



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA MECÁNICA – MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

**Diseño De Sistema Constructivo
Para La Cosecha De Agua De Lluvia**

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
Carlos Gilberto Gómez Monroy

TUTOR PRINCIPAL
Dr. Vicente Borja Ramírez, UNAM.
Profesor titular, Facultad de Ingeniería, UNAM.

Ciudad Universitaria, CD.MX. Octubre 2016

JURADO ASIGNADO:

Presidente: Dr. González González Leopoldo. A

Secretario: Dr. Espinosa Bautista Adrián

Vocal: Dr. Borja Ramírez Vicente

1 er. Suplente: Dr. Ramírez Reivich Alejandro C.

2 do. Suplente: Dr. Bolaños Linares Ronan

Lugar o lugares donde se realizó la tesis: Posgrado de Ingeniería, CU,
UNAM.

TUTOR DE TESIS:

NOMBRE

Dr. Vicente Borja Ramírez

FIRMA

Contenido

1.- Agradecimientos.....	7
2.- Resumen.....	9
3.- Introducción.....	11
4.- Problemática -Situación hídrica en la Ciudad de México-.....	12
5.- Hipótesis.....	16
6.- Antecedentes - Cosecha de Agua Pluvial-.....	16
7.- Objetivo.....	20
8.- Alcances.....	20
9.- Metodología.....	20
▪ 9.1- Búsqueda de información.	21
▪ 9.2- Desarrollo conceptual.	22
▪ 9.3- Presentación del concepto innovador.	25
▪ 9.4- Necesidades y especificaciones de diseño.	25
▪ 9.5- Material de construcción.	31
▪ 9.6- Viabilidad.	32
▪ 9.7- Descripción del diseño.	33
▪ 9.8- Método de ensamble.	37
▪ 9.9- Diseño Mecánico	47
10.- Resultados.....	55
11.- Conclusiones.....	65
12.- Trabajo a futuro.....	68
13.- Referencias.....	69
Anexos.....	73

1.- Agradecimientos

En breve me permito agradecer a las personas e instituciones que me han brindado su apoyo para cursar la maestría y elaborar la presente tesis:

- A mi madre y a mi padre.
- A mis hermanas y hermano.
- A mi mujer.
- A mi tutor.
- A mis amistades.
- Al Posgrado de Ingeniería de la UNAM.
- Al CONACYT .
- Al Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT *IT101816*.
- Al Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT *IT102214*.
- Al Programa UNAM-DGAPA-PAPIIT *TA400216*.

2.- Resumen

El Sistema Constructivo propuesto en esta tesis, es una solución viable a la problemática de escases de agua en la Ciudad de México, la cual presenta hacinamiento humano e incremento de la demanda de servicios en mayor medida que la capacidad del estado de suministrarlos, tal es el caso del agua potable. Solamente en la delegación Iztapalapa hay 600,000 habitantes que subsisten con 8.3 litros al día por persona, cuando la cantidad necesaria para una calidad de vida aceptable es de 83 litros*persona/día y el mínimo estipulado en la Ley de Aguas del Distrito Federal es de 50 litros*persona/día. A la vez que se tiene escases de agua en la población, existe sobreexplotación del manto acuífero local, provocando el hundimiento general de la CDMX y los problemas que esto acarrea.

El Sistema Constructivo Para la Recolección de Agua de Lluvia es un sistema modular para construir casas-habitación, bodegas o cualquier estructura de hasta 92m^2 , dentro de la CDMX. Las edificaciones construidas con este sistema serán capaces de: captar agua de lluvia para el aprovechamiento humano y almacenarla dentro de sus paredes. Se seleccionó PET reciclado como material de construcción para las piezas prefabricadas para tener un sistema constructivo asequible y, además, reducir el volumen de desechos sólidos de la Ciudad, así se beneficia al medio ambiente y al autoconstructor, al ser de fácil transporte y ensamble (no exige uso de grúa).

Los resultados de esta tesis demuestran la viabilidad del diseño propuesto como medida para mitigar la escases de agua en la población de riesgo a la vez que se alivia el requerimiento de agua potable extraída del manto acuífero. Las casas construidas con el Sistema propuesto, de 45m^2 , captan agua suficiente para 2 personas y las de 86m^2 de construcción para 4 personas. Se analizaron dos configuraciones de construcción en el presente trabajo una casa-habitación y una caseta de almacenamiento sobre el techo de una casa convencional. El primer caso consta de 80m^2 de área de construcción, 13.37m^3 de capacidad máxima de almacenamiento de agua pluvial y una proyección anual de 98m^3 recolectados de agua pluvial. El segundo caso, consta de 16m^2 de área de construcción, 5.14m^3 de capacidad máxima de almacenamiento de agua pluvial y una proyección anual de 9.8m^3 recolectados de agua pluvial.

El Diseño del Sistema Constructivo para la Recolección de Agua de Lluvia propuesto; tiene embebidos requerimientos ordenados por: el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México, la Norma Técnica Complementaria para: Diseño por viento, Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas, Diseño y Construcción de Cimentaciones, Diseño por Sismo, y la Norma Técnica Complementaria sobre los Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones; se apega tanto a la Ley de Aguas del Distrito Federal, como al Reglamento de la Ley de desarrollo Urbano del Distrito Federal; y es acorde al Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos Visión a 20 años.

3.- Introducción

En la presente tesis se muestra una panorámica actual de la situación hídrica de la Ciudad de México (de dónde viene el agua potable, cuál es la demanda, cómo se distribuye y las repercusiones de la sobreexplotación del manto acuífero subterráneo, tales como: inundaciones y hundimientos) para establecer la problemática de escases y deterioro de calidad en el agua extraída de los pozos. Siguiendo con la presentación de la hipótesis dónde se establece el objetivo de implementar viviendas cosechadoras de agua de lluvia en la población de bajos recursos, abordando brevemente la cosecha de agua de lluvia en México y su normatividad.

Se propone un Sistema Constructivo para edificar viviendas capaces de captar y almacenar el agua de lluvia al interior de sus muros, fabricada con material reciclado, PET, para lograr un mayor impacto ambiental a la vez de obtener material de construcción barato y con excelentes propiedades mecánicas. El diseño propuesto está desarrollado para facilitar la autoconstrucción de casas habitación de un piso de altura y de hasta 92 metros cuadrados, sin requerir grúas, agua para la edificación, o maquinaria especializada, además de poder ser cimentado, tanto en suelo firme, como sobre una construcción ya existente, acatando los reglamentos y normas de construcción de la Ciudad de México.

Los resultados muestran que la fabricación del Sistema Constructivo, es una solución factible y responsable ecológicamente para enfrentar la escases de agua en la población de escasos recursos, para preservar el recurso hídrico y evitar el crecimiento de los tiraderos de basura. A la vez que se da vivienda a la población en riesgo, también se dan los medios para una vida más sana y digna al contar con los medios para abastecerse de agua.

Los beneficios de la cosecha de agua pluvial es común a todos los estratos socioeconómicos, por lo que el gobierno ha destinado alrededor de 500 millones de dólares anuales a la creación y mantenimiento de sistemas de captación de agua de lluvia; por la misma inversión el Sistema Constructivo propuesto proyecta 810% más agua de lluvia cosechada al año que lo esperado con la estrategia actual.

4.- Problemática-Situación hídrica en la Ciudad de México-

La Ciudad de México (CDMX) ocupa el 1% del territorio nacional, aloja el 20% de la población nacional[7,p36] y tiene una tasa de crecimiento poblacional del 1.2%[22,p60]; presenta hacinamiento humano e incremento de la demanda de servicios en mayor medida que la capacidad del estado de suministrarlos, tal es el caso del agua potable. La escasez de agua afecta a la población de manera inversa a su estatus económico, es decir: los pobres la sufren mientras que los ricos ni se enteran. Solamente en la delegación Iztapalapa hay 600,000 habitantes que subsisten con 8.3 litros al día por persona[2,p13], cuando la cantidad necesaria para una calidad de vida aceptable es de 83 litros*persona/día[6,p7] y el mínimo estipulado en la Ley de Aguas del Distrito Federal es de 50 litros*persona/día [9,Art.61 bis]. A su vez el Sistemas de Aguas de la Ciudad de México [SACMEX], cuyo presupuesto anual es de 700 millones de dólares[4,p50], reportó **177,800 habitantes sin acceso al agua potable**[7,p31] del caudal suministrado a la ciudad de 31.9 m³/s, el cual proviene: 41% de fuentes internas (pozos) y 59% de fuentes externas (entubamientos)[p36].

Por un lado, los entubamientos tienen un alto costo energético y conllevan grandes pérdidas físicas debido a la gran distancia entre la fuente y el usuario, además de tener un gran impacto ambiental y social en las regiones de donde se extrae el agua, pues se les priva del mismo[4,p49]. Por ejemplo, Los sistemas Lerma y Cutzamala, cuya aportación a la CDMX representa el 40% del caudal total[7,p36], transportan el agua desde los 1600 metros sobre el nivel del mar (msnm), hasta la CDMX que se encuentra a 2702 msnm, mediante 6 plantas de bombeo que en conjunto consumen 2,280 millones de kilowatts cada hora (lo equivalente a 5 veces lo consumido en Cuernavaca), a través de 218 km de acueductos por tubería metálica y de concreto, 43.9 km de túneles y 72.5 km de canales abiertos[7].

Por otro lado, la explotación de las aguas subterráneas, mediante pozos de extracción, se realiza de manera excesiva llevando a una degradación del recurso hídrico en calidad y cantidad. El acuífero del Valle de México tiene una sobreexplotación del 22% [7,p40] lo que causa el hundimiento promedio de 15 cm cada año en toda la ciudad, alcanzando valores máximos acumulados entre 1930 y 2007 de 9 metros[p50]. La sobreexplotación origina la disminución del nivel piezométrico de agua, que a su vez produce la consolidación de las arcillas superficiales y una depresión del terreno[p49]. El constante hundimiento de la Ciudad ocasiona daños estructurales a caminos y edificaciones en general así como contrapendientes en la red de drenaje, evitando el correcto desalojo de aguas residuales y pluviales, situación agravante de inundaciones en intensidad y frecuencia [p49].

Además de existir una gran demanda de agua, se le da un uso ineficiente por parte del grueso poblacional, agudizando los problemas ya mencionados (hundimientos e

inundaciones). El uso de agua potable en la CDMX se distribuye en tres ámbitos: público-urbano (63%), agrícola (19%) e industrial (18%)[4,p27], mientras que las pérdidas en 2011 representaron el 35% del abastecimiento y en el 2012 aumentó a 43.5% repartido como muestra la siguiente tabla:

Concepto	Porcentaje de pérdida. %	Volumen de pérdida de suministrar 60 m ³ /s. m ³ /s
Líneas de conducción	4	2.4
Plantas potabilizadoras	2	1.2
Tanque regulador	5	3
Tuberías primarias	2.5	1.5
Tuberías secundarias	2.5	1.5
Tomas domiciliarias	12.5	7.5
Interior de las casas	15 (12% en excusado; 3% en tinacos, llaves, etc.)	9 (7.2 en excusado y 1.8 en tinacos, llaves, etc)
Total	43.5	26.1

Fuente: Elaboración propia con datos del Centro de Capacitación en Agua y Saneamiento citados en Padgett (2010).

Tabla 1. Distribución de fugas en el sistema de distribución de agua, SACMEX, 2012. [7.p35].

El total de pérdidas en la red de distribución de agua potable de la CDMX tiene un caudal de 13.88 m³/s, es decir **13 876 litros de agua** se desperdician **cada segundo**, cantidad que sobrepasa la extracción total del agua subterránea de la Ciudad (13.1 m³/s) y se da en mayor medida en el abastecimiento a casa-habitación, al representar el 63% de las pérdidas en el sistema.

La mala calidad del agua extraída en los pozos se debe a la contaminación natural e inducida[7,p37], en parte por los grandes asentamientos humanos ilegales en las áreas de conservación natural. El crecimiento apresurado y sin infraestructura para los servicios básicos, de la “mancha urbana”, es uno más de los factores que contribuye a la insostenibilidad ambiental de la Ciudad de México al impactar directamente en el ciclo hidrológico; pues la urbanización de cada hectárea causa una pérdida de recarga natural del acuífero de hasta 7m³ por día[p54]. Es tal la importancia de la recarga natural del acuífero que, para mitigar los efectos de la construcción masiva de viviendas en zona de conservación, el gobierno invierte en la recuperación del área ecológica (512 hectáreas recuperadas en el año 2015[L:2].) y el SACMEX aporta 120 mdp anualmente para su reforestación[p100].

En las muestras de agua extraída de los pozos en la zona sur-oriente de la Ciudad (Iztapalapa y Tláhuac) se presenta nitrógeno amoniacal, haciendo patente la descarga de aguas residuales en la zona[7,p45] y por ende de asentamientos humanos irregulares. Actualmente el 50% del territorio de la CDMX es suelo de conservación ecológica[4,p24] y son los asentamientos humanos en estas zonas causa del decremento de cobertura forestal; el Bosque de Agua, responsable de

proveer el 70% del agua suministrada a las zonas metropolitanas de la Ciudad de México, Toluca y Cuernavaca[p3], se ha reducido y fragmentado en un 20% entre 1976 y 2008[p19]. A su vez, tres cuartas partes de los nuevos hogares construidos entre 1980 y 2000 en la CDMX se localizan en las delegaciones con mayor superficie de suelo de conservación (Cuajimalpa, Álvaro Obregón, Magdalena Contreras, Tlalpan, Milpa Alta, Tláhuac y Xochimilco)[p25], en cuyas localidades coincide la escases y la mala calidad del agua debido a la autoconstrucción de viviendas sin infraestructura de agua potable ni drenaje, presentando condiciones de salubridad precarias; En el mundo, más de 30,000 personas mueren a causa del mal manejo del agua para consumo humano, mientras que la diarrea mata a más de 5 millones de niños menores de 5 años cada año[6,p7].

Los asentamientos irregulares representan el 65% de las viviendas de todo el país, esta población desarrolla procesos irregulares de poblamiento y autoproducción de su hábitat al no tener acceso a una vivienda legal: históricamente el 60% de la población con ingresos menores a 3 salarios mínimos queda excluida de los programas institucionales de Suelo Urbanizado y de Vivienda[22,p21], situación agravada por el aumento del índice de costos de construcción en un 70%, mientras que el salario mínimo solo lo hizo un 36% golpeando a quienes aspiraban a una vivienda institucional[p55]. Además, los desarrollos habitacionales de interés social al presentar: escases en los servicios, encontrarse cada vez más lejos de los centros urbanos donde la mayoría labora y funcionar sólo como ciudades dormitorio, no satisfacen las necesidades de las personas[p50], las cuales optan por construir su vivienda dentro del Valle de México provocando que fraccionamientos completos queden abandonados y sean “ciudades desiertas” a la periferia de la zona urbana; en México el número de viviendas deshabitadas creció un 16%, alrededor de 5 millones de viviendas, del 2005 al 2011[p20].

Si bien, la población de bajos recursos económicos es quien sufre de primera mano la escases de agua y los problemas de salud que ésta acarrea, además de carecer del acceso a una vivienda legal que satisfaga sus necesidades, la urbanización descontrolada de las zonas de conservación ecológica y las pérdidas en el sistema de agua potable son peligros que atañen a todos los habitantes de la CDMX. Además, la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su artículo 4to, establece el derecho de toda persona a la protección de la salud, el acceso a la vivienda digna y agua potable de manera asequible, y se reitera en la Ley de Aguas de la CDMX en su artículo 5to. Entonces, es necesario tomar medidas para ayudar a la población en riesgo a regularizar su situación catastral e hídrica en son de la **equidad** entre los ciudadanos (cualidad denotada como eje principal en la Ley de Planeación de Desarrollo de la CDMX,[7,p15]), pues el acceso diferenciado a los servicios básicos es factor de desigualdad social ya que no toda la ciudad cuenta con la misma calidad de servicios[p18].

“Art. 4to

Toda persona tiene derecho a la protección de la salud.

Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar.

Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible.”

CITA [Constitución. Art. 4]

“Artículo 5º Toda persona en el Distrito Federal, tiene el derecho acceso suficiente, seguro e higiénico de agua disponible para su uso personal y doméstico, así como el suministro libre de interferencias. Las autoridades garantizarán este derecho, pudiendo las personas presentar denuncias cuando el ejercicio del mismo se limite por actos, hechos u omisiones de alguna autoridad o persona, tomando en cuenta las limitaciones y restricciones que establece la presente Ley.”

- Ley de Aguas de la Ciudad de México [9]-

De continuar la sobreexplotación habrá consecuencias para la sociedad mexicana en general, sin importar su estrato social ni económico: escases de agua, inundaciones, hundimientos y enfermedades, afectaran a los habitantes de la ciudad. Esta realidad hídrica quedó clara en 2009 cuando los niveles de las presas, que suministran agua potable a la CDMX, se encontraron en sus niveles más bajos en los últimos cuarenta años, siendo necesaria la implementación urgente de la Norma Ambiental Emergente en la que se dictamina a los grandes consumidores de agua potable (aquellos que consuman más de 16 000 m³ anuales) la disminución del 20% de su consumo de agua potable en un plazo de cumplimiento no mayor a 6 meses[11]. En caso de que el sistema acuífero del Valle de México colapsara, la demanda de agua no podrá ser cubierta por los sistemas Lerma-Cutzamala haciendo necesario un sistema alternativo[4,p13] constituido por seis nuevas fuentes de suministro, implicando una inversión con valor presente de **31.2 miles de millones de dólares**, el equivalente a 26 años del presupuesto anual del SACMEX[p9].

Es cierto que la demanda de agua seguirá creciendo en la Ciudad de México debido al aumento poblacional y los proyectos de urbanización al norte y sur de la ciudad[4,p49] y, sin duda, la forma en que utilizamos los recursos naturales está induciendo procesos de desertificación[6,p10], e incrementando la tendencia a incendios forestales, que a su vez aumentan la deforestación y liberación de carbono, influyendo en el ciclo hidrológico y en la distribución natural del agua, haciendo de la disminución de la cantidad y calidad del agua un círculo vicioso[7,p40].

“Cuando el costo de reemplazo de un servicio ambiental esencial es muy elevado ayuda a revelar la importancia económica de la conservación de los procesos ecosistémicos que los generan.”

[4,p48]

5.- Hipótesis

El desarrollo de una vivienda que dote de agua al usuario mediante la captación y almacenamiento de agua de lluvia; segura, económica y que facilite la autoconstrucción; es una medida viable para mitigar los problemas relacionados a la sobreexplotación de agua, mejorando la calidad de vida de la población de bajos recursos.

6.- Antecedente - Cosecha de agua pluvial -

La cosecha de agua pluvial se da mediante la captura repetida de gotas de lluvia que caen dentro de un contenedor (barril, cubeta, etc.) o sobre un área de recolección para su uso posterior. En el caso de la recolección en edificios se realiza canalizando el agua que cae sobre el techo hacia una cisterna donde es almacenada. Para los pequeños edificios recolectores de agua, la cisterna es el componente más caro, significando entre 30% y 40% del costo de la edificación[6,p41] y el que demanda más espacio[5,p24]. Los factores a tener en cuenta para aprovechar el agua de lluvia son: precipitación pluvial local, área de captación, capacidad de almacenamiento y demanda de agua[6,p37]. Además, existen diferentes procesos de filtración y desinfección del agua de lluvia (una breve recopilación se presenta en el Anexo 2) para satisfacer las necesidades simples (actividades sin contacto directo entre el humano y el agua: limpieza de pisos y ropa, servicio de inodoros, riego de plantas, etc.), y complejas (actividades con contacto directo entre el humano y el agua: limpieza corporal, preparación de alimentos, etc.)[5,p31]. El proceso más sencillo y antiguo es la separación de sólidos en suspensión por densidad[2,p16]: el cual consiste en la decantación de grasas y aceites y la remoción de partículas precipitadas.

Utilizar la cosecha de agua pluvial como estrategia para dotar de agua a la población en carencia es una medida de adaptación ante la precaria situación hídrica actual. Como ejemplos concretos están: la aportación de 10 millones de pesos por parte del gobierno de la CDMX para captar agua en las escuelas públicas[L:1], y en 2013 se implementó exitosamente un proyecto piloto de cosecha de agua en la comunidad El Gato (Guadalajara) en el que se acondicionaron viviendas particulares y algunas instalaciones públicas para captar el agua de lluvia y se instalaron tanques-cisterna para su almacenamiento, para así combatir la escases de agua potable y el abatimiento de las aguas subterráneas, ya que la explotación del acuífero local es de 180% su capacidad de recarga[1]. La práctica ancestral de recolectar agua de lluvia sigue siendo de gran beneficio para la

humanidad, al ser la fuente total o parcial para al menos 100 millones de personas en el mundo [6,p36].

El agua de lluvia es gratis, no genera problemas de contaminación y está al alcance de todos[6,p5], beneficios inherentes de la cosecha de agua pluvial, solo se gasta en la captación y tratamiento; al ser recolectada y almacenada cerca del lugar de consumo elimina la necesidad de sistemas de distribución costosos y complejos: ahorrando energía al evitar todo proceso de extracción, entubamiento y bombeo para su transportación; pudiéndose implementar prácticamente de inmediato en las zonas urbanas que no cuenten con red de agua potable sin impactar el subsuelo, ríos y-o ecosistema[5,p8]. La CDMX presenta una precipitación anual promedio de 705 mm por metro cuadrado, ósea que **llueven 1,053,975,000 litros de agua cada año**, lo equivalente a tener un caudal constante de $33.4 \text{ m}^3/\text{s}$ [2 p 13] **valor que supera la necesidad de abastecimiento actual en la ciudad** ($31.9 \text{ m}^3/\text{s}$).

