



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO
DE MÉXICO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA
CENTRO INTERAMERICANO DE RECURSOS DEL AGUA**



**DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA
PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE LA ZONA METROPOLITANA
DEL VALLE DE TOLUCA**

**TESIS QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTA
VÍCTOR ALFONSO GALICIA AGUILAR**

**ASESOR
DR. CARLOS DÍAZ DELGADO**

**COASESOR
DR. DAURY GARCÍA PULIDO**

MAYO 2018



DEPTO. DE EVALUACIÓN PROFESIONAL

No. Oficio: 15/2018

Ciudad Universitaria, Toluca, Méx. a 17 de abril del 2018

C. VÍCTOR ALFONSO GALICIA AGUILAR
PASANTE DE INGENIERÍA CIVIL
PRESENTE.

En respuesta a su solicitud, a continuación transcribo el tema aprobado por esta Dirección, que propuso el **DR. CARLOS DÍAZ DELGADO**, con el fin de que lo desarrolle en la modalidad de **TESIS**, le informo que se autoriza la impresión de su trabajo para presentar su Evaluación Profesional.

"DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA PARA UNA VIVIENDA UNIFAMILIAR DE LA ZONA METROPOLITANA DEL VALLE DE TOLUCA".

| | |
|-------------|------------------------|
| | ÍNDICE |
| | RESUMEN |
| CAPÍTULO 1. | INTRODUCCIÓN |
| CAPÍTULO 2. | MARCO TEÓRICO |
| CAPÍTULO 3. | MATERIALES Y MÉTODO |
| CAPÍTULO 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN |
| CAPÍTULO 5. | CONCLUSIONES |
| | ANEXOS |
| | REFERENCIAS |

Ruego a usted tomar nota de que en cumplimiento a lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses, como requisito indispensable para sustentar su Evaluación Profesional.

Asimismo, para la elaboración de la **TESIS** y demás trámites, deberá sujetarse a la reglamentación respectiva de esta Universidad.

ATENTAMENTE
PATRIA, CIENCIA Y TRABAJO
"2018, Año del 190 Aniversario de la Universidad Autónoma del Estado de México".


FACULTAD DE INGENIERÍA
U. A. E. M.
DRA. MARÍA DOLORES DURÁN GARCÍA
DIRECTORA DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Rec

**/Saha

Cerro de Coatepec S/N
Ciudad Universitaria; Toluca México
Tel. (722) 2-14-08-55 / 2-15-13-51

FI

El ingeniero reconoce que el mayor mérito es el trabajo, ejerciendo su profesión comprometido con el servicio de la sociedad mexicana, atendiendo al bienestar y el progreso.

Al transformar la naturaleza en beneficio de la humanidad, el ingeniero debe acrecentar su conciencia de que el mundo es la morada del hombre y de que su interés por el universo es una garantía de la superación de su espíritu y del conocimiento de la realidad para hacerla más justa y feliz.

CODIGO DE ÉTICA DEL INGENIERO

A mis padres

A mis hermanas

A mi familia

RESUMEN

El presente estudio, forma parte de un proyecto integral de estudio de reutilización y captación de agua de lluvia destinada a cubrir distintos usos no potables. En este trabajo se evaluaron distintos diseños y propuestas de tanques de almacenamiento de agua de lluvia para viviendas unifamiliares de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT).

También, cabe destacar que es parte de un macro proyecto de investigación llevado a cabo simultáneamente con otros proyectos de investigación de los cuales fueron extraídas las propuestas de estratos y capacidad de volumen del sistema para el diseño realizado en este trabajo.

Primero se identificaron las propuestas de materiales para la construcción del sistema, resultando tres alternativas viables: a) con neumáticos reutilizados reforzados estructuralmente con elementos de concreto; b) cajas de plástico utilizadas para el almacenaje de frutas y legumbres; y c) un diseño propio autosoportante a través de su producción industrial con inyección de plástico.

Cada una de las propuestas fueron analizadas estructuralmente a través del software de análisis estructural SAP2000, resaltando la importancia y el aporte de la tecnología para la ingeniería, facilitando los análisis con un modelo de cada alternativa y simulando la aplicación de cargas para predecir su comportamiento a través de sus deformaciones, las cuales fueron de 0.0056 cm para el sistema de neumáticos, deformaciones mayores a los 3cm para las cajas de plástico y de 0.01 cm para el modelo autosoportante en los casos más críticos.

Después de conocer su eficiencia y confiabilidad estructural, a los sistemas que se consideraron viables estructuralmente, se analizaron sus costos de construcción por metro cuadrado de área disponible, siendo de \$1,856.43 para el caso del sistema con neumáticos y de \$580.07 para el diseño autosoportante. Adicionalmente, se realizó una comparación de costos de las soluciones comerciales existentes para identificar qué sistema puede ser estructuralmente confiable y económicamente viable para su construcción de acuerdo con la zona de estudio. El resultado de esta investigación es que el sistema propio de módulos de plástico cumple con todos los requisitos exigidos y es el más económico.

Contenido

| | |
|--|----|
| RESUMEN..... | 4 |
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 9 |
| 1.1. Antecedentes..... | 10 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 13 |
| 1.3. Justificación..... | 15 |
| 1.4. Hipótesis..... | 17 |
| 1.5. Objetivos..... | 17 |
| 2. MARCO TEÓRICO..... | 18 |
| 2.1. Agua de lluvia..... | 18 |
| 2.2. Sistemas de recolección de agua de lluvia..... | 19 |
| 2.2.1. Alternativas para la captación del agua de lluvia..... | 20 |
| 2.2.2. Componentes de los sistemas de recolección de agua de lluvia..... | 21 |
| 2.2.3. Beneficios de la cosecha de lluvia..... | 23 |
| 2.3. Tanques de almacenamiento para la recolección de agua de lluvia..... | 24 |
| 2.3.1. Materiales de construcción..... | 25 |
| 2.3.2. Elementos para el diseño de tanques de almacenamiento..... | 26 |
| 2.4. Software SAP2000..... | 27 |
| 3. MATERIALES Y MÉTODO..... | 29 |
| 3.1. Delimitación de la zona de estudio..... | 29 |
| 3.1.1. Características de la vivienda unifamiliar..... | 30 |
| 3.1.2. Costos de construcción..... | 32 |
| 3.2. Sistema de almacenamiento de agua pluvial..... | 32 |
| 3.3. Diseño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia en vivienda unifamiliar..... | 33 |
| 3.3.1. Determinación de la precipitación potencial y necesidades de riego en jardín de vivienda unifamiliar..... | 33 |
| 3.3.2. Determinación de cargas..... | 34 |
| 3.3.3. Propuestas de materiales de construcción..... | 35 |
| 3.4. Sistema de almacenamiento con neumáticos reutilizados..... | 37 |
| 3.4.1. Análisis estructural con el software SAP2000..... | 41 |
| 3.4.2. Análisis de costos..... | 45 |
| 3.5. Sistema de almacenamiento con cajas de plástico..... | 45 |
| 3.5.1. Análisis estructural con el software SAP2000..... | 46 |

| | | |
|--------|---|-----|
| 3.5.2. | Análisis de costos | 50 |
| 3.6. | Sistema de almacenamiento con módulos autoportantes | 51 |
| 3.6.1. | Análisis estructural con el software SAP2000..... | 54 |
| 3.6.2. | Análisis de costos | 56 |
| 4. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN..... | 57 |
| 4.1. | Cálculo de cargas..... | 57 |
| 4.1.1. | Jardín frontal..... | 57 |
| 4.1.2. | Jardín trasero | 58 |
| 4.2. | Dimensionamiento del sistema con neumáticos..... | 58 |
| 4.2.1. | Dosificación de mezcla de concreto para las columnas | 61 |
| 4.2.2. | Modelación en SAP2000 | 62 |
| 4.2.3. | Análisis de costos | 67 |
| 4.3. | Dimensionamiento del sistema con cajas de plástico..... | 69 |
| 4.4. | Dimensionamiento del sistema autoportante | 70 |
| 4.4.1. | Análisis para el jardín frontal | 73 |
| 4.4.2. | Análisis para el jardín trasero..... | 77 |
| 4.4.3. | Análisis de costos | 78 |
| 4.4.4. | Capacidad de almacenamiento..... | 80 |
| 4.4.5. | Revisiones estructurales complementarias..... | 80 |
| 5. | CONCLUSIONES..... | 87 |
| 6. | ANEXOS | 89 |
| | ANEXO I. Matrices de precios unitarios del sistema ECODRAIN ER-501 | 89 |
| | ANEXO II. Matrices de precios unitarios del sistema de neumáticos..... | 92 |
| | ANEXO III. Matrices de precios unitarios del sistema de piezas autoportantes..... | 96 |
| | ANEXO IV. Planos..... | 99 |
| | ANEXO V. Gráficas..... | 104 |
| | ANEXO VI. Cotización de la pieza autoportante..... | 107 |
| 7. | REFERENCIAS | 108 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|-----|
| Figura 1. Depósito abierto en Dholavira, India. Fuente: Moritz Parra (2013). | 11 |
| Figura 2. Componentes de un sistema de recolección de agua de lluvia. Fuente: (Sitiosolar.com, 2013) | 22 |
| Figura 3. Ubicación geográfica de la ZMVT. Fuente: (Posadas Bejarano, 2015) | 29 |
| Figura 4. Dimensiones del terreno para el caso de estudio. | 31 |
| Figura 5. Fachada principal de la vivienda..... | 31 |
| Figura 6. Vista del jardín trasero de la vivienda..... | 32 |
| Figura 7. Proceso de acondicionamiento de agua pluvial | 32 |
| Figura 8. Proceso del sistema de captación hasta el almacenamiento del agua de lluvia | 33 |
| Figura 9. Espesores propuestos por García (2017). Cotas en cm | 34 |
| Figura 10. Sistemas modulares ECODRAIN. Fuente: (ECODRAIN, 2017)..... | 36 |
| Figura 11. Acomodo propuesto para los neumáticos (vista transversal). Cotas en cm | 38 |
| Figura 12. Acomodo propuesto para los neumáticos por m ² . (vista planta)..... | 40 |
| Figura 13. Caja de plástico para almacenar frutas | 46 |
| Figura 14. Módulos construidos con las cajas de plástico..... | 46 |
| Figura 15. Vista en planta del diseño autosportante..... | 51 |
| Figura 16. Corte transversal del diseño. Cotas en cm. | 52 |
| Figura 17. Vista en 3D del diseño | 52 |
| Figura 18. Dimensiones de la conexión diseñada..... | 53 |
| Figura 19. Sistema de conexión propuesto. Cotas en cm | 53 |
| Figura 20. Propuesta de estratos (cotas en cm) | 57 |
| Figura 21. Losa propuesta. Cotas en cm..... | 58 |
| Figura 22. Armado final de la losa. | 61 |
| Figura 23. Diseño de las piezas de refuerzo. Vista en planta. | 75 |
| Figura 24. Vista 3D de la pieza de refuerzo. Cotas en cm. | 76 |
| Figura 25. Acomodo propuesto para las piezas autosoportantes..... | 79 |
| Figura 26. Deformaciones para la pieza autosoportante con sección de 0.3 mm..... | 104 |
| Figura 27. Deformaciones para la pieza autosoportante con sección de 0.6 mm..... | 105 |
| Figura 28. Deformaciones para la pieza autosoportante con sección de 10 mm..... | 106 |

NOMENCLATURAS Y UNIDADES

| | |
|----------------|--|
| A | Claro de losa (cm) |
| a ₁ | Claro corto (cm) |
| a ₂ | Claro largo (cm) |
| AP | Agua pluvial |
| As | Área de refuerzo mínimo (cm ²) |
| b | Ancho (cm) |
| CMs | Carga muerta de servicio (kg/cm ²) |
| Cu | Cohesión del suelo (kg/m ²) |
| CV | Carga viva (kg/cm ²) |
| d | Peralte (cm) |
| e | Índice de vacíos |
| Ea | Empuje activo (kg/m) |
| f'c | Resistencia a compresión (kg/cm ²) |
| Fc | Factor de carga |
| Fr | Factor de resistencia |
| Fy | Resistencia a flexión (kg/cm ²) |
| k | Coefficiente de momento |
| Mu | Momento último (kg) |
| Nc | Coefficiente de capacidad de carga |
| PEAD | Polietileno de alta densidad |
| Pv | Presión vertical a la profundidad de desplante |
| Q | Subpresión (kg/m ²) |
| V | Volumen (m ³) |
| v | Porcentaje sumergido (%) |
| Wv | Carga actuante |
| ZMVT | Zona Metropolitana del Valle de Toluca |
| γ | Densidad del agua (1000 kg/m ³) |
| γ _s | Peso específico del suelo (kg/m ³) |
| P | Cuantía de acero |
| ρ | Cuantía de acero |
| Φ | Ángulo de fricción |

1. INTRODUCCIÓN

La gran incertidumbre sobre la seguridad hídrica del mundo ha hecho de los sistemas de recolección de agua de lluvia, un área importante de investigación. Los países con un estrés hídrico considerable, han puesto la mirada en la cosecha de agua de lluvia como una alternativa para mitigar los problemas de la escasez. Por ejemplo, en ciudades como Delhi y Chennai, en India, debido al crecimiento de la población y al estrés hídrico que vive el país, ha dado lugar a que los sistemas de recolección de agua de lluvia sean obligatorios en cualquier construcción.

Aunado al problema de escasez, existe el de las inundaciones, causadas por el exceso de escurrimientos torrenciales que saturan los drenajes urbanos. Los canales y ríos que llevan el agua en época de lluvias han incrementado su volumen debido al crecimiento de las ciudades. Esto se debe a que se han impermeabilizado las superficies que antes permeaban el agua hacia el subsuelo y a que se ha mezclado el drenaje de aguas pluviales con el de aguas negras; por lo tanto, ha aumentado la cantidad de ambas en los sistemas de drenaje.

En México, los estudios revelan una tendencia importante de la población a abandonar las zonas rurales y concentrarse en las zonas urbanas. Esto representa un grave problema, dar la seguridad de abasto de agua a toda la población.

Los sistemas de captación de agua de lluvia han sido empleados desde la antigüedad como una técnica para proveer de agua a los seres humanos. En efecto, esta práctica se ha ido relegando a las zonas rurales. Sin embargo, para el siglo XXI a causa de los problemas hídricos, la captación de agua de lluvia ha tomado relevancia en las zonas urbanas ante la necesidad de tener fuentes alternativas en el suministro de agua.

Los usos que se le dan al agua potable que llega a las viviendas a través de las redes de suministro son principalmente tres: consumo humano, sanitario e irrigación. La captación de agua de lluvia supone una alternativa viable para suplir por lo menos, los últimos dos usos, ya que no se requiere de una calidad potable para ser utilizada.

Los sistemas de captación de agua de lluvia se componen de varios elementos, por lo cual, el propósito del presente trabajo es diseñar el tanque de almacenamiento que permita satisfacer parcial o totalmente la demanda de riego para el jardín de una vivienda unifamiliar e incluso pueda sustituir otros usos no potables.

1.1. Antecedentes.

Desde los inicios de la humanidad la captación de aguas de lluvias para suplir las necesidades básicas, ha sido una práctica común. En la actualidad esta práctica ha sido sustituida por sistemas de suministro de agua que prestan las empresas de servicios públicos, cuyo principio es el mismo, captar aguas superficiales en las partes altas y de una riqueza hidrológica para luego ser transportada por medio de redes municipales a los centros urbanos y de ahí a los puntos de consumo en cada uno de los hogares, industrias, instituciones que demandan el líquido vital (Reyes & Rubio, 2014).

Una de las soluciones para hacer frente a la escasez de agua es el aprovechamiento eficiente del agua de lluvia, tradición milenaria que se practica desde hace 5000 años. De acuerdo con Moritz Parra (2013), las primeras civilizaciones se asentaron por ello en zonas cercanas a ríos y a fuentes de agua y comenzaron a construir las primeras obras de irrigación y de abastecimiento de agua para sus aldeas y ciudades. Sin embargo, en algunas zonas la disponibilidad de agua no era abundante o las fuentes de agua superficial no eran de la mejor calidad, surge así la idea en diferentes partes del mundo, de captar agua durante la temporada de lluvias, agua que, por provenir de la condensación del vapor de agua en las nubes, constituye una fuente de agua dulce de buena calidad para beber.

A lo largo de distintas épocas, culturas en todo el mundo desarrollaron métodos para recoger y utilizar el recurso pluvial, sin embargo, con el progreso de los sistemas de distribución entubada, estas prácticas se fueron abandonando (Soluciones Hidropluviales, 2017).

Los sistemas de recolección de agua de lluvia tienen una larga historia. Hay ejemplos de sistemas que datan de 2000 a. C. en Roma, Medio Oriente, África, India y China (Liaw & Chiang, 2014). La recolección de agua de lluvia fue un método muy empleado por las sociedades antiguas en todo el mundo y en muchas ocasiones el único procedimiento para el abastecimiento de agua en algunas regiones. Muchos edificios antiguos estaban dispuestos de tal forma que el agua que caía en los tejados se canalizaba a un gran depósito subterráneo o semisubterráneo.

Por ejemplo, en Jericó, Israel, con la aparición de primitivos asentamientos agrícolas en el Valle del río Jordán, que subsistían gracias a la siembra del trigo y la cebada en una región en donde el rango de precipitación anual es de 300 mm al año, el mínimo necesario para la agricultura, surge la necesidad de aprovechar al máximo las escasas precipitaciones y coleccionar y guardar tanta

agua como se pudiera cada vez que ocurriesen las lluvias. Así estos agricultores comenzaron a excavar en el terreno cisternas que se llenaban con agua durante las lluvias (Moritz-Parra, 2013).

Otro ejemplo del uso de sistemas de captación de agua de lluvia, se encuentra en Dholavira, en la India, donde existen ruinas arqueológicas de hace unos 5000 años pertenecientes a la civilización Harapata. Cabe señalar que esta civilización se asentó en una zona desértica, que en la época del monzón¹ queda rodeada por el agua, por lo que una de las características únicas de Dholavira es un sofisticado sistema de recolección de agua, con canales y embalses, tal vez el más antiguo del mundo y totalmente construido en piedra (Moritz-Parra, 2013).



Figura 1. Depósito abierto en Dholavira, India. Fuente: Moritz Parra (2013).

En la antigua Mesoamérica, la recolección fue una práctica muy usada. El agua que caía con las lluvias se recolectaba en recipientes o depósitos subterráneos, o a cielo abierto. El agua se captaba mediante canales y zanjas, aprovechando el agua rodada (en patios y casas, en el campo, en jagüeyes² o mediante bordos) o bien conduciéndola desde los techos de las viviendas y edificios por medio de canjilones de madera o pencas o canalitos, a los depósitos (Sastria, 2014).

En diversas partes del mundo, en las zonas rurales donde no se tiene acceso al servicio de agua potable, existen pobladores que obtienen el recurso hídrico directamente de cuerpos de agua (ríos, manantiales, aguas subterráneas, etc.), por medio de acarreo en bidones, conduciendo el

¹ Viento estacional que se produce por el desplazamiento del cinturón ecuatorial. En verano los vientos soplan de sur a norte, cargados de lluvias y que inicia en la costa de Kerala, en la India.

² Los Jagüeyes son depósitos de agua a cielo abierto, comunes en el centro y sur de México.

agua por canales naturales y/o artificiales o construyendo los llamados pozos artesianos para la extracción de aguas subterráneas.

En el México actual, existen diversos sistemas de recolección de agua de lluvia. Entre los más comunes se encuentran las cisternas, que son obras de construcción muy comunes y difundidas, que usualmente reciben su dotación de agua de la red pública de suministro o por medio de carro-tanque, usualmente se construyen para tener una reserva de agua en caso de que exista una interrupción en el suministro o bien para disponer de agua en aquellas localidades en donde no existe una red municipal de agua (red pública de agua). Las cisternas tradicionalmente se construyen subterráneas, en mampostería y con un recubrimiento interior que evita las pérdidas de agua y facilita la limpieza. Actualmente también se distribuyen de manera comercial y con bastante éxito, cisternas prefabricadas en polietileno de alta densidad, que pueden colocarse bajo tierra o sobre ella (Moritz-Parra, 2013).

Ante el reto que supone el aumento de la población y la escasez del suministro, tanto en las zonas urbanas como rurales, la captación de agua de lluvia y nuevos sistemas para su correcta gestión, vuelven a verse como una solución para ahorrar y aumentar las reservas de agua (Soluciones Hidropluviales, 2017).

1.2. Planteamiento del problema

El crecimiento demográfico, el desarrollo de grandes ciudades y el cambio climático mundial representan una presión muy significativa para los recursos hídricos con los que se cuenta. Es importante que los administradores de estos recursos tomen en consideración dichos factores y se apliquen medidas que contrarresten la presión sobre los recursos hídricos que afecta a la población.

La gestión sostenible de los recursos hídricos es una tarea urgente pues la población crece rápidamente en general, pero concentrándose en las zonas urbanas. La dificultada recarga de los mantos acuíferos y la creciente demanda de agua, representan una amenaza para la población, la salud y el desarrollo.

La reutilización urbana del agua es un proceso clave de hidrología urbana, ya que cierra el ciclo del agua en entornos donde la relación del suelo y la atmósfera es alterada por grandes áreas pobladas y altamente impermeables.

Según las Estadísticas del Agua en México (CONAGUA, 2016), el país vive en estrés hídrico y ciertas cuencas lo experimentan con mayor intensidad que otras. En los últimos sesenta años, la cantidad de agua disponible para cada persona ha disminuido drásticamente debido al crecimiento demográfico; aunado a ello, el agua no está repartida uniformemente en México, esto por la situación geográfica de nuestro país donde en la zona centro-norte, es una zona desértica y más de tres cuartas partes de la población viven en estas regiones donde hay poca disponibilidad, mientras que en el sur llueve más, pero la población es menor.

Para México, la implementación de fuentes alternas de suministro de agua, como la recolección de agua de lluvia, supondría una importante contribución para reducir la escasez de agua que se presenta en grandes áreas del país. Es de resaltar que esta clase de sistemas, contribuyen en la disminución de la sobreexplotación de los cuerpos de agua y se reducen las descargas de aguas pluviales al sistema de alcantarillado, aspectos que conllevan no sólo a beneficios ambientales, sino económicos y sobre todo a mitigar el sufrimiento de la población por la escasez o exceso de agua.

El suministro de agua potable a la población de las zonas urbanas en el país, proviene generalmente de la explotación de los cuerpos de agua, en su mayoría, subterráneos. Gran parte

de esta población, habita en viviendas que cuentan con algún tipo de área verde (jardín), y que, en épocas de estiaje, el agua potable suministrada a estos hogares, es utilizada para el riego de dichas áreas, generando un desperdicio considerable del vital líquido.

Para Moritz Parra (2013), el problema más dramático que sigue afrontando el habitante de México, es la carencia del agua para consumo humano y consumo animal.

En el presente estudio, se busca almacenar agua pluvial en un tanque con un diseño que permita satisfacer la necesidad de riego de los jardines de hogares unifamiliares en la zona de estudio, proponiendo así, que se reduzca el uso de agua proveniente de la explotación de los mantos acuíferos.

1.3. Justificación

En los últimos años, el mundo ha presentado cambios en sus patrones climatológicos, esto se ha traducido a temporadas de calor con temperaturas extremadamente altas, lluvias torrenciales, inviernos crudos, etcétera. Es imprescindible hacer caso a lo que está pasando con el cambio climático, las consecuencias de mantener los hábitos de vida que se tienen, en un largo plazo pueden ser catastróficas.

En las últimas décadas, se han notado los efectos del cambio climático, prueba de ello, se tiene la formación del huracán Patricia en el Océano Pacífico, catalogado como el más peligroso del mundo en la historia (BBC Mundo, 2015). En 2017, cuatro ciclones tropicales han afectado a México directamente.

Ante estos cambios, es necesario tomar acciones y fomentar la construcción de edificaciones sostenibles en el mundo y en el país, que busquen el aprovechamiento de aguas lluvias como fuente alternativa para el suministro de agua. Por ello, en el presente trabajo se ha considerado realizar una propuesta de diseño del tanque de almacenamiento de aguas pluviales, debido a que éste es un componente fundamental en el diseño de un sistema de aprovechamiento. Sin embargo, esta infraestructura redundante en costos iniciales y operativos, espacio de servicios dentro de una edificación y requiere de un estudio minucioso, tanto de la oferta hídrica de la zona en diferentes épocas del año, como de la demanda de agua en la edificación dependiendo de su uso.

Moritz Parra (2013), detalla que más de la mitad del agua potable producida se consume en menos de 100 ciudades grandes y medianas, el resto se distribuye entre las otras 156,502 localidades del país, por ello la captación de agua de lluvia puede representar una alternativa interesante para complementar el abasto de agua.

Seo et al. (2015) destacan los beneficios principales de la recolección de agua de lluvia que se pueden resumir de la siguiente manera: la cosecha de agua de lluvia cubre picos en la demanda cuando es mayor que el flujo de la fuente principal de suministro de agua. Por lo tanto, ayuda a suavizar las variaciones en el suministro de agua y la gestión sostenible de los recursos hídricos. Además, la recolección de agua de lluvia proporciona seguridad hídrica en caso de interrupciones del suministro o desastre.

Las instalaciones hidrosanitarias de una edificación que opta por el aprovechamiento de las aguas pluviales y una edificación que se abastece de la red de agua potable pública, no difieren en mucho, ya que, en ambos casos se tienen sistemas de captación de drenaje independiente entre aguas residuales y pluviales. En cuanto a las redes de suministro, algunas destinan las aguas de lluvia en usos como el riego, lavado o uso sanitario en donde no se requiere un proceso de potabilización para su uso.

Estas iniciativas ya se están analizando en otras partes del mundo, en estudios realizados en ciudades como Sídney, Australia, se encontraron que un tanque de 5000 litros puede satisfacer entre un 96 y un 99% de la demanda de agua para uso doméstico (Hajani & Rahman, 2014).

Hay países pioneros en sistemas de recolección de agua de lluvia, como Alemania, donde en algunos distritos incluso, subvencionan estas instalaciones, ya que la oferta de agua no crece al ritmo de las aglomeraciones urbanas. Los Berlineses consumen 400 millones de metros cúbicos de agua anualmente, una vez y media más agua de la que cae por precipitaciones (EcoHabitat, 2011).

Campisano & Modica (2016), demostraron que los tanques de almacenamiento de agua de lluvia tienen un gran potencial para retener las escorrentías de grandes precipitaciones que actualmente colapsan el sistema de drenaje.

Para nuestra zona de estudio, es necesario encontrar la mejor opción para construir un tanque que mantenga la mayor reserva de agua posible para que permita abastecer de forma parcial o total la cantidad de agua destinada al riego de jardines en una vivienda unifamiliar sin necesidad de usar el agua potable proveniente de la red pública.

1.4. Hipótesis

Es posible diseñar un tanque de almacenamiento de un sistema de recolección de agua pluvial, empleando un material que cumpla con los criterios de seguridad estructural expuestos en el reglamento de construcciones y cuyo costo final no exceda el 10% del costo de metro cuadrado de construcción y además permita satisfacer parcial o hasta totalmente la demanda de riego para el jardín de una vivienda unifamiliar de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

1.5. Objetivos

Objetivo general

Diseñar un tanque de almacenamiento de agua de lluvia, o fuente alternativa, capaz de satisfacer parcial o totalmente la demanda de riego para el jardín de una vivienda unifamiliar con área de jardín de 100 m² en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.

Objetivos particulares

- Cuantificar las necesidades de riego para el césped del jardín de una vivienda unifamiliar en la Zona Metropolitana del Valle de Toluca.
- Definir los materiales que cumplan con los requerimientos para el diseño y construcción del tanque de almacenamiento para riego de jardín.
- Analizar estructuralmente los materiales a utilizar.
- Estimar costos de construcción para analizar la viabilidad económica del diseño del sistema.

2. MARCO TEÓRICO

El uso sostenible de los recursos juega un papel clave en el desafío global para hacer frente al consumo de recursos que excede la capacidad natural de nuestro planeta, y el medio ambiente relacionado, impactos económicos y sociales. El sector de la construcción juega un papel importante en este sentido, con su porción del consumo de recursos globales en más del 33% (Schuetze, 2015).

La disponibilidad de agua dulce se puede mejorar con medidas que pueden al mismo tiempo disminuir los riesgos y los impactos de las inundaciones. Dentro del concepto de gestión integrada de los recursos hídricos, la aplicación de dicho pensamiento sistémico y orientado a la sostenibilidad plantea serios desafíos. Pero la recolección descentralizada, la gestión y la utilización tanto del agua de lluvia como de las aguas residuales es una estrategia beneficiosa para el reequilibrio del ciclo del agua en los asentamientos urbanos, balanceando las presiones climáticas y antropogénicas relacionadas con el agua (Schuetze & Chelleri, 2013).

2.1. Agua de lluvia

México es un país que recibe un alto porcentaje de agua de lluvia anualmente, sin embargo, gran parte de este recurso es desaprovechado. La precipitación anual es de 1,489 miles de millones de m³ (760 mm), de ésta se estima que 73.2% se evapotranspira y regresa a la atmósfera, el 22.1% escurre por los ríos o arroyos y el 4.7% restante se infiltra al subsuelo y recarga los acuíferos. Tomando en cuenta las exportaciones e importaciones de agua con los países vecinos, así como la recarga incidental, anualmente el país cuenta con 459 mil millones de m³ de agua dulce renovable (Soluciones Hidropluviales, 2017).

Un aprovechamiento de ese 72% de agua de lluvia que se evapotranspira podría significar una mayor disponibilidad de agua para el suministro y la recarga de acuíferos sobre explotados (Soluciones Hidropluviales, 2017).

La mayor parte de la lluvia ocurre en el verano, mientras que el resto del año es relativamente seco, el 67.3% de la precipitación normal mensual cae entre los meses de junio y septiembre. Y el reparto del recurso pluvial en el territorio es muy desigual, el país se puede dividir en dos grandes zonas: la zona norte, centro y noroeste, donde se concentra el 77% de la población, pero recibe el 31% del agua renovable; y la zona sur y sureste, donde habita el 23% de la población

y percibe el 69% del agua renovable. Se observa que en general las cuencas situadas en el centro y norte del territorio tienen una baja disponibilidad natural de agua porque la precipitación media anual de estas regiones es menor a 500 mm, mientras que en las cuencas del sur oscila entre los 2,801 a 3,400 mm/año (Soluciones Hidropluviales, 2017).

2.2. Sistemas de recolección de agua de lluvia

El concepto de recolección de agua de lluvia consiste en el proceso de captación, almacenamiento y utilización del agua de lluvia como recurso hídrico principal o complementario (Liaw & Chiang, 2014).

Posadas Bejarano (2015) define que un sistema de cosecha de agua pluvial (AP) se refiere a las estructuras empleadas para la captación, recolección, conducción y almacenamiento del agua pluvial para su uso posterior y de acuerdo a Hajani & Rahman (2014), un sistema de recolección de agua de lluvia debe ser capaz de satisfacer la demanda deseada la mayoría de los días del año en regiones suburbanas.

En áreas urbanas, donde el suministro de agua de red está presente, un sistema de recolección de agua de lluvia se usa para ahorrar agua de la red pública. Esto también proporciona una mayor flexibilidad en el uso del agua durante el tiempo de restricciones de agua, ya que el agua de lluvia puede usarse para fines no potables, como la jardinería y el lavado de automóviles y superficies impermeables como aceros y pisos (Hajani & Rahman, 2014). De acuerdo con Liaw & Chiang (2014), los sistemas de recolección de agua de lluvia se pueden usar para los siguientes propósitos:

- i. Como la principal fuente de agua potable
- ii. Una fuente suplementaria de agua potable
- iii. Una fuente suplementaria de agua no potable.

Según Schuetze et al. (2013), dependiendo de las diferentes condiciones básicas de una ubicación específica, las soluciones apropiadas para los sistemas de gestión de agua de lluvia descentralizados, sostenibles y resilientes pueden diferir significativamente.

Por lo tanto, es necesario desarrollar estrategias ad hoc y conceptos de diseño que se adapten a las condiciones básicas locales. La discusión de diferentes estrategias y hallazgos basados en proyectos de investigación y diseño tienen como objetivo concientizar a ingenieros,

planificadores urbanos, diseñadores y tomadores de decisiones sobre las posibilidades y ventajas del diseño integrado urbano y paisajístico de ciudades resilientes al cambio climático por medio de sistemas de gestión del agua de lluvia.

2.2.1. Alternativas para la captación del agua de lluvia.

Tal y como lo detallan Ruiz Torres et al. (2006), existen diferentes opciones para captar el agua:

Pozo profundo. La perforación y explotación de pozos profundos, para una región, cuando se busca un desarrollo sustentable, no es lo ideal, aunque es muy practicada ya que la cultura promueve que la solución al desabasto de agua principalmente se logra extrayéndola del subsuelo. Además, como lo señala Tierramor (2005), esta actividad es muy costosa, en la mayoría de los casos queda descartada; en muchos lugares imposible de realizar, y no asegura un abasto a largo plazo ya que las reservas son limitadas. En regiones donde se practica la agricultura, áreas urbanas o industriales, es un peligro porque esa agua se contamina.

