deben considerarse, en caso necesario, bordos de contención a base de arcilla debidamente colocada y compactada con la altura necesaria para contener el material debiendo prever el drenaje para conducir los finos en suspensión. Debe prevenirse la remoción de suelos vegetales y lodos en la superficie donde se vaciará el relleno, así como la existencia de materiales compresibles o licuables bajo la zona, observando la posibilidad de construir futuras instalaciones sobre ellos.



En general los materiales granulares son adecuados para la construcción de rellenos llevando un control eficiente de la compacidad relativa principalmente si se contemplan construcciones sobre el área por otro lado los suelos granulares Generalmente limpios de finos durante la extracción por succión pueden ser empleados como agregados pétreos una vez verificada su granulometría y sometidos a un proceso de lavado los materiales finos no son recomendables como relleno debido a su deformabilidad es práctica común colocar este tipo de materiales Mar adentro o en zonas que no se requerirán a corto plazo.

Al primer grupo pertenecen las de *Cangilones* o de *Rosario*, las de grúa (con almeja, granada o garfios) y las de cucharón. Todas estas podemos considerarlas.

### 3.2. Objetivo del Dragado de la Laguna Churubusco.

El Gobierno Federal y la Comisión Nacional del Agua, han decidido mejorar las condiciones de operación hidráulica de la zona Federal del Lago de Texcoco, para lo cual desarrolló el proyecto ejecutivo citado con objeto de permitir la flexibilidad operativa necesaria para la viabilidad de la zona metropolitana del Valle de México.

Se desarrolló el modelo matemático para la simulación hidrodinámica de la zona, concluyendo que sería necesaria la ampliación de la capacidad de regulación del sistema, y combinando los resultados de la exploración geotécnica en el área de estudio, se determinó que la forma de ampliar la capacidad de regulación del vaso sería mediante la excavación mecánica de las estructuras hidráulicas, con los niveles de rasante expresados en los planos, así como las secciones transversales de los conductos que los comunican.

Básicamente la obra consistió en dragar la laguna Churubusco ubicado dentro de la Zona Federal del Lago de Texcoco, Edo. Méx. (vid. infra. Fig. 11) y cercana a la actual construcción del NAICM a aproximadamente 6 km, disponiendo el material dragado en zonas localizadas justo en los alrededores de la laguna llamadas *tarquinas*, delimitadas con bordos hechos de material tepetate sobre material tezontle para el drenaje del material dispuesto.

En cuanto a la laguna (dividida en dos áreas por medio de un *bordo divisorio* con una corona de ancho de 6 m), al tiempo que fue dragada, se construyó la Estructura de Control en la parte sur de este bordo divisorio para regular los niveles de agua en ambas partes de la laguna

Esto con el fin de aumentar la capacidad de captación de agua pluvial, del gasto pico en temporadas de lluvias, y abatir las posibles inundaciones en la zona.

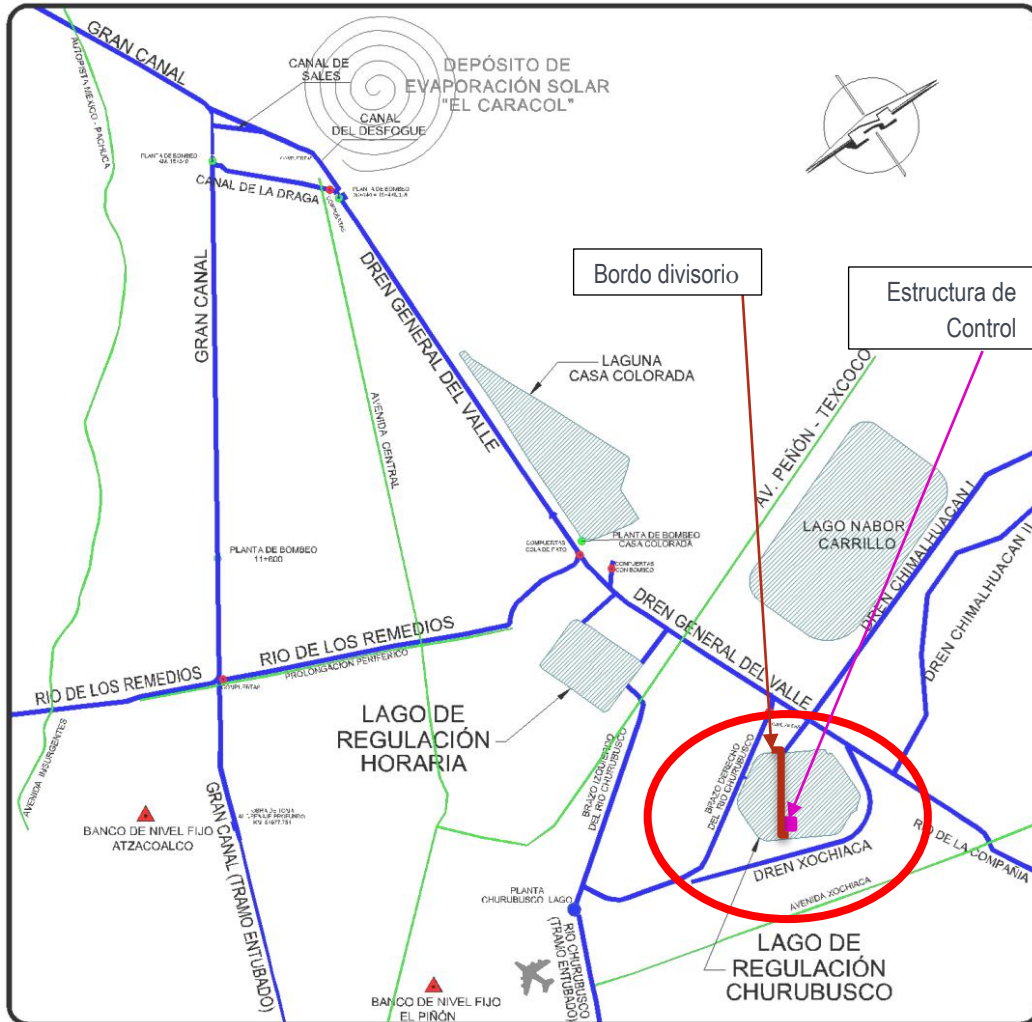


Figura 11. Localización de las lagunas de regulación en el contexto del sistema de regulación del desagüe de la Ciudad de México.

El proyecto pretende incrementar el volumen de regulación de las lagunas existentes, razón por la cual fue necesario habilitar zonas de tiro (o tarquinas) para depositar el material dragado generado del desazolve, rectificación y ampliación de las lagunas.

Las características generales del proyecto hidráulico geométrico del desazolve, rectificación y ampliación de las lagunas de regulación Churubusco y Horaria relacionadas con su comportamiento geotécnico son esencialmente la geometría de los bordos de las lagunas y de las tarquinas correspondientes, así como el comportamiento hidráulico del sistema.

## 4. Estructura de Control.

Una estructura de control (hidráulicamente hablando), se define como una obra de ingeniería civil que permite el paso controlado de un flujo de agua; ya sea que se construya en un vaso o reservorio para la continuación del flujo hacia el caudal de un río o a la mitad de un canal de riego.

Para la literatura especializada en el tema de construcción de obras hidráulicas, al hablar de *estructuras hidráulicas de control*, esta se enfoca más al estudio de las compuertas y al diseño de canales, englobándolos en este tópico. Siendo así, se dará una breve definición del tipo de compuertas que se ha utilizado para la mencionada estructura de control dentro de la obra constructiva citada en este trabajo escrito.

### 4.1. Compuertas de elevación vertical.

En ciertas instalaciones de proyectos hidráulicos, es frecuente la necesidad de cerrar el paso del agua por medio de tableros de forma rectangular, cuyos ambos lados se apoyan en ranuras. Lo común es que las superficies de apoyo de estos tableros sean verticales. Las compuertas deslizantes tienen apoyo continuo, en todo su contorno, sobre guarnición fija, y son las que más garantía tienen de impermeabilidad.

Las compuertas (de planas elevación vertical), diseñadas como una celosía, viga cajón, una rejilla de vigas y rigidizadores horizontales y verticales, o una placa de acero de plancha única, pueden constar de una sección simple o doble (o incluso más partes pueden estar involucradas en el cierre de aberturas muy altas); en caso de flujo por encima de la compuerta, ésta puede tener una compuerta abatible adicional. Las compuertas pueden tener soportes deslizantes o con ruedas. En el último caso pueden emplearse ruedas fijas (el tipo más

frecuente), orugas o un tren de rodillos (compuerta Stoney); para ruedas fijas su espaciamiento se reduce cerca del fondo. Los sellos de las compuertas son de madera, platina de acero o un caucho de forma especial.

