



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA

CAMPO DE CONOCIMIENTO: INGENIERÍA CIVIL

**“DISEÑO DE LAS INSTALACIONES PARA EL SUMINISTRO DE AGUA DE LA
VIVIENDA INDUSTRIALIZADA SUSTENTABLE (VIS CASA UNAM) Y LA
ALTERNATIVA DE CAPTACIÓN DE AGUA PLUVIAL COMO COMPLEMENTO
DEL SUMINISTRO DE AGUA”**

T E S I N A

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

ESPECIALISTA EN SANITARIA

PRESENTA:

ING. VIRIDIANA HERNÁNDEZ SANTIAGO

DIRECTOR DE TESINA: **M. I. CRISTIAN EMMANUEL GONZÁLEZ REYES**

MÉXICO, D.F.

MARZO 2018

Índice de contenido

Índice de figuras	5
Índice de tablas.....	7
1. Introducción	9
1.1. Justificación del proyecto.....	11
1.2. Objetivos	12
1.2.1. Objetivo general	12
1.2.2. Objetivos particulares	12
1.3. Alcances y limitaciones del proyecto.....	13
2. Antecedentes.....	14
2.1. Descripción del proyecto “VIS CASA UNAM”.....	14
2.2. Ubicación del proyecto	17
3. Marco teórico.....	19
3.1. Huella de carbono.....	20
3.2. Huella hídrica.....	23
3.3. El agua como recurso indispensable	24
3.4. Sistemas de captación de agua de lluvia	26
4. Evaluación de alternativas de materiales para el suministro de agua	30
4.1. Tuberías metálicas	30
4.1.1. Tubería de acero inoxidable y acero galvanizado (IMACIFP, 2013).....	30
4.1.2. Tubería de cobre	33
4.2. Polímeros	34
4.2.1. Policloruro de vinilo (PVC) (UCLM, 2003) y policloruro de vinilo clorado (CPVC) (plásticos, 2013)	35
4.2.2. Tuberías de polibutileno (PB) (Arquitectur, 2011)	35
4.2.3. Tuberías de polipropileno (Aquatherm, 2018).....	36
4.2.4. Tubería multicapa PEX-PEX (Flexpad, 2018).....	36
4.2.5. Tuberías de polietileno de alta densidad PEAD (GEOSAI, 2018)	37
4.2.6. Impactos ambientales de los plásticos.....	37
4.3. Elección del material.....	39
5. Instalación de suministro de agua fría.....	41
5.1. Criterios de diseño de instalaciones hidráulicas.....	41

5.2.	Agua potable	41
5.2.1.	Cálculo del consumo diario total	41
5.2.2.	Muebles sanitarios.....	42
5.3.	Cálculo del gasto máximo instantáneo.....	47
5.3.1.	Método americano.....	48
5.3.2.	Método británico	48
5.3.3.	Método francés.....	49
5.3.4.	Cálculo de los diámetros de la red interior de agua fría	51
5.4.	Mueble más desfavorable.....	55
5.5.	Carga requerida.....	56
5.6.	Sistema hidroneumático	60
5.6.1.	Determinación de presiones de trabajo y niveles de agua	61
6.	Instalación de suministro de agua caliente.....	66
6.1.	Cálculo del gasto máximo instantáneo.....	68
6.1.1.	Método británico	68
6.1.2.	Método francés.....	68
6.2.	Cálculo de los diámetros de la red de instalaciones de agua caliente.....	69
6.3.	Dimensionamiento del calentador comercial.....	70
6.4.	Alternativa de calentador solar.....	72
7.	Alternativa de captación de agua pluvial como complemento de suministro de agua 74	
7.1.	Normatividad	74
7.2.	Ventajas y desventajas del sistema de captación de agua pluvial	75
7.3.	Sistema de captación de agua pluvial.....	76
7.3.1.	Captación	77
7.3.2.	Recolección y conducción	77
7.3.3.	Interceptor	78
7.3.4.	Almacenamiento.....	78
7.4.	Diseño del SCAP/SCALL.....	79
7.4.1.	Obtención de datos de precipitación media mensual	79
7.4.2.	Curvas de comportamiento de precipitación	84
7.4.3.	Determinación del volumen potencial de captación de agua.....	84
7.4.4.	Balance de consumos de agua potable	86

7.4.5. Tormenta de diseño.....	90
8. Conclusiones y recomendaciones	98
Bibliografía.....	100

Índice de figuras

Figura 1, ODS aplicables a VIS CASA. (Elaboración propia).....	14
Figura 2, Optimización de niveles (Adaptado de Manual de Proyecto, 2017)	16
Figura 3, Espacios de la vivienda (Elaboración propia).....	17
Figura 4, Zona de estudio (PUMAGUA, 2017)	19
Figura 5, Precio del metro cúbico de agua. (Adaptado de European Federation of National Associations of Water Services EurEau).....	27
Figura 6, Incrustaciones de sales en tubería de acero (MERUS, 2018).....	31
Figura 7, Consumo y descargas de agua para cada etapa del proceso siderúrgico (Madías, 2015)	32
Figura 8, Tabla de caracterización de las instalaciones (CEDIC, 2007).....	33
Figura 9, Comparativa de la caracterización de las diferentes instalaciones (CEDIC, 2007).....	34
Figura 10, Plásticos en la construcción. Tomado de (PEMEX, 2012)	38
Figura 11, Estimación de consumo de energía y emisiones de CO ₂ derivadas de la producción y uso de tuberías (Tomado de (Molecor, Sostenibilidad, 2018)	39
Figura 12, Planta baja de VIS CASA (Tomado de VIS CASA, 2018)	45
Figura 13, Primer nivel de VIS CASA (Tomado de VIS CASA)	45
Figura 14, Trayectoria de agua fría planta baja.....	47
Figura 15, Trayectoria de agua fría primer nivel.....	47
Figura 16, Diámetros de la instalación de agua fría, Planta baja	54
Figura 17, Diámetros de instalación de agua fría, primer nivel.....	55
Figura 18, Mueble desfavorable	56
Figura 19, Trayectoria del mueble desfavorable, incluyendo piezas especiales (Adaptado de VIS CASA, 2018)	58
Figura 20, Piezas especiales vistas en Isométrico	59
Figura 21, Diferencias de volumen y presión para tanques hidroneumáticos (César Valdez & González L., 1997).....	62
Figura 22, Cálculo de niveles en el tanque	63
Figura 23, Trayectoria de agua caliente planta baja.....	67

Figura 24, Trayectoria de agua caliente primer nivel.....	67
Figura 25, Recomendación de calentador eléctrico y especificaciones (Rheem, 2018)	72
Figura 26, Diagrama de ubicación del calentador solar (Calorex, Sistema solar de calentamiento de agua, 2018)	73
Figura 27, Esquema general de un sistema de captación de agua pluvial (PAHO, OMS, & CEPIS/OPS, 2004)	77
Figura 28, Estaciones climatológicas en la Ciudad de México	80
Figura 29, Estaciones climatológicas con radio de influencia de 5 km y 10 km	82
Figura 30, Curva de comportamiento de la precipitación en la zona de estudio (Elaboración propia con datos de CLICOM, 2017)	84
Figura 31, Comportamiento de oferta de agua en Ciudad Universitaria.....	86
Figura 32, Actividades de consumo directo de agua (CESPT, 2016).....	87
Figura 33, Regionalización del factor de convectividad (Campos A. & Gómez de Luna, 1990)	95
Figura 34, Curvas de intensidad-duración-periodo de retorno (idTr).....	96

Índice de tablas

Tabla 1, Potencial de Calentamiento Global de Gases de Efecto Invernadero, (OBCCD, 2018)	21
Tabla 2, Concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (OMM, 2017)	22
Tabla 3, Parámetros analizados y límites permisibles (Tomado de Isla Urbana y PUMAGUA)	28
Tabla 4, Dotación de agua potable	42
Tabla 5, Consumo de muebles para suministro de agua fría	43
Tabla 6, Probable demanda simultánea	48
Tabla 7, Gasto máximo instantáneo de agua fría, método británico	48
Tabla 8, Tabla de consumo o gasto unitario de muebles sanitarios	49
Tabla 9, Gasto máximo instantáneo de agua fría, método francés	50
Tabla 10, Diámetros de red de suministro de agua fría, método británico	52
Tabla 11, Diámetros de red de suministro de red de agua fría, Método francés ...	52
Tabla 12, Comparativa de diámetros	53
Tabla 13, Distancias de muebles al punto de alimentación	55
Tabla 14, Pérdidas por piezas especiales	59
Tabla 15, Cálculo de pérdidas en tramo desfavorable	59
Tabla 16, Determinación de la capacidad de bombeo	62
Tabla 17, Especificaciones del tanque hidroneumático seleccionado	63
Tabla 18, Bomba seleccionada	64
Tabla 19, Consumo de muebles para suministro de agua caliente	66
Tabla 20, Gasto máximo instantáneo de agua caliente, método británico	68
Tabla 21, Gasto máximo instantáneo de agua caliente, método francés	68
Tabla 22, Diámetros de red de suministro de agua caliente, método británico	69
Tabla 23, Diámetros de red de suministro de agua caliente, método francés	70
Tabla 24, Dotación de agua caliente	71
Tabla 25, Estaciones climatológicas con más de 25 años de datos registrados ...	80
Tabla 26, Estaciones climatológicas utilizadas para completar datos faltantes	82

Tabla 27, Datos de precipitación de estaciones auxiliares (Tomado de CLICOM, 2017)	83
Tabla 28, Datos de precipitación completos de la estación 9008-Ciudad Universitaria	83
Tabla 29, Oferta de agua de lluvia en Ciudad Universitaria	85
Tabla 30, Consumo calculado por W.C.	88
Tabla 31, Consumo de agua del W.C. de VIS CASA	88
Tabla 32, Cálculo del almacenamiento	89
Tabla 33, Porcentaje de cobertura con agua pluvial	90
Tabla 34, Datos de precipitación completos de estación 9008-Ciudad Universitaria	90
Tabla 35, Precipitación máxima corregida	92
Tabla 36, Funciones de distribución	93
Tabla 37, Funciones de distribución (continuación)	94
Tabla 38, Resumen de curvas idTr	96

1. Introducción

En el diseño de una vivienda, los elementos importantes a considerar son: el proyecto arquitectónico, la estructura, los materiales a utilizar y las redes de instalaciones, hidráulica, sanitaria y eléctrica. Dichos elementos son los encargados de brindar los servicios básicos y confort a sus habitantes.

El presente escrito incluye el diseño de la red de suministro de agua fría y caliente, así como el sistema de aprovechamiento de agua pluvial, enfocado al proyecto denominado: Vivienda Industrializada Sustentable “*VIS CASA UNAM*” en adelante *VIS CASA*. Para el diseño se considerarán los criterios de diseño de instalaciones indicados en la reglamentación vigente en la CDMX y se determinará la factibilidad de la propuesta acatando las demandas del proyecto.

En el presente capítulo se definirá el propósito del proyecto, el objetivo general y objetivos particulares, considerando las limitaciones del proyecto, aspectos previos del diseño y de las metodologías a seguir para los cálculos posteriores.

El capítulo 2 es una breve introducción al proyecto *VIS CASA* y los principios que este tiene; desarrolla las ideas y brinda una justificación de la propuesta, además muestra la factibilidad de la propuesta a problemáticas que nos aquejan actualmente.

Los temas que constituyen el tercer capítulo se centran en establecer la importancia de la huella de carbono y la huella hídrica como bases de la sostenibilidad de la vivienda, así como la situación del agua a nivel mundial, haciendo énfasis en la Ciudad de México. Es relevante establecer el contexto de los sistemas de captación de agua de lluvia en el mundo, así como las ventajas que estos proyectos han generado.

La evaluación de los materiales para la red de suministro de agua caliente, de agua fría y del sistema de captación de agua pluvial, se establecen en el capítulo 4, en el cual se analizan las ventajas, desventajas y el perfil medio ambiental tanto de las tuberías metálicas como de los polímeros. Al final del capítulo se presenta la elección del material, tomando en cuenta lo enunciado anteriormente y la normatividad existente con respecto a las instalaciones hidráulicas de una vivienda.

En el capítulo 5 y 6 se diseña la red de suministro de agua caliente y de agua fría, estableciendo los criterios de diseño aplicables en la Ciudad de México. Se encontrará el cálculo del consumo de agua potable por parte de *VIS CASA*, los muebles seleccionados para el cálculo del gasto máximo instantáneo, el cual se realizó por métodos empíricos. Posteriormente se determinaron los diámetros nominales de la red.

En el capítulo 5 también se determinó el mueble más desfavorable, el cual se utilizó para el cálculo de la carga requerida por el sistema y a continuación seleccionar el tanque hidroneumático. En el apartado 6 se presenta el dimensionamiento del calentador comercial, concluyendo en la selección de un calentador eléctrico. También se presenta la alternativa de un calentador solar.

El capítulo 7 está enfocado en la presentación de los sistemas de captación de agua pluvial (SCAP) para la vivienda *VIS CASA*, iniciando con la normatividad a nivel nacional y los programas gubernamentales que apoyan el desarrollo de los SCAP, seguido de las ventajas y desventajas que puede ocasionar su instalación en las viviendas y las partes que lo constituyen.

La segunda parte del capítulo contiene el diseño del sistema enfocado en la zona de estudio, utilizando los datos de precipitación disponibles por el sistema CLICOM. Se determinó el volumen potencial de captación de agua, el cual está restringido por la precipitación de la zona, el almacenamiento disponible por *VIS CASA*. Para el diseño se tomó en cuenta que el agua captada será utilizada para las descargas del inodoro.

1.1. Justificación del proyecto

Las instalaciones de suministro de agua son parte esencial del diseño de una vivienda, ya que ésta debe contar con agua potable de forma continua, con la calidad y presión suficiente e involucrando un sistema asequible. Ello conlleva a la necesidad de realizar la planeación, diseño y construcción de las instalaciones utilizando las metodologías y procesos de diseño correctos, además de cumplir con los criterios de diseño que favorecen el sistema.

Parte importante por considerar en este proyecto es que en la CDMX se tiene una problemática de escasez de agua, la cual ha incrementado en los últimos años. En el 2012 la disponibilidad de agua rondaba los 4 028 m³ por habitante por año y en el 2015 el Centro Virtual del Agua estimó la cifra de 3 692 m³ y se prevé que para el año 2030 el volumen de agua renovable¹ por habitante sea de 3 250 m³ (Agua, 2017).

Por lo anterior, se considera como buena medida, que los sistemas de captación de agua pluvial sean considerados en las edificaciones para cubrir un porcentaje del consumo anual de agua potable. Dada la heterogeneidad de la atmósfera y en ausencia de investigación científica que dé certeza de que las características del agua captada cumplen con los límites máximos establecidos en la NOM-127-SSA1-1994, se espera que ésta sólo pueda cubrir ciertos usos, por lo que se destinará a muebles sanitarios que no requieran una calidad potable.

Es importante resaltar que la captación de agua pluvial representa beneficios ecológicos, económicos y culturales, tales como, el control de inundaciones, disminución en la sobre explotación de acuíferos, la disminución en los pagos por el servicio de agua y los incentivos fiscales o económicos en función del municipio, por mencionar algunas.

¹ Se le denomina **agua renovable** a la cantidad máxima de agua que es factible explotar anualmente en un país sin alterar el ecosistema y que se renueva por medio de la lluvia.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Diseñar las instalaciones de suministro de agua y el sistema complementario para el aprovechamiento de agua pluvial del proyecto: Vivienda Industrializada Sustentable “VIS CASA UNAM”

1.2.2. Objetivos particulares

- Determinar los principales materiales comerciales en México para el suministro de agua potable y de aprovechamiento pluvial.
- Realizar un análisis de los materiales determinados.
- Calcular el consumo de agua potable requerida por los habitantes de VIS CASA.
- Especificar los muebles sanitarios y accesorios, así como sus requerimientos de agua.
- Determinar la trayectoria de las tuberías para el suministro de agua.
- Seleccionar los materiales de las instalaciones de suministro de agua.
- Dimensionar los diámetros y espesores de las tuberías que integran la red de suministro de agua potable y de aprovechamiento pluvial.
- Determinar el mueble más desfavorable para VIS CASA
- Calcular la carga requerida por el mueble seleccionado
- Seleccionar el tanque hidroneumático
- Elaborar los planos isométricos de las instalaciones de VIS CASA UNAM.
- Estimar la precipitación pluvial en Ciudad Universitaria.
- Dimensionar el volumen que puede ser captado y almacenado por el inmueble.
- Realizar el balance hídrico de la vivienda.
- Fijar los muebles sanitarios que serán abastecidos por la propuesta alternativa de suministro.
- Estimar el periodo de días que se cubre el suministro alternativo de agua.
- Concluir la factibilidad de la propuesta alternativa.

1.3. Alcances y limitaciones del proyecto

El presente trabajo incluye el diseño de las instalaciones de suministro de agua potable para *VIS CASA*, considerando la normatividad vigente aplicable a la Ciudad de México (CDMX), puesto que la zona de estudio se limita a Ciudad Universitaria.

Los materiales seleccionados para las instalaciones y el sistema de captación deberán, preferentemente, estar disponibles a nivel nacional. De los materiales disponibles en el mercado se realizará un análisis de sus características, tomando en cuenta los indicadores medioambientales, huella hídrica y huella de carbono; las ventajas y desventajas que presentan en el uso de las instalaciones, el costo de operación, mantenimiento, reparación, calidad del servicio y sustentabilidad a largo plazo de la infraestructura.

En el caso del análisis de precipitación, se consideran los registros pluviales de las estaciones climatológicas disponibles en la base de datos Climatológica Nacional (Sistema CLICOM). No se tomará en cuenta el cambio climático como factor de lluvias extraordinarias.

En el caso de *VIS CASA* se tienen dos restricciones, el potencial de captación y el volumen de almacenamiento. Además, se debe considerar el tiempo máximo de almacenamiento para no deteriorar la calidad del agua de lluvia. El agua pluvial será destinada principalmente para el excusado, a partir de esto, se obtendrá el número de días que se cubrirán las actividades mencionadas.