Captación de agua de lluvia. Esta técnica representa una excelente oportunidad en apoyo al desarrollo sustentable y aunque en las zonas áridas la precipitación promedio regional es baja, errática y extrema, es posible practicarla, usando superficies impermeables como: techos, balcones, terrenos, plazas, caminos, carreteras, rocas grandes y otras (Ruiz Torres et al., 2006)

Una de las ventajas del agua de lluvia captada y almacenada, es que es la más limpia ya que es destilada por el Sol. Por ejemplo, el agua de lluvia captada en dos sitios de la Comarca Lagunera, en el 2002, los carbonatos de calcio, los sólidos totales y la conductividad eléctrica fueron mucho menores que la que se encuentra en las capas subterráneas o en cuerpos de agua superficiales, por lo que la hacen un agua de excelente calidad o de fácil tratamiento para hacerla potable (Ruiz Torres et al., 2006).

Dentro de algunas desventajas, está que para almacenar el agua se necesitan recipientes con capacidad para guardarla para los meses secos. Estos tienen un costo considerable y requiere un cuidado especial y permanente, es decir, limpieza y evitar la entrada de luz y aire. Se necesita mucha superficie impermeable, así como espacio debajo de ellas, para ubicar las cisternas y llenarlas por gravedad, si es que se desea aprovechar un alto porcentaje del agua de lluvia (Ruiz Torres et al., 2006).

Para la cosecha de nacimientos de agua, arroyos, cascadas y riachuelos permanentes y temporales, se utilizan canales de desviación y diques, presas, o bien estanques. En zonas secas y desérticas hay que poner atención a los contornos del terreno, hay muchos lugares donde durante los aguaceros fluye o se junta el agua. Estos pueden ser los sitios para construir presas y estanques (Ruiz Torres et al., 2006).

La captación pluvial no es algo nuevo y tampoco implica gran tecnología a un nivel doméstico. Es un sistema ancestral que ha sido practicado en diferentes épocas y por diversas culturas, ya que es un medio fácil para obtener agua para el consumo humano y para el uso agrícola. La agricultura convencional es responsable en todo el mundo de la mayor parte del consumo antropogénico de agua dulce (Schuetze, 2015).

El agua de lluvia puede ser interceptada, colectada y almacenada en depósitos especiales para su uso posterior. Esto ayudaría durante el tiempo de secas para sobrellevarlas y también durante épocas de lluvias fuertes que desencadenan inundaciones que afectan la ciudad. Gracias al mal uso del agua y por factores tales como la deforestación masiva en el planeta, el agua con calidad ira escaseando progresivamente lo cual significa que, en un futuro no muy lejano, el sistema de captación de agua de lluvia será un mecanismo de sobrevivencia necesario.

2.2.2. Componentes de los sistemas de recolección de agua de lluvia.

Recoger el agua de lluvia supone utilizar el espacio de los tejados y cubiertas de un edificio para captar el agua que precipita desde el cielo. Esta agua será canalizada, filtrada y almacenada en un gran depósito o aljibe para su posterior uso cuando sea necesario. Los sistemas de captación de agua constan de los siguientes elementos (Sitiosolar.com, 2013):

Área de captación– Consistente normalmente en el tejado y las cubiertas, así como de cualquier superficie impermeable. El material en que se realicen o que de mínimo cubra las superficies deben ser inocuas (piedras, tejas de cerámica, etc.) y no contener ningún impermeabilizante que pueda aportar sustancias tóxicas a la misma.

Conductos de agua– Ya sea la propia inclinación del tejado y/o una serie de canalones o conductos que dirijan el agua captada al depósito. Deben de dimensionarse correctamente para evitar que se desborden y que se pueda desaprovechar parte del agua.

Filtros– Deben de eliminar el polvo y las impurezas que porte el agua. Existen múltiples sistemas de filtrado que van desde la simple eliminación de las impurezas más gruesas hasta los sistemas que permiten la potabilización y el pleno uso del agua. También existen filtros que permiten desechar automáticamente los primeros litros de agua recolectados en cada lluvia para permitir un lavado de la superficie colectora que elimine las impurezas que pueda haber.

Depósitos o aljibes– Son los espacios en los que queda almacenada el agua recolectada. Serán de diferentes tamaños en función del agua que se pueda y quiera almacenar. Las paredes del depósito deben de ser de materiales que permitan la correcta conservación del agua. Tradicionalmente los aljibes se construían como un espacio enterrado delimitado por muros. En la actualidad existen también depósitos plásticos especialmente acondicionados para contener esta agua. (Tanques metálicos, depósitos plásticos etc....) que también pueden ir enterrados.

Sistemas de control– Estos son sistemas opcionales que gestionan la alternancia de la utilización del agua de la reserva y de la red general. Es decir, cuando el agua de lluvia se acaba pasa automáticamente a suministrar agua de la red. En el momento que vuelve a llover y se recarga el depósito pasa de nuevo a emplear el agua de la red.

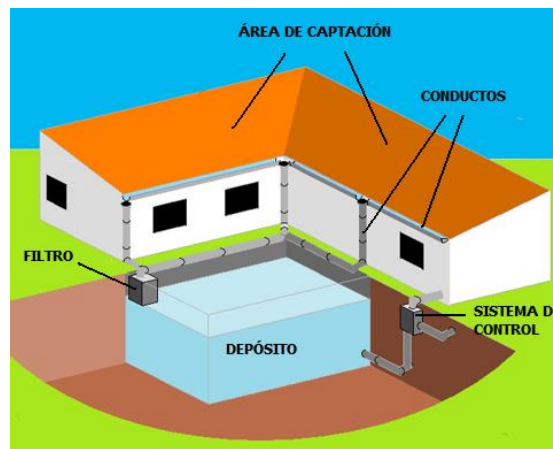


Figura 2. Componentes de un sistema de recolección de agua de lluvia. Fuente: (Sitiosolar.com, 2013)

Los usos domésticos en los que se puede emplear el agua pluvial son aquellos que no requieren agua de calidad potable: lavadora, inodoro, limpieza de la casa, lavado de autos y riego del jardín (Ghisi & Mengotti, 2007).

2.2.3. Beneficios de la cosecha de lluvia

Existen diversos beneficios de la cosecha de agua de lluvia, algunos de éstos se definen a continuación. (Soluciones Hidropluviales, 2017)

Económicos

- El agua de lluvia es un recurso gratuito y fácil de mantener. Relativamente limpio que se puede utilizar en actividades que no requieran de su consumo.
- Reducción en las tarifas de agua potable entubada por la disminución en su uso, ya sea en sanitarios, para lavar (superficies, vehículos o ropa), riego de jardines o cultivos, entre otras posibilidades

Medioambientales

- Recargar los acuíferos abatidos.
- Conservación de las reservas de agua potable (ríos, lagos, humedales)
- Fomenta una cultura de conservación y uso óptimo del agua

Sociales

- Disminuir el volumen de agua lluvia que entra al sistema de drenaje combinado (sanitario y pluvial), evitando que se sature y reduciendo las inundaciones y el volumen de descargas de aguas negras. Aumentando su disponibilidad para otros usos.
- Reducir la utilización de energía y de químicos necesarios para tratar el agua de lluvia en la ciudad, disminuyendo también el gasto que genera mover y tratar el agua negra del drenaje a distancias lejanas.
- Aminorar el volumen de agua potable usada en aplicaciones no potables (sanitarios) o de consumo humano (regar jardín).

Aún cuando las ventajas son numerosas, es necesario indicar también que los sistemas de captación de agua de lluvia cuentan con algunas desventajas tales como:

- Depender directamente de la cantidad de precipitación presentada en la zona.
- La instalación de sistemas adecuados representa una inversión inicial que tarda varios años en amortizarse.

- Se debe tener cuidado con posible contaminación del agua por materia orgánica o animales, razón por la cual el agua debe pasar por un proceso de limpieza antes de ser almacenada en un lugar seguro y bien cerrado.

Y aunque en algunos lugares se considere como agua potable, no es recomendable, ya que su calidad depende de las condiciones de cada sitio y de los lugares por los que escurre.

En cualquier caso, se requiere un tanque de almacenamiento para regular la distribución no uniforme de la lluvia, tanto espacial como temporalmente (Fonseca, Hidalgo, Diaz-Delgado, Gallego, & Vilchis-Francés, 2017).

Un enfoque innovador de aprovechamiento de los sistemas de recolección según Seo et al. (2015) es la construcción de grandes tanques de almacenamiento compartidos por una comunidad o almacenes de propiedad individual, que están conectados a través de redes que fomenten la práctica del intercambio de los sistemas de recolección.

2.3. Tanques de almacenamiento para la recolección de agua de lluvia

Para Campisano & Modica (2016), la implementación de sistemas de recolección de agua de lluvia en construcciones convencionales requiere la instalación de tanques del tamaño adecuado para almacenar el agua de lluvia recogida en los tejados y terrazas. Una vez sometidos a tratamiento para eliminar patógenos y metales pesados, el agua de lluvia almacenada se utiliza localmente para el consumo no potable interno y externo (lavado de inodoros, riego de jardines, limpieza de terrazas, etc.)

Se trata de tinacos o sistemas modulares en donde se conserva el agua de lluvia captada, se pueden situar por encima o por debajo de la tierra. Deben ser de material resistente, impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración y estar cubiertos para impedir el ingreso de polvo, insectos, luz solar y posibles contaminantes. Además, la entrada y la descarga deben de contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales; deben estar dotados de dispositivos para el retiro de agua. Deben ser de un material inerte, el concreto armado, de fibra de vidrio, polietileno y acero inoxidable son los más recomendados de acuerdo al uso que se le dará al agua recolectada.

2.3.1. Materiales de construcción.

El depósito de almacenamiento puede ser de materiales prefabricados, entre los que se incluyen plásticos tanto rígidos como flexibles, los cuales garanticen que no habrá transmisiones de olor o sabor al agua almacenada, así como cualquier elemento contaminante que pudiera ser liberado por los radicales libres que se generan con la fotodegradación o degradación térmica del material, producto de los rayos UV del Sol (CONAGUA, 2016).

Las soluciones comerciales existentes ofrecen distintos precios para la instalación de un tanque de almacenamiento, la inversión varía de acuerdo con la capacidad de almacenamiento, tal y como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Inversión aproximada para la instalación de un tanque de almacenamiento de agua de lluvia. Fuente: NEODATA, 2018

| Descripción Completa | Unid... | Canti... | Precio | Importe |
|---|---|----------|--------------|--------------|
| Cisterna de 1000 litros horizontal Rotoplas, Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta. |  PZA | 1.0000 | \$ 4,389.19 | \$ 4,389.19 |
| Cisterna de 1200 litros c/bomba s/acc Rotoplas, Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta. |  PZA | 1.0000 | \$ 4,729.11 | \$ 4,729.11 |
| Cisterna de 2800 litros c/bomba y acc Rotoplas, Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta. |  PZA | 1.0000 | \$ 8,458.01 | \$ 8,458.01 |
| Cisterna de 5000 litros c/bomba y acc Rotoplas, Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta. |  PZA | 1.0000 | \$ 13,308.97 | \$ 13,308.97 |
| Cisterna de 10000 litros c/bomb y acc Rotoplas, Incluye: suministro, instalación, mano de obra, equipo y herramienta. |  PZA | 1.0000 | \$ 24,631.33 | \$ 24,631.33 |

Se puede observar que los costos por implementar un tanque de almacenamiento son elevados y por ende inaccesibles para gran parte de la población.

Se deberá garantizar que el tanque o depósito sea impermeable, hermético y accesible con una entrada amplia que permita la limpieza o las reparaciones que sean necesarias tanto en su interior como en el exterior o en las conexiones de tuberías de entrada y servicio.

Fonseca et al. (2017) recomiendan que, durante la construcción de tanques de almacenamiento, se debe considerar la disponibilidad de espacio, el costo y la ubicación de los materiales y que, bajo este escenario, se deben realizar análisis de eficiencia del sistema de recolección para alcanzar el tamaño de tanque mínimo necesario.

2.3.2. Elementos para el diseño de tanques de almacenamiento

Para diseñar un sistema de recolección de agua de lluvia, se requiere información detallada de la lluvia. En la mayoría de las cuencas, particularmente en áreas remotas, dicha información no siempre está disponible. Por lo tanto, el tamaño del tanque almacenamiento es difícil de proponer. Para superar las dificultades enfrentadas al diseñar un sistema de recolección de agua de lluvia sin datos de ésta, con datos incompletos o con datos variables, Liaw & Chiang (2014) extendieron la metodología para determinar tamaños de tanques de almacenamiento en situaciones donde los datos de lluvia no están disponibles proponiendo la regionalización del área de estudio como se realizó en este trabajo.

Para Liaw & Chiang (2014) el problema principal en un sistema de recolección de agua de lluvia es analizar los datos de entrada y salida para satisfacer un cierto nivel de confiabilidad del sistema. El tamaño de la capacidad de almacenamiento fue revisado por McMahon y Mein (1978) quienes identificaron dos amplias categorías del modelo de dimensionamiento: el Moran y los métodos críticos.

El método de Moran derivó una ecuación integral relacionando el flujo de entrada a la capacidad de almacenamiento y el derrame del tanque, considerando el tiempo y el volumen de agua como variables discretas. El método de Moran se modificó posteriormente para obtener un método general de práctica directa, llamado técnica de la matriz de Gould (Hajani et al. 2014).

Los métodos del período crítico usan secuencias de flujos en condiciones en las que la demanda excede el suministro para determinar la capacidad de almacenamiento. El mejor y más conocido ejemplo de este enfoque para el tamaño de almacenamiento es el método de la curva de masa.

El método de curva de masa que se puede usar para una evaluación rápida se designa como un método de diseño preliminar. La principal limitación de este método es que la fiabilidad del sistema no puede evaluarse. Para superar esta limitación, este método se ha combinado con métodos estadísticos. Hajani et al. (2014) construyeron un modelo de simulación para el balance de agua diario basado en el lenguaje FORTRAN³. Este modelo toma en cuenta varios factores

³ Lenguaje de programación de alto nivel de propósito general, procedimental e imperativo, que está especialmente adaptado al cálculo numérico y a la computación científica (Wikipedia, 2017).

como el tamaño del tanque, la lluvia diaria, las pérdidas, la demanda diaria de agua, la red de suministro y el derrame del tanque.

En su estudio Fonseca et al. (2017), detallan que la capacidad del tanque de almacenamiento puede incrementar de acuerdo con el tratamiento implementado al agua reciclada y el uso final que se le dará. Por ejemplo, el agua de lluvia recolectada en un tanque de almacenamiento con nulo o mínimo tratamiento puede ser usada para el riego en jardines. En contraparte, con tratamientos más complejos, el agua recolectada puede ser reutilizada en los quehaceres domésticos.

2.4. Software SAP2000

El software SAP2000 es un programa análisis por el método de elementos finitos, con interfaz gráfico 3D orientado a objetos, preparado para realizar, de forma totalmente integrada, la modelación, análisis y dimensionamiento del más amplio conjunto de problemas de ingeniería de estructuras (Computers & Structures Inc., 2017).

Conocido por la flexibilidad en el tipo de estructuras que permite analizar, por su poder de cálculo y por la fiabilidad de los resultados, SAP2000 es la herramienta de trabajo diaria para varios ingenieros. La versatilidad en modelar estructuras, permite su utilización en el dimensionamiento de puentes, edificios, estadios, presas, estructuras industriales, estructuras marítimas y todo tipo de infraestructura que necesite ser analizada y dimensionada (Computers & Structures Inc., 2017).

Con respecto a las acciones, es posible generar automáticamente cargas de sismo, viento y vehículos, y posteriormente, hacer el dimensionamiento y comprobación automática de estructuras de hormigón armado, perfiles metálicos, de aluminio y conformados en frío, a través de las normativas Europeas, Americanas, Canadienses, Turcas, Indias, Chinas, y otras (Computers & Structures Inc., 2017).

Las diversas herramientas de análisis y los procesos desarrollados en SAP2000 permiten la evaluación de grandes desplazamientos en cada etapa de la estructura, el análisis modal a través de los vectores propios Eigen y Ritz basados en casos de carga no lineales, el análisis del comportamiento catenaria en cables, la no linealidad del material (rótulas fiber) y de los objetos de área no lineales (layered shell), el análisis de pandeo o colapso progresivo, el uso de "links"

no lineales para modelado de la fricción, amortiguación, aisladores de base y rigidez multilineal o plástica entre nudos, y finalmente, la secuencia constructiva. Los análisis no lineales pueden ser estáticos y/o en función del tiempo, con opciones para análisis dinámico FNA (Fast Nonlinear Analysis), temporales (time-history) y por integración directa (Computers & Structures Inc., 2017).

Para Guerrero (2010), el SAP2000 es un software líder en ingeniería estructural, con el que se puede analizar todo tipo de estructuras y diseñar elemento por elemento de las mismas, de manera precisa. A su vez, ofrece un análisis estático y dinámico modal espectral para elementos y placas de concreto y permite definir los datos de los materiales, secciones y medidas de los perfiles de acuerdo con las necesidades de los materiales a usar.

3. MATERIALES Y MÉTODO

3.1. Delimitación de la zona de estudio

La Zona Metropolitana del Valle de Toluca (ZMVT) se localiza en la parte central del Estado de México, entre los paralelos $18^{\circ}59'07''$ y $19^{\circ}34'47''$ de latitud norte y los meridianos $99^{\circ}38'22''$ y $99^{\circ}56'13''$ de longitud oeste (Posadas Bejarano, 2015). La ZMVT está conformada por 22 municipios, los cuales comprenden el 12.1% del territorio estatal. Para el año 2015, dichos municipios albergaban más de 2.3 millones de habitantes, lo cual representa el 14.7% de la población estatal (IGECEM, 2015).

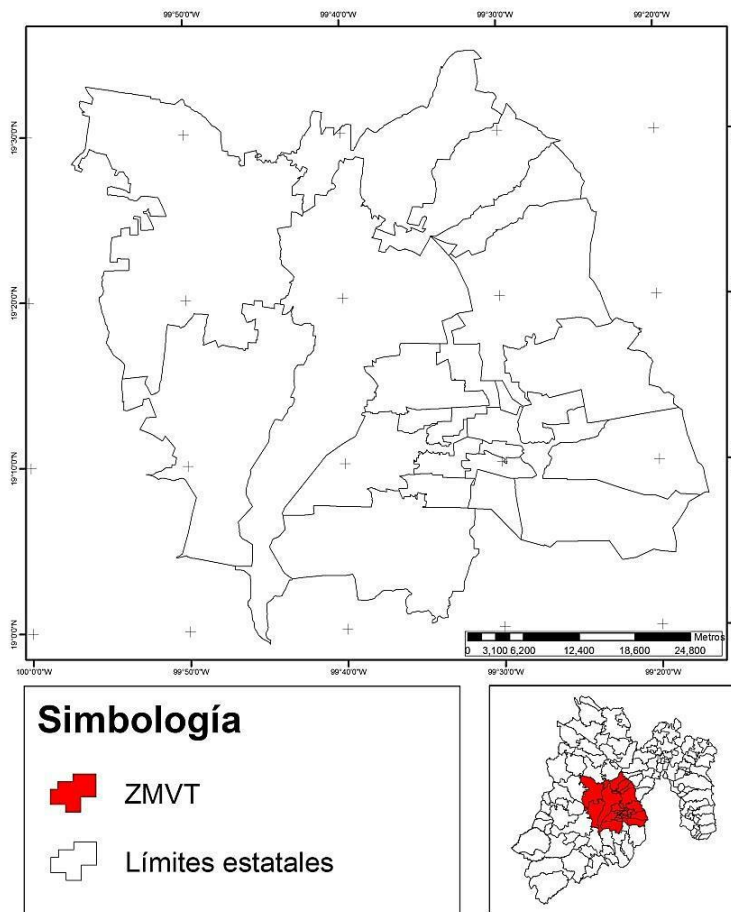


Figura 3. Ubicación geográfica de la ZMVT. Fuente: (Posadas Bejarano, 2015)

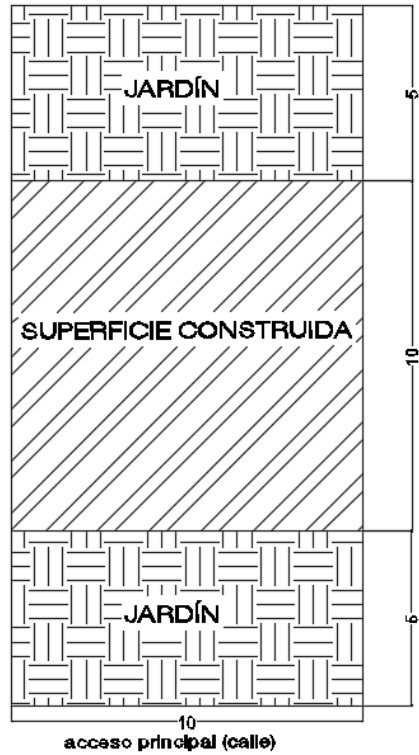
De acuerdo con Fonseca et al. (2017), en Toluca la precipitación media anual es de 874 mm, sin embargo, la mayor precipitación media anual está asociada a una mayor variabilidad, como lo representa su desviación estándar cuyo valor es de 98 mm/año.

La aplicación web desarrollada por Fonseca et al. (2017) para determinar el tamaño del tanque óptimo de un sistema de captación de agua de lluvia, arrojó que el tamaño máximo del tanque es 5,3 m³ para la ciudad de Toluca para un área de captación superficial de 200 m², obteniendo una eficiencia anual promedio de 80% para las condiciones más secas.

3.1.1. Características de la vivienda unifamiliar

El área de captación del sistema de captación de agua de lluvia, consiste en el área disponible de jardín que cada vivienda tenga disponible. Debido a la variada condición geográfica de la ZMVT, así como a los diferentes estilos de vida de sus habitantes, se presume difícil imponer normas universales referentes a dimensiones y áreas mínimas de jardín que una vivienda pueda tener. Es por esto que en el presente trabajo de investigación se consideraron dos tipos de jardín para una vivienda unifamiliar nivel medio, un jardín frontal que es el que se encuentra frente a la fachada principal de la vivienda y que generalmente se utiliza como estacionamiento y un jardín trasero, opuesto a la fachada principal de la vivienda cuyo uso principal es la actividad recreativa de los habitantes.

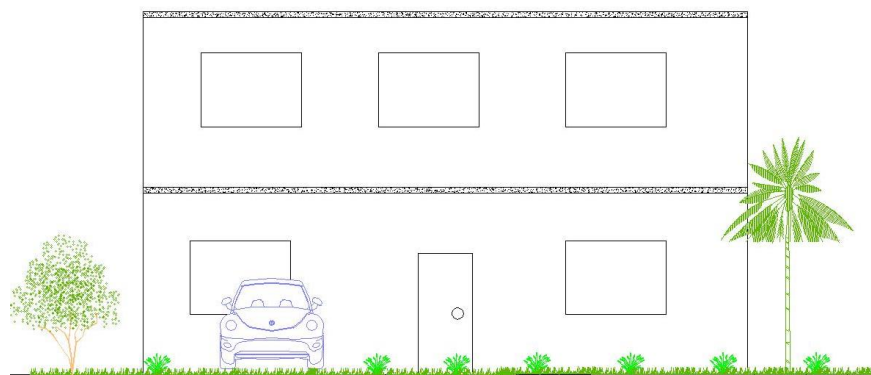
La siguiente figura describe las dimensiones propuestas para la vivienda unifamiliar del caso de estudio.



PLANTA DE TERRENO
COTAS EN METROS

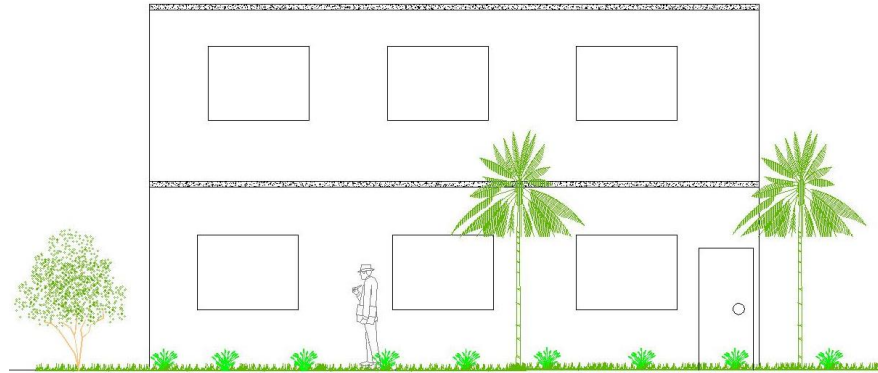
Figura 4. Dimensiones del terreno para el caso de estudio.

Las vistas de las fachadas frontal y trasera, se ilustran en la Figura 5 y Figura 6 respectivamente. En el apartado de anexos se muestran la planta arquitectónica de la vivienda, donde se detallan las características de la vivienda y su distribución.



VISTA FRONTAL

Figura 5. Fachada principal de la vivienda



VISTA TRASERA

Figura 6. Vista del jardín trasero de la vivienda

3.1.2. Costos de construcción

Resulta difícil el encontrar un estándar de costos para la construcción de una vivienda, por lo que, para esta investigación, se consultaron a ingenieros y empresas expertas en la construcción de una vivienda a través de foros, con lo cual se encontró que en promedio el metro cuadrado de construcción en la zona de estudio varía \$6,500.00 hasta 15,000.00 pesos, dependiendo materiales, acabados, etc.

Para este trabajo, se compararon los precios anteriores con los costos de los sistemas propuestos con el fin de evaluar nuestra hipótesis.

3.2. Sistema de almacenamiento de agua pluvial

El tren del sistema de captación y su posterior almacenamiento del agua de lluvia implementado en el presente trabajo se muestra en la siguiente figura.

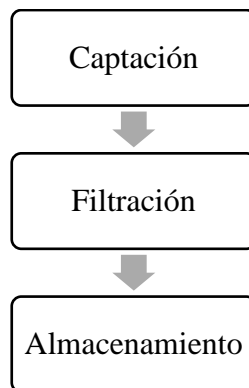


Figura 7. Proceso de acondicionamiento de agua pluvial

El proceso del sistema se ilustra en la Figura 8, donde la lluvia cae en la superficie libre del jardín (1) y por medio de la filtración (2) a través de los materiales granulares y arenosos llega al tanque de almacenamiento.

Cabe resaltar que se propuso colocar al final del material granular colocar una geo-membrana permeable que permita que sólo el agua llegue al lugar de almacenamiento impidiendo el paso de contaminantes o material de los estratos superiores. También se debe colocar una malla impermeable en la parte inferior de la zona de almacenamiento para evitar pérdidas de líquido almacenado.

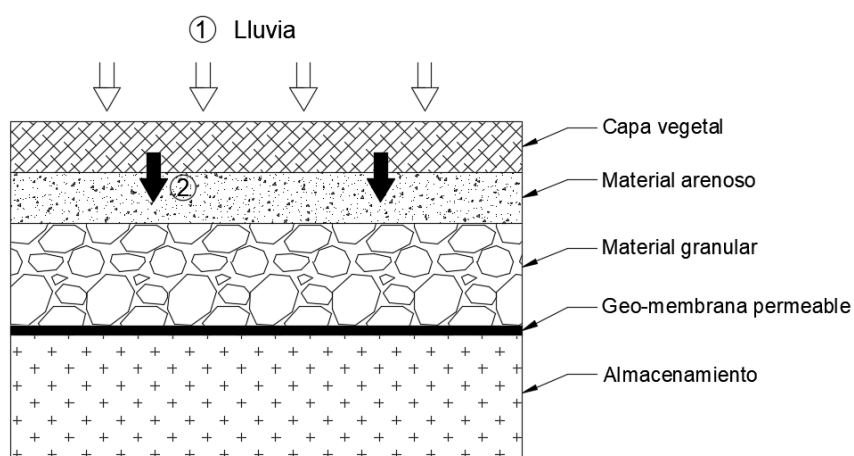


Figura 8. Proceso del sistema de captación hasta el almacenamiento del agua de lluvia

Para fines del presente trabajo, se supone un análisis por metro cuadrado de terreno para permitir una comparación válida al momento de analizar los costos de construcción e identificar qué solución es más factible.

3.3. Diseño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia en vivienda unifamiliar

Para el diseño del tanque de almacenamiento, es necesario considerar los siguientes factores: la precipitación potencial, las necesidades de riego y los materiales de construcción que se tienen en la zona de estudio.

3.3.1. Determinación de la precipitación potencial y necesidades de riego en jardín de vivienda unifamiliar

Una vez delimitada la zona de estudio, resulta importante determinar la oferta potencial de lluvia y las necesidades de riego para el césped del jardín. Para el presente trabajo se consideraron los

resultados obtenidos por García (2017), referentes al diseño agronómico que realizó para conocer las láminas de riego que requiere el césped como cultivo. Dichos valores pertenecen a un jardín propuesto de 100m² de una vivienda unifamiliar en el municipio de Toluca.

García (2017) obtuvo que, para la zona de estudio es suficiente contar con una profundidad de 70 cm como máximo para garantizar el abasto del riego durante los meses que no llueve. Además de esto, propone los espesores de los estratos de la figura 9, como se muestran a continuación.

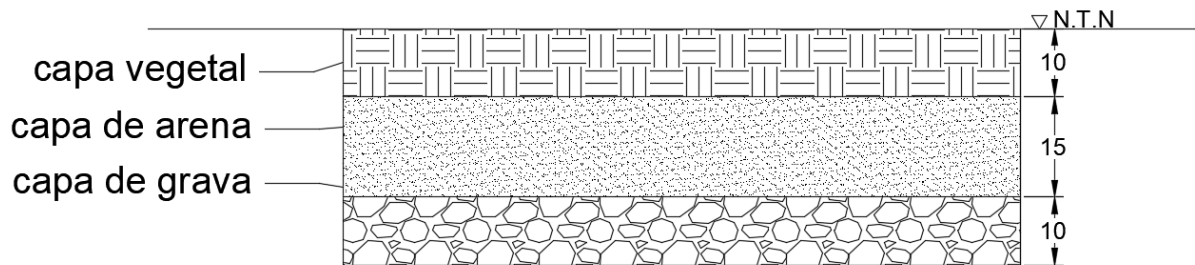


Figura 9. Espesores propuestos por García (2017). Cotas en cm

3.3.2. Determinación de cargas

En el apartado 3.1.1., se realizó la propuesta de las características para la vivienda del caso de estudio, las cuales definen dos tipos de jardín, el frontal, que puede ser utilizado como estacionamiento, y el trasero, en el que su uso se limita a ser zona de esparcimiento y recreación para los habitantes de la vivienda.

Por dicha situación, se realizaron dos tipos de análisis para el cálculo de cargas, uno para el jardín frontal, tomando en cuenta la carga muerta y la carga viva que genera un automóvil estacionado, y para el jardín trasero, tomó en cuenta además de la carga muerta, la carga viva producida por la estancia de personas en el jardín.

a. Cálculo de cargas para el jardín frontal

Para el cálculo de carga muerta, se multiplicaron los espesores de cada capa por el peso específico de cada estrato. Dichos pesos se consideraron de acuerdo con varios autores, los pesos de cada uno de los estratos para la zona de estudio son en promedio de:

$$\text{Peso específico de la grava} = 2000 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso específico de la arena} = 2650 \text{ kg/m}^3$$

Peso específico de la capa vegetal (arcilla) = 1800 kg/m^3

Para la carga viva, se consideró el uso probable del jardín como estacionamiento para vehículos compactos. De acuerdo con la NOM-042-SEMARNAT-2003 (SEMARNAT, 2003) y la NOM-163-SEMARNAT-ENER-SCFI-2013 (SEMARNAT, 2013), el Peso Bruto Vehicular (PBV)⁴ para vehículos ligeros es menor o igual a 3857 kg, por lo que éste, fue el peso utilizado para calcular la carga viva.

b. Cálculo de cargas para el jardín trasero

Como ya se mencionó al inicio de este apartado, la carga muerta fue la misma que en el cálculo de las cargas del jardín frontal, mientras que la carga viva que se consideró fue de 500 kg/m^2 , teniendo como referencia que este jardín sólo se utiliza como zona de esparcimiento para los habitantes de la vivienda.

3.3.3. Propuestas de materiales de construcción

Determinadas las cargas a actuar sobre los sistemas, se analizaron distintas alternativas de materiales para el diseño, buscando la más factible estructural y económicamente, y haciendo una comparación con soluciones comerciales existentes.

Actualmente, las soluciones comerciales para la captación de agua de lluvia son diversas, uno de éstos es el presentado por la empresa mexicana ECODRAIN, cuyos productos se muestran en la siguiente figura.