Hoy en día únicamente el 10% del agua pluvial se aprovecha [CONAGUA, 2013], el resto causa conflictos en el sistema de drenaje de la ciudad, pues no fue hasta 1990 que el Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal estipuló en su Artículo 91 la obligatoriedad de la instalación de sistemas de drenaje de tipo separado entre aguas residuales y pluviales[15,2.5.3], lo que quiere decir que toda edificación construida antes de 1990 dirige el agua de lluvia al sistema de alcantarillado dedicado a la evacuación de aguas negras, provocando inundaciones en la ciudad. El volumen de agua agregado al desagüe sobrepasa su capacidad operacional, causando la saturación del sistema y el desborde de las aguas (negras y pluviales) a través de las coladeras y hacía la vía pública. El agua rebozada durante las inundaciones se infiltra en la tierra arrastrando consigo patógenos y químicos nocivos para la salud, contribuyendo a la contaminación del manto acuífero. Es implausible aumentar la capacidad operacional, del sistema de drenaje del Valle de México, para garantizar la erradicación de las inundaciones estacionales, debido a la magnitud de los caudales involucrados (para las zonas urbanas se estima la aportación de aguas negras entre 70% y 80% de la dotación de agua potable[1.2.2], y puesto que el promedio de agua de lluvia supera al caudal suministrado diariamente se deduce que durante el temporal el flujo de agua pluvial supera considerablemente al caudal de agua potable suministrado a la ciudad) y que el sistema de drenaje requeriría triplicar su capacidad actual, proyecto inasequible al tener una tarifa actual referida únicamente al consumo de agua potable, es decir, no existe cobro por el manejo del agua de lluvia, ni por los servicios de drenaje y saneamiento[7,p35].

La cosecha de agua es prácticamente nula en el ámbito doméstico, debido a la falta de infraestructura para captarla, almacenarla y usarla[7,p101], pese a ser la solución idónea a las inundaciones estacionales[2,p14]. Los dos grandes retos que enfrenta la captación de agua de lluvia son: convencer a particulares y autoridades de los beneficios tanto directos, combatir la escases, como indirectos, disminución de la extracción de agua del subsuelo y de pérdidas por transporte, así como del

hundimiento e inundaciones presentes en la ciudad; y establecerse como una inversión en recursos limpios[5,p7], bajo la premisa de que cualquier costo se compensa con los beneficios en salud e higiene y calidad de vida que representa tener agua[p39], al menos mientras llueva en el mundo.

La legislación mexicana, en materia de cosecha de agua, es sencilla y clara: todos los habitantes de México tienen el derecho a captar agua de lluvia, ser reconocidos por el gobierno y acceder a los incentivos por hacerlo [9,art124]. El cómo hacerlo y en qué utilizarlo queda a la discreción del individuo tomando cómo guía la información oficial disponible.

*“Artículo 124. **Con base en el principio de que el agua es de todos los seres vivos presentes y futuros de la Tierra;** toda persona en el Distrito Federal, tiene derecho al acceso suficiente, seguro e higiénico de agua disponible para su uso personal y doméstico, así como al suministro libre de interferencias; y, que la precipitación del agua de lluvia, nieve o escarcha es un fenómeno natural del ciclo hidrológico que no tiene una distribución uniforme en el territorio del Distrito Federal, **esta Ley otorga a las dependencias, entidades, organismos, instituciones, organizaciones y entes públicos, privados y sociales, los ejidos, comunidades, barrios y pueblos, así como **las y los habitantes del Distrito Federal, los derechos a:*****

*I. **Cosechar agua de lluvia**, individual o colectivamente;*

II. Ser reconocidos como Cosechador(a) individual o Colectivo de Agua de Lluvia del Distrito Federal e inscritos en el Padrón de Cosechadores de Agua de Lluvia del Distrito federal;

III. Obtener los incentivos del Programa General y, en su caso, de sus subprogramas;

IV. Gestionar y obtener apoyo, asistencia y capacitación de técnicos y profesionales, así como atención, orientación, asesoría y los beneficios viables y posibles que se establezcan en las políticas, estrategias, programas, presupuestos y acciones del Gobierno del Distrito Federal en materia de cosecha de agua de lluvia en esta entidad;

V. Ser informados; debatir con seriedad, rigor y tolerancia; proponer; y, decidir democráticamente las políticas gubernamentales en materia de cosecha de agua de lluvia en el Distrito Federal.”

-Ley de Aguas de la Ciudad de México [9]-

El estado del arte en la cosecha de agua pluvial, se ha centrado en el desarrollo de geo-membranas para las zonas rurales y azoteas verdes en las zonas urbanas; el primer caso se centra en la instalación subterránea de un material impermeable para redirigir y almacenar el agua de lluvia; en el segundo caso, se aprovecha el espacio exterior de los edificios para instalar áreas verdes, con el fin de aumentar el nivel de absorción y retención de agua pluvial. Ambos casos se ilustran a continuación:



Fig. 52. Área verde sobre edificación.



Fig. 53. Instalación de geo-membrana.

7.- Objetivo

El objetivo de la presente tesis es diseñar un sistema constructivo, coherente con la situación ecológica y económica de la Ciudad de México, para la construcción de edificaciones ecológicas que provean al usuario de una vivienda digna con la capacidad de captar y almacenar el agua de lluvia para su aprovechamiento humano.

8.- Alcances - Resultados a entregar

- Síntesis de la situación hídrica de la Ciudad de México.
- Diseño y modelado 3D de 9 piezas originales para el sistema constructivo.
- Diseño, modelado 3D y fabricación de separador de primeras aguas.
- Datos de instalación y capacidad de dos configuraciones de vivienda muestra.

9.- Metodología

Se condujo el diseño del sistema para la construcción de vivienda recolectora de agua de lluvia, teniendo en cuenta el complejo entramado social en el que se da el aprovechamiento y el uso de los recursos naturales en la Ciudad de México[20,p76], mediante una visión holística del problema y el producto-solución, combinando nociones de: diseño ambiental, diseño para producción y diseño centrado en el usuario.

Cabe mencionar que la solución presentada en esta tesis no es el producto de un procedimiento lineal que haya dado por fruto un único resultado, sino que es la culminación del proceso de desarrollo, durante el cual diferentes conceptos, así como múltiples variaciones y mezclas de los mismos, fueron analizados y descartados hasta llegar a la idea solución final; situación común en un proyecto de innovación y desarrollo tecnológico. A grandes rasgos el desarrollo de esta tesis queda seccionado en seis partes, con una pregunta central por parte:

1. Definición de la situación a mejorar (¿Cuál es el problema?).
 - i. Gente sin casa y sin agua.
2. Descripción del proceso a mejorar (¿Qué causa el problema?).
 - i. Falta de vivienda de interés social dentro de la ZMVM.

- ii. Alta densidad de población.
3. Estudio de antecedentes (¿Qué existe para lidiar con el problema?).
4. Propuesta de solución (¿Qué presento YO para lidiar con el problema?).
5. Resultados (¿Qué ventajas muestra mi propuesta?).
6. Trabajo a futuro (¿Qué se puede mejorar o acotar?).

9.1 Búsqueda de información

La recopilación de información necesaria, presentada en la secciones problemática y antecedentes, para comprender a fondo la fenomenología involucrada en la hipótesis se hizo mediante la búsqueda de leyes, normas técnicas, informes gubernamentales e independientes, y textos especializados referentes a la situación hídrica de la Ciudad de México que dieran respuesta a las siguientes preguntas:

¿De dónde proviene el agua potable utilizada en la Ciudad de México?

¿Quién tiene jurisdicción sobre las aguas y su explotación?

¿A quién le corresponde repartirla?

¿Cómo la reparte?

¿A quién se le reparte?

¿Qué impactos tiene, a presente y futuro, la sobreexplotación de agua potable?

¿A quién afecta la sobreexplotación?

¿A dónde va el agua después de ser utilizada?

¿Quiénes y en dónde están aquellas personas marginadas del servicio de agua potable?

¿Porqué no tienen acceso al agua potable?

¿Cuáles son las repercusiones de no tener agua?

¿Cómo sobreviven las personas sin toma domiciliaria?

¿Qué dicta la legislatura(legislación) nacional respecto a los “paracaidistas” sin acceso al agua?

¿Cuáles son las razones e impactos del crecimiento de la mancha urbana?

¿Qué es la cosecha de agua de lluvia?

¿Es factible utilizar el agua de lluvia para consumo humano en la Ciudad de México?

¿Cuál es el potencial de cosechar agua pluvial?

¿Qué tipo de manejo tiene el agua de lluvia en la CDMX?

¿Qué dice la Ley respecto a la recolección de agua de lluvia?

¿Cuáles son las características y requerimientos técnicos de la cosecha de lluvia?

9.2 Desarrollo conceptual

Teniendo en cuenta la hipótesis y el objetivo se tomaron las siguientes decisiones técnicas para comenzar el desarrollo conceptual:

1. Rango de tamaño de vivienda: de 45 a 92 m², áreas comprendidas por el Reglamento de Construcción para el Distrito Federal para viviendas de interés social, medio y residencial[art.5].
2. El uso previsto para el uso de agua pluvial es de tipo simple y se contempla el 40% del requerimiento total al interior de la vivienda.
3. Número de personas por vivienda: 4.
4. Requerimiento total de agua dentro de la vivienda: 10,440 litros/mes (Eq.1).
5. Requerimiento de agua para uso simple: 4,176 litros/mes.

$$(4[Personas]) \left(87 \left[\frac{\text{Litros}}{\text{Persona} * \text{día}} \right] \right) \left(30 \left[\frac{\text{días}}{\text{mes}} \right] \right) = 10,440 \left[\frac{\text{litros}}{\text{mes}} \right] \quad \text{Eq. 1}$$

Bajo el requerimiento de utilizar agua de lluvia diariamente y debido a que en la Ciudad de México llueve de manera irregular, mostrando un mínimo en marzo

(11mm) y un máximo en septiembre (144 mm), Fig. 1, se requiere de un tanque de almacenamiento de agua pluvial para guardar el excedente durante la temporada de lluvias y coadyuvar durante los meses secos. Para conocer la capacidad del tanque de almacenamiento es necesario conocer el volumen excedente de agua captada cada mes, por lo que se realizó la tabulación, Tabla 2, del balance mensual entre precipitación y consumo (Eq. 2) para tres casos: mínimo de área (45m²), área para balance cero (precipitación igual a consumo, 89m²) y máximo de área de captación (92m²); así mismo, se muestra el estado mensual del nivel del tanque de almacenamiento en forma de porcentaje para cada caso.

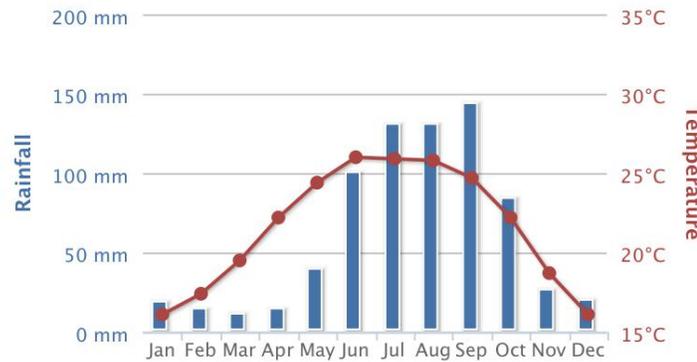


Fig. 1. Promedio histórico (1990-2012) de precipitación mensual, http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisCCCode=MEX

$$Agua cosechada = (precipitación)(\text{área de recolección})(\text{eficiencia de cosecha}) \quad \text{Eq. 2}$$

$$Balance = Agua cosechada - Agua requerida para uso simple \quad \text{Eq. 3}$$

Para contener 20,000 litros de agua habría que construir un tanque de almacenamiento de 2.7 metros de alto con la misma medida en su profundidad y anchura. Esto hace notable la dificultad que representa la construcción de dicho tanque: bajo tierra requiere maquinaria y personal especializado, mientras que sobre la superficie, espacio y cimentación; considerando, además, que el espacio destinado a contener el agua rara vez será aprovechado al 100%, por lo que el porcentaje del tanque vacío solo representa un estorbo al usuario.

Mes	Precipitación en mm	Área mínima	Break-Even				Área máxima			
		captación de agua con área de 45 m ² (eficiencia=0.8)	Balance mensual	Nivel del tanque de almacenamiento	captación de agua con área de 86 m ² (eficiencia=0.8)	Balance mensual	Nivel del tanque de almacenamiento	captación de agua con área de 92 m ² (eficiencia=0.8)	Balance mensual	Nivel del tanque de almacenamiento
Enero	16	576	-3,600	0.0%	1,101	-3,075	56.8%	1,178	-2,998	63.4%
Febrero	14.6	526	-3,650	0.0%	1,004	-3,172	40.7%	1,075	-3,101	49.7%
Marzo	11.1	400	-3,776	0.0%	764	-3,412	23.4%	817	-3,359	34.8%
Abril	14.8	533	-3,643	0.0%	1,018	-3,158	7.4%	1,089	-3,087	21.2%
Mayo	40.2	1,447	-2,729	0.0%	2,766	-1,410	0.3%	2,959	-1,217	15.8%
Junio	100.2	3,607	-569	0.0%	6,894	2,718	13.8%	7,375	3,199	14.2%
Julio	131.2	4,723	547	26.0%	9,027	4,851	38.3%	9,656	5,480	38.4%
Agosto	131	4,716	540	51.7%	9,013	4,837	62.8%	9,642	5,466	62.7%
Septiembre	144.2	5,191	1,015	100.0%	9,921	5,745	91.9%	10,613	6,437	91.2%
Octubre	83.8	3,017	-1,159	0.0%	5,765	1,589	100.0%	6,168	1,992	100.0%
Noviembre	26.1	940	-3,236	0.0%	1,796	-2,380	87.9%	1,921	-2,255	90.0%
Diciembre	16	576	-3,600	0.0%	1,101	-3,075	72.4%	1,178	-2,998	76.7%
Agua pluvial recolectada anualmente		26,251			50,169			53,669		
Agua requerida para uso simple al año (4 personas)		-50,112			-50,112			-50,112		
Balance anual		-23,861			57			3,557		
Almacenamiento requerido			2,102			19,740			22,573	

Tabla 2. Estimación de almacenamiento requerido, cantidades en litros.

9.3 Presentación del concepto innovador

Para lograr un aprovechamiento eficaz del agua pluvial en una casa habitación es necesaria la construcción de dos estructuras básicas: vivienda (área de captación) y un gran tanque de almacenamiento, o cisterna. **Un sistema constructivo que permita el almacenamiento de agua en el interior de las paredes, como se muestra en la Fig. 2, garantiza que el usuario tendrá un sistema de cosecha de agua de lluvia completo y funcional al momento de terminar la construcción de su vivienda.** El sistema constructivo en cuestión debe comprender el manejo total del agua de lluvia, desde su captación hasta su disposición final de manera automática, evitando al usuario la necesidad de poseer conocimientos y habilidades técnicas para la construcción y mantenimiento de viviendas o cosecha de agua pluvial.

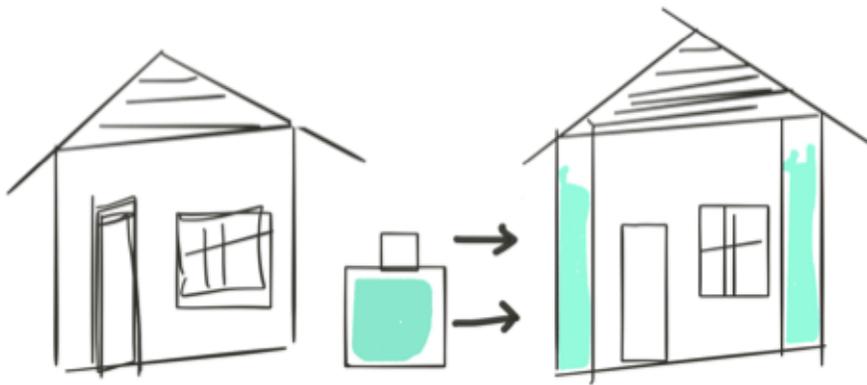


Fig. 2. Ilustración de la idea-solución.

9.4 Necesidades y Especificaciones de Diseño

Para que exista innovación tecnológica, es necesario pasar del diseño a la fabricación; las características de diseño determinan la factibilidad de dar este paso, y es responsabilidad del diseñador, determinadas de tal suerte que maximice su oportunidad de ser construido en la realidad; teniendo como máxima prioridad entregar una concepto-solución que sea tecnológica, social y económicamente viable para su implementación. Por lo que es necesario contemplar múltiples fuentes de restricciones de diseño y cotejarlas con las necesidades del usuario.

Para el diseño del sistema constructivo se siguieron las siguientes directrices:

- La vivienda debe de ser ligera (comparada con una de ladrillo y concreto), y más segura y confortable que una vivienda de lámina metálica.

- La vivienda debe de costar menos que una casa de ladrillo y concreto.
- El sistema constructivo debe de facilitar la autoconstrucción: Piezas de fácil manipulación y transporte (sin necesidad de grúas o aparejos).
- El sistema constructivo se debe poder ensamblar sin necesidad de poseer conocimientos ni habilidades técnicas, ó herramienta costosa.
- El sistema constructivo no debe de requerir agua para su implementación.
- El sistema constructivo debe de ser fácil de transportar (las piezas deben caber por puertas y pasillos estándar).
- Se deben cumplir los reglamentos de construcción de la Ciudad.
- El sistema debe ser ecológico, modular, desmontable (reubicable) y adaptable: al poderse instalar sobre el terreno o una estructura ya existente. (casa sobre casa, casa sobre tierra o cemento)
- Cosechar agua de lluvia de manera automática y segura para los usuarios.

A continuación se presenta una recopilación de requerimientos, pertinentes a el diseño de vivienda y el manejo de aguas dentro de la Ciudad de México, junto al texto original de las normas y leyes.

Documento de Procedencia	Texto original	Requerimiento de diseño.
Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para uso Doméstico en América Latina y el Caribe.	[p.25]... hay que considerar que del total de agua de lluvia que cae sobre la superficie de captación solo una parte de ella llega a la cisterna debido a que existen ineficientes en la conducción del agua por evaporación y absorción, entre otras. Por lo que se considera una eficiencia promedio de captación de 70%, ...	Eficiencia en el área de recolección de agua de lluvia: 70%
Guía "Agua y Construcción Sustentable".	[p.13]...precipitación anual promedio en el DF es de 705mm.	Precipitación anual promedio en el DF 705mm.
p.19	...20% es un buen criterio de diseño que funciona para la mayoría de los casos.	Eficiencia en el área de recolección de agua de lluvia: 80%
p. 21	...se usa comúnmente ... lámina galvanizada; 55% aluminio, 45% acero.	Material para el techo: lámina galvanizada; 55% aluminio, 45% acero
p.23	Para áreas de captación pequeñas a medianas, con canaletas de 7.5 a 110 cm, tubos de 5 cm (2 in) a 7.5 cm (3 in) es suficiente. Las tuberías más comunes para grandes volúmenes recolectados van desde los 11 cm (4.5 in) en adelante.	Diámetro de canaleta: 7.5 - 110 cm. Diámetro de tubo: 5, 7.5 y 11cm.
	Las canaletas horizontales deben colocarse en una inclinación efectiva del 2 al 4 %, los más comunes son de 5.5 cm de radio conectados a embudos.	Inclinación efectiva 2% - 4% más utilizadas son 5.5 cm radio.
Reglamento de la Ley de desarrollo Urbano del Distrito Federal	Artículo 77. Se requiere dictamen de impacto urbano o impacto urbano-ambiental para la obtención de autorización, licencia o registro de manifestación, cuando se pretendan ejecutar alguno de los siguientes proyectos: 1) De uso habitacional de más de 10,000 m2 de construcción.	

Ley de Aguas del Distrito Federal	Artículo 53. ... El servicio de agua potable se deberá proporcionar con una presión mínima en la red de distribución de 0.5 kilogramos sobre centímetro cuadrado.	Presión mínima de abastecimiento de agua potable 0.5 kilogramos sobre centímetro cuadrado.
Artículo 72.	II. Los propietarios, poseedores o usuarios que cuenten con aprovechamiento de aguas que se obtengan de fuentes distintas a la del sistema de agua potable; pero que requieren del sistema de drenaje para la descarga de sus aguas residuales.	Obligatorio contratar drenaje
Artículo 86 BIS 1.	Las nuevas construcciones o edificaciones deberán contar con redes separadas de agua potable, de agua residual tratada y cosecha de agua de lluvia, debiéndose utilizar esta última en todos aquellos usos que no requieran agua potable; así mismo deberán contar con la instalación de sistemas alternativos de uso de agua pluvial.	Redes separadas para el agua potable y el agua recolectada
Artículo 124.	...esta Ley otorga a las dependencias, entidades, organismos, instituciones, organizaciones y entes públicos, privados y sociales, los ejidos, comunidades, barrios y pueblos, así como las y los habitantes del Distrito Federal, los derechos a: I. Cosechar agua de lluvia, individual o colectivamente;	Derecho de cosechar agua de lluvia
Artículo 125.	En todas las nuevas edificaciones, instalaciones, equipamientos, viviendas y obras públicas que se construyan en el Distrito Federal será obligatorio, construir las obras e instalar los equipos e instrumentos necesarios para cosechar agua de lluvia, con base en las disposiciones que se establezcan en el Reglamento de esta Ley.	Obligatorio instalar sistema de cosecha de agua de lluvia
Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal	Artículo 5. Para efectos de este Reglamento, las edificaciones en el Distrito Federal se clasificarán en los siguientes géneros y rangos de magnitud: 45 m2 mínimo, para vivienda nueva terminada popular. 60 a 92 m2 mínimo, vivienda de interés medio y residencial.	Tamaño mínimo de vivienda 45 m2, para vivienda nueva terminada popular. 60 a 92 m2, vivienda de interés medio y residencial.
Artículo 41.	La expedición de licencia de construcción no requerirá de responsiva de Director Responsable de Obra, cuando se trate de las siguientes obras: V. Edificación en un predio baldío de una vivienda unifamiliar de hasta 60 m2 construidos.	No se requiere responsiva de Director Responsable de Obra para casas de hasta 60m2.
Artículo 57.	No se requerirá licencia de construcción para efectuar las siguientes obras: a) Que se construya en una superficie de terreno de hasta 200 m2. b) Que tengan como máximo 60 m2 de construcción. c) Que la obra alcance como máximo una altura de 5.5m. d) Que no tenga claros mayores de 4m.	a) Superficie de terreno de hasta 200 m2. b) máximo 60 m2 de construcción. c) máximo de altura 5.5m. d) Que no tenga claros mayores de 4m.
Artículo 59.	Las obras e instalaciones que a continuación se indican, requieren de licencia de construcción específica: I. Las excavaciones o cortes de cualquier índole cuya profundidad sea mayor de 60 cm.	No se requiere licencia de construcción específica para una excavación máxima 60 cm.
Artículo 73.	Los elementos arquitectónicos que constituyen el perfil de una fachada, tales como pilastras, sardinales y marcos de puertas y ventanas situados a una altura menor de 2.5 m sobre el nivel de banqueta, podrán sobresalir del alineamiento hasta 10 cm. Estos mismos elementos situados a una altura mayor, podrán sobresalir hasta 20 cm. Todos los elementos de la marquesina deberán estar situados a una altura mayor de 2.5 m sobre el nivel de la banqueta.	Todos los elementos de la fachada deben de sobresalir máximo 10cm a una altura menos de 2.5 m máximo 20 cm a una altura mayor de 2.5m
Artículo 83.	Las edificaciones estarán provistas de servicios sanitarios con el número mínimo de muebles y sus características que se establecen a continuación: II. Las viviendas con superficie igual o mayor a 45 m2 contarán, cuando menos, con un excusado, una regadera, un lavado, un lavadero y un fregadero.	La vivienda contará con: un excusado, una regadera, un lavado, un lavadero y un fregadero.

