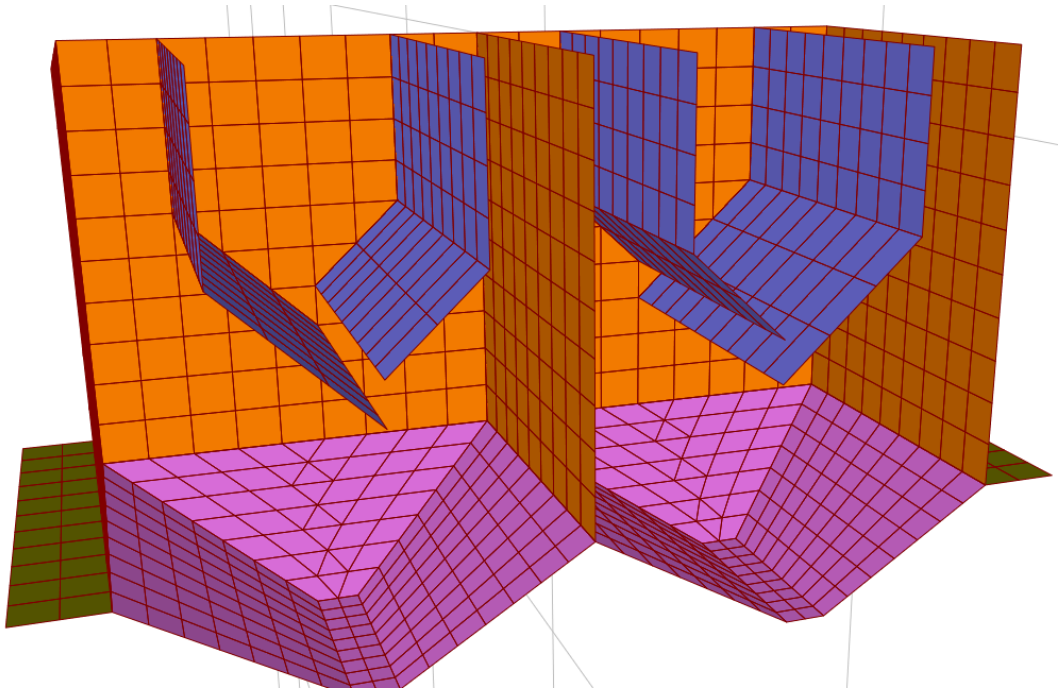
Proyecto
“Planta de Tratamiento de Agua Residuales - PTAR”

MEMORIA DE CÁLCULO
DEL DISEÑO ESTRUCTURAL



Contratante: **Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico de Cuenca EDEC – EP**

Consultor: **Ing. Fernando Zalamea León PhD.**

Marzo 2014

Cuenca - Ecuador

Contenido

1 ANTECEDENTES Y ALCANCE DEL ESTUDIO 2
2 DESCRIPCIÓN 3
3 IDEALIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL 7
4 RESULTADOS DE CÁLCULO 12
5 PROCESO CONSTRUCTIVO 24
6 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES 25

Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1.- Espectro de respuesta para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales. 5
Ilustración 2.- Modelo tridimensional de Canal de Ingreso y Tanque Homogenizador 7
Ilustración 3.- Modelo tridimensional de elementos shell del Tanque Imhoff 8
Ilustración 4.- Modelo tridimensional de elementos shell de Tanque de Lodos Activados 8
Ilustración 5.- Modelo tridimensional de elementos shell del Clarificados Secundario 9
Ilustración 6.- Modelo tridimensional de elementos Shell y frame de Eras de Secado 9
Ilustración 7.- Modelo tridimensional de elementos Shell del tanque de Desinfección 10
Ilustración 8.- Modelo tridimensional de elementos frame de la caseta de oficina y laboratorio . 10
Ilustración 9 – Modelo tridimensional de elementos frame de gradas metálicas. 11
Ilustración 10.- Deformación esquemática del Canal de Ingraso y Tanque Homogenizador 12
Ilustración 11.- Deformación esquemática del Tanque Imhoff 13
Ilustración 12.- Deformación esquemática del Tanque de Lodos Activados 13
Ilustración 13.- Deformación esquemática del Tanque Clarificador Secundario 14
Ilustración 14.- Deformación esquemática de los tanques Eras de Secado 14
Ilustración 15.- Deformación esquemática del tanque de Desinfección 15
Ilustración 16.- deformación esquemática de caseta de oficinas y laboratorio 15
Ilustración 17.- Deformación esquemática de gradas metálicas 16
Ilustración 18.- Momentos máximo del Canal de Ingreso y Tanque Homogenizador 16
Ilustración 19.- Momentos máximo del Tanque Imhoff 17
Ilustración 20.- Momento máximo del Tanque de Lodos Activados 17
Ilustración 21.- Momento máximo del Tanque Clarificador Secundario 18
Ilustración 22.- Momento máximo de los tanques Eras de Secado 18
Ilustración 23.- Momentos máximos del tanque de Desinfección 19
Ilustración 24.- Momentos Máximos de caseta de oficinas y laboratorio 19
Ilustración 25.- Momentos Máximos de gradas metálicas 20
Ilustración 26.- Cortantes máximos del Canal de Ingreso y Tanque Homogenizador 20
Ilustración 27.- Cortante máximo del Tanque Imhoff 21
Ilustración 28.- Cortante máximo del Tanque de Lodos Activados 21
Ilustración 29.- Cortante máximo del Tanque Clarificador Secundario 22
Ilustración 30.- Cortante máximo de los tanques Eras de Secado 22
Ilustración 31.- Cortantes máximos del tanque de Desinfección 23
Ilustración 32.- Cortantes Máximos de caseta de oficinas y laboratorio 23
Ilustración 33.- Cortantes Máximos de gradas metálicas 24

1 ANTECEDENTES Y ALCANCE DEL ESTUDIO

Este trabajo recoge un resumen de las principales consideraciones realizadas durante el cálculo y diseño del complejo denominado "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales", ubicada dentro del parque industrial de Chauyallacu, en la parroquia Tarqui, en la provincia del Azuay.

La Empresa Pública Municipal de Desarrollo Económico de Cuenca EDEC – EP, proporcionó el diseño hidráulico y arquitectónico del complejo en función de los requerimientos del proyecto.

La estructura se va a edificar en un lote de una superficie de aproximadamente de 1500 m□.

A través del cálculo realizado se determinó dimensiones y refuerzo estructural requeridos en los diferentes elementos, de manera que la estructura cumpla satisfactoriamente las condiciones de resistencia y servicio para la cual fue proyectada. El resultado del diseño estructural se sintetiza en los planos adjuntos, los cuales contienen todos los detalles necesarios para la construcción, incluyendo planillas de hierros y cantidades de obra.

2 DESCRIPCIÓN

2.1 Reglamento utilizado

Para el cálculo y diseño de los diferentes elementos estructurales de los edificios se consideraron los siguientes códigos:

- El Código Ecuatoriano de la Construcción NEC – 11.
- La normativa para edificaciones en acero AISC.
- El reglamento para construcciones de concreto reforzado del *American Concrete Institute* (ACI-318).
- El reglamento de ingeniería medioambiental para estructuras de concreto del *American Concrete Institute* (ACI-350).

2.2 Condiciones de resistencia y de servicio

Los elementos estructurales fueron calculados y diseñados verificando las condiciones de resistencia y servicio especificadas por la normativa. Se utilizó un diseño a resistencia última, por cuanto se mayora las cargas de servicio por factores de seguridad según la combinación de carga. Para el diseño de los elementos se consideró las siguientes combinaciones de carga para verificar la resistencia de la estructura:

- Cu = 1.4CM
- Cu = 1.2CM + 1.6CV
- Cu = 1.2CM + 0.5CV ± 1.0CSx
- Cu = 1.2CM + 0.5CV ± 1.0CSy
- Cu = 0.9CM ± 1.0CSx
- Cu = 0.9CM ± 1.0CSy

Para el análisis a servicio se consideró las siguientes combinaciones:

- Cu = CM
- Cu = CM + CV

En donde, Cu es la carga última o de diseño, CM corresponde a la carga muerta o permanente, CV es la carga viva o de uso, CSx la carga debida al sismo en dirección X y CSy la carga debida al sismo en dirección Y. Ambas solicitaciones sísmicas consideran el 30% de la carga en sentido transversal.

2.3 Espectro de diseño

Para la Parroquia Tarqui, la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC-11 en su capítulo 2 correspondiente al Peligro Sísmico y Requisitos de Diseño Resistente, establece una carga sísmica equivalente a una aceleración de 0.25g. Para el análisis del comportamiento sísmico se prefirió realizar un análisis modal espectral. Los parámetros del suelo se obtuvieron de estudios geotécnicos realizados con anterioridad en zonas aledañas al sitio del proyecto, llegando a obtener un suelo tipo C según la tabla 2.3 del capítulo 2 de la Norma NEC-11. De acuerdo a los requerimientos del código ecuatoriano se específica lo siguiente:

FACTORES PARA EL ESPECTRO DE DISEÑO	
Zona sísmica adoptada para el terreno	Zona II
Factor de zona	Z = 0.25
Coeficientes de amplificación dinámica	Fa = 1.4
	Fd = 1.7
	Fs =1.25
Factor por irregularidades en planta	ϕ_{pa} = 1
	ϕ_{pb} = 1
	ϕ_{p} = 1
Factor por irregularidades en elevación	ϕ_{ea} = 1
	ϕ_{eb} = 1
	ϕ_{e} = 1
Coeficiente de reducción de respuesta estructural	R = 6
Factor de importancia	I = 1.3

Tabla 2.1 Datos para el espectro de diseño del complejo

El espectro obtenido al utilizar estos datos, se puede observar en la Figura 2.1

- Período inicial

$$To = 0{,}1\text{Fs}\frac{\text{Fd}}{Fa} = 0.152 \text{ seg}$$

- Período crítico

$$Tc = 0{,}55\text{Fs}\frac{\text{Fd}}{Fa} = 0.835 \text{ seg}$$

- Período máximo

$$T_L = 2{,}4\text{Fd} \leq 4\text{s} = 4.00 \text{ seg}$$

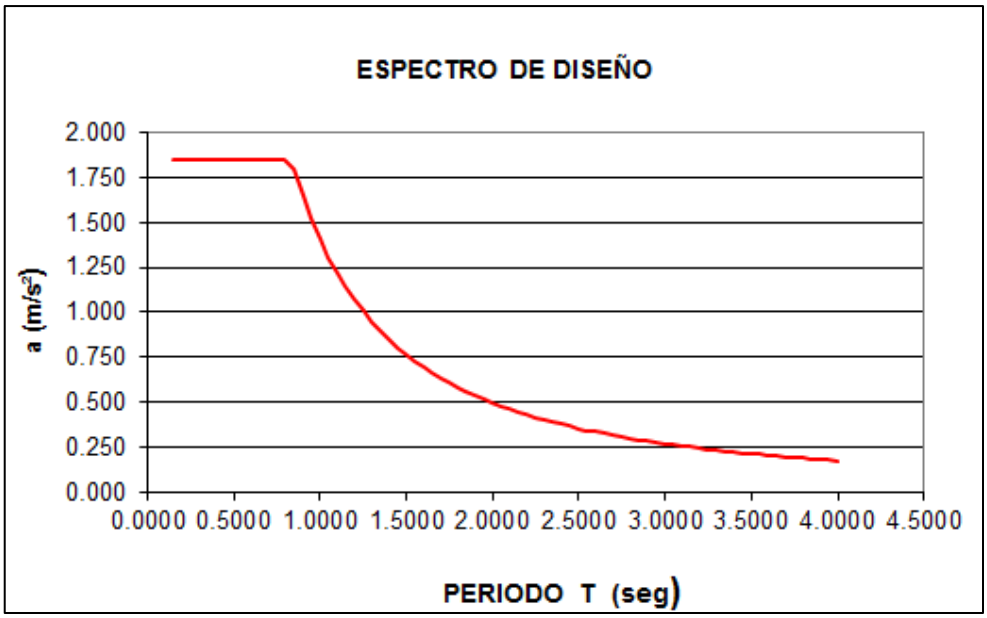


Ilustración 1.- Espectro de respuesta para la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales.