⁴ El Peso Bruto Vehicular (PBV) es el peso máximo del vehículo especificado por el fabricante expresado en kilogramos, consistente en el peso nominal del vehículo sumado al de su máxima capacidad de carga, con el tanque de combustible lleno a su capacidad nominal. (SEMARNAT, 2013)

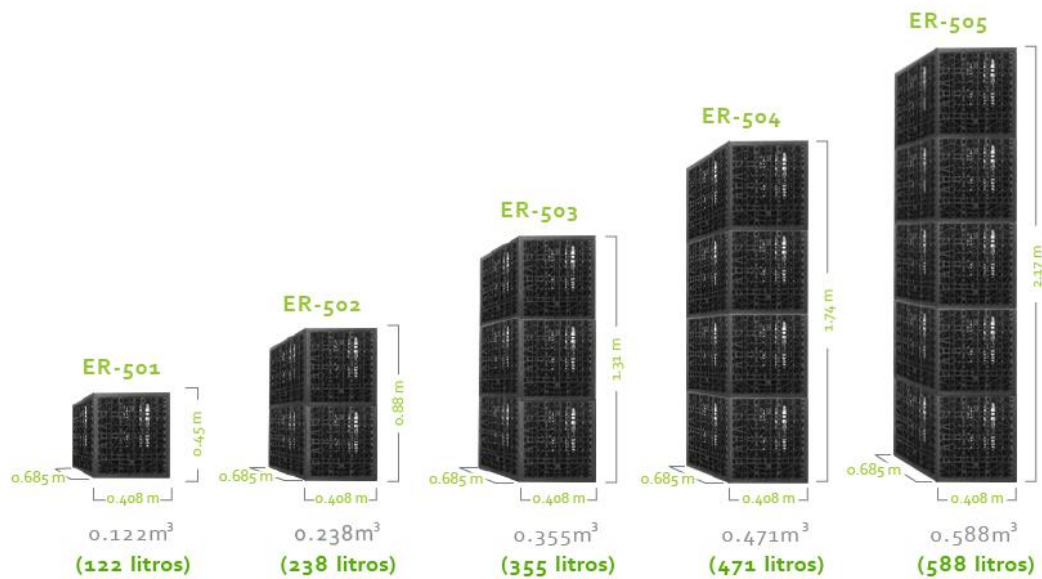


Figura 10. Sistemas modulares ECODRAIN. Fuente: (ECODRAIN, 2017)

Como se observa en la figura anterior, ECODRAIN ofrece varios volúmenes de captación, dependiendo las necesidades del cliente. Las características de que se utilizaron este trabajo fueron, la capacidad de carga y su costo por módulo.

El precio del módulo más pequeño (ER-501), de acuerdo con la empresa, está aproximadamente en \$320.00 por lo que se realizó un catálogo de conceptos para analizar el costo por metro cuadrado, dando como resultado un precio de \$3,019.62 pesos, precio con el cual se realizó la comparación de los sistemas propuestos.

Tabla 2. Catálogo de conceptos del sistema ECODRAIN por m² de jardín.

| COD | CONCEPTO | UNIDAD | CANT. | PU | IMPORTE |
|-----|---|--------|-------|-----------|-------------|
| 1 | Excavación a cielo abierto, por medios manuales de 0 a -2.00 m, en material tipo A, incluye: mano de obra, equipo, afine, nivelación y herramienta. | M3 | 1.00 | \$ 100.17 | \$ 100.17 |
| 2 | Suministro y colocación de malla geotextil impermeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta | M2 | 1.50 | \$ 33.61 | \$ 50.42 |
| 3 | Suministro y colocación de módulos ECODRAIN ER-501 | PZA | 8.00 | \$ 336.03 | \$ 2,688.21 |

| | | | | | |
|---|--|----|------|-----------|----------|
| 4 | Suministro y colocacion de malla geotextil anti-raíz y permeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta | M2 | 1.00 | \$ 33.61 | \$ 33.61 |
| 5 | Relleno con material granular de 10 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.10 | \$ 356.78 | \$ 35.68 |
| 6 | Relleno con arena o material fino de 15 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.15 | \$ 356.78 | \$ 53.52 |
| 7 | Suministro y colocación de césped de 10cm de espesor. Incluye material, mano de obra y herramienta | M3 | 1.00 | \$ 58.01 | 58.01 |

PRESUPUESTO FINAL POR M2 DE JARDIN

\$ 3,019.62

Las matrices de precios, se encuentran en el apartado de anexos.

Las alternativas propuestas en este trabajo se plantearon con el fin de reutilizar materiales de la vida diaria que ya no tengan el uso para el que fueron hechos y que sean accesibles para la zona de estudio, así como el planteamiento de una solución innovadora que resulte en un producto nuevo y alcance de la mayor población posible, los cuales se describen a continuación.

3.4. Sistema de almacenamiento con neumáticos reutilizados

Una solución propuesta en el presente estudio, es la reutilización de llantas de automóviles cuando acaba su vida útil, resultó obvio que por sí sola la estructura de la llanta no soportaría las cargas, por lo que se propuso reforzar con elementos estructurales de concreto, como losa, columnas para el soporte de cargas.

Conociendo la altura disponible del tanque de almacenamiento cuyo valor puede ir de 50 a 70 cm, el uso de las llantas cuya forma simula un cilindro, se ejemplifica en la siguiente figura:

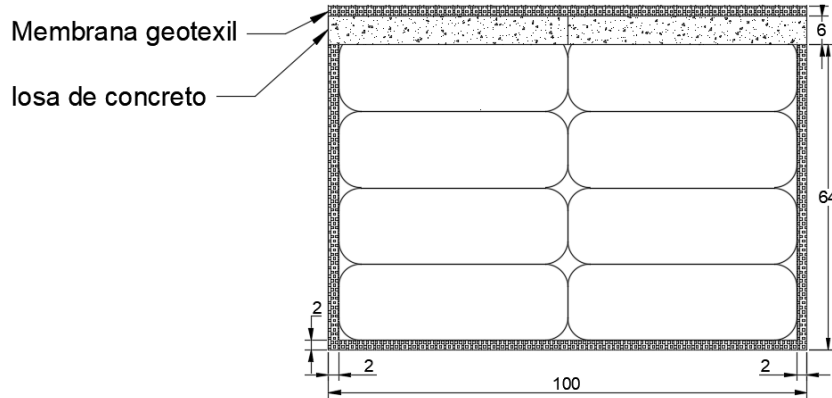


Figura 11. Acomodo propuesto para los neumáticos (vista transversal). Cotas en cm

Como se observa en la figura anterior, después de la malla geotéxtil anti raíces, se propuso una losa de concreto de 6 cm soportada por columnas en el interior de las llantas, cuyo diseño fue realizado conforme a las Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal, donde el procedimiento fue el siguiente:

Cálculo del peralte mínimo.

Para el cálculo del peralte mínimo (d), se tiene la siguiente fórmula colado con concreto clase 2 cuya resistencia es de 200 kg/cm^2 o superior:

$$d = \frac{\text{Perímetro (cm)}}{170} \quad (1)$$

Después, se determinó la relación del tablero.

$$m = \frac{a_1}{a_2} \quad (2)$$

Donde:

m = relación de claro corto a largo

a_1 = claro corto. cm

a_2 = claro largo. cm

Identificando el tablero conforme a la tabla 3

Tabla 3. Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares. Fuente NTC (2004)

| Tablero | Momento | Claro | Relación de lados corto a largo $m=a_1/a_2$ | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------|---|-----------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | | | 0 | | 0.5 | | 0.6 | | 0.7 | | 0.8 | | 0.9 | | 1.0 | |
| | | | I ² | II ³ | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| Aislado | Neg. en bordes discontinuos | corto | 570 | 0 | 550 | 0 | 530 | 0 | 470 | 0 | 430 | 0 | 380 | 0 | 330 | 0 |
| | | largo | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 |
| Cuatro lados discontinuos | Positivo | corto | 1100 | 1670 | 830 | 1380 | 800 | 1330 | 720 | 1190 | 640 | 1070 | 570 | 950 | 500 | 830 |
| | | largo | 200 | 250 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 |

¹ Para las franjas extremas multiplíquense los coeficientes por 0.60.

² Caso I. Losa colada monolíticamente con sus apoyos.

³ Caso II. Losa no colada monolíticamente con sus apoyos.

De la tabla, se obtuvieron los momentos y se procedió a calcular el momento último (Mu):

$$M_u = k * W_v * a \quad (3)$$

Donde:

Mu = momento último, kg

k = coeficiente de momento x10⁻⁴

Wv = carga actuante = 28.3 kg/cm²

a = claro de la losa, cm Relación de lados corto a largo $m=a_1/a_2$

Después se calculó el momento resultante con la fórmula:

$$\frac{MR}{bd^2} \quad (4)$$

Donde:

MR = momento último, kg/m

b = ancho de diseño = 100 cm

d = peralte propuesto, cm

De aquí se obtuvo el área de acero de refuerzo a tensión requerido de acuerdo con las sollicitaciones.

$$A_s = \rho b d \quad (5)$$

Donde:

A_s = área de refuerzo mínimo necesario, cm^2

ρ = cuantía de acero (valor mínimo = 0.002 para aceros con $f_y=5200 \text{ kg/cm}^2$).

b = ancho de diseño, cm

d = peralte de la losa, cm

Después se calculó el número de varillas a utilizar con la fórmula:

$$No \text{ var} = \frac{A_s}{A_{svar}} \quad (6)$$

Donde:

A_s = área del acero de refuerzo calculado, cm^2

A_{svar} = área de la varilla propuesta, cm^2

La separación de varillas se calculó con:

$$Separación = \frac{b}{No \text{ var}} \quad (7)$$

$$Separación \text{ máxima} = 2.5d \quad (7.1)$$

Después del diseño de la losa, se propuso perforar los neumáticos con orificios de 2.5" de diámetro (Figura 12) con el fin de permitir el flujo del agua de arriba hacia abajo, y donde también se colocaron las columnas que soportarán la losa.

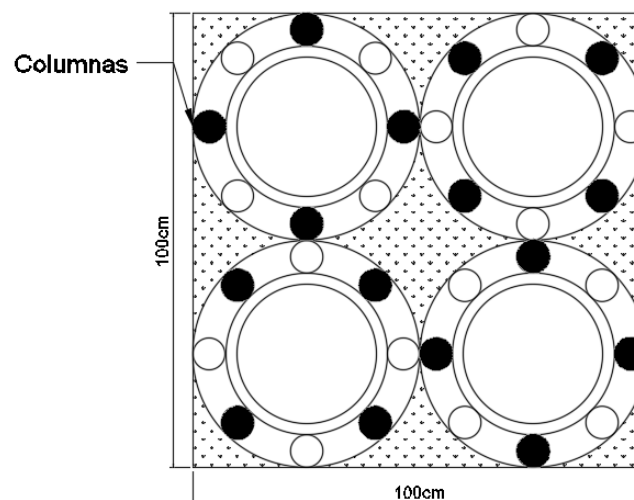


Figura 12. Acomodo propuesto para los neumáticos por m^2 . (vista planta)

Los elementos estructurales que se propusieron son: una losa cuadrada que ya se determinó la metodología para su diseño apoyada en cuatro columnas circulares de diámetro de 2.5” utilizando como cimbra tubos de PVC, cuyo diseño se realizó observando que estarán sometidas principalmente a compresión, por lo que se optó por realizar el diseño de la mezcla de concreto con ayuda de las especificaciones de Cemex (2017).

Tabla 4. Dosificación para mezclas de concreto en cantidades por m³. (CEMEX, 2017)

| | |
|--|--------------|
| Tamaño máximo del agregado | 20 mm (3/4”) |
| Resistencia a la compresión($f'c=kg/cm^2$) | 200 |
| Cemento (kg) | 265 |
| Grava (kg) | 1000 |
| Arena No. 4 (kg) | 900 |
| Agua (lts) | 205 |

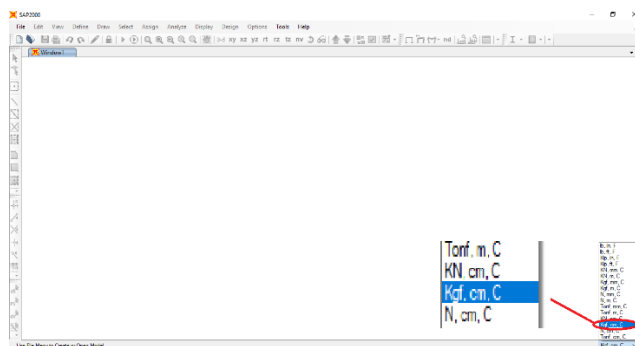
Se determinaron las cantidades de materiales a usar por columna, sacando en volumen de cada una, conociendo su altura de 57 cm y su diámetro de 2.5”.

Para el soporte de las columnas se propuso el utilizar una losa de cimentación con las mismas características de la losa superior.

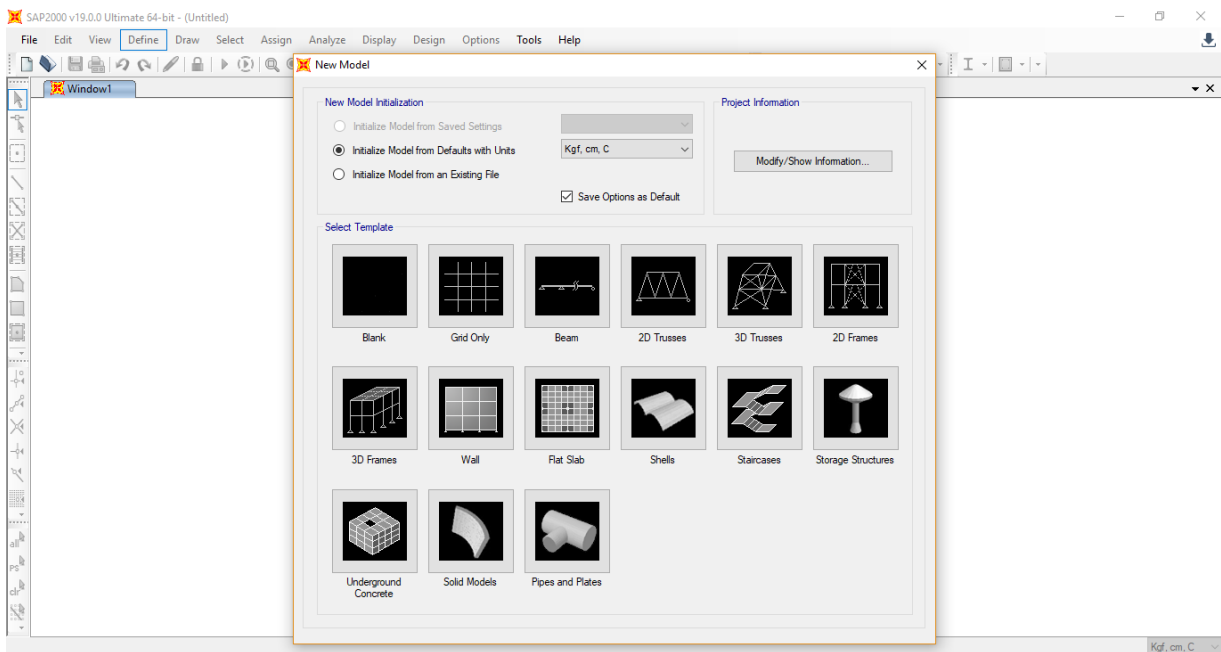
3.4.1. Análisis estructural con el software SAP2000

Para tener un análisis estructural preliminar, se realizó una modelación con ayuda del software SAP2000, utilizado para predecir comportamientos de estructuras. Para ello, se identificó el proceso de modelación que se explica a continuación.

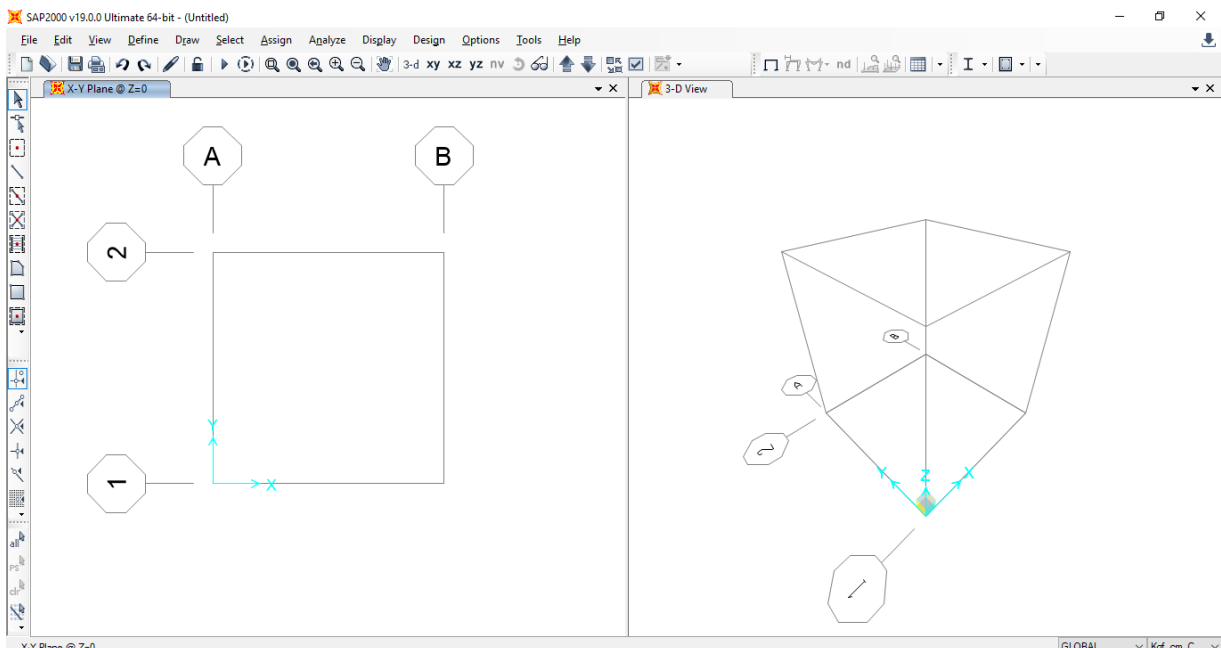
- i. Se comenzó, definiendo las unidades (kg-cm-C)



- ii. Con la ayuda de las mallas de dibujo que el software nos ofrece, se planteó un sistema de trabajo en el apartado *file>new model>gird only*



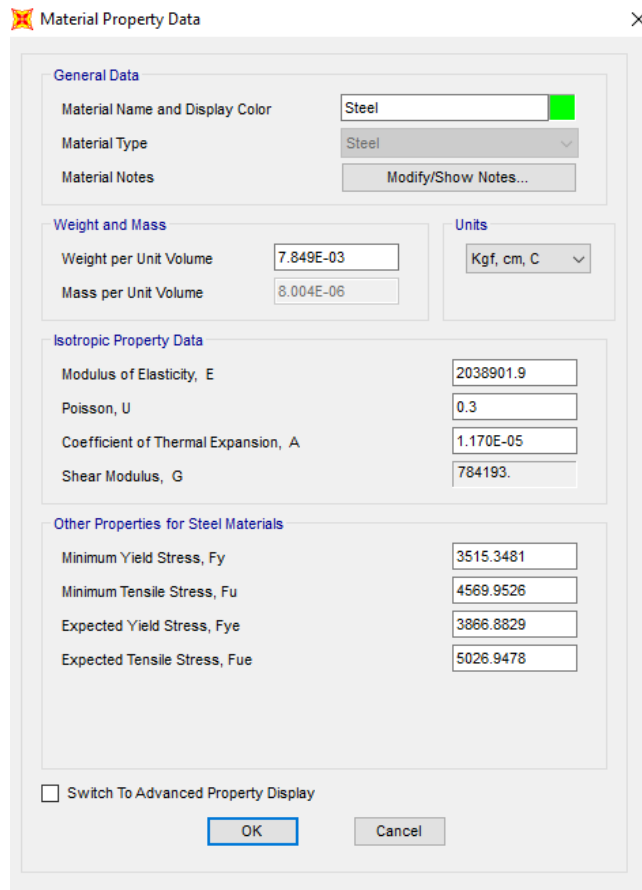
Definiendo el sistema de la estructura



- iii. Después, se definieron las propiedades de nuestros materiales como el concreto $f'c=200$ kg/cm², además del acero de refuerzo con $f_y=5000$ kg/cm². Dichas propiedades, fueron ingresadas al software como se muestra a continuación:

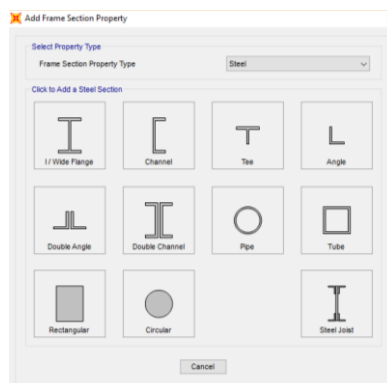
Define > materials > add new material

Cabe resaltar que el programa trae predeterminados algunos materiales con sus respectivas propiedades, sin embargo, se pueden modificar de acuerdo con cada caso.

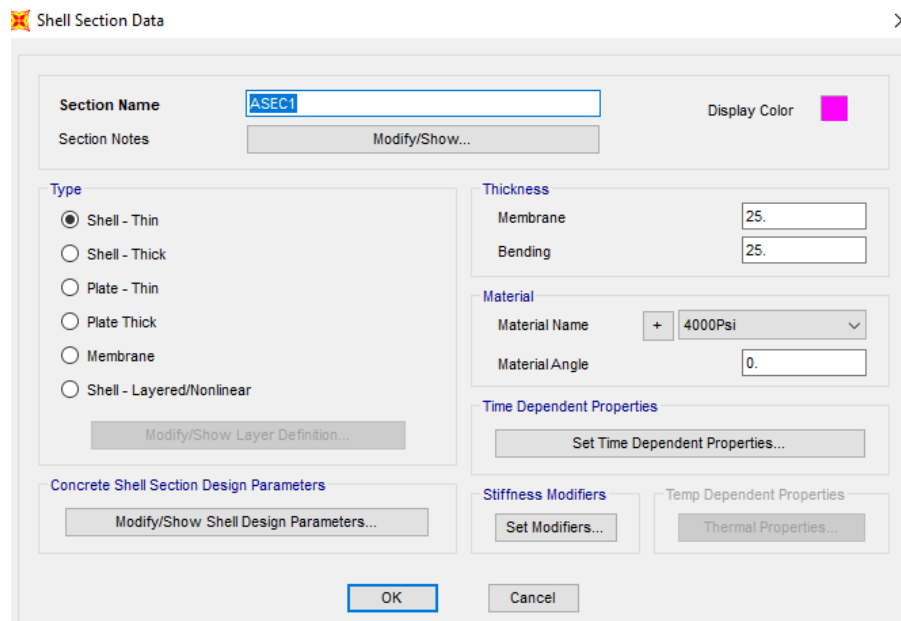


iv. Después, se definieron las secciones de los elementos: *define > Section properties > frame sections > add new section*

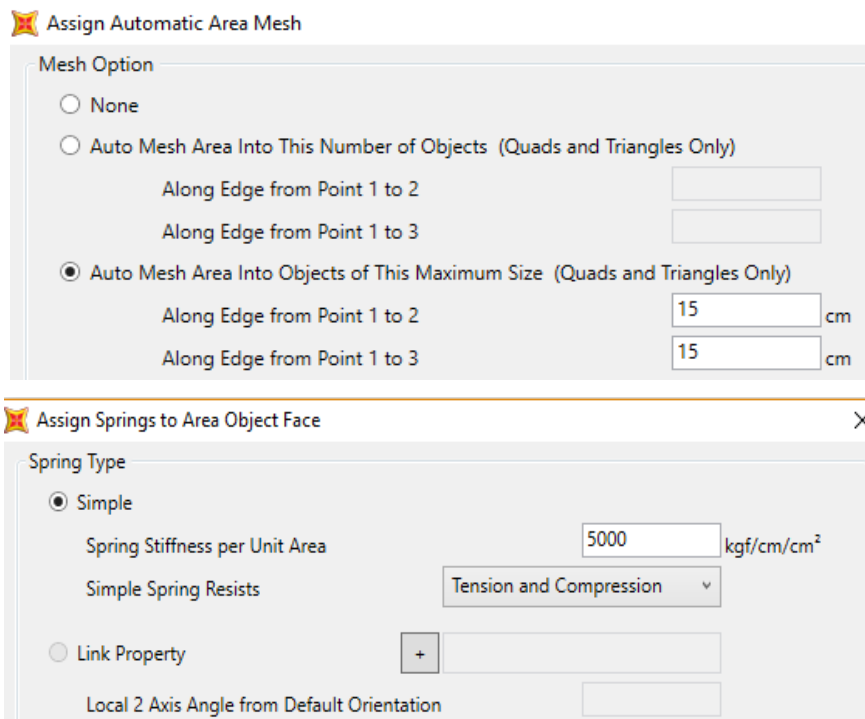
Esto se realizó para las columnas, eligiendo del menú la opción circular para este caso.



- v. Para la modelación de las losas, se realizó con la opción *Define > Section properties > Area sections > add new section*



- vi. Después se asignó el acero de refuerzo para las losas y su separación en el menú *Assign > área > Automatic área mesh* y también en *>Springs to área object face*



- vii. Teniendo la modelación final, se definieron las cargas en *Assign > Frame Loads > Distributed*

Assign Frame Distributed Loads

General

Load Pattern: DEAD

Coordinate System: GLOBAL

Load Direction: Gravity

Load Type: Force

Options

Add to Existing Loads

Replace Existing Loads

Delete Existing Loads

Uniform Load

0 kgf/cm

Trapezoidal Loads

| | 1. | 2. | 3. | 4. |
|-------------------|----|------|------|----|
| Relative Distance | 0 | 0.25 | 0.75 | 1 |
| Loads | 0 | 0 | 0 | 0 |

kgf/cm

Relative Distance from End-I Absolute Distance from End-I

Reset Form to Default Values

OK Close Apply

Habiendo definido la carga, se analizó nuestro modelo, cuyos resultados se encuentran en el apartado de resultados.

3.4.2. Análisis de costos

Después de realizar el análisis estructural, en caso de que resulte viable su construcción, se definió el proceso constructivo elaborando el catálogo de conceptos, y cada concepto se analizó conforme a precios unitarios tomando como referencia costos de materiales, los expuestos en la base de datos del Software de precios unitarios NEODATA. (disponible en <https://neodata.mx/construbase/mercadeo>)

3.5. Sistema de almacenamiento con cajas de plástico

Otra alternativa propuesta de solución para el diseño del tanque, es la utilización de cajas de plástico utilizadas en el almacenaje y transportación de frutas y/o legumbres como la que se muestra en la siguiente figura.



Figura 13. Caja de plástico para almacenar frutas

Esta propuesta, plantea la construcción de módulos a través de la estructura de la caja.

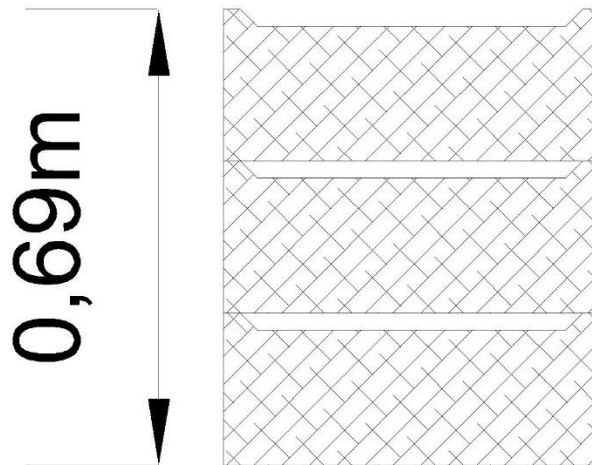


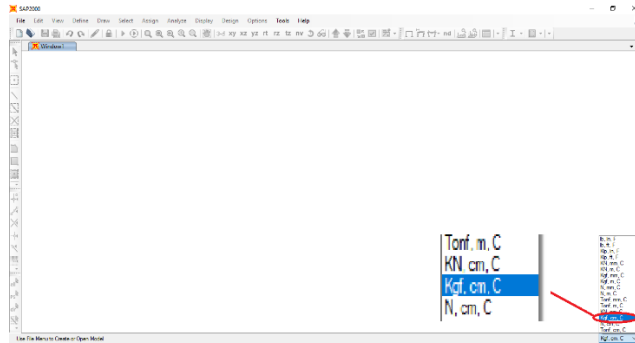
Figura 14. Módulos construidos con las cajas de plástico

3.5.1. Análisis estructural con el software SAP2000

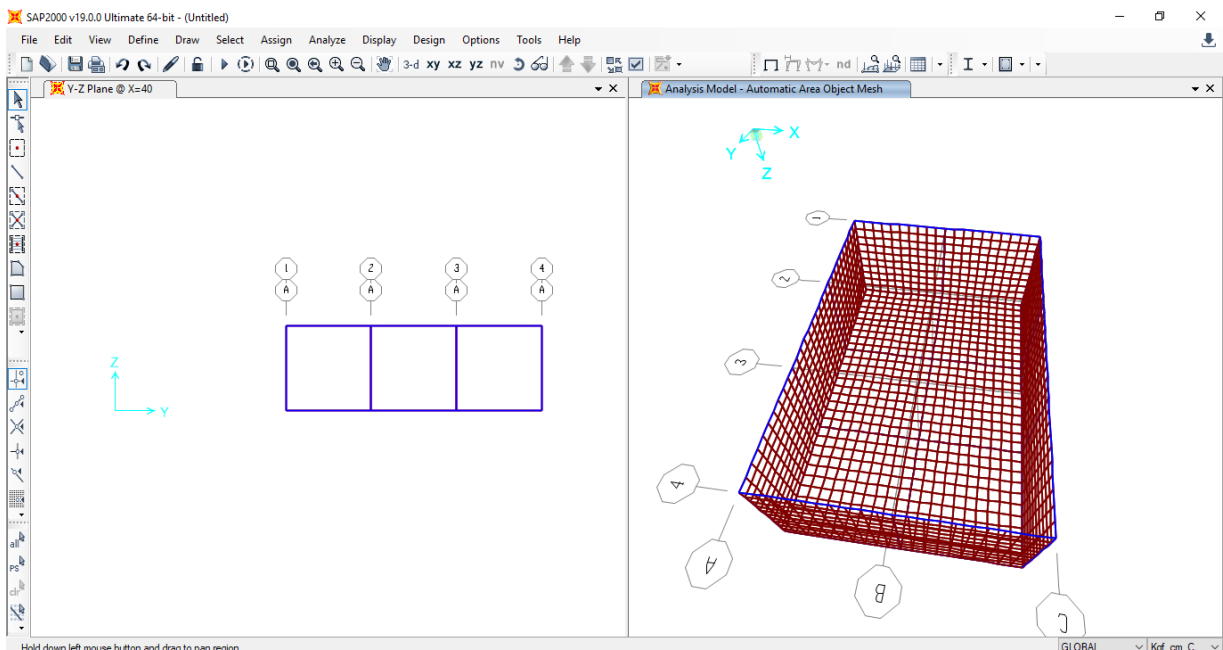
Al igual que en la solución anterior, se determinó realizar un análisis estructural con el apoyo del SAP2000 para conocer el comportamiento del sistema.

Para la modelación, al igual que en las soluciones anteriores, se comenzó con el dibujo de los componentes para representar la estructura de la caja, cuyo procedimiento se menciona a continuación.

- i. Se comenzó, definiendo las unidades (kg-cm-C)



- ii. Con la ayuda de las mallas de dibujo que el software nos ofrece, se planteó sistema de trabajo en el apartado *file>new model>gird only*



Al igual que en el modelo de las llantas, se definieron los materiales de la caja, de acuerdo con la empresa DEPLAST, especialista en fabricación de envases agroalimentarios mediante la inyección de plástico, sus productos como las cajas de plástico, refieren estar hechas de PEHD de alta densidad, que es un es un polímero de la familia de los polímeros olefínicos (como el polipropileno), o de los polietilenos. Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, High Density Polyethylene) o PEAD (polietileno de alta densidad). Este material se utiliza, entre otras cosas, para la elaboración de envases plásticos desechables (DEPLAST , 2017).

Sus propiedades son similares a los del polipropileno común, sólo varían en su densidad, donde en el PEHD es de 0.97 kg/cm^3 .

Para el análisis del sistema se ingresaron las principales propiedades del polipropileno:

Durante la investigación, se identificó que el material predominante en este tipo de sistemas de captación de agua de lluvia es el polipropileno, que de acuerdo con Petroquim (2017), es un termoplástico obtenido por la polimerización del propileno, subproducto gaseoso de la refinación del petróleo. Todo esto desarrollado en presencia de un catalizador, bajo un cuidadoso control de temperatura y presión. El Polipropileno se puede clasificar en tres tipos (homopolímero, copolímero rándom y copolímero de alto impacto), los cuales pueden ser modificados y adaptados para determinados usos.

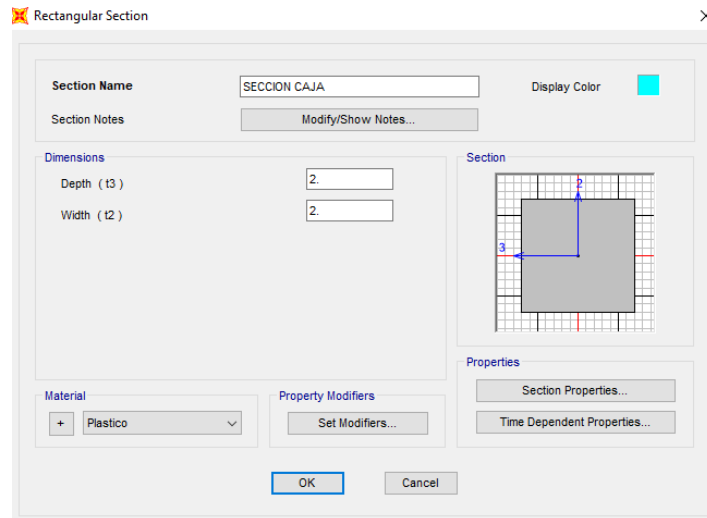
Características (Petroquim, 2017):

- Optima relación Costo / Beneficio.
- Versatilidad: compatible con la mayoría de las técnicas de procesamiento existentes y usado en diferentes aplicaciones comerciales, como, packaging, industria automotriz, textiles, menaje, medicina, tuberías, etc.
- Buena procesabilidad: es el material plástico de menor peso específico ($0,9 \text{ g/cm}^3$), lo que implica que se requiere de una menor cantidad para la obtención de un producto terminado.
- Barrera al vapor de agua: evita el traspaso de humedad, lo cual puede ser utilizado para la protección de diversos alimentos.
- Buenas propiedades organolépticas, químicas, de resistencia y transparencia.