#### 4.2. Objetivo de la Estructura de Control en la obra "Dragado de Laguna de Churubusco".

A partir del mes de marzo de 2015 se inició la construcción de la Estructura de Control, dentro de los trabajos de la obra antes denominada "Dragado

La Estructura de Control, como ya se mencionó anteriormente, será una estructura que permita controlar los niveles de ambas partes de la Laguna Churubusco, con la finalidad de permitir un desalojo controlado de las aguas pluviales y de drenaje a medida que se vayan captando (especialmente en la temporada de lluvias).

El proyecto de desazolve y ampliación de la laguna de regulación Churubusco contempla la división de ésta en las fracciones oriente y poniente, mediante un bordo que la cruza en dirección norte-sur; la laguna recibirá el caudal de regulación por el nororiente proveniente del Dren Xochiaca y será evacuado por el norponiente a través del brazo derecho del río Churubusco, la ubicación de la Estructura de Control en el contexto de la Laguna se muestra en la Figura 12.

Puesto que los canales mencionados se ubican en la parte norte de la laguna, se considera que podrían comunicarse sólo en dicha zona, provocando que los sedimentos se precipiten cerca tanto de la salida como de la entrada, por lo que gran parte del resto de la laguna perdería su función de regulación; en vista de esto, se implementarán algunas medidas que obliguen al paso del agua por toda la laguna y por ende es imprescindible la construcción de la estructura de control.

Se contempla la construcción de una estructura de control y un puente vehicular ubicadas sobre el bordo divisorio de la laguna de regulación Churubusco como se muestra en la Figura 12, mientras que en las Figuras 13 y 14 se presentan un croquis del proyecto hidráulico.

El puente tendrá un ancho de calzada de 3.40 m, mientras que la estructura de control estará constituida por tres compuertas deslizantes de 1.85 m de ancho; además, el conjunto contará con muros deflectores para guiar el agua hacia las compuertas y fuera de la estructura hacia el lago.

La profundidad de desplante de la estructura de compuertas será de 4.3 m con respecto al nivel de la corona del bordo divisorio

Tabla 1. Elementos que conforman la Estructura de Control (JEAN INGENIEROS S.C., 2014).

ELEMENTOS	ESTRUCTURACIÓN
<b>Cimentación</b>	Losa de cimentación de concreto reforzado de 50 cm de espesor.
<b>Muros de concreto externo</b>	Muros de concreto de 50 cm de espesor, doblemente reforzados.
<b>Muros de concreto intermedios</b>	Muros de concreto de 40 cm de espesor, doblemente reforzados.
<b>Losa tapa</b>	Losa maciza de 20 cm de espesor de concreto reforzado.



Figura 12. Localización de la Estructura de Control en la Laguna Churubusco.

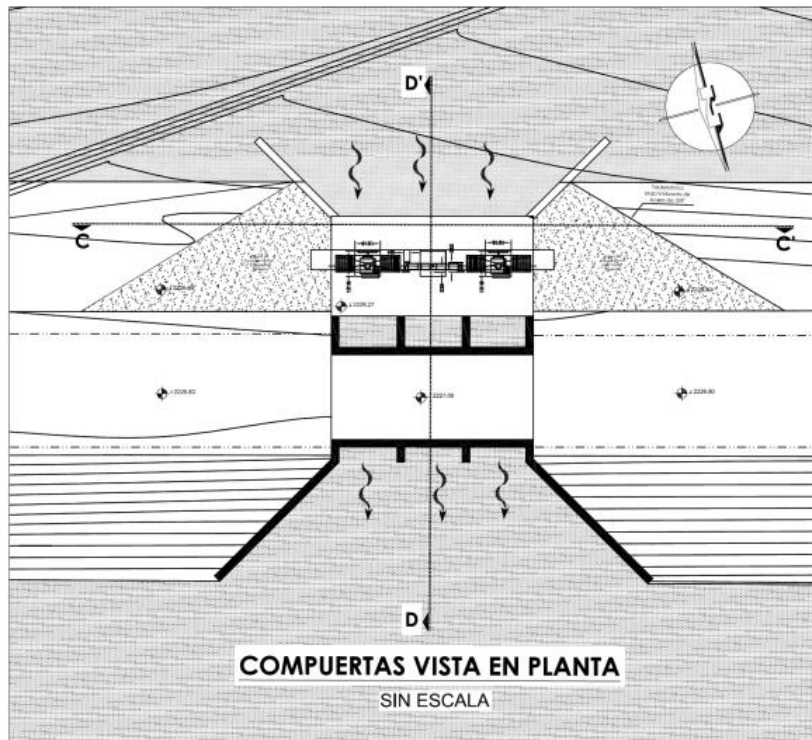


Figura 13. Vista en planta de la Estructura de Control.



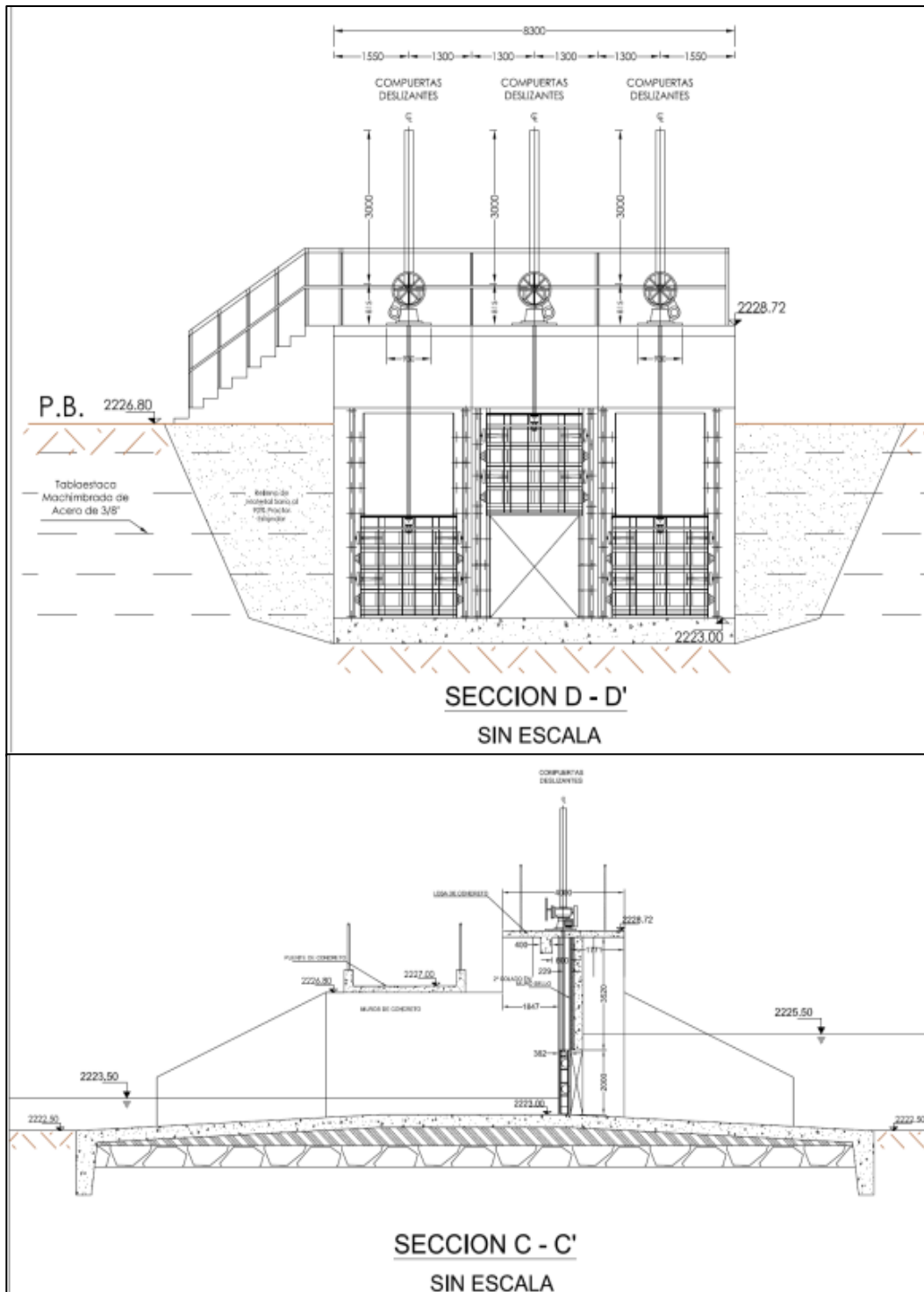


Figura 14. Secciones en elevación de la estructura de control y puente vehicular.