2.4 Límites de la deriva

El valor de Δ_M debe calcularse mediante:

$$\Delta_M \quad R \quad \Delta_E$$

No pudiendo Δ_M superar los valores establecidos en la Tabla 2.2

Estructuras de:	Δ_M máxima
Hormigón armado, estructuras metálicas y de madera.	0.020
De mampostería.	0.010

Tabla 2.2 Valores de ΔM máximos, como fracción de la altura de piso

2.5 Cortante Basal de diseño

El cortante basal total de diseño V a ser aplicado a una estructura en una dirección dada se determinará mediante las expresiones:

$$V = \frac{ZIC}{R_P E} W$$

$$C = \frac{1.25 S^S}{T}$$

Dónde:

C No debe exceder del valor de C_m establecido ($C_m = 3$) y no debe ser menor a 0.5, pudiendo utilizarse para cualquier estructura.

S Su valor y el de su exponente son 1

P Factor de configuración estructural en planta.

E Factor de configuración estructural en elevación.

R Factor de reducción de la respuesta estructural.

2.6 Periodo de vibración

El valor del periodo de vibración de T será determinado a partir de las siguientes consideraciones:

- para estructuras de edificación, el valor de T puede determinarse mediante la expresión:

$$T = C_t h_n^{\frac{3}{4}}$$

Dónde:

h_n Altura máxima de la edificación de n pisos, medida desde la base de la estructura.

C_t 0.08 para pórticos espaciales de hormigón armado.

C_t 0.06 para pórticos espaciales de hormigón armado con muros estructurales o con diagonales y para otras estructuras.

C_t 0.09 para pórticos de acero.

Las condiciones de servicio se establecen en fusión de deformaciones máximas en los elementos.

3 IDEALIZACIÓN DEL MODELO ESTRUCTURAL

Para el análisis estructural del complejo se optó por la realización de varios modelos tridimensionales idealizados a través del Método de los Elementos Finitos (MEF). Al modelar la estructura de forma tridimensional se tiene la ventaja de obtener de forma precisa la interacción de los diferentes elementos estructurales.

El complejo se compone de siete taques conectados únicamente por tubería, y se realizan 8 modelos estructurales, incluyendo la caseta de oficina y laboratorio y gradas metálicas. Siguiendo el orden, se tiene en primer lugar el Canal de Ingreso conectado directamente con el tanque de Homogenización, seguido por el tanque Imhoff, luego el tanque de Lodos Activados, seguido por el Clarificador Secundario, que por último se conecta con el tanque de desinfección. El Clarificador Secundario y el Tanque Imhoff se conectan cada uno con un tanque Eras de Secado.

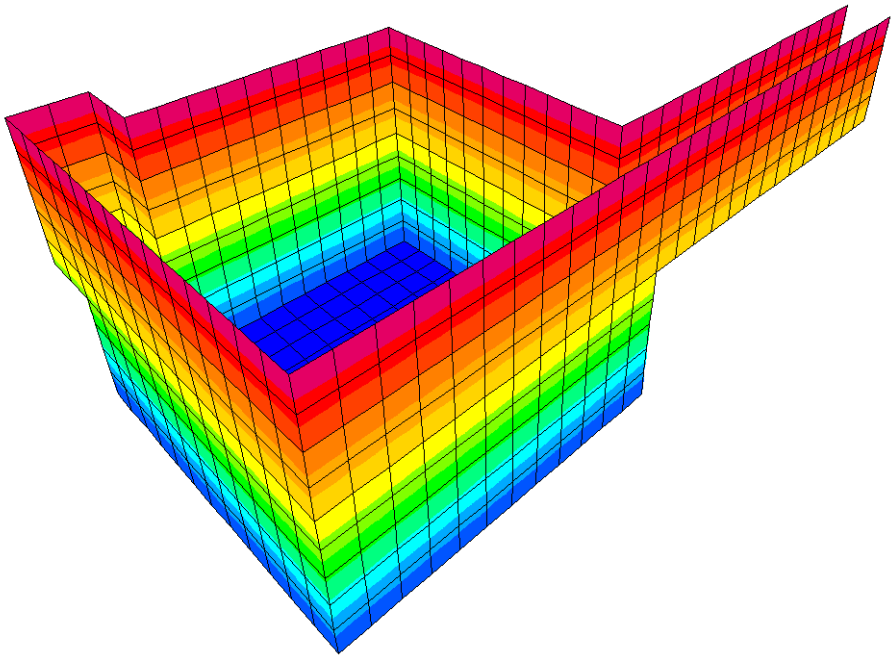


Ilustración 2.- Modelo tridimensional de elementos shell de Canal de Ingreso y Tanque Homogenizador

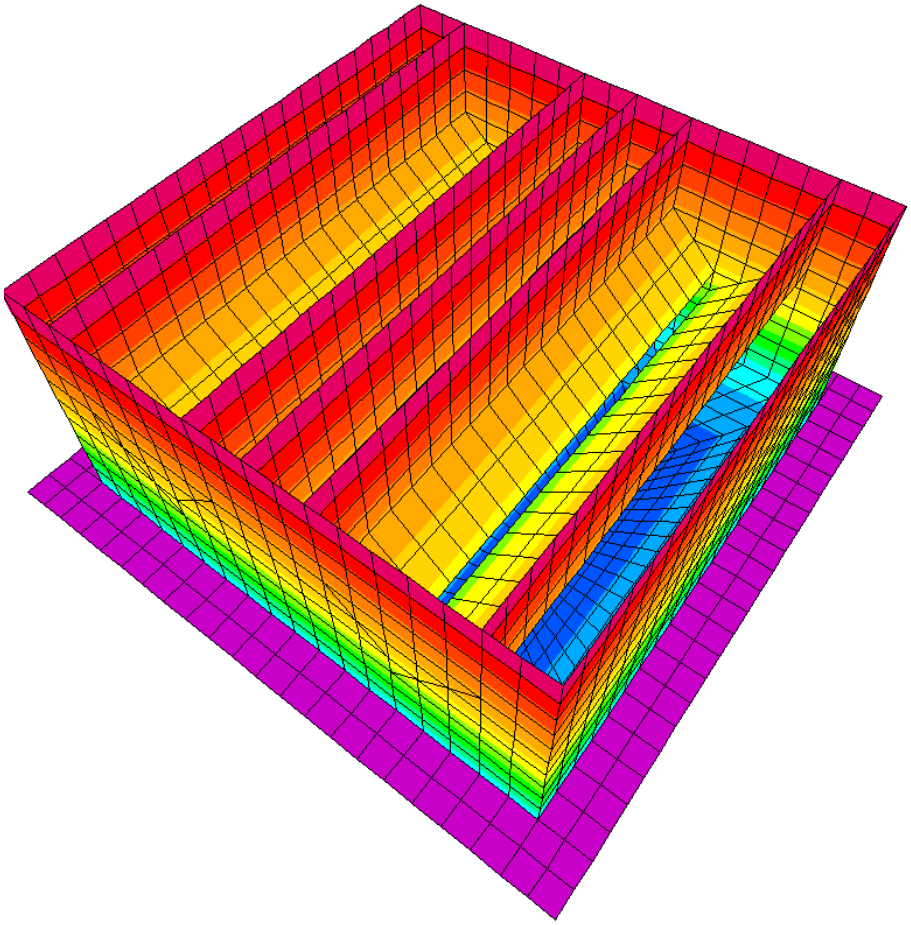


Ilustración 3.- Modelo tridimensional de elementos shell del Tanque Imhoff

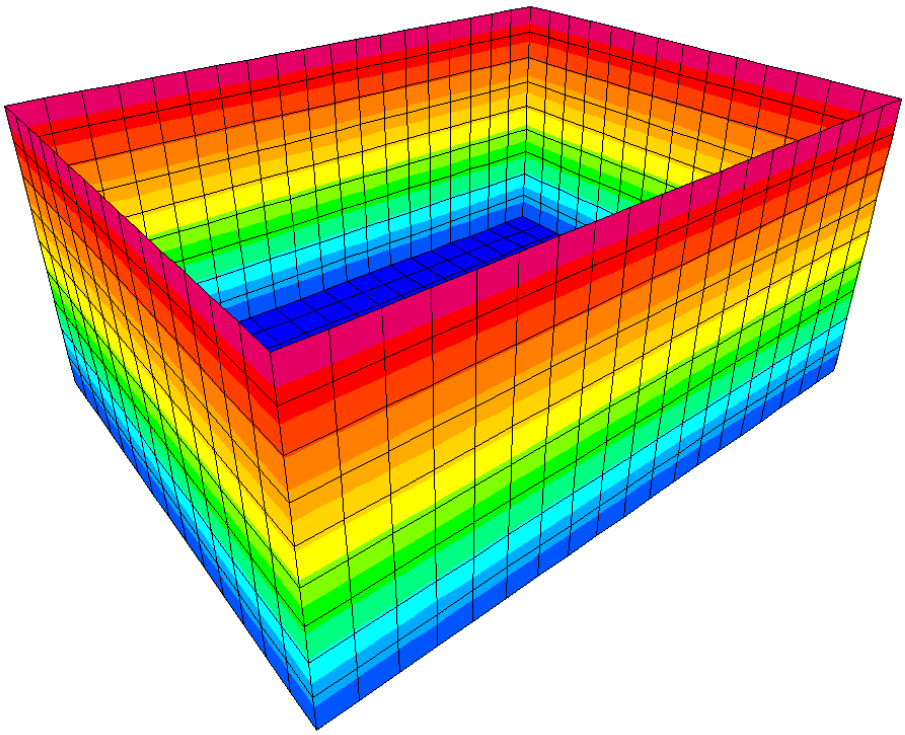


Ilustración 4.- Modelo tridimensional de elementos shell de Tanque de Lodos Activados