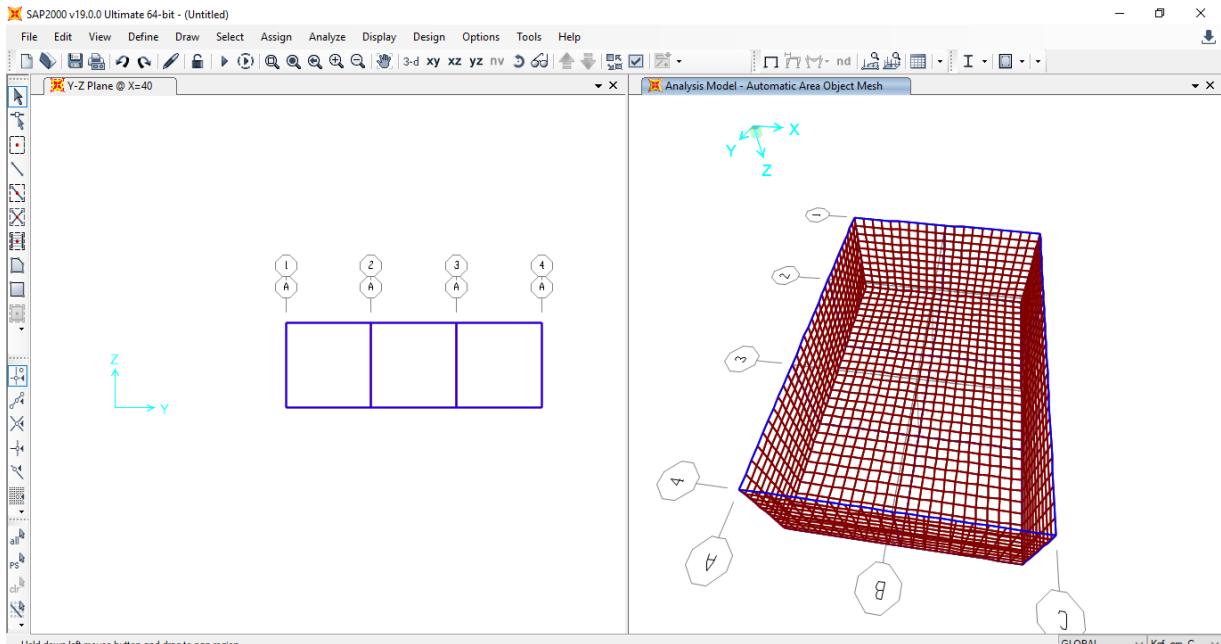
Determinado el material, se ingresaron las propiedades del plástico en SAP2000.

- Peso por unidad de volumen = 0.97 kg/cm^3 (Petroquim, 2017)
- Módulo de elasticidad = 14276.03 kg/cm^2 (López et al., 2002)
- Coeficiente de Poisson = 0.4 (López et al., 2002)
- Coeficiente de expansión térmica = $273.15 \text{ }^\circ\text{C}$ (Goodfellow, 2017)

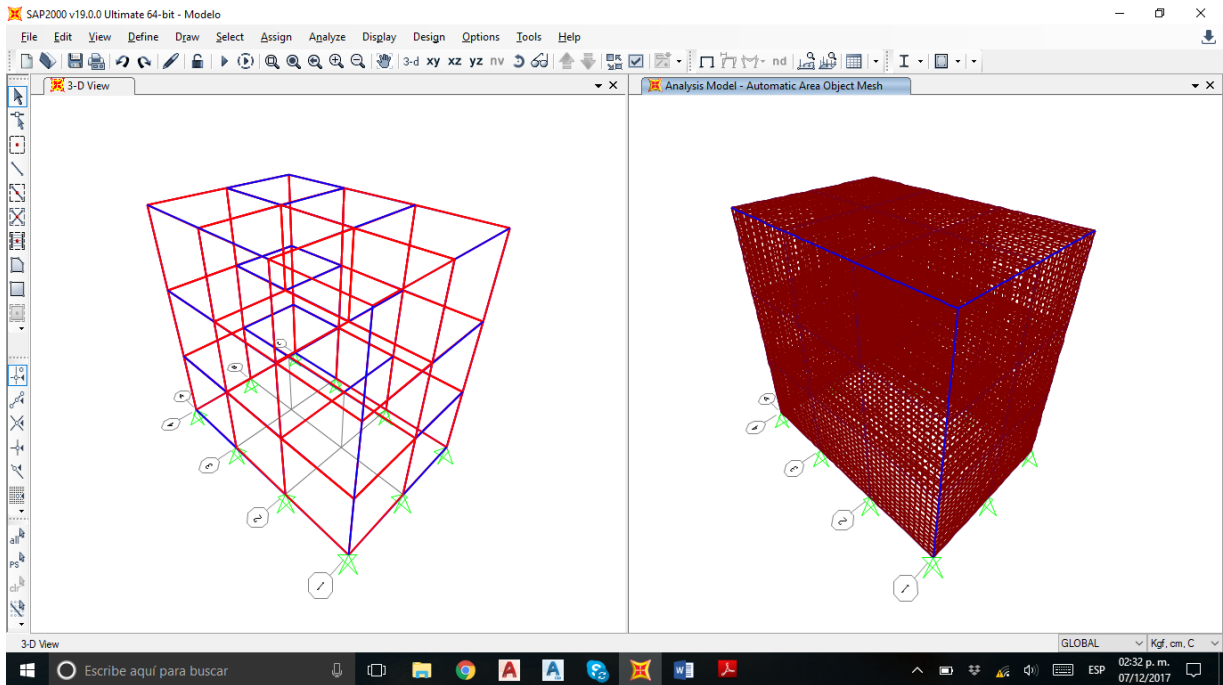
Después, se definieron las secciones de los elementos de la caja, cuyos refuerzos principales son de secciones cuadradas de 2 cm y el mallado entre éstos tiene una abertura de 1.5 cm



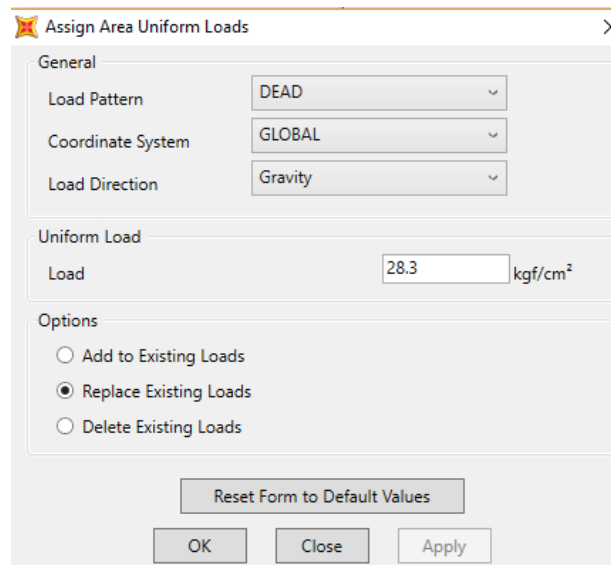
El modelo final quedó de la siguiente manera:



Para llevar a cabo el análisis, se replicó el modelo principal, simulando una caja sobre otra, esto se aprecia a continuación, cabe señalar que se identificó que la caja superior que soportaría las cargas tenía una clara probabilidad de falla en el centro de la caja por lo que se consideró simular un refuerzo en el centro del claro del mismo material para poder contener estas cargas.



Por último, se definieron las cargas que debía soportar esta estructura de 28.3 kg/cm^2



Teniendo finalmente el modelo final para su análisis y cuyos resultados se muestran en el siguiente capítulo.

3.5.2. Análisis de costos

Después de realizar el análisis estructural, en caso de que resulte viable su construcción, se definió el proceso constructivo elaborando el catálogo de conceptos, y cada concepto se analizó

conforme a precios unitarios tomando como referencia costos de materiales de acuerdo con la empresa fabricante de este tipo de cajas.

3.6. Sistema de almacenamiento con módulos autosoportantes

En la solución anterior se enlistaron algunas ventajas de los plásticos, y a partir de esta información, se propuso una alternativa con un diseño propio que consistió en la modelación de piezas de polipropileno autosoportantes entre sí y que pudieran ser producidas a través del proceso industrial de inyección de plástico.

En las siguientes figuras se presentan los planos de dichas piezas.

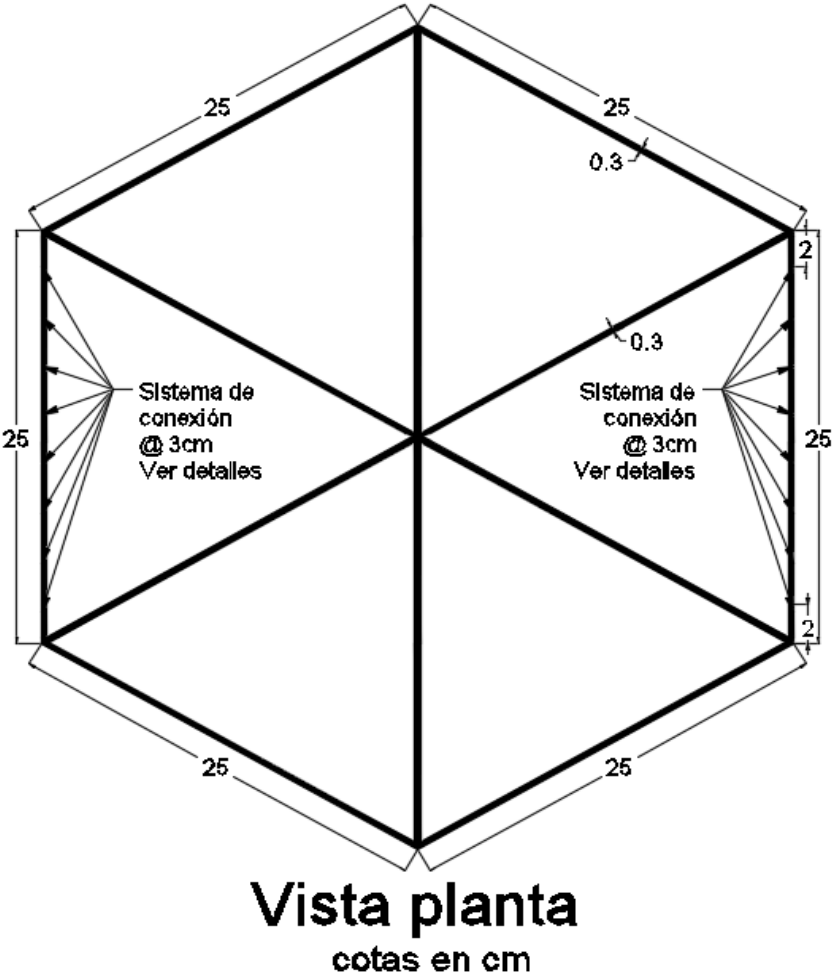


Figura 15. Vista en planta del diseño autosportante

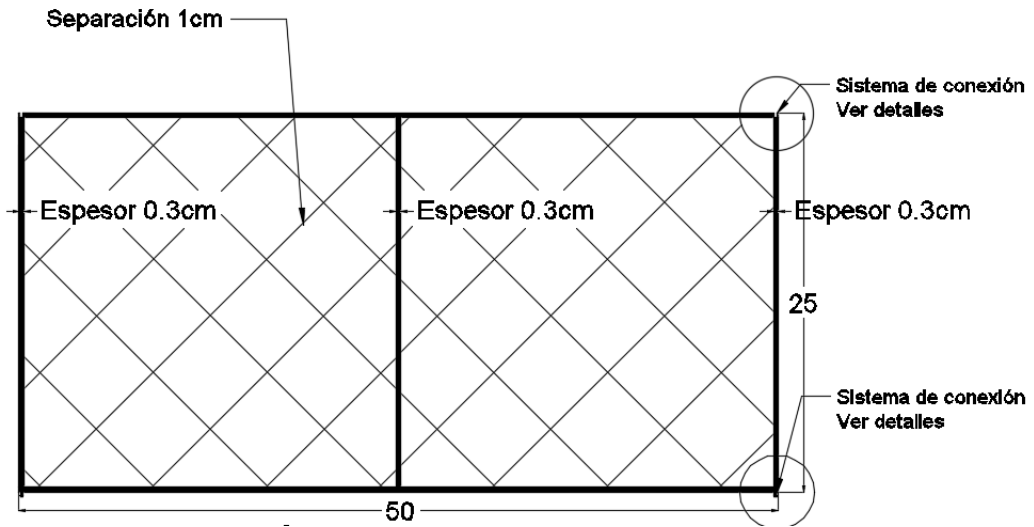


Figura 16. Corte transversal del diseño. Cotas en cm.

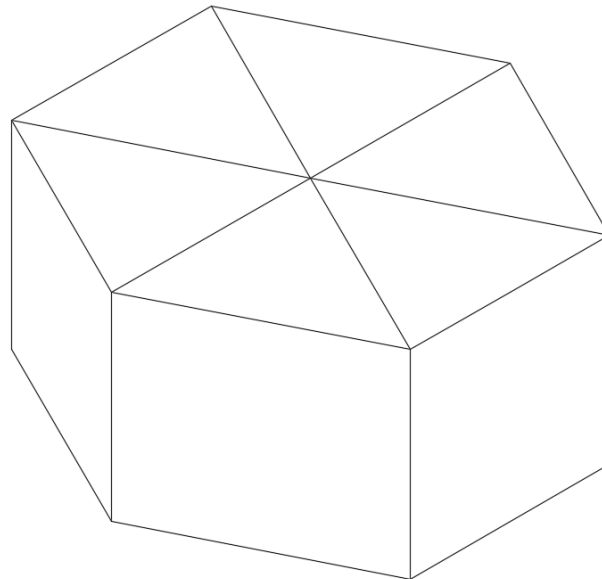


Figura 17. Vista en 3D del diseño

En las siguientes figuras, se detallan las conexiones propuestas para cada pieza.

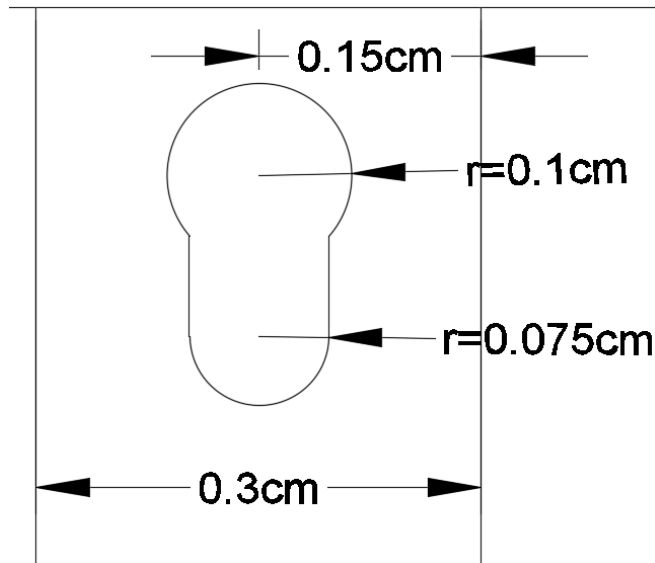


Figura 18. Dimensiones de la conexión diseñada.

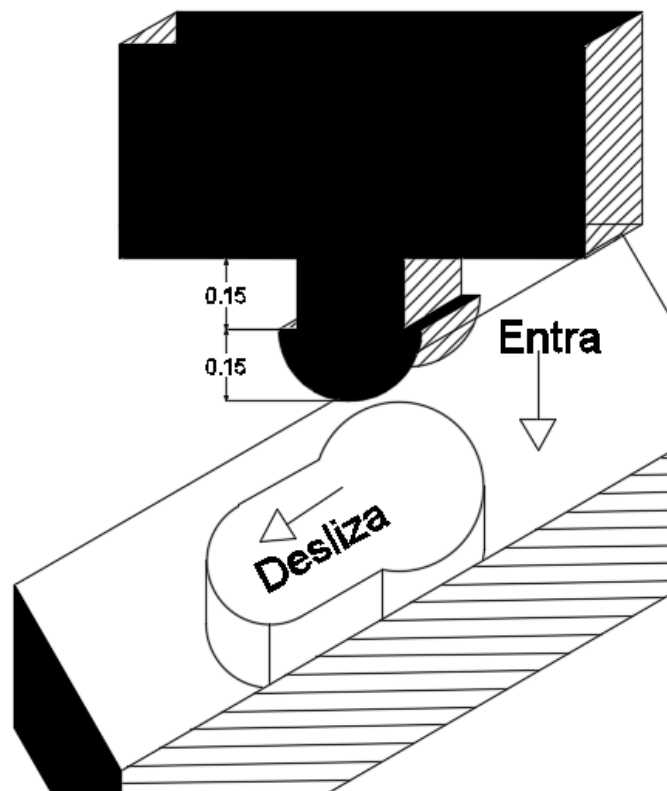


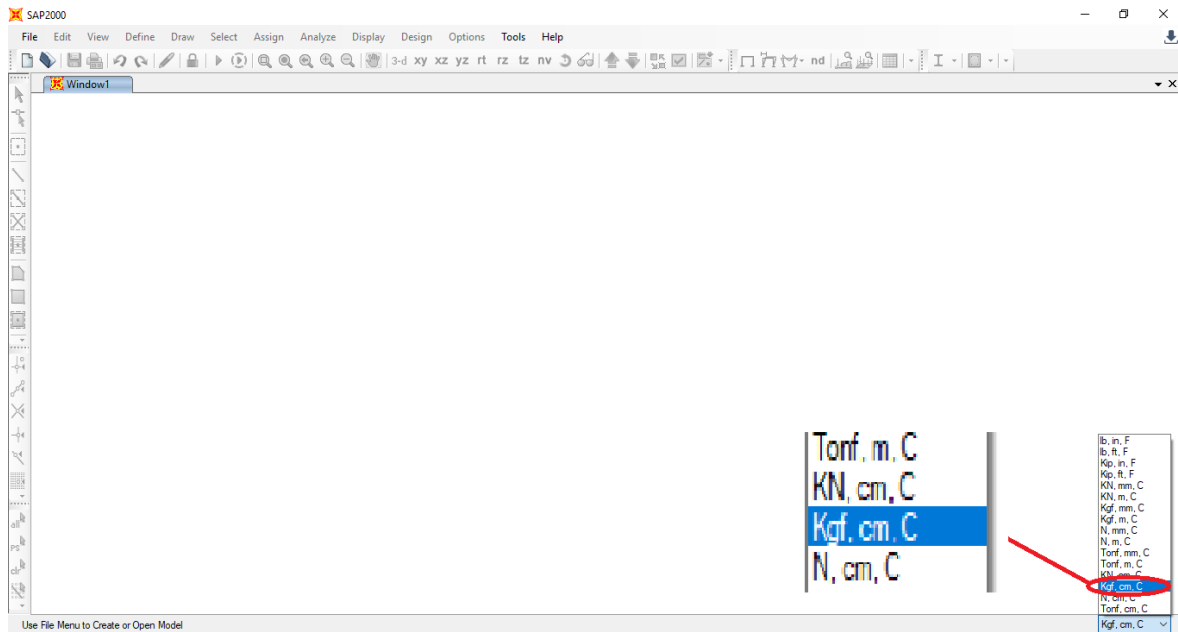
Figura 19. Sistema de conexión propuesto. Cotas en cm

Una vez unidas las piezas, el sistema de conexión, además de facilitar el proceso de unión, permite restringir los movimientos que esta pueda tener, garantizando que armadas actúen como una sola pieza para soportar las cargas.

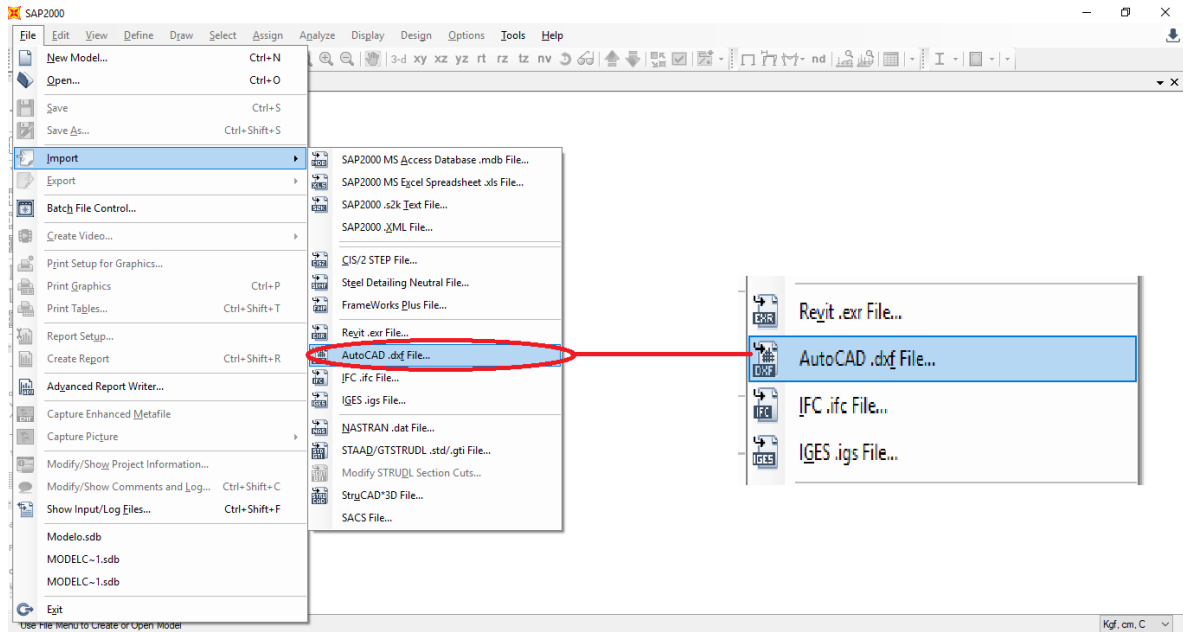
3.6.1. Análisis estructural con el software SAP2000

El procedimiento de modelación es similar a las dos anteriores, en el capítulo de resultados se detalla la modelación y el análisis obtenido. Dicho diseño se realizó en el programa de dibujo AutoCAD y aprovechando la interacción entre este y el Sap2000, se realizó la importación del dibujo para simplificar el trabajo.

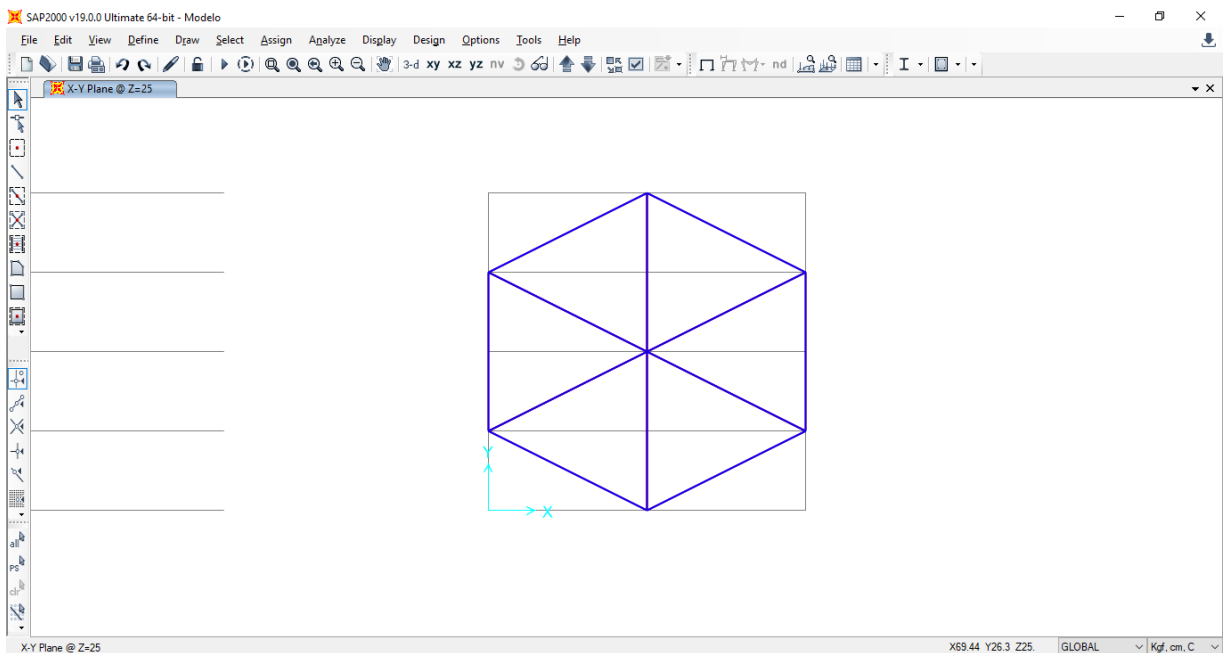
Para comenzar con el modelado en el software, comenzamos definiendo las unidades en que trabajamos, para nuestro caso fue: kg, cm, C (kilogramos-centímetros-Celsius)



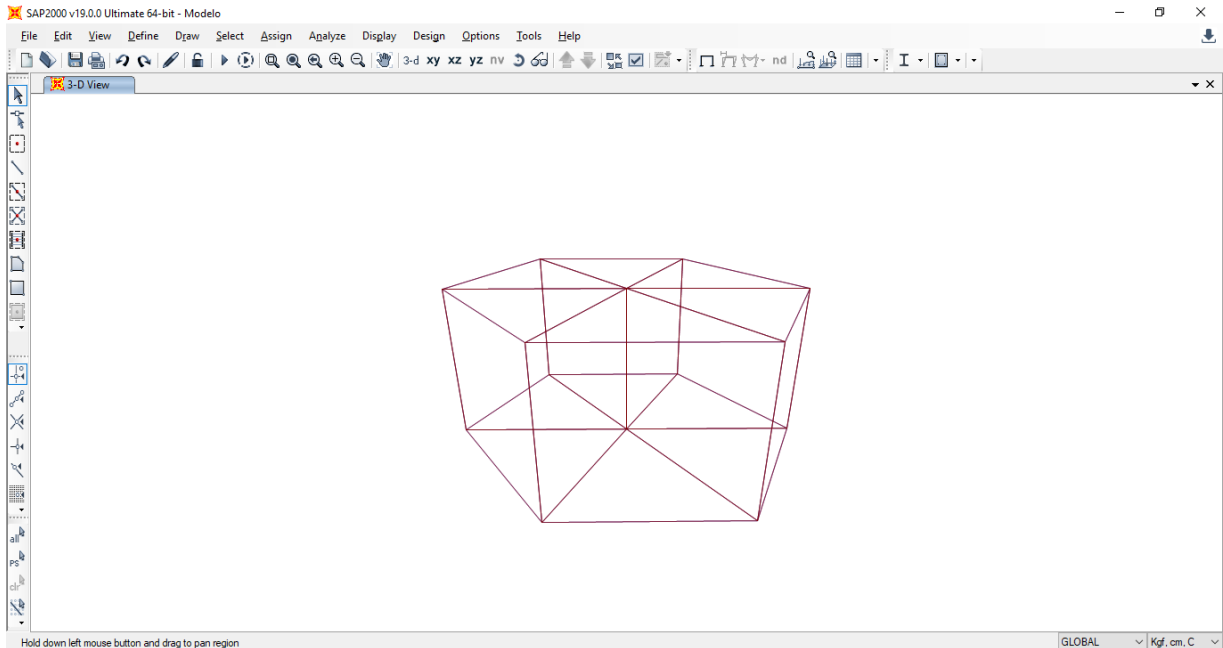
Una vez definidas nuestras unidades, se procedió a importar el modelo de diseño que se realizó en el software de dibujo AUTOCAD



De lo que se obtuvo una vista en planta de nuestro diseño



Después, se comenzó el dibujo en 3D con la proyección de nuestro diseño, quedando de la siguiente manera:



De aquí, se continua con el procedimiento de definición de materiales similar a las demás soluciones.

3.6.2. Análisis de costos

La viabilidad económica se analizó a través de la elaboración del catálogo de conceptos, con la diferencia, que en esta solución se investigó el costo de la inyección de plástico para el diseño propuesto.

Para conocer los costos de producción con inyección de plástico, se solicitó una cotización a la empresa VIMAPLAST dedicada a la comercialización de plásticos de ingeniería y maquila de inyección. La cotización obtenida plantea los siguientes productos necesarios para la pieza autosoportante.

- Molde especial fabricado en acero con un costo de \$85,000.00 pesos.
- Pieza autosoportante de polipropileno según diseño (anexo IV) con un costo de \$10.00 pesos más IVA

A primera instancia, resulta elevada la inversión por el costo del molde, sin embargo, la cantidad de piezas que se pueden obtener de un sólo molde son bastantes. Para este trabajo, se consideró la cantidad de 100,000 piezas por molde, amortizando el precio obtenido entre este número de piezas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Cálculo de cargas

4.1.1. Jardín frontal

El cálculo de la carga muerta será determinado de acuerdo con la sección transversal propuesta.

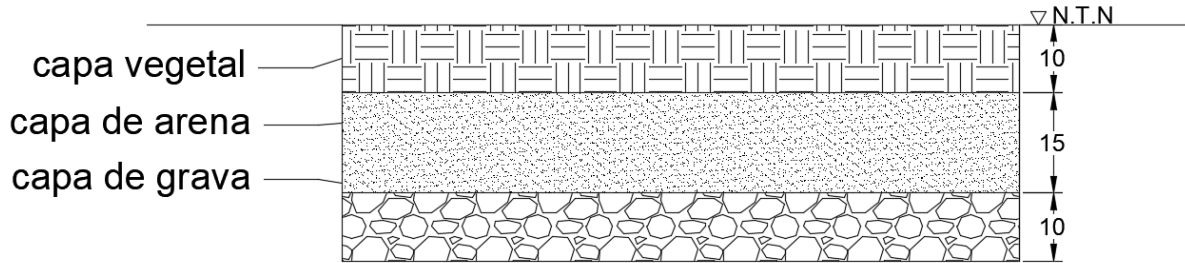


Figura 20. Propuesta de estratos (cotas en cm)

El análisis de cargas se realizó por m^2 de área disponible de jardín que se tiene, por lo que se obtiene lo siguiente:

$$Grava = 2000 \frac{kg}{m^3} * 0.10m = 200 kg/m^2$$

$$Arena = 2650 \frac{kg}{m^3} * 0.15m = 397.5 kg/m^2$$

$$Terreno natural = 1800 \frac{kg}{m^3} * 0.10m = 180 kg/m^2$$

En total, se tiene una carga muerta de servicio (CMs):

$$CMs = 200 + 397.5 + 180 = 777.5 kg/m^2 = 0.078 kg/cm^2$$

El peso de un automóvil de 3587 kg se divide entre sus cuatro llantas, por lo que en cada llanta se tiene un peso de 964.25 kg aproximadamente, distribuidos en una superficie de contacto de $225 cm^2$, por lo que se tiene:

$$CV = \frac{964.25kg}{225cm^2} = 4.29 kg/cm^2$$

El reglamento de construcciones considera un factor de debido a la carga muerta y viva de 1.40

Por lo tanto, la carga total es:

$$1.4CM + 1.4CV = (1.4)(0.078) + (1.4)(4.29) = 6.1 \text{ kg/cm}^2$$

Para el análisis de resultados de este trabajo, se comparó con los sistemas de captación comerciales, uno de ellos, es el sistema ECODRAIN cuya especificación estipula una carga de **28.3 kg/cm²** para estacionamientos, por lo que la meta será esta carga para poder hacer una comparación ideal.

4.1.2. Jardín trasero

Como se mencionó en el punto b del apartado 3.3.2. la carga muerta es la misma que la calculada en el apartado anterior, es decir, 0.075 kg/cm² y la carga viva de 0.05 kg/cm².

Al igual que en el cálculo anterior, se consideró el factor de 1.4 en dichas cargas.

$$1.4CM + 1.4CV = (1.4)(0.078) + (1.4)(0.05) = 0.18 \text{ kg/cm}^2$$

Esto es casi dos toneladas por m² de superficie.

4.2. Dimensionamiento del sistema con neumáticos

Como ya se explicó en el apartado 3.4, la propuesta de solución que se presentó refiere la reutilización de neumáticos reforzados estructuralmente con dos losas de concreto y columnas, formando marcos estructurales.