Artículo 95.	La distancia desde cualquier punto en el interior de una edificación a una puerta, circulación horizontal, escalera o rampa, que conduzca directamente a la vía pública, áreas exteriores o al vestíbulo de acceso de la edificación, medidas a lo largo de la línea de recorrido, será de 30 m como máximo, excepto en edificaciones de habitación, oficinas, comercio e industrias, que podrá ser de 40 m como máximo.	Distancia máxima de cualquier punto a la salida: 30m.
Artículo 98.	Las puertas de acceso, intercomunicación y salida deberán tener una altura de 2.1 m cuando menos; y una anchura que cumpla con la medida de 0.6 m por cada 100 usuarios o fracción, pero sin reducir los valores mínimos que se establezcan en las Normas Técnicas Complementarias.	Puertas: 2.1m Altura 0.6m Ancho
Artículo 99.	Las circulaciones horizontales, como corredores, pasillos y túneles deberán cumplir con una altura mínima de 2.1 m y con una anchura adicional no menor a 0.6 m por cada 100 usuarios fracción, ni menor de los valores mínimos que establezcan las Normas Técnicas Complementarias para cada tipo de edificación.	Circulación horizontal: 2.1m Altura 0.6m Ancho
Artículo 117.	..., la tipología de edificaciones establecida en el artículo 5 de este Reglamento, ... : I. De riesgo menor son las edificaciones de hasta 25 m de altura, hasta 250 ocupantes y hasta 3,000 m2 ...	Cumple tipología de riesgo menor hasta 25m de altura.
Artículo 118.	La resistencia al fuego es el tiempo que resiste un material al fuego directo sin producir flama o gases tóxicos, y que deberán cumplir los elementos constructivos de las edificaciones según la siguiente tabla:	
Artículos 123.	Los materiales utilizados en recubrimientos de muros, cortinas, laminas y falsos plafones deberán cumplir con los índices de velocidad de propagación del fuego que establezcan las Normas Técnicas Complementarias.	
Artículo 130.	Los plafones y sus elementos de suspensión y sustentación se construirán exclusivamente con materiales cuya resistencia al fuego sea de una hora por lo menos. Los canales que dividan áreas de un mismo departamento o local podrán tener una resistencia al fuego menor a la indicada para muros interiores divisorios en el artículo 118 de este Reglamento, siempre y cuando no produzcan gases tóxicos o explosivos bajo la acción del fuego.	
Artículo 131.	Las chimeneas deberán proyectarse de tal manera que los humor y gases sean conducidos por medio de un tiro directamente al exterior en la parte superior de la edificación, debiendo instalarse la salida a una altura de 1.5 m sobre el nivel de la azotea; se diseñarán de tal forma que periódicamente puedan ser deshollinadas y limpiadas.	La chimenea debe sobresalir del techo por 1.5m.
Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias	Artículo 150. ... Las cisternas deberán ser completamente impermeables, tener registros con cierre hermético y sanitario y ubicarse a 3 m cuando menos, de cualquier tubería permeable de aguas negras.	Cisternas: Impermeables, registro hermético y ubicarse a 3m de tubería de agua negra.
Artículo 151.	Los tinacos deberán colocarse a una altura de, por lo menos, 2 m arriba del mueble sanitario más alto. Deberán ser de materiales impermeables e ino cuos y tener registros con cierre hermético y sanitario.	Tinacos: 2m sobre el mueble sanitario, impermeable e inocuo, registro hermético.
Artículo 156.	En las edificaciones de habitación familiar de hasta 500m2 y consumos máximos de agua de 1,000 m3 bimestrales, ubicadas en zonas donde existe el servicio público de alcantarillado de tipo separado, los desagües serán separados, uno para aguas pluviales y otro para aguas residuales. Las tuberías de desagüe tendrán un diámetro no menor a 32mm, ni inferior al dela boca de desagüe de cada mueble sanitario. Se colocarán con una pendiente mínima de 2%	Tubería de manejo de agua de lluvia: 32 mm diámetro.
Artículo 159.	Las tuberías o albañales que conducen las aguas residuales de una edificación hacia afuera de los límites de su predio, deberán ser de 15 cm de diámetro como mínimo, contar con una pendiente mínima de 2 % y cumplieron las normas de calidad que expida la autoridad competente. Los albañales deberán estar provistos en su origen de un tubo ventilador de 5 cm de diámetro mínimo que se prolongará cuando menos 1.5 m arriba del nivel de la azotea de la construcción.	Tubería o albañales de agua negra: 15 cm diámetro, inclinación mínima 2%.

Artículo 216.	En las áreas urbanas y suburbanas del Distrito Federal se tomará como base una velocidad de viento de 80km/hr para diseño de edificaciones del grupo B.	Velocidad del viento para el DF: 80km/hr.
Artículo 218.	Toda edificación se soportará por medio de una cimentación adecuada.	Debe cimentarse.
Artículo 255.	Los materiales empleados en la construcción deberán cumplir con las siguientes disposiciones: II. Cuando se proyecte utilizar en una construcción algún material nuevo del cual no existan Normas Técnicas Complementarias o Normas de Calidad de la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, el Director Responsable de Obra deberá solicitar la aprobación previa del Departamento para lo cual presentará los resultados de las pruebas de verificación de calidad	(Prototipo).
Artículo 273.	Los procedimientos para la colocación de instalaciones se sujetarán a las siguientes disposiciones: I. El Director Responsable de Obra programará la colocación de las tuberías de instalaciones en los ductos destinadas a tal fin en el proyecto, los pasos complementarios y las preparaciones necesarias para no romper los pisos, muros, plafones y elementos estructurales. III. Los tramos verticales de las tuberías de instalaciones se colocarán a plomo empotrados en los muros o elementos estructurales o sujetos a éstos mediante abrazaderas.	Tubería debe de estar sujeta con abrazaderas.
Artículo 280.	Los propietarios o poseedores de las Edificaciones y Predios tienen obligación de conservarlas en buenas condiciones de estabilidad, servicio, aspecto e higiene, evitar que se conviertan en molestia o peligro para las personas o los bienes, reparar y corregir los desperfectos, fugas y consumos excesivos de las instalaciones, y observar, además, las siguientes disposiciones:	Mantenimiento Obligatorio.
Artículo Noveno Transitorio	Requerimiento mínimo de agua potable 150 litros por persona por día.	Dote de agua: 150 Litros por persona al día.
	Tabla : Requerimientos mínimos de habitabilidad y funcionamiento.	Tabla: Anexo #
	IX. En los espacios para muebles sanitarios se observarán las siguientes dimensiones mínimas libres.	Tabla: Anexo #
E. Requisitos mínimos de ventilación	Los locales habitables y las cocinas domésticas en edificaciones habitacionales, los locales habitables en edificios de alojamiento, los cuartos de encamados en hospitales y las aulas en edificaciones para educación elemental y media, tendrán ventilación natural por medio de ventanas que den directamente a la vía pública, terrazas, azoteas, superficies descubiertas, interiores o patios, ... , El área de aberturas de ventilación no será inferior al 5% del área del local;	Todas las habitaciones deben tener ventilación mínima del 5% del tamaño de la habitación.
F. Requisitos mínimos de iluminación	Los locales habitables y las cocinas domésticas. El área de las ventanas no será inferior a los siguientes porcentajes, correspondientes a la superficie del local, para cada una de las orientaciones: Norte: 15%, Sur: 20%, Este y Oeste: 17.5%	% ventanas por lado: Norte: 15% Sur: 20% Este y Oeste: 17.5%
	I. Dimensiones mínimas de circulaciones horizontales	Tamaño de pasillo: 2.1 m altura y 0.75 m ancho
K. Requisitos mínimos para las instalaciones de combustibles	Las instalaciones de gas: b) Las tuberías de conducción de gas deberán ser de cobre tipo "L" o de fierro galvanizado C-40 y se podrán instalar ocultas en el subsuelo de los patios o jardines a una profundidad cuando menos de 60 cm, o visibles adosados a los muros, a una altura de cuando menos 1.80 m sobre el piso. Deberán estar pintadas con esmalte color amarillo. La presión máxima permitida en las tuberías será de 4.2 kg/cm ² y la mínima de 0.07 kg/cm ² . Queda prohibido el paso de tuberías conductoras de gas por el interior de locales habitables, a menos que estén alojadas dentro de otro tubo, cuyos extremos estén abiertos al aire exterior. Las tuberías de conducción de gas deberán colocarse a 20 cm, cuando menos, de cualquier conductor eléctrico, tuberías con fluidos corrosivos o de alta presión.	Tubería de gas de cobre tipo "L" ó de fierro galvanizado C40. - Enterradas a 60 cm - adosados al muro altura mínima 1.8m. - deberán colocarse a 20 cm de cualquier conductor eléctrico, Rango de presión de trabajo: 4.2 kg/cm ² -- 0.07 kg/cm ²
Normas Técnicas Complementarias	1.2 Gastos de diseño de conductos cerrados, canales y estructuras	Dote de agua

para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas	c) Dotación de Agua Potable Tabla 1.2 (página 16)	
2.5.1 Redes de distribución de agua potable. Pérdidas físicas	Para estimar el volumen de las pérdidas físicas se puede considerar un valor comprendido entre el 40% y el 60% del volumen suministrado. La velocidad mínima de escurrimiento se fija para evitar la precipitación de partículas que arrastre el agua y se acepta a 0.30 m/s.	Pérdidas de agua: entre 40 y 60% del volumen suministrado.
2.5.2 Redes de Alcantarillado Sanitario	Diámetro mínimo. Para evitar obstrucciones, el diámetro mínimo en las tuberías de drenaje de aguas negras debe ser de 20cm.	El diámetro mínimo en las tuberías de drenaje de aguas negras es 20cm.
2.5.3 Redes de alcantarillado pluvial	Las conexiones serán tuberías de 15 ó 20cm de diámetro, dependiendo de la capacidad de captación de las coladeras pluviales.	El diámetro en las tuberías de drenaje de aguas pluviales es de 15 cm o 20 cm.
2.63 Instalaciones hidráulicas b) Tanques y Cisternas	Los edificios deberán contar con las cisternas que de acuerdo con el destino de la industria o edificación sean necesarios, para tener una dotación, para no menos de tres días en caso de que por alguna razón, llegara a faltar el vital líquido.	Tamaño de Cisterna: 3 días de dote total de la edificación.
	Todas las cisternas deberán ser completamente impermeables y tener registros con cierre hermético y sanitario y ubicarse a tres metros, cuando menos, de cualquier tubería de aguas negras; deberán además lavarse y desinfectarse cuando menos cada seis meses o antes si se detecta visualmente que está en condiciones desfavorables de higiene.	La cisterna debe de: ser impermeable se deberá lavarse y desinfectarse cada 6 meses
	Todas las estructuras almacenados de agua deberán contar con tapas de cierre hermético, y lavarse y desinfectarse cuando menos cada seis meses o antes si se detecta visualmente que están en condiciones desfavorables de higiene.	Toda estructura que almacene agua debe de ser lavada y desinfectada cada 6 meses
	Todos los tinacos antes del codo de bajada deberá tener un dispositivo para el desalojo del agua para el lavado y mantenimiento del mismo; acto seguido se deberá localizar una válvula de control, posterior a lo mencionado, al iniciar la bajada se localizará el jarro de aire el cual tendrá una altura mayor que el máximo nivel de agua en el tinaco.	El tinaco: Válvula de control, jarro de aire que tendrá altura mayor que el nivel máximo del aguan el tinaco.
	Los tinacos deberán colocarse a una altura de, por lo menos, dos metros arriba del mueble sanitario más alto. Deberán ser de materiales inocuos y tener registros con cierre hermético.	El tinaco deberá estar 2 m arriba del sanitario.
2.6.5	Cuando los sistemas de drenaje de la edificación sean de tipo separado (sanitario y pluvial), se deberá aprovechar al máximo el uso de las aguas pluviales captadas en las épocas de lluvia, con la finalidad de fomentar el ahorro de agua potable. Esta disposición se observará particularmente en industrias cuyos procesos no requieran uso obligatorio de agua potable.	
Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo	2.1 Método simplificado de análisis. a) En cada planta, al menos el 75% por ciento de cargas verticales estarán soportadas por muros ligados entre sí mediante losas monolíticas u otros sistemas de piso suficientemente resistentes y rígidos al corte.	
	b) La relación entre longitud y ancho de la planta del edificio no excederá de 2.0.	
	c) La relación entre la altura y la dimensión mínima de la base del edificio no exceda de 1.5 y la altura del edificio no será mayor de 13 m.	

Tabla 3. Restricciones con texto y fuente original.

9.5 Material de Construcción

El material seleccionado para la fabricación del sistema constructivo es Poli-Etileno-Teraftalato (PET) reciclado (RPET), debido a que México produce 800 mil toneladas de PET al año y solo 15% se recicla [L:5], el resto termina en tiraderos al aire libre y rellenos sanitarios: donde los aditivos y estabilizadores dentro del PET forman lixiviados que se filtran y contaminan al acuífero subterráneo[21,p41], agravando la problemática planteada en la sección 0. Hay que destacar el hecho de que los gastos del manejo de desechos sólidos, en la Ciudad de México, se paga con dinero de los contribuyentes. Por lo que utilizar materiales reciclados, además de tener un impacto positivo en el medio ambiente, libera recursos económicos y territoriales de la nación. Es por esto, y aunado a las características físicas del PET, que hoy en día es utilizado alrededor del mundo como material de construcción, por ejemplo: las viviendas “Nev House” construidas a base de módulos fabricados de RPET sólido se instalan en las áreas más pobres de África[L:3], Fig. 3; los ladrillos mexicanos fabricados de PET son ligeros al presentar un diseño hueco[L:12], Fig. 4.



Fig. 3. Nev House , [L:3].



Fig. 4. Ladrillo mexicano fabricado con PET. [L:12]

9.6 Viabilidad

¿Cuánta agua se puede almacenar en las paredes?

Una vivienda cuadrada de 92 m^2 de construcción tiene 38.4 m. de pared lineal, 9.6 m. por lado (sin tomar en cuenta puerta ni ventanas), considerando una altura de 2.5 m y que la profundidad de un ladrillo ronda entre 12 y 24 cm, da un volumen ocupado por pared de **11.52 m^3 y 23 m^3** en cada caso. Entonces, el volumen máximo que es posible contener dentro las paredes es **23,000 litros**, manteniendo el grosor de pared dentro del rango estándar de construcción.

¿Cuánto pesa una pared llena de agua?

La densidad del material por el volumen de pared arroja el peso de pared por metro lineal: agua 600kg/m (densidad 1000 kg/m^3); RPET 828kg/m (densidad 1380 kg/m^3 [L:4]); ladrillo 1076kg/m (densidad 1794 kg/m^3) [L:6]. De la observación de estos datos es evidente que una pared construida de RPET y rellena de agua pesa menos que una pared de ladrillo convencional en al menos 30% y máximo 80%, sin importar la relación de agua y RPET.

¿Cuánto cuesta un sistema constructivo de RPET?

Tomando en cuenta el precio máximo del PET, \$16 pesos por kilogramo [L:7], y el costo añadido por fabricación de tres veces el precio del material, el costo de RPET macizo para construir 38.4m de pared con 2.5m de alto y 24cm de grosor es de \$1,975,910 pesos, 17.8 veces más elevado que su contraparte de ladrillo al presentar un costo de \$111,111 pesos (estas cifras toman en cuenta únicamente el costo de los materiales, sin mano de obra).

¿Es resistente un sistema constructivo fabricado de PET?

Para dar idea de la funcionalidad del PET como material de construcción se presenta una tabla comparativa de propiedades físicas entre PET, concreto y acero estructural A36, Tabla 4, donde se observa que la capacidad de carga a compresión del PET es cuatro veces mayor que el concreto y es casi la mitad de ligero. Sin embargo, el módulo elástico del PET es ocho veces menor y su temperatura máxima de trabajo es mucho menor a la del concreto, Tabla 5.

Material	Módulo elástico (GPa)	Esfuerzo último a tensión (MPa)	Fuerza último a la compresión (MPa)	Densidad (g/cm ³)
PET	2	55	80	1.34
Concreto	17	2	20	2.40
Acero A36	200	400	151	4.55

Tabla 4. Comparativa de propiedades físicas. [L:4,9 y 11]

Material	Flameabilidad	Agua Fresca	Agua Salada	Luz solar (UV)	Resistencia al uso.	Temperatura máxima de trabajo. (°C)
PET	Malo	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	Promedio	68-80
Concreto	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Promedio	927-1227
Acero inoxidable	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Muy Bueno	Bueno	1375-1450

Tabla 5. Comparativa de resistencia de los materiales a la exposición ambiental. [Materials Data Book, Cambridge University].

9.7 Descripción del diseño

El diseño propuesto para el sistema constructivo fabricado con PET reciclado; colecta el agua de lluvia, la maneja, almacena, desinfecta y filtra, de manera autónoma, para ser aprovechada en actividades humanas simples (sin ingesta humana); la capacidad de almacenamiento está dada por el tamaño y configuración de la vivienda pues el sistema se construye mediante el ensamblado de paneles formados por dos paredes falsas que alojan en su interior una Cisterna Flexible (del tipo utilizada en embarcaciones), donde se requiera de ventanas y puertas no habrá Cisterna; facilita la autoconstrucción al no requerir herramienta especializada ni la utilización de grúas; el sistema está diseñado para ser compatible con la mayor parte de accesorios y técnicas de construcción, además se puede instalar en cualquier tipo de suelo o sobre una estructura ya existente; no requiere de agua para su edificación siendo coherente con la situación de escases.

La forma en la que el sistema constructivo maneja el agua pluvial es la siguiente:

- a) Las gotas de lluvia caen sobre el techo de la vivienda (área de captación).
- b) El agua de lluvia satura el techo y comienza a desbordar.
- c) El agua de lluvia chorrea sobre la orilla del techo y cae en el canal colector, hojarasca y otros objetos medianos son detenidos por la malla metálica que cubre el canal.
- d) El agua se canaliza, por gravedad, a las esquinas donde se encuentran los separadores de primeras aguas, uno por cada 10 metros de pared perimetral.

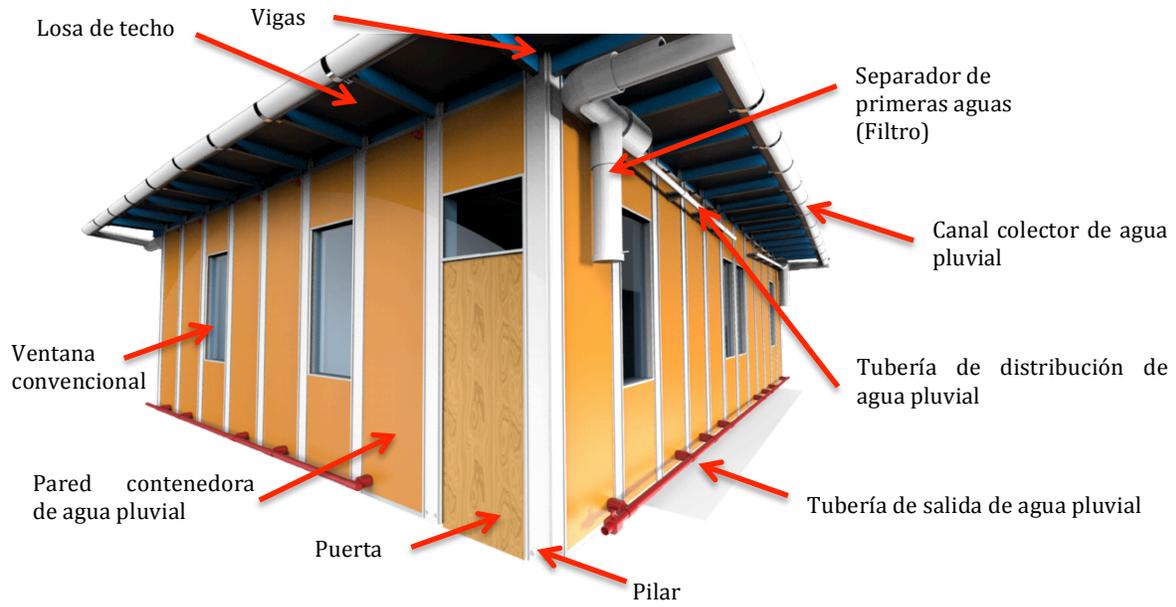


Fig. 5. Componentes generales del SCCAP.

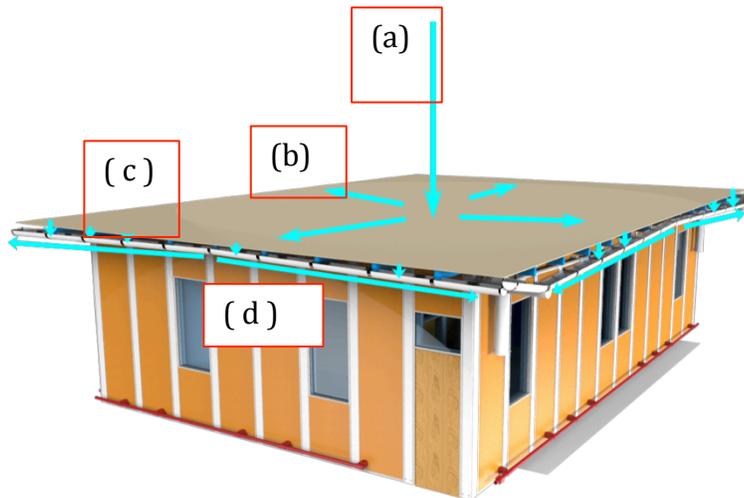


Fig. 6. Manejo de agua en una vivienda fabricada con el Sistema constructivo propuesto pasos (a) al (d).