#### 4.3. Problemática abordada en la cuantificación de la Estructura de Control.

A partir del mes de marzo de 2015 se inició la construcción de la Estructura de Control, dentro de los trabajos de la obra antes denominada "Dragado de azolve y rectificación de la Laguna de Regulación Churubusco, Dren de Interconexión, Dren Xochiaca de la Estructura de Control a Dren General del Valle y construcción de Estructura de Control".

Para esto se dio, al área técnica, los planos y el procedimiento constructivo para la cuantificación de dicha estructura y conformarla para la estimación de obra a cobrar previa autorización de la Supervisión de Obra. Al tiempo de tratar de justificar gráficamente con bocetos cortados y pegados del plano en 2D de la Estructura de Control en generadores de obra en el software de hoja de cálculo Excel de Microsoft, y mediante sumas y restas e interpretaciones mentales y tridimensionales de figuras bidimensionales, no se consiguió (tras varios intentos y revisiones) llegar a la cantidad de volumen de contrato de 365.64 m<sup>3</sup> de concreto reforzado.

Se decidió entonces hacer la comprobación de volumen de la Estructura de Control mediante la conformación tridimensional de la misma a través del software AutoCAD para comprobar si existía algún problema en la interpretación de los planos en 2D o si realmente era un problema de dibujo en el plano dado.

Cuando se completó el modelado en 3D de la Estructura de Control, se observó que efectivamente no coincidía la cantidad de contrato del concreto estructural al que indicaba en el catálogo de conceptos de la obra.

Se comprobó entonces que el modelado (demostrado más adelante) arrojaba una cantidad de 242.75 m<sup>3</sup>, que sumado además un 5% de desperdicio resultaba en 263.71 m<sup>3</sup>, esto es una diferencia de 101.93 m<sup>3</sup>, esto equivale a cerca del 28% de concreto faltante.

#### 4.4. Hipótesis formuladas.

A partir de esta solución dada, se plantean las siguientes hipótesis:

- Es necesario cuantificar los materiales (según apliquen) a través de algún software de interpretación en 3D para saber exactamente cuánto material se utilizará.
- La cuantificación usando la tecnología en 3D de muchas de las estructuras construidas con concreto reforzado tienen menor margen de error que las cuantificadas a partir de planos en dos dimensiones.
- Es suficiente realizar el o los planos de alguna estructura solo en 2D para su presentación en el proyecto ejecutivo.

Cabe aclarar que, con el estudio de este breve caso a modo de ejemplo, se pretende explorar el uso de esta herramienta en el área laboral de la ingeniería civil.

## **5. Tecnología BIM (Building Information Modeling).**

### *5.1. Definición de BIM.*

La evidente adopción de las tecnologías BIM en el sector de la construcción a nivel mundial, han derivado en una serie de definiciones sobre ¿qué es BIM?, cada una de estas de acuerdo a los diferentes puntos de vista de los actores involucrados en su uso, evolución y expansión, tales como las compañías dedicadas al diseño y construcción de obras civiles, compañías dedicadas al desarrollo de programas computacionales (software) de aplicación BIM, y las instituciones académicas interesadas en la enseñanza y capacitación de esta herramienta tecnológica.

La compañía Autodesk dedicada al software de diseño en 2D y 3D, desde su creación en el año 1982, define en su sitio web a BIM como “un modelo inteligente basado en procesos que proporciona una visión de los proyectos de construcción e infraestructura desde su creación hasta su gestión, más rápida, económica y con un menor impacto ambiental”. Por otra parte reseñan que los programas BIM de Autodesk incluyen una amplia gama de soluciones para el diseño, visualización, simulación y colaboración, que utiliza toda la información importante del modelo inteligente, para facilitar la toma de decisiones y resolver conflictos del proceso para mejorar el negocio.

Por otro lado la guía BIM de Singapur elaborada por la BCA (The Building and Construction Authority), dependencia del ministerio de desarrollo nacional encargada de garantizar la excelencia del entorno construido en ese país, define BIM como una colección de usos, flujos de trabajo, metodologías de modelación para conseguir información específica y segura de un modelo determinado, entendiendo modelo como “representación digital basada en objetos y características físicas y funcionales de una instalación. El modelo

como tal, sirve como una fuente de conocimiento compartido para obtener información sobre una instalación que forma una base fiable para decisiones durante su ciclo de vida desde el inicio en adelante".

Al igual que la guía elaborada por la BCA de Singapur, el departamento de diseño y construcción de la ciudad de Nueva York elaboró en el año 2012 un documento titulado "BIM guidelines" (directrices de BIM), el cual define BIM como "una colección digital de aplicaciones de software diseñadas para facilitar la coordinación y colaboración en proyectos. BIM también se puede considerar como un proceso mediante el cual se desarrolla la etapa de diseño y construcción virtualmente en una computadora, antes de realizar esta en la realidad.

Si bien son numerosas las definiciones que han surgido de acuerdo a su uso, adecuación y manejo en los diferentes sectores de la rama de la construcción todas ellas van encaminadas a describir una metodología de trabajo que se basa en el modelo paramétrico de edificios, con el uso de programas computacionales que además de proporcionar elementos gráficos, como el modelo, permite obtener información técnica de los mismos y realizar control de los procesos, incluso antes de su ejecución.

#### 5.1.1. BIM en la Industria de la construcción.

Tradicionalmente la colaboración entre las diferentes disciplinas del sector de la construcción (arquitectura, ingenieros diseñadores, ingenieros constructores, empresas, entidades gubernamentales y clientes) que hacen parte de todas las etapas de un proyecto ha girado en torno al intercambio de dibujos y documentos en dos dimensiones (2D). El principal problema de trabajar de esta manera, es que se generan una gran cantidad de representaciones de un mismo modelo, inconexas e independientes entre sí, producto de cada una de las disciplinas de diseño que intervienen en un proyecto de construcción, por lo tanto cualquier modificación realizada en un componente no se refleja en el resto del proyecto. Esto se traduce en una considerable pérdida de la eficiencia y productividad de las actividades mismas del proceso constructivo.

La industria de la construcción es una de las industrias que evoluciona más lentamente; otras ya se sumaron a la evolución tecnológica y emplean en sus procesos de diseño, cálculo, simulación y fabricación, programas computacionales basados en sistemas paramétricos tipo CAD<sup>1</sup>, CAM<sup>2</sup>, CAE<sup>3</sup> siglas de diseño asistido por computadora (CAD), fabricación asistida por computadora (CAM) e ingeniería asistida por computadora, como son la aeronáutica, el sector automotriz y el diseño industrial. Mediante estos procesos de diseño se crean antes de su fabricación prototipos virtuales, que permite observar y hacer simulaciones del modelo tridimensional completo, con toda la información asociada, en el ordenador, antes de que se haga realidad. De igual manera la industria de la construcción tiene diferencias importantes respecto a otros sectores industriales, entre ellas y la más destacable es la producción in situ frente a la producción en serie del resto de las industrias. Cada obra se concibe como un proyecto de características únicas y como tal debe organizarse en torno a un proceso de producción específico, donde todos los participantes promotores, proyectista, constructor, industriales y facultativos, se ven involucrados en la construcción de una obra única en un lugar concreto.

Sin embargo en el panorama actual de la industria de la construcción se cuentan con las herramientas tecnologías y metodologías de trabajo para aumentar la eficiencia y productividad del sector. Este es el caso de los programas computacionales que componen el método de trabajo para la construcción mencionado anteriormente como BIM, los cuales principalmente por la resistencia al cambio están siendo poco a poco implementados.

La utilización de BIM en el sector de la construcción se está realizando con mayor fuerza en los Estados Unidos, los países europeos, Singapur, Emiratos Árabes Unidos, India, Hong Kong, Australia y Canadá, como lo demuestran los más importantes informes del sector.

---

<sup>1</sup> Computer-Aided Design.

<sup>2</sup> Computer Aided Manufacturing.

<sup>3</sup> Computer Aided Engineering.