Dicha propuesta, se inició diseñando la losa de concreto de 50x50cm como se muestra a continuación:

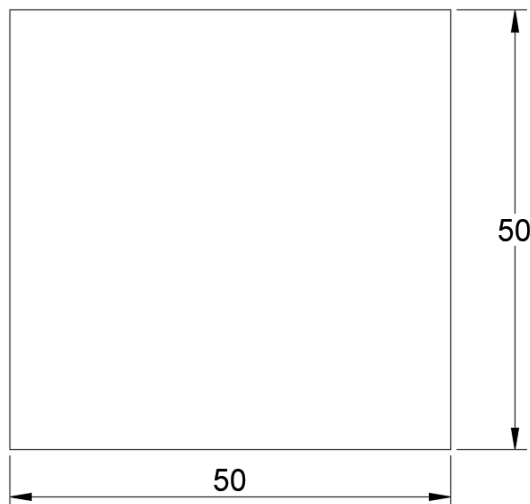


Figura 21. Losa propuesta. Cotas en cm

Como se observa en la figura 9, se tiene una losa de un tablero cuadrado con dimensiones de 0.5 m x 0.5 m. De acuerdo con la Tabla 5, se determinó como losa de tablero aislado.

Peralte mínimo.

Para el cálculo del peralte mínimo (d), se siguió el procedimiento descrito en el apartado 3.4.

$$d = \frac{\text{Perimetro}}{170}$$

$$d = \frac{200}{170} = 1.17\text{cm}$$

El resultado del peralte es ilógico, por lo tanto, se determinó plantear una losa de 6 cm de espesor y seguir el análisis de diseño.

Se calcula la relación del tablero con (2).

$$m = \frac{a_1}{a_2}$$

Para este caso, el tablero es cuadrado, por lo que se tiene una relación de 1.0, caso II.

Tabla 5. Coeficientes de momentos flexionantes para tableros rectangulares. Fuente: NTC (2004)

| Tablero | Momento | Claro | Relación de lados corto a largo $m=a_1/a_2$ | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|-------|---|-----------------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|-----|-----|
| | | | 0 | | 0.5 | | 0.6 | | 0.7 | | 0.8 | | 0.9 | | 1.0 | |
| | | | I ² | II ³ | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II | I | II |
| Aislado | Neg. en bordes discontinuos | corto | 570 | 0 | 550 | 0 | 530 | 0 | 470 | 0 | 430 | 0 | 380 | 0 | 330 | 0 |
| | | largo | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 | 330 | 0 |
| Cuatro lados discontinuos | Positivo | corto | 1100 | 1670 | 830 | 1380 | 800 | 1330 | 720 | 1190 | 640 | 1070 | 570 | 950 | 500 | 830 |
| | | largo | 200 | 250 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 | 500 | 830 |

¹ Para las franjas extremas multiplíquense los coeficientes por 0.60.

² Caso I. Losa colada monolíticamente con sus apoyos.

³ Caso II. Losa no colada monolíticamente con sus apoyos.

De la tabla, se tiene que los momentos son sólo positivos, se procede a calcular el momento último (Mu):

$$Mu = k * Wv * a = (830 \times 10^{-4}) * 28.3 \text{ kg/cm}^2 * 40\text{cm} = 94 \text{ kg}$$

Calculando el momento resultante:

$$\frac{MR}{bd^2} = \frac{(94 \text{ kg})(100 \text{ cm})}{(100\text{cm})(6\text{cm})^2} = 1.5 \text{ kg/cm}^2$$

De aquí obtenemos la cuantía de acero de refuerzo a tensión requerido de acuerdo con las sollicitaciones.

Por el momento resultante, el acero de refuerzo requerido es el mínimo, cuyo valor es de $\rho=0.002$ para aceros con $f_y=5200 \text{ kg/cm}^2$

El área de acero de refuerzo es: $A_s = \rho b d = 0.002 * 100\text{cm} * 6\text{cm} = 1.2\text{cm}^2$

Ahora se calcula el número de varillas a utilizar:

$$No \text{ var} = \frac{A_s}{A_{svar}}$$

Considerando varillas del número 2.5 cuya área de refuerzo es de 0.49 cm^2 ; sustituyendo:

$$No \text{ var} = \frac{1.2\text{cm}^2}{0.49\text{cm}^2} = 2.5 \approx 3 \text{ varillas}$$

$$Separación = \frac{b}{No \text{ var}} = \frac{100\text{cm}}{3} = 33.3 \text{ cm}$$

Ahora se procede a calcular la separación máxima permitida de acuerdo con la fórmula $Separación \text{ máxima} = 2.5d$; sustituyendo con $d=6\text{cm}$, se tiene:

$$Separación \text{ max} = 2.5(6\text{cm}) = 15 \text{ cm}$$

Por lo tanto, el armado resultó ser de la siguiente forma:

var #2.5 @ 15cm en las dos direcciones

Se propuso sustituir el acero de refuerzo por malla electrosoldada 66/1010 para simplificar el proceso constructivo. Cuya separación entre alambres es de 15 cm, cumpliendo de forma satisfactoria nuestro armado, quedando como se muestra en la siguiente figura.

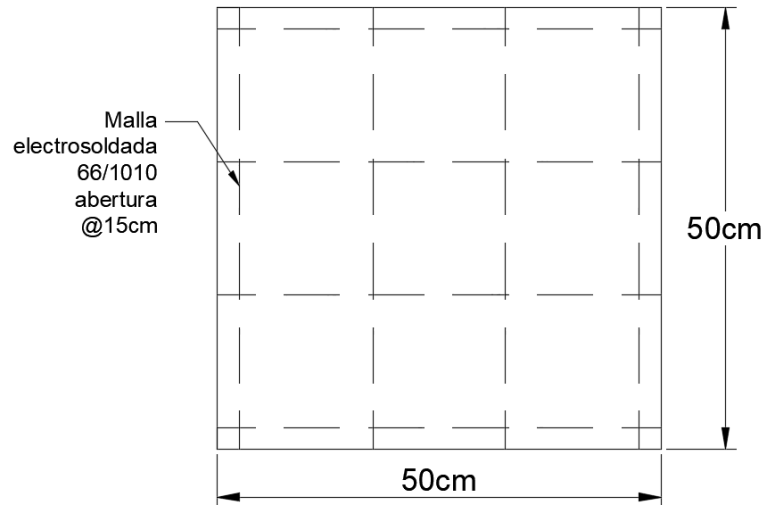


Figura 22. Armado final de la losa.

4.2.1. Dosificación de mezcla de concreto para las columnas

Los elementos estructurales que servirán como columnas en las llantas, se propusieron ser fabricados de concreto hidráulico con resistencia a la compresión $f'c=100 \text{ kg/cm}^2$, cuya dosificación se muestra en la Tabla 2.

Las columnas a utilizar tienen una sección circular de 2.5” y 57 cm de longitud, por lo que el volumen por pieza a colar será de:

$$\text{Área de la sección} = \pi * R^2 = \pi (0.0318)^2 = 0.0032 \text{ m}^2$$

$$\text{Volumen} = 0.0032 * 0.57 = 0.0018 \text{ m}^3 \text{ por columna}$$

De acuerdo con la dosificación requerida por m^3 , se obtuvieron las siguientes cantidades para las cuatro columnas de un módulo de captación:

| | | |
|-------------------------|-----------------------|------|
| Cemento (kg) | $265 * 0.0018 * 4 =$ | 2.00 |
| Grava ¾” (kg) | $1000 * 0.0018 * 4 =$ | 7.50 |
| Arena No. 4 (kg) | $900 * 0.0018 * 4 =$ | 6.50 |
| Agua (lts) | $205 * 0.0018 * 4 =$ | 1.50 |

Se decidió, reforzar las columnas circulares con malla electrosoldada 66/1010 para lograr una correcta unión entre las losas y las columnas, dicho análisis se describió en el apartado de modelación mediante el software SAP2000.

Losa de cimentación

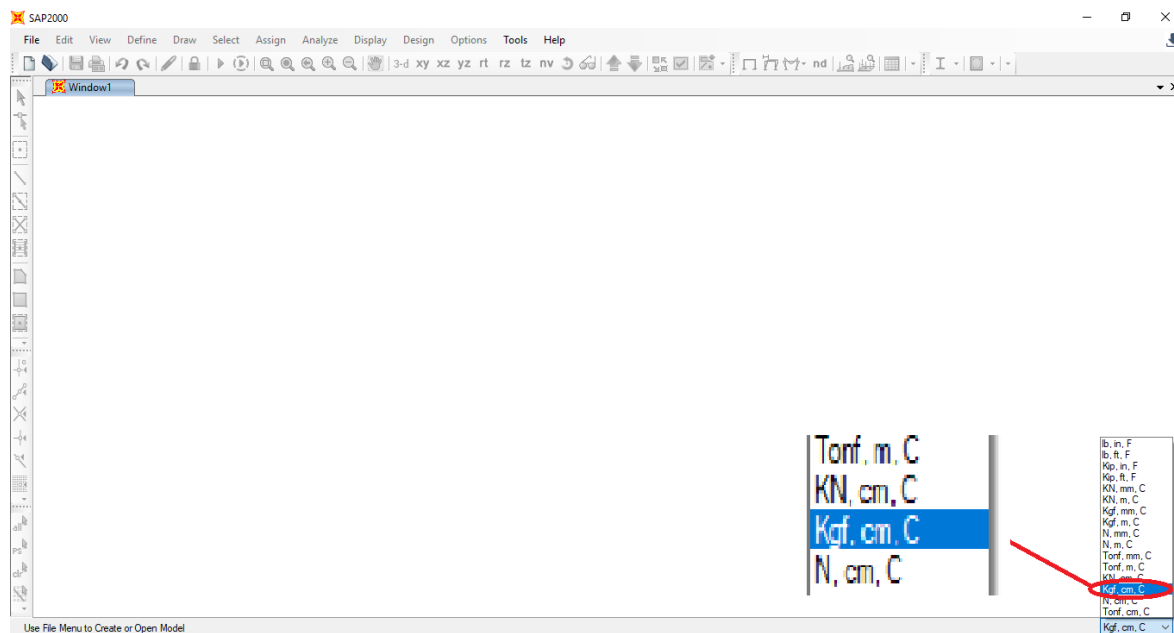
Para el soporte de nuestras columnas, se propuso tener una losa de cimentación, con las mismas características que la losa superior, con la cual, el sistema convierte a las llantas en contenedores de agua como cilindro.

4.2.2. Modelación en SAP2000

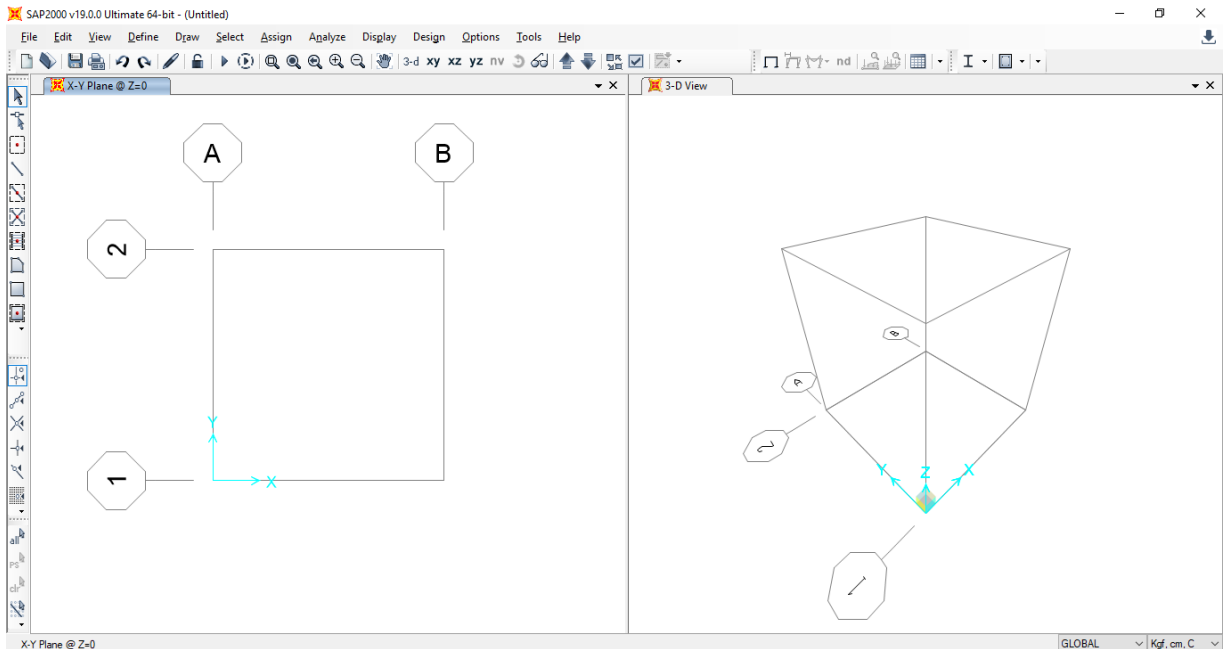
En el apartado 3.4, se detalló el procedimiento de modelación para poder analizar nuestro sistema.

El sistema final, quedo de la siguiente forma:

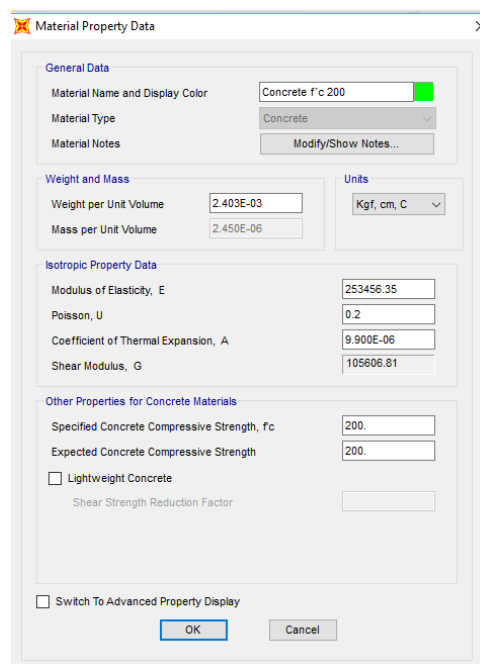
Se comenzó, definiendo las unidades (kg-cm-C)



Con la ayuda de las mallas de dibujo que el software nos ofrece, planteamos nuestro sistema de trabajo.



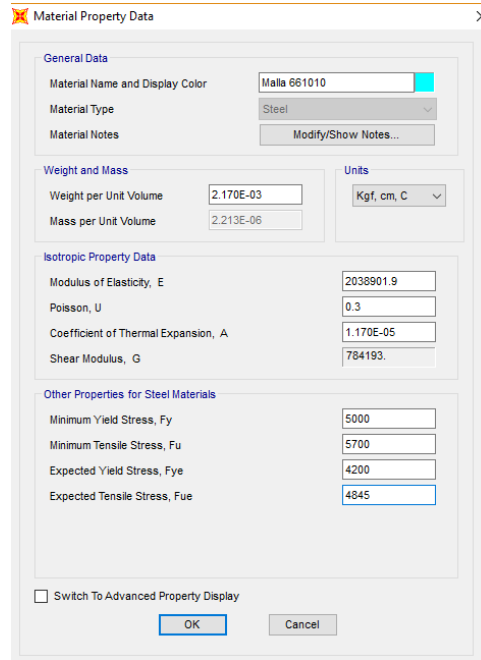
Después, se definieron las propiedades de nuestros materiales como el concreto $f'_c=200 \text{ kg/cm}^2$, además del acero de refuerzo, en este caso es malla electrosoldada 66/1010 con propiedades $f_y=5000 \text{ kg/cm}^2$ (DeAcero , 2017). Dichas propiedades, fueron ingresadas al software como se muestra a continuación:



Propiedades de la malla electrosoldada (DeAcero , 2017):

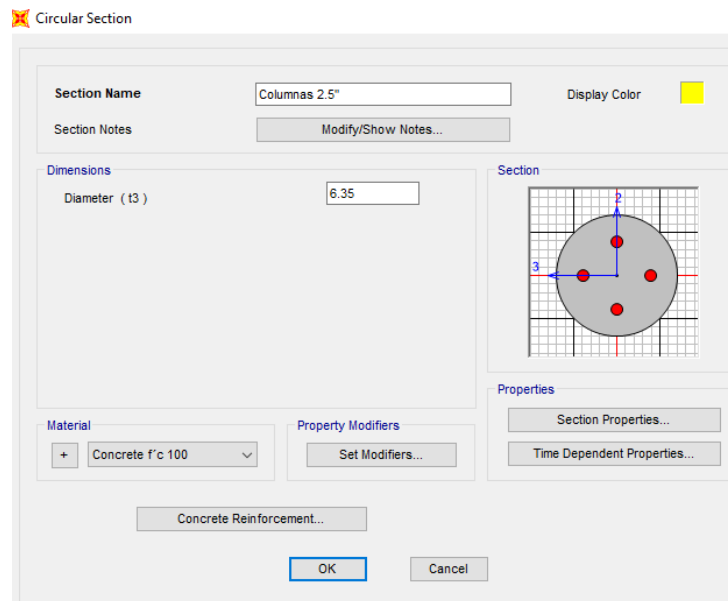
Resistencia de fluencia: $F_y=5000 \text{ kg/cm}^2$

Resistencia a la tensión: $F_u=5700 \text{ kg/cm}^2$

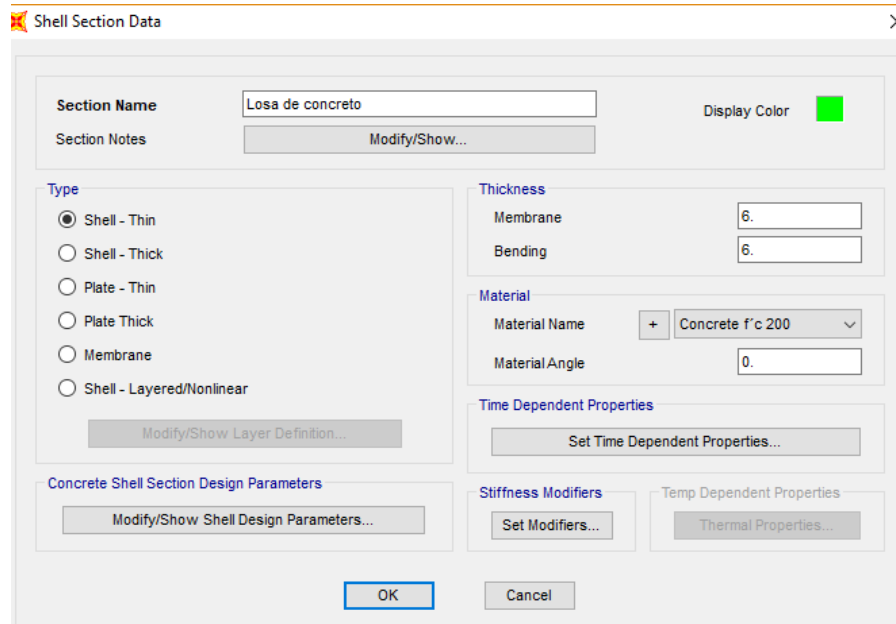


Después, se definieron las secciones de los elementos

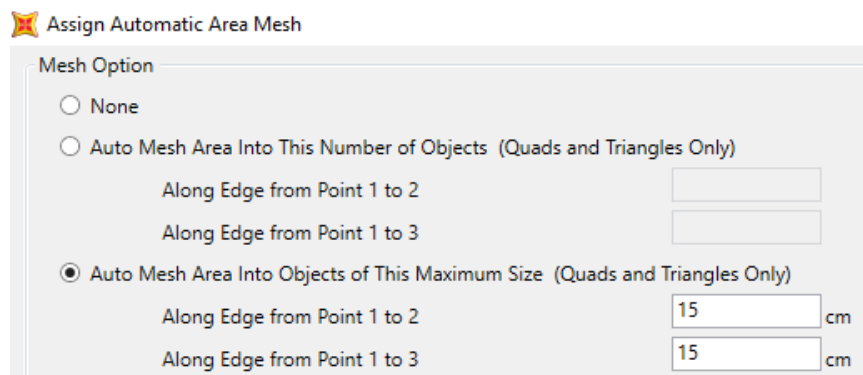
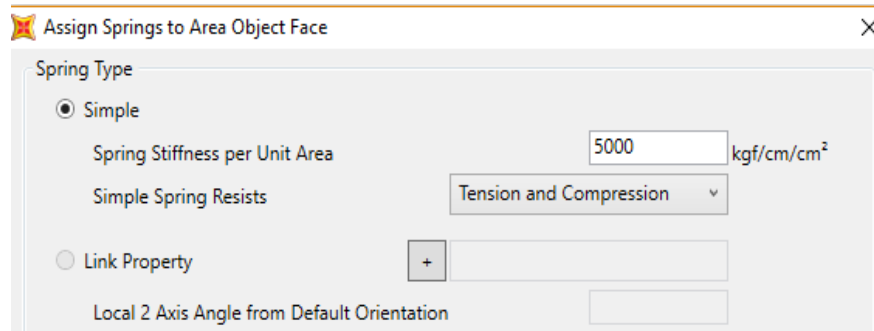
Columnas circulares de 2.5" de diámetro reforzadas con malla electrosoldada 66/1010



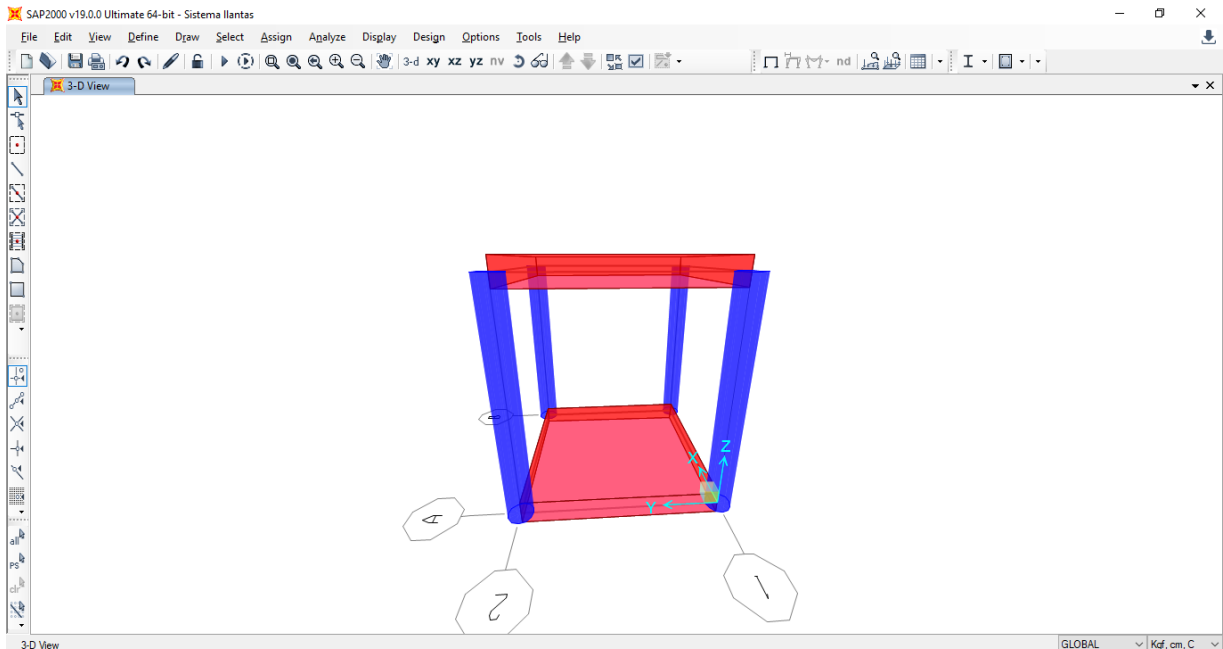
Las propiedades de las losas fueron 6cm de espesor



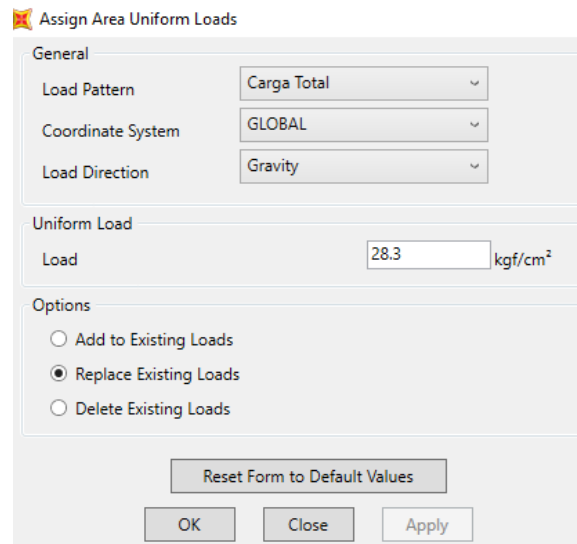
Y con malla electrosoldada 66/1010 con $f_y = 5000 \text{ kg/cm}^2$ y separación de 15 cm



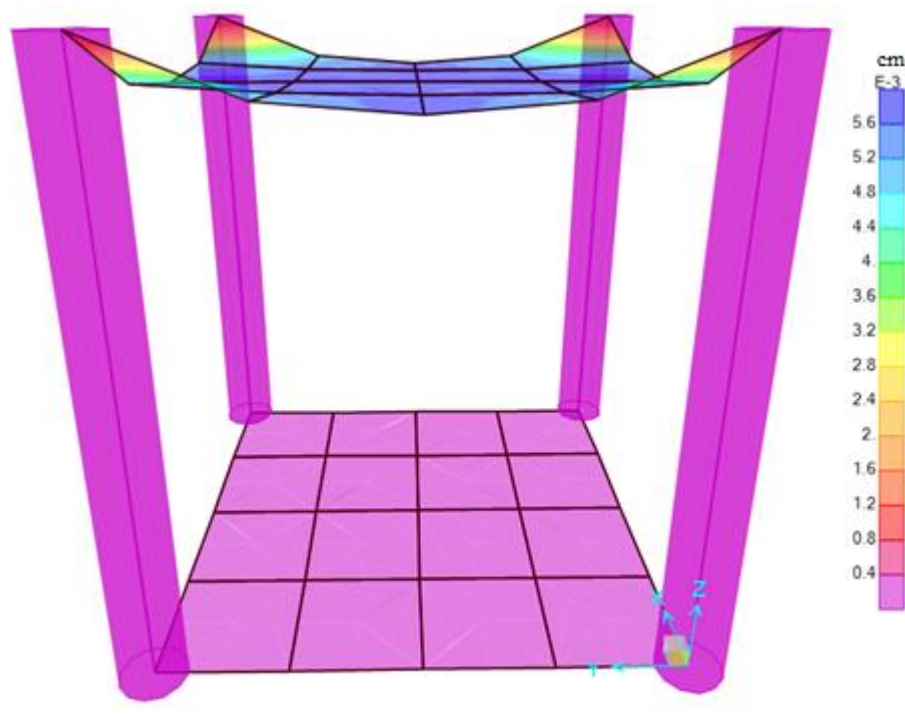
Obteniendo así, el modelo final



Continuando con el análisis, se definió la carga actuante de 28.3 kg/cm^2 del sistema ECODRAIN.



Habiendo definido la carga, se analizó nuestro modelo, obteniendo los siguientes resultados de deformación (cm).



- **Deformación máxima admisible.**

Las deformaciones máximas admisibles en losas de concreto reforzado según el RCDF, se obtiene de la siguiente expresión:

$$Y_{adm} = \frac{L}{240} + 0.5cm = \mathbf{0.7083cm}$$

El software arrojó valores de deformación máximas de 0.0056 cm, lo que se pudo concluir que la propuesta de diseño es viable estructuralmente, ya que el valor obtenido es inferior al valor admisible.

4.2.3. Análisis de costos

Después de satisfacer estructuralmente, se realizó un análisis de precios unitarios para saber el costo que tiene este sistema.

A continuación, se muestra el catálogo de conceptos y presupuesto asociado al sistema de neumáticos reutilizados.

| COD | CONCEPTO | UNIDAD | CANT. | PU | IMPORTE |
|-----|----------|--------|-------|----|---------|
|-----|----------|--------|-------|----|---------|

| | | | | | |
|----|--|-----|-------|-----------|-----------|
| 1 | Excavación a cielo abierto, por medios manuales de 0 a -2.00 m, en material tipo A, incluye: mano de obra, equipo, afine, nivelación y herramienta. | M3 | 1.00 | \$ 100.17 | \$ 100.17 |
| 2 | Suministro y colocacion de malla geotextil impermeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta | M2 | 1.50 | \$ 33.61 | \$ 50.42 |
| 3 | Suministro y colocacion de neumáticos reciclados R16 según diseño. Incluye: perforaciones y equipo. | PZA | 16.00 | \$ 32.05 | \$ 512.86 |
| 4 | Losa de cimentación cuadrada de 50cm y 6cm de espesor con refuerzo de malla electrosoldada 6-6/10-10 según diseño y concreto f'c=200 kgcm2 hecho en obra. Incluye materiales, mano de obra y herramienta. | PZA | 4.00 | \$ 72.84 | \$ 291.35 |
| 5 | Columnas circular de 2.5 pulg de diámetro y 0.57m de altura reforzadas con malla electrosoldada según diseño, cimbra de PVC y concreto f'c=100 kg/cm2 Incluye: acarreo y flete de equipo, herramienta y material hasta el lugar de su utilización, elaboración de concreto en obra | PZA | 16.00 | \$ 30.10 | \$ 481.67 |
| 6 | Losa cuadrada de concreto de 50cm f'c=200kg/cm2 de 6cm de espesor plana y armada con malla electrosoldada 6-6/10-10. Incluye: acarreo y flete de equipo, herramienta y material hasta el lugar de su utilización, elaboración de concreto en obra | PZA | 4.00 | \$ 72.84 | \$ 291.35 |
| 8 | Suministro y colocacion de malla geotextil anti-raíz y permeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta | M2 | 1.00 | \$ 33.61 | \$ 33.61 |
| 9 | Relleno con material granular de 10 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.10 | \$ 356.78 | \$ 35.68 |
| 10 | Relleno con arena o material fino de 15 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.15 | \$ 356.78 | \$ 53.52 |

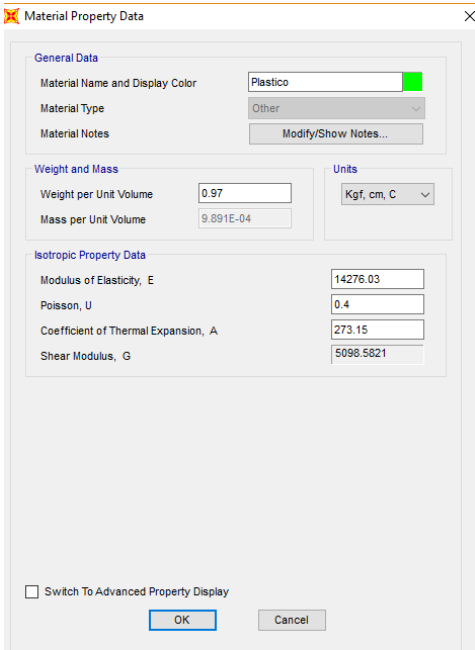
| | | | | | |
|----|--|----|------|----------|---------|
| 11 | Suministro y colocación de césped de 10cm de espesor. Incluye material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.10 | \$ 58.01 | \$ 5.80 |
|----|--|----|------|----------|---------|

PRESUPUESTO FINAL POR M2 DE JARDIN \$ 1,856.43

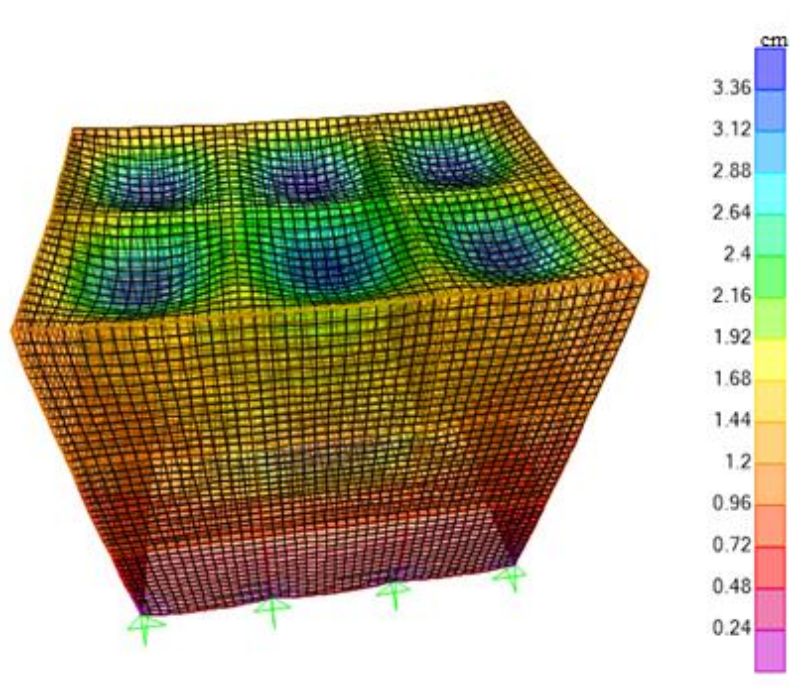
Las matrices de precios donde se desglosó cada concepto, se encuentran en el apartado de ANEXOS.

4.3. Dimensionamiento del sistema con cajas de plástico.

Habiendo detallado las propiedades del plástico en el apartado 3.5, se modeló en el software de análisis.