- e) Los separadores de primeras aguas atrapan la primer porción de agua de lluvia, la cual arrastra la mayor parte de suciedad acumulada en la atmósfera y en el techo de la vivienda, además de filtrar los pequeños objetos que logren llegar a este punto.
- f) Una vez capturada la primer porción de agua, los separadores le agregan cloro como desinfectante y conducen el resto al tubo de distribución que se encarga de repartirla, por gravedad, hacia el interior de las paredes equipadas con cisternas.
- g) El agua cae dentro de las cisternas flexibles al interior de los muros.
- h) Las cisternas flexibles están conectadas en su punto más bajo por medio de un tubo, para garantizar el llenado parejo de cada contenedor, del cuál el usuario extrae el agua para su beneficio mediante una sencilla filtración con carbón activado (filtra partículas suspendidas en el agua y elimina el cloro agregado en el separador).

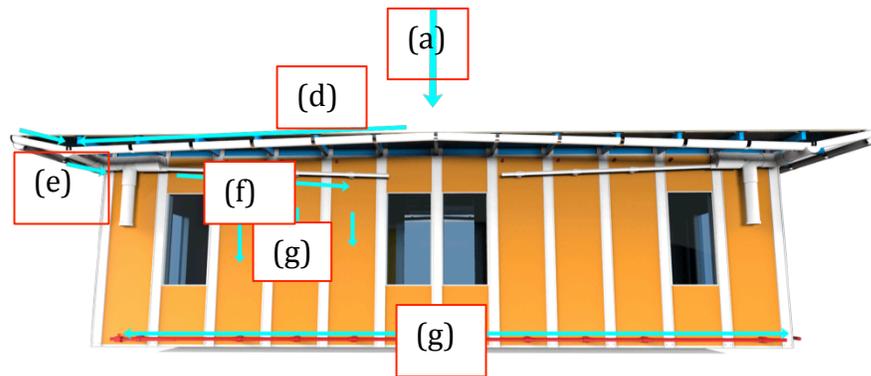


Fig. 7. Manejo de agua en una vivienda fabricada con el Sistema constructivo propuesto pasos (e) al (g).

El sistema constructivo está conformado por: 7 piezas diferentes diseñadas para ensamblarse a manera de rompecabezas y formar un módulo (largo:1m, alto:3.5m, ancho:0.12m) de pared cisterna, ventana o puerta, según se requiera; otras 3 piezas diferentes son necesarias para conformar el techo; un diseño de separador de primeras aguas mediante la implementación de tubos y conexiones de PVC estándar; el fijado de las piezas se hace con 12 tornillos por cada módulo y 8 más por cada metro cuadrado de techo construido.

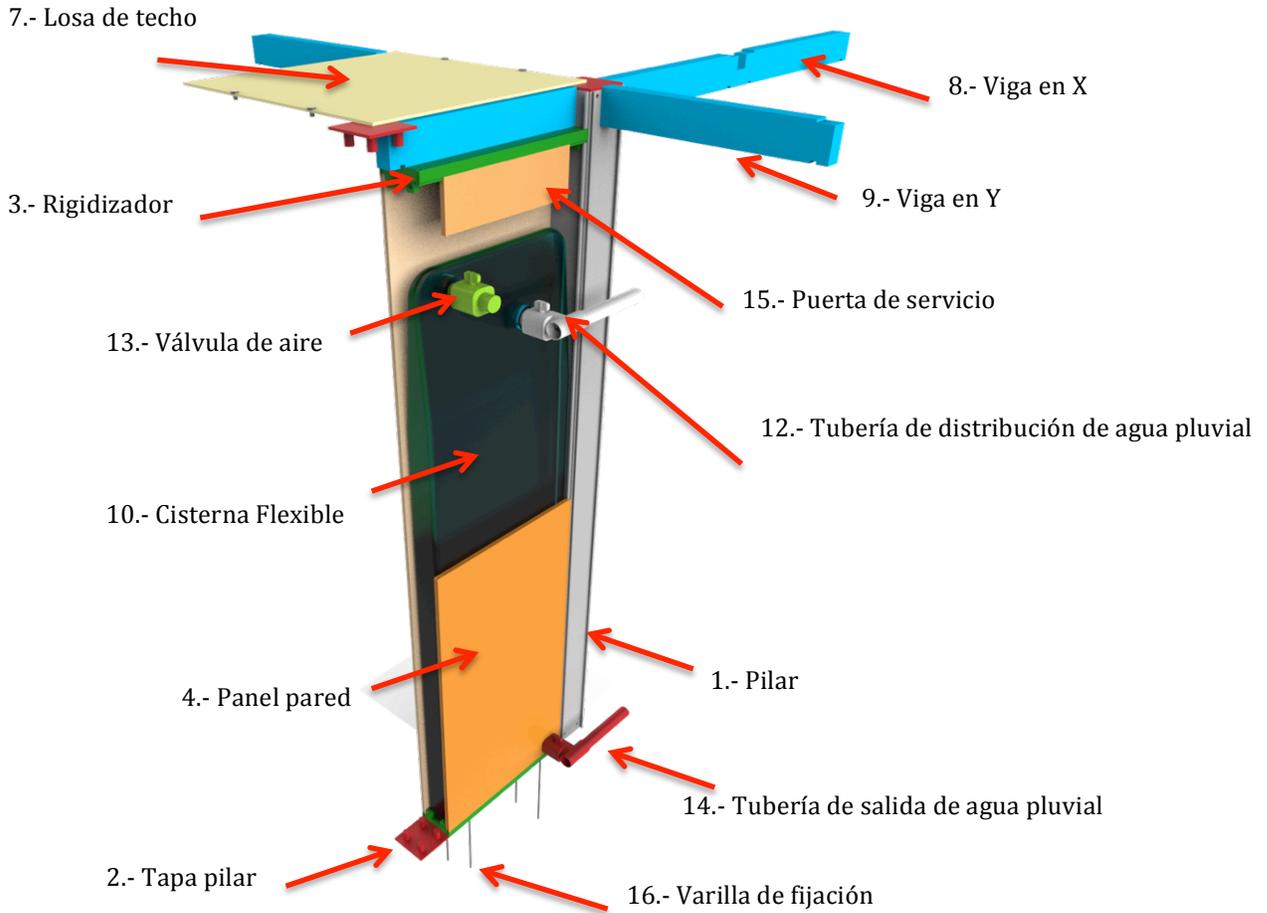


Fig. 8. Partes del Sistema Constructivo para la Cosecha de Agua Pluvial.

Pieza	Dimensiones (metros)	Volumen ocupado (m ³)	Peso (kg)
1.- Pilar	0.18x0.18x3.47	0.11242	63.850
2.- Tapa/unión	0.18x0.18x0.07	0.00048	0.663
3.- Rigidizador	0.04X0.98X0.16	0.00623	8.593
4.- Panel pared	0.02x0.98x1.6	0.0314	21.271
5.- Soporte vertical	0.02x0.18x2.1	0.0035	4.833
6.- Soporte horizontal	0.02x0.98x0.18	0.0076	10.357
7.- Losa	0.02x0.98x0.98	0.0192	25.871
8.- Viga en X	0.10x0.40x0.98	0.0392	53.704
9.- Viga en Y	0.10x0.40x0.98	0.0392	53.704
10.- Cisterna Flexible	0.14x0.98x2.5	0.2881	-----
11.- Separador de aguas	-----	-----	-----
12.- Tubería de distribución de agua pluvial	-----	-----	-----
13.- Válvula de aire	-----	-----	-----
14.- Tubería de salida de agua pluvial	-----	-----	-----
15.- Puerta de servicio	-----	-----	-----
16.- Varilla de fijación	1cm de diámetro.	-----	-----

Tabla 6. Dimensiones de piezas del Sistema Constructivo para la Cosecha de Agua Pluvial.

9.8 Método de ensamble

El sistema de construcción se edifica de manera decente, es decir, las piezas se ensamblan en orden, comenzando desde el suelo y culminando en el techo. El módulo de pared cisterna comienza su construcción al colocar sobre el suelo la Tapa pilar,(2), junto al Rigidizador, (3), el Pilar (1) se apoya en la Tapa y al mismo tiempo embona con el rigidizador, posteriormente se fija con dos tornillos, como se muestra en la siguientes figuras:

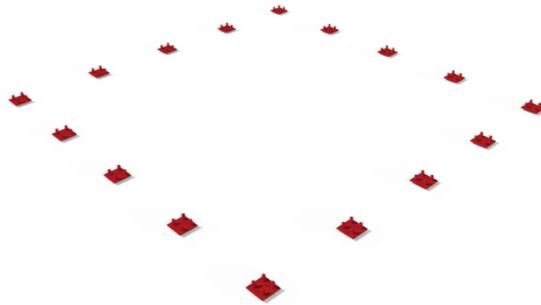


Fig. 9. Base de pilares.

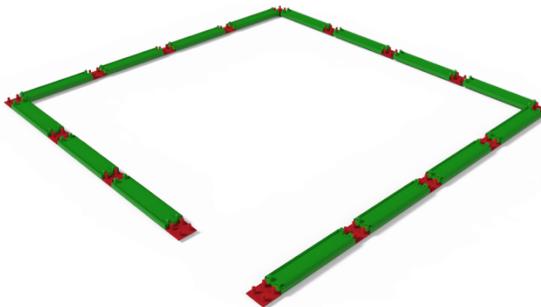


Fig. 10. Base de pilares y Rigidizadores inferiores.

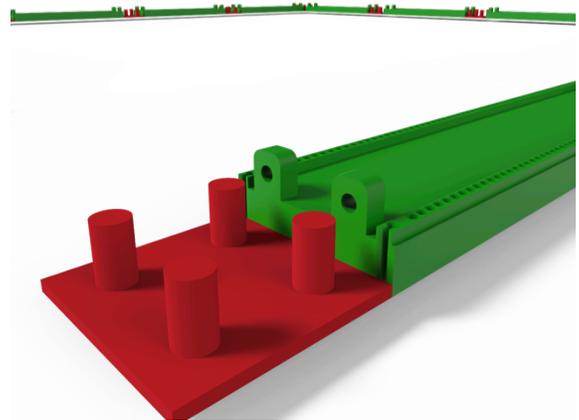


Fig. 11. Detalle de Base de pilar y Rigidizador.

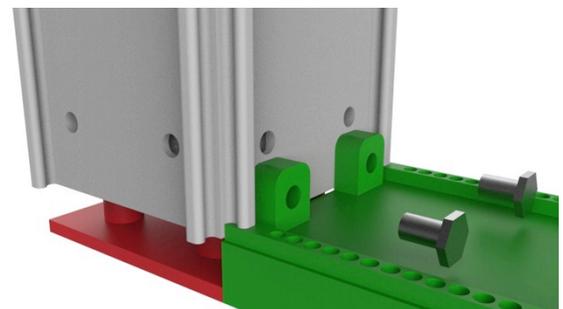


Fig. 12. Ensamble Pilar(gris), Tapa (rojo) y Rigidizador (verde).

Se repite la acción al poner otro pilar con su respectiva tapa al lado opuesto del rigidizador. Para fijar la estructura al suelo se insertan trozos de varilla de 1cm de diámetro, éstas entran justas atreves de los orificios del rigidizador (los cuales coinciden con los orificios en el Panel). Subsecuentemente, se deslizan dos Paneles de pared,(4), sobre las “guías” o carriles de los pilares, de la misma manera que se hizo con el Rigidizador, Fig. 13,14,15 y 16.

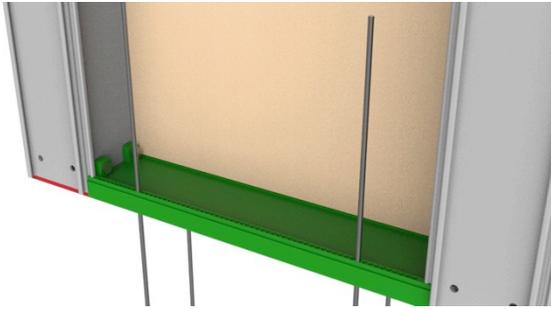


Fig. 13. Inserción de Varilla para fijar la estructura al suelo.

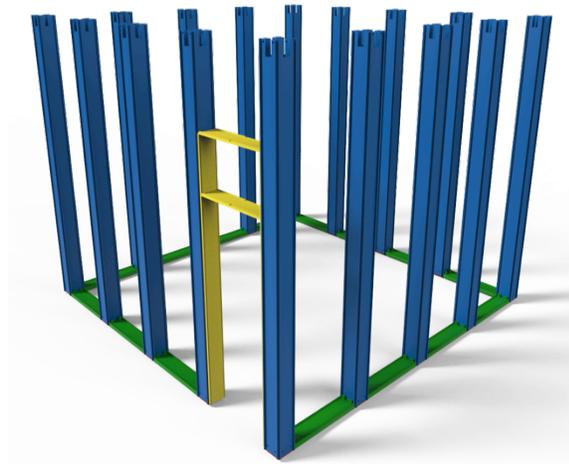


Fig. 15. Colocación de soportes verticales y horizontales para puertas y ventanas.

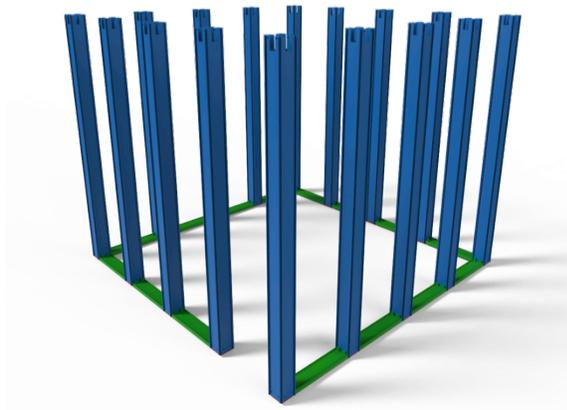


Fig. 14. Pilares sobre Base de pilares embona con el rigidizador.

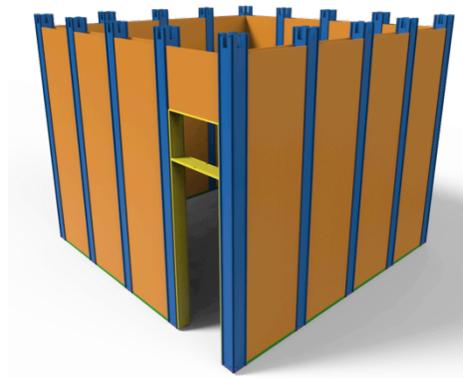


Fig. 16. Colocación de paredes falsas, embonando con los pilares.

En este punto se coloca la Cisterna Flexible, (10), y otro Rigidizador para completar el módulo, Fig. 18. Una vez colocados todos los muros de la casa se procede a la instalación del techo, empezando por las Vigas en X,(8), Fig. 17 y 19, que están seccionadas para ajustarse a la corona del Pilar, Fig. 13, mediante muescas en la Viga y el Pilar que evitan el deslizamiento entre ambas piezas.

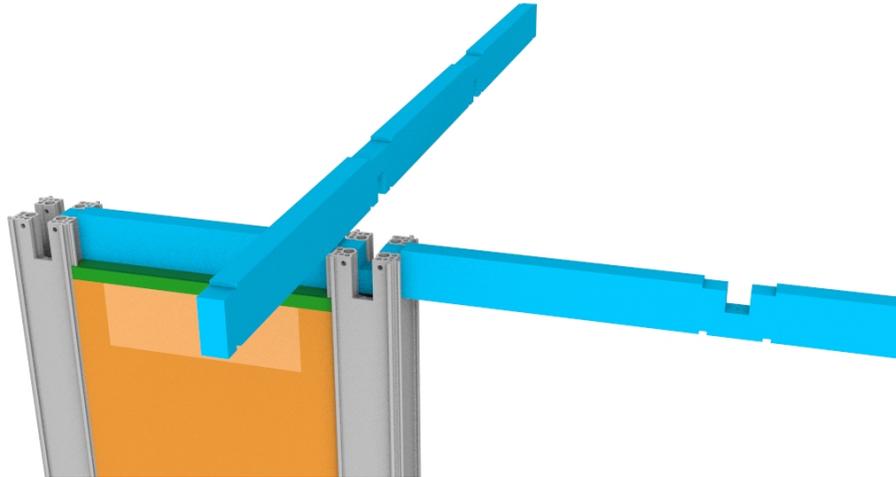


Fig. 17. Ensamble de vigas (azul).

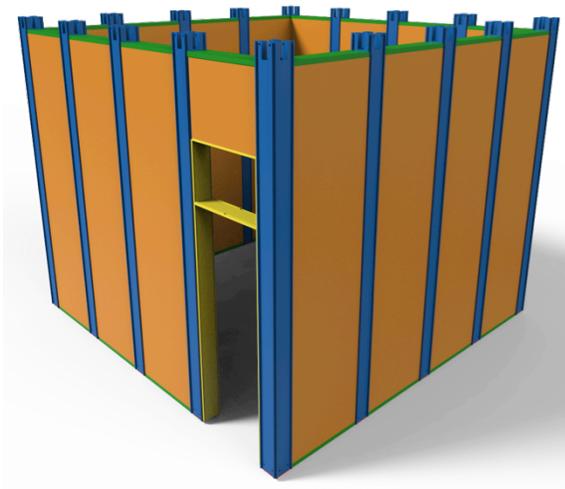


Fig. 18. Instalación de Rigidizadores superiores.

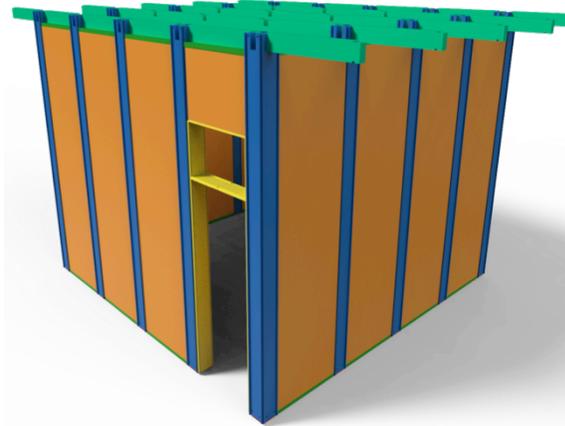


Fig. 19. Instalación de vigas en "X".

Posteriormente, se colocan las Vigas en "Y", (9), Fig. 20, haciendo coincidir las muescas de las vigas formando un plano entre sus superficies, únicamente interrumpido por el espacio que ocupará la Tapa de pilar. Se colocan Tapas en cada intersección entre Viga "X" y "Y", y se fijan a los Pilares con cuatro tornillos, Fig. 21.

Es necesario colocar y atornillar las Losas de techo, (7), en la cuadrícula formada por las vigas. En los casos donde se requiere la instalación de ventanas y puertas, en vez de colocar una Cisterna Flexible, se utilizan los soportes horizontales y verticales,(5,6), acondicionando el espacio para la implementación de sistemas convencionales de ventanas y puertas.

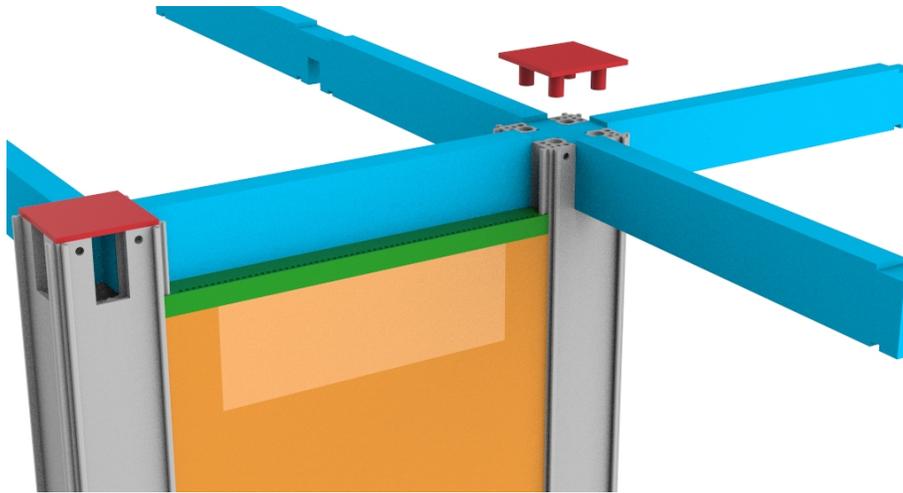


Fig. 20. Colocación de Tapas.

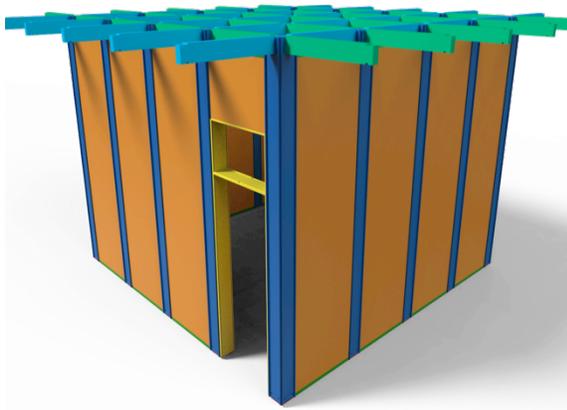


Fig. 21. Instalación de vigas en "Y".

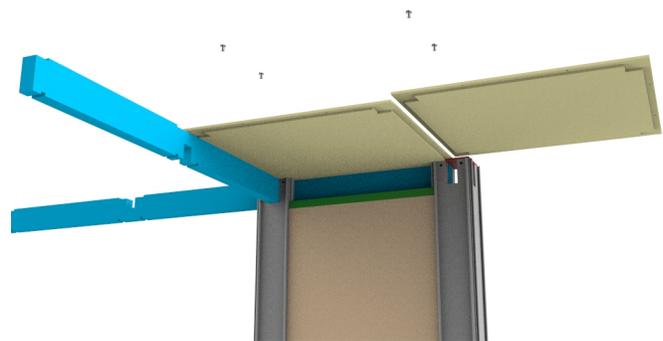


Fig. 22. Colocación de Losa de techo.