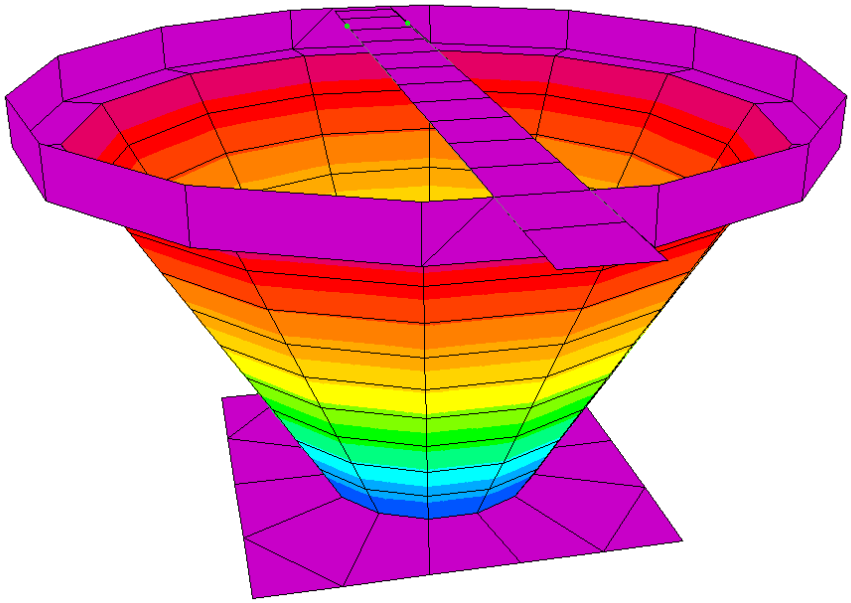


Ilustración 5.- Modelo tridimensional de elementos shell del Clarificados Secundario

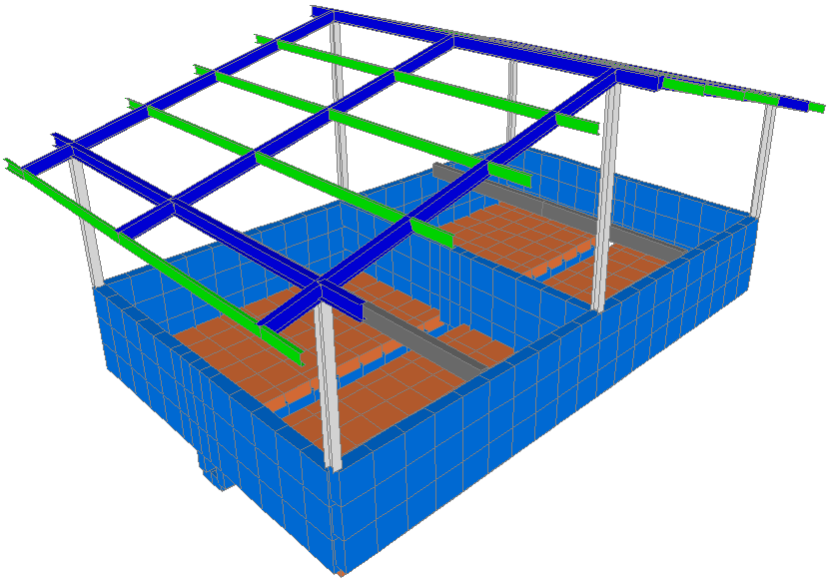


Ilustración 6.- Modelo tridimensional de elementos Shell y frame de los tanques Eras de Secado

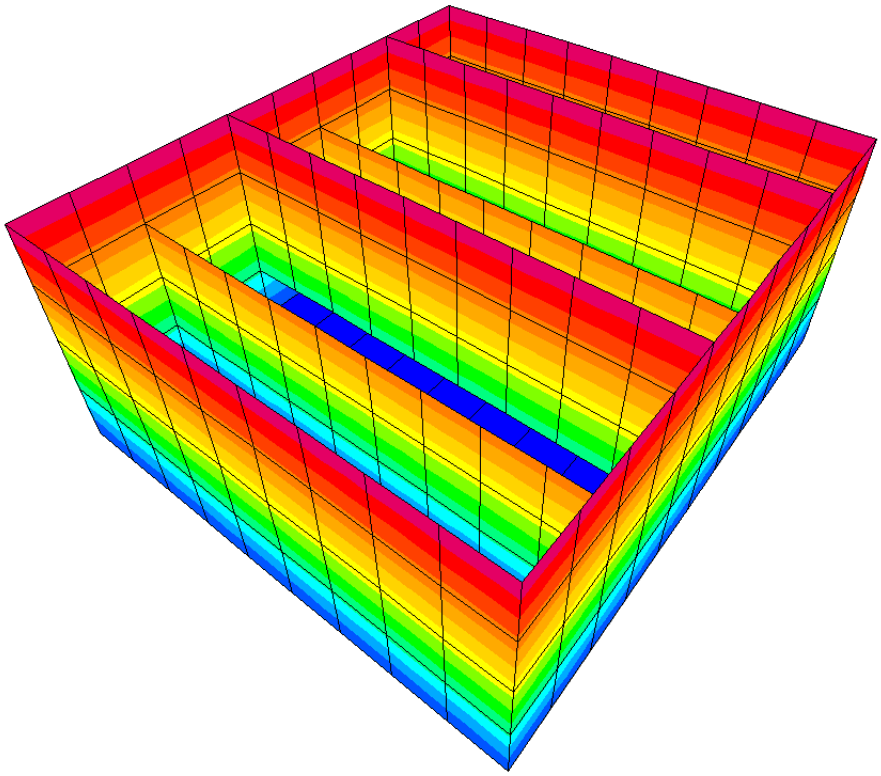


Ilustración 7.- Modelo tridimensional de elementos Shell del tanque de Desinfección

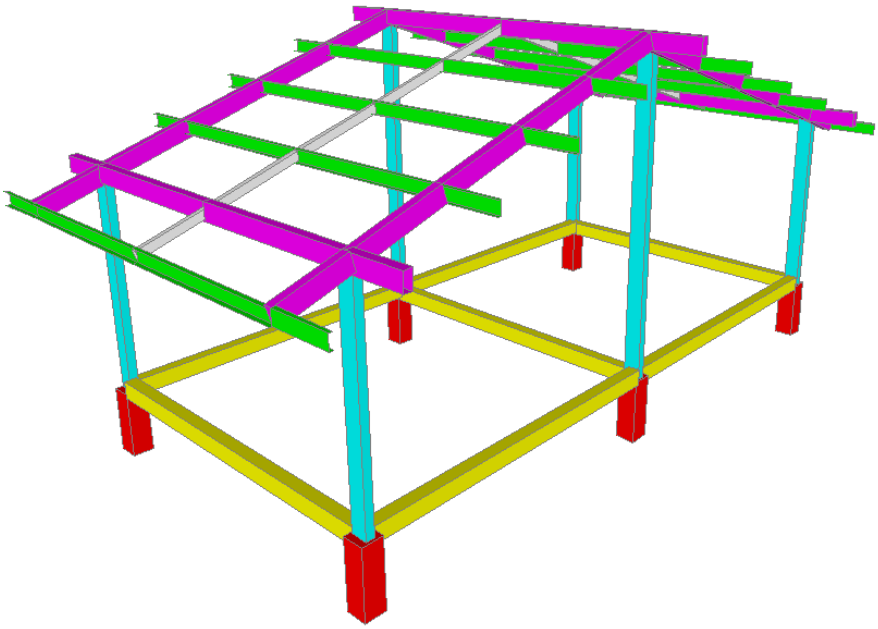


Ilustración 8.- Modelo tridimensional de elementos frame de la caseta de oficina y laboratorio

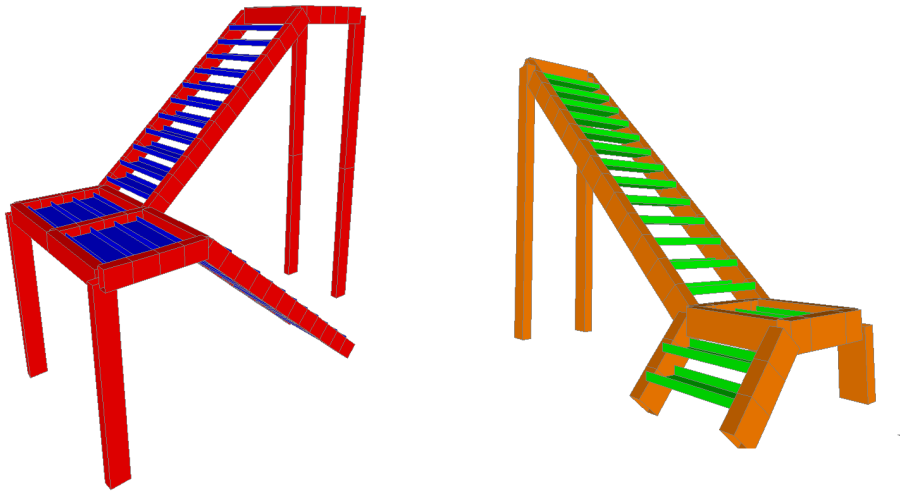


Ilustración 9 – Modelo tridimensional de elementos frame de gradas metálicas.

La estructura está concebida con muros y losas estructurales de tipo macizo, tal como se especifica en los planos. Las cubiertas, caseta y gradas están concebidas en acero estructural.

Las losas de piso de fondo descansan sobre una capa de hormigón de replantillo y tienen espesores que van desde los 20 cm, con recubrimientos libres de 5 cm según el ACI-350 (7.7.1).

De conformidad con el reglamento ACI-350, los muros con alturas mayores a 3.00 m, cumplen con el mínimo espesor de 30 cm, con recubrimientos libres de 5 cm.

3.1 Idealización de las cargas o acciones sobre la estructura

Las cargas que se utilizarán para el diseño estructural son las siguientes:

- *Carga muerta (CM)*: peso de cada elemento de la estructura y para las cubiertas con estructura metálica se toma peso de 15 Kg/m□, considerando cubiertas livianas de acero galvanizado.

- *Carga viva (CV)*: en los tanques se considera el empuje proporcionado por el agua que se encuentra contenida dentro de los tanques. Así como el empuje producido por la tierra por fuera de los tanques que se encuentran enterrados. En las cubiertas se consideró una carga de 100 kg/m□ debido al personal que subirá a dar mantenimiento así como una capa de unos 10 cm de granizo.

- *Carga sísmica (CS)*: carga con el espectro de respuesta sísmica según la normativa tomando en cuenta lo acotado en el punto 3.

4 RESULTADOS DE CÁLCULO

Para la determinación de las dimensiones y el refuerzo requerido en cada uno de los elementos se analizó el efecto de las diferentes combinaciones de carga, realizando el diseño para la condición más desfavorable. El propósito del presente documento es presentar de manera gráfica algunos de los resultados obtenidos.