## 5.2. Definición de Realidad Virtual.

Son numerosas las definiciones que se pueden encontrar de lo que significa el término realidad virtual, tantas como investigadores han trabajado en el área, cada uno de ellas basada en su reciente y rápida evolución, lo que la hace un término altamente relativo. Algunas de estas definiciones, sacadas del artículo, la realidad virtual y sus impactos en la industria moderna, de Ivan Santelices Malfanti, son las siguientes:

- Realidad virtual, es la experiencia de tele-presencia, donde tele-presencia es la sensación de presencia utilizando un medio de comunicación.
- Realidad virtual, es una manera mediante la cual los humanos visualizan, manipulan e interactúan con computadoras y datos extremadamente complejos.
- Realidad virtual, es simulación por computadora, dinámica y tridimensional, con alto contenido gráfico, acústico y táctil, orientada a la visualización de situaciones y variables complejas, durante la cual el usuario ingresa, a través del uso de sofisticados dispositivos de entrada, a mundos que aparentan ser reales, resultando inmerso en ambientes altamente participativos, de origen artificial. Una nueva y sorprendente forma de navegar información.
- Realidad virtual, es el medio que proporciona una visualización participativa en tres dimensiones y la simulación de mundos virtuales, siendo dichos mundos el elemento fundamental de un sistema de realidad virtual. La realidad virtual es un entorno generado por computador en el que los participantes pueden entrar físicamente e interactuar con él desplazándose por su interior o modificándolo de cualquier forma. En su forma más simple, un mundo virtual podría estar compuesto por un edificio tridimensional por el que podríamos desplazarnos, aunque sin modificar nada. Sin embargo, con el equipamiento adecuado, los usuarios podrían ver, desplazarse e interactuar a través de estos entornos gráficos generados por computador.

### 5.2.1. Realidad Virtual en México.

La Universidad Nacional Autónoma de México presta servicios de visualización y realidad virtual en el Observatorio Ixtli, cuyo principal propósito es poner a disposición de la comunidad universitaria, entidades públicas y sociedad en general, su infraestructura y recursos humanos especializados en el empleo y desarrollo de ambientes virtuales y visualización científica.

En el observatorio IXTLI de la Universidad Nacional Autónoma de México, se han desarrollado diferentes aplicativos de realidad virtual que están al servicio de los docentes de la institución y de personal externo. En el área de las ciencias, físico-matemáticas y de las ingenierías, han desarrollado diferentes aplicativos de realidad virtual, algunos de ellos, que se encuentran en la página del observatorio son el desarrollo y mejoramiento de la habilidad espacial, lugares geométricos en el espacio cartesiano tridimensional, gravimetría, sismos vulcano-tectónicos, geomática, métodos electromagnéticos, y propagación de ondas sísmicas.

### 5.3. Importancia del modelado 3D en la construcción.

En la industria de la construcción, es reconocido como práctica general que los diferentes diseñadores presenten planos en 2D al equipo de construcción del proyecto. Algunas aplicaciones de modelado en 3D son utilizadas solo con intenciones comerciales, desperdiciando de esta manera las posibilidades que ofrecen las herramientas de visualización avanzadas que facilitan el entendimiento del proyecto, permiten la coordinación de planos de los diferentes especialistas y evitan errores, con alto impacto en los costos en la fase de construcción del proyecto.



En el ejercicio profesional, los arquitectos e ingenieros civiles y de la construcción, se ven enfrentados a comprender proyectos y conceptos representados normalmente mediante planos o gráficos en dos dimensiones. Es claro que la arquitectura y la ingeniería de la construcción son disciplinas que requieren una capacidad avanzada de los profesionales para visualizar espacios y objetos complejos.

Los avances de las tecnologías de información permiten actualmente disponer de herramientas avanzadas para la visualización de proyectos y conceptos gráficos. El modelado virtual de la construcción o BIM<sup>4</sup> y la realidad virtual inmersiva (RVI) facilitan significativamente la capacidad de visualización requerida para comprender proyectos de edificación e infraestructura. Así mismo, les permite adquirir la experiencia requerida para la revisión de los diseños para la planificación y la construcción de proyectos. Igualmente, las técnicas avanzadas de visualización logran que el estudiante participe del proceso de enseñanza aprendizaje de una manera activa.

Los modelos BIM y la realidad virtual pueden aportar al entendimiento de proyectos de construcción, facilitando las fases de planificación y ejecución, mejorando el desempeño final del proyecto, al detectar en fases previas a la construcción incoherencias en la secuencia de construcción, interferencias entre diseños de diferentes especialistas y mejorando la visualización que permita una correcta ejecución del proyecto.

### 5.3.1. BIM para la infraestructura.

El sector de la construcción necesita despertar al hecho de que para prosperar necesita abrazar a BIM para proyectos de infraestructura. A medida que la ingeniería civil basada en modelos crece, y se cruza con las nuevas tecnologías, los nuevos métodos de entrega y los nuevos modelos comerciales, la naturaleza de la industria está cambiando. El grado de colaboración, el tipo de flujos de información, los escenarios de gestión de riesgos y los enfoques de entrega de proyectos alternativos son todas las manifestaciones de este cambio.

---

<sup>4</sup> Por sus siglas en inglés *Building Information Modeling*.

¿Puede una empresa dedicada a la construcción puede sobrevivir sin BIM? Las estadísticas, las tendencias y las exigencias de los propietarios, sugieren que la respuesta es no. Incluso para las empresas que aún no lo han adoptado, cambiarse a BIM puede brindar a estas empresas beneficios sustanciales y duraderos, lo que permite estrategias de diseño e ingeniería más innovadoras y proporciona una ventaja competitiva significativa.

Las encuestas de los profesionales de la infraestructura que ya se han trasladado a BIM enumeran constantemente varios de los principales valores comerciales de BIM, tales como:

- Capacidad para ganar negocios nuevos y repetidos.
- Reducción de errores y omisiones de documentos.
- Reducción de la repetición de trabajos.
- Reducción de la duración y el riesgo del proyecto.
- Atraer jóvenes talentos a la organización.
- Mayores ganancias y costos reducidos.

La buena implementación de BIM también fomenta el uso de la herramienta adecuada en el momento adecuado, es decir:

- Al planificar un proyecto, los participantes pueden aprovechar los datos existentes para crear una comprensión integral del estado tal como está, preparar opciones de diseño e involucrar a las partes interesadas para obtener comentarios a fin de seleccionar la solución más adecuada para llevar adelante.

- Durante el diseño, las opciones preferidas pueden diseñarse completamente; esencialmente construyendo el proyecto en un entorno virtual, desarrollando visualizaciones avanzadas e incluso simulaciones en 3D.
- En la construcción, las oportunidades que ofrece la tecnología BIM incluyen la cuantificación, la ejecución de secuenciación, la configuración desde modelos tridimensionales, la generación de informes basados en el campo y la comparación según se vaya construyendo con el diseño.
- Y para el funcionamiento, BIM puede mejorar y acelerar significativamente la transferencia de datos en los sistemas de gestión de bienes o activos, proporcionar registros de estos activos o bienes coordinados espacialmente para su uso en mantenimiento y garantizar registros de datos completos para su uso en futuras extensiones o modificaciones.

## **6. Cuantificación de obra.**

La cuantificación de obra permite determinar qué, cuántos materiales y de qué tipo se van a requerir para la construcción de cierta obra o proyecto.

No ha cambiado mucho la forma de cuantificación desde entonces, pues la metodología básicamente tiene el mismo esquema, es decir, se toma la información de los planos y se van sumando los materiales por cada tipo conforme se va revisando el proyecto, ya sea para prepararlo y ganar alguna obra en licitación, o bien, al momento de presentar alguna estimación de obra a través de generadores de volumen de cada actividad o procedimiento constructivo para revisar que se vaya realizando de acuerdo al contrato.

Sin embargo, lo que sí ha cambiado han sido las herramientas con las cuales se auxilia en ingeniería para poder cuantificar la obra, dando ventajas muy grandes como ahorro de mucho tiempo y de dinero. Este tipo de herramientas en su mayoría son softwares en los cuales se cargan la información de los materiales, así como también los rendimientos de las diferentes actividades de obra, la maquinaria etc.

Otro tipos de softwares existentes que son de gran ayuda para este fin son aquellos basados en el Dibujo Asistido por Computadora o softwares CAD (por sus siglas en inglés Computer Aided Drawing), en los cuales se dibuja o se proyecta la estructura a construir y posteriormente con sencillos comandos se determinan los volúmenes de obra, como pueden ser la cantidad de acero reforzado o concreto hidráulico, etc.

### 6.1. *Cuantificación de obra a través de interpretaciones bidimensionales.*

Al momento de cuantificar alguna estructura o proyecto, lo más común es realizarlo visualmente a través de los planos del mismo, tanto en papel como en la pantalla de una computadora pero en dos dimensiones. A través

de este procedimiento se va obteniendo el volumen de obra que se va registrando y acumulando, tanto en una hoja de cálculo o en un software de Precios Unitarios, en ambos casos se puede obtener los generadores de volumen para presentar alguna estimación de obra.