Llevando a cabo el análisis con la ayuda del software, se obtuvieron los siguientes resultados:



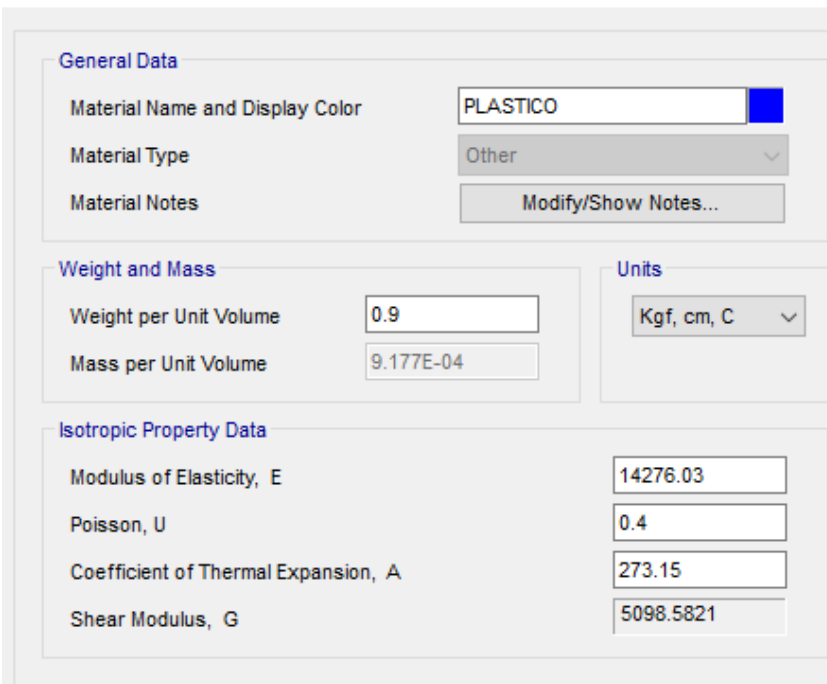
Se pudo observar que las deformaciones oscilan entre los 3.36 cm como máximo, y de acuerdo con el análisis, se identificaron las zonas en donde se tienen estas deformaciones.

Son deformaciones grandes en comparación a la propuesta anterior, por lo que se decidió declararla no viable por lo que se omitió el análisis de costos.

4.4. Dimensionamiento del sistema autoportante

Una vez obtenido el modelo 3D del diseño original, se comenzó a definir los materiales, para poder analizar nuestro sistema.

Material Property Data

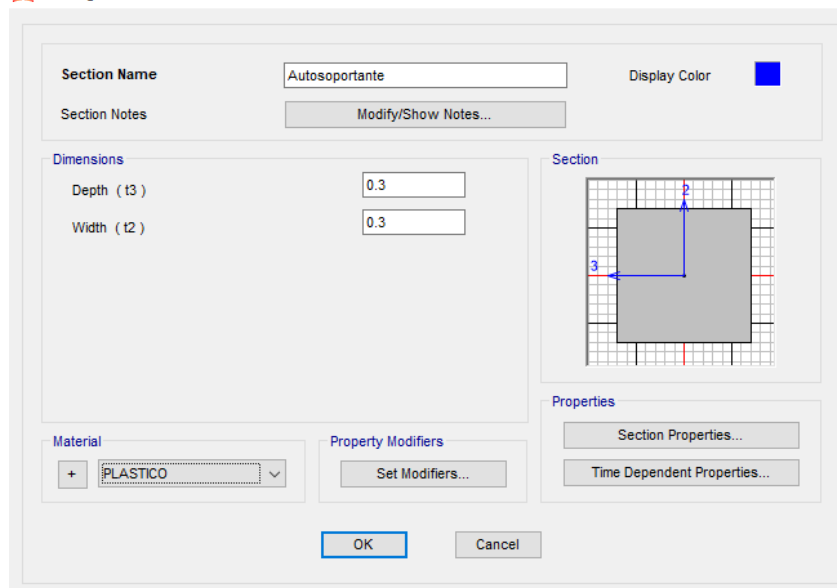


The dialog box is titled "Material Property Data" and is divided into three main sections:

- General Data:** Contains a text field for "Material Name and Display Color" with the value "PLASTICO" and a blue color swatch. Below it is a dropdown menu for "Material Type" set to "Other", and a button for "Material Notes" labeled "Modify/Show Notes...".
- Weight and Mass:** Contains two text fields: "Weight per Unit Volume" with the value "0.9" and "Mass per Unit Volume" with the value "9.177E-04".
- Units:** A dropdown menu set to "Kgf, cm, C".
- Isotropic Property Data:** Contains four text fields: "Modulus of Elasticity, E" (14276.03), "Poisson, U" (0.4), "Coefficient of Thermal Expansion, A" (273.15), and "Shear Modulus, G" (5098.5821).

Definidas las propiedades del material, se propuso las secciones del diseño, siendo secciones rectangulares de 0.3 cm de espesor.

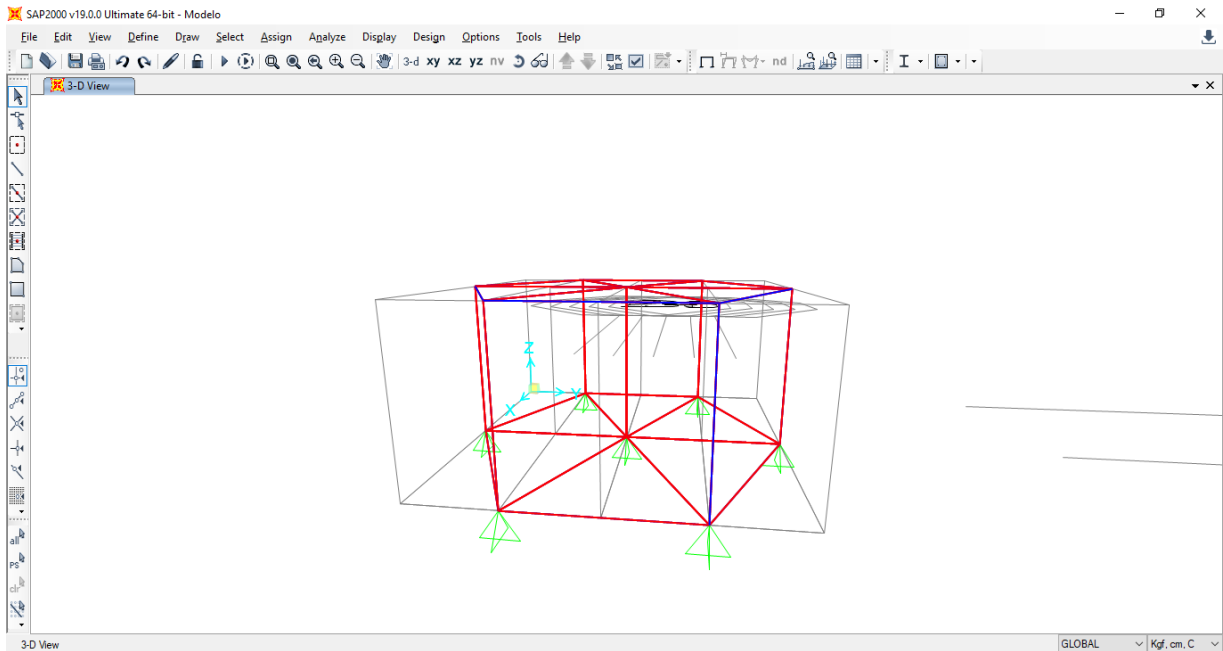
Rectangular Section



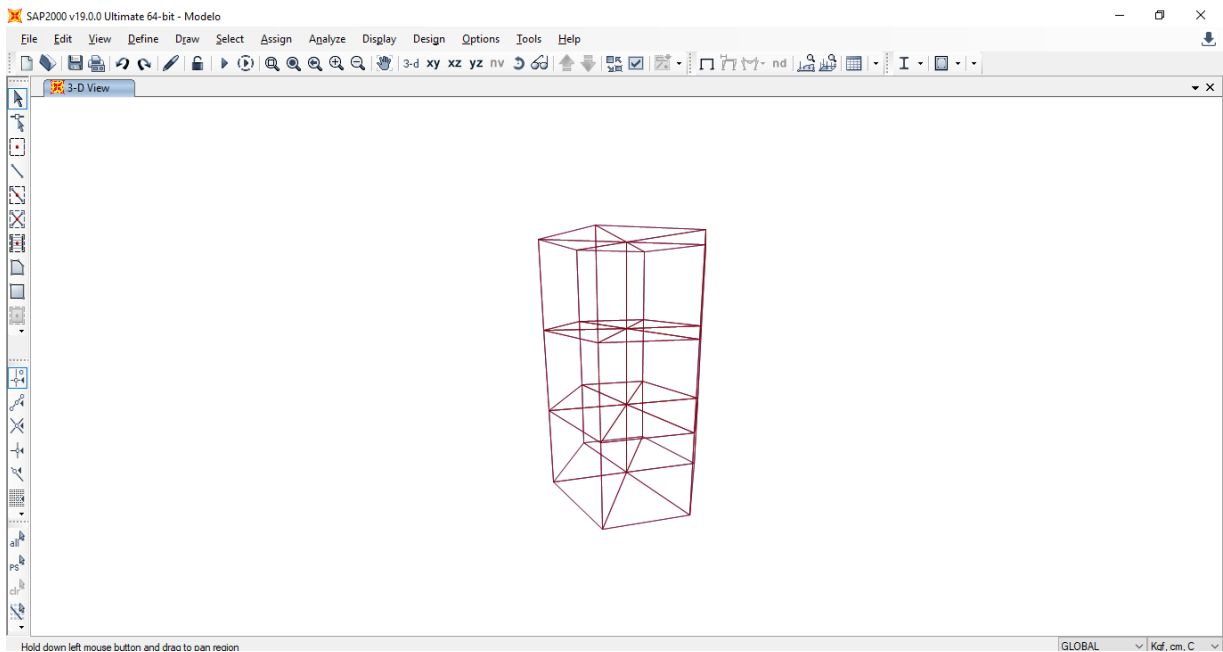
The dialog box is titled "Rectangular Section" and is divided into several sections:

- Section Name:** A text field containing "Autosoportante" and a blue color swatch for "Display Color".
- Section Notes:** A button labeled "Modify/Show Notes...".
- Dimensions:** Two text fields: "Depth (t3)" with the value "0.3" and "Width (t2)" with the value "0.3".
- Section:** A grid-based diagram showing a rectangular section with blue dimension lines and arrows. The vertical dimension is labeled "2" and the horizontal dimension is labeled "3".
- Material:** A dropdown menu set to "PLASTICO" with a plus sign to the left.
- Property Modifiers:** A button labeled "Set Modifiers...".
- Properties:** Two buttons: "Section Properties..." and "Time Dependent Properties...".
- Buttons:** "OK" and "Cancel" buttons at the bottom.

Con esto se obtuvo el modelo final

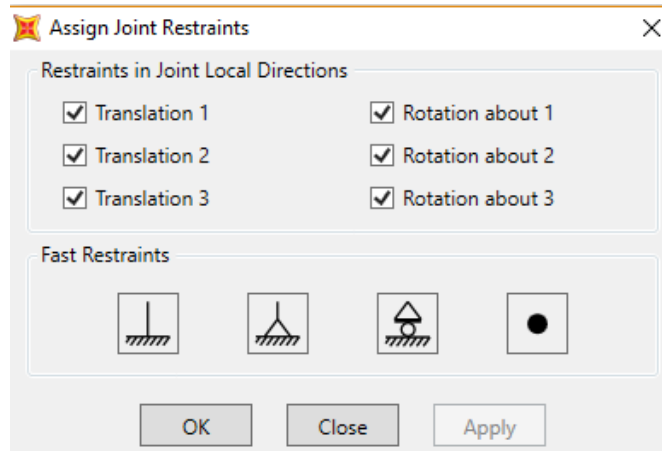


Obtenido el modelo, se realizó una réplica de dicho modelo para simular su acomodo ya en campo, del que se obtuvo lo siguiente:



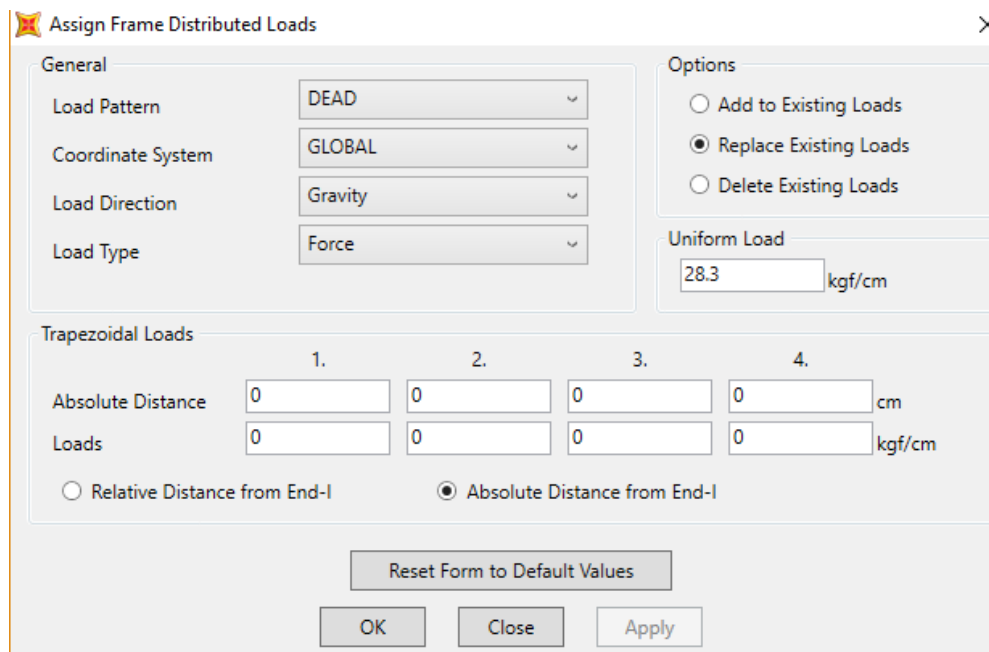
Después, se analizaron las conexiones idóneas que debería tener para lograr un correcto funcionamiento a la hora de aplicar las cargas. Por lo que se propuso, que la primera planta que estará en contacto con el suelo tenga un sistema simplemente apoyado y las dos plantas

superiores tengan un sistema de apoyo fijo para que en conjunto trabajen como una sola estructura.

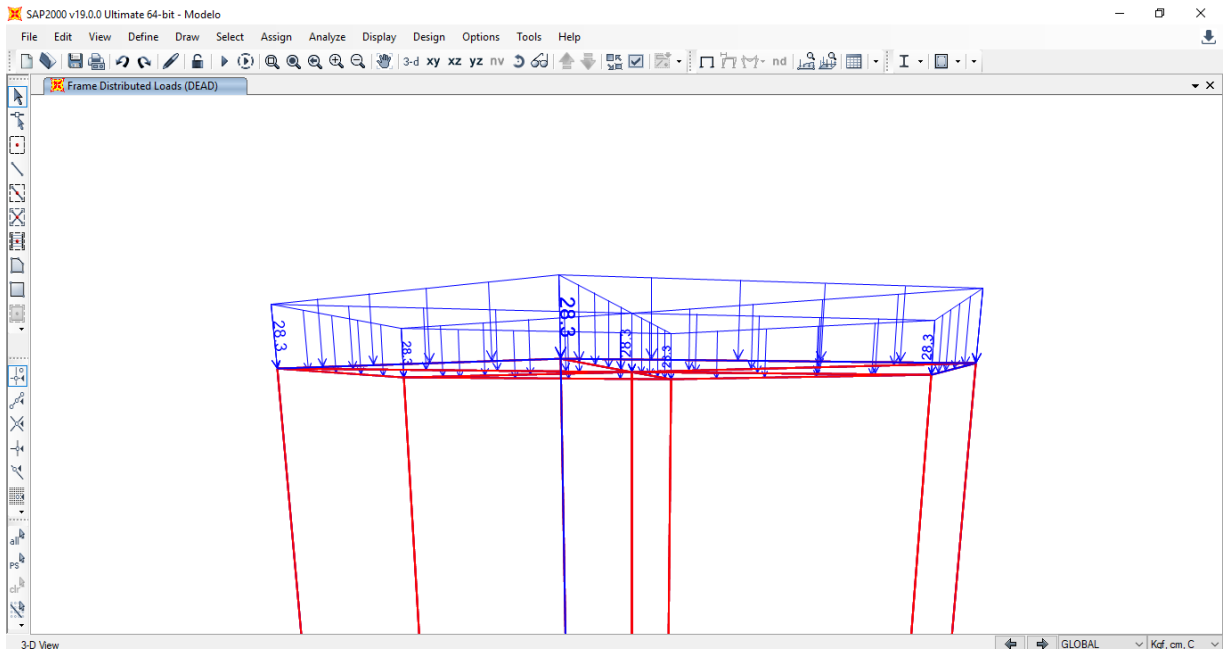


4.4.1. Análisis para el jardín frontal

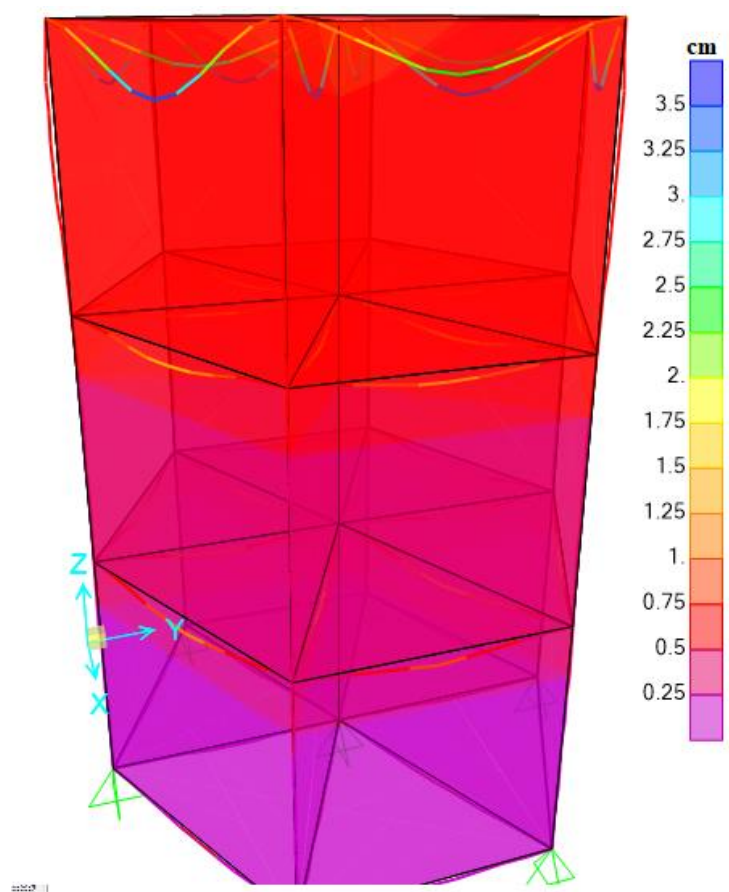
Para comenzar con el análisis, se definieron las cargas; como en los sistemas propuestos anteriores, la carga asignada fue de 28.3 kg/cm^2 , que es la carga de diseño del sistema ECODRAIN.



Visto ya en la estructura, quedo de la siguiente forma:



Después de haber realizado toda la modelación, se realizó el análisis con ayuda del programa con los siguientes resultados:



Con la ayuda del software, se obtuvieron las deformaciones en los puntos críticos con lo que se pudo identificar deformaciones de hasta 3.5 cm, mayores a las que se esperaban, por lo que se plantearon dos opciones, incrementar las secciones de las piezas, encareciendo por lógica la producción o diseñar una pieza de refuerzo con las mismas características que la original. Aceptando esta última como la más factible.

La pieza de refuerzo fue diseñada para que pudiera unirse a la pieza original como se muestra en las siguientes figuras.

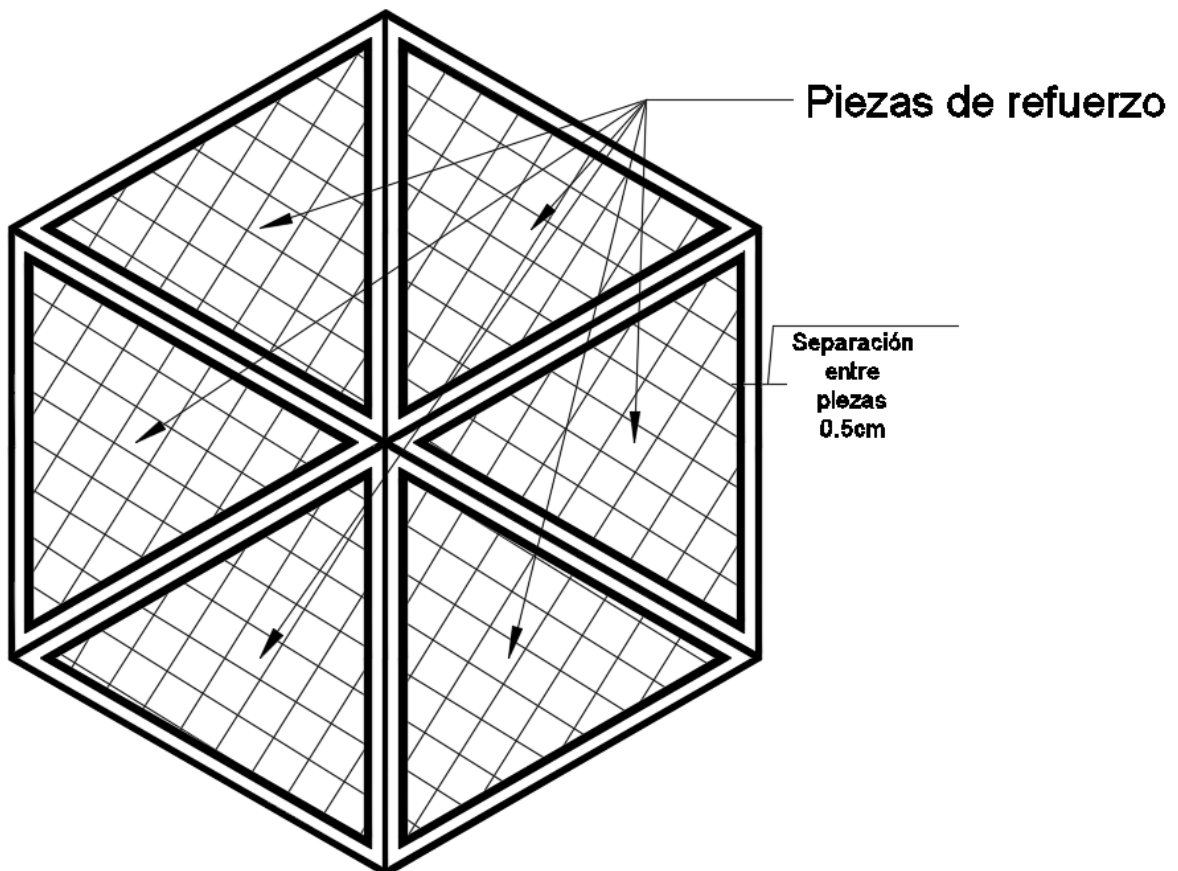


Figura 23. Diseño de las piezas de refuerzo. Vista en planta.

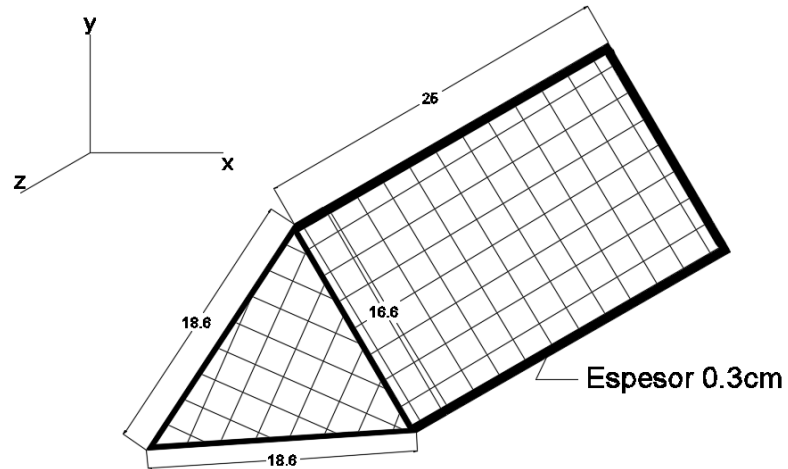
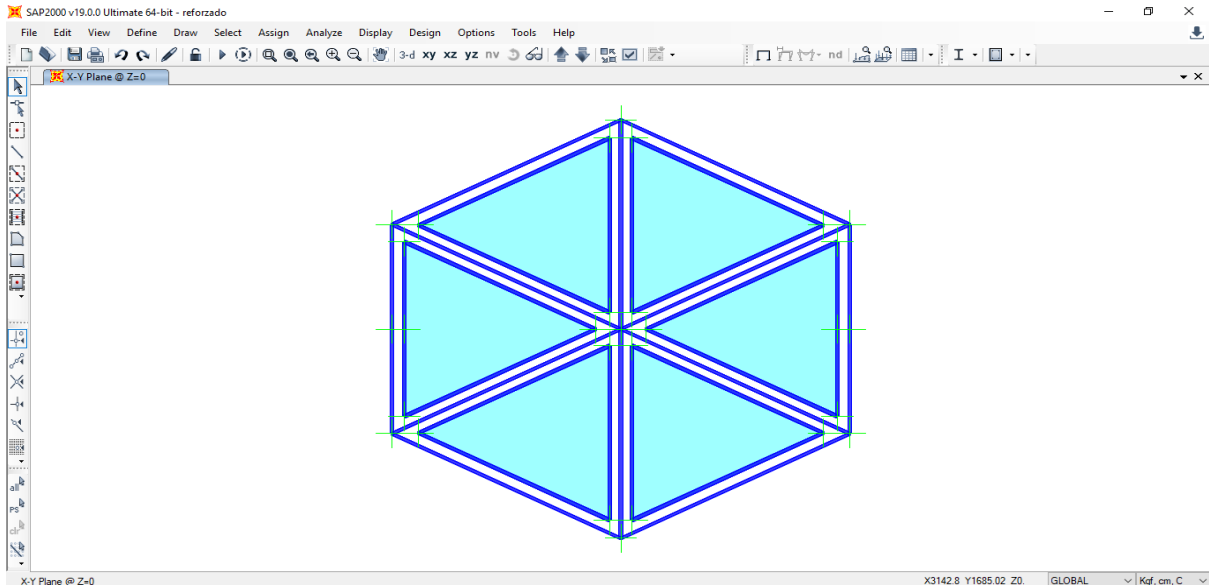
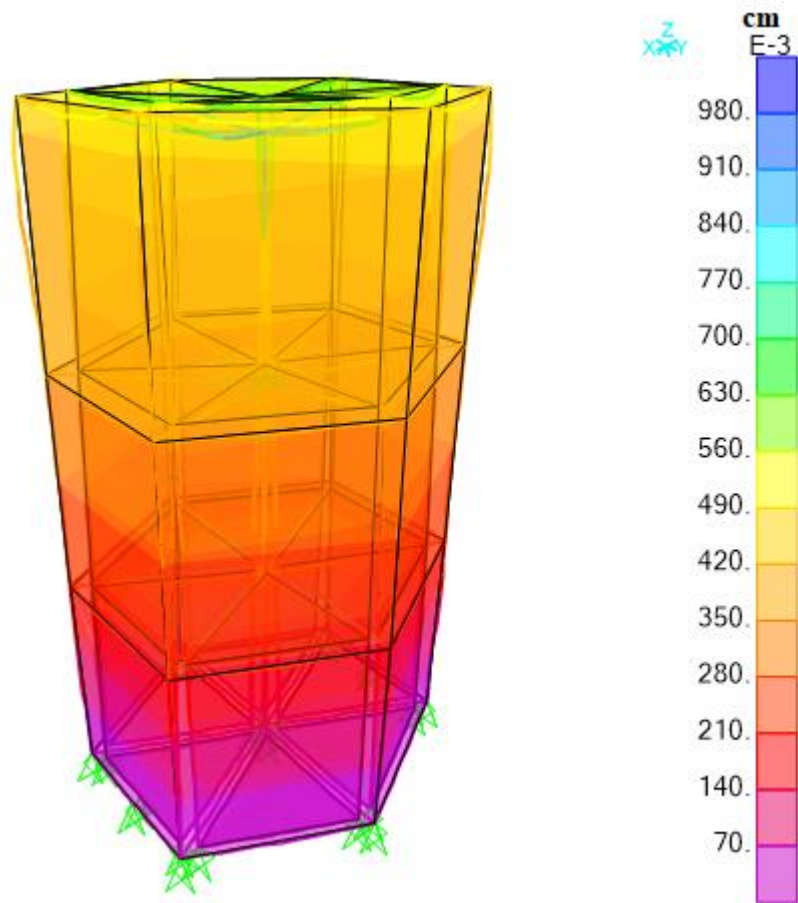


Figura 24. Vista 3D de la pieza de refuerzo. Cotas en cm.

Modelado en el software, quedo de la siguiente forma.



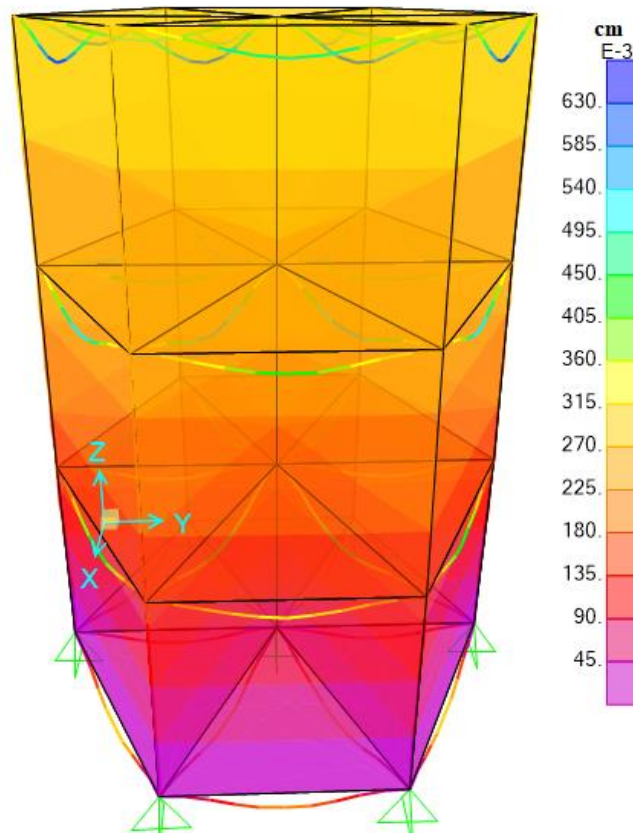
Teniendo el modelo, se volvió a analizar con la carga de diseño, el resultado de este análisis se muestra a continuación.



la propuesta es correcta ya que de acuerdo al SAP2000, el sistema tuvo deformaciones máximas de aproximadamente 0.01 cm, cuyo valor es aceptable estructuralmente. Dando pauta para la realización del análisis de costos.

4.4.2. Análisis para el jardín trasero

Para este caso, sólo se modificó la carga de 28.3 kg/cm² a la de 0.175 kg/cm² en el modelo original, es decir, sin piezas de refuerzo. De éste análisis, se obtuvieron los siguientes resultados.



Las deformaciones máximas para este caso son de aproximadamente 0.0063 cm, cuyo valor es aceptable estructuralmente. Dando pauta para la realización del análisis de costos.

4.4.3. Análisis de costos

En este apartado se desglosa el precio de producción de la pieza atendiendo al procedimiento explicado en el punto 3.6.2.

$$\text{Costo de molde por pieza} = \frac{\$85,000}{100000} = \mathbf{\$0.85 \text{ pesos}}$$

$$\text{Costo por inyeccion por pieza} = 10 + 0.85 = \mathbf{\$10.85 \text{ pesos}}$$

$$\text{Costo total por pieza producida} = \mathbf{\$10.85 \text{ pesos}}$$

Calculado el costo de producción de una pieza, se realizó el análisis de precios unitarios, como se muestra en el siguiente catálogo de conceptos.

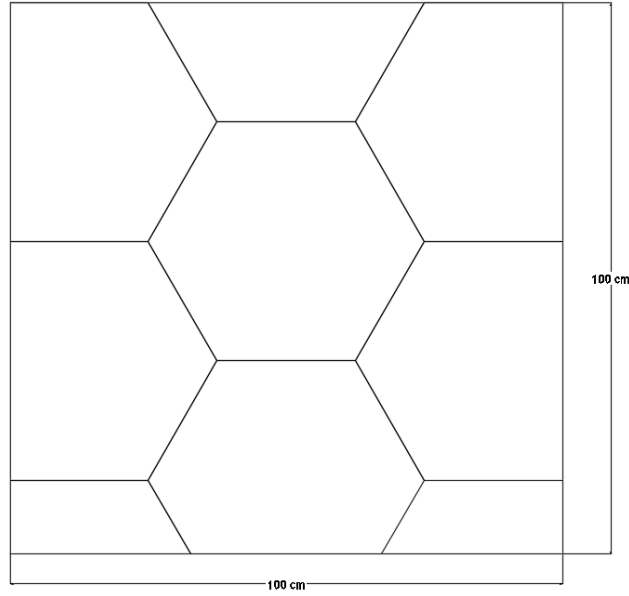


Figura 25. Acomodo propuesto para las piezas autosoportantes.