En las figuras presentadas a continuación se presentan las deformaciones, diagramas de momentos, cortantes y fuerzas axiales de los distintos modelos planteados cuando se carga completamente la estructura.

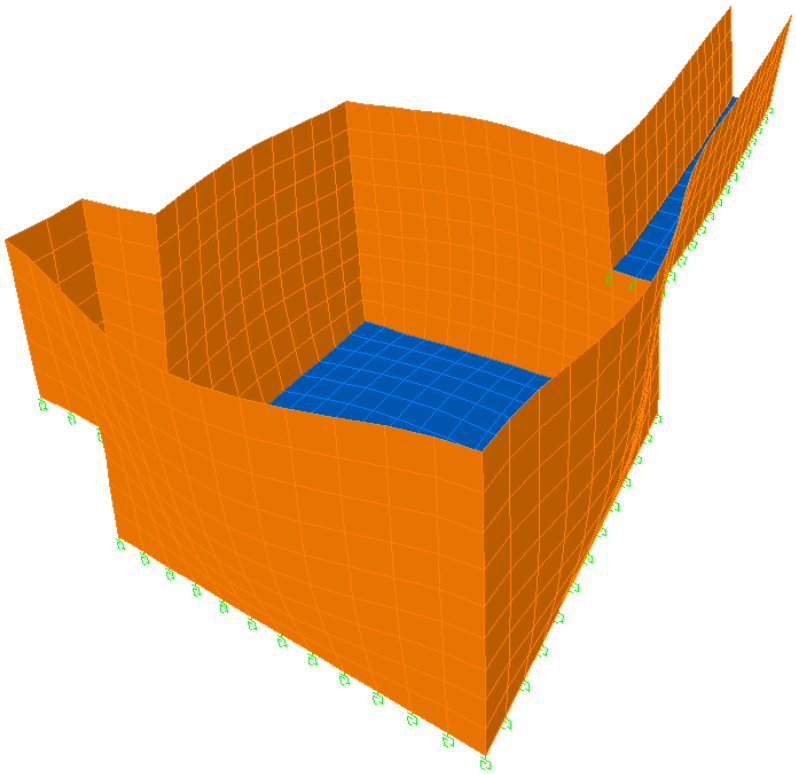


Ilustración 10.- Deformación esquemática del Canal de Ingreso y Tanque Homogenizador