Dentro de estas interpretaciones bidimensionales en planos, uno de los errores más comunes para obtener un volumen es al momento de fragmentar cada elemento de la estructura en diferentes figuras geométricas, para multiplicarlas por su grosor o espesor, según lo indique el plano. El proceso se dificulta si estos elementos tienen formas irregulares aún después de fragmentarlos.

Este tipo de cuantificación es la más socorrida pues tiene la ventaja que la información esta "a la mano" en los planos, aunque para obtener la cantidad de material tome más tiempo.

## 6.2. *Corroboración previa del proyecto y corrección posterior usando tecnología BIM.*

Cuando las dependencias gubernamentales deciden promocionar un proyecto en licitación, lo ideal sería que hubiera una exhausta revisión de los conceptos y volúmenes de obra a fin de evitar que algunos de estos falten o sobren.

Pero existen casos dentro de la planeación del proyecto donde por algún error de cálculo, no se llega al volumen que es realmente. Y es ahí cuando esta herramienta de la tecnología BIM debiera usarse para corroborar efectivamente el volumen previamente calculado a través de anchos, largos y grosores de los elementos de la estructura.

También hay casos como el citado en el punto 4.1 de la Estructura de Control donde, durante la construcción y al momento de realizar la requisición y generar los volúmenes de obra, no coinciden con los de contrato. Se

recurre pues a la comprobación (en este caso) al software AutoCAD 3D para confirmar el volumen de concreto y verificar si realmente existe un error en las cantidades de contrato (fuera del porcentaje de tolerancia dentro de la conciliación entre la constructora y la supervisión de obra) o es un error de interpretación bidimensional.

### 6.3. Cuantificación de obra a través de tecnología BIM (estudio de caso Estructura de Control).

El procedimiento que se siguió para obtener el modelado de la estructura de control en 3D fue algo elaborado, puesto que implicaba además colocar elementos como los barandales, escaleras, pasamanos, rejas y rejillas, etc., ya que también se cuantificarían. Para fines ilustrativos de este trabajo escrito, se muestra el simple modelado de la estructura solo con elementos sencillos como el mecanismo de izaje electromecánico y las compuertas para su presentación.

Primeramente se tomó como base el plano de la losa fondo de la estructura de control en AutoCAD.

Se colocó como plantilla (Fig. a) y se alinea con la vista en elevación de la misma estructura para ayudar a proyectar los anchos de los dentellones, los cuales son cuatro externos y dos colados en la losa.

El modelado se inicia dividiendo a la Estructura de control en elementos que puedan crearse en 3D por separado y luego unirlos. Se inicia con la losa de cimentación y los mencionados dentellones (Fig. b), usando el comando EXTRUDE se ingresa la profundidad o largo del elemento sobre la planta del dibujo generando sus volúmenes.

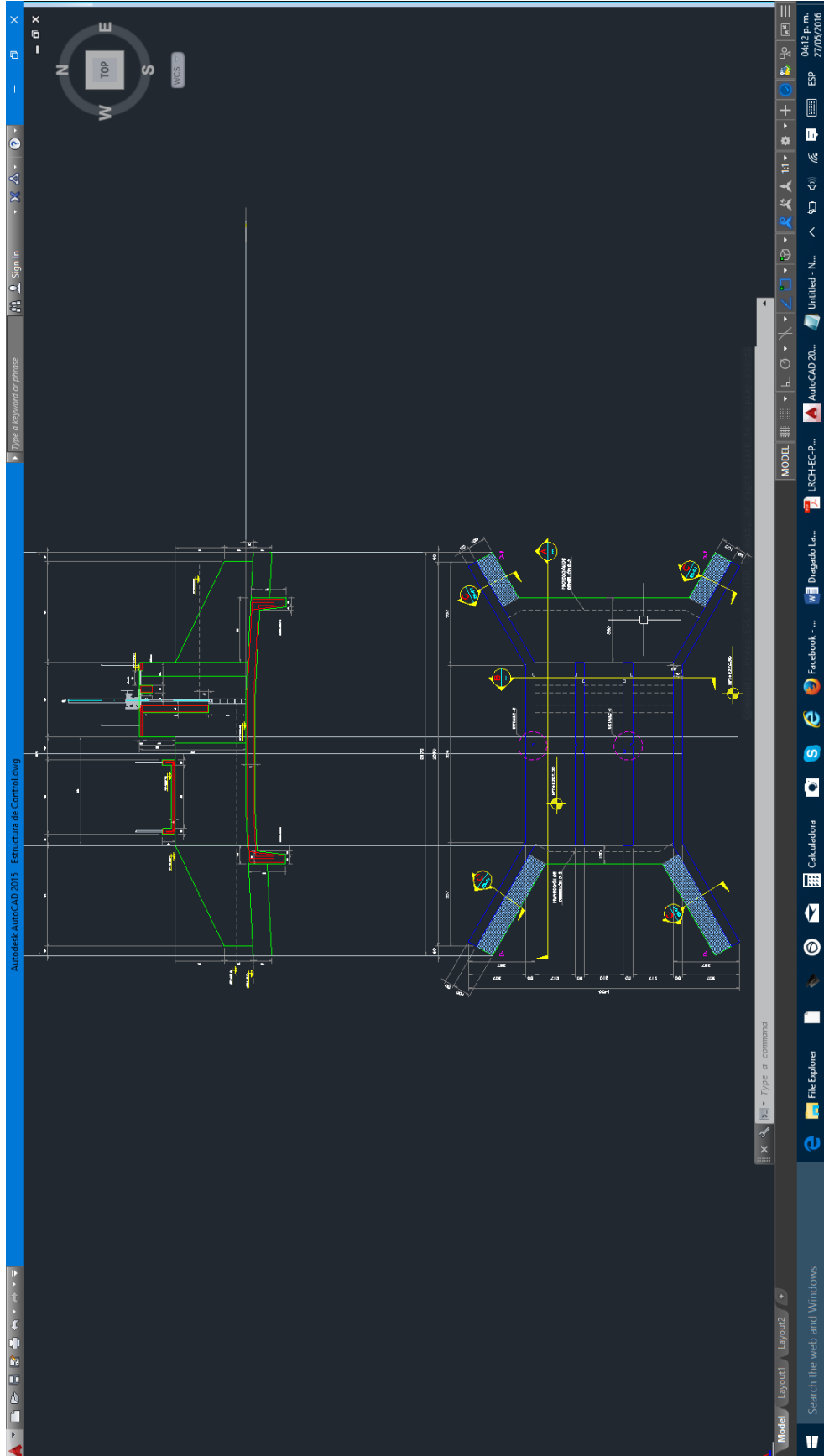


Figura a. Alineación de la vista en planta y en elevación.