Los resultados de la investigación serán las memorias de cálculo de las instalaciones de suministro de agua fría, suministro de agua caliente, del sistema de captación de agua pluvial. Asimismo, se generarán los planos isométricos y de detalle de las mismas. Los diseños de las instalaciones de suministro se limitan a cálculos teóricos mediante métodos empíricos.

2. Antecedentes

2.1. Descripción del proyecto “VIS CASA UNAM”

VIS CASA es un proyecto interfacultades en el que participan la Facultad de Arquitectura, Facultad de Ingeniería, Posgrado de Ingeniería y el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI).

El propósito principal del proyecto “VIS CASA” es desarrollar una vivienda sustentable o también denominada vivienda sostenible. La Organización de las Naciones Unidas (ONU), declara que existen cuatro dimensiones de desarrollo sostenible: sociedad, medio ambiente, cultura y economía, las cuales se encuentran interconectadas (ONU, 2015). El 25 de septiembre de 2015 se aprobó la agenda 2030, en donde se establecieron 17 objetivos de desarrollo sostenible (ODS). Con el presente modelo se pretende contribuir a los siguientes:

- **Objetivo 6: Agua limpia y saneamiento:** garantizar la disponibilidad de agua y su gestión sostenible y el saneamiento para todos.
- **Objetivo 7: Energía asequible y no contaminantes:** Garantizar el acceso a una energía asequible, segura, sostenible y moderna para todos.
- **Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles:** Lograr que las ciudades y los asentamientos humanos sean inclusivos, seguros, resilientes y sostenibles.
- **Objetivo 12: Producción y consumos responsables:** Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles.



Figura 1, ODS aplicables a VIS CASA. (Elaboración propia)

En la CDMX se han identificado tres etapas en la transición demográfica. La primera inicia al concluir la revolución mexicana hasta el año 1960, se presentan tasas de mortalidad en rápido descenso, constancia en tasas de natalidad y un aumento acelerado en la esperanza de vida, lo que incrementa la población.

La segunda etapa se presenta a principios de 1970 hasta finales del presente siglo, en esta fase se presenta un descenso importante en las tasas de fecundidad y las tasas de mortalidad, por lo que la población en la CDMX incrementó aproximadamente 1.7 millones de habitantes en 30 años, un 30% de la población de la primera fase. El período actual o tercera etapa, se espera finalice a mitad del presente siglo y se prevé una convergencia de los niveles de natalidad y mortalidad, lo cual se verá reflejado en una tasa negativa del crecimiento de la población (Almanza, 2012).

Una tasa negativa en el crecimiento poblacional, también se debe al desplazamiento de los habitantes de la CDMX hacia las delegaciones vecinas, realizando este desplazamiento en forma de anillo. En los años noventa, se estima que por cada inmigrante que recibía el Distrito Federal, seis emigrantes lo abandonaban hacia municipios del Estado de México (Graizbord, La geografía de la descentralización demográfica de la ciudad de México, 1995). Con lo anterior, se estima un descenso en la participación de la CDMX a la ZMVM, esperando que en el 2020, 6 de cada 10 habitantes pertenezcan a alguno de los municipios del Edo. De México o de Hidalgo (Almanza, 2012).

Lo anterior, no evita que la concentración de servicios educativos, de salud, profesionales, financieros y de trabajo sea en la CDMX, y genera una fuerte atracción de migrantes temporales o flotantes (Graizbord, Movilidad residencial en la Ciudad de México. , 2007). La consecuencia final es una expansión no tan acelerada, pero si indiscriminada en espacios urbanizables y zonas altamente vulnerables, tales como, reservas de suelo cultivable, forestales y de recarga del acuífero del valle. También ocasiona limitantes en la planeación urbana y en las acciones del gobierno para regular los espacios y los usos de suelo.

Ante la situación ya descrita, otro de los objetivos del prototipo *VIS CASA*, es responder a la expansión que presenta la ciudad, tratando de minimizar los daños en el uso de suelo,

permitir una planificación de la ciudad y mejorar la calidad de vida de los habitantes temporales y flotantes.

Cabe aclarar que el proyecto no pretende modificar los hábitos actuales de vivienda, se trata de una propuesta alternativa de residencia urbana que combina el diseño sustentable y la producción industrial con la finalidad de disminuir costos, tiempos de entrega, garantizar la cantidad de producción y controlar la calidad del proyecto.

VIS CASA es un inmueble transportable de dos niveles compartidos. Las dimensiones determinadas por el equipo de arquitectura son; ancho de 2.55 [m], largo de 5.59 [m] y altura máxima de 3.6 [m]. Debido a que la altura máxima para que el inmueble sea transportado por la ciudad es de 3.6 [m], no permite dos plantas útiles, por lo que se optó por la optimización de niveles, determinado por las actividades a efectuar en cada espacio de la vivienda. En la Figura 2, Optimización de niveles, se muestra la conclusión del equipo y los niveles que presenta *VIS CASA*.

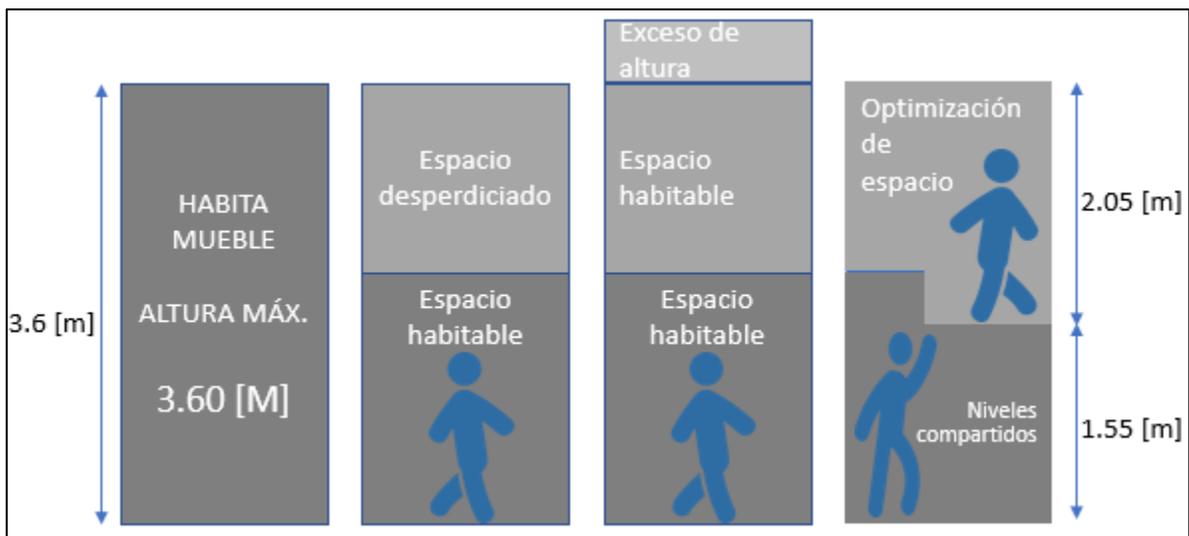


Figura 2, Optimización de niveles (Adaptado de Manual de Proyecto, 2017)

El proyecto cuenta con los siguientes espacios, los cuales permitirán realizar las actividades cotidianas de dos personas, algunos sitios cumplen múltiples funciones. Por ejemplo, el comedor también funge como sala de estar o como ampliación del estudio.

Es importante aclarar que el inmueble carece de instalaciones para personas con capacidades diferentes, la distribución de los espacios se encuentra preestablecida, los muebles son prediseñados, esto último, apelando a la industrialización de la vivienda.

Se pretende que la vivienda cuente con los servicios básicos, como son: agua potable, alcantarillado de aguas residuales sanitarias y de agua pluvial, servicio de electricidad y un suministro de calor para la cocción de alimentos en la cocina. En el caso del suministro de agua potable se plantea complementar el sistema tradicional con agua pluvial, para ciertas actividades en las que la calidad del agua potable no sea un requisito. En el caso del servicio de electricidad se tiene la propuesta de utilizar paneles fotovoltaicos.

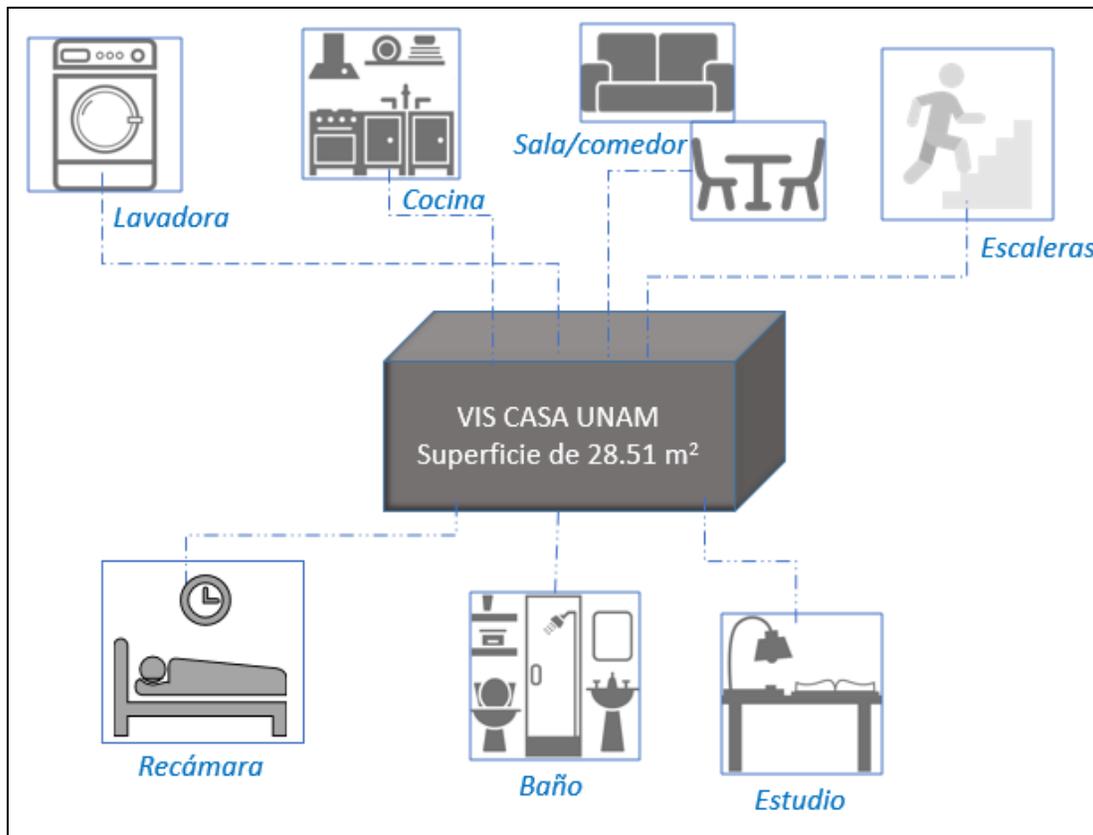


Figura 3, Espacios de la vivienda (Elaboración propia)

2.2. Ubicación del proyecto

El proyecto se ensamblará en Ciudad Universitaria (ver Figura 4, Zona de estudio). Algunas de las razones para la elección de este sitio es que el prototipo será construido

en el Centro de Investigaciones de Diseño Industrial (CIDI), lo que favorece la interacción entre el equipo multidisciplinario y el prototipo.

Ciudad Universitaria se localiza en Av. Universidad 3000, Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, Ciudad de México. El terreno total es de 733 hectáreas. En el 2007 la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) la inscribió en la lista de Patrimonio Mundial con 176.5 hectáreas (Ogazón, 2017).

Con fines de practicidad en el proceso constructivo se eligió Ciudad Universitaria, sin embargo, el proyecto *VIS CASA UNAM* se caracteriza por su flexibilidad para adaptarse al entorno y a los distintos tipos de construcción. Uno de los criterios de diseño del prototipo persigue evitar el apoyo directo en el suelo con apoyos superficiales puntuales, evitando una modificación al uso de suelo y añadiendo la ventaja de que el modelo sea trasladado mediante dispositivos de rodamiento y arrastre cuando los habitantes así lo requieran.

Es importante establecer que la delegación Coyoacán, en contexto con la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM), representa un potencial alto de crecimiento en el sector público y privado, pues se tiene una alta concentración de equipamiento e infraestructura, tales como, Ciudad Universitaria, el Hospital Nacional de Pediatría, Instituto Mexicano de Psiquiatría, el Centro Comercial Perisur, por mencionar algunos, lo que ha causado que la delegación se preocupe por el desarrollo de grandes predios y el mejoramiento de zonas habitacionales de bajos ingresos (Coyoacán, 2011).

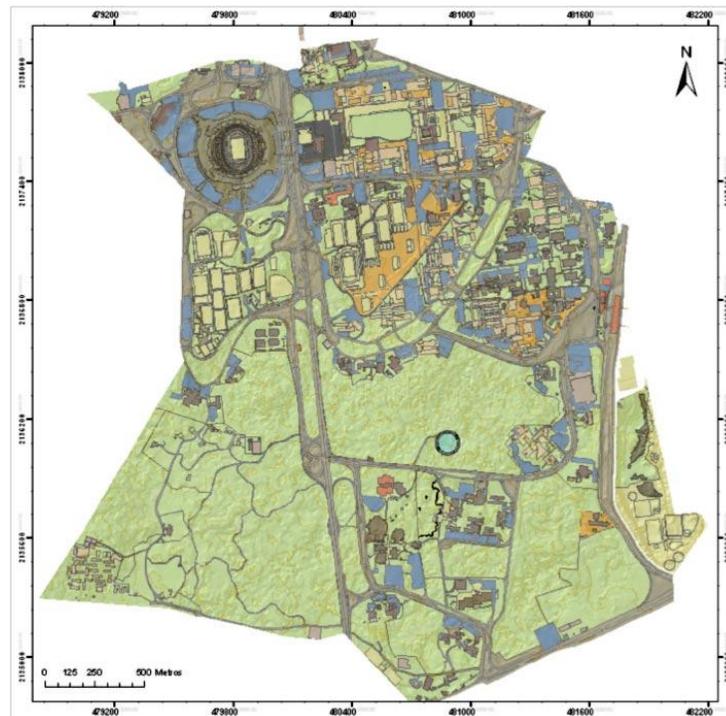


Figura 4, Zona de estudio (PUMAGUA, 2017)

3. Marco teórico

En la actualidad, un factor importante de los proyectos es la sostenibilidad que este posee, es decir, cuantificar el grado de compromiso que tiene con el ambiente y sí presenta un balance entre el consumo, la producción y la necesidad de los recursos que se utilizan.

El portal *soycolombiano.com*, desarrollado por el Ministerio de Medio Ambiente, Vivienda y Desarrollo de Colombia, menciona que el optar por una vivienda sostenible significa un ahorro del 40% de agua, entre un 30% y 50% de ahorro de energía, y la reducción de un 35% las emisiones de CO₂ (Verde vivo, 2018). En México el programa EcoCasa, a cargo del Banco de Desarrollo Alemán KfW y el Banco Interamericano de Desarrollo (BID), establece que las viviendas deben reducir en un 20% las emisiones de CO₂ comparado con una línea base y para ello se utiliza el Sistema de Evaluación de la Vivienda Verde (SEDATU, 2017).

En 2011, la Comisión Nacional de Vivienda (CONAVI), desarrolló dos instrumentos financieros, “Ésta es tú casa” e “Hipoteca verde”, cuyo objetivo principal es atender la demanda de vivienda contribuyendo al ordenamiento territorial, proveer servicios públicos de manera eficiente, desarrollar habitacional sustentable y contribuir a reducir los daños al medio ambiente (Riveros, 2011).

Las viviendas subsidiadas deben ser sustentables, por lo que serán diseñadas incluyendo ecotecnologías, que generan ahorros en el consumo de agua y energía, además de tomar en cuenta la procedencia y características de los materiales de construcción, siendo sustentables aquellos que disminuyen la cantidad de emisiones de CO₂ producidas.

En el caso de *VIS CASA* se cuenta con la propuesta de paneles solares como fuente principal de energía, se plantea un sistema de captación de agua pluvial como complemento del suministro de agua y se analizará los indicadores; huella de carbono y la huella hídrica para determinar los materiales más responsables en materia ambiental.

3.1. Huella de carbono

La huella de carbono es un certificado en el que se cuantifican las emisiones de dióxido de carbono que contribuyen al calentamiento global generadas en la cadena de producción de materias primas. Representa la suma de todas las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) causadas directa o indirectamente por un individuo, organización, evento o producto. Se expresa en unidades de carbono equivalente (CO_{2eq}), y toma en cuenta todos los GEI que contribuyen en el calentamiento global con sus respectivas equivalencias a dióxido de carbono (Carbono, 2017).

El certificado de la huella de carbono se emite por instituciones capacitadas o por profesionales expertos en medio ambiente, tales como: Ingenieros forestales, ingenieros agrónomos o topógrafos. Para obtener dicha certificación se debe planificar, recopilar la información y calcular la huella de carbono conforme a la norma (Certicalia, 2018).

Con la finalidad de reducir las emisiones de gases causantes del calentamiento global, se lleva a cabo a la Conferencia de Kioto, convocada por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) en 1992. En dicha convención se firmó el Protocolo de Kioto (PK), que es un acuerdo internacional sobre el cambio

climático, cuyo objetivo es reducir las emisiones de gases causantes del calentamiento global.

Entre los acuerdos establecidos en el protocolo de Kioto, se encuentra el listado de los principales GEI: dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbonos, perfluorocarbonos y hexafluoruro de azufre, los últimos 3 gases son generalmente agrupados y llamados gases fluorados, son de origen natural y son de alto potencial de calentamiento global (OBCCD, 2018).