De acuerdo con la figura anterior, por cada metro cuadrado se requieren de 18 piezas, por lo que esa fue la cantidad del catálogo de conceptos a presupuestar. Cabe destacar que se realizaron modificaciones como la colocación de una capa de arena para soporte de las pieza, así como el cambio de posición de la malla anti-raíz.

| COD | CONCEPTO | UNIDAD | CANT. | PU | IMPORTE |
|------------|---|---------------|--------------|-----------|----------------|
| 1 | Excavación a cielo abierto, por medios manuales de 0 a -2.00 m, en material tipo A, incluye: mano de obra, equipo, afine, nivelación y herramienta. | M3 | 1.00 | \$ 100.17 | \$ 100.17 |
| 2 | Relleno con arena o material fino de 5 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.05 | \$ 390.17 | \$ 19.51 |
| 3 | Suministro y colocacion de malla geotextil impermeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta | M2 | 1.50 | \$ 33.61 | \$ 50.42 |
| 4 | Suministro y colocación de las piezas autosoportantes. | PZA | 18.00 | \$ 12.45 | \$ 224.15 |
| 5 | Relleno con material granular de 10 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.10 | \$ 356.78 | \$ 35.68 |
| 6 | Suministro y colocacion de malla geotextil anti-raíz y permeable marca | M2 | 1.00 | \$ 33.61 | \$ 33.61 |

| | | | | | |
|---|--|----|------|-----------|----------|
| | Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta | | | | |
| 7 | Relleno con arena o material fino de 15 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta | M3 | 0.15 | \$ 390.17 | \$ 58.52 |
| 8 | Suministro y colación de césped y sustrato de 10 cm de espesor. Incluye material, mano de obra y herramienta | M2 | 1.00 | \$ 58.01 | \$ 58.01 |

PRESUPUESTO FINAL POR M2 DE JARDIN

\$ 580.07

Las matrices del catálogo se encuentran en el apartado de anexos.

El costo de una vivienda de 100 m² llega a alcanzar máximo el valor de \$650,000.00, teniendo en cuenta que la normatividad estipula un 20% de área verde por vivienda, el costo de instalar el sistema de recolección para un jardín de 20 m² asciende a \$11,601.40, casi el 2% con respecto al costo total de la vivienda.

Sin embargo, para este trabajo se consideró un jardín de 100 m² de superficie lo que implica una inversión para el sistema de aproximadamente \$58,007.00. Esto significaría un 9% del costo total de la vivienda de 100 m² de construcción.

4.4.4. Capacidad de almacenamiento.

La geometría del modelo se basa en una figura hexagonal, con área de 0.01624 m² multiplicándolo por una altura de 0.25 m resulta un volumen total de 0.0040 m³, sin embargo, el volumen real se obtuvo de restar el espacio que ocupan las secciones del plástico, así se obtuvo un volumen real de almacenamiento de 0.003901 m³, lo que resulta un 96.10% de eficiencia volumétrica del módulo.

4.4.5. Revisiones estructurales complementarias.

Las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas, en el apartado de Tanques, menciona que las principales fuerzas que actúan sobre los tanques para agua enterrados o semienterrados, son: carga muerta, empuje hidrostático, empuje del terreno (empuje lateral), cargas vivas. Por lo que, para el presente trabajo y de

acuerdo con los resultados obtenidos para la solución propuesta del diseño autosoportante, se realizaron las siguientes revisiones estructurales.

- **Revisión por empuje lateral**

La revisión por empuje lateral, se calculó atendiendo el método de la teoría de Coulomb para el empuje activo de tierras (Escuela de Ingeniería en Construcción PUCV, 2016), con la siguiente expresión:

$$Ea = \frac{1}{2} \gamma_d H^2 K_a$$

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen} \phi}{1 + \operatorname{sen} \phi}$$

$$\gamma_d = \frac{\gamma_s}{1 + e}$$

Donde, los valores para la ZMVT de acuerdo con estudios previos en esta zona (GEM, 2012) son:

$$\text{Peso específico del suelo } (\gamma_s) = 2.0 \frac{t}{m^3}$$

$$\text{Ángulo de fricción } (\phi) = 34^\circ$$

$$\text{Índice de vacíos } (e) = 0.40$$

Realizando las operaciones correspondientes.

$$\gamma_d = \frac{2.0}{1 + 0.40} = 1.42 \text{ t/m}$$

$$K_a = \frac{1 - \operatorname{sen} 34^\circ}{1 + \operatorname{sen} 34^\circ} = 0.65$$

Sustituyendo en la ecuación de empuje activo:

$$Ea = \frac{1}{2} 1.42 * 0.49 * 0.65 = 0.22 \text{ t/m} = \mathbf{220 \text{ kg/m}}$$

Con el fin de analizar el empuje admisible para cada pieza, con apoyo del SAP2000, se realizó una iteración de valores para determinar en qué valor el modelo ya no cumple el criterio del empuje lateral, así como la profundidad a la que se alcanzan dichos valores.

Los resultados de esta evaluación se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 6. Deformaciones estimadas por empuje lateral

| Empuje lateral (kg/cm) | Deformación máxima (cm) | Profundidad (cm) |
|------------------------|-------------------------|------------------|
| 2.2 | 0.002 | 69 |
| 5 | 0.003 | 104 |
| 10 | 0.006 | 147 |
| 15 | 0.009 | 180 |
| 16 | 0.010 | 186 |
| 17 | 0.095 | 192 |
| 18 | 1.050 | 197 |
| 19 | 1.120 | 203 |
| 20 | 1.190 | 208 |

Por el reciente uso del material propuesto, aún no existe un estándar de valores admisibles para la deformación del plástico, sin embargo, para este trabajo, se compararon los valores estimados con los valores del concreto, vistos en el apartado 4.2.2. con un valor de 0.7 cm de deformación admisible.

Realizando la comparación, se observó que las secciones de 0.3 cm de espesor del sistema autosoportante cumplen la deformación admisible hasta el valor de 17 kg/cm de empuje lateral en una profundidad de 192 cm para el modelo autosoportante reforzado.

- **Revisiones alternas por empuje lateral**

Con el objetivo de seguir enriqueciendo esta investigación, se determinó realizar más pruebas de empuje lateral aumentando la sección a 0.6 cm y 1.0 cm de espesor y realizar lo mismo que en el punto anterior, análisis de donde se obtuvieron los siguientes resultados:

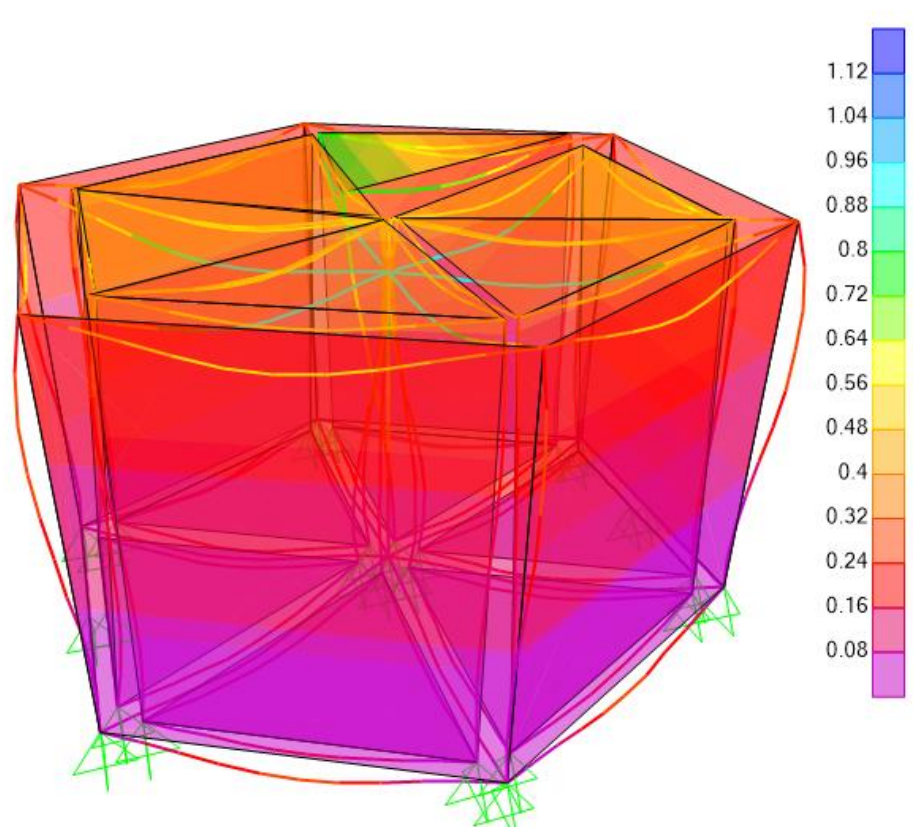
| Carga aplicada (kg/cm ²) | Deformación máxima (cm) | Profundidad (cm) |
|--------------------------------------|-------------------------|------------------|
| 2.2 | 0.00154 | 69 |
| 5 | 0.00224 | 104 |
| 10 | 0.00360 | 147 |
| 15 | 0.00560 | 180 |

| | | |
|----|---------|-----|
| 20 | 0.00700 | 208 |
| 30 | 0.02400 | 255 |
| 35 | 0.08000 | 275 |
| 40 | 0.33000 | 294 |
| 41 | 0.68000 | 298 |
| 42 | 1.12000 | 302 |

Realizando la comparación, se observó que las secciones de 0.6 cm de espesor del sistema autosoportante cumplen la deformación admisible hasta el valor de 41 kg/cm de empuje lateral en una profundidad de 298 cm para el modelo autosoportante reforzado.

Aunque aumenta, considerablemente la profundidad a la que se cumple la deformación máxima, se debe tomar en cuenta que, al aumentar la sección, el volumen real baja a 0.00360 m³, reduciendo la capacidad de almacenamiento efectivo a un 90%.

También, fue necesario realizar un nuevo análisis de carga vertical, donde se obtuvo lo siguiente:



Se identificó que la deformación admisible se alcanza al tener cargas superiores a los 50 kg/cm² para la sección de 0.6 cm de espesor.

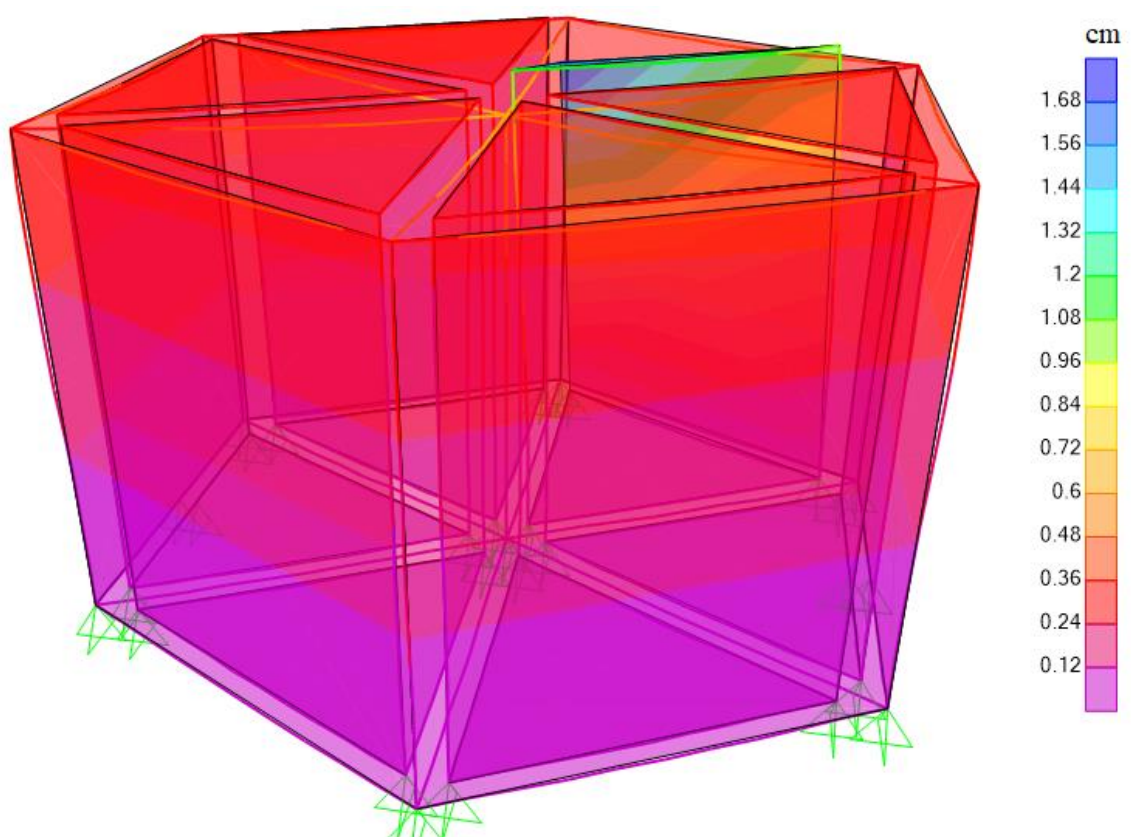
Para el espesor de 1.0 cm, se obtuvieron los siguientes resultados:

| Carga (kg/cm ²) | Profundidad (cm) | Deformación maxima (cm) |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|
| 2.2 | 69 | 0.0019 |
| 5 | 104 | 0.0025 |
| 10 | 147 | 0.0052 |
| 15 | 180 | 0.0069 |
| 20 | 208 | 0.0098 |
| 25 | 233 | 0.0150 |
| 30 | 255 | 0.0220 |
| 50 | 329 | 0.0350 |
| 100 | 465 | 0.1200 |
| 110 | 488 | 0.6500 |
| 150 | 570 | 0.7800 |
| 175 | 616 | 0.9000 |

Realizando la comparación, se observó que las secciones de 1 cm de espesor del sistema autoportante cumplen la deformación admisible hasta el valor de 150 kg/cm de empuje lateral en una profundidad de 570 cm para el modelo autoportante reforzado.

Aunque aumenta, considerablemente la profundidad a la que se cumple la deformación máxima, se debe tomar en cuenta que, al aumentar la sección, el volumen real baja a 0.00320 m³, reduciendo la capacidad de almacenamiento efectivo a un 80%.

En el análisis de carga vertical correspondiente a esta sección, se llegó a lo siguiente:



Las Normas Técnicas Complementarias del RCDF sugieren que, para cualquier estructura, la carga máxima se multiplicará por el factor de carga 0.75, el resultado será la carga admisible, teniendo así una seguridad estructural confiable.

En el apartado Anexos V, se muestran gráficamente los resultados de analizar la pieza con distinto espesor de sección y con diferentes cargas hasta llevarla a la falla. Así mismo, se muestra la carga admisible y su deformación de acuerdo con el análisis del software SAP2000.

- **Revisión por empuje hidrostático**

La fuerza hidrostática o empuje hidrostático se basa en el Principio de Arquímedes. Este principio dice que: "Todo cuerpo sumergido de manera total o parcial en un fluido experimenta un empuje vertical hacia arriba igual al peso del fluido desalojado". El Principio de Arquímedes es importante en aplicaciones de hidroingeniería, como la construcción de barcos (Geniolandia, 2018).

La fórmula para calcular este empuje es:

$$FB = V * v * \gamma$$

Donde

$$V = \text{volumen real} = 0.004505 \text{ m}^3$$

$$v = \text{porcentaje sumergido} = 100\%$$

$$\gamma = \text{densidad del agua} = 1000 \text{ kg/m}^3$$

Sustituyendo en la fórmula:

$$FB = (0.004505) (1.0) (1000) = \mathbf{4.505 \text{ kg}}$$

- **Revisión por subpresión**

Otra revisión que la normatividad marca, es la subpresión, presión actuante en las cimentaciones debida a la altura del embalse. La revisión que se realizó se basa en la siguiente expresión de las NTC para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas (GDF, 2004).

$$Q = \frac{Cu * Nc * Fr + Pv}{F_c} * A$$

Donde Cu= cohesión del suelo = 1.0 t/m²

Nc= coef. de capacidad de carga = 9.0 para la ZMVT (GDF, 2004)

Fr= factor de resistencia = 0.35

Fc= factor de carga = 1.0 (subpresión)

Pv = presión vertical total a la profundidad de desplante (283 kg/m²)

A=área de la cimentación (1 m²)

Sustituyendo en la ecuación:

$$Q = \frac{1.0 * 9.0 * 0.3 + 283}{1.0} * 1 = \mathbf{285 \text{ t/m}^2}$$

5. CONCLUSIONES

Con base en la modelación estructural en el software SAP2000, el sistema de neumáticos tuvo deformaciones de 0.0056 cm para la carga más crítica en el jardín frontal, mientras que para el sistema de las piezas autoportantes se obtuvieron deformaciones de 0.01 cm para las cargas del jardín frontal y de 0.0063 cm para las cargas del jardín trasero, con lo que se puede concluir que son estructuralmente confiables ya que cumplen con los criterios de seguridad estructural que marca la normatividad de 0.7cm de deformación admisible.

Debido a que el sistema de las cajas de plástico tiene deformaciones mayores a 3 cm se concluyó que no ofrece una correcta confiabilidad estructural en comparación a las otras dos soluciones planteadas en este trabajo, por lo que también se omitió realizar el análisis de costos de este sistema, ya que, sin una estructura eficiente, resulta inviable su construcción.

En cuanto a los análisis de costos referenciados de cada sistema resultaron ser de \$1,856.43 /m² para el caso del sistema con neumáticos alcanzando casi el 30% del costo por metro cuadrado de construcción y de \$580.07 /m² para el diseño autoportante, 9% del costo por metro cuadrado de construcción, cumpliendo con la hipótesis de tener un sistema que representara un porcentaje inferior al 10% del costo por vivienda construida.

Además, estos precios fueron contrastados con los costos del sistema ECODRAIN de \$3,019.62, concluyendo que el sistema de neumáticos es más barato que el sistema comercial. Sin embargo, se identificó que en este sistema es necesario considerar que cada neumático ocupa mayor volumen reduciendo la capacidad de almacenamiento efectivo.

En cuanto al diseño autoportante aquí propuesto, ofrece un ahorro aproximado del 77% por metro cuadrado de jardín respecto al costo del sistema comercial, además de garantizar una capacidad volumétrica efectiva del 96% por cada módulo, similar al que ofrece el sistema ECODRAIN. Sin duda esta solución constituye un aporte tecnológico innovador en cuanto a los métodos de captación de agua de lluvia.

También, para el sistema de módulos, se consideraron otras sollicitaciones como el empuje hidrostático y lateral identificando que para el primero no representa problema alguno en cuanto a la seguridad estructural, mientras que para el empuje lateral es recomendable que, para

garantizar la confiabilidad de los módulos, se tenga siempre mínimo el 2% del volumen de almacenamiento.

Considerando las condiciones socioeconómicas de la zona de estudio, con una población de clase media en las zonas urbanas, se concluyó que es factible la construcción de sistemas de captación de agua de lluvias con usos que no requieren una calidad potable, cuyo líquido recolectado pueda sustituir algunos usos como el sanitario y riego de áreas verdes.

Cabe resaltar el apoyo de los softwares de análisis estructural, como el empleado en este trabajo, resultan de mucha ayuda para la simulación de estructuras. Sin embargo, se debe tener en cuenta que el ingeniero es quien debe saber interpretar los resultados.

En este trabajo se logró probar la hipótesis, llegando a un diseño de tanque de almacenamiento de agua de lluvia estructuralmente confiable y económicamente viable, altamente competitivo con los sistemas comerciales en el mercado. Los resultados del presente trabajo, servirán como datos para un análisis integral, que incluye la viabilidad y factibilidad ambiental, inversión, etc.; parte del mega proyecto integral en el que se inserta la presente investigación que dará pauta a un estudio más profundo de todo lo que engloba la gestión integrada del agua en una vivienda unifamiliar.

6. ANEXOS

ANEXO I. Matrices de precios unitarios del sistema ECODRAIN ER-501

CLAVE 1

UNIDAD M3

Excavación a cielo abierto, por medios manuales de 0 a -2.00 m, en material tipo I-A, incluye: mano de obra, equipo y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.25 | \$ 97.25 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 97.25 | 0.03 | \$ 2.92 |
| Total= | | | | | \$ 100.17 |

CLAVE 2

UNIDAD M2

Suministro y colocacion de malla geotextil impermeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| MGE | MALLA GEOTEXTIL IMPERMEABLE | M2 | \$ 25.60 | 1.00 | \$ 25.60 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.01 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 33.61 |

CLAVE 3

UNIDAD PZA

Suministro y colocación de módulos ECODRAIN ER-501

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| PA | MODULO ECODRAIN | PZA | \$ 320.00 | 1.00 | \$ 320.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.04 | \$ 15.56 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 15.56 | 0.03 | \$ 0.47 |
| Total= | | | | | \$ 336.03 |

CLAVE 4

UNIDAD M2

Suministro y colocacion de malla geotextil anti-raíz y permeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| MFIB | MALLA GEOTEXTIL FIBERTEX TIPO F22 | M2 | \$ 25.60 | 1.00 | \$ 25.60 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.01 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 33.61 |

CLAVE 5 UNIDAD M3

Relleno con material granular de 10 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| MGR | GRAVA DE MINA T.M.A. 25MM | M3 | \$ 290.00 | 1 | \$ 290.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.1667 | \$ 64.83 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 64.83 | 0.03 | \$ 1.94 |
| Total= | | | | | \$ 356.78 |

CLAVE 6 UNIDAD M3

Relleno con arena o material fino de 15 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| ARE | ARENA DE MINA | M3 | \$ 290.00 | 1 | \$ 290.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.167 | \$ 64.83 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 64.83 | 0.03 | \$ 1.94 |
| Total= | | | | | \$ 356.78 |

CLAVE 7 UNIDAD M3

Suministro y colocación de césped de 10cm de espesor. Incluye material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| CES | SUSTRATO DE CESPED | M2 | \$ 50.00 | 1.00 | \$ 50.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.020 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 58.01 |

ANEXO II. Matrices de precios unitarios del sistema de neumáticos.

CLAVE

1

UNIDAD M3

Excavación a cielo abierto, por medios manuales de 0 a -2.00 m, en material tipo I-A, incluye: mano de obra, equipo y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|----------------------|--------|-----------|----------|------------------|
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.25 | \$ 97.25 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 97.25 | 0.03 | \$ 2.92 |
| Total= | | | | | \$ 100.17 |

CLAVE 2

UNIDAD M2

Suministro y colocacion de malla geotextil impermeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|--------|-----------|----------|-----------------|
| MGE | MALLA GEOTEXTIL IMPERMEABLE | M2 | \$ 25.60 | 1.00 | \$ 25.60 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.01 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 33.61 |

CLAVE 3

UNIDAD PZA

Suministro y colocacion de neumáticos reciclados R16 según diseño. Incluye: perforaciones y equipo.

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|---------------------------|--------|-----------|----------|-----------------|
| NEU | NEUMATICOS RECICLADOS R16 | PZA | \$ - | 1.00 | \$ - |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.04 | \$ 31.12 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 31.12 | 0.03 | \$ 0.93 |
| Total= | | | | | \$ 32.05 |

CLAVE 4

UNIDAD PZA

Losa de cimentación cuadrada de 50cm y 6cm de espesor con refuerzo de malla electrosoldada 6-6/10-10 según diseño y concreto f'c=200 kgcm2 hecho en obra. Incluye materiales, mano de obra y herramienta.

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|--------|----------------------|--------|-------|----------|---------|
|--------|----------------------|--------|-------|----------|---------|

| | | | | | |
|---------------|--|-----|-------------|------|-----------------|
| ME61 | MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/10-10, (2.50X40 M) | M2 | \$ 15.58 | 0.25 | \$ 3.90 |
| C100 | CONCRETO DE F'c=100 KG/CM2. HECHO EN OBRA, T.M.A=19 MM, RESISTENCIA NORMAL | M3 | \$ 1,443.83 | 0.02 | \$ 28.88 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.05 | \$ 38.90 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 38.90 | 0.03 | \$ 1.17 |
| Total= | | | | | \$ 72.84 |

CLAVE 5

UNIDAD PZA

Columnas circular de 2.5 pulg de diámetro y 0.57m de altura reforzadas con malla electrosoldada según diseño, cimbra de PVC y concreto f'c=100 kg/cm2 Incluye: acarreo y flete de equipo, herramienta y material hasta el lugar de su utilización, elaboración de concreto en obra

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|--|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| PVC | CIMBRA DE TUBO PVC SANITARIO 2.5" | ML | \$ 2.48 | 0.70 | \$ 1.73 |
| C100 | CONCRETO DE F'c=100 KG/CM2. HECHO EN OBRA, T.M.A=19 MM, RESISTENCIA NORMAL | M3 | \$ 1,443.83 | 0.003 | \$ 4.33 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.03 | \$ 23.34 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 23.34 | 0.03 | \$ 0.70 |
| Total= | | | | | \$ 30.10 |

CLAVE 6

UNIDAD PZA

Losa cuadrada de concreto de 50cm f'c= 200kg/cm2 de 6cm de espesor plana y armada con malla electrosoldada 6-6/10-10. Incluye: acarreo y flete de equipo, herramienta y material hasta el lugar de su utilización, elaboración de concreto en obra

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|--|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| ME61 | MALLA ELECTROSOLDADA 6x6/10-10, (2.50X40 M) | M2 | \$ 15.58 | 0.25 | \$ 3.90 |
| C100 | CONCRETO DE F'c=100 KG/CM2. HECHO EN OBRA, T.M.A=19 MM, RESISTENCIA NORMAL | M3 | \$ 1,443.83 | 0.02 | \$ 28.88 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.05 | \$ 38.90 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 38.90 | 0.03 | \$ 1.17 |

Total= \$ 72.84

CLAVE 8

UNIDAD M2

Suministro y colocacion de malla geotextil anti-raíz y permeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------------|
| MFIB | MALLA GEOTEXTIL FIBERTEX TIPO F22 | M2 | \$ 25.60 | 1.00 | \$ 25.60 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.01 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| | | | | | Total= \$ 33.61 |

CLAVE 9

UNIDAD M3

Relleno con material granular de 10 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------------------|
| MGR | GRAVA DE MINA T.M.A. 25MM | M3 | \$ 290.00 | 1 | \$ 290.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.1667 | \$ 64.83 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 64.83 | 0.03 | \$ 1.94 |
| | | | | | Total= \$ 356.78 |

CLAVE 10

UNIDAD M3

Relleno con arena o material fino de 15 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|-------------------------|
| ARE | ARENA DE MINA | M3 | \$ 290.00 | 1 | \$ 290.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.167 | \$ 64.83 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 64.83 | 0.03 | \$ 1.94 |
| | | | | | Total= \$ 356.78 |

CLAVE 11

UNIDAD M2

Suministro y colocación de césped de 10cm de espesor. Incluye material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| CES | SUSTRATO DE CESPED | M2 | \$ 50.00 | 1 | \$ 50.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.020 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 58.01 |

ANEXO III. Matrices de precios unitarios del sistema de piezas autosoportantes.

CLAVE 1

UNIDAD M3

Excavación a cielo abierto, por medios manuales de 0 a -2.00 m, en material tipo I-A, incluye: mano de obra, equipo y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.25 | \$ 97.25 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 97.25 | 0.03 | \$ 2.92 |
| Total= | | | | | \$ 100.17 |

CLAVE 2

UNIDAD M3

Relleno con arena o material fino de 5 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| ARE | ARENA DE MINA | M3 | \$ 290.00 | 1 | \$ 290.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.250 | \$ 97.25 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 97.25 | 0.03 | \$ 2.92 |
| Total= | | | | | \$ 390.17 |

CLAVE 3

UNIDAD M2

Suministro y colocacion de malla geotextil impermeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| MFIB | MALLA GEOTEXTIL IMPERMEABLE | M2 | \$ 25.60 | 1.00 | \$ 25.60 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.01 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 33.61 |

CLAVE 4

UNIDAD PZA

Suministro y colocación de las piezas autosoportantes.

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|----------------|
| PA | PIEZA AUTOSOPORTANTE | PZA | \$ 10.85 | 1.00 | \$ 10.85 |

| | | | | | |
|---------------|-------------------|-----|-----------|-------|-----------------|
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.004 | \$ 1.56 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 1.56 | 0.03 | \$ 0.05 |
| Total= | | | | | \$ 12.45 |

CLAVE 5 UNIDAD M3

Relleno con material granular de 10 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|------------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| MGR | GRAVA DE MINA T.M.A. 25MM | M3 | \$ 290.00 | 1 | \$ 290.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.1667 | \$ 64.83 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 64.83 | 0.03 | \$ 1.94 |
| Total= | | | | | \$ 356.78 |

CLAVE 6 UNIDAD M2

Suministro y colocacion de malla geotextil anti-raíz y permeable marca Fibertex, Incluye: Mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|--------------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| MFIB | MALLA GEOTEXTIL IMPERMEABLE | M2 | \$ 25.60 | 1.00 | \$ 25.60 |
| 1A1P | CUADRILLA 1P1A | JOR | \$ 778.00 | 0.01 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 33.61 |

CLAVE 7 UNIDAD M3

Relleno con arena o material fino de 15 cm de espesor. Incluye: material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|------------------|
| ARE | ARENA DE MINA | M3 | \$ 290.00 | 1 | \$ 290.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.250 | \$ 97.25 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 97.25 | 0.03 | \$ 2.92 |
| Total= | | | | | \$ 390.17 |

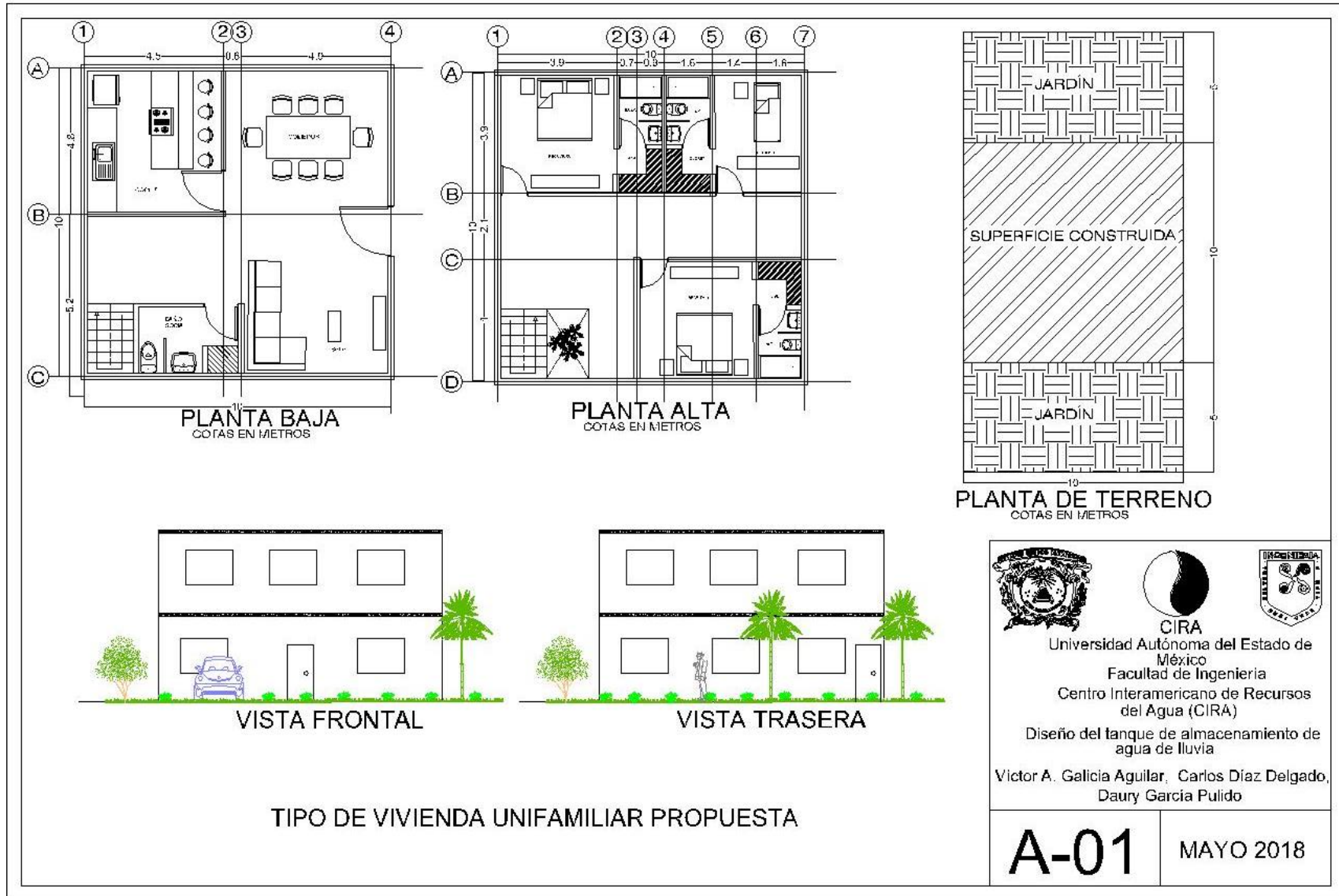
CLAVE 8

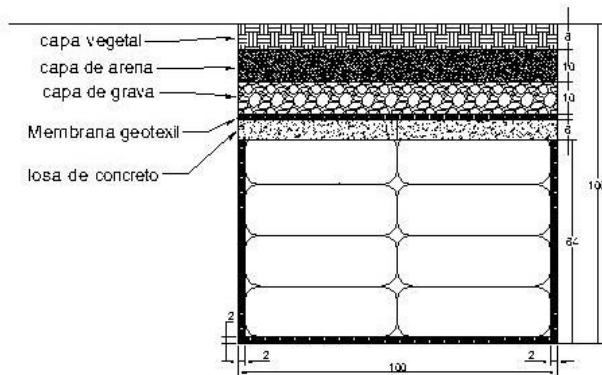
UNIDAD M2

Suministro y colocación de césped y sustrato de 10 cm de espesor. Incluye material, mano de obra y herramienta

| Código | Descripción completa | Unidad | Costo | Cantidad | Importe |
|---------------|-----------------------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------|
| CES | SUSTRATO DE CESPED | M2 | \$ 50.00 | 1 | \$ 50.00 |
| 1P | CUADRILLA 1P | JOR | \$ 389.00 | 0.020 | \$ 7.78 |
| %MO | HERRAMIENTA MENOR | % | \$ 7.78 | 0.03 | \$ 0.23 |
| Total= | | | | | \$ 58.01 |