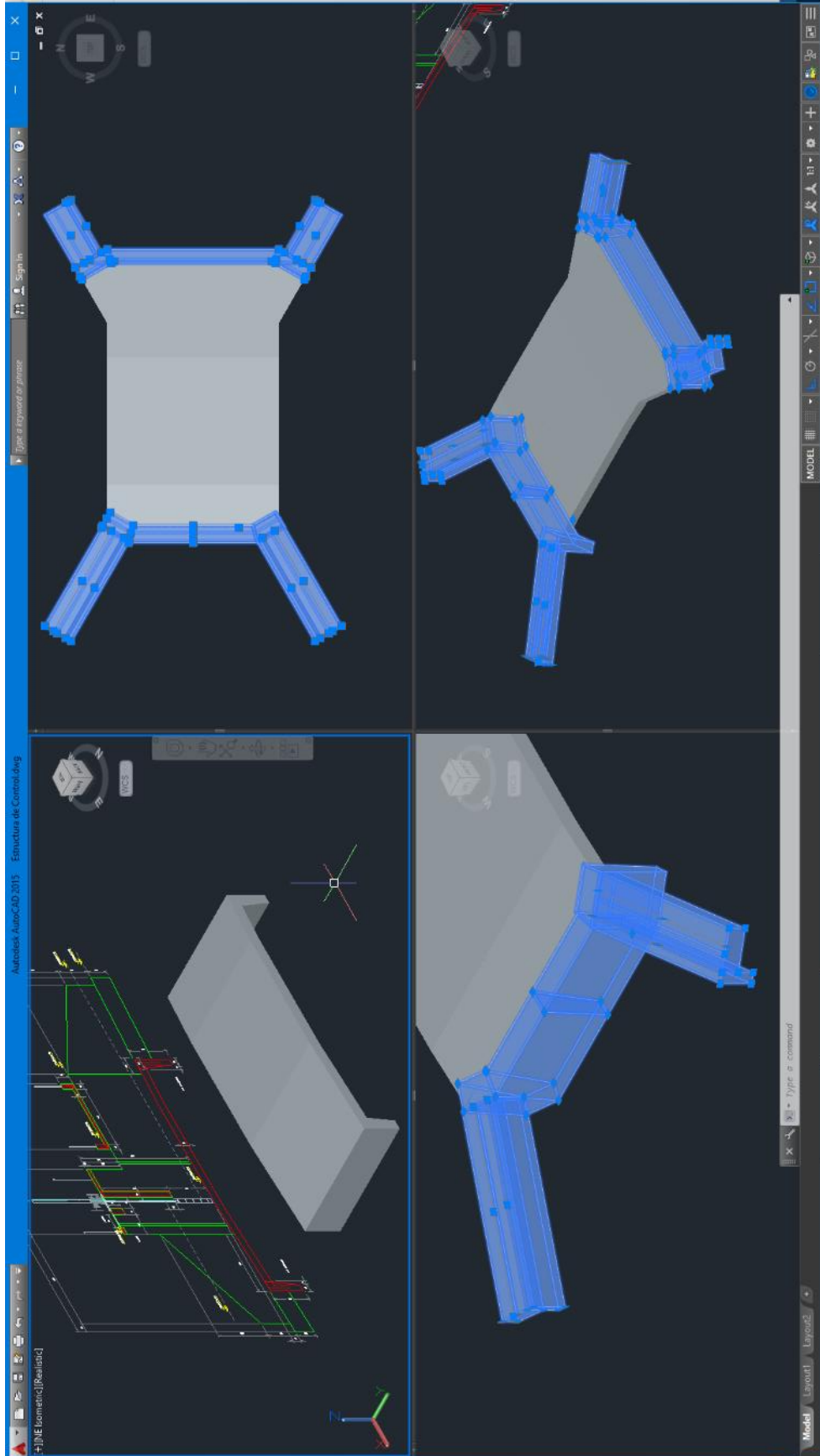


Figura b. Elementos extruidos de losa y dentellones.



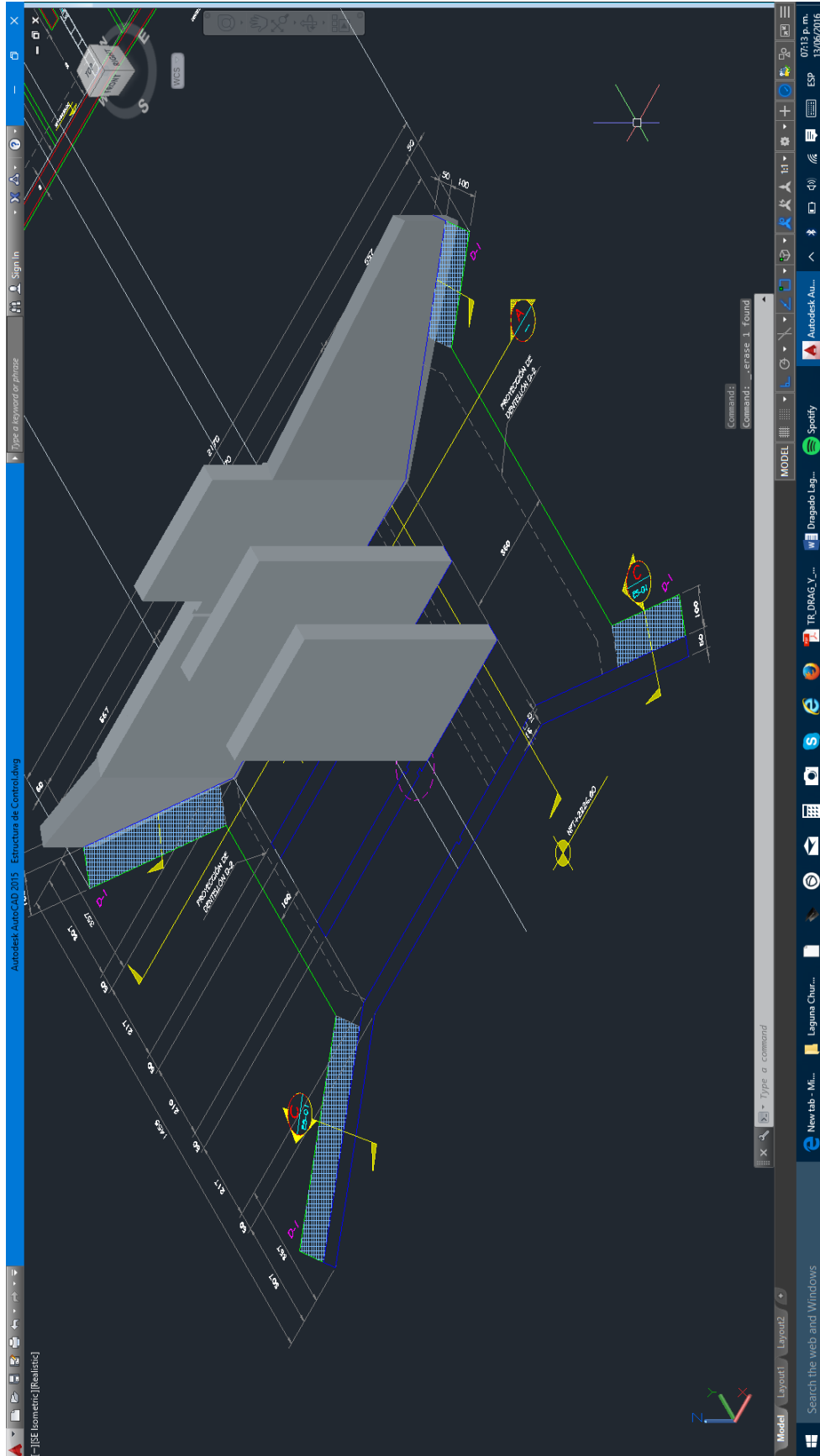


Figura c. Muros y alerones extruidos y cortados.

Utilizando el comando SLICE se "rebana" o se corta el elemento extruido en el ángulo necesario, por ejemplo en los alerones, ingresando la opción de 3POINTS para escoger 3 puntos del plano de corte. Los muros internos simplemente se extruyeron (Fig. c).

Una forma más de extruir a través del comando EXTRUDE es con la opción de REGION, donde se selecciona la región en 2D de la figura o elemento que se quiere extruir. Se continúa entonces con la losa del puente vehicular y la losa donde se colocaran los mecanismos de izaje mecánico (Fig. d) seleccionando las regiones de estas. Si existieran huecos, estos se forman con el comando SUBTRACT al seleccionar otros sólidos que compartan el mismo espacio tridimensional.

Se forman los muros internos donde se colocarán las compuertas, igualmente utilizando el comando EXTRUDE y SUBTRACT (Fig. e).