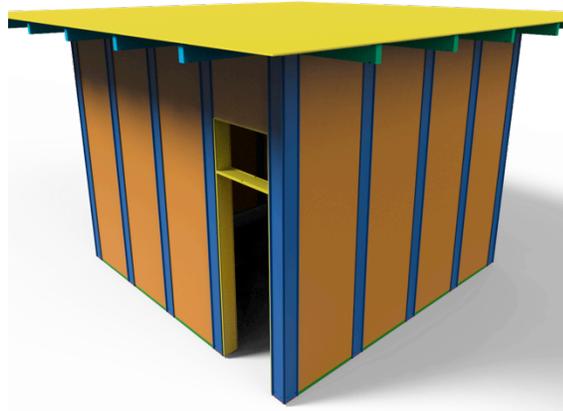


Fig. 23. Colocación de Techo.

Para que la vivienda sea capaz de recolectar y almacenar el agua de lluvia, es necesario la instalación de los Canales colectores, Fig. 24, así como del Separador de primeras aguas, Fig. 25, la tubería de distribución para los módulos que sí contengan Cisterna Flexible, Fig. 26, y la tubería inferior o salida del agua almacenada, Fig. 27.

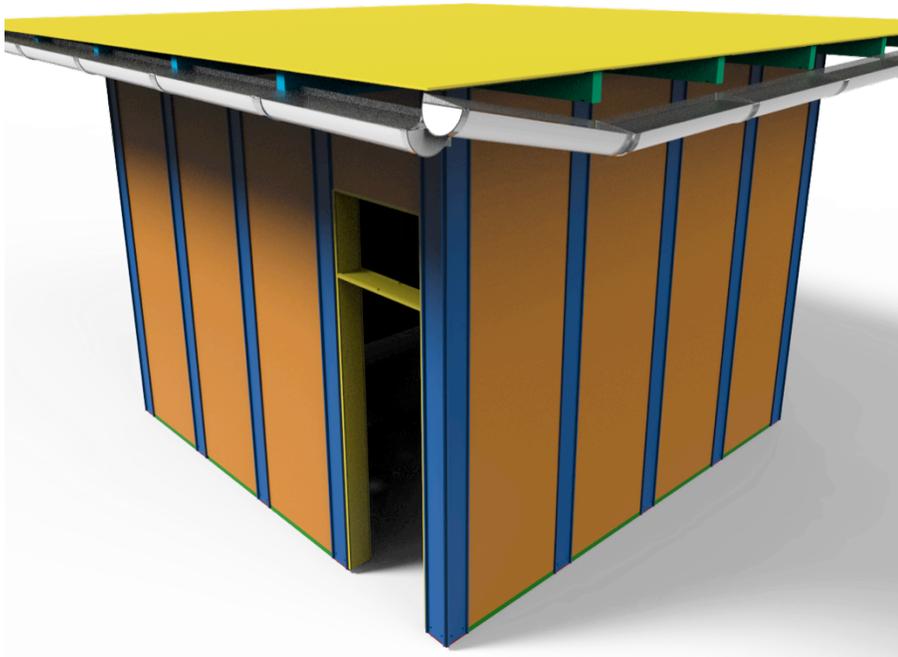


Fig. 24. Colocación de Canaletas recolectoras.



Fig. 25. Instalación del Separador de primeras aguas.



Fig. 26. Instalación de Tubo de distribución.



Fig. 27. Instalación de Tubo inferior, línea de extracción del agua almacenada.



Fig. 28. Colocación de puertas y ventanas convencionales sobre los soportes verticales (Amarillo).

La tubería roja, es una tubería que conecta todas las Cisternas Flexibles, representa una línea hidráulica isóbara, lo cual permite que el nivel de agua acumulada mantenga el mismo nivel en todas las Cisternas, y es en esta de dónde se extrae o usa el agua acumulada.



Fig. 29. Ubicación de Cisternas Flexibles; detalle de sistema de doble pared falsa.

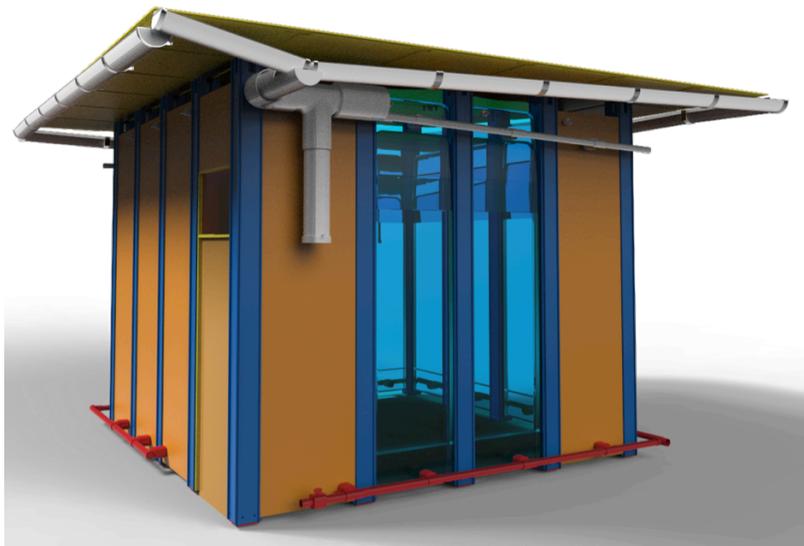


Fig. 30. Detalle de conexión de Cisterna Flexible.

Las Cisternas Flexibles se solicitan directamente a un proveedor de cisternas flexibles (usualmente fabricadas para casas rodantes y yates) bajo los requerimientos geométricos y presión de trabajo resultantes de este trabajo. En las siguientes figuras se muestran detalles del ensamble y el sistema de captación y almacenamiento; ubicación y disposición de las Cisternas Flexibles y la tubería que los conecta:

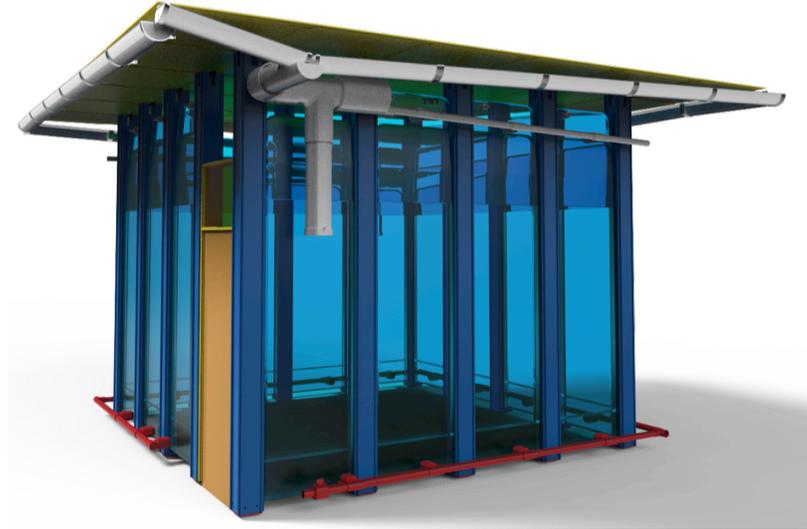


Fig. 31. Muestra de ubicación y conexión de sistema de captación y almacenamiento de agua pluvial, frontal.

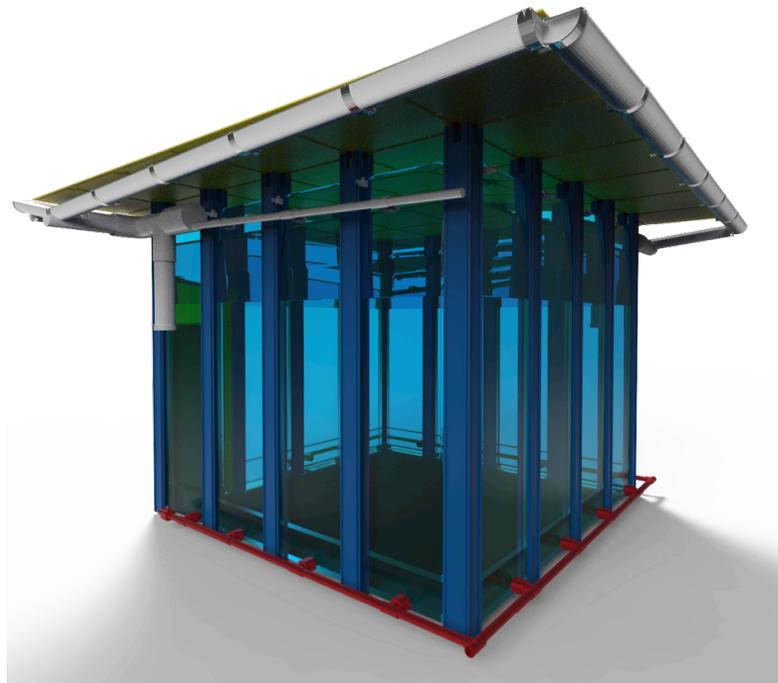


Fig. 32. Muestra de ubicación y conexión de sistema de captación y almacenamiento de agua pluvial, trasera.

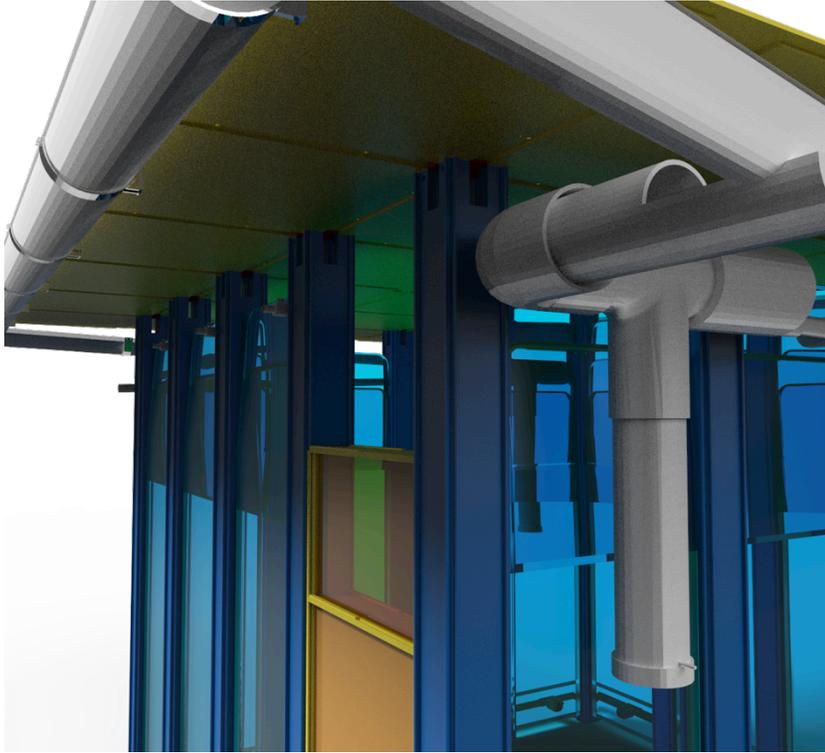


Fig. 33. Detalle de Separador de primeras aguas y disposición de los Respiraderos para las Cisternas Flexibles.

9.9 Diseño mecánico

El diseño mecánico de las piezas para el sistema constructivo, se realizó en paralelo al diseño para ensamble y diseño para manufactura; teniendo como meta la elaboración de geometrías fáciles de fabricar, transportar, manipular y ensamblar: por lo que la geometría de las partes es en su mayoría rectangular.

El primer paso para determinar las dimensiones de las piezas del sistema constructivo fue establecer un grosor adecuado para la pared; uno que permitiera almacenar suficiente agua como para sobrellevar los meses secos sin rebasar el rango convencional de grosor de pared, por lo que se eligió como parámetros el grosor del tabique rojo ó convencional y tabique de adobe, 12 y 24 cm correspondientemente. Esto con el fin facilitar el uso de técnicas de diseño y construcción arquitectónico actuales.

El grosor seleccionado es de 18cm, 50% más que el ladrillo común. 14cm para almacenar agua y 4 cm de material de construcción, PET. Al determinar el grosor de la pared queda fijado el perfil de los pilares; cuadrado de 18 cm por lado. La altura del pilar se fijó en 3.5 metros, pues el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México dispone una altura máxima de 4 metros para construcciones que no requieren inspección certificada de un ingeniero o arquitecto, esto para promover la autoconstrucción (parte principal del objetivo de diseño del sistema constructivo), a la vez que se deja un claro de medio metro para permitir colocar un techo adicional con pendiente, a dos o cuatro aguas, para mejorar la eficiencia del sistema de captación de agua pluvial.

Con el fin de reducir el peso del pilar se le retiró material al centro de la pieza, dado que las solicitaciones internas de la pieza se dan en menor medida en su eje neutro, se procedió a retirar material en forma de cilindros con un patrón circular, comenzando en el centro con un cilindro de gran tamaño en proporción a los cilindros subsecuentes que lo rodean, presentados en órbitas. La distribución de los cilindros y sus diámetros se obtuvieron gráficamente para optimizar la cantidad de material retirado(entre mayor sea la cantidad de material retirado, mejor), dejando una distancia mínima de 5mm entre cilindro y cilindro y/o la cara externa del pilar, como se muestra en la Fig. 35 . El arreglo consta de cinco órbitas, cuyos radios y el número de círculos se muestran en la Tabla:

Al retirar 189.69 cm^2 del perfil del pilar se deja con 134.31 cm^2 de material, reduciendo el peso de la pieza en 58%, dando un peso final de 63.85 kg. Esta reducción en peso conlleva a una reducción en la capacidad de carga del pilar en la misma proporción, dando una capacidad de carga final de 26.86 KN para una deformación de 0.001.

Órbita	Radio cm	# Círculos	Área circulo cm ²	Área total por órbita cm ²
1	5	1	78.54	78.54
2	1.5	12	7.07	84.82
3	0.75	8	1.77	14.14
4	0.6	8	1.13	9.05
5	0.5	4	0.78	3.14
Área total retirada cm ²				189.69

Tabla 7. Número de órbita, radios y cantidad de círculos por órbita.

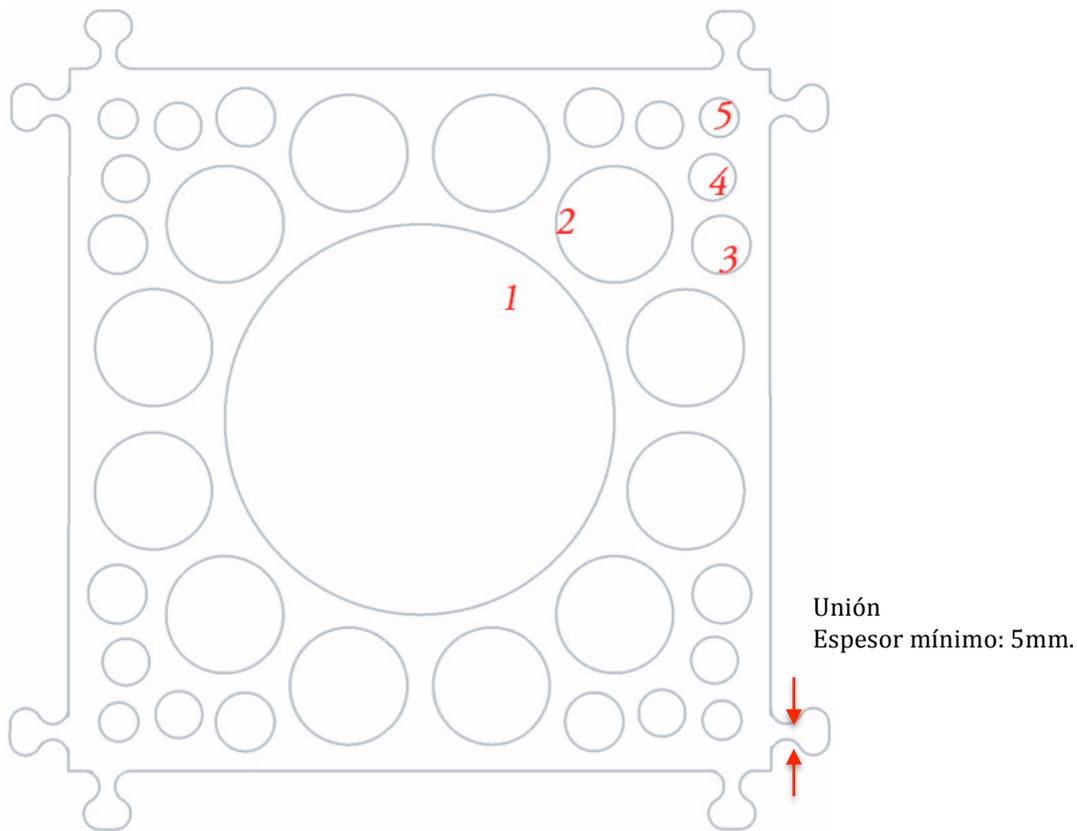


Fig. 34. Perfil del Pilar, con órbitas de material removido en forma de cilindro.

El valor de deformación $\epsilon=0.001$, se estableció como valor parámetro para la deformación aceptable, y de esta manera se calculó la capacidad de carga del pilar fabricado de PET, pues el PET puede resistir mayor esfuerzo máximo de compresión pero sufriendo una gran deformación; para que el comportamiento de una casa de PET sea similar a una de concreto debe presentar una rigidez equivalente, por lo que este parámetro se utilizó a lo largo de los cálculos desarrollados para determinar la rigidez del sistema constructivo.

Perfil del pilar: cuadrado de 18 cm por lado.	Esfuerzo máximo a compresión	Deformación	Esfuerzo resistido por el pilar con una deformación de 0.001	Carga máxima resistida por el pilar	Peso del pilar
Pilar de PET Sólido	80 MPa	0.04	2 MPa	64.8 kN	152 kg
Pilar de PET optimizado	80 MPa	0.001	2 MPa	26.86 kN	63.85 kg
Pilar de concreto	20 MPa	0.001	20 MPa	648 kN	272 kg

Tabla 8. Determinación de la carga máxima para un pilar fabricado de PET.

A continuación se presentan los cálculos realizados durante el diseño del Sistema Constructivo Para la Cosecha de Agua de Lluvia, cabe mencionar que estos no pretenden ser un análisis estructural en forma.

La capacidad de carga a compresión de 26.86 kN se obtuvo a partir de las dos definiciones de esfuerzo (σ): una que relaciona la fuerza (F) con el área de aplicación (A), Eq. 4; y otra, donde se relaciona el módulo elástico o módulo de Young (E), con la deformación (ϵ), Eq. 5.

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \text{Eq. 4}$$

$$\sigma = E\epsilon \quad \text{Eq. 5}$$

El módulo de Young (E), Eq. 6, es un valor característico del material, mientras que la deformación (ϵ), es una deformación ingenieril dada por la Eq. 7. Al estar determinada la deformación se obtuvo el esfuerzo máximo soportado para dicha deformación, Eq. 8; después, se calculó la magnitud de la fuerza que ocasiona el esfuerzo máximo, Eq. 9 y 10, ya que se conoce el área transversal del pilar y el módulo elástico del PET.

$$E = 2 \times 10^9 [Pa] \quad \text{Eq. 6}$$

$$\epsilon = \frac{\text{longitud}_{final} - \text{longitud}_{inicial}}{\text{longitud}_{inicial}} \quad \text{Eq. 7}$$

$$\sigma_{\substack{\text{pilar} \\ \text{compresión} \\ \epsilon=0.001}} = (2 \times 10^9 [Pa])(0.001) = 2,000,000 [Pa] = 2 [MPa] \quad \text{Eq. 8}$$

$$F = \sigma A \quad \text{Eq. 9}$$

$$F_{\text{pilar compresión}} = \sigma A = (2,000,000 [Pa])(0.013431 [m^2]) = 26,862 [N] \approx 26.86 [kN] \quad \text{Eq. 10}$$

Para obtener la carga sobre los pilares, se calculó el peso total (incluyendo el peso muerto y una columna de agua de 5 cm) de 16 m² de techo, Eq. 11 y 12: con una configuración de 4x4m y 16 pilares, uno por cada metro lineal de construcción. El peso total se dividió entre el número de pilares, Eq. 13. Se utilizó esta configuración porque el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México, indica una distancia máxima de voladizo para las vigas de cuatro metros entre soportes, por lo que los cálculos se hacen con los valores máximos de diseño.

$$Carga_{\text{total}} = Carga_{\text{muerta}} + Carga_{\text{viva}} = g \text{Área}_{\text{techo}} (w_{\text{material}} + w_{\text{agua}}) \quad \text{Eq. 11}$$

$$Carga_{\text{total}} = \left(9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) (16 [m^2]) \left(\left(50 \left[\frac{kg}{m^2}\right]\right) + \left(50 \left[\frac{kg}{m^2}\right]\right) \right) = 15680 [N] \approx 15.7 [kN] \quad \text{Eq. 12}$$

$$Carga \text{ por pilar} = \frac{\text{carga total}}{\text{número de pilares}} = \frac{15.7 [kN]}{16} = 980 [N] \approx 1 [kN] \quad \text{Eq. 13}$$

Al tener la carga por pilar, de 1 kN, se calculó la deflexión máxima en las vigas del techo para dos casos: considerando una carga distribuida y uniforme, Eq. 16, y una carga concentrada y puntual al centro del techo, Eq. 15, la viga se consideró simplemente apoyada. Fue necesario obtener el segundo momento de inercia (I) correspondiente a la geometría de la viga, Eq. 14.