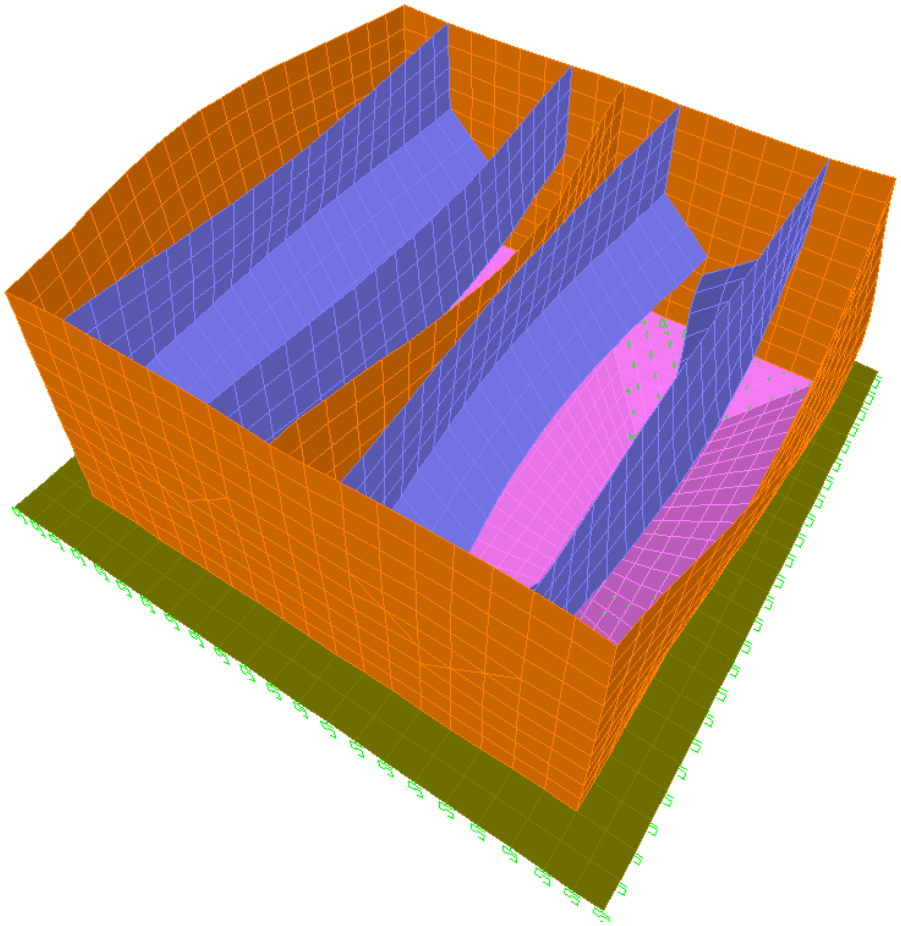


Ilustración 11.- Deformación esquemática del Tanque Imhoff

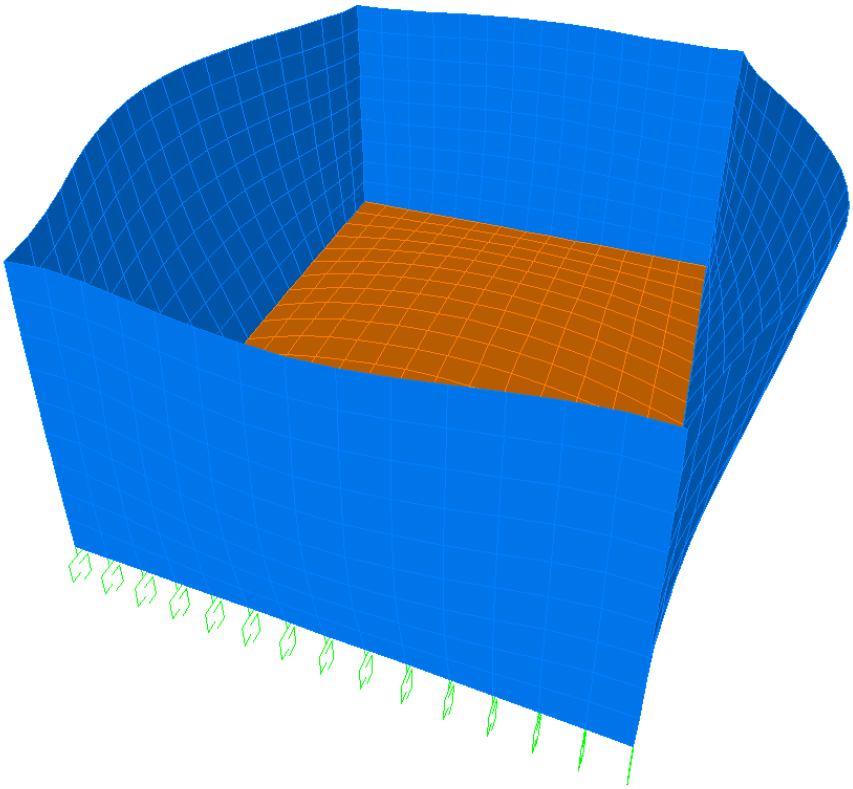


Ilustración 12.- Deformación esquemática del Tanque de Lodos Activados

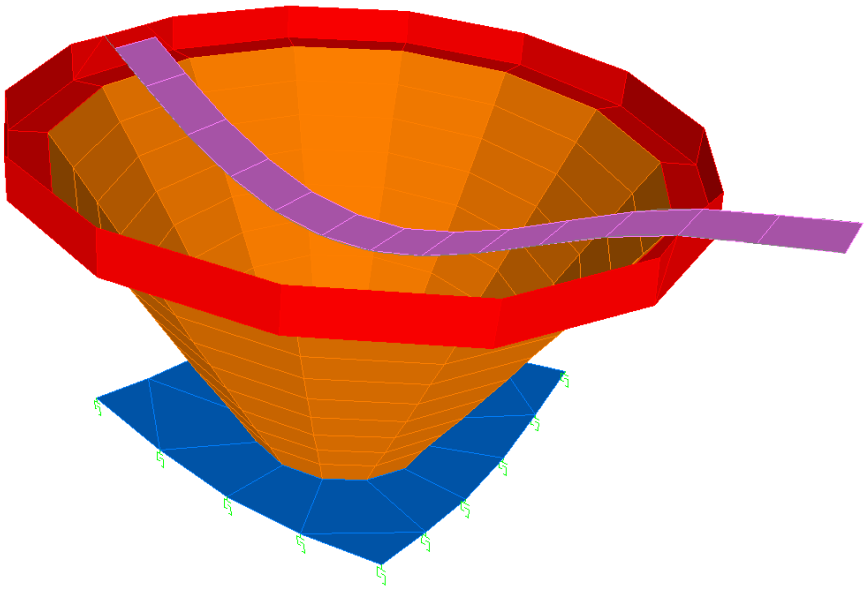


Ilustración 13.- Deformación esquemática del Tanque Clarificador Secundario

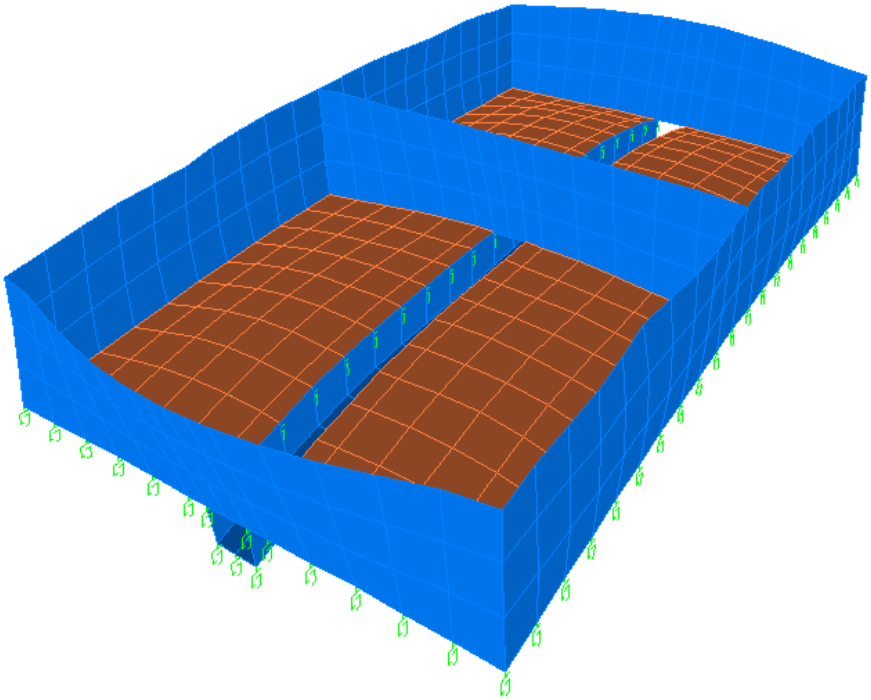


Ilustración 14.- Deformación esquemática de los tanques Eras de Secado

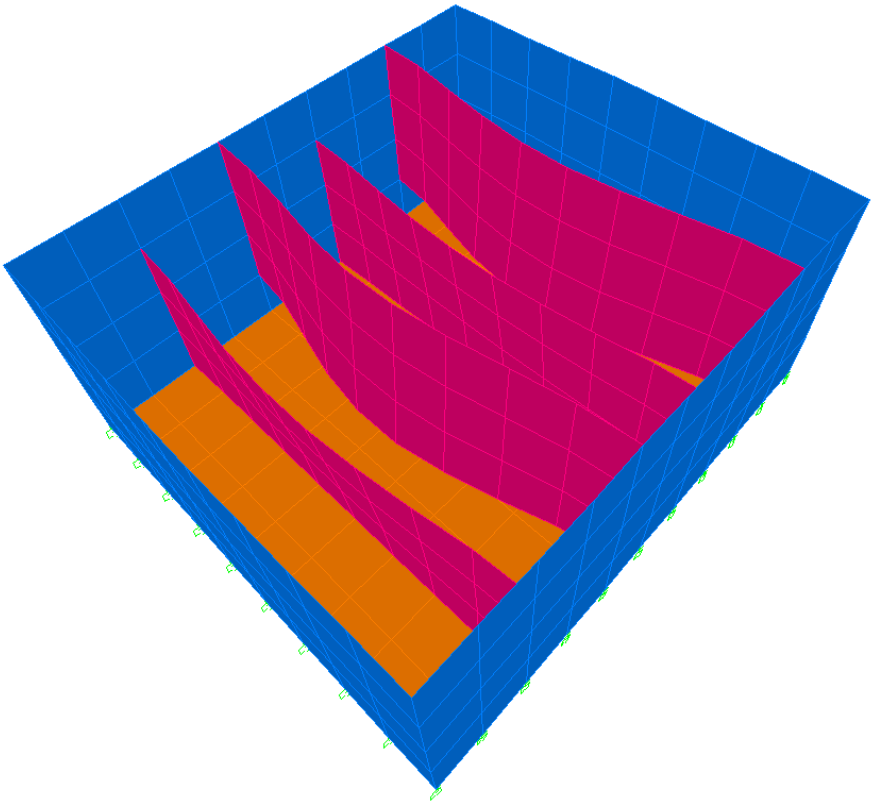


Ilustración 15.- Deformación esquemática del tanque de Desinfección

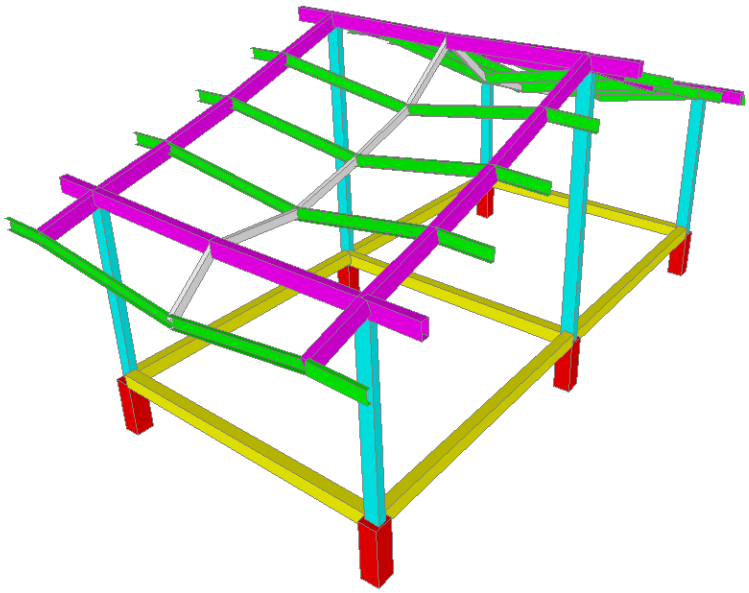


Ilustración 16.- deformación esquemática de caseta de oficinas y laboratorio

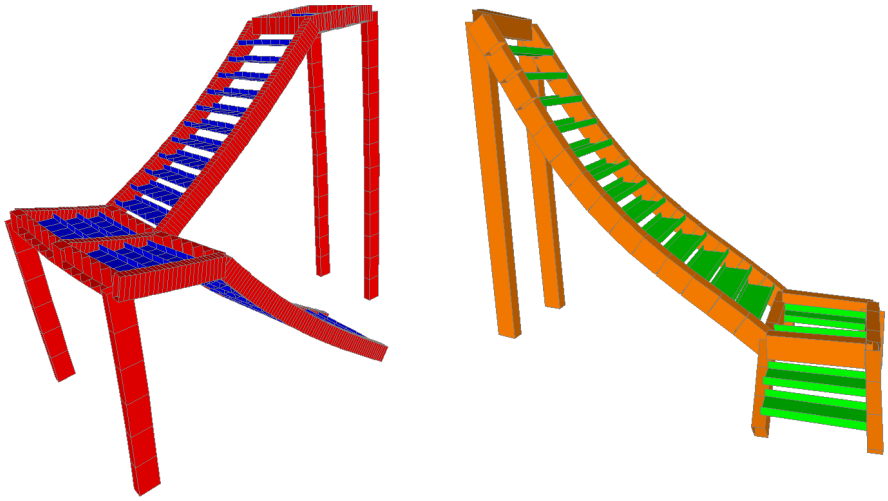


Ilustración 17.- Deformación esquemática de gradas metálicas

4.2 Diagramas de momentos

Las siguientes figuras corresponden a los momentos máximos según la envolvente de combinaciones de carga. Para el diseño estructural se considera los mayores esfuerzos en cada uno de los elementos.