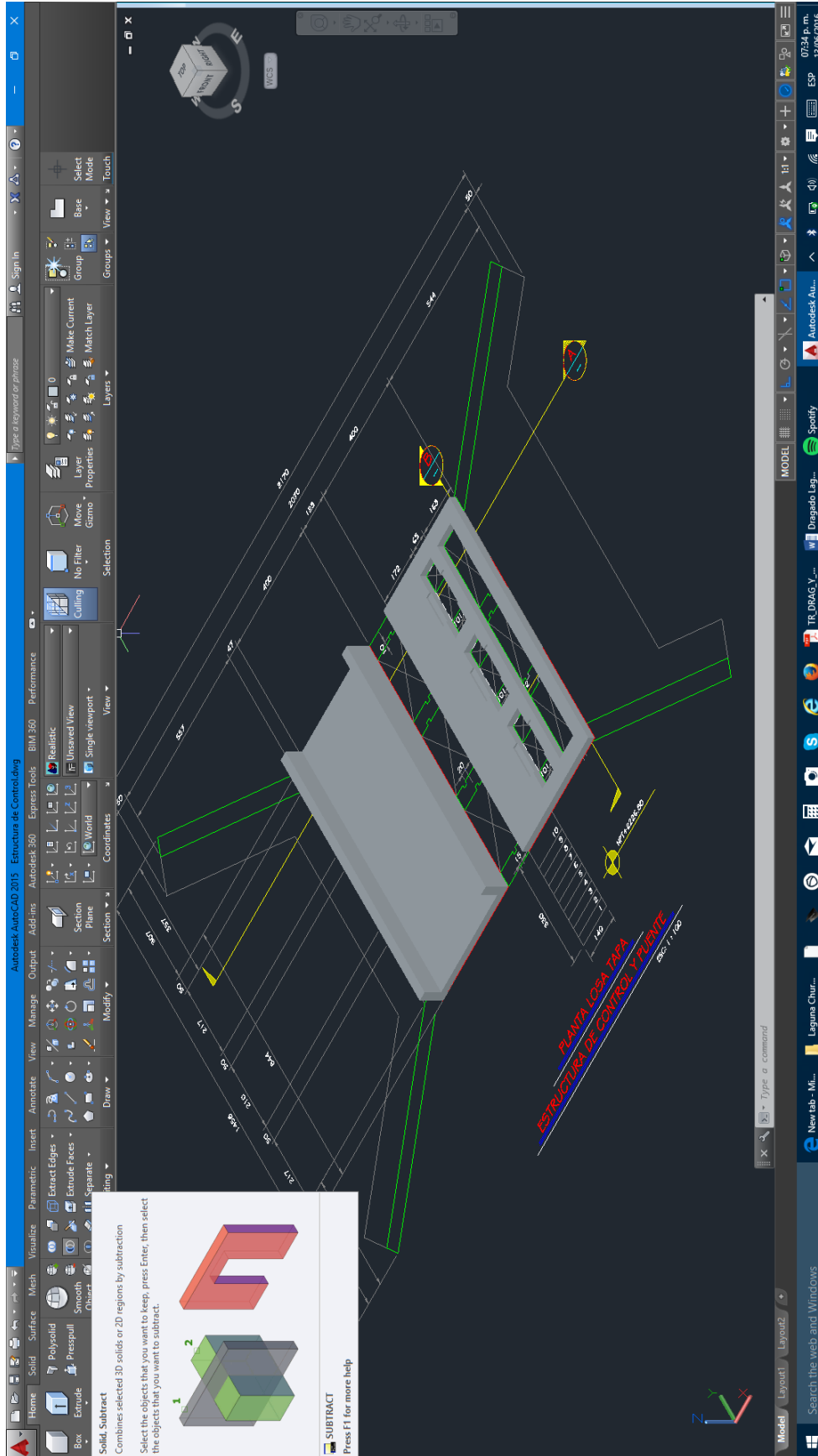


Figura d. Extrucción por regiones de la losa del puente vehicular y losa de mecanismo de izaje.

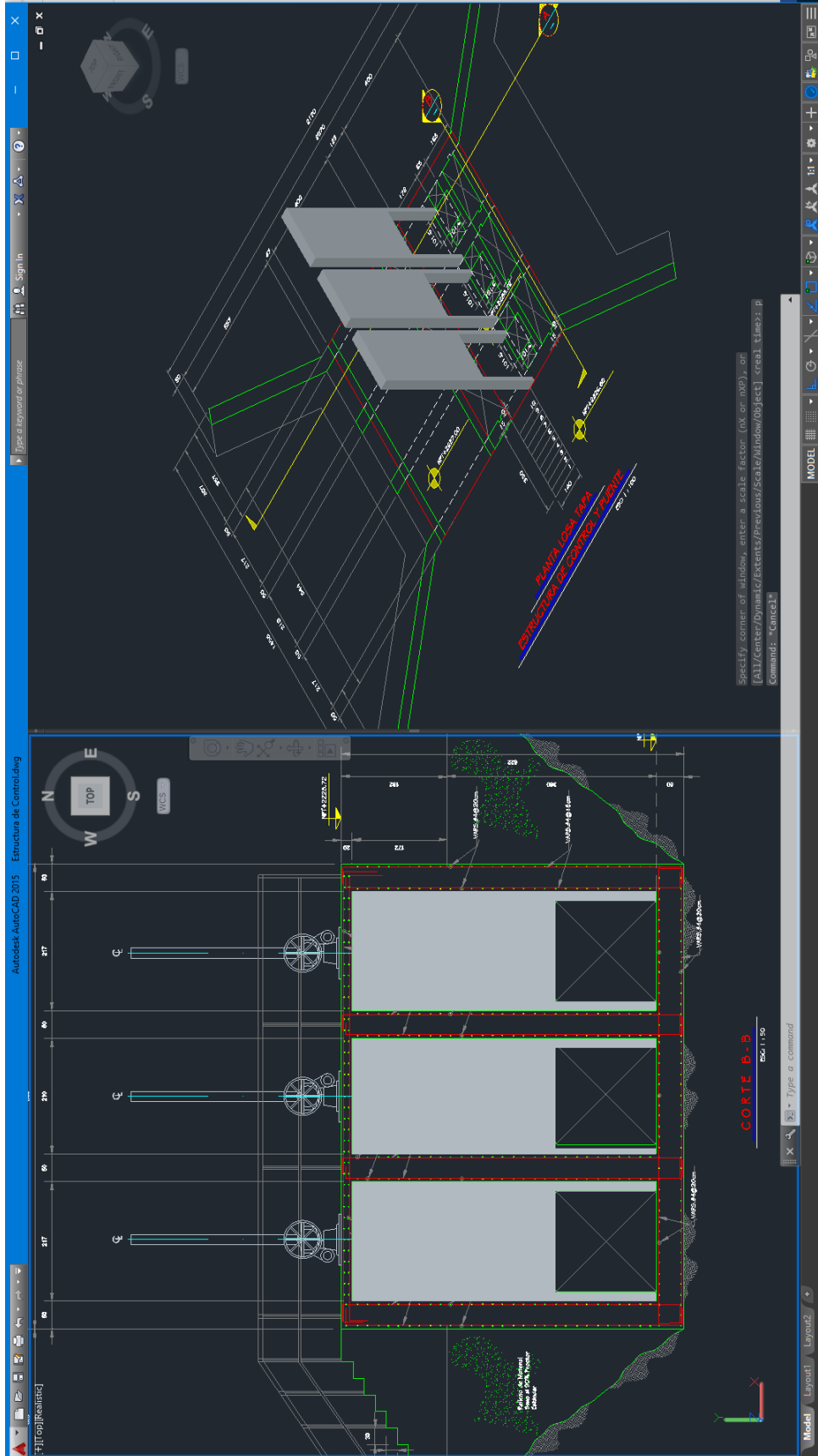


Figura e. Muros internos de compuerta.

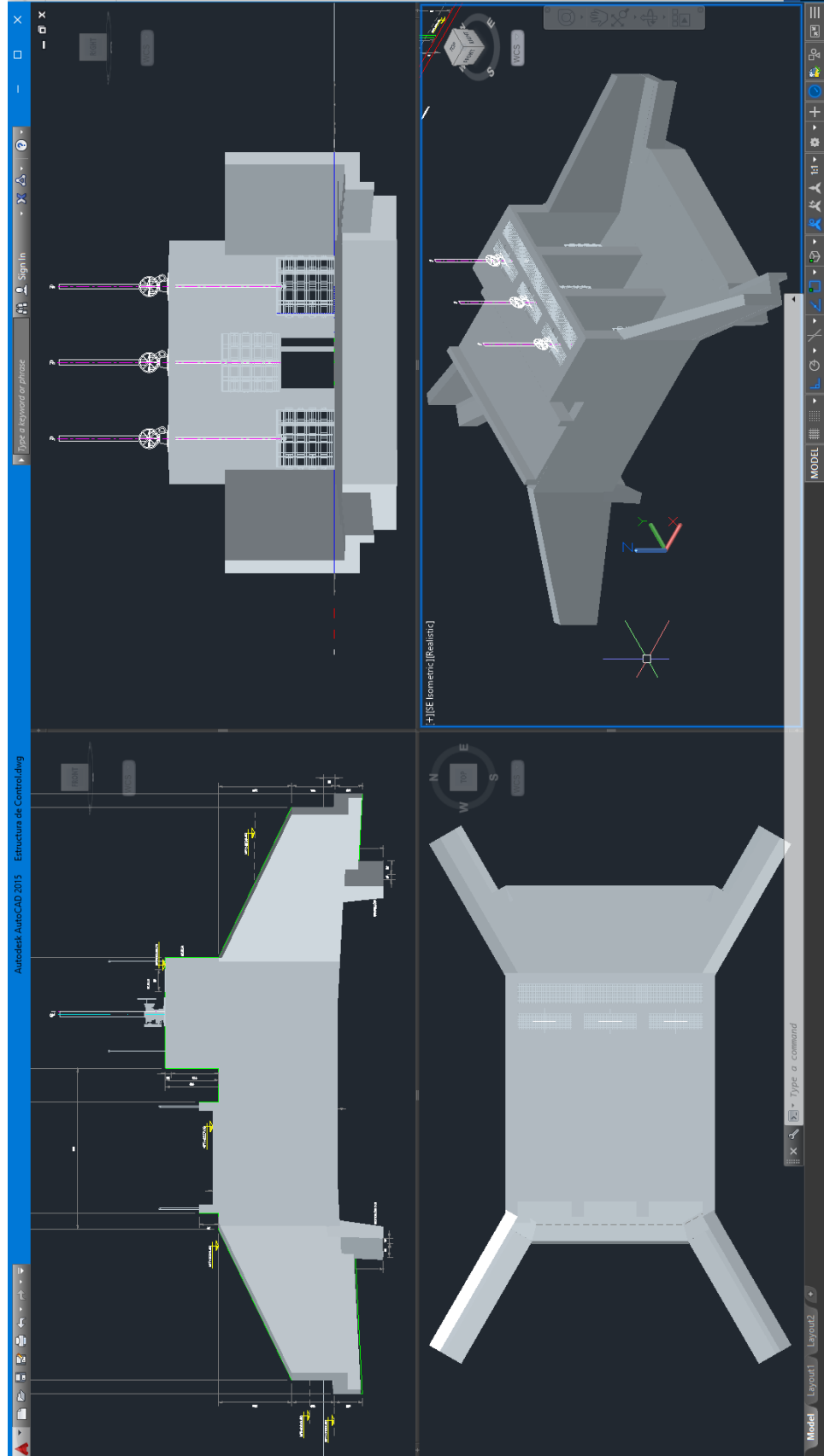
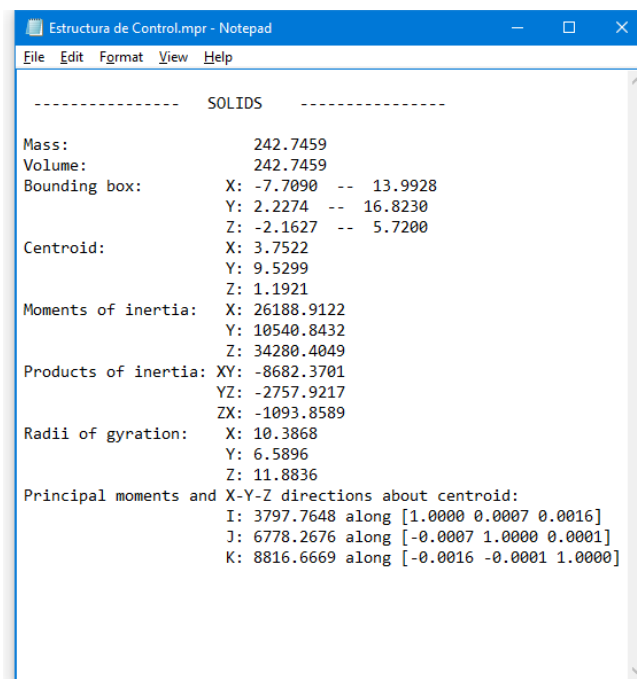