Tabla 1, Potencial de Calentamiento Global de Gases de Efecto Invernadero, (OBCCD, 2018)

Gases de Efecto Invernadero	Potencial Calentamiento Global (CO _{2eq})
Dióxido de carbono (CO₂)	1
Metano (CH₄)	25
Óxido de nitrógeno (N₂O)	298
Hidrofluorocarbonos HFC_s	124-14 800
Perfluorocarbonos PFC_s	7 390-12 200
Sulfuro hexafluorido SF₆	22 800

Los principales GEI presentes en la atmósfera, de acuerdo al protocolo de Kioto, son el dióxido de carbono, el metano y el óxido nitroso. El dióxido de carbono es el principal GEI. En el año 2010 representaba cerca del 60% de responsabilidad del efecto invernadero “ampliado”, el metano alrededor del 20% y un 20% corresponde al óxido nitroso y los gases restantes.

La presencia de los GEI en la atmósfera es esencial para producir el efecto invernadero (EI) y mantener una temperatura promedio de 14°C, el incremento de estos gases genera un efecto invernadero “ampliado” lo que causa el calentamiento global (OBCCD, 2018).

La amplificación del efecto invernadero es consecuencia del incremento de las concentraciones de GEI, lo que se traduce en un mayor calentamiento de la atmósfera, puesto que el sistema climático debe ajustarse al aumento de los niveles de gases de efecto invernadero para mantener el balance de energía. Otra consecuencia de la

ampliación del efecto invernadero es que la atmósfera se hace más opaca para retener mayor calor (Smith, 2007).

La Tabla 2, Concentraciones de Gases de Efecto Invernadero, muestra el incremento de las concentraciones de los principales gases de efecto invernadero a partir del año 1750 hasta el año 2016.

Tabla 2, Concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (OMM, 2017)

	Dióxido de carbono CO ₂	Metano CH ₄	Óxido nitroso N ₂ O
Concentración en 2016	403.3 ppm ²	1853 ppb ³	328.9 ppb
Concentración en 2016 con relación a 1750	145%	257%	122%
Aumento en valor absoluto 2015-2016	3.3 ppm	9 ppb	0.8 ppb
Aumento registrado en valor relativo entre 2015-2016	0.83%	0.49%	0.24%
Aumento anual medio (valor absoluto) últimos diez años	2.21 ppm	6.8 ppb	0.9 ppb

El dióxido de carbono es uno de los principales gases de efecto invernadero (GEI), este se origina en procesos naturales y a través de actividades humanas, tales como la respiración, erupciones volcánicas, deforestación, cambio de uso de suelo y quema de combustibles fósiles.

La huella de carbono se puede calcular con diferentes directrices y protocolos, los cuales se aplican internacionalmente. Las principales normas publicadas son emitidas por la Organización Internacional de Estandarización (ISO), British Standards Institution, el World Resources Institute (WRI) y el World Business Council for Sustainable Development (WBCSD).

² PPM: partes por millón de partes

³ PPB: partes por mil millones de partes

La ISO desarrolla algunos de los principales protocolos aplicables a los GEI, tal es el caso de la norma “ISO 14067” que incluye las especificaciones sobre el cálculo de la huella de carbono en producto y su comunicación. Esta norma tiene dos secciones, la primera que explica la cuantificación de la huella de carbono y en la segunda se desarrolla la comunicación con la población. Otras normas aprobadas por la ISO relacionadas con el cambio climático y aplicables a la medición de GEI son la ISO 14064, ISO 14065, ISO 14066 e ISO 14069 (Comercio, 2018).

El protocolo de gases de efecto invernadero (GHG Protocol) es la herramienta internacional más utilizada para el cálculo y comunicación del inventario de emisiones, este protocolo ha sido desarrollado por el WRI y WBCSD. Este protocolo cuenta con una metodología extensa que cuantifica GEI directos e indirectos, por lo que puede ser aplicada a cualquier sector (AEC, GHG Protocol, 2018).

En 2010, British Standards Institution publicó la norma PAS 2060:2010, que especifica la metodología para la neutralidad de carbono⁴, permitiendo a las organizaciones asegurar que sus declaraciones sobre neutralización de las emisiones de CO₂ son correctas, también proporciona orientación sobre la manera de cuantificar, reducir y compensar las emisiones de GEI, buscando principalmente la reducción de las emisiones (AEC, Norma PAS 2060, 2018).

3.2. Huella hídrica

El ser humano realiza diversas actividades que representan un consumo de agua, este puede ser directo o indirecto. Del total de agua que consumimos para las actividades cotidianas, el 4% es para actividades domésticas o de consumo y el 96% restante representa los productos y servicios cotidianos, para estimar las cantidades de agua que se utilizan para la elaboración de los bienes o servicios se creó el concepto de “*Huella Hídrica (HH)*”.

⁴ Neutralidad de carbono: consiste en la reducción y/o compensación total de las emisiones generadas por CO₂. El propósito es conseguir un balance de emisiones generadas (Agreda Gozález, Bilbabo Erezkano, Cavero Artero, & Delgado Moreno, 2013).

Este indicador permite definir el volumen total de agua utilizado para la vida cotidiana, incluyendo la producción de bienes, servicios, generación de energía y agua que se utiliza y contamina a través de los procesos. La huella hídrica puede representar la cantidad de agua que aprovecha una persona, grupo de consumidores, región, país, o a nivel mundial.

Los componentes de la huella hídrica, considerando solamente agua dulce, son el volumen utilizado para la producción, la clasificación del agua, el origen y el momento de extracción del agua. Con respecto al origen, se puede clasificar en tres tipos o colores: azul, verde y gris.

El agua clasificada como azul, es la que se encuentra en los cuerpos de agua superficial y subterráneos, en el caso del agua verde se tiene el agua de lluvia almacenada en el suelo como humedad, esencialmente, el agua de lluvia utilizada durante el flujo de la evapotranspiración del suelo. El agua gris es toda el agua que resulta contaminada durante un proceso.

El agua utilizada que regresa intacta al mismo lugar del que se tomó dentro de un tiempo breve, no se toma en cuenta como HH. La suma del agua verde, agua azul y agua gris que requiere un producto o servicio dentro de todo el proceso de elaboración será su huella hídrica (CONAGUA C. N., El agua virtual y la huella hídrica, 2011).

3.3. El agua como recurso indispensable

El agua, elemento fundamental para el desarrollo de la vida, el cual cobra mayor importancia cuando se vincula a la calidad de vida y el desarrollo de la sociedad. En muchas regiones, el crecimiento urbano conlleva el uso intensivo y la contaminación de los recursos hídricos en la ciudad y su periferia, seguido del desarrollo de importaciones de agua de larga distancia (Morris, y otros, 2003). Es importante concientizar acerca de la situación actual del agua.

El planeta Tierra se encuentra cubierto de agua en un 70%, del cual el 97.5% es agua salada y 2.5% es dulce, éste 2.5% se subdivide en: 69% para los glaciares, el 31% se encuentra en el subsuelo y poco menos del 0.3% en lagos, ríos, lagunas, arroyos y humedales, ésta última es el agua que los seres vivos utilizamos y de la que dependen las

diferentes especies que integran la biodiversidad que habita en la plataforma continental (CONABIO, 2013).

CONAGUA es el órgano a cargo de administrar y preservar las aguas nacionales y sus bienes inherentes, para ello, el país se ha dividido en trece Regiones Hidrológico-Administrativas (RHA), formadas por agrupaciones de cuencas consideradas para la gestión de recursos hídricos. Las RHA del sureste contienen dos terceras partes del agua renovable del país correspondientes a una quinta parte de la población, considerando lo anterior, el agua renovable per cápita de las RHA del sureste es siete veces mayor que la disponible en el resto del país.

La principal fuente de abastecimiento en la Ciudad de México son los acuíferos, el país cuenta con 653 acuíferos, los cuales aportan el 38.9% del volumen para usos consuntivos. En los últimos años el número de acuíferos ha incrementado considerablemente, en 1975 se tenían 32, y para el año 2016 se tenía un registro de 105 en condición de sobreexplotación, 32 presentaban presencia de suelos salinos y agua salobre y 18 más con intrusión marina (CONAGUA, 2016). El agua subterránea de la que se abastece la CDMX se encuentra debajo de zonas con alta densidad poblacional, ello conlleva a que las superficies para la posible recarga de acuíferos se encuentren cementadas.

En el año 1952, la extracción de agua subterránea en la Cuenca de México era del orden de 22 m³/s, ya por encima de los 19 m³/s (recarga vertical natural). En 2007, el caudal de extracción fue de 59.5 m³/s, casi 3 veces el volumen recargado. El agua subterránea representa la fuente de abastecimiento predominante, cuyo aporte es de 67%. De este, 55% corresponde al extraído del acuífero del Valle de México y el 14% restante del Valle de Lerma. El caudal restante se obtiene de fuentes superficiales: 3% de manantiales y 30% del Sistema Cutzamala (Jiménez Cisneros, 2001).

La distribución espacial de precipitación es irregular en toda la República Mexicana, en promedio se presenta un volumen de 740 mm anuales. De la lluvia anual, el 68% se presenta entre los meses de junio y septiembre (CONAGUA, 2016). Acorde al cálculo de precipitación normal de 1981 al 2010, México recibe de manera anual un volumen aproximado de 1 449 471 millones de metros cúbicos de agua en forma de precipitación, con lo que se llenarían cerca de 1 500 veces el Estadio Azteca. El volumen de

precipitación mencionado sugiere a la lluvia como una fuente de aprovechamiento potencial.

Aunado al potencial de la precipitación como fuente de abastecimiento, la CDMX necesita desalojar un volumen de 315 m³/s, entre aguas residuales y agua pluvial. La capacidad de la infraestructura existente en el año 2006 era de 165 m³/s, lo que permitía desalojar poco más del 50% de las aguas generadas en la Ciudad (CONAGUA C. N., Equilibrio hidrológico en la Cuenca del Valle de México, 2007). Es notable la incongruencia que existe en la gestión del agua en la CDMX, por un lado, existe una baja disponibilidad y, por el otro, riesgo de inundación.

3.4. Sistemas de captación de agua de lluvia

La captación y el almacenamiento de agua pluvial es un tema que tiene precedentes en México desde hace 4000 años, en la zona arqueológica de Xochicalco, Morelos. En esta zona no existía una fuente de abastecimiento de agua, por lo que los habitantes ingeniaron un sistema de uso eficiente de este recurso, en el cual la plaza central y los patios fueron diseñados para canalizar el agua de lluvia hacia las cisternas, las cuales almacenaban el agua por siete meses aproximadamente (Hoyos, 2011).

Actualmente a nivel mundial, la captación del agua de lluvia representa una solución a problemas de abastecimiento de las grandes urbes. El agua de lluvia es una fuente de abastecimiento no potable, pero con la calidad para realizar actividades de limpieza sanitaria, riego y acciones que no impliquen el consumo humano. Otra de las ventajas de captar el agua de lluvia es la disminución del escurrimiento pluvial, evitando la saturación del drenaje y las inundaciones.

En el caso de Europa, la captación es principalmente un incentivo monetario debido a los altos costos del metro cúbico del agua. En países como Dinamarca, el metro cúbico, como se muestra en la Figura 5, Precio del metro cúbico de agua. (Adaptado de European Federation of National Associations of Water Services EurEau), sobrepasa el costo de ocho euros, y el costo mínimo se encuentra en Grecia y es de 1.25 euros. Además, los sistemas de captación de agua de lluvia representan un nivel de exigencia medioambiental, pues la Unión Europea plantea el uso de eco tecnologías como primera fuente. En el caso de México, el precio por metro cúbico es menor a un euro, y el gobierno

subsidia cierto porcentaje sí el consumo se encuentra dentro de un rango establecido por la Comisión Nacional del Agua.

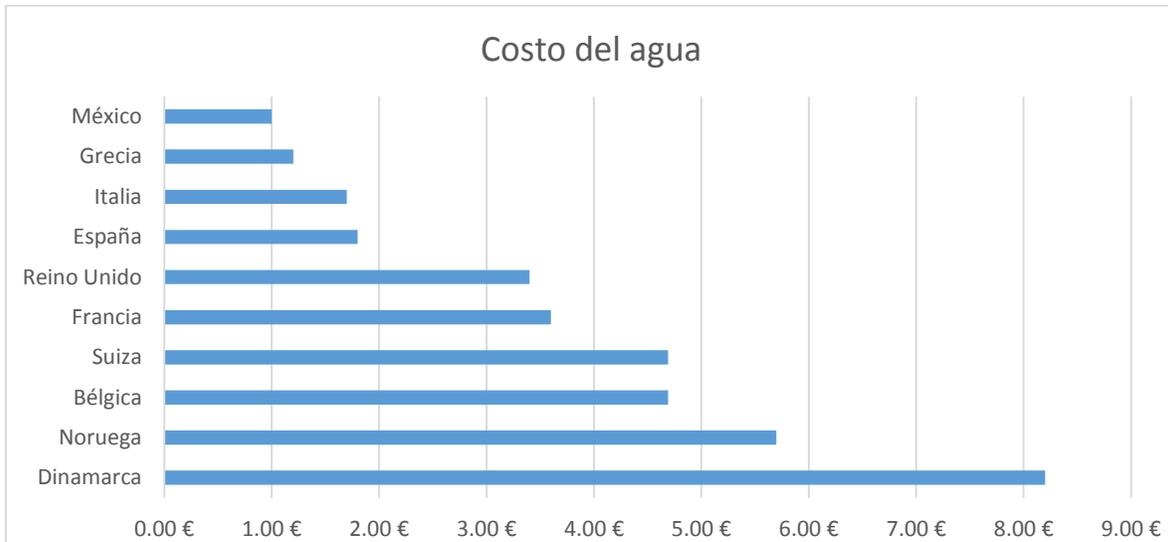


Figura 5, Precio del metro cúbico de agua. (Adaptado de European Federation of National Associations of Water Services EurEau)

En México se cuenta con el programa “*PROCAPTAR*”, aplicado principalmente a la población rural que no cuenta con una red de suministro de agua potable y que las lluvias anuales acumuladas en la zona presentan alturas de precipitación iguales o mayores a 1500 [mm]. El programa puede cubrir hasta el 100% del costo de un Sistema de Captación de Agua de Lluvia (SCALL), el cual permite abastecer con al menos 50 litros por persona al día, durante los 365 días del año y también se tiene en paralelo un sistema de tratamiento de aguas residuales, ambos sistemas a nivel domiciliario (CONAGUA C. N., *PROCAPTAR, Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecnias en Zonas Rurales*, 2017).

El tema de investigación sobre calidad del agua de lluvia es en gran parte, territorio desconocido, para determinar las características físicas, químicas y microbiológicas del agua pluvial, se han realizado escasas investigaciones, puesto que su principal fuente de contaminación es la atmósfera, donde reacciona con los gases que la integran, vapores y aerosoles, estos últimos producto de la actividad humana (TECNUN, 2018).

Los especialistas en el tema de sistemas de captación de agua pluvial se han enfocado en generar conocimiento acerca de los dispositivos ideales para las diferentes etapas del aprovechamiento, dejando un campo abierto en el aspecto de la calidad pluvial.

La Universidad Nacional Autónoma de México, siendo más precisos, PUMAGUA, en colaboración con Isla Urbana, ha realizado un diagnóstico para determinar las condiciones óptimas en las que se debe mantener el sistema de captación y obtener información certera de la calidad del agua captada que se presentará.

Los parámetros analizados por parte de Isla Urbana y PUMAGUA son los establecidos en la Tabla 3, Parámetros analizados y límites permisibles (Tomado de Isla Urbana y PUMAGUA) algunos fueron analizados en campo y otros se conservaron y transportaron para su posterior análisis en laboratorio.

Tabla 3, Parámetros analizados y límites permisibles (Tomado de Isla Urbana y PUMAGUA)

Parámetros	Límites máximos permisibles	%de incumplimiento en techo de loza ⁵	% de incumplimiento techo de lámina ⁶	% de incumplimiento techo de loza impermeabilizada ⁷
Cloro residual libre	0.2 - 1.5 [mg/L]	41%	54%	100%
Coliformes fecales	Ausentes [UFC]	12%	Cumple	50%
Coliformes totales	Ausentes [UFC]	12%	Cumple	100%
Sulfatos	400 [mg/L]	Cumple	Cumple	Cumple
Nitratos	10 [mg/L]	Cumple	Cumple	Cumple
pH	6.5-8.5	12%	Cumple	8.6%
Sólidos	1000 [mg/L]	Cumple	Cumple	Cumple

⁵ Las condiciones de la loza son deficientes y no cuenta con impermeabilizante, se realizaron 24 muestras, solamente a 18 se aplicaron pruebas de agua residual.

⁶ Condiciones deficientes, se realizaron 17 muestras y 11 para cloro residual.

⁷ Condiciones deficientes, se realizaron 23 muestras totales y 14 para cloro residual

Parámetros	Límites máximos permisibles	%de incumplimiento en techo de loza ⁵	% de incumplimiento techo de lámina ⁶	% de incumplimiento techo de loza impermeabilizada ⁷
disueltos totales				
Turbiedad	5 [UTN]	Cumple	Cumple	Cumple
Temperatura	No normada	--	--	--

De acuerdo con los resultados, los parámetros fisicoquímicos cumplieron con lo establecido en la normatividad, y los parámetros restantes han incumplido al menos una vez con lo que se establece en la NOM-127-SSA1-1994, (2000). El aspecto microbiológico ha presentado incumplimiento normativo, pero el techo de lámina muestra menor concentración, a diferencia del techo de loza que permite la retención de microorganismos. Esto también indica que la contaminación no precisamente es por parte de la fuente, es en el sistema de captación (PUMAGUA & Urbana, 2016).

4. Evaluación de alternativas de materiales para el suministro de agua

Este capítulo incluye un análisis comparativo de los diferentes materiales comerciales disponibles en México para las instalaciones de suministro de agua del prototipo de vivienda *VIS CASA*. Esto permite evaluar la sustentabilidad de cada propuesta y contar con elementos de juicio para la elección del material que mejor se adapte a los requerimientos del proyecto.