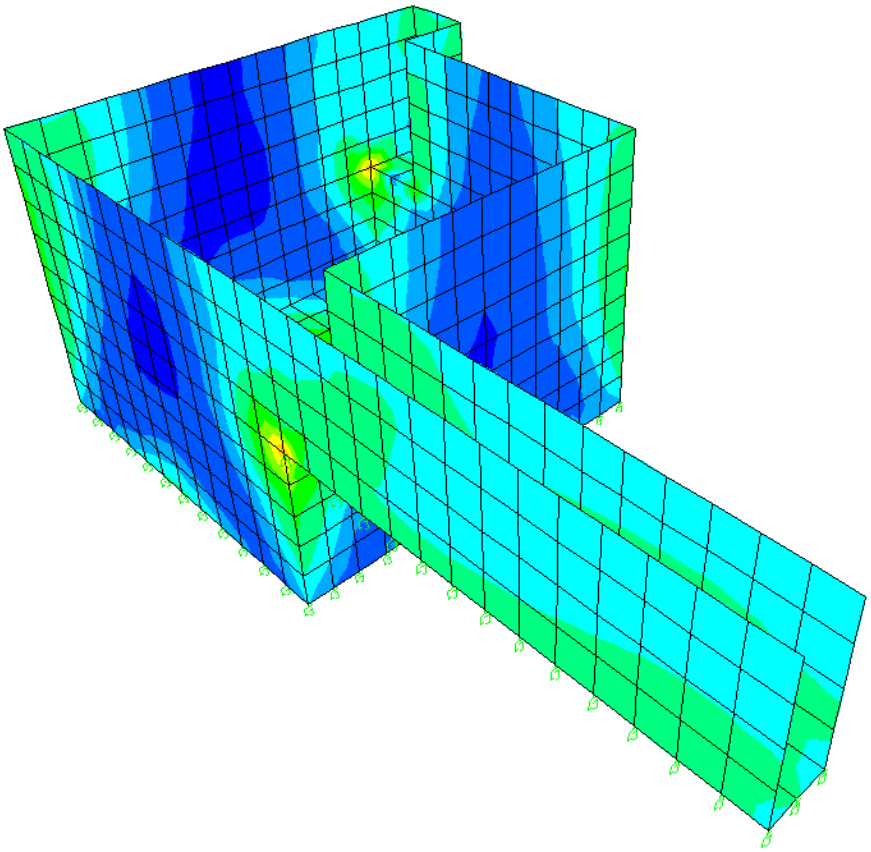


Ilustración 18.- Momentos máximo del Canal de Ingreso y Tanque Homogenizador

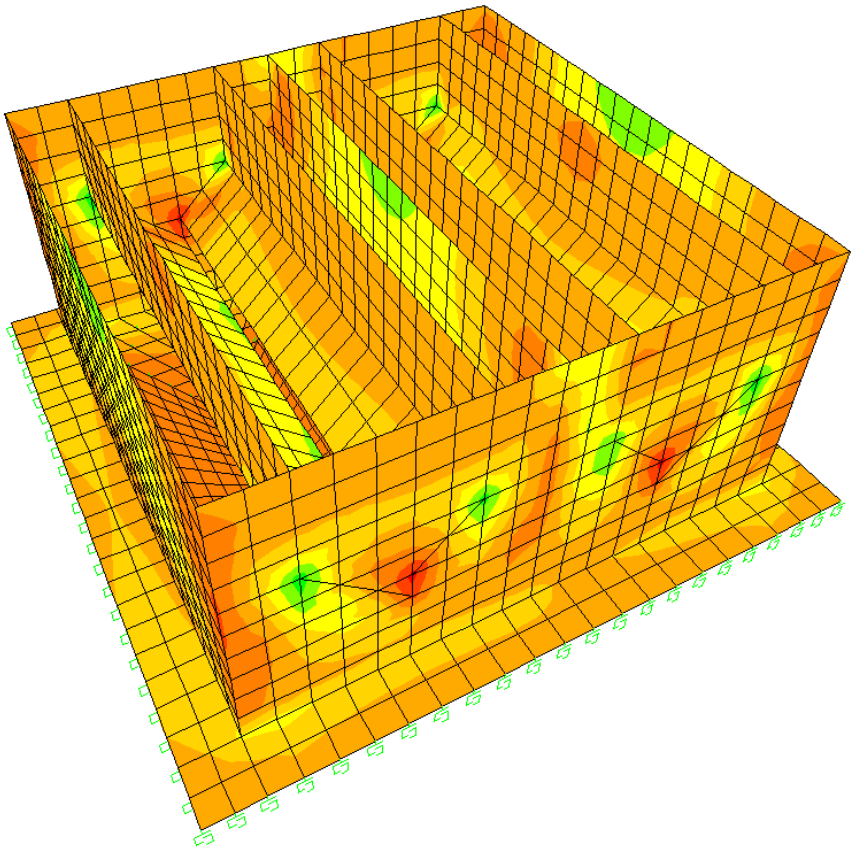


Ilustración 19.- Momentos máximo del Tanque Imhoff

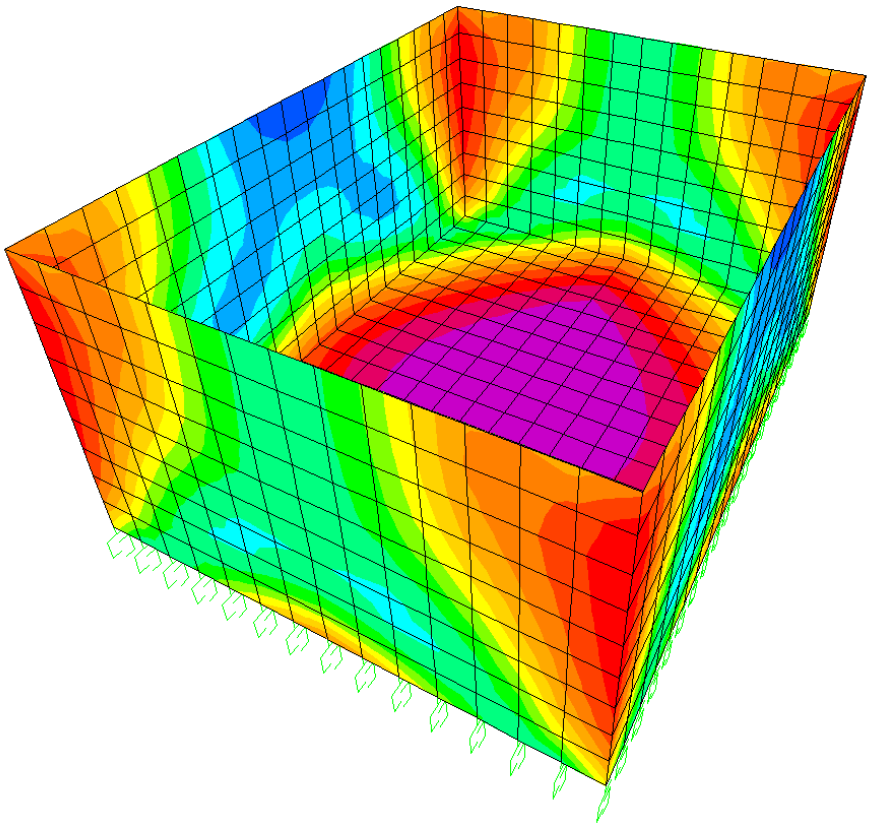


Ilustración 20.- Momento máximo del Tanque de Lodos Activados

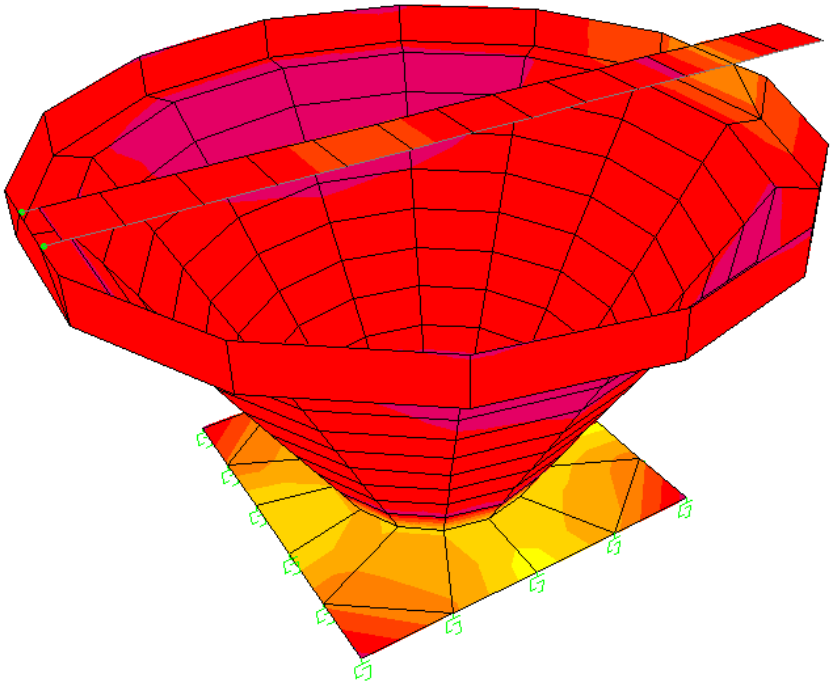


Ilustración 21.- Momento máximo del Tanque Clarificador Secundario

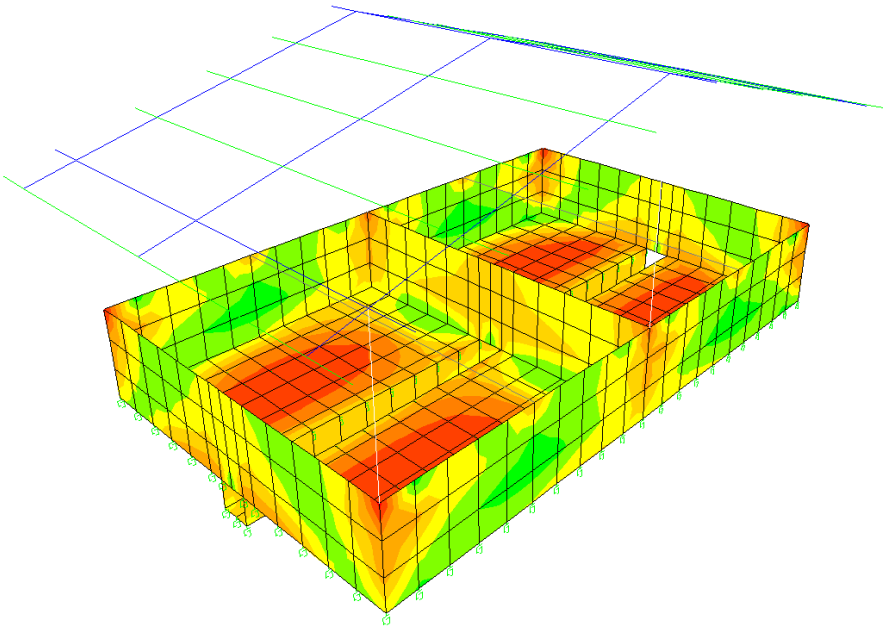


Ilustración 22.- Momento máximo de los tanques Eras de Secado

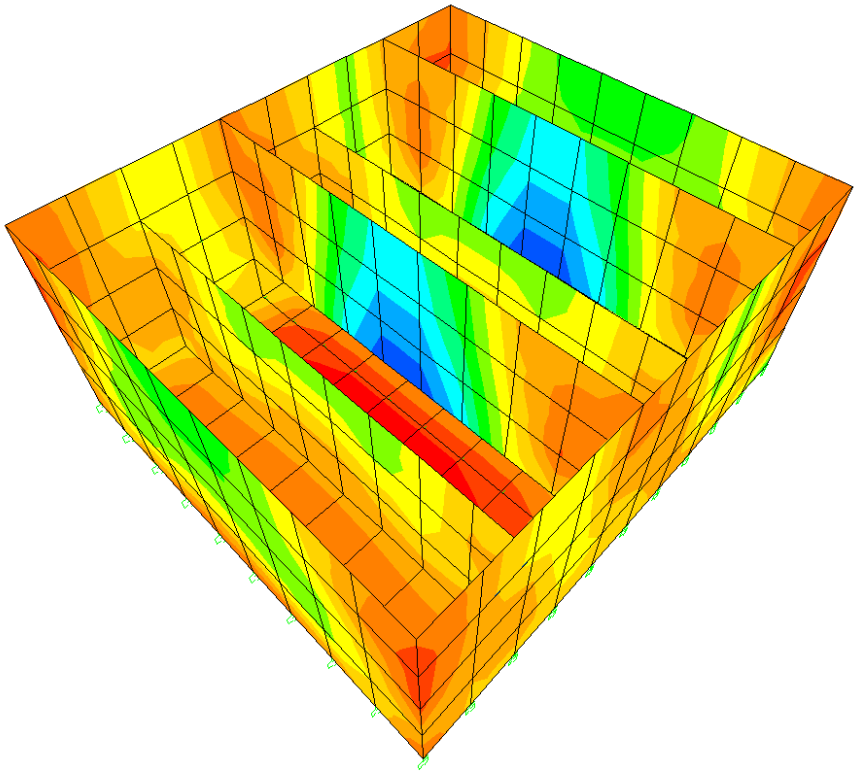


Ilustración 23.- Momentos máximos del tanque de Desinfección

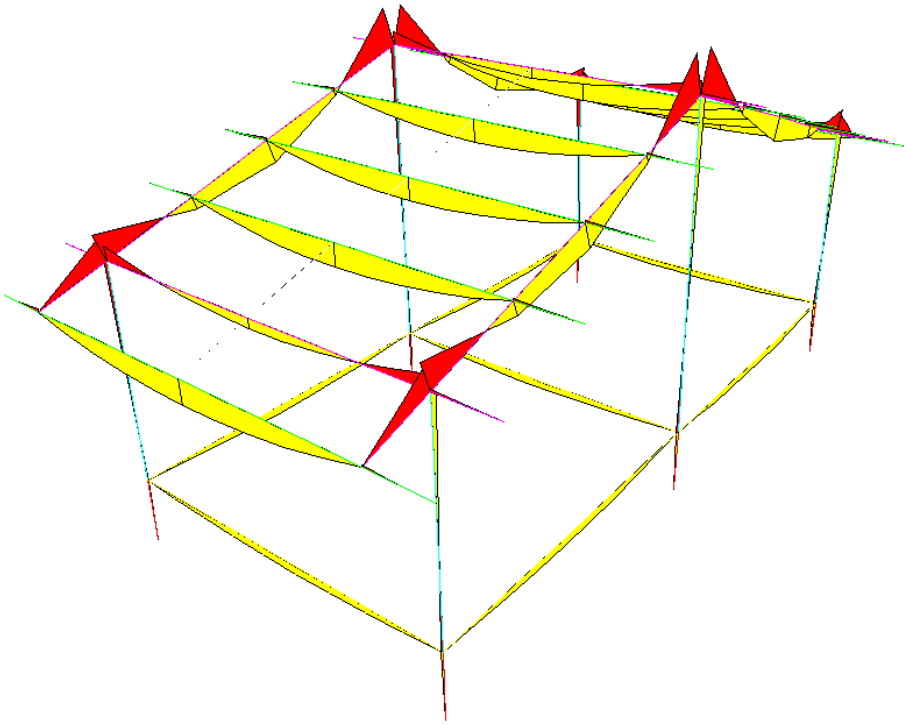


Ilustración 24.- Momentos Máximos de caseta de oficinas y laboratorio

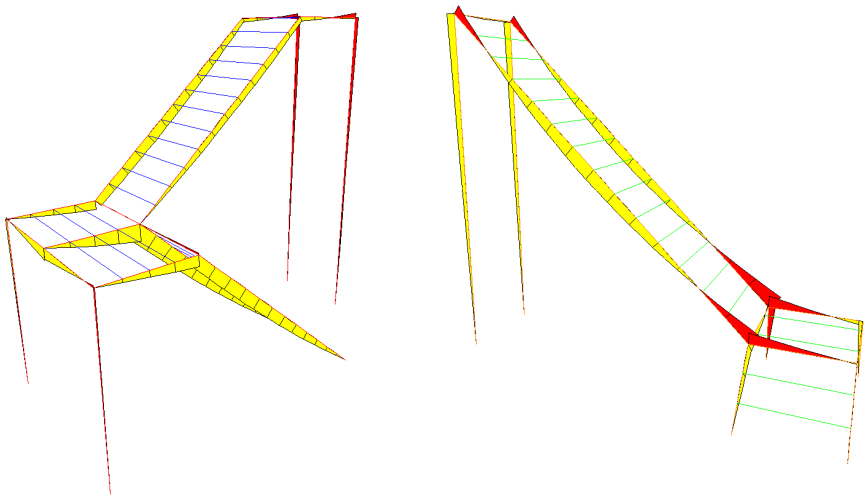


Ilustración 25.- Momentos Máximos de gradas metálicas

4.3 Diagramas de cortantes

Las siguientes figuras muestran las fuerzas cortantes bajo las mismas condiciones de combinaciones de carga que las utilizadas para los diagramas de momentos.