$$I_{\text{viga}} = \frac{(bh^3)}{12} = \frac{(0.1 [m])(0.2[m])^3}{12} = 6.7 \times 10^{-5} [m^4] \quad \text{Eq. 14}$$

$$v_{\text{viga max puntual}} = \frac{-PL^3}{48EI_{\text{viga}}} = -\frac{(2000 [N])(4[m])^3}{48(2 \times 10^9 [Pa])(6.7 \times 10^{-5} [m^4])} = -0.02 [m] \quad \text{Eq. 15}$$

$$v_{\text{viga max distribuida}} = \frac{-5wL^4}{384EI_{\text{viga}}} = -\frac{5 \left(500 \left[\frac{N}{m}\right]\right) (4 [m])^4}{384(2 \times 10^9 [Pa])(6.7 \times 10^{-5} [m^4])} = -0.012 [m] \quad \text{Eq. 16}$$

Se prosiguió a calcular el momento sobre los pilares. Tomando como brazo palanca(L) la mitad de la distancia entre pilares, es decir dos metros, Eq. 17.

$$M_0 = FL = (1 [kN])(2 [m]) = 2 [KNm] \quad \text{Eq. 17}$$

Los valores obtenidos fueron el punto de comparación para determinar si el diseño tendría un comportamiento adecuado y dentro de los valores requeridos, dicho de otra manera, si la capacidad tanto de carga a compresión como de momento flexionante, presentados por la pared, resisten la carga y momento solicitado debido al peso del techo con una deflexión del 1%, ó 3.5cm, o menos, tendrá el desempeño esperado. Para obtener el momento sobre el pilar, Eq. 20, se despejó de la Eq. 18; para esto se obtuvo el segundo momento de inercia para el pilar, Eq. 19, de manera simplificada al se considerarse como un tubo de perfil cuadrado.

$$v_{max} = \frac{-M_0 L^2}{2EI_{pilar}} \quad \text{Eq. 18}^1$$

$$I_{pilar} = \frac{a^4 - b^4}{12} = \frac{(0.18[m])^4 - (0.116[m])^4}{12} = 7.24 \times 10^{-5} [m^4] \quad \text{Eq. 19}$$

$$M_{pilar} = \frac{2EI_{pilar}v_{max}}{L^2} = \frac{2(2 \times 10^9 [Pa])(7.24 \times 10^{-5} [m^4])(0.035[m])}{(3.5[m])^2} = 827.43 [Nm] \quad \text{Eq. 20}$$

De manera independiente se calculó el momento resistido por el *bastidor* (conjunto vertical formado por paredes falsas y rigidizadores), Eq. 22, el cual se consideró como una sola pieza, para así determinar el momento total que es capaz de resistir el muro del sistema constructivo en cuestión. Para calcular el segundo momento de inercia del Bastidor, Eq. 21, se tomaron en cuenta las dos paredes falsas y un grosor de pared lateral (Pilar) de 2cm (en vez de tomar los 18cm del grosor del Pilar, pues se desea conocer la capacidad del Bastidor, dejando la resistencia del Pilar para su cálculo individual, Eq. 20)

$$I_{Bastidor} = \frac{(BH^3) - (bh^3)}{12} = \frac{((1.02 [m])(0.18 [m])^3) - ((0.98 [m])(0.14[m])^3)}{12} = 2.7 \times 10^{-4} [m^4] \quad \text{Eq. 21}$$

$$M_{bastidor \text{ sobre } x} = \frac{2EI_{bastidor}v_{max}}{L^2} = \frac{2(2 \times 10^9 [Pa])(2.7 \times 10^{-4} [m^4])(0.035[m])}{(3.5[m])^2} = 3,085.7 [Nm] \approx 3.1 [kNm] \quad \text{Eq. 22}$$

¹ Las ecuaciones de momento flexionante, deflexión y fuerza: Eq. 15, 16 y 18; se extrajeron del libro "Structural Analysis" de R. C. Hibbeler, Octava edición.

A continuación se presenta la suma de los momentos resistidos por el pilar y el bastidor de manera conjunta, el cual excede al valor del momento solicitado:

$$M_0 = 2 \text{ [KNm]} \leq M_{\substack{\text{pilar} \\ v=0.035m}} + M_{\substack{\text{bastidor sobre } x \\ v=0.035m}} = 0.82 \text{ [kNm]} + 3.1 \text{ [kNm]} = 3.93 \text{ [KNm]} \quad \text{Eq. 23}$$

Posteriormente se calculó la carga lateral resistida en dirección paralela a los ejes "X" y "Y", al despejar la carga (P), Eq. 25, de la ecuación de deflexión máxima respecto a una carga puntual en una viga en cantiléver, Eq. 24, puesto que la viga (pilar o bastidor según sea el caso) se considera fija a la tierra y libre en su extremo opuesto:

$$v_{max} = \frac{-PL^3}{3EI_{\text{pilar}}} \quad \text{Eq. 24}$$

$$P_{\substack{\text{pilar en } X \text{ o } Y \\ v=0.035m}} = \frac{3EI_{\text{pilar}}v_{max}}{L^3} = \frac{3(2 \times 10^9 \text{ [Pa]})(7.24 \times 10^{-5} \text{ [m}^4\text{]})(0.035 \text{ [m]})}{(3.5 \text{ [m]})^3} = 354.6 \text{ [N]} \quad \text{Eq. 25}$$

Así mismo se calculó la carga, P, para el bastidor respecto a los ejes "X" y "Y", Eq. 26 y 28. Para el cálculo del segundo momento de inercia del bastidor, respecto al eje "Y", Eq. 27, únicamente se consideró la geometría de la pared falsa, pues como ya se mencionó, la resistencia del Pilar se calculó de manera independiente, es claro que cada Bastidor cuenta con dos paredes por lo que el valor obtenido representa la mitad de capacidad de carga.

$$P_{\substack{\text{bastidor en } Y \\ v=0.035m}} = \frac{3EI_{\text{bastidor en } x}v_{max}}{L^3} = \frac{3(2 \times 10^9 \text{ [Pa]})(2.7 \times 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]})(0.035 \text{ [m]})}{(3.5 \text{ [m]})^3} \approx 1.3 \text{ [kN]} \quad \text{Eq. 26}$$

$$I_{\text{bastidor en } Y} = \frac{(bh^3)}{12} = \frac{(0.02 \text{ [m]})(0.98 \text{ [m]})^3}{12} = 15.7 \times 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]} \quad \text{Eq. 27}$$

$$P_{\substack{\text{bastidor en } X \\ v=0.035m}} = \frac{3EI_{\text{bastidor en } Y}v_{max}}{L^3} = \frac{3(2 \times 10^9 \text{ [Pa]})(15.7 \times 10^{-4} \text{ [m}^4\text{]})(0.035 \text{ [m]})}{(3.5 \text{ [m]})^3} \approx 7.7 \text{ [kN]} \quad \text{Eq. 28}$$

La carga lateral resistida por cada módulo respecto al eje “Y”, Eq. 29, se hizo considerando un solo pilar, pues de esta manera el valor obtenido puede ser multiplicado por el número de módulos utilizados en cada pared y de manera rápida conocer las cargas laterales resistidas por cada construcción:

$$P_{lateral\ en\ Y} = P_{bastidor\ en\ Y} + P_{pilar\ en\ X\ o\ Y} = 1.3 [kN] + 0.35 [kN] = 1.65 [kN] \quad Eq. 29$$

$v=0.035m$ $v=0.035m$ $v=0.035m$

El cálculo de la carga lateral resistida por cada módulo respecto al eje “X”, se hizo bajo la misma consideración que respecto al eje “Y”, Eq. 30:

$$P_{lateral\ en\ X} = P_{bastidor\ en\ X} + P_{pilar\ en\ X\ o\ Y} = 7.7 [kN] + 0.35 [kN] = 10.05 [kN] \quad Eq. 30$$

$v=0.035m$ $v=0.035m$ $v=0.035m$

Una vez se determinó la capacidad de carga del bastidor en dirección a los ejes principales “X”, “Y” y “Z”, se calculó la capacidad interna del módulo para manejar compresión y tensión, pues de esta manera se transmite la carga de un módulo a otro. Tomando en cuenta que el bastidor está constituido por dos paredes falsas y dos rigidizadores (uno superior y uno inferior), se calcularon las cargas a compresión, resistidas lateralmente por el bastidor, y se sumaron, Eq. 31, 32 y 33. La carga resistida a tensión se obtuvo al considerar la resistencia de la unión entre Pilar, Rigidizador y Pared falsa, tomando en cuenta la anchura mínima de 5 mm de la costilla del Pilar que corre a lo alto de esta pieza; al tener dos paredes falsas se consideran dos costillas para este cálculo, Eq. 34.

$$F_{\substack{rigidizador \\ compresión\ en\ X \\ \epsilon=0.001}} = \sigma A_{rigidizador\ en\ X} = (2,000,000 [Pa])((0.06[m])(0.18[m])) = 21,600 [N] \quad Eq. 31$$

$$= 21.6[kN]$$

$$F_{\substack{pared \\ compresión\ en\ X \\ \epsilon=0.001}} = \sigma A_{pared\ en\ X} = (2,000,000 [Pa])((0.02[m])(2.48[m])) = 69,400 [N] \quad Eq. 32$$

$$= 69.4 [kN]$$

$$F_{\substack{bastidor \\ compresión\ en\ X \\ \epsilon=0.001}} = 2F_{\substack{rigidizador \\ compresión\ en\ X \\ \epsilon=0.001}} + 2F_{\substack{pared \\ compresión\ en\ X \\ \epsilon=0.001}} = 2(21.6[kN]) + 2(69.4[kN]) \quad Eq. 33$$

$$= 182 [kN]$$

$$Tensión_{\substack{\epsilon=0.001 \\ unión\ en \\ bastidor\ en\ X}} = 2\sigma A_{unión} = 2(2,000,000 [Pa])((0.005[m])(3.47[m])) \quad Eq. 34$$

$$= 2(34,700 [N]) = 69.4 [kN]$$

Fue necesario hacer el calculo de la capacidad de carga a compresión de la pared falsa, Eq. 35, pues aunque la cisterna flexible va a estar apoyada directamente sobre el rigidizador inferior, la estabilidad de la cisterna vendrá de su sujeción superior al bastidor, por lo que el peso del agua, Eq. 36 y 37, queda soportado parcialmente por el bastidor.

$$F_{\substack{\text{pared} \\ \text{compresión en Z} \\ \epsilon=0.001}} = \sigma A_{\text{pared en z}} = (2,000,000 [Pa])((0.02[m])(0.98[m])) = 39,200[N] \quad \text{Eq. 35}$$

$$= 39.2 [kN]$$

$$P_{\text{cisterna flexible llena}} = \rho_{\text{agua}} \text{volumen}_{\text{agua}} \text{gravedad} \quad \text{Eq. 36}$$

$$P_{\text{cisterna flexible llena}} = \left(1000 \left[\frac{kg}{m^3}\right]\right) (0.14(m) \times 0.98(m) \times 3(m)) \left(9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) = 4 [kN] \quad \text{Eq. 37}$$

Por último se calculó el requerimiento de la presión de trabajo necesaria en la Cisterna Flexible, Eq. 38; para garantizar que la Cisterna Flexible mantenga la geometría requerida; y así las fuerzas dentro del bastidor, debido al efecto de "ensanchamiento" de la Cisterna Flexible, se mantengan al mínimo.

$$Presión_{\text{máxima}} = \rho_{\text{agua}} gh = \left(1000 \left[\frac{kg}{m^3}\right]\right) \left(9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) (3 [m]) = 29,400 [Pa] = 29.4 [kPa] \quad \text{Eq. 38}$$

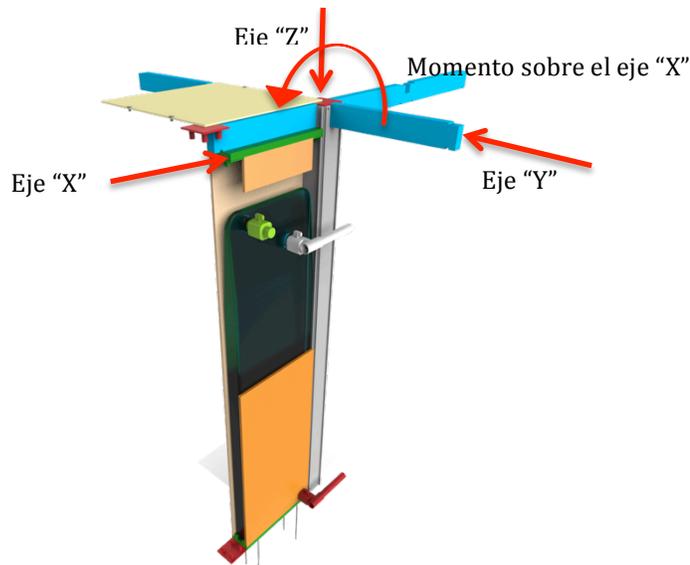


Fig. 35. Esquema de orientación de los Ejes ordenados respecto al Bastidor.

10.- Resultados

Se llegó a un diseño que satisface las necesidades de la población de escasos recursos, al otorgar una estructura que provee de vivienda e infraestructura para la cosecha de agua pluvial, al mismo tiempo que fomenta el reciclado y ayuda a la disminución del deterioro del manto acuífero de la Ciudad de México.

El Sistema Constructivo permite el diseño y construcción de una vivienda en cualquier configuración de terreno, siempre y cuando éste se encuentre nivelado, al estar basado en el uso de bastidores de 1 metro de largo (es esta la resolución máxima de construcción). Es necesario hacer hincapié en que las configuraciones muestra, son una de un sinnúmero de configuraciones posibles a construir con el Sistema Constructivo propuesto, fueron utilizadas para validar el diseño propuesto y obtener la información requerida para la elaboración de este trabajo de desarrollo tecnológico.

Configuraciones muestra

Casa Muestra



Fig. 36. Render de configuración de casa muestra de 80 m² de construcción.

La Casa Muestra consta de 80 m^2 de construcción y un área de captación de 140 m^2 . Cuenta con 39 cisternas flexibles, lo que le da una capacidad de almacenamiento máxima de 13.37 m^3 , suficiente para dotar la totalidad del requerimiento de agua de cuatro personas durante al menos 30 días, y se tiene un potencial de captación de agua pluvial de 98 m^3 al año.

En la Fig. 36 se muestra la Casa Muestra con la implementación de jardines verticales en las paredes de la vivienda. A continuación se presentan una serie de imágenes de la Casa Muestra sin jardines verticales para ilustrar la forma en la que está construida y en la manera que se han distribuido los espacios interiores (para este caso en particular) para respetar la normatividad correspondiente.



Fig. 37. Casa muestra sin jardines verticales.

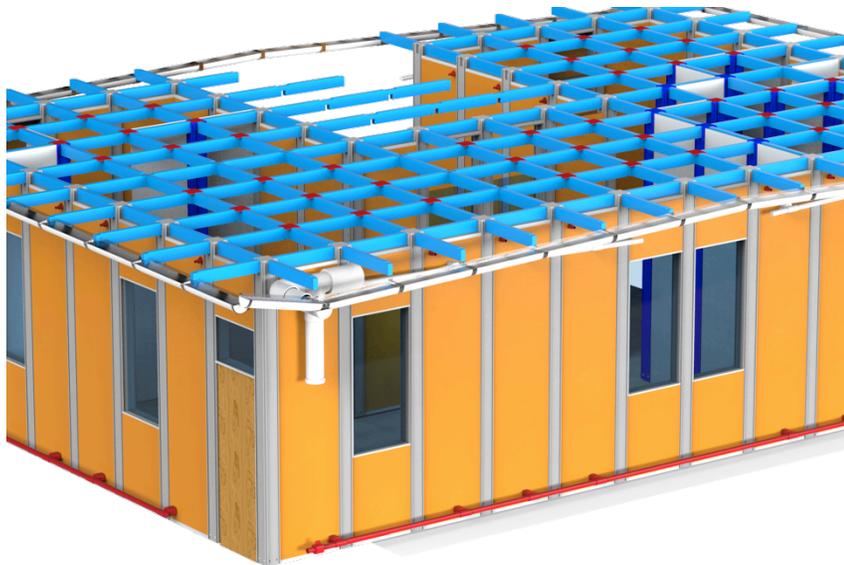


Fig. 38. Casa muestra sin Losa de techo. Se muestran vigas y Tapas colocadas en cada intersección entre vigas "X" y "Y".

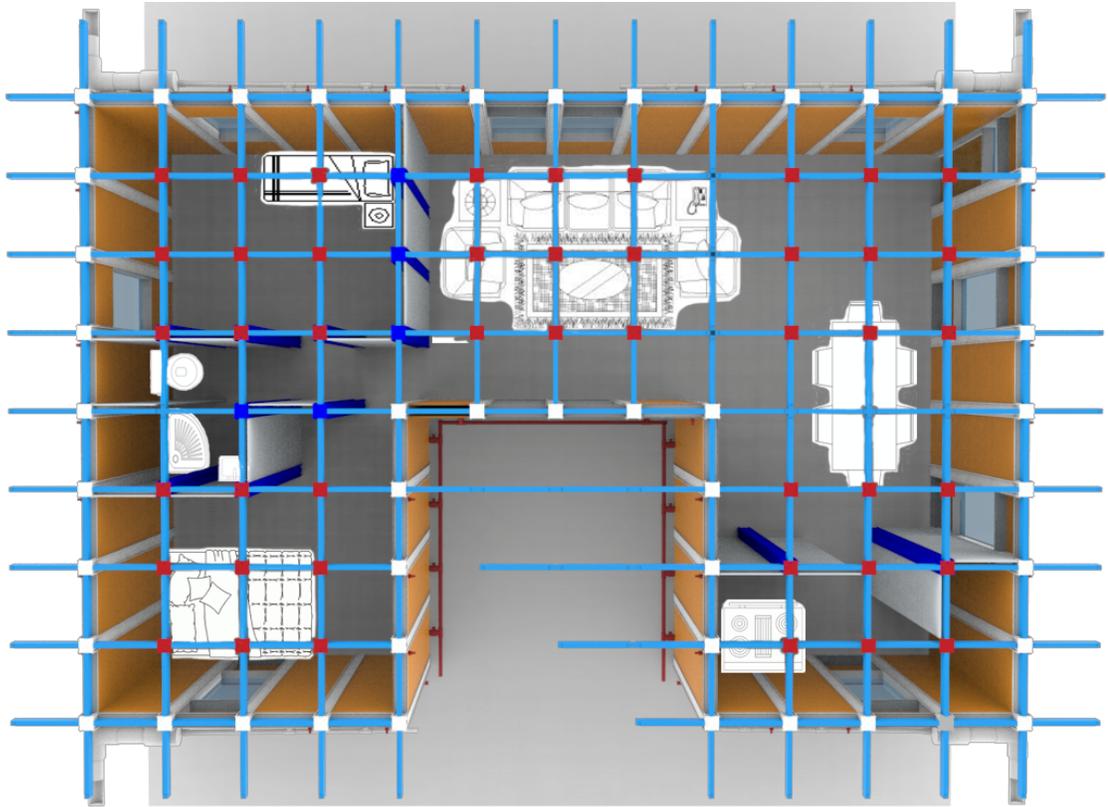


Fig. 39. Vista de planta, sin Loseta de techo, pero sí con vigas y nodos, mostrando la disposición de mobiliario básico. La distancia entre nodos (cuadros rojos) es de un metro.

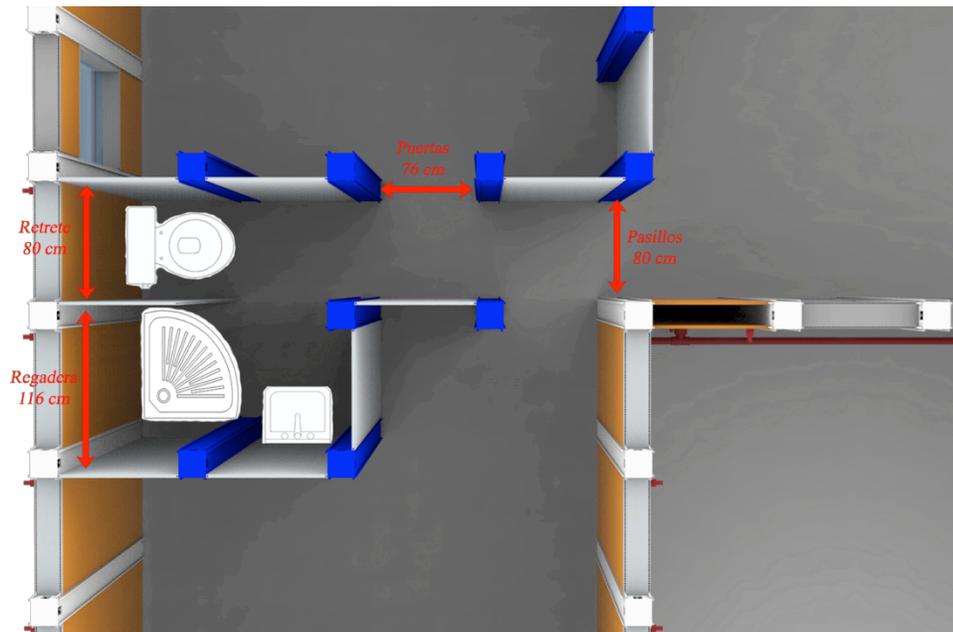


Fig. 40. Detalle de la Casa Muestra vista de planta, comprobando que la distancia de los muebles de baño, puertas y pasillos, son acordes a la normatividad correspondiente.

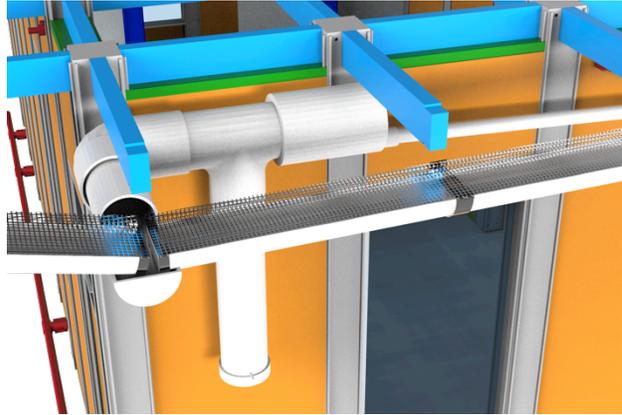


Fig. 41. Detalle de la Canaleta de recolección y Separador de primeras aguas; mostrando maya protectora.