Los principales factores por tomar en cuenta en la elección del material son:

- Resistencia al tiempo, duración.
- Costo de instalación y mantenimiento.
- Conductividad térmica.
- Resistencia a los factores ambientales.
- Posibles riesgos a la salud del material en cuestión.
- Uso que se le dará a la tubería.
- De ser posible, la huella hídrica y huella de carbono de cada material.

Para el suministro de agua potable se tienen dos opciones claras; los metales y los termoplásticos que engloban los diversos polímeros. A continuación, se describen las principales características de cada material que se puede adquirir en la ciudad de México.

4.1. Tuberías metálicas

Las tuberías metálicas incluyen las tuberías de cobre, acero, acero inoxidable y acero galvanizado. Para el suministro de agua potable el elemento más utilizado son las tuberías de cobre, en algunas circunstancias se utilizan la tubería de acero inoxidable y la tubería de acero galvanizado, ya que sin revestimiento el acero no se recomienda para el agua.

4.1.1. Tubería de acero inoxidable y acero galvanizado (IMACIFP, 2013)

Las tuberías de acero inoxidable están fabricadas con una aleación de hierro y un porcentaje menor al 10.5% de cromo, este último le aporta resistencia a la corrosión, protegiendo a la tubería al exponerse al medio ambiente.

Las tuberías de acero inoxidable en la industria del agua se han utilizado para forros en tanques de concreto, bombas, válvulas, grifos, tanques de almacenamiento, líneas de tuberías, entre otros.

Este material es uno de los materiales metálicos que se puede utilizar en el sector doméstico y en el industrial. Entre sus fortalezas presenta su resistencia a altas temperaturas, es recomendada principalmente para las instalaciones de gas.

Entre los inconvenientes que se presentan con el acero inoxidable es la baja resistencia a la corrosión y la oxidación en comparación con otros materiales, además es el material más caro de tuberías. El principal inconveniente de las tuberías de acero son las incrustaciones de las sales transportadas en el agua, con el tiempo, los depósitos de sales son mayores, impidiendo el correcto funcionamiento de la red y ocasionando fallas en los equipos y deficiencia de las propiedades iniciales de la tubería, tales como, rugosidad y transferencia de calor.



Figura 6, Incrustaciones de sales en tubería de acero (MERUS, 2018)

La tubería de acero galvanizado se fabrica con acero dulce, es decir, acero con bajo contenido en carbono y se le conoce como tubería de acero negro. Las ventajas de este material son la maleabilidad, el bajo costo inicial y de mantenimiento y la facilidad para ser soldado.

Entre los inconvenientes es su baja resistencia y que sí no se encuentra recubierto correctamente pueden afectar la calidad del agua transportada, además de no resistir altas presiones. Este tipo de tubería no puede trabajar en colaboración con el cobre, ya que produce una reacción química que debilita la unión.

Las tuberías de acero galvanizado son fabricadas en acero soldado longitudinalmente y protegido interior y exteriormente con un recubrimiento galvanizado. Se fabrica en barras rígidas de 5 o 6 [m] de longitud, pudiendo curvarse en frío para la mayoría de sus diámetros.

El perfil medioambiental del acero indica que por cada tonelada de bloque de acero fabricado se generan 145 kg de escoria, 230 kg de escoria granulada, 150 000 litros de agua residual y alrededor de 2 toneladas de emisiones de gases de efecto invernadero (Lawson. B, 1996).

En la Figura 7, Consumo y descargas de agua para cada etapa del proceso siderúrgico se muestra el agua utilizada y el agua residual de cada proceso, y se puede observar que en todas las etapas el agua utilizada se convierte en agua residual. La calidad del agua es potable en la mayoría de los procesos, esto con la finalidad de no dañar la maquinaria utilizada.

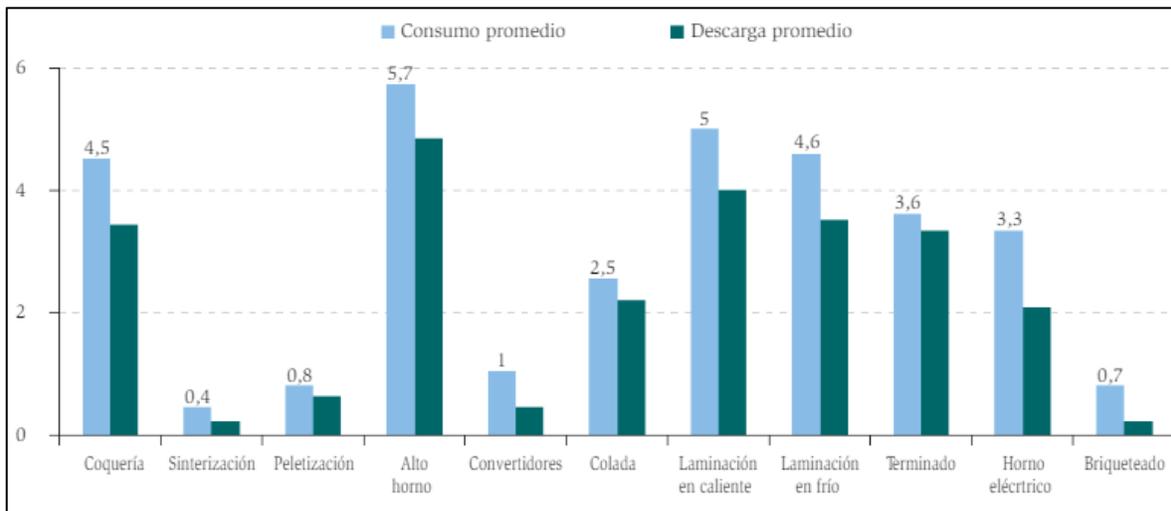


Figura 7, Consumo y descargas de agua para cada etapa del proceso siderúrgico (Madías, 2015)

4.1.2. Tubería de cobre

El cobre es la tubería más utilizada en las instalaciones de agua caliente. Es el material preferido en cuanto a tuberías metálicas se refiere. El cobre se introdujo al mercado cerca del año 1900, pero se popularizó hasta la década de los 50's.

Las tuberías de cobre son resistentes a la presión y presentan un mínimo de pérdidas debidas a la fricción al contar con paredes lisas al interior, además facilitan la unión, el manejo o maniobrabilidad entre sus elementos. Este tipo de conducciones requieren poco mantenimiento y no se deforman al exponerse a altas temperaturas.

Las tuberías pueden ser de dos tipos de temple; rígido y flexible. Las tuberías rígidas de cobre se fabrican en cuatro tipos con base al tamaño: M, L, K y DWV. En el caso de las instalaciones de agua fría y caliente para casas habitación o edificios, se utiliza la tubería rígida de tipo M (M. I. Sánchez Galarza, 2017).

El centro Español de Información del Cobre (CEDIC) solicitó un análisis de ciclo de vida, en el cual se examinó las diferentes etapas de fabricación de una tubería de cobre. En dicho estudio se evaluaron tres categorías: salud humana, calidad del ecosistema y los recursos. En la Figura 8, Tabla de caracterización de las instalaciones muestra las diferentes categorías para realizar el análisis de ciclo de vida. En este estudio se compara el cobre prensado, el cobre soldado y la tubería multicapa PEX-AI.

CATEGORÍA	UNIDAD	INSTALACIÓN COBRE PENSADO	INSTALACIÓN COBRE SOLDADO	INSTALACIÓN PEX-AI	
C	DALY	$1,12 \cdot 10^{-5}$	$1,29 \cdot 10^{-5}$	$3,58 \cdot 10^{-5}$	Salud Humana
OR	DALY	$5,64 \cdot 10^{-7}$	$5,83 \cdot 10^{-7}$	$7,95 \cdot 10^{-7}$	
IR	DALY	$1,25 \cdot 10^{-4}$	$1,61 \cdot 10^{-4}$	$1,91 \cdot 10^{-4}$	
CC	DALY	$2,44 \cdot 10^{-5}$	$2,54 \cdot 10^{-5}$	$8,71 \cdot 10^{-5}$	
R	DALY	$7,46 \cdot 10^{-7}$	$8,25 \cdot 10^{-7}$	$7,07 \cdot 10^{-7}$	
CO	DALY	$1,63 \cdot 10^{-7}$	$1,65 \cdot 10^{-7}$	$2,09 \cdot 10^{-7}$	
E	PAF*m2yr	22,9	24,2	103,75	Calidad del Ecosistema
A/E	PAF*m2yr	3,79	4,15	7,20	
UT	PAF*m2yr	1,30	1,64	16,40	
M	MJ surplus	$2,73 \cdot 10^2$	$5,09 \cdot 10^2$	1,76	Recursos
CF	MJ surplus	$2,31 \cdot 10^2$	$2,54 \cdot 10^2$	$5,50 \cdot 10^2$	

Figura 8, Tabla de caracterización de las instalaciones (CEDIC, 2007)

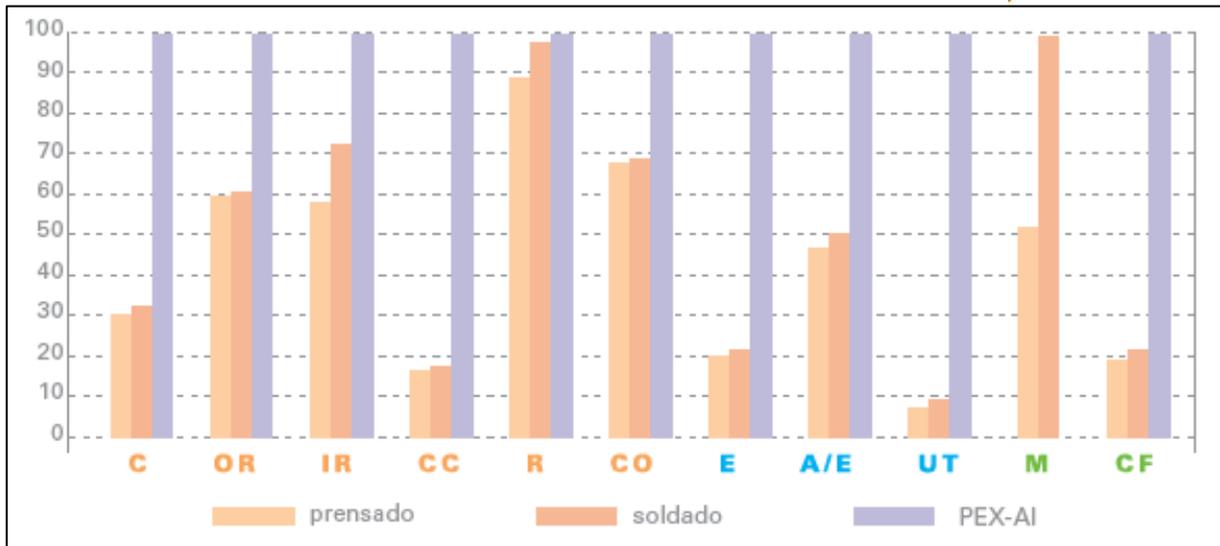


Figura 9, Comparativa de la caracterización de las diferentes instalaciones (CEDIC, 2007)

En el estudio se toma en cuenta el ciclo completo y se supone una vida útil de 50 años para el cobre, en la Figura 9, Comparativa de la caracterización de las diferentes instalaciones es fácil apreciar que la tubería multicapa presenta mayores efectos adversos al ecosistema y en general en la mayoría de las categorías.

El resultado del análisis del ciclo de vida es que la instalación de tubo de cobre prensada supone una reducción del impacto ambiental del 59.26% en relación del sistema multicapa, y la tubería de cobre soldada una reducción del 41.71% con respecto al mismo material.

4.2. Polímeros

En el apartado de materiales plásticos encontramos una variedad de opciones, las principales en el mercado son; Polietileno de alta densidad (PEAD), Cloruro de polivinilo clorado (CPVC), Policloruro de vinilo (PVC), PEX y polibutileno (PB).

Actualmente, las tuberías de plástico son el material más utilizado para suministro de agua potable, esto es por su bajo costo, fácil acceso y transporte, son más maleables que los materiales metálicos, su alta durabilidad y no presentan alteraciones al entrar en contacto con el medio ambiente.

4.2.1. Policloruro de vinilo (PVC) (UCLM, 2003) y policloruro de vinilo clorado (CPVC) (plásticos, 2013)

El policloruro de vinilo (PVC) es un material que se produce a partir de sal y petróleo, de la sal se obtiene el cloruro, en un 57%, y el 43% restante es de etileno obtenido del petróleo. Las tuberías de PVC pueden ser rígidas u orientadas, lo que hace que la tubería tenga una estructura laminar.

Entre las ventajas de este material son; el fácil acceso de tuberías y accesorios, una alta resistencia mecánica, resistencia a altas presiones internas por lo que muestra un buen comportamiento al golpe de ariete. También tiene un bajo coeficiente de rugosidad, lo que disminuye las pérdidas.

Entre los inconvenientes de la tubería de PVC se encuentra su fragilidad al ser expuesta al medio ambiente y no está diseñada para las altas temperaturas, por lo que se debe tener cuidado de no instalarse cerca de objetos calientes o ser utilizado para distribución de agua caliente.

En el caso del CPVC, se tiene un termoplástico producido por cloración del policloruro de vinilo y fue comercializado por Noveon en la década de los 60's en donde resaltaba su resistencia a altas temperaturas como principal ventaja ante otros materiales.

EL CPVC es una variante de la tubería de PVC, su distinción es la cantidad de cloro que se introduce en el polímero, el porcentaje de cloro puede rondar entre 56% hasta un 69% y ese porcentaje permite una mayor resistencia a las altas temperaturas, por lo general de 40° C a 50°C, inclusive temperaturas superiores.

Otra de los beneficios del uso de CPVC en las instalaciones es la ductilidad del material, permite mayor maleabilidad, resistencia a la compresión y a la corrosión, por lo que en este aspecto reemplaza a las tuberías metálicas en el mercado.

4.2.2. Tuberías de polibutileno (PB) (Arquitectur, 2011)

El polibutileno es un material utilizado para la fabricación de tuberías que se unen por presión o termofusión. En lo general es un plástico con características que dan buena calidad al principio de su vida útil.

Entre las ventajas de este material es el rápido montaje, la flexibilidad, la resistencia a la tensión durante largos periodos de tiempo a altas temperatura y resiste la distribución de agua fría y caliente a presión y a temperaturas de hasta 70°C de manera continua.

Los inconvenientes del material es que su forma de dañarse es de adentro hacia afuera, así que no permite observar los daños en las instalaciones. Además, el cloro presente en el agua potable hace que la degradación del material se acelere, por lo anterior, la vida útil de las redes de suministro disminuye o hacen más costoso el mantenimiento. Sin considerar que con el tiempo la calidad del agua transportada disminuye con el tiempo.

4.2.3. Tuberías de polipropileno (Aquatherm, 2018)

Las tuberías de polipropileno son una de las opciones para instalaciones de agua fría y caliente. Presenta ventajas en los sistemas de suministro de agua potable, ya que trabajan correctamente a presión y en altas temperaturas, no tienen reacciones químicas al entrar en contacto con el cloro, por lo que garantiza ausencia de toxicidad para el ser humano. Este material tampoco sufre de corrosión interna ni externa.

Las ventajas de este material frente al cobre es el costo que representa la tubería metálica, la dificultad en su instalación y que el cobre a lo largo del tiempo presenta incrustaciones.

En comparación con las tuberías de polietileno y sus variantes PEX, la ventaja del polipropileno es el tipo de unión, ya que este material se une por termofusión y no por uniones mecánicas, lo que minimiza la probabilidad de sufrir fugas a lo largo del tiempo.

La desventaja de este material es la fragilidad que presenta en bajas temperaturas y su sensibilidad a los rayos UV, lo que disminuye su vida útil. Además de presentar efectos ambientales mayores que los otros tipos de polímeros al producirse en masa.

4.2.4. Tubería multicapa PEX-PEX (Flexpad, 2018)

La tubería multicapa puede ser de dos capas de polipropileno reticulado o bien, polietileno reticulado, estas capas se encuentran separadas con una capa fina de aluminio que evita la difusión del oxígeno atmosférico dentro de la tubería, lo que incrementa la vida útil de válvulas y mecanismo, estas tuberías tienen una capa exterior e interior de PEAD.

El PEX es una tubería plástica flexible que ha sido aprobada en Europa y el sur de los Estados Unidos, recientemente recibió la aprobación para el uso residencial en la mayoría de códigos de plomería.

La vida útil de este tipo de tubería es de 50 años y su principal ventaja es la reducción de conexiones, lo que reduce la posibilidad de fugas. Representa bajos costos de instalación y de mantenimiento. Es resistente a la exposición de temperaturas extremas, de corrosión, de abrasión, y de exposición a los químicos.

4.2.5. Tuberías de polietileno de alta densidad PEAD (GEOSAI, 2018)

Las tuberías de polietileno de alta densidad (PEAD) es la tubería plástica más utilizada a nivel mundial debido a su resistencia, duración, flexibilidad y sus costos de producción y mantenimiento son bajos. Además, este tipo de material es resistente a los químicos, por lo que no es dañado por el cloro presente en agua.

El PEAD tiene una vida útil de 50 años si se expone al medio ambiente, pero presenta una alta resistencia a la luz solar, lo que su tiempo de vida no se ve afectado por estar expuesta por largos periodos. Otro de los beneficios es que es un material resistente a la corrosión, lo que impide las incrustaciones y elimina el efecto de pérdida de carga.

La desventaja es que su unión es de tipo mecánica, lo que puede causar fugas a lo largo del tiempo, y puede incrementar su costo en diámetros grandes.

4.2.6. Impactos ambientales de los plásticos

En el sector de la construcción se utilizan aproximadamente 845'000 toneladas de plástico al año de las poco más de 5 millones de toneladas que se manejan, lo cual representa el 16% del consumo de plásticos en el país. Comercialmente, los productos plásticos utilizados en el sector constructivo son producidos en México en un 76%, de las 270'000 toneladas restantes, el 85% es importado principalmente para tuberías.