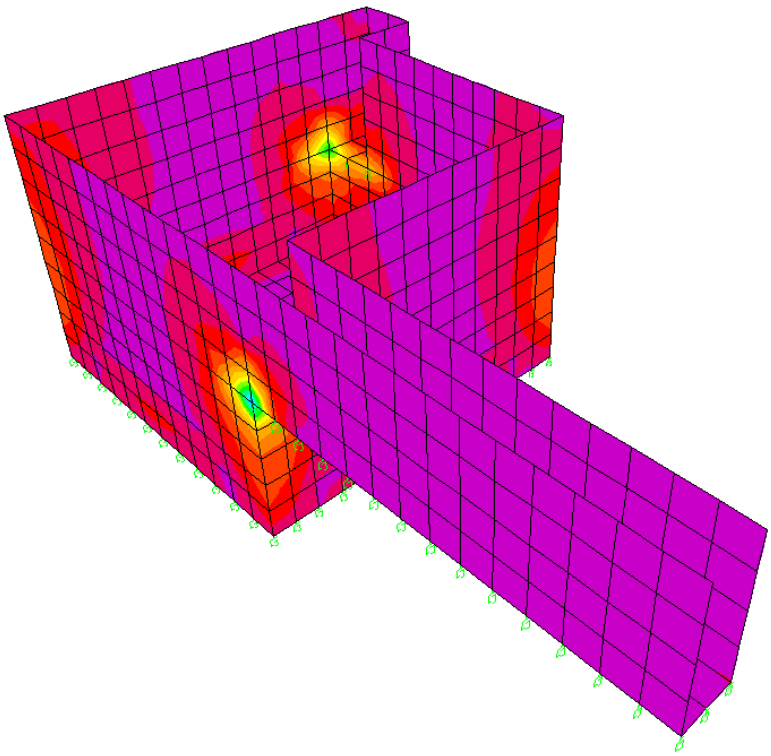


Ilustración 26.- Cortantes máximos del Canal de Ingreso y Tanque Homogenizador

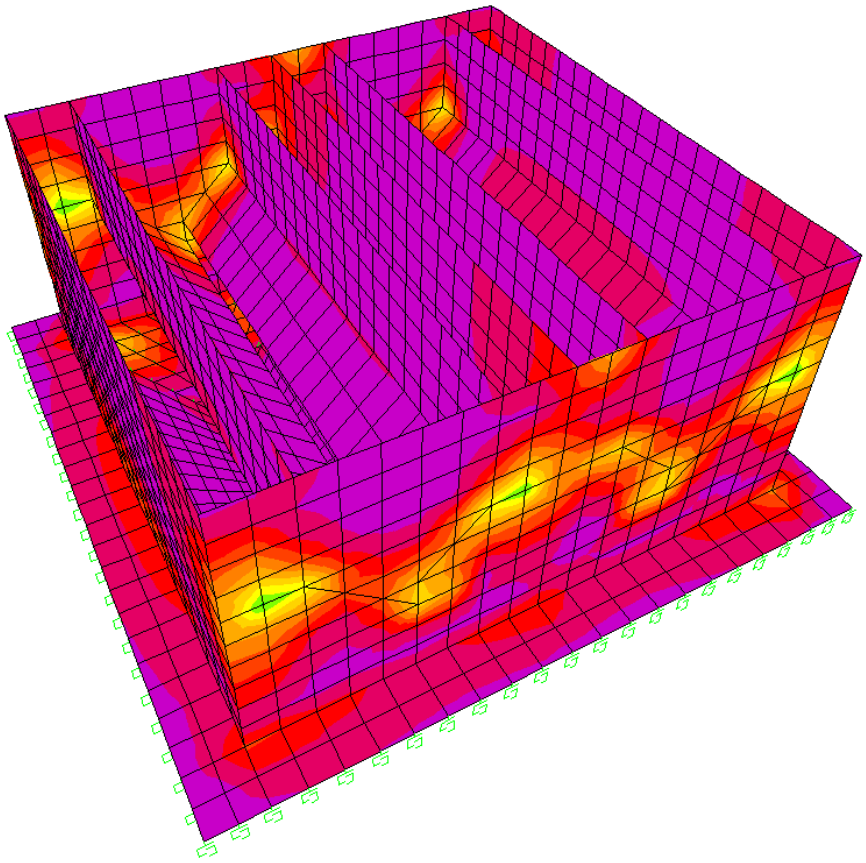


Ilustración 27.- Cortante máximo del Tanque Imhoff

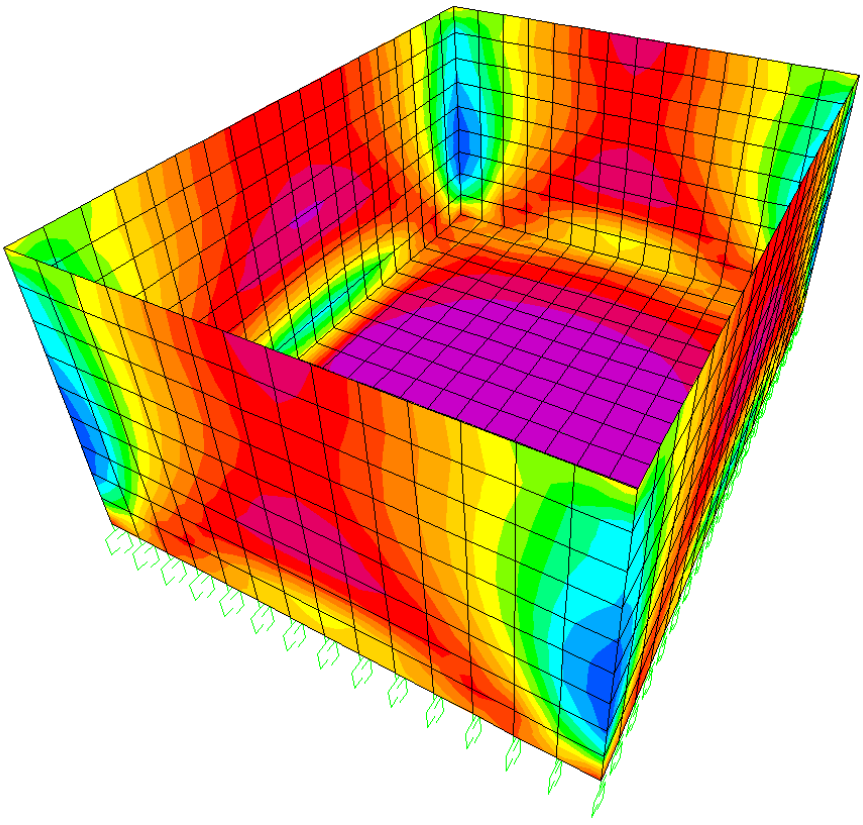


Ilustración 28.- Cortante máximo del Tanque de Lodos Activados

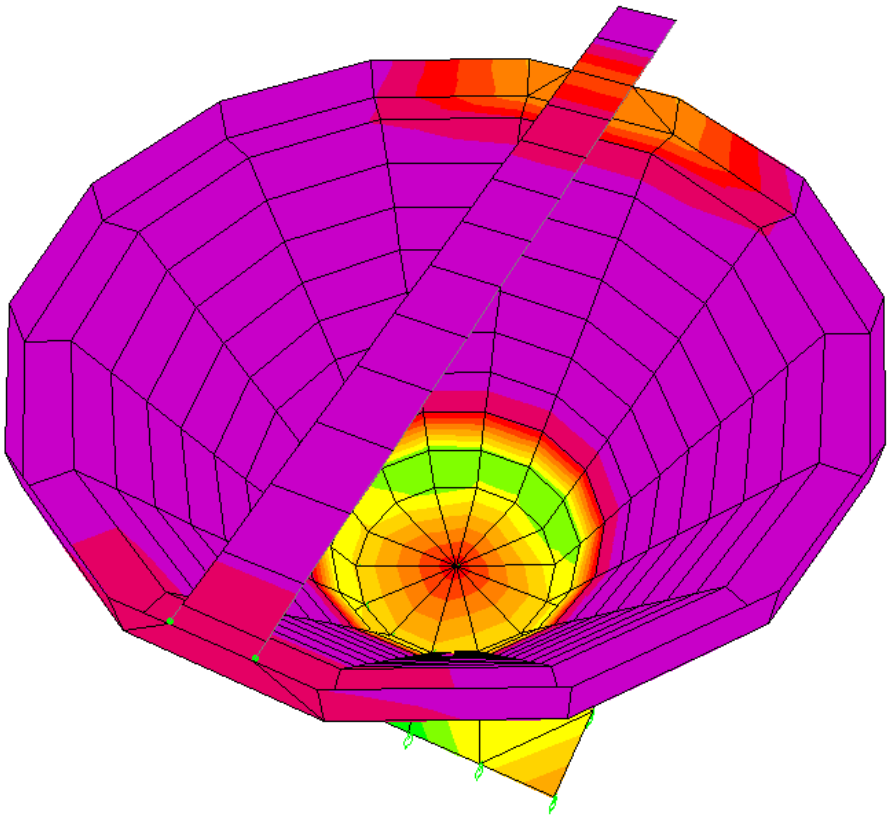


Ilustración 29.- Cortante máximo del Tanque Clarificador Secundario

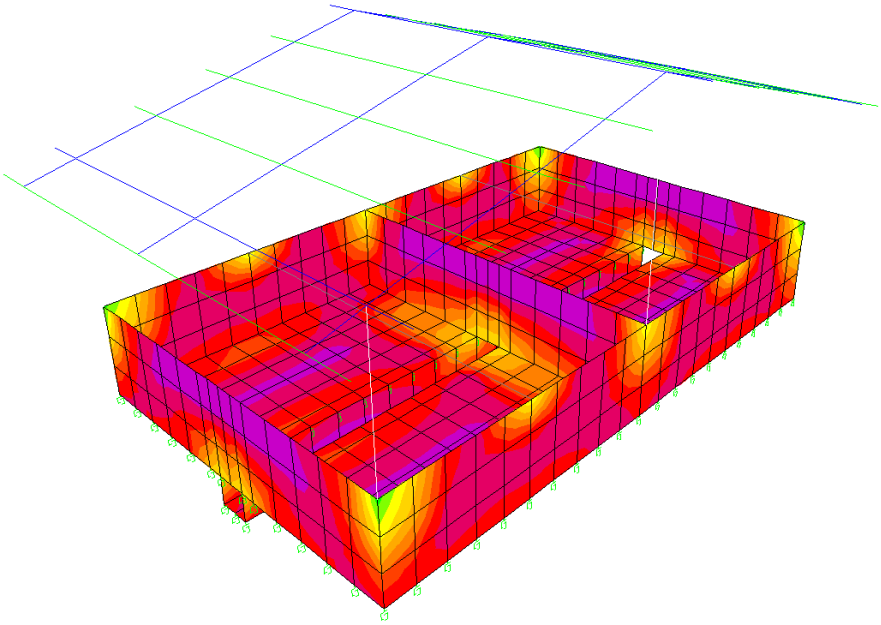


Ilustración 30.- Cortante máximo de los tanques Eras de Secado

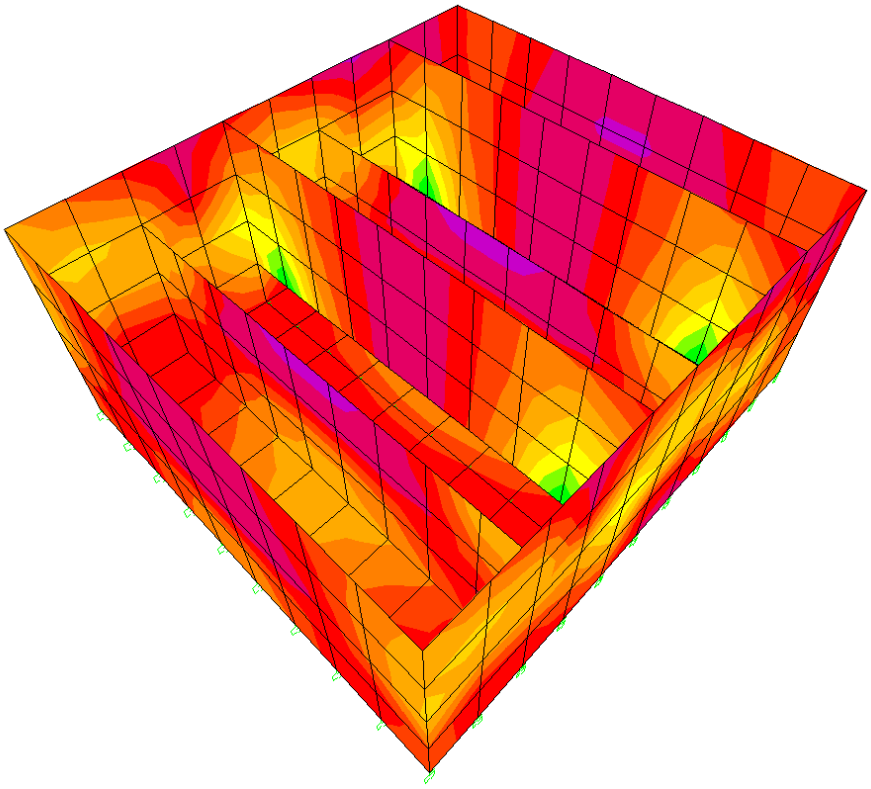


Ilustración 31.- Cortantes máximos del tanque de Desinfección

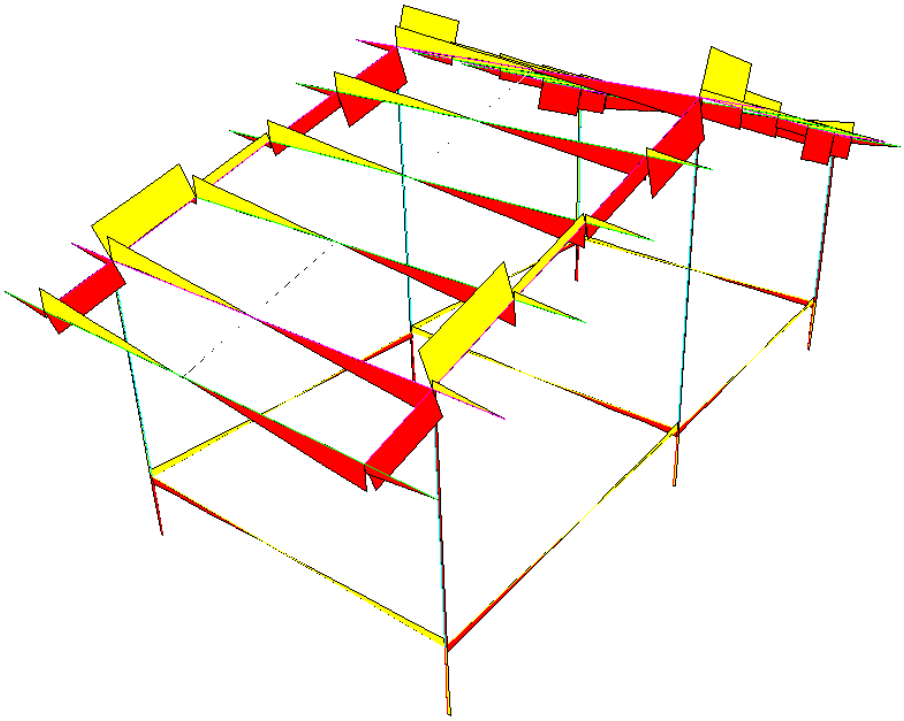


Ilustración 32.- Cortantes Máximos de caseta de oficinas y laboratorio

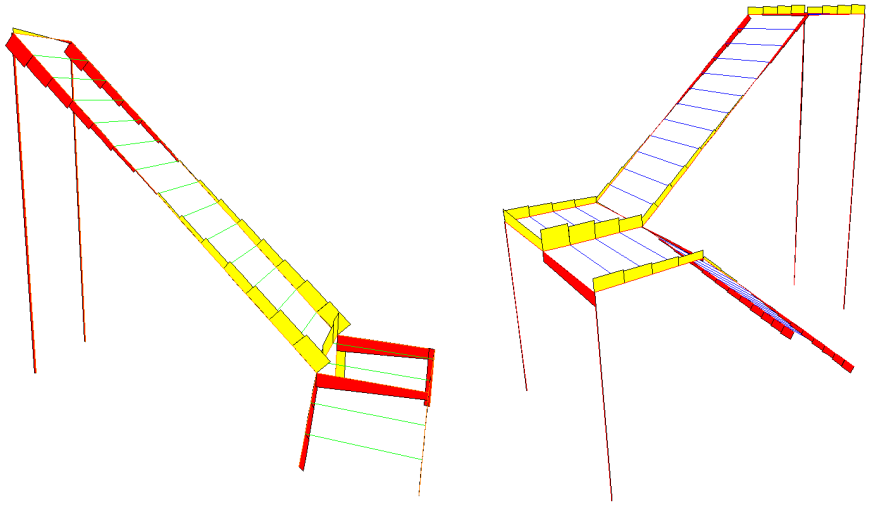


Ilustración 33.- Cortantes Máximos de gradas metálicas

4.4 Cimentación

Para el cálculo de la cimentación se dividió al diseño en dos etapas principales. Para dimensionar las losas se utilizó un criterio geotécnico, utilizando las cargas de servicio y obteniendo las dimensiones de manera que los esfuerzos actuantes en el suelo no sobrepasen los esfuerzos admisibles en el mismo. La segunda etapa consiste en reforzar estos elementos utilizando cargas últimas, obteniéndose el área de acero de refuerzo longitudinal y transversal.

5 PROCESO CONSTRUCTIVO

5.1 Construcción de losas de piso de fondo

Al momento de la fundición del hormigón de las losas de fondo, es conveniente lograr uniones monolíticas y en su defecto dejar juntas especiales de construcción utilizando siempre una banda de PVC, llave de cortante y sellador. Estos detalles son de carácter esencial para garantizar la estanqueidad del depósito. Además una capa del hormigón de limpieza de 140 kg/cm^2 se debe colocar sobre la capa la mejoramiento compactado, al 100% del proctor estándar.

5.2 Construcción de muros