Figura f. Modelo de estructura conformada.

Una vez hechos todos los elementos de concreto reforzado en 3D, se ensamblan o se forma la Estructura de Control (Fig. f) y se ingresa el comando MASSPROP para escoger el sólido.

Al seleccionar el modelo de la Estructura de Control, se generan datos en un "informe" como el que se muestran en la Figura g. Así entonces se obtiene el volumen de este modelo, el cual para este caso arroja una cantidad de masa igual a 242.7459, que redondeado y colocando unidades son 242.75 m<sup>3</sup>.

Cabe aclarar que para poder emitir una cantidad final en este caso de concreto reforzado, hay que multiplicarlo por un factor de desperdicio de un 5%, resultando en un volumen final redondeado de 254.89 m<sup>3</sup>.



```
----- SOLIDS -----
Mass:                242.7459
Volume:              242.7459
Bounding box:       X: -7.7090  --  13.9928
                   Y:  2.2274  --  16.8230
                   Z: -2.1627  --  5.7200
Centroid:           X:  3.7522
                   Y:  9.5299
                   Z:  1.1921
Moments of inertia: X: 26188.9122
                   Y: 10540.8432
                   Z: 34280.4049
Products of inertia: XY: -8682.3701
                   YZ: -2757.9217
                   ZX: -1093.8589
Radii of gyration:  X: 10.3868
                   Y:  6.5896
                   Z: 11.8836
Principal moments and X-Y-Z directions about centroid:
I: 3797.7648 along [1.0000 0.0007 0.0016]
J: 6778.2676 along [-0.0007 1.0000 0.0001]
K: 8816.6669 along [-0.0016 -0.0001 1.0000]
```

Figura g. Informe generado con el comando MASSPROP de AutoCAD donde se aprecia en volumen arrojado por el software.

## **7. Conclusiones.**

- A medida que la ingeniería civil basada en modelos crece, y se cruza con las nuevas tecnologías, los nuevos métodos de entrega y los nuevos modelos comerciales, la naturaleza de la industria está cambiando. El grado de colaboración, el tipo de flujos de información, los escenarios de gestión de riesgos y los enfoques de entrega de proyectos alternativos son todas las manifestaciones de este cambio. Para sobrevivir, las empresas deben posicionar estratégicamente su uso de la tecnología actual de diseño por computadora asistido.
- La cuantificación de los materiales (según sea el caso) a través de tecnología BIM, reduce mucho el error de volumen pues toma en cuenta la totalidad del elemento o estructura modelada, incluyendo rebabas o huecos muy irregulares, sin embargo, para elementos repetitivos y de formas regulares, basta solamente la interpretación bidimensional en los planos. Se puede decir entonces que no es de uso obligado esta herramienta, sin embargo, es de gran ayuda al momento de obtener información de volumen con mucha exactitud.
- En el momento de la presentación se cualquier proyecto ejecutivo que implique la construcción de alguna estructura, como por ejemplo, edificios, casas, carreteras, puentes, etc.; siempre es deseable mostrar algún render o dibujo en realidad virtual de cómo se verá o lucirá. Es posible que se aproveche este uso del software en 3D si se necesita cuantificar la misma estructura.

- Así como el ejemplo de la Estructura de Control dentro la obra Dragado de la Laguna Churubusco y demás obras que ayudan a desalojar las aguas pluviales y de drenaje (y en general para todo proyecto de ingeniería), es importante tomar en cuenta la importancia de la cuantificación previa haciendo uso de software BIM (en la gran mayoría de los casos) y evitar errores de falta o sobra de materiales. Solo en casos muy aislados pudiera convenir esta situación, pero en el resto son pérdidas de dinero tanto para la constructora o como para el cliente o la dependencia (según sea el caso). Esto puede que implique más tiempo dentro de la elaboración del proyecto, pero el costo-beneficio es mayor.



BIBLIOGRAFÍA

- CONAGUA. (2012). *Acciones de infraestructura de drenaje y abastecimiento de agua en el Valle de México*. Ciudad de México.
- Gomez Navarro, J. L., & Aracil Segura, J. J. (1958). *SALTOS DE AGUA Y PRESAS DE EMBALSE*. Madrid, España: Tipografía Artística.
- JEAN INGENIEROS S.C. (2014). *Memoria de Cálculo de "Estructura de Control y Puente"*. Ciudad de México.
- Malfanti, I. S. (2002). *La realidad virtual y sus impactos en la industria moderna*. Santiago, Chile.
- Muriel, P. P. (2012). *Implantación de la tecnología BIM en estudios universitarios de Arquitectura e Ingeniería*. Bogotá, Colombia.
- New York City Department of Design and Construction. (2012). *BIM Guidelines*. Nueva York, NY.
- Novak, P., Moffat, & Nalluri. (2001). *ESTRUCTURAS HIDRÁULICAS* (Segunda ed.). Bogotá, Colombia: McGraw-Hill Interamericana S. A.
- Orth, I. P., & Ziegler G., I. E. (2014). *Estudio geotécnico para el diseño y la construcción de la Estructura de Control y puente vehicular sobre el bordo divisorio de la Laguna de Regulación Churubusco*. Ciudad de México.
- Seng, L. C. (2012). *Singapore BIM guide*. Singapur.
- Suchocki, M. (2016). BIM FOR INFRASTRUCTURE, IS CIVIL ENGINEERING FACING AN AGE OF EXTINCTION? *White Paper*.
- TRADECO. (2014). *Términos de Referencia de la obra "Dragado de Azolve y Rectificación de la Laguna de Regulación Churubusco (Dren de interconexión, Dren Xochiaca de la estructura de Control a Dren General del Valle) y construcción de la Estructura de Control"*. Ciudad de México.
- TRADECO INFRAESTRUCTURA S.A. DE C.V. (2014). *Descripción de la Planeación Integral y Procedimiento Constructivo para el desarrollo y organización de los trabajos*. Ciudad de México.
- Universidad Nacional Autónoma de México. (2015). *Observatorio Ixtli*. Obtenido de <http://www.ixtli.unam.mx/>
- V. Singh, N. G., & X. W. (2010). A theoretical framework of a BIM-based multi-disciplinary collaboration platform. En *Automation in Construction* (pág. 11).