De acuerdo con la Figura 10, Plásticos en la construcción. Tomado de 425'000 toneladas se destinan para la fabricación de tuberías y conexiones, y 13'000 toneladas para accesorios. Entre las tuberías que destacan se tienen las fabricadas de materiales de polietileno, polipropileno y las tuberías de PVC (PEMEX, 2012).

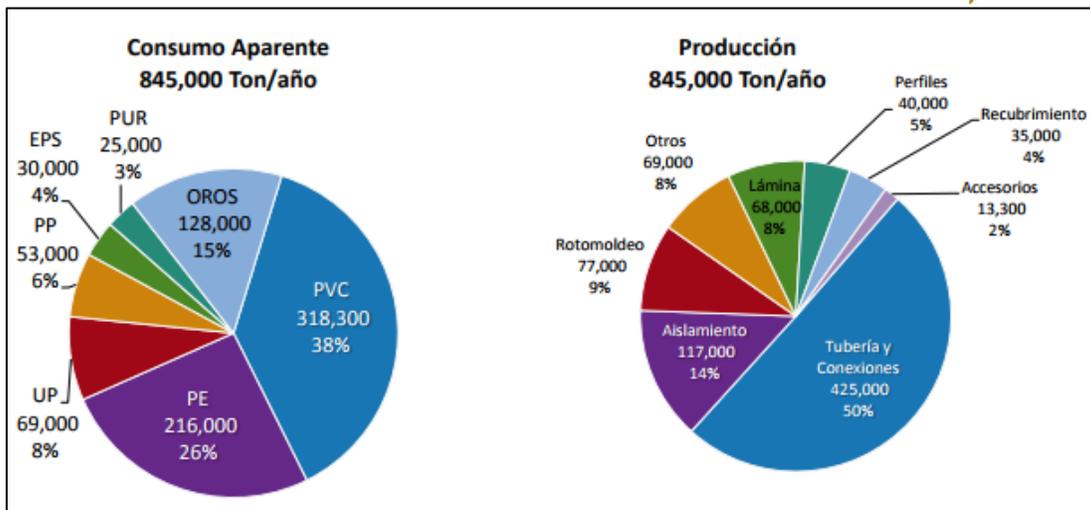


Figura 10, Plásticos en la construcción. Tomado de (PEMEX, 2012)

Molecor, es una empresa española que tiene implantado un sistema de gestión de calidad, medio ambiente y prevención, realizó un análisis de huella ambiental de su tubería más sustentable, la tubería TOM de PVC, en la que al igual que en la tubería de cobre, los daños medioambientales se clasifican en 4 grupos; aire y atmósfera, agua, suelo y salud humana.

En dicho estudio se obtienen los resultados de la Figura 11, Estimación de consumo de energía y emisiones de CO₂ derivadas de la producción y uso de tuberías (Tomado de **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** cual indica un menor consumo de energía en las diferentes fases del ciclo de vida y menores niveles de contaminación en las diferentes clasificaciones.



Figura 11, Estimación de consumo de energía y emisiones de CO₂ derivadas de la producción y uso de tuberías (Tomado de (Molecor, Sostenibilidad, 2018)

La tubería de PVC TOM de Molecor se ha analizado en el tipo y cantidad de materia prima utilizada, la eficiencia energética, la calidad final de los productos y la vida útil. En dicho análisis se concluye que la tubería PVC es la que menor energía consume y menores emisiones de CO₂ emiten de las tuberías plásticas, aunque las emisiones son menores en comparación con las tuberías metálicas, puesto que se produce menos del 25% de emisiones de CO₂.

En el caso del PEAD, las emisiones de dióxido de carbono son poco más de un kilogramo por tonelada de PEAD producido y el polipropileno produce 950 kg de dióxido de carbono equivalente por cada tonelada de PP fabricado (ASIPLA, 2017).

4.3. Elección del material

Para la elección del material adecuado de la red de instalación de suministro de VIS CASA se debe tomar en cuenta la normatividad aplicable para la Ciudad de México y lo expuesto anteriormente sobre las diferentes opciones de materiales.

Cumpliendo con el Art. 217 del Capítulo VII, De las Instalaciones del RCDF, los tramos de tuberías de las instalaciones deben unirse y sellarse herméticamente, de manera que se impida la fuga del fluido que conduzcan, y conforme al Art. 218, se probarán el uso y tipo de instalación de acuerdo con lo indicado en la normatividad vigente.

Las tuberías metálicas y plásticas cumplen con lo establecido en el párrafo anterior, pero solamente las tuberías plásticas pueden distribuir tanto agua fría como agua caliente sin causar daños a la red de suministro, disminuir la vida útil de la misma y/o afectar la calidad del agua potable distribuida.

De los resultados de los efectos ambientales emitidos por la tubería metálica y la tubería plástica se concluye que omitiendo la tubería PEX-PEX, las tuberías plásticas son amigables con el medio ambiente, además de ofrecer mayores ventajas en las instalaciones de suministro de agua potable a largo plazo.

Las tuberías plásticas principales fabricadas en México son las tuberías de PVC y PE, lo que las ubica como principales propuestas de tuberías. Considerando lo anterior, la red de suministro más amigable con el medio ambiente y accesible en el mercado es el PVC, pero este polímero no es el adecuado para temperaturas altas, por lo que su derivado, el CPVC, que posee iguales propiedades es el material que se recomienda para la red de tuberías de suministro, tanto de agua fría como de agua caliente.

5. Instalación de suministro de agua fría

5.1. Criterios de diseño de instalaciones hidráulicas

Una edificación debe estar provista de una instalación hidráulica que satisfaga el suministro de agua potable. En el caso de la Ciudad de México se deberá planear, diseñar y construir con base en las Normas Oficiales Mexicanas y la reglamentación vigente, para esto se hizo uso de la siguiente reglamentación y normatividad:

- ✓ Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF) (CDMX, 2016)
- ✓ Reglamento de Ingeniería Sanitaria Relativa a Edificios
- ✓ Norma Técnica Complementaria para el Proyecto Arquitectónico
- ✓ Normas Técnicas Complementarias para el diseño y ejecución de obras e instalaciones hidráulicas

Además, el correcto diseño de la red de distribución tiene una limitante, la economía, por lo que se hizo uso del siguiente material de consulta para determinar la factibilidad de los métodos empíricos para el diseño:

- ✓ Dr. Enrique César Valdez, *"Instalaciones Sanitaria para Edificios"*. Facultad de Ingeniería.
- ✓ García Sosa, Jorge. *"Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias en Edificios"*. México. 2001
- ✓ M. en I. José Luis Sánchez Galarza. Apuntes de la clase *"Instalaciones de suministro y evacuación de agua para edificios"* Posgrado de Ingeniería, semestre 2018-1.
- ✓ Enríquez Harper, Gilberto. *"El ABC de las instalaciones de gas, hidráulicas y sanitarias"* 2ª. Ed. México, Limusa, 2009.

5.2. Agua potable

5.2.1. Cálculo del consumo diario total

Para determinar la provisión mínima de agua potable requerida por la Vivienda Industrializada Sustentable (VIS CASA), debemos tomar en cuenta dos factores: población del proyecto y dotación de acuerdo con el uso final del edificio. En la Tabla 4,

Dotación de agua potable, se tienen las dotaciones recomendadas por las Normas Técnicas Complementarias para casa habitación.

Tabla 4, Dotación de agua potable

Tipología	Dotación
Habitacional	
I.I Vivienda de hasta 90 m² construidos	150 [l/hab/día]
I.II Vivienda mayor de 90 m² construidos	200 [l/hab/día]

Dotación, de acuerdo con las Normas Técnicas Complementarias para el Diseño y Ejecución de Obras e Instalaciones Hidráulicas:

- ✓ Habitantes de la vivienda: 150.00 L/hab/día

Población

- ✓ Número habitantes: 2 personas

Consumo estimado diario del conjunto:

$$\text{Dotación} * \text{Núm. de habitantes} \qquad 150 \left[\frac{l}{\text{hab}} \right] * 2 [\text{hab}]$$

$$\text{Consumo diario Total} \qquad 300 \left[\frac{l}{\text{día}} \right]$$

Por lo tanto, el diseño del sistema se hará con un consumo diario de 300 [l/día].

El equipo de VIS CASA determinó que se tengan 4 tanques de almacenamiento de 150 [l] cada uno, dos serán destinados para agua potable, uno de uso pluvial y se tendrá un tanque mixto. El funcionamiento de los tanques se encuentra en el *Anexo 2*.

5.2.2. Muebles sanitarios

De acuerdo con el Capítulo III, De la Higiene, servicios y acondicionamiento ambiental de las Normas Técnicas Complementarias, Art. 82 Las edificaciones deben estar provistas de servicios sanitarios con el número, tipo de muebles y características que se establecen acorde al tipo de edificación y superficie que ocupa:

VIS CASA entra en el apartado de viviendas con superficie menor a 45 m², las cuales deben contar con al menos un excusado, una regadera y uno de los muebles: lavabo, fregadero o lavadero; mismos que deberán incorporar sistemas o dispositivos ahorradores de agua.

En cumplimiento del Art. 125 del Capítulo VI *De las Instalaciones, Sección primera: De las Instalaciones Hidráulicas y Sanitarias del Reglamento de Construcciones del Distrito Federal (RCDF)* y del Art. 25 del Capítulo II, *del uso responsable racional y eficiente del agua del Reglamento del Servicio de Agua y Drenaje para el Distrito Federal*, las instalaciones hidráulicas y sanitarias, los muebles y accesorios de baño, las válvulas, tuberías y conexiones deben ser de bajo consumo de agua potable.

Los excusados tendrán una descarga máxima de seis litros por servicio y las regaderas una descarga máxima de diez litros por minuto y deben cumplir con lo especificado en el Art. 125 ya mencionado. VIS CASA cuenta con un fregadero y una lavadora en la planta baja, en el segundo nivel se cuenta con un W.C. de tanque, una regadera y un lavabo.

El equipo de arquitectura determinó los siguientes muebles para integrar VIS CASA con base a lo establecido anteriormente, además los muebles son de fácil acceso en términos industriales, son muebles de bajo consumo y satisfacen las necesidades de una casa habitación.

Se consultaron las fichas técnicas para conocer los consumos de cada mueble y tener exactitud en la determinación de gastos y diámetros, en los casos en que las especificaciones requeridas no se encontraron, se solicitó el apoyo a soporte técnico de las empresas. Las fichas técnicas de cada mueble se encuentran en el Anexo 1. La relación de muebles propuestos para el proyecto y los consumos se muestran en la Tabla 5, Consumo de muebles para suministro de agua fría.

Tabla 5, Consumo de muebles para suministro de agua fría

Mueble Sanitario	Mueble seleccionado	Consumo teórico [l/s]	Consumo del mueble [l/s]
Lavasecadora	Samsung WD11J6410AX o Samsung	0.2	0.125

Mueble Sanitario	Mueble seleccionado	Consumo teórico [l/s]	Consumo del mueble [l/s]
	WD10J6410AW		
Monomando para fregadero	Kohler K-647	0.15	0.113
	Helvex E300-6		0.1
	Kohler K-15888-K		0.113
W.C Tanque	Kohler K-6303	0.1	0.05-0.102
Regadera	Helvex H200-6	0.2	0.1
	Helvex H201-6		0.1
	Helvex H3006-6		0.1
Lavabo	Helvex EP99-1.9	0.1	0.032
	Kohler K-14761-4		0.075
	Helvex ME2121-1.9		0.032
	Helvex ME2122-1.9		0.032

En la Figura 12, Planta baja de VIS CASA y en la Figura 13, Primer nivel de VIS CASA, se muestran los planos arquitectónicos de la *Vivienda Industrializada Sustentable* y se resaltan los muebles mencionados con anterioridad.

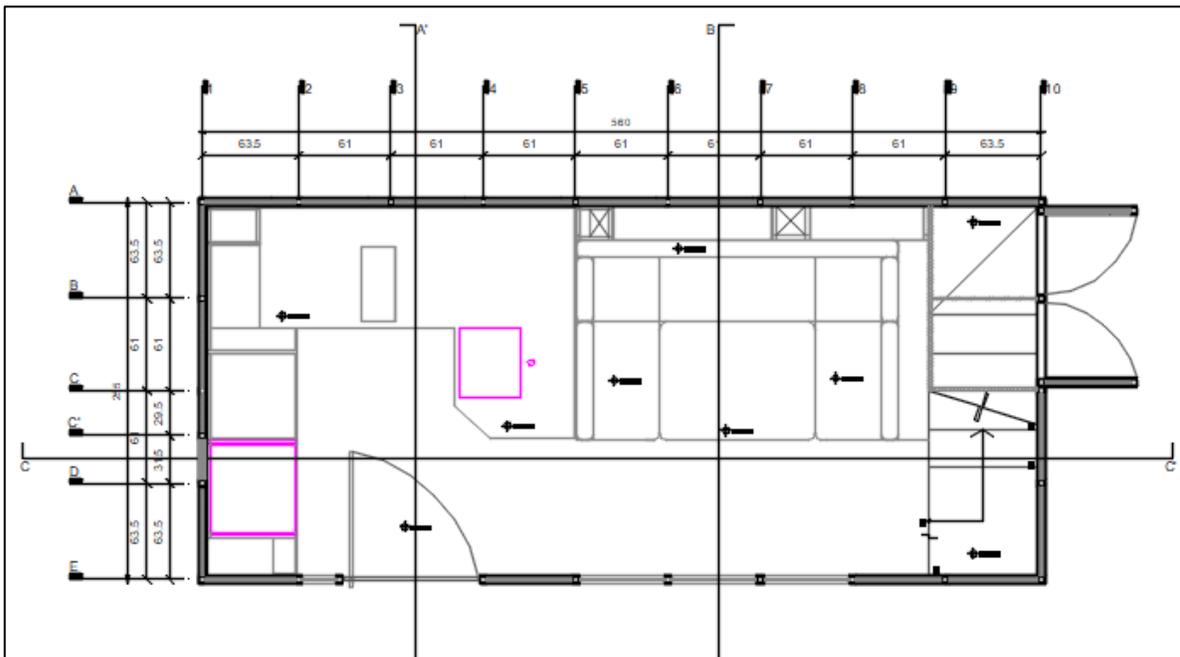


Figura 12, Planta baja de VIS CASA (Tomado de VIS CASA, 2018)

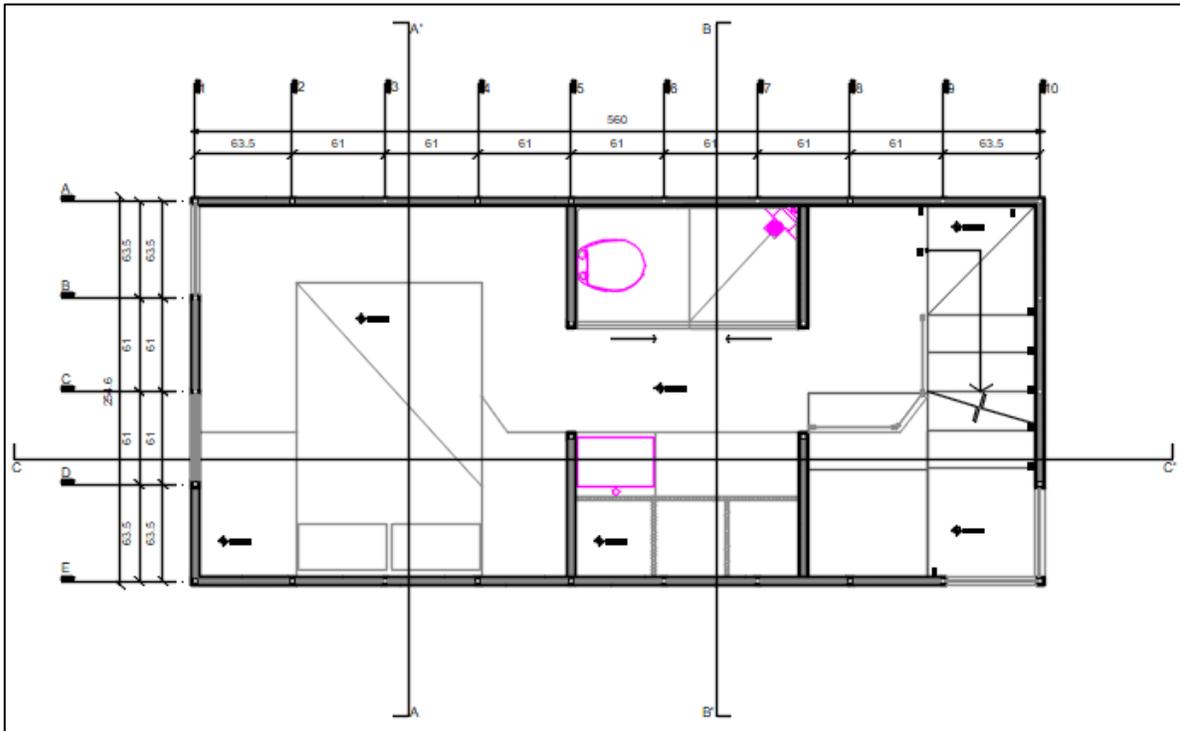


Figura 13, Primer nivel de VIS CASA (Tomado de VIS CASA)

Los muebles comerciales seleccionados para las instalaciones son los indicados en la Tabla 5, Consumo de muebles para suministro de agua fría, y con el consumo máximo de cada tipo de mueble se realizarán los cálculos correspondientes para los métodos seleccionados para el diseño de la red de suministro.

El criterio para la selección de la trayectoria de suministro fue la ubicación del sistema hidroneumático, el cual se localiza debajo de las escaleras. Se acordó el sistema de abastecimiento con equipo de presión independiente debido a que la casa puede o no ser trasladada, lo que significa que la probabilidad de estar conectado a la red de abastecimiento municipal no es del 100%, lo que impide un flujo continuo y un sistema de depósito elevado.