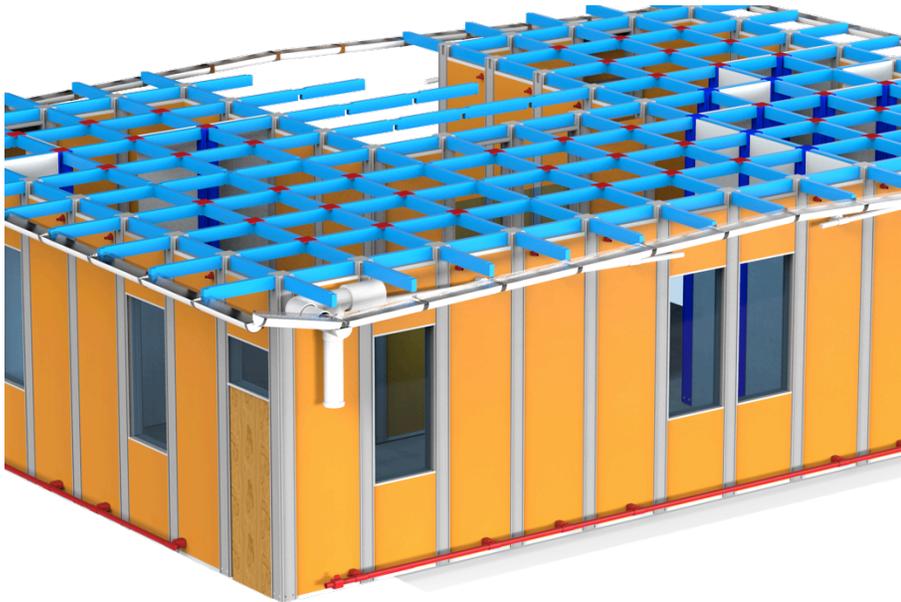


Fig. 42. Vista de la Casa muestra sin Losa de techo.

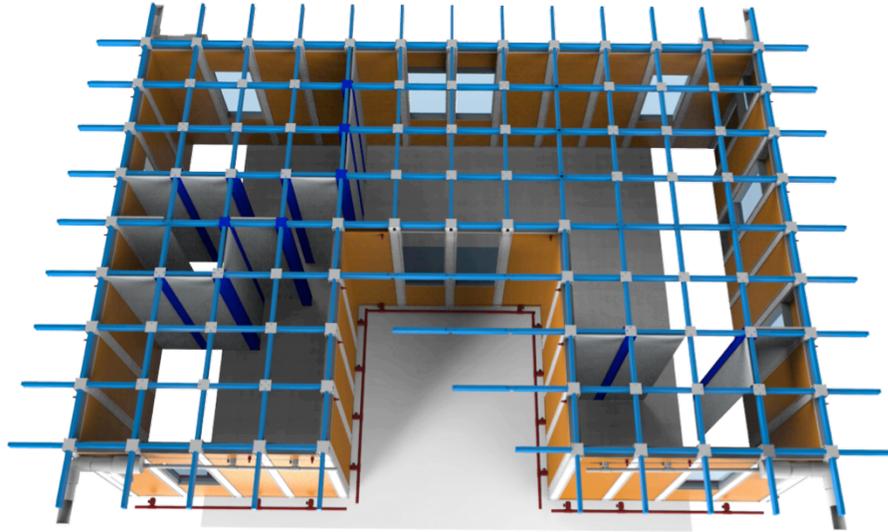


Fig. 43. Vista de la Casa muestra sin Losa de techo; se aprecian las paredes internas en color gris y los pilares en azul.



Fig. 44. Vista de la Casa muestra frente a la puerta de acceso.

Caseta de almacenamiento

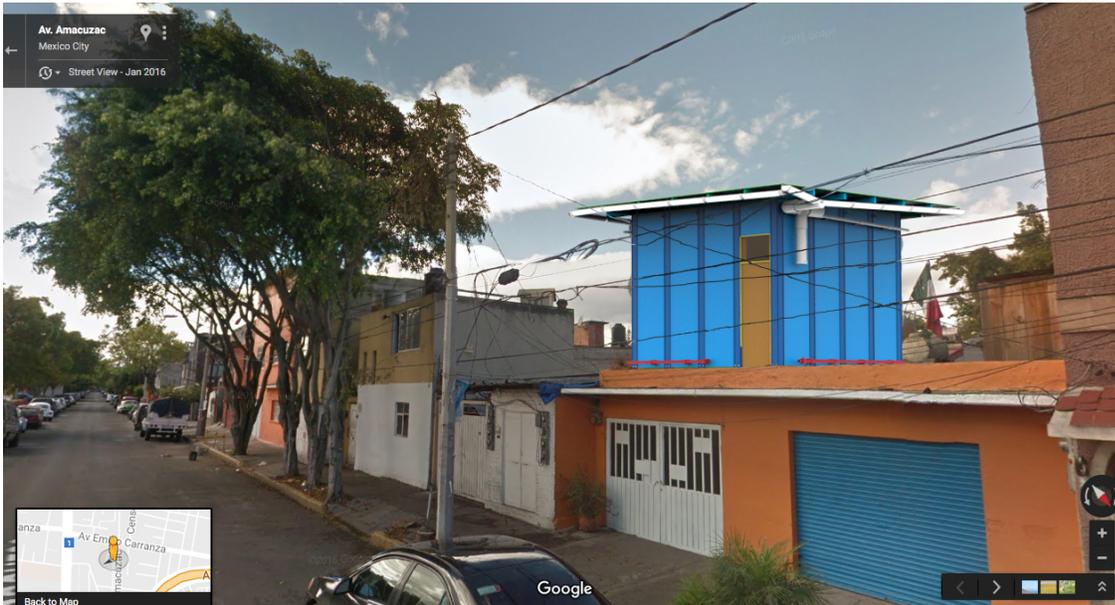


Fig. 45. Render de caseta de almacenamiento instalada sobre edificación existente.

La configuración de caseta muestra para almacenamiento tiene una configuración de 4x4 metros, Fig. 41, con un área de captación de 25 m^2 , cuenta con 15 cisternas flexibles lo que le da una capacidad de almacenamiento máxima de 5.14 m^3 y un potencial de captación de agua pluvial de 9.8 m^3 al año. La caseta no cuenta con separaciones internas.

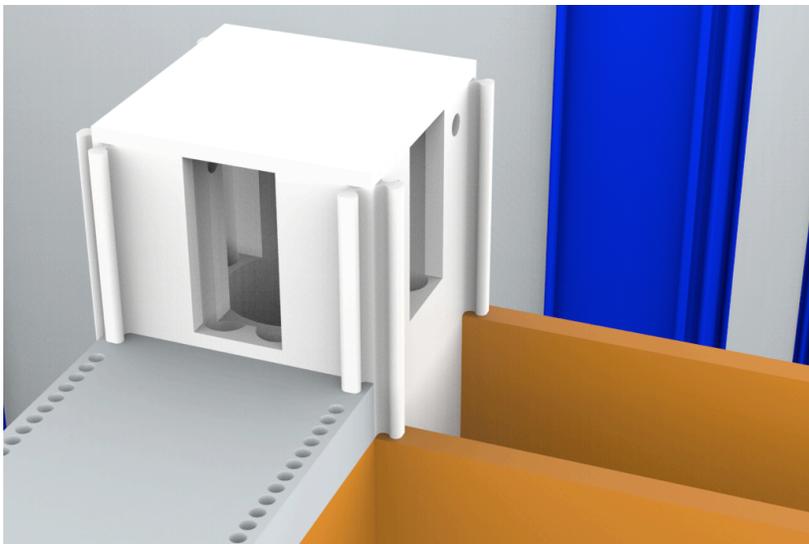


Fig. 46. Detalle de ensamble entre Pilar, Rigidizador y Paredes falsas.

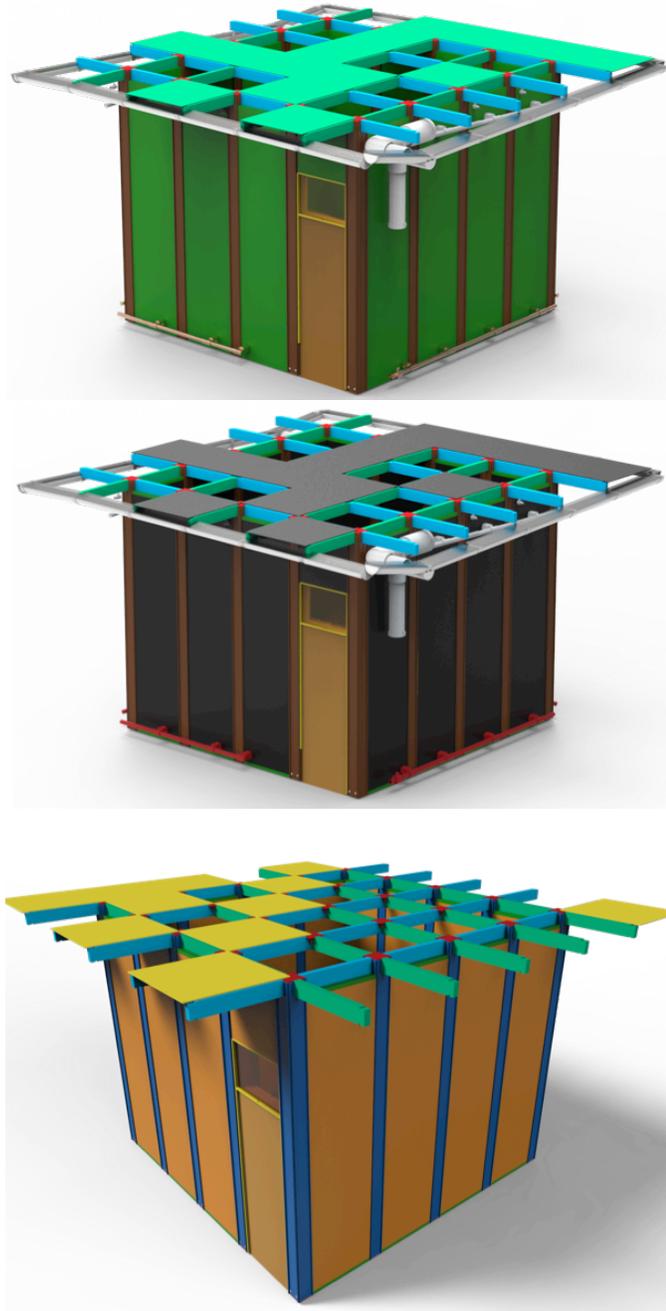


Fig. 47. Variaciones estéticas de la Caseta de almacenamiento; armados con diferente color de piezas.

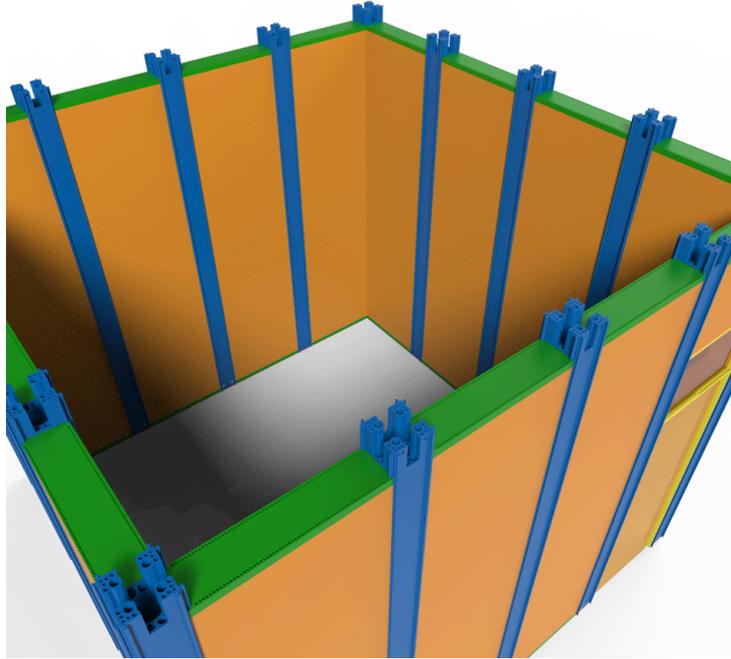


Fig. 48. Detalle de la Caseta de almacenamiento; se aprecian los orificios donde embona la Tapa del pilar, así como los ranuras destinadas a las vigas en la parte superior de los Pilares

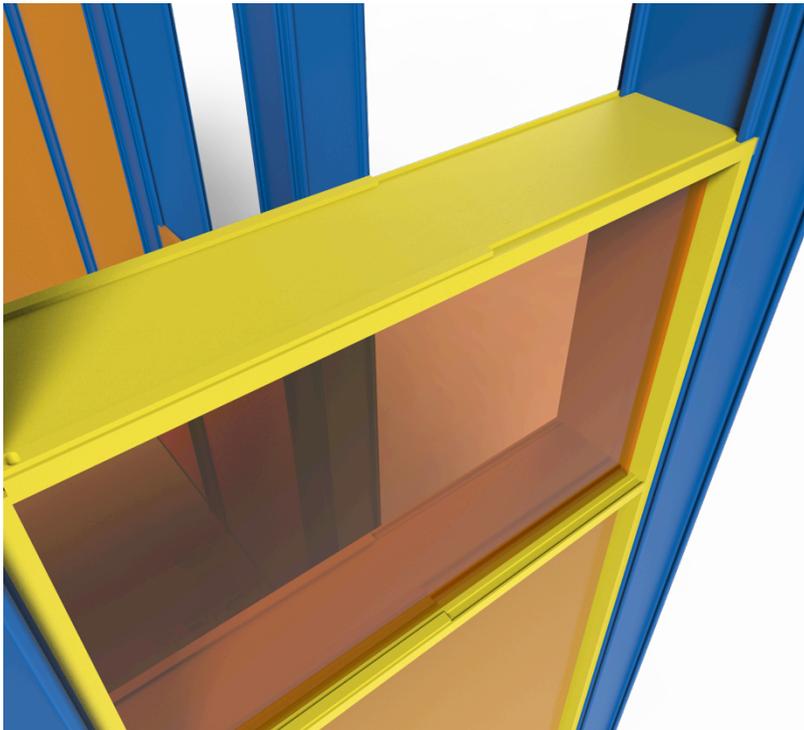


Fig. 49. Detalle de Soportes para ventana y puerta en la Caseta de almacenamiento.

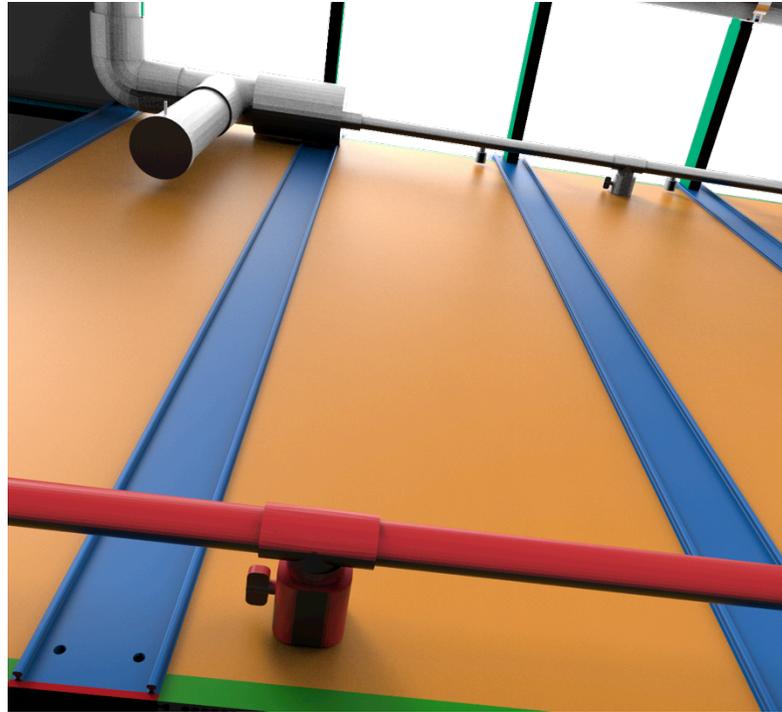


Fig. 50. Vista a contrapicada de la Caseta de almacenamiento; se aprecia la manera en la que están interconectadas las Cisternas flexibles.

En seguida se muestran comparativamente las características principales de las configuraciones muestra:

	Área construida (m ²)	Área de captación (m ²)	# de Cisternas Flexibles	Capacidad máxima de almacenamiento (m ³)	Volumen captado anualmente (m ³)	Peso de la construcción (kg)	Peso promedio de la construcción por metro cuadrado. (kg/m ²)
Casa muestra	80	140	39	13.37	98	21,000	429
Caseta muestra	16	25	15	5.14	9.8	4,629	610

Tabla 9. Comparativa entre Casa muestra y Caseta muestra.

La siguiente tabla enlista el número de piezas requeridas para la construcción de la casa muestra y de la caseta muestra, así mismo se presentan el total del peso agregado por cada pieza y el peso total de la estructura. Con esta información fue posible aproximar el tiempo requerido para la construcción de cada configuración.

Pieza	Casa # de piezas	Casa Peso total de piezas (kg)	Caseta # de piezas	Caseta Peso total de piezas (kg)	Tiempo colocación por pieza (minutos)	Tiempo total por piezas Casa (minutos)	Tiempo total por piezas Caseta (minutos)
Pilar	67	4,277.9	16	1,021.5	10	670	160
tapa	134	88.8	32	21.2	1	134	32
rigidizador	96	824.8	32	274.9	5	480	160
Panel pared	186	3,956.4	60	1,276.2	5	930	300
Bloque ventana inferior	16	256.1	0	0.0	5	80	0
Bloque ventana Superior	16	128.4	0	0.0	3	48	0
Soporte en x ventana	16	77.3	0	0.0	3	48	0
Soporte en z ventana	16	126.2	0	0.0	3	48	0
Soporte en z Puerta	2	20.7	2	20.7	3	6	6
Soporte en x puerta	2	9.6	2	9.6	3	6	6
losa	140	3,621.9	25	646.7	3	420	75
viga en x	140	3,759.2	25	671.3	5	700	125
Viga en Y	140	3,759.2	25	671.3	5	700	125
Uniones	143	63.4	22	9.5	1	143	21.5
tornillo	2216	30.3	428	5.8	1	2216	428
	peso total (kg)	21,001		4,629	Tiempo total (minutos)	6,629	1438.5
					Tiempo total (horas)	110.5	24

Tabla 10. Listado de piezas: número, tiempo de colocación y peso; para estimar el tiempo de construcción.

11.- Conclusiones

La fabricación del diseño del Sistema Constructivo es una solución factible y ecológicamente responsable para mitigar los problemas de escases de agua en la población de escasos recursos, mientras se preserva el recurso hídrico y se provoca el ahorro de dinero por parte del gobierno: al disminuir el requerimiento de agua potable que hay que extraer del manto acuífero y evitar el crecimiento de los tiraderos de basura. Así mismo, se accede a los beneficios que conlleva ser un colector de agua registrado ante las autoridades, mencionados en los antecedentes, y al beneficio mismo de contar con los medios para obtener y preservar el agua.

El Diseño del Sistema Constructivo para la Recolección de Agua de Lluvia propuesto; tiene embebidos requerimientos ordenados por: el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México, la Norma Técnica Complementaria para: Diseño por viento, Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas, Diseño y Construcción de Cimentaciones, Diseño por Sismo, y la Norma Técnica Complementaria sobre los Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones; se apega tanto a la Ley de Aguas del Distrito Federal, como al Reglamento de la Ley de desarrollo Urbano del Distrito Federal; y es acorde al Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos Visión a 20 años (SEMARNAT,2012).

La función del Sistema Constructivo para captar y almacenar el agua de lluvia, aunado a que permite la construcción de manera autónoma y rápida de una vivienda, de 80 m^2 con capacidad máxima de almacenamiento de 13.37 m^3 y una cosecha anual de 98 m^3 de agua pluvial, en tan solo 111 horas hombre (sin tomar en cuenta el tiempo requerido para hacer las instalaciones hidráulicas, eléctricas o de cimentación), representa una gran ventaja para el usuario, además de ser resistente, modular y asequible, no se requiere acabado superficial, ahorrando tiempo y dinero. La implementación de jardines verticales es altamente recomendada pues evita la exposición directa del PET a los rayos UV, los cuales lo envejecen, además de contribuir al confort del usuario y a la regulación de la humedad del hábitat.

Se valida la idea de utilizar el sistema constructivo para la ampliación de viviendas existentes, al mantener un peso promedio por metro cuadrado por debajo de lo requerido en la Norma Técnica Complementaria para Diseño y Construcción de Cimentaciones, que marca 1500 kg/m^2 sobre losa general, mientras que la casa muestra y la caseta de almacenamiento arrojaron valores de 429 kg/m^2 y 610 kg/m^2 , correspondientemente. Además, con la instalación de una caseta de almacenamiento (5.14 m^3 de capacidad máxima de almacenamiento y un potencial de 17 m^3) o cuartos habitación en el techo de una vivienda existente, todo el inmueble será considerado colector de agua pluvial, y debido a qué el

sistema en algunas configuraciones capta más agua de la que puede almacenar durante la época de lluvias, el excedente beneficia a los usuarios de la casa base.

Del estudio de capacidad de almacenamiento se observa que las casas de 45m^2 captan agua suficiente para 2 personas y las de 86m^2 de construcción para 4 personas. Así mismo, el presente trabajo, representa un diseño novedoso en la cosecha de agua pluvial al no existir sistemas constructivos equivalentes o parecidos.

Las construcciones edificadas con este sistema constructivo presentarán una rigidez equiparable a las construidas con concreto, pero **sin la necesidad de utilizar agua**, ni grúas; pues, la capacidad de carga axial de los pilares utilizados es, 26.86 kN, muy superior a la carga aplicada por el techo sobre cada pilar (1 kN), así también, la pared resiste un momento de 3.93 kNm en su eje con menor capacidad, superando, por casi el doble, el valor del momento solicitado debido al peso del techo, cuyo valor es 2 kNm. La deflexión máxima en las vigas ronda entre 1.2 y 2 cm para un claro de cuatro metros, representando únicamente el 0.37% y 0.5% de deformación de la viga. A su vez, el bastidor (pared) soporta cargas laterales de 1.65 kN en el eje Y y 10.05 kN sobre el eje X: dichos valores se pueden utilizar para obtener la carga lateral específica a cada estructura, al multiplicarlos por la cantidad de bastidores instalados. Mientras que la capacidad de transmitir carga a compresión entre pilares está determinada por las piezas que se encuentran en medio de estos, ósea dos rigidizadores y dos paredes falsas, que en suma representan 182 kN en capacidad de carga a compresión sobre el eje X. La capacidad de resistir tensión, 69.4 kN, recae sobre las guías longitudinales del pilar, cuyo espesor mínimo es de 0.5 cm y corre a todo lo largo del pilar, ya que son estas guías las que restringen el movimiento de las piezas sobre el eje X y a pesar de ser delgadas tienen una gran capacidad de carga. Que la capacidad a compresión y tensión de los bastidores sea considerablemente mayor que su capacidad de carga lateral en el mismo sentido, indica que la estructura afronta las solicitudes externas sin presentar deformación en los bastidores y por ende en la construcción misma.