Se recomienda la utilización de juntas especiales de construcción para los muros de todas las zonas de la planta, dispuestas aproximadamente cada 2 m en la altura del muro respectivo. Estas juntas incluyen banda de PVC, llave de cortante y sellador. La ubicación de estos detalles favorece al sistema de encofrados y al paso de los refuerzos a través del muro.

5.3 Colocación de tubería y rejillas

Para el paso de tuberías a través de los muros, es necesario dejar embebido en el hormigón anillos de acero que se podrán anclar posteriormente a la tubería. Además en caso de tener que cortar varillas para el paso de tubería, se deberá reforzar dicha zona con al menos el 50% del refuerzo cortado en cada uno de los lados de la tubería, respetándose un recubrimiento para el hormigón no menor de 5cm.

6 ESPECIFICACIONES DE MATERIALES

Adjunto a este documento se entregan los planos estructurales que sintetizan los resultados del estudio realizado, así como las cantidades de obras y planillas respectivas para la construcción de los elementos necesarios.

Para la resistencia a compresión de todos los elementos de hormigón será de f'c=300 kg/cm^2 y para los replantillos será de f'c=140 kg/cm^2.

El acero utilizado para el diseño corresponde al acero A36. Las uniones se realizan con suelda. Los elementos deberán ser construidos en su mayor parte en taller con suelda MIG o MAG. En obra se utilizará soldadura de arco con electrodo E7018.

El suelo sobre el que se va a construir debe cumplir ciertas especificaciones de compactación para evitar asentamientos en la estructura. Como losas de cimentación se aplica una capa de hormigón pobre para nivelación (replantillo f'c=140 kg/cm^2) de 5cm de espesor y debajo de esta una capa de 25 cm de material de mejoramiento compactado al 100% del proctor estándar. El valor de capacidad portante del suelo asumido según el estudio de suelos proporcionado por la parte planificadora es σ_{adm}= 1.0 Kg/cm^2.

Atentamente

Ing. Fernando Zalamea L. PhD.
Consultor Estructural