En la Figura 14, Trayectoria de agua fría planta baja y en la Figura 15, Trayectoria de agua fría primer nivel, se muestran las trayectorias de suministro de agua fría,

Figura 14, Trayectoria de agua fría planta baja

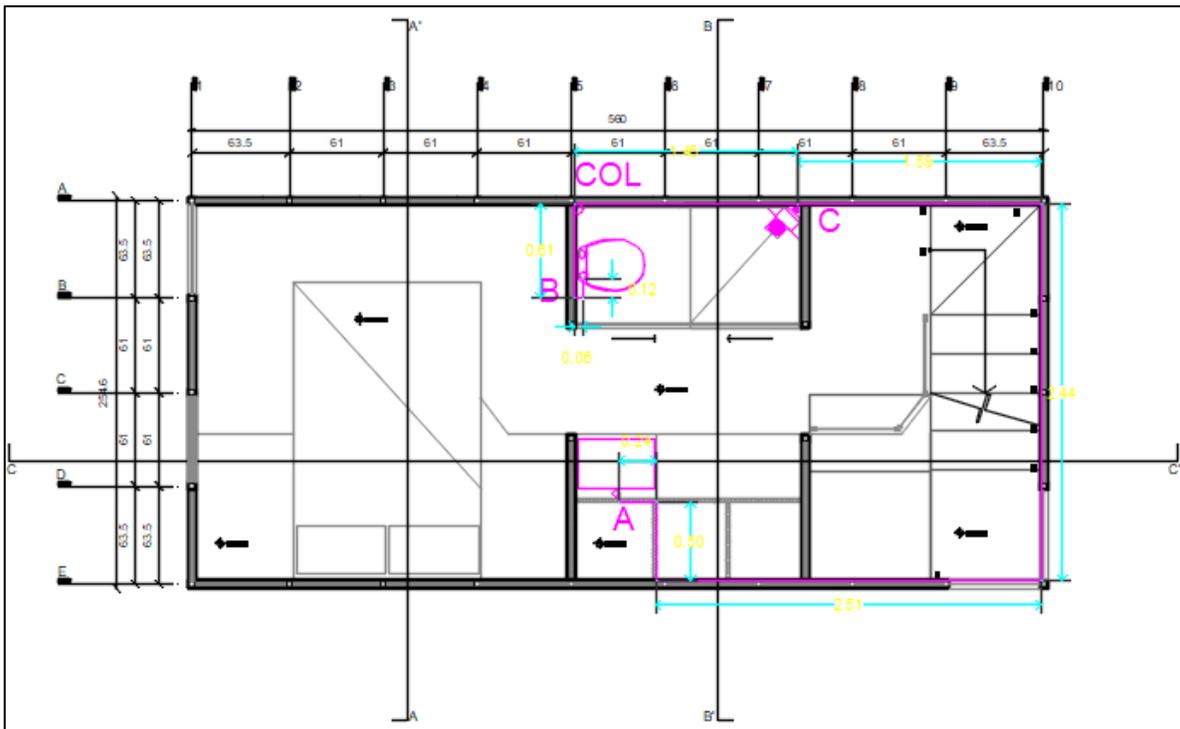


Figura 15, Trayectoria de agua fría primer nivel

5.3. Cálculo del gasto máximo instantáneo

Para el cálculo de los caudales máximos se tienen dos metodologías, la metodología empírica y la metodología probabilística. En los métodos empíricos se cuenta con; el método británico, el método francés, el método americano y el método alemán. En los métodos probabilísticos se cuenta con un sustento teórico, pero aplicados principalmente para el diseño de instalaciones hidráulicas con una gran cantidad de muebles sanitarios. El método probabilístico más utilizado es la metodología de Hunter.

En el caso de proyectos con un número de muebles reducido, como lo es *VIS CASA*, se utiliza la metodología empírica, ya que se considera la mejor metodología para pequeños sistemas hidráulicos. Estos métodos basan su fundamentación con base en la experiencia previa de profesionales. Los muebles se consideran en operación simultánea.

5.3.1. Método americano

El método americano es recomendado para uso de infraestructura pública. En esta metodología se utilizan dos tablas preparadas por Kessler, en las que se indica el porcentaje de simultaneidad a considerar de acuerdo con el tipo y cantidad de muebles.

Se omite esta metodología debido a que se recomienda en infraestructura pública, además, las tablas realizadas por Kessler no incluyen muebles seleccionados para VIS CASA.

5.3.2. Método británico

En el caso del método británico se utiliza una tabla denominada “Probable demanda simultánea”, la cual relaciona los gastos obtenidos para cada mueble con gastos máximos instantáneos.

Para realizar el método británico se definen secciones o tramos de análisis y se suman las demandas de los aparatos sanitarios servidos por la tubería que se está analizando. Para determinar las demandas de cada sección se utilizan los gastos unitarios del fabricante o tablas de gastos de otros métodos, como la Tabla del método francés.

Se utiliza la Tabla 6, Probable demanda simultánea, en donde la columna 1 es la demanda de consumo y en la segunda columna se lee la probabilidad de simultaneidad máxima, equivalente al gasto máximo instantáneo, con la cual se diseña la tubería.

Tabla 6, Probable demanda simultánea

Σq [l/s]	Q_{mi} [l/s]
0.0 – 0.76	100% del máximo posible
0.88	0.82
1.01	0.91
1.14	1.01

Tabla 7, Gasto máximo instantáneo de agua fría, método británico

Método británico					
Tramo	Descr.	Cant.	Consumo [l/s]	Σ Consumos [l/s]	Q_{mi} [l/s]

Tramos	A-C	Lavabo	1	0.075	0.075	0.075
	B-Col.	W.C. Tanque	1	0.102	0.102	0.102
	C-Col.	Regadera	1	0.1	0.175	0.175
		Lavabo	1	0.075		
	D-F	Lavadora	1	0.125	0.125	0.125
	F-Col.	Lavadora	1	0.125	0.238	0.238
		Fregadero	1	0.113		
E-F	Lavadora	1	0.125	0.125	0.125	
Columnas	Columna	Lavabo	1	0.075	0.277	0.277
		Regadera	1	0.1		
		W.C. Tanque	1	0.102		
Distribuidor	Col. Tanque hidroneumático	Lavabo	1	0.075	0.515	0.515
		Regadera	1	0.1		
		W.C. Tanque	1	0.102		
		Lavadora	1	0.125		
		Fregadero	1	0.113		

5.3.3. Método francés

El método francés utiliza un cociente de simultaneidad que depende directamente del número de aparatos sanitarios en funcionamiento. La norma francesa N.P. 41-204 establece que el coeficiente de simultaneidad puede aproximarse en función del número de llaves y se obtiene con la siguiente expresión:

$$k = \left(\frac{1}{\sqrt{n-1}} \right); \quad n = \text{número de llaves de la instalación} \quad \text{Ecuación 1}$$

El gasto máximo instantáneo (Q_{mi}) es resultado de la suma de todos los consumos por aparato multiplicados por un coeficiente de simultaneidad, ecuación 2. El consumo por mueble fue determinado por ensayos prácticos que dieron un valor promedio, pero se puede utilizar el gasto unitario dado por el fabricante.

$$Q_{mi} = \sum q * k \quad \text{Ecuación 2}$$

Tabla 8, Tabla de consumo o gasto unitario de muebles sanitarios

Mueble o aparato sanitario	Gasto [l/s]
----------------------------	-------------

Bebedero	0.05
Lavabo	0.10
Regadera	0.20
Bidé	0.10
Tina de baño completa	0.30
Tina de baño media	0.20
Inodoro de tanque	0.10
Fluxómetro	2
Urinario de lavado continuo	0.05
Urinario de tanque	0.10
Fregadero de vivienda	0.15
Fregadero de restaurante	0.30
Lavadero	0.10
Vertedero	0.20
Placa turca	0.10
Lavavajillas	0.20
Lavadora automática	0.20
Llave aislada	0.15
Llave de garaje	0.30
Boca de riego de 30 mm de Ø	1
Hidrante de 1" de Ø	0.60
Hidrante de 2" de Ø	3
Hidrante de 4" de Ø	12

Para VIS CASA se obtuvieron los siguientes gastos máximos instantáneos:

Tabla 9, Gasto máximo instantáneo de agua fría, método francés

Método francés								
Tramo	Descr.	Cant.	Consumo [l/s]	Σ Consumos [l/s]	# de llaves	Coef. simultaneidad K	Q mi [l/s]	
Tramos	A-C	Lavabo	1	0.075	0.075	1	1.0	0.075
	B-Col.	W.C. Tanque	1	0.102	0.102	1	1.0	0.102
	C-Col.	Regadera	1	0.1	0.175	2	1.0	0.175
Lavabo		1	0.075					

	D-F	Lavadora	1	0.125	0.125	1	1.0	0.125
	F-Col.	Lavadora	1	0.125	0.238	2	1.0	0.238
		Fregadero	1	0.113				
	E-F.	Lavadora	1	0.125	0.125	1	1.0	0.125
Columnas	Columna	Lavabo	1	0.075	0.277	3	0.7	0.196
		Regadera	1	0.1				
		W.C. Tanque	1	0.102				
Distribuidor	Col. - Tanque hidroneumático	Lavabo	1	0.075	0.515	5	0.5	0.258
		Regadera	1	0.1				
		W.C. Tanque	1	0.102				
		Lavadora	1	0.125				
		Fregadero	1	0.113				

5.3.4. Cálculo de los diámetros de la red interior de agua fría

Con los gastos máximos instantáneos obtenidos para cada método, se debe calcular el diámetro de cada tramo de la red de suministro de agua fría. Las ecuaciones por utilizar se derivan de la ecuación de la continuidad (Ecuación 3).

$$Q = A * v \quad \text{Ecuación 3}$$

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}; \quad \text{área en tubería}$$

$$Q = v * \left(\frac{\pi * d^2}{4} \right)$$

$$d = \sqrt{\frac{4 * Q}{\pi * v}}; \quad \text{diámetro de tubería}$$

El margen de velocidad del flujo de la tubería se encuentra entre 0.2 [m/s] y 3 [m/s], pero idealmente la velocidad por considerar en las ecuaciones se recomienda se encuentre entre 1 [m/s] y 1.5 [m/s], las cuales evitan sedimentaciones en la tubería al no ser bajas velocidades y no erosionan o causan golpe de ariete al ser velocidades altas. Para este diseño se propone una velocidad de 1.5 [m/s] para determinar los diámetros teóricos y posteriormente elegir el diámetro nominal que se ajuste a los resultados.

Con los diámetros nominales se revisan las velocidades reales y se verificará que se encuentren dentro del rango establecido.

Tabla 10, Diámetros de red de suministro de agua fría, método británico

	Tramo	Método británico diámetro (mm)			Área [m ²]	Velocidad [m/s]
		Teórico	Interno	Nominal		
Tramos	A-C	7.98	13.4	1/2"	0.00014	1.880
	B-Col.	9.30	13.4	1/2"	0.00014	1.383
	C-Col.	12.19	18.4	3/4"	0.00027	1.519
	D-F	10.30	13.4	1/2"	0.00014	1.128
	F-Col.	14.21	18.4	3/4"	0.00027	1.117
	E-F	10.30	13.4	1/2"	0.00014	1.128
Columnas	Columna	15.33	23.8	1"	0.00044	1.606
Distribuidor	Col. Tanque hidroneumático	20.91	23.8	1"	0.00044	0.864

Tabla 11, Diámetros de red de suministro de red de agua fría, Método francés

	Tramo	DIAMETRO (mm)			Área [m ²]	Velocidad [m/s]
		Teórico	Interno	Nominal		
Tramos	A-C	7.98	13.4	1/2"	0.00014	1.880
	B-Col.	9.30	13.4	1/2"	0.00014	1.383
	C-Col.	12.19	18.4	3/4"	0.00027	1.519
	D-F	10.30	13.4	1/2"	0.00014	1.128
	F-Col.	14.21	18.4	3/4"	0.00027	1.117
	E-F.	10.30	13.4	1/2"	0.00014	1.128
Columnas	Columna	12.89	18.4	3/4"	0.00027	1.358

Distribuidor	Col. - Tanque hidroneumático	14.78	18.4	3/4"	0.00027	1.033

En la Tabla 12, Comparativa de diámetros, se realiza la comparación de los resultados obtenidos en ambos métodos. En los ramales que van de los muebles a la columna, los diámetros obtenidos son iguales, la columna y el distribuidor difieren por un diámetro nominal. En este diseño se optará por los resultados obtenidos por el método francés al ser menos conservadores, puesto que el inmueble será utilizado por dos habitantes.

Tabla 12, Comparativa de diámetros

		Método británico diámetro (mm)			Método francés, diámetro (mm)		
	Tramo	Teórico	Interno	Nominal	Teórico	Interno	Nominal
Tramos	A-C	7.98	13.4	1/2"	7.98	13.4	1/2"
	B-Col.	9.30	13.4	1/2"	9.30	13.4	1/2"
	C-Col.	12.19	18.4	3/4"	12.19	18.4	3/4"
	D-F	10.30	13.4	1/2"	10.30	13.4	1/2"
	F-Col.	14.21	18.4	3/4"	14.21	18.4	3/4"
	E-F	10.30	13.4	1/2"	10.3	13.4	1/2"
Columnas	Columna	15.33	23.8	1"	12.89	18.4	3/4"
Distribuidor	Col. Tanque hidroneumático	20.91	23.8	1"	14.78	18.4	3/4"

	Método británico diámetro (mm)			Método francés, diámetro (mm)			
	Tramo	Teórico	Interno	Nominal	Teórico	Interno	Nominal

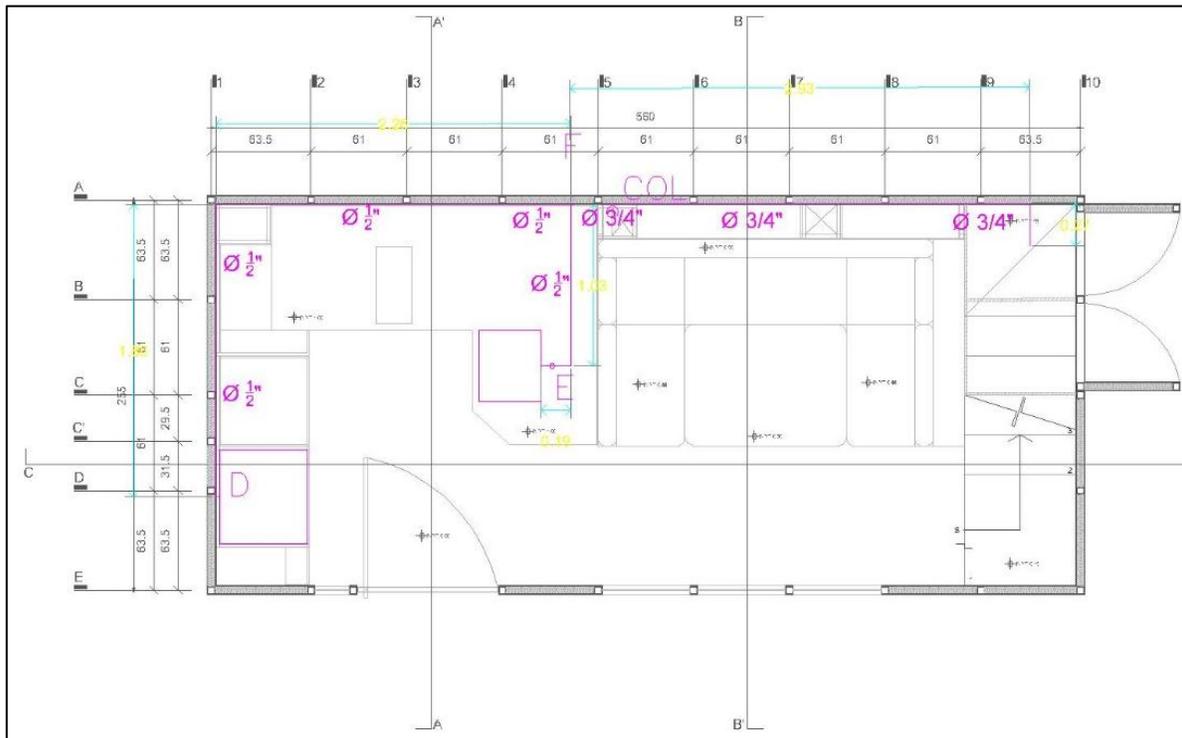


Figura 16, Diámetros de la instalación de agua fría, Planta baja

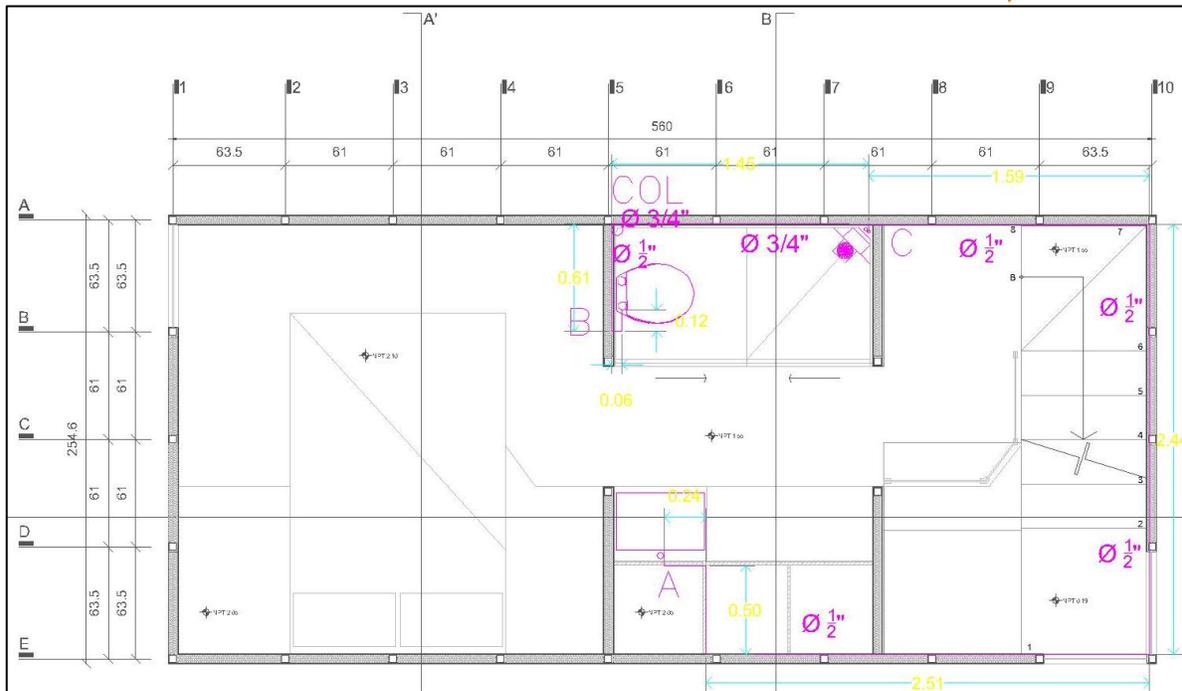


Figura 17, Diámetros de instalación de agua fría, primer nivel

5.4. Mueble más desfavorable

En esta sección se determinará el mueble sanitario más desfavorable, el cual garantizará el correcto funcionamiento de la red interior de suministro de agua potable. El criterio para determinar el aparato más desfavorable es aquel que demanda mayor carga de presión para funcionar de manera correcta.