El sistema constructivo está diseñado para permitir el fácil acceso a las cisternas flexibles, darles mantenimiento y/o reemplazarlas de ser necesario; además, cada cisterna puede ser habilitada y deshabilitada de manera independiente, por lo que el servicio de recolección y almacenamiento de agua pluvial es ininterrumpido, esto es de vital importancia pues por norma los habitantes deben limpiar los contenedores de agua cada seis meses. La cisterna flexible a su máxima capacidad presenta un peso de 4 kN, mientras que cada pared falsa soporta 10 veces esa magnitud; la altura de la cisterna, tres metros, determina la presión de trabajo o de diseño, 29.4 kPa; este dato y la configuración geométrica de la cisterna son requeridos por los fabricantes de este tipo de contenedores.

Le conviene al gobierno de la CDMX invertir en el Sistema Constructivo propuesto, pues actualmente el SACMEX tiene planeado invertir 510 millones de pesos en

sistemas de captación de agua pluvial en el 2017, [7], para instalar 115 sistemas nuevos y aumentar el volumen captado de agua pluvial en $6,138\text{m}^3$; entonces, si cada casa construida con el Sistema Constructivo para la recolección de Agua Pluvial tuviera un costo de un millón de pesos, y el SACMEX utilizara **el mismo presupuesto** para el 2017, se podrían construir **510 viviendas** recolectoras de agua pluvial, que representarían **$49,980\text{ m}^3$ de agua captada más al año, 810% más agua de lluvia** que lo esperado bajo el plan actual y **sin incrementar la inversión**. Así mismo, la construcción con material reciclado representa un ahorro para el gobierno al disminuir el volumen de materia a transportar y manejar en los tiraderos, la fabricación de 510 viviendas de PET reciclado representan 10,710 Toneladas menos de basura al año (lo que es el 0.1% de las 800 mil toneladas de PET producidas anualmente en México) y que ocuparían al menos $7,817.5\text{ m}^3$ de espacio en el tiradero. Aún más, al reciclar este PET se recupera un valor en material de construcción de \$43,911,000 de pesos, es decir, es dinero que no hay que gastar para comprar nuevos materiales . Además, el INVI reporta una necesidad de 15,800 hogares nuevos cada año, para lo cual aporta \$1,662,834,864 de pesos y otros \$1,258,100,000 de pesos para Acciones de Mejoramiento de Vivienda, [L:13], de destinar un porcentaje al Sistema Constructivo propuesto se multiplicarían los beneficios recién mencionados. Cabe distinguir que el costo de un millón de pesos para una vivienda construida con el sistema propuesto, es completamente exagerado, pues no hay costo de material de construcción, únicamente costo de producción, el excedente puede constar por la inversión inicial requerida para la fabricación de las piezas del Sistema Constructivo.

El impacto de una casa ecológica sobre el medio ambiente depende de la escala de implementación, entre más viviendas sean capaces de proveer agua para sus habitantes menor será la demanda solicitada al SACMEX, habrá menor desperdicio en fugas de transporte, reduciendo el agua extraída del subsuelo del Valle de México y el hundimiento del mismo. El diseño del Sistema Constructivo se realizó como una solución para la escases de agua en la población en alto riesgo; un producto que se apegara a la realidad económica del país, ayudando directamente a los más necesitados, siendo el Gobierno de la Ciudad el encargado de comercializarlo mediante la venta, subsidio y donación de casas viviendas a los ciudadanos dependiendo su estado socio-económico para maximizar el número de viviendas construidas y su impacto positivo en el medio ambiente.

El problema de la escases del agua atañe al SACMEX, al INVI y a la Secretaría del Medio Ambiente por igual, como se estableció en los antecedentes, por lo que la construcción de viviendas nuevas y ampliación de viviendas existentes con el Sistema Constructivo para la Cosecha de Agua de Lluvia, es de común beneficio para las dependencias, y ,también, para los ciudadanos del Valle de México. **Es recomendable invertir en una planta para reciclar desechos sólidos y en la fábrica de piezas para el Sistema Constructivo para la Cosecha de Agua de Lluvia**, y así crear un círculo de oferta y demanda de material reciclado estable y en control del estado. Ya que se cuenta con la infraestructura de recolección de basura

y se corre con el gasto del manejo y disposición de la misma, es en pro de la salud económica del estado convertir un gasto en una inversión, además de promover el cuidado ambiental, la disminución de la explotación hídrica subterránea, la creación de viviendas dignas y el mejoramiento de la calidad de vida de la ciudadanía en general.

12.- Trabajo a futuro

Para continuar el proyecto del Sistema Constructivo para la Cosecha de Agua de Lluvia, será necesario continuar el trabajo de investigación y desarrollo, con acciones tales como:

- Cotizar el costo real de la fabricación del sistema en el mercado actual.
- Realizar un análisis térmico de la casa utilizando los datos de: nivel del tanque de almacenamiento y temperatura ambiente por mes; para obtener descripción de las condiciones de confort dentro del habitáculo a lo largo del año.
- Realizar un análisis estructural de una configuración muestra; para validar su seguridad.
- Establecer un estudio de campo sobre la opinión del usuario final respecto el Sistema Constructivo e integrar los resultados al proceso de diseño.
- Realizar un manual de ensamblado y guía general para el usuario autoconstructor que no cuenta con conocimientos de construcción.
- Determinar la inversión necesaria por parte del Gobierno para instaurar un operativo de reciclado de materiales sólidos y su reutilización en la construcción de casas de interés social.

13.- Referencias

1. "Implementación Piloto de Cosecha de Agua de Lluvia en la Comunidad El Gato, Dr. mora, Guanajuato, México, como medida de Adaptación al Cambio Climático". Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático (INECC), Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), 2013.
2. Guía "Agua y Construcción Sustentable". Eduardo León Garza, Centro Virtual de Información del Agua, Fondo para la Comunicación y la Educación Ambiental, 2008
3. "*Lightweight Structures*". Jörg Schleich y Mike Schlauch, Consulting Engineers, Germany, www.sbp.de
4. "Valoración de Servicios Hidrológicos por Costo de Reemplazo: Análisis de escenarios para el Bosque de Agua". Carlos A. López-Morales, Instituto Nacional de Ecología, México 2012
5. "Manual de Captación de Aguas de Lluvia para Centros Urbanos". Ilán Adler, Gabriela Carmona y José Antonio Bojalil, PNUMA, *International Renewable Resources Institute* (IRRI) México 2008.
6. "Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para uso Doméstico en America Latina y el Caribe. Manual Técnico". Dr. Manuel Anaya Garduño, Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA), México 1998.
7. "Programa de Gestión Integral de los Recursos Hídricos (PGIRH), Visión 20 Años". SACMEX, Gobierno de la Ciudad de México, SEMARNAT. México Octubre 2012.
8. "Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal". Gobierno del Distrito Federal, 2 de agosto de 1993.
9. "Ley de Aguas del Distrito Federal". Gobierno del Distrito Federal, 27 mayo de 2003.
10. "Reglamento de la Ley de desarrollo Urbano del Distrito Federal". Administración Pública del Distrito Federal, Jefatura de Gobierno, 29 de enero de 2004.
11. "Norma Ambiental Emergente para el Distrito Federal, que establece la Obligación de Presentar Programas Emergentes de Ahorro de agua a las Fuentes Fijas ubicadas en el Distrito Federal ". Secretaría del Medio Ambiente, 22 de marzo de 2010.
12. Tesis: "Diseño Estructural del Proyecto "CASA UNAM"", Valentín Portillo Galván, UNAM, 2015.
13. "Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo". Gobierno de la Ciudad de México.

14. "Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Cimentaciones". Gobierno de la Ciudad de México.
15. "Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas". Gobierno de la Ciudad de México.
16. "Normas Técnicas Complementarias Sobre Criterios y Acciones para el Diseño Estructural de las Edificaciones". Gobierno de la Ciudad de México.
17. "Normas Técnicas Complementarias Para Diseño Por Viento". Gobierno de la Ciudad de México. 2008
18. "Pequeño manual de apoyo para redactar textos ambientales". Ana María Sánchez Mora, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2008.
19. "*Engineering Design: A Systematic Approach*". G. Pahl, W. Beitz, Springer, Alemania, 2007
20. "La evaluación del impacto ambiental. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales", Instituto Nacional de Ecología, 2012.
21. "Manejo y Reciclaje de los Residuos de Envases y Embalajes". Serie de Monografías No. 4, Instituto Nacional de Ecología, 1998.
22. "La Vivienda "Social" en México: Pasado, Presente y Futuro". Mtro. Arq. Javier Sánchez Corral, Sistema Nacional de Creadores de Arte Emisión, 2012.
23. "Modernización Del Sistema De Filtración De La Planta Potabilizadora Los Berros, Sistema Cutzamala, Trabajo De Colocación Del Bajo Dren, En Módulos Existentes En La Planta Potabilizadora Los Berros, Estado De México", CONAGUA.
24. Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos.
25. "Diseño Y Desarrollo De Productos", David Ulrich, McGraw-Hill Interamericana, 2013 5ta edición.
26. Material Handbook, Cambridge University. 2012.
27. "*Static Analysis*", R. C. Hibbeler, McGrawHill, 2014.
28. "Mecánica de Sólidos", Popov, Pearson Education, 2010.

Ligas web citadas

- L:1. -Tlalpan , 10 millones de pesos: <http://www.eluniversal.com.mx/ciudad-metropoli/2014/el-sistema-de-captacion-de-agua-de-tlalnepantla-sera-habilitado-980567.html>
- L:2. -Paracaidistas Link: <http://www.cdmx.gob.mx/recupera-gobierno-cdmx-mas-de-500-hectareas-de-suelo-de-conservacion-en-esta-administracion/>

- L:3. -Nev House: <http://www.nevhouse.com>
- L:4. -Propiedades físicas del PET: <http://www.polytechindustrial.com/products/plastic-stock-shapes/pet-thermoplastic-polyester>
- L:5. -800 toneladas de PET al año: <http://ntrzacatecas.com/2015/01/14/en-mexico-se-recicla-15-anual-de-800-mil-toneladas-de-pet/>
- L:6. -Homedepot: www.homedepot.com.mx
- L:7. -Precios PET: <http://www.recimex.com.mx/blog/?p=153>
- L:8. -Concreto: <http://www.nrmca.org/aboutconcrete/cips/35p.pdf>
- L:9. -Acero A36: <http://kmac-distribution.com/technical/a36-carbon-steel.htm#.V6FFaFe3jEI>
- L:10. -Módulos elásticos: http://www.engineeringtoolbox.com/young-modulus-d_417.html
- L:11. -Copncreto: http://www.engineeringtoolbox.com/concrete-properties-d_1223.html
- L:12. Ladrillo mexicano de PET reciclado: <http://www.eluniversaledomex.mx/home/nota27531.html>
- L:13. Invi Vivienda en México
<http://www.aldf.gob.mx/video/comsoc-insuficiente-presupuesto-2016-vivienda-interes-social-cdmx-con-deficit-117-mil-acciones-acumuladas--23288.html>

Ligas web de interés

Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua
<https://www.imta.gob.mx/>

Architectural League
<http://archleague.org/2009/12/werner-sobek/>

Vertical Net Structure
<http://www.karamba3d.com/drx-2013-vertical-net-structures/>

Background Information & Materials Tensile structures.
http://polyned.com/achtergrondinformatie_materialen_spankappen_en.php

How to build a house in a Day
<https://www.youtube.com/watch?v=TuElzBhbuNw>

Affordable Barns
<https://www.youtube.com/watch?v=AKrYneYy4Us>

DaVinci house lift in 3 days.
<https://www.youtube.com/watch?v=zx-KUjepyZo>

Home building & Renovating
<http://www.homebuilding.co.uk/2013/09/12/a-guide-to-structural-choices/>

Low cost building, build your own brick

<https://www.youtube.com/watch?v=sGg9JBFx8Cs>

African House prototype Cheap housing , auto build, Concrete and foam.

https://www.youtube.com/watch?v=qwP_f13mUDc

Glass fiber reinforced Concrete

<https://www.youtube.com/watch?v=zKTjqeQMEhU>

Tiny ilegal housing -Washington-

<https://www.youtube.com/watch?v=n-zESacteu4>

Tiny house tours NZ

https://www.youtube.com/watch?v=VckbqU4kK2I&list=UUoNTMWgGuXtGPLv9UeJZwBw&feature=iv&src_vid=f3SwqNzsNwg&annotation_id=annotation_1386875629

Casa Start Metal Frame Chip

<https://www.youtube.com/watch?v=MPYPI2I8tBo>

Casa de PVC rellena de concreto (Casa de interes social en Brasil).

<https://www.youtube.com/watch?v=kgJ1ik-e41A>

Ladrillo auto alineable y auto ensamblable. Sistema muy parecido al Mexicano.

<https://www.youtube.com/watch?v=CxUHwaWrscw>

Arquitecto de la Basura. (Garbage Warrior) . Documental 90m

<https://www.youtube.com/watch?v=ZfqGQXzIAAE>

Edificio hecho con botellas especiales, (Mineria urbana)

<https://www.youtube.com/watch?v=Lps5OSJaMj0>

Houses from corrugate metal sheet

https://www.youtube.com/watch?v=yACFV_u79Hw

Leyes reuso de agua DF

<http://hidropluviales.com/leyes-que-promueven-el-reuso-de-agua-de-lluvia/>

Implementación piloto de cosecha de agua de lluvia en la comunidad El Gato, Dr. Mora, Guanajuato, México, como medida de adaptación al cambio climático

http://www.inecc.gob.mx/descargas/cclimatico/2012_estudio_cc_vyagef10.pdf

Valoración de servicios hidrológicos por costo de reemplazo: Análisis de escenarios para el Bosque de Agua

http://www.inecc.gob.mx/descargas/dgioece/doc_bosque_de_agua.pdf

Metales pesados INECC

<http://www.inecc.gob.mx/sqre-temas/763-aqre-metales>

Reglamento de construcción del DF

<http://www.metro.df.gob.mx/transparencia/imagenes/fr1/normaplicable/2013/3/rldudf16072013.pdf>

Anexos

Anexo 1

Acciones Prioritarias:

Inducir y favorecer el desarrollo de las capacidades institucionales y humanas en relación al manejo y aprovechamiento del agua de lluvia para uso doméstico. Es necesaria la intervención de los gobiernos a los diferentes niveles para apoyar los proyectos que hagan disponible el agua para uso doméstico, sobre todo en las zonas rurales.[6,p119]

Constitución de los Estados Unidos Mexicanos

Artículo 27,... determina que la propiedad de las tierras y aguas corresponde a la nación. La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular, en beneficio social, el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles, lograr el desarrollo equilibrado del país y el mejoramiento de las condiciones de vida de la población rural y urbana.

Ley de Aguas Nacionales

... tiene por objetivo regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral y sustentable.[2,p8]

La CONAE (Comisión Nacional para el Ahorro de Energía) es una organización gubernamental, cuya misión es promover el aprovechamiento eficiente de los recursos energéticos, renovables y no renovables, en los sectores público, privado y social.[2,p11].

La Comisión Nacional de la Vivienda (CONAVI), el Infonavit, la Sociedad Hipotecaria Federal, la Canadevi y las sofoles, están diseñando códigos de construcción, viviendas y productos hipotecarios enfocados en la sustentabilidad.

Una vivienda verde ahorra cuando menos 30% de luz, 50% de gas y 60% de agua sin modificar sustancialmente la inversión.

La Conavi presentó el Código de Edificación Sustentable, donde se proponen incentivos para impulsar la vivienda verde[2,p12].

Artículo 20. La política de gestión integral de los recursos hídricos en el Distrito Federal entendida como el proceso que promueve el manejo y desarrollo coordinado del agua, suelo y recursos relacionados, de manera que maximice el bienestar social, económico y ambiental resultante de manera equitativa sin comprometer la sustentabilidad de los ecosistemas, y se integra por:

III. La definición de políticas para la administración y la gestión integral de los recursos hídricos, considerando las disposiciones contenidas en esta Ley, en materia de planeación, estudio proyección, mantenimiento, rehabilitación, construcción, operación y ampliación de obras de abastecimiento de agua potable, pluvial, drenaje, alcantarillado y tratamiento de agua residuales y su reúso, destinadas al consumo, uso humano con fines domésticos, urbano ,comercial, industrial o de cualquier otro uso en el Distrito Federal.[9].

Artículo 30. El Sistema de Aguas y las delegaciones, en el ámbito de sus respectivas competencias, promoverán la participación de todos los sectores de la sociedad involucrados en el manejo del agua, mediante:

**III. La promoción de proyectos pilotos y de demostración destinados a generar elementos de información para sustentar programas en materia de recursos hídricos, servicios hidráulicos y de tratamiento y reúso de aguas residuales.[9].

Artículo 34. La Secretaría en la formación, evaluación y vigilancia del Programa de Gestión Integral de los recursos Hídrico, con la finalidad de conservar y aprovechar sustentablemente estos recursos, así como para prevenir y controlar la contaminación, deberá considerar los criterios contenidos en la Ley Ambiental, así como los siguientes:

I...El aprovechamiento del agua para consumo humano o actividades productivas, deberá realizarse bajo mecanismos de optimización procurando obtener los mayores beneficios humanos posibles, antes de incorporarla al ciclo natural o verterla al sistema de drenaje[9].

Artículo 86 BIS 1. Las nuevas construcciones o edificaciones deberán contar con redes separadas de agua potable, de agua residual tratada y cosecha de agua de lluvia, debiéndose utilizar esta última en todos aquellos usos que no requieran agua potable; así mismo deberán contar con la instalación de sistemas alternativos de uso de agua pluvial.[9].

Artículo 123. El presente título es de orden público, interés social y de observancia general en el territorio del Distrito Federal y tiene por objeto:

I. Regular, promover, organizar e incentivar la cosecha de agua de lluvia, su potabilización para el consumo humano y uso directo en actividades rurales, urbanas, comerciales, industriales y de cualquier otro uso en el Distrito Federal, en congruencia con lo establecido en la Ley de Aguas del Distrito Federal y con el fin de consolidar y fortalecer las políticas, estrategias, programas y acciones gubernamentales y de participación de la población para la gestión sustentable e integral de los recursos hídricos y la prestación de los servicios públicos de agua potable, drenaje y alcantarillado, así como el tratamiento y reúso de aguas residuales.

IV. Profundizar la conciencia de las y los habitantes del Distrito Federal sobre la urgente necesidad de construir una Cultura del Agua para garantizar el equilibrio ambiental de la Cuenca de México y su imprescindible participación ciudadana para contribuir a mejorarla salud y la protección civil de la población.[9].

Artículo 125. En todas las nuevas edificaciones, instalaciones, equipamientos, viviendas y obras públicas que se construyan en el Distrito Federal será obligatorio, construir las obras e instalar los equipos e instrumentos necesarios para cosechar agua de lluvia, con base en las disposiciones que se establezcan en el Reglamento de esta Ley.[9].

Artículo 126. Los ejes principales de la formulación, ejecución y vigilancia de las políticas, estrategias, programas, presupuestos y acciones que deberán observar las autoridades competentes en materia de promoción y otorgamientos de incentivos a la población por acciones individuales o colectivas de cosecha de agua de lluvia en el DF son:

- I. La cosecha de agua de lluvia debe ser considerada política prioritaria.[9].

La aplicación de acciones que contribuyan a la correcta construcción, operación, mantenimiento y conservación de la infraestructura hidráulica, con el fin de ampliar la cobertura y mejorar la eficiencia de los sistemas hidráulicos.[7,p12]

Anexo 2

Tipos de Filtración

- Carbón activado: Elimina color, olor y sabor del agua, además del cloro y de algunos compuestos químicos.
- KDF (*Kinetic Degradation Fluxion*): Medio filtrante fabricado de una aleación de cobre y zinc, genera reacciones químicas de oxidación y reducción al contacto con el agua, eliminando cloro, y diversos metales pesados como el mercurio y el plomo. Se suele combinar con el carbón

activado en un mismo cartucho..

- Arena sílica: Los filtros de arena se utilizan para eliminar una gran variedad de sedimentos y sólidos en suspensión, con capacidad filtrante de hasta 100 micras.
- Osmosis inversa: Es el mejor método conocido hasta el momento. Requiere equipo especializado y energía para su funcionamiento.[5,p31].

Desinfección

- Cloro: Hay que agregarlo al agua, y en caso de que se vaya a beber, se sugiere filtrar con carbón activado, ya que en exceso puede ser novio para la salud, o irritante para la piel.
- Ozono (O₃): Es un excelente desinfectante y además ayuda a eliminar o reducir ciertos metales pesados y compuestos químicos. Se requiere de electricidad para producirlo o inyectarlo en el agua. No permanece mucho tiempo dentro del agua.
- Plata Coloidal: Es un desinfectante relativamente de bajo costo. Se puede aplicar por goteo directo al agua. En México se ha desarrollado un método mediante el cual la plata se sujeta a unas bolas cerámicas, que luego flotan en el agua y desinfectan por contacto.
- Campos Energéticos (Aquarius): Circula el agua a través de unos tubos que generan campos magnéticos débiles, calibrados para eliminar microorganismos patógenos. No requiere electricidad ni mantenimiento.
- Luz UV: Expone el agua a radiación ultravioleta. No elimina todos los microorganismos.
- Desinfección Solar (SODIS): Consiste en colocar el agua en botellas transparentes, exponiéndolas directamente al sol durante varias horas.[5,p32].