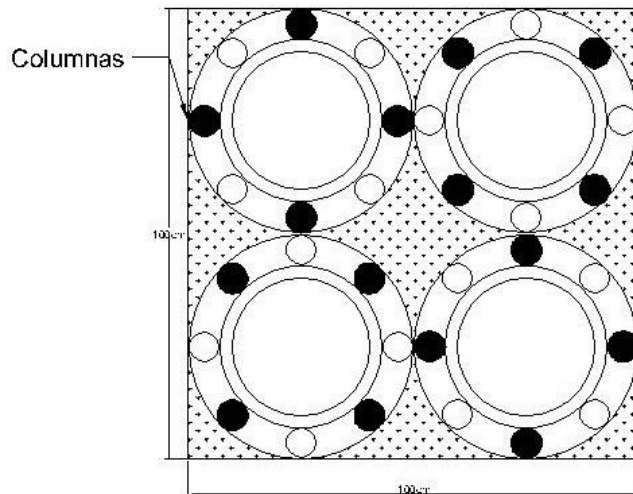
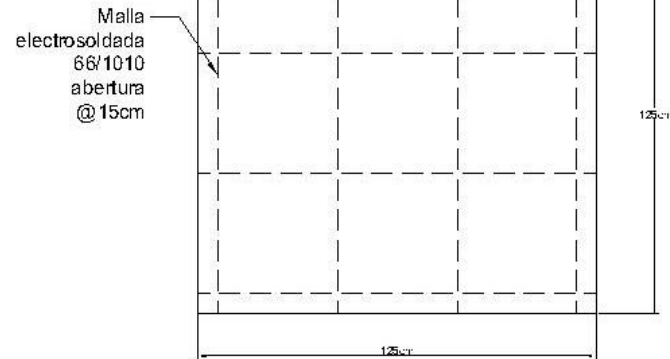
ANEXO IV. Planos





Corte transversal

Armado de losas



Vista planta

Sistema de almacenamiento con neumáticos



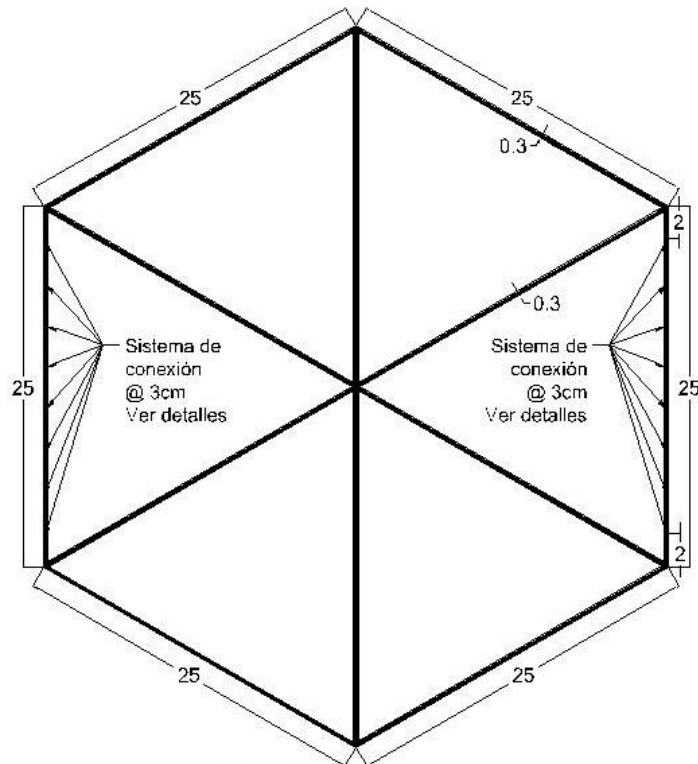
CIRA
 Universidad Autónoma del Estado de México
 Facultad de Ingeniería
 Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA)

Diseño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia

Victor A. Galicia Aguilar, Carlos Díaz Delgado,
 Daury García Pulido

P-01

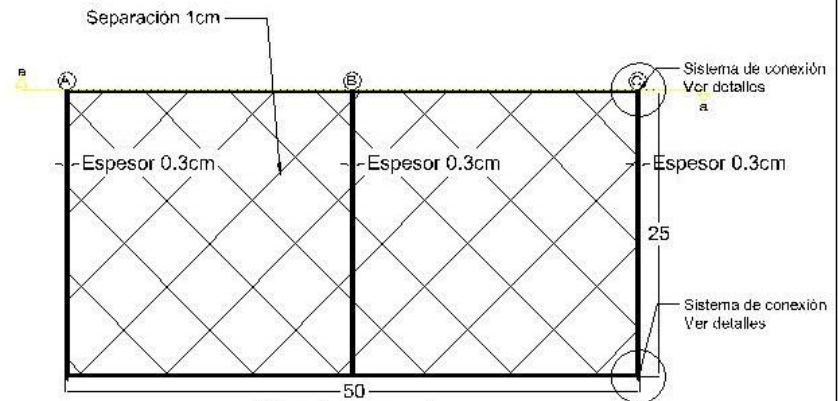
MAYO 2018



Vista planta
cotas en cm

Pieza autosoportante

cotas en cm

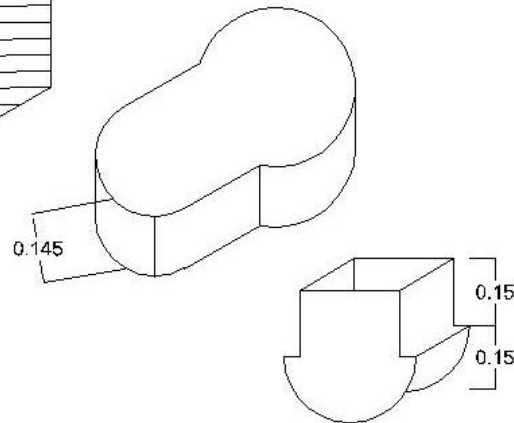
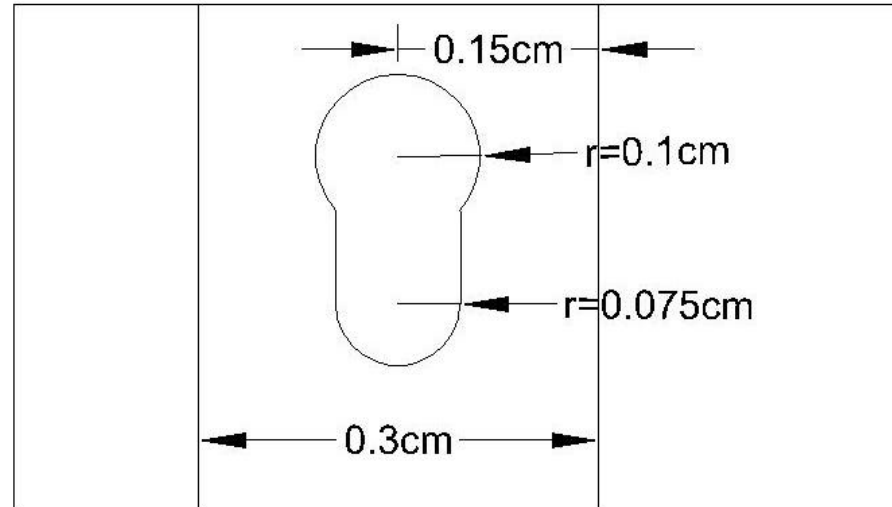
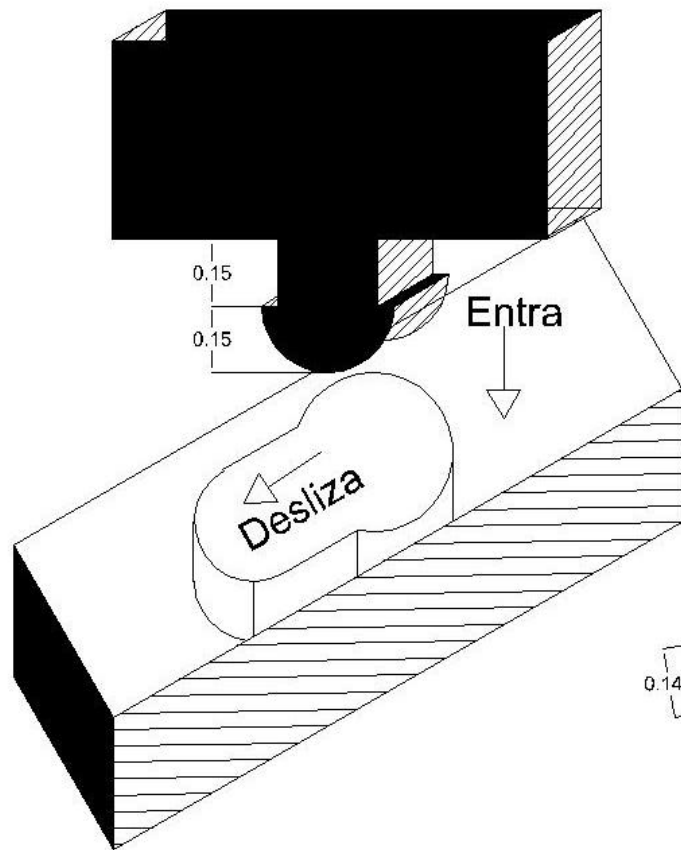


Corte a-a'
cotas en cm

| | | |
|---|--|--|
|  |  |  |
| <p>CIRA Universidad Autónoma del Estado de México Facultad de Ingeniería Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA)</p> | | |
| <p>Diseño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia</p> | | |
| <p>Victor A. Galicia Aguilar, Carlos Díaz Delgado, Daury Garcia Pulido</p> | | |

P-02

MAYO 2018



Detalles de conexión

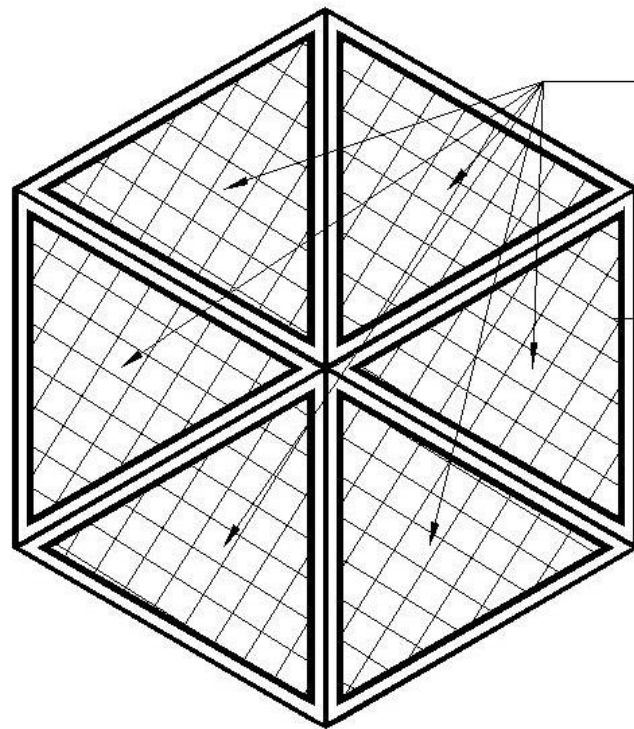


CIRA
 Universidad Autónoma del Estado de México
 Facultad de Ingeniería
 Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA)

Diseño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia
 Víctor A. Galicia Aguilar, Carlos Díaz Delgado,
 Daury García Pulido

P-03

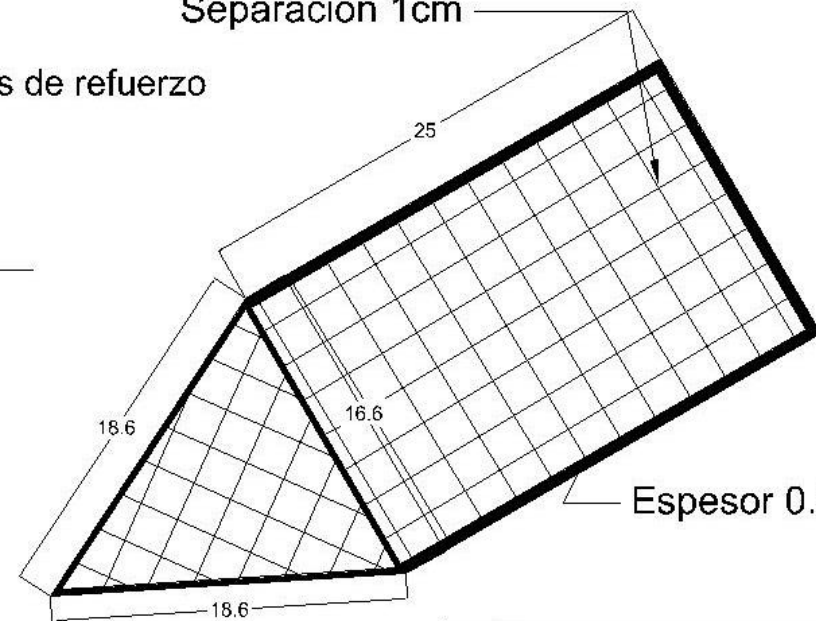
MAYO 2018



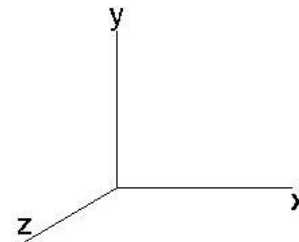
Piezas de refuerzo

Separación
entre
piezas
0.5cm

Separación 1cm



Espesor 0.3cm



Pieza de refuerzo
cotas en cm



CIRA
Universidad Autónoma del Estado de México
Facultad de Ingeniería
Centro Interamericano de Recursos del Agua (CIRA)

Diseño del tanque de almacenamiento de agua de lluvia

Victor A. Galicia Aguilar, Carlos Díaz Delgado,
Daury García Pulido

P-04

MAYO 2018

ANEXO V. Gráficas.

Figura 26. Deformaciones para la pieza autosportante con sección de 0.3 mm.

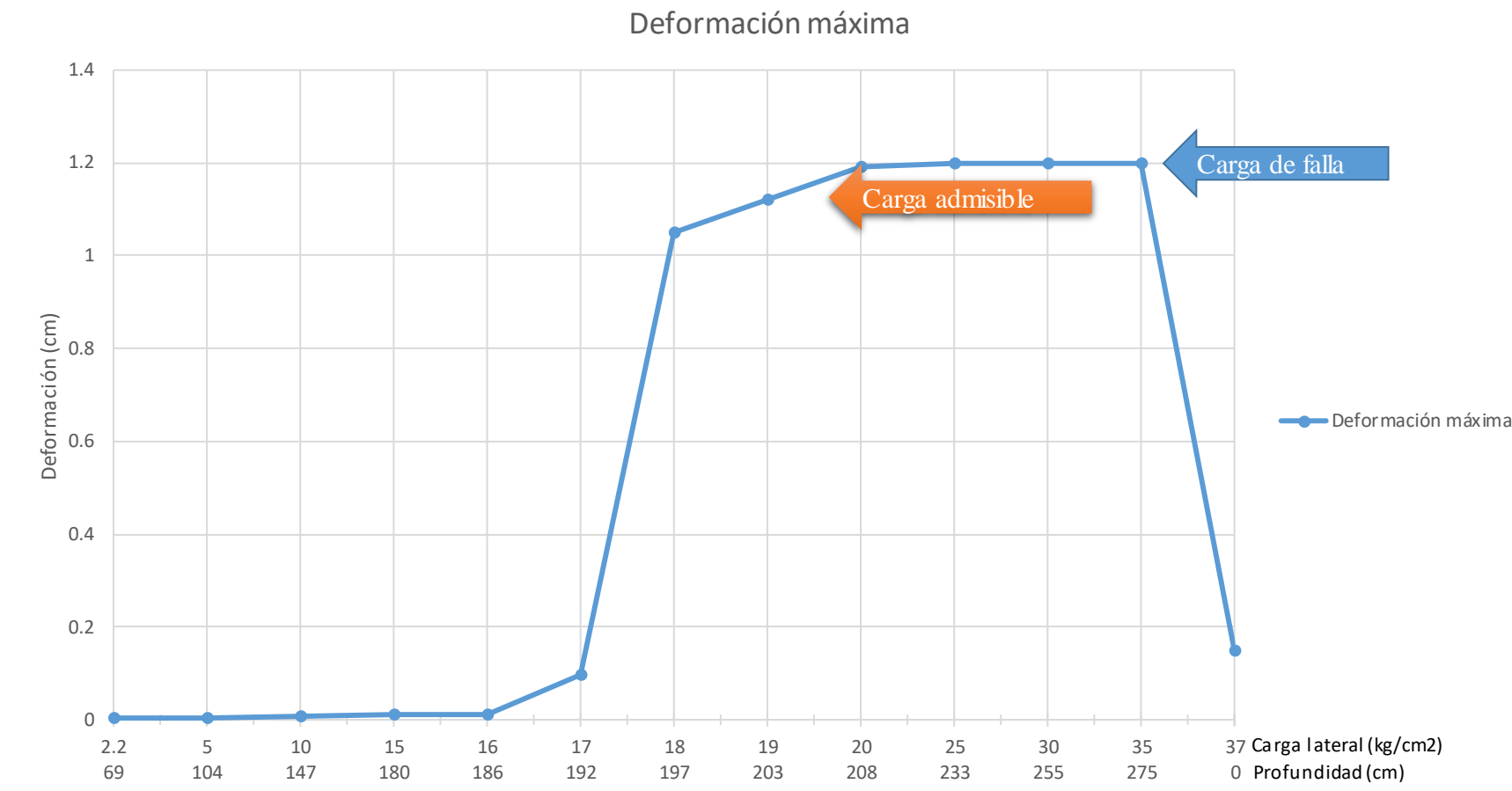
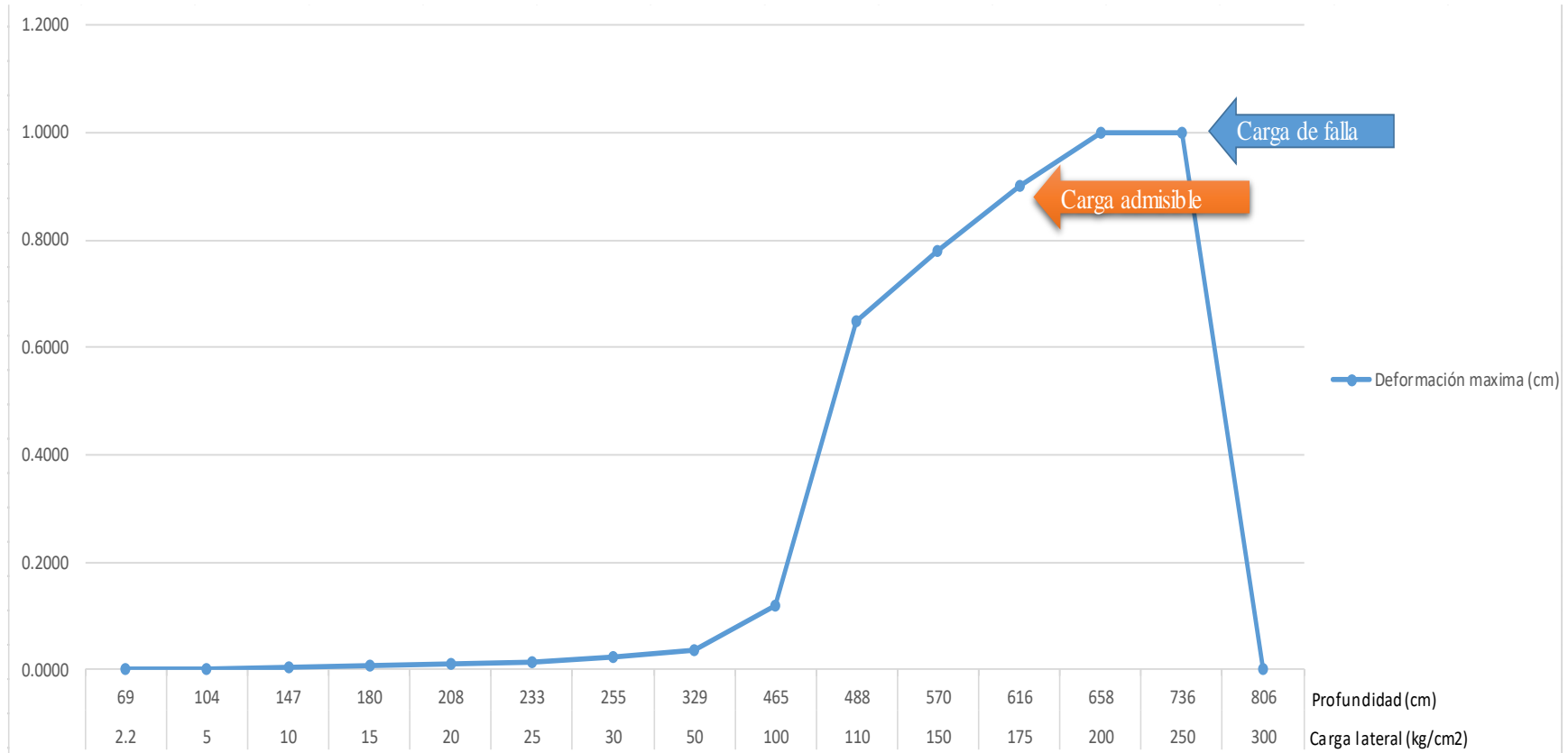


Figura 27. Deformaciones para la pieza autoportante con sección de 0.6 mm.



Figura 28. Deformaciones para la pieza autoportante con sección de 10 mm.



ANEXO VI. Cotización de la pieza autosoportante.

Montoya Ramírez Víctor

R.F.C. MORV691222PVA

Domicilio Fiscal: Valladolid 2100 casa 2 4 lb 6

Villas Fontana,

C.P. 50070 Toluca, Estado de México,

(722) 322-45-01

E-mail: victor-montoya@live.com.mx



*Comercialización de plásticos de Ingeniería ,colores
y compuestos,maquila de inyección .*

Toluca, México. febrero 15 del 2018

ATENCION:

Dr. DAURY GARCIA

Dr. García, por este conducto le envié un cordial saludo, al tiempo que le anexo la cotización para la fabricación del molde que nos solicitó la semana pasada

Fabricación de Molde TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA, de acuerdo a plano proporcionado:

- 1) MOLDE FABRICADO EN ACERO TRATADO H13 EN UNA CAVIDAD: \$ 85,000.00 PESOS MAS IVA

- 2) COSTO PIEZA FABRICADA EN MATERIAL COPOLIMERO POLIPROPILENO GRADO INYECCION EN BASE A LOS PLANOS DE DISEÑO DEL TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA DE LLUVIA. \$ 10.00 \$/PIEZA MAS IVA

TERMINOS Y CONDICIONES:

- A) TIEMPO DE FABRICACION DEL MOLDE 60 DIAS HABLES A PARTIR DE LA ORDEN DE COMPRA
- B) SE REQUIERE EL 40% DE ANTICIPO, 30% CONTRA ENTREGA DE PRIMERA MUESTRA Y 30% CONTRA LIBERACION
- C) PARA LA FABRICACION DE LA PIEZA CORRESPONDIENTE, EL TIEMPO DE ENTREGA ES DE 15 DIAS HABLES, PREVIA LIBERACIÓN DE LA MISMA, CON 50% DE ANTICIPO Y EL OTRO 50% EN LA ENTREGA TOTAL DEL PEDIDO.

Atentamente,

Ing. Víctor Montoya Ramírez/ Ing. Manuel Salazar

Cel.: (722) 322-45-01/55 4618-3748

victor-montoya@live.com.mx

7. REFERENCIAS

- Abasteo.mx. (20 de Diciembre de 2017). *Abasteo: abastecimiento moderno*. Obtenido de https://www.abasteo.mx/MakerBot-Impresora-3D-Replicator-Z18-Inalambrico-USB-30-5-x-30-5-x-45-7cm-Negro.html?gclid=EAIaIQobChMI5ZeWxZnT2AIVg0peCh3zUwBbEAQYASABEgJzmvD_BwE
- AGUA.org.mx. (2017). *Centro Virtual de Información del Agua*. Obtenido de <http://www.agua.org.mx/el-agua/sustentabilidad/aguavirtual>
- BBC Mundo. (23 de Octubre de 2015). Huracán Patricia amenaza el Pacífico mexicano con "consecuencias potencialmente catastróficas". México. Recuperado el 13 de septiembre de 2017, de http://www.bbc.com/mundo/noticias/2015/10/151023_mexico_huracan_patricia_jalisco_colima_az
- Campisano, A., & Modica, C. (2016). Rainwater harversting as source control option to reduce roof runoff peaks to downstream drainage systems. *Journal of Hydroinformatics*, 23-32.
- CEMEX. (2017). *Manual del constructor*. México: CEMEX CONCRETOS. Recuperado el 09 de septiembre de 2017, de <http://www.cemexmexico.com/Content/descargables/aplicaciones-manual-construccion-general.pdf>
- CFE. (20 de Diciembre de 2017). *Comisión Federal de Electricidad*. Obtenido de <http://app.cfe.gob.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/GranDemandaMTH.aspx>
- Computers & Structures Inc. (2017). *Computers & Structures Inc*. Recuperado el Noviembre de 2017, de <http://www.csiespana.com/software/2/sap2000>
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México 2016*. Ciudad de México: Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA. (2016). *SISTEMA DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA CON FINES DE ABASTO DE AGUA POTABLE A NIVEL VIVIENDA*. México: SEMARNAT.

- Creatbot. (20 de diciembre de 2017). *mercado libre*. Obtenido de https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-576823539-filamento-175-polipropileno-1kg-_JM?source=gps
- DeAcero . (2017). *Productos DeAcero*. Obtenido de <http://deacero.com/ecd/CursosPDF/Construccion/Malla%20Electrosoldada.pdf>
- DEPLAST . (2017). *DEPLAST. Asientos y tribunas*. Obtenido de <http://www.daplast.com/productos/cajas-de-plastico/197>
- ECODRAIN. (08 de noviembre de 2017). *ECODRAIN*. Obtenido de Productos: <http://www.ecodrain.com.mx/productos.html>
- EcoHabitar. (2011). *Aprovechamiento de agua de lluvia*. Recuperado el septiembre de 2017, de <http://www.ecohabitar.org/aprovechamiento-de-agua-de-lluvia/>
- Escuela de Ingeniería en Construcción PUCV. (2016). *Geotecnia*. Recuperado el 10 de Febrero de 2018, de http://icc.ucv.cl/geotecnia/03_docencia/03_clases_catedra/clases_catedra_ms1/08_empujes.pdf
- Fonseca, C.-R., Hidalgo, V., Diaz-Delgado, C., Gallego, A.-Y., & Vilchis-Francés, I. (2017). Design of optimal tank size for rainwater harvesting systems through use of a web application and geo-referenced rainfall patterns. *Journal of Cleaner Production*, 323-335.
- García, C. J. (2017). *Necesidades de riego en jardines de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. Toluca, México: CIRA-UAEM.
- GDF. (2004). *NORMAS TÉCNICAS COMPLEMENTARIAS PARA EL DISEÑO Y EJECUCIÓN DE OBRAS E INSTALACIONES HIDRÁULICAS, RCDF*. Distrito Federa: Gobierno del Distrito Federal.
- GEM. (2012). *Manifestación de impacto ambiental, PTAR La Marquesa*. Estado de México: Secretaría de Agua y Obra Pública.

- Geniolandia. (01 de febrero de 2018). *¿Cómo calcular el empuje hidrostático?* Obtenido de <https://www.geniolandia.com/13074539/como-calcular-el-empuje-hidrostatico>
- Ghisi, E., & Mengotti, S. (2007). Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in the southern Brazil. *Building and Environment*(42), 1731-1742.
- Goodfellow. (2017). *Goodfellow*. Obtenido de <http://www.goodfellow.com/S/Polipropileno.html>
- Guerrero, E. G. (27 de enero de 2010). Análisis estructural con SAP2000. (A. d. Colombia, Entrevistador) Recuperado el 16 de noviembre de 2017, de <http://agenciadenoticias.unal.edu.co/en/detalle/article/analisis-estructural-con-sap2000.html>
- Hajani, E., & Rahman, A. (2014). Reliability and Cost Analysis of a Rainwater Harvesting System in Peri-Urban Regions of Greater Sydney, Australia. *water*, 945-960.
- IGCEM. (2015). *Datos e indicadores de la Zona Metropolitana del Valle de Toluca*. México: Gobierno del Estado de México.
- Liaw, C.-H., & Chiang, Y.-C. (2014). Dimensionless Analysis for Designing Domestic Rainwater Harvesting Systems at the Regional Level in Northern Taiwan. *water*, 3913-3933.
- Lopez, L. S., & et al. (2002). *FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS, INGENIERÍA Y AGRIMENSURA, UNIVERSIDAD NACIONAL DE ROSARIO*. Obtenido de <http://www.fceia.unr.edu.ar/materialescivil/Monografias/02.02.02-Polipropileno%20Homopolimero%20Isotactico.pdf>
- McMahon, T., & Mein, R. (1978). Reservoir Capacity and Yield. *Elsevier Scientific Publishing Company: New York*.
- Moritz-Parra, F. G. (2013). *La viabilidad de implementar un sistema de captación de agua de lluvia y su uso en residencias unifamiliares de la zona del Valle de México*. Distrito Federal: UNAM.

- NEODATA. (2018). *ConstruBASE Presupuesto*. Obtenido de <https://neodata.mx/construbase/presupuestos>
- Petroquim. (2017). *Petroquim*. Obtenido de Tecnología y servicio en polipropileno: <http://www.petroquim.cl/que-es-el-polipropileno/>
- Posadas Bejarano, A. (2015). *SISTEMA DE COSECHA DE AGUA PLUVIAL Y REUTILIZACIÓN DE AGUAS GRISES DE REGADERA EN VIVIENDA UNIFAMILIAR*. Toluca, México: CIRA UAEM.
- Reyes, M. C., & Rubio, J. J. (2014). *DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE RECOLECCIÓN Y APROVECHAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS*. Bogotá D.C.: Universidad Católica de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil.
- Ruiz Torres, J., Trejo Calzada, R., Pedroza Sandoval, A., & Vargas Trujillo, A. (2006). ANÁLISIS DEL BENEFICIO-COSTO EN LA CAPTACION AGUA DE LLUVIA EN EL CAIS-URUZA-UACH, MEXICO. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*, 173-178.
- Sastria, A. G. (2014). Captación de agua pluvial, una solución ancestral. *Impluvium*(1), 6-11.
- Schuetze, T. (2015). Zero Emission Buildings in Korea—History, Status Quo, and Future Prospects. *sustainability*, 2745-2767.
- Schuetze, T., & Chelleri, L. (2013). Integrating Decentralized Rainwater Management in Urban Planning and Design: Flood Resilient and Sustainable Water Management Using the Example of Coastal Cities in The Netherlands and Taiwan. *Water*, 593-616.
- SEMARNAT. (2003). *límites máximos permisibles de emisión de hidrocarburos totales o no metano, monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno y partículas provenientes del escape de los vehículos automotores nuevos cuyo peso bruto vehicular no exceda los 3,857 kilogramos*. Mexico, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- SEMARNAT. (2013). *Emisiones de bióxido de carbono (CO2) provenientes del escape y su equivalencia en términos de rendimiento de combustible, aplicable a vehículos automotores nuevos de peso bruto vehicular de hasta 3 857 kilogramos*. Mexico, D.F.: Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales.

Seo, Y., Park, S. Y., & Kim, Y.-O. (2015). Potential Benefits from Sharing Rainwater Storages Depending on Characteristics in Demand. *water*, 1013-1029.

Sitiosolar.com. (2013). *Los sistemas de recolección de agua de lluvia*. Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de <http://www.sitiosolar.com/los-sistemas-de-recoleccion-de-agua-de-lluvia/>

Soluciones Hidropluviales. (2017). *Soluciones Hidropluviales*. Recuperado el 13 de septiembre de 2017, de <http://hidropluviales.com/>

Wikipedia. (2017). *FORTTRAN*. Recuperado el 30 de Septiembre de 2017, de <https://es.wikipedia.org/wiki/Fortran>