En el caso de *VIS CASA*, el mueble más desfavorable es el que se encuentra más alejado del punto de alimentación, ya que no utilizamos aparatos con fluxómetros que requieren una carga mayor para funcionar. El punto de alimentación es debajo de las escaleras, por lo que en la Tabla 13, Distancias de muebles al punto de alimentación se muestran las distancias de los muebles al punto de alimentación y se determina que el mueble más desfavorable es el lavabo.

Tabla 13, Distancias de muebles al punto de alimentación

Mueble	Distancia al punto de alimentación [m]
Lavadora	7.32

Mueble	Distancia al punto de alimentación [m]
Fregadero	4.42
Regadera	8.36
Inodoro	7.7
Lavabo	14.78

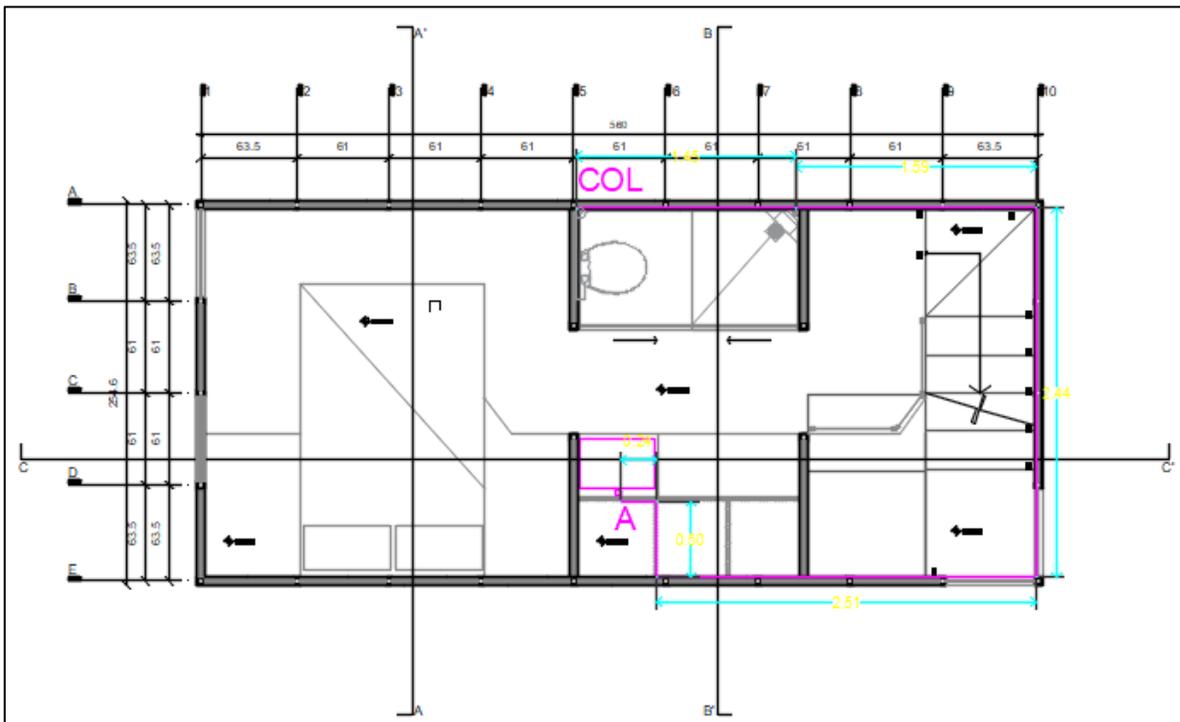


Figura 18, Mueble desfavorable

5.5. Carga requerida

Una característica indispensable para el correcto funcionamiento de la red es determinar la presión necesaria para alimentar el inmueble, en este caso se diseña para el mueble más desfavorable, determinado en el punto anterior.

Para determinar la carga requerida por la instalación se aplica la ecuación de Bernoulli

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{(V_1)^2}{2g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2g} + \sum_1^2 hf$$

Donde:

- Z_1 y Z_2 se refieren a la carga de posición de las secciones 1 y 2, respectivamente
- $\frac{P_1}{\gamma}$ y $\frac{P_2}{\gamma}$ se refieren a la carga de presión en las secciones 1 y 2, respectivamente
- $\frac{(V_1)^2}{2g}$ y $\frac{(V_2)^2}{2g}$ se refieren a la carga de velocidad en las secciones 1 y 2, respectivamente. Al ser de pequeña magnitud se desprecia
- $\sum_1^2 hf$ se refiere a la pérdida de energía debida a la fricción del agua en las paredes de la tubería y por la existencia de piezas especiales entre las secciones 1 y 2.

De la ecuación de Bernoulli se obtiene la ecuación para determinar la carga requerida.

$$H_{req} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{(V_2)^2}{2g} - \frac{(V_1)^2}{2g} + \sum_1^2 hf$$

Para el lavabo la carga de posición es de 2.75 [m] considerando el sistema hidroneumático en la cota 0.0 [m], y una altura de 2.75 [m] del mueble sanitario, y se considera que el mueble se encuentra en la planta alta.

La carga de presión recomendada para el funcionamiento adecuado de un lavabo convencional es de 3 m.c.a.⁸, como ya se dijo, la carga de velocidad se desprecia al ser de magnitud pequeña.

Para calcular la pérdida de energía se considera el CPVC como material de la red de suministro y se calculará con la ecuación de Hazen-Williams.

$$hf = \left(\frac{Q}{35.834 * 10^{-7} * C * d^{2.63}} \right)^{0.54} * L_{virtual}$$

En la Figura 19, Trayectoria del mueble desfavorable, incluyendo piezas especiales (Adaptado de VIS CASA, 2018) se muestra la trayectoria del mueble más desfavorable,

⁸ Dr. Enrique César Valdez, “*Instalaciones Sanitaria para Edificios*”. Facultad de Ingeniería.

indicando los diámetros respectivos de las tuberías y las piezas especiales seleccionadas. En la Figura 20, Piezas especiales vistas en Isométrico se muestra la nomenclatura utilizada para la realización del plano.

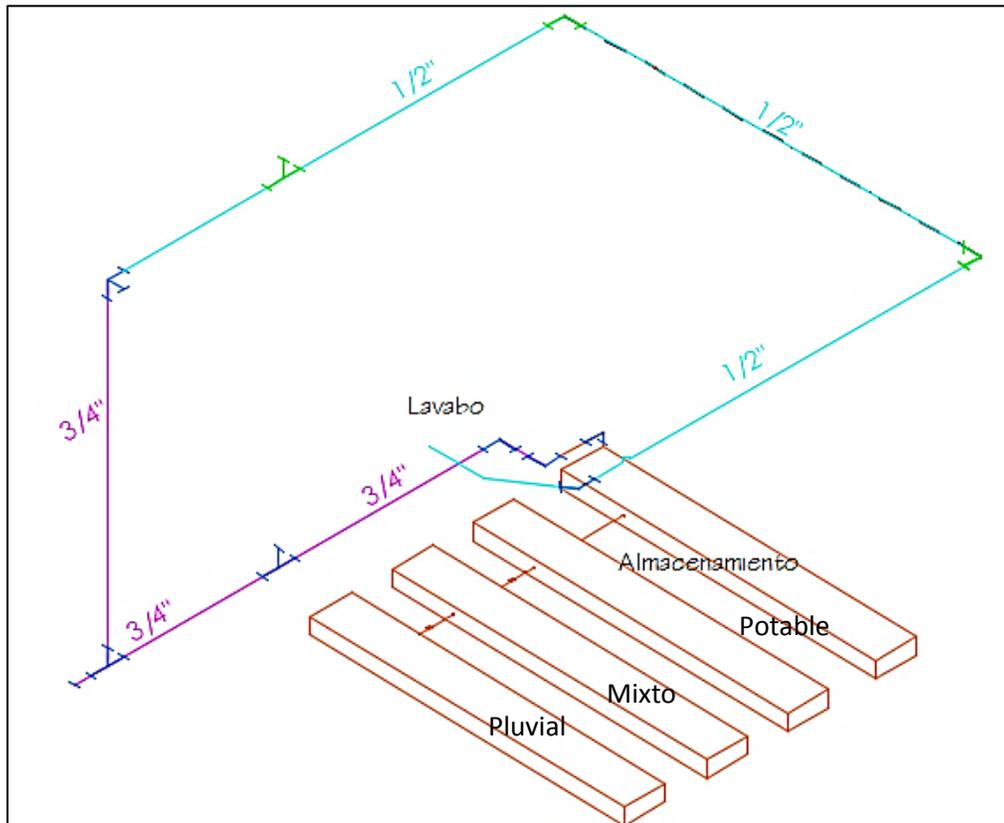


Figura 19, Trayectoria del mueble desfavorable, incluyendo piezas especiales (Adaptado de VIS CASA, 2018)

CONEXIONES VISTAS EN ISOMÉTRICO		CONEXIONES VISTAS EN ISOMÉTRICO		CONEXIONES VISTAS EN ISOMÉTRICO	
	Codos 90°		Válvula de globo (roscada o soldable)		Tee
	Codos 90°		Válvula de globo (roscada o soldable)		Tee
	Codos 90°		Válvula de globo (roscada o soldable)		Tee
	Codos 90°		Válvula de globo (roscada o soldable)		Tee
	Codos 90°		Válvula de globo (roscada o soldable)		Tee
	Codos 90°		Válvula de globo (roscada o soldable)		Tee
	Cople Vertical		Válvula de compuerta (roscada o soldable)		Tee
	Cople Horizontal		Válvula de compuerta (roscada o soldable)		Tee
	Cople Horizontal		Válvula de compuerta (roscada o soldable)		Tee
	Reducciones		Válvula de compuerta (bridada)		Tee
	Reducciones		Válvula de compuerta (bridada)		Tee
			Válvula de compuerta (bridada)		Tee
			Válvula check		Tee
			Válvula check		Tee
			Válvula check		Tee

Figura 20, Piezas especiales vistas en Isométrico

Tabla 14, Pérdidas por piezas especiales

Tramo	Descripción	Cantidad	Longitud equivalente	
			por pieza	por tramo
Sistema hidroneumático a columna	Codo 90° de ¾"	3	0.63	1.89
	Tee P/R de ¾"	1	0.2	0.2
Tramos	Tee P/R ¾"	2	0.2	0.4
	Tee P/R ½"	1	0.15	.15
	Codo 90° de ½"	3	0.5	1.5

Tabla 15, Cálculo de pérdidas en tramo desfavorable

Tramo	Q _{mi} [l/s]	Ø _{int.}	C	L _{real}	L _{virtual}	h _f
Sistema hidroneumático a columna	0.258	¾"	140	3.3	5.39	0.391
Columna	0.196	¾"	140	2.75	3.15	0.137
Col.-C	0.102	½"	140	1.45	1.6	0.098
C-A	.075	½"	140	7.28	8.78	0.303

$$H_{req} = 2.75 + 3 + 0 + 0.93 = 6.68 \text{ m. c. a}$$

Con los cálculos anteriores se concluye que el sistema hidroneumático debe suministrar el caudal con una carga de presión de por lo menos 6.68 m.c.a., es decir, 0.668 kg/cm².

5.6. Sistema hidroneumático⁹

En el caso de VIS CASA se eligió un sistema hidroneumático para suministrar agua a la vivienda con la presión y el flujo adecuado. Debido a que es una vivienda que permitirá transportarse, el suministro de agua y la presión no serán constante, tampoco permitirá el almacenamiento en un tanque elevado por lo que la mejor opción es un sistema hidroneumático.

Los sistemas hidroneumáticos funcionan con el principio de compresibilidad o elasticidad del aire cuando es sometido a presión. El principal propósito es controlar una presión de suministro limitada, abasteciendo de manera adecuada todo el sistema.

Los elementos de un sistema hidroneumático consisten en una bomba seleccionada para el sistema, un tanque de presión y un mecanismo de control esencial, el cual disminuye la supervisión del sistema. La bomba es usada para abastecer la cantidad requerida de agua con la presión apropiada, en el caso del tanque, este actúa como un depósito de almacenamiento para las relaciones convenientes de agua y aire dentro de las presiones y niveles mantenidos por el mecanismo de control.¹⁰

Los tanques que utilizan los sistemas hidroneumáticos pueden ser tanques verticales o tanques horizontales, la diferencia primordial es la capacidad de agua que pueden almacenar, siendo los tanques horizontales los que tienen mayor capacidad de almacenamiento.

La selección del equipo para un sistema hidroneumático involucra los siguientes datos:

- Determinación del gasto máximo instantáneo (Q_{mi})
- Calcular la carga estática de la instalación
- Calcular la pérdida de energía de la línea de tubería
- Establecer los requerimientos mínimos de presión en el mueble más desfavorable
- Establecer el diferencial de presión deseado (normalmente de 1.4 kg/cm^2)
- Selección de la capacidad del equipo de bombeo
- Determinación de presiones máxima y mínima en el tanque

⁹ Dr. Enrique César Valdez, “Instalaciones Sanitaria para Edificios”. Facultad de Ingeniería

¹⁰ (M. I. Sánchez Galarza, 2017)

- Selección conveniente del tamaño del tanque
- Establecimiento de niveles superior e inferior de operación

5.6.1. Determinación de presiones de trabajo y niveles de agua

Para un funcionamiento adecuado del tanque se debe determinar el nivel bajo de agua (NBA) y el nivel alto del agua (NAA). El NBA corresponde a la presión más baja a partir de la cual se puede operar. Por lo general se establece de tal manera que al menos el 10% de la capacidad total del tanque queda en ese nivel, de esta manera se evita la posibilidad de pérdida de aire en el tanque.

El NAA establece el nivel superior de presión a la cual el sistema puede operar y se obtiene con el diferencial de presión adecuado, por lo general de 1.4 kg/cm^2 , este diferencial también determina los niveles de control del tanque, los diferenciales de bombeo y la eficiencia del tanque, usando la Figura 21, Diferencias de volumen y presión para tanques hidroneumáticos .

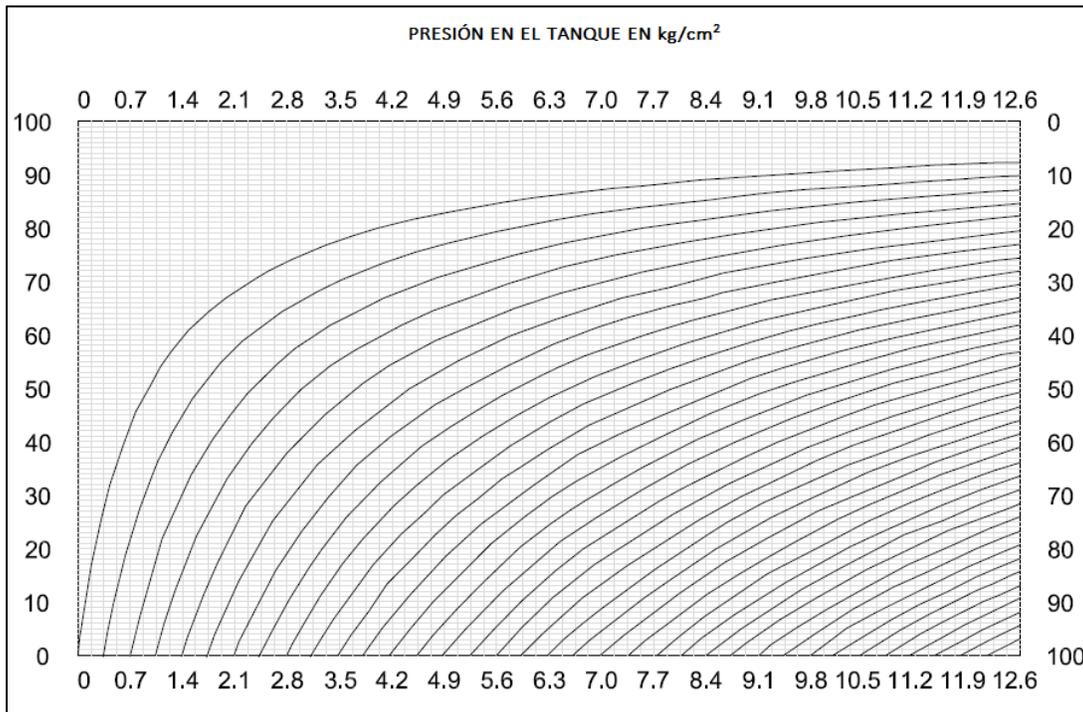


Figura 21, Diferencias de volumen y presión para tanques hidroneumáticos (César Valdez & González L., 1997)

Para determinar la capacidad de la bomba se tiene lo siguiente:

Tabla 16, Determinación de la capacidad de bombeo

Gasto máximo instantáneo	0.26 [l/s]
Carga estática (Mueble más desfavorable)	2.75 [m]
Pérdida por fricción a través de la tubería	0.93 [m]
Presión mínima en el mueble más desfavorable	3 [m]
Presión de operación diferencial	14 [m]
Presión de trabajo total en el tanque	20.94 [m] 2.1 [kg/cm ²] 29.76 [PSI]

Se propone una presión mínima de funcionamiento adecuado de 2.1 kg/cm², un diferencial de presión de 1.4 kg/cm², por lo que la presión máxima es de 3.5 kg/cm².

Se establece que la reserva mínima del volumen del tanque debe ser de 10%, se marca una línea horizontal paralela al eje de presión hasta donde se intercepte la línea vertical de presión de 2.1 kg/cm². Se sigue la curva de presión más cercana, la curva de 2.1 kg/cm², hasta donde se intercepte con la línea vertical de 3.5 kg/cm², obteniendo un NAA de 32% aproximadamente.

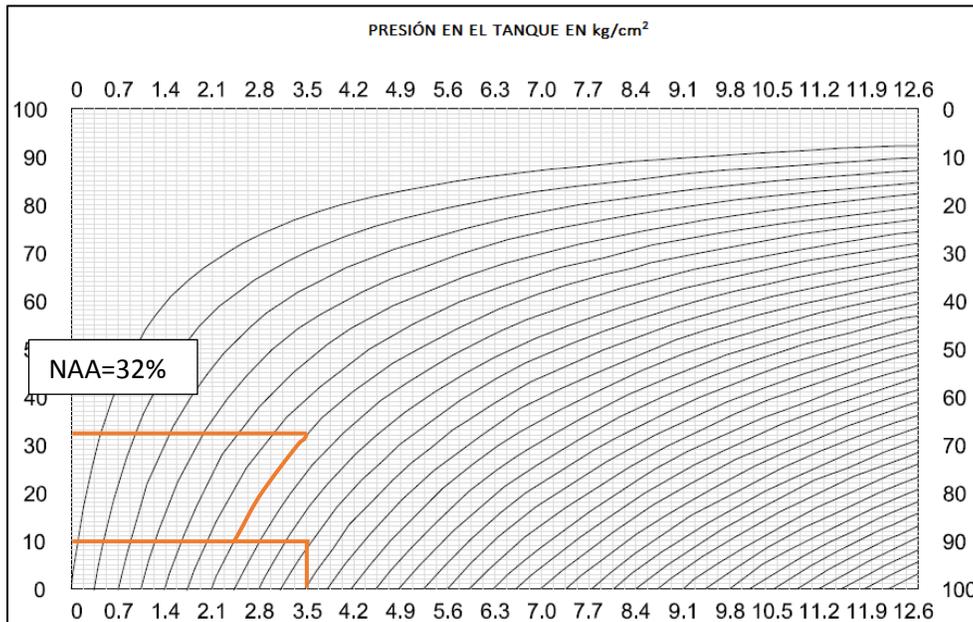


Figura 22, Cálculo de niveles en el tanque

El diferencial de bombeo es el diferencial de volumen entre el NBA y el NAA en el tanque, lo que también indica la eficiencia del tanque. Por lo tanto, se tiene:

$$NAA - NBA = 32\% - 10\% = 22\%$$

Con las presiones obtenidas anteriormente se seleccionó el equipo hidroneumático que satisface. La marca seleccionada es Altamira, el cual se recomienda para viviendas.

Tabla 17, Especificaciones del tanque hidroneumático seleccionado

Altamira Acero Tanque, A4202 (20 Gal.)								
								
**Factor de Máxima Aceptación	Dimensiones (Pulgadas)		Ø conex. NTP	Equiv. Aprox. Tanque sin precarga (gal)	ENTREGA VOLUMÉTRICA			Peso bruto lb/kg
	Ø	Altura			20/40 psi (gal.)	30/50 psi (gal.)	40/60 psi (gal.)	
57%	15.38	31.63	1" H	60	8	6.8	5.9	33/15

Las especificaciones del tanque son:

- ** Tanques con factores de máxima aceptación menores al 40% corren mayor peligro de daño si no se respetan las condiciones de presión de precarga adecuada y rango de presión entre paro y arranque de la bomba.
- Tanques Altamira Acero de 20 y 32 Galones: Máxima Presión de Trabajo: 100 psi (7 kg/cm²). Máxima Temperatura de Trabajo: 200 °F (93°C). Presión de precarga: 30 psi (2.1 kg/cm²).

- Tanques de 44 a 119 Galones: Máxima Presión de Trabajo: 100 psi (7 kg/cm²). Máxima Temperatura de Trabajo: 200 °F (93°C). Presión de precarga: 38 psi (2.7 kg/cm²).

En el caso de la bomba seleccionada, la información se muestra en la Tabla 18, Bomba seleccionada.

Tabla 18, Bomba seleccionada

Datos técnicos bombas de doble membrana BX 251	
	
Conexiones aspiración/descarga - Pulgadas	G 1 ½
Conexión aire - Pulgadas	G ½
Capacidad de aspiración en seco máx - m	6
Caudal máx - l/mín	340
Altura de elevación máx - mín	70
Presión aire alimentación máx - bar	7
Diámetro sólido de pasaje máx - mm	6
Al - kg	21
Aisi 316 - kg	32
Materiales	Al Aisi 316
Potencia	1.5 – 2 HP

6. Instalación de suministro de agua caliente

En el caso del suministro de agua caliente se consideran los muebles anteriores exceptuando el excusado; es decir, en la planta baja se considera la lavadora y el fregadero, y en el primer nivel se toma en cuenta la regadera y el lavabo. Los consumos por utilizar se muestran en la Tabla 19, Consumo de muebles para suministro de agua caliente.

Los criterios por seguir para el diseño de la red de suministro de agua caliente serán los mismos que en el diseño de la red de agua fría, considerando la excepción del excusado en el cálculo. Otra diferencia a la red de suministro de agua fría, es que la alimentación inicia en un calentador que es suministrado por la red de agua fría.

Tabla 19, Consumo de muebles para suministro de agua caliente

Mueble Sanitario	Consumo [l/s]
Lavadora	0.125
Fregadero	0.113
Regadera	0.1
Lavabo	0.075

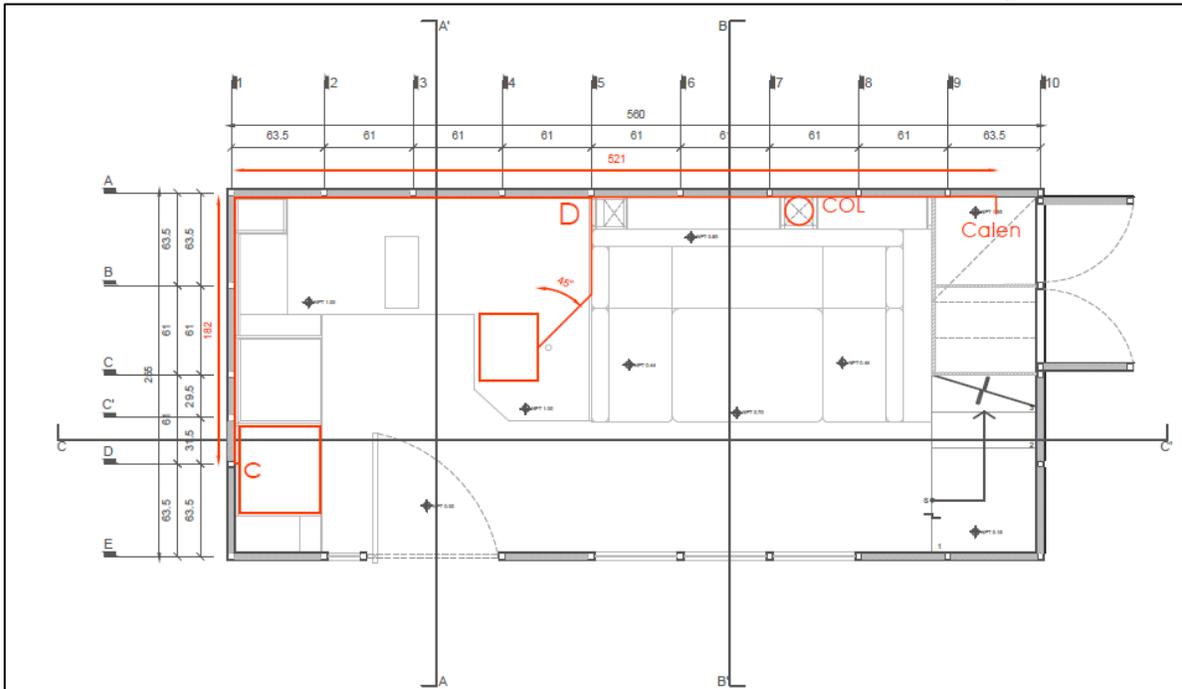


Figura 23, Trayectoria de agua caliente planta baja

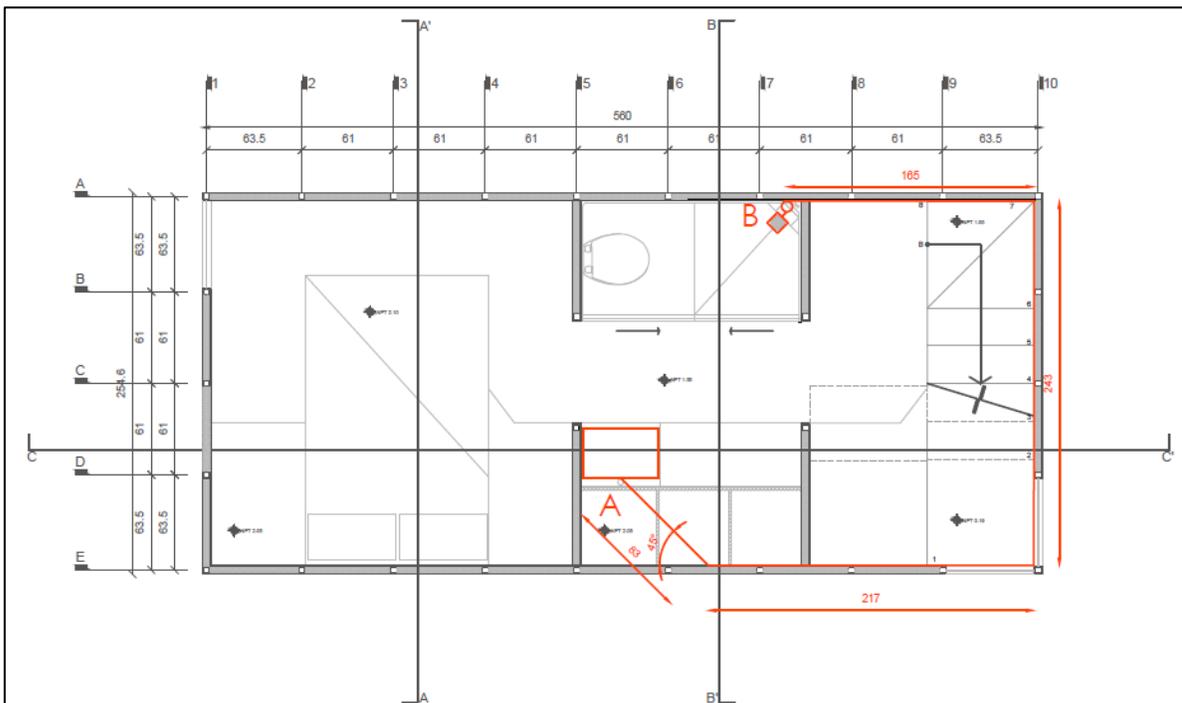


Figura 24, Trayectoria de agua caliente primer nivel

6.1. Cálculo del gasto máximo instantáneo

Para el diseño de la red de suministro de agua caliente se utiliza la metodología empírica aplicada para el diseño de la red de suministro de agua fría, la cantidad de muebles se reduce a cuatro.

6.1.1. Método británico

El cálculo del gasto máximo instantáneo de cada tramo de la red de agua caliente calculado por el método británico se presenta en la Tabla 20, Gasto máximo instantáneo de agua caliente, método británico

Tabla 20, Gasto máximo instantáneo de agua caliente, método británico

Método británico						
	Tramo	Descr.	Cant.	Consumo [l/s]	Σ Consumos [l/s]	Qmi [l/s]
Tramos	A-Col.	Lavabo	1	0.075	0.075	0.075
	B-Col.	Regadera	1	0.1	0.1	0.1
	C-D	Lavadora	1	0.125	0.125	0.125
	D-Col.	Lavadora	1	0.125	0.238	0.238
Fregadero		1	0.113			
Columnas	Columna	Lavabo	1	0.075	0.413	0.413
		Regadera	1	0.1		
		Lavadora	1	0.125		
		Fregadero	1	0.113		
Distribuidor	Col. - Sistema hidroneumático	Lavabo	1	0.075	0.413	0.413
		Regadera	1	0.1		
		Lavadora	1	0.125		
		Fregadero	1	0.113		

6.1.2. Método francés

El cálculo del gasto máximo instantáneo de cada tramo de la red de agua caliente calculado por el método británico se presenta en la Tabla 21, Gasto máximo instantáneo de agua caliente, método francés

Tabla 21, Gasto máximo instantáneo de agua caliente, método francés

Método francés

	Tramo	Descr.	Cant.	Consumo [l/s]	Σ Consumos [l/s]	# de llaves	Coef. de simultaneidad K	Q mi [l/s]
Tramos	A-Col.	Lavabo	1	0.075	0.075	1	1.0	0.08
	B-Col.	Regadera	1	0.1	0.1	1	1.0	0.10
	C-D	Lavadora	1	0.125	0.125	1	1.0	0.13
	D-Col.	Lavadora	1	0.125	0.238	2	1.0	0.24
Fregadero		1	0.113					
Columnas	Columna	Lavabo	1	0.075	0.413	4	0.6	0.24
		Regadera	1	0.1				
		Lavadora	1	0.125				
		Fregadero	1	0.113				
Distribuidor	Col. - Sistema hidroneumático	Lavabo	1	0.075	0.413	4	0.6	0.24
		Regadera	1	0.1				
		Lavadora	1	0.125				
		Fregadero	1	0.113				

6.2. Cálculo de los diámetros de la red de instalaciones de agua caliente

De igual manera que para la red de instalación de agua fría, los diámetros se calculan proponiendo una velocidad de 1.5 m/s^2 , obteniendo los resultados siguientes:

Tabla 22, Diámetros de red de suministro de agua caliente, método británico

	Método británico		DIAMETRO (mm)			Área	Velocidad
	Tramo	Descr.	Teórico	Interno	Nominal	[m ²]	[m/s]
Tramos	A-Col.	Lavabo	7.98	13.4	1/2"	0.00014	1.880
	B-Col.	Regadera	9.21	13.4	1/2"	0.00014	1.410
	C-D	Lavadora	10.30	13.4	1/2"	0.00014	1.128
	D-Col.	Lavadora	14.21	18.4	3/4"	0.00027	1.117
Fregadero							
Columnas	Columna	Lavabo	18.72	23.8	1"	0.00044	1.077
		Regadera					
		Lavadora					
		Fregadero					
Distribuidor	Col. - Sistema hidroneumático	Lavabo	18.72	23.8	1"	0.00044	1.077
		Regadera					

	Lavadora					
	Fregadero					

Tabla 23, Diámetros de red de suministro de agua caliente, método francés

Método francés		DIAMETRO (mm)			Área	Velocidad	
Tramo	Descr.	Teórico	Interno	Nominal	[m ²]	[m/s]	
Tramos	A-Col.	Lavabo	7.98	13.4	1/2"	0.00014	1.880
	B-Col.	Regadera	9.21	13.4	1/2"	0.00014	1.410
	C-D	Lavadora	10.30	13.4	1/2"	0.00014	1.128
	D-Col.	Lavadora	14.21	18.4	3/4"	0.00027	1.117
Fregadero							
Columnas	Columna	Lavabo	14.23	18.4	3/4"	0.00027	1.115
		Regadera					
		Lavadora					
		Fregadero					
Distribuidor	Col. - Sistema hidroneumático	Lavabo	14.23	18.4	3/4"	0.00027	1.115
		Regadera					
		Lavadora					
		Fregadero					

De manera similar a la red de instalación de agua fría se optará por los diámetros obtenidos con el método francés.

6.3. Dimensionamiento del calentador comercial

En el sector comercial existen varios modelos de calentadores para la red de suministro de agua caliente, los más comunes pueden ser calentadores de gas de paso y calentadores de gas de depósito, aunque también existe la opción de calentadores eléctricos y calentadores solares.

En el caso del calentador de paso es necesario contar con una presión mínima de 2.5 m.c.a de agua y un suministro uniforme de gas. En el caso de los calentadores eléctricos

se recomienda para viviendas pequeñas en donde se limita el uso de agua caliente de manera simultánea, no requiere instalación de gas.

Para el cálculo de la dotación de agua caliente requerida se hizo uso de la Tabla 24, Dotación de agua caliente.

Tabla 24, Dotación de agua caliente¹¹

Clase de edificio	Agua caliente requerida [l/min/hab/día]	Consumo máximo horario del consumo diario	Duración del periodo de máximo consumo	Capacidad de almacenamiento de consumo diario	Capacidad del calentador del consumo diario
Viviendas, apartamentos y hoteles	150	1/7	4	1/5	1/7
Oficinas	7.5	1/5	2	1/5	1/6
Fábricas y talleres	20	1/3	1	2/5	1/8
Restaurantes	7 [l/comida/día]	--	--	1/10	1/10
Restaurantes (Tres comidas diarias)	--	1/10	8	1/5	1/10
Restaurantes (Una comida diaria)	--	1/5	2	2/5	1/6

De acuerdo con la Tabla 24, Dotación de agua caliente, se recomienda contar con 1/5 de la dotación de agua potable como agua caliente y la dotación para VIS CASA es de 300 [l/día], por lo que el agua requerida para el calentador es:

$$300 \left[\frac{l}{d} \right] * \frac{1}{5} = 60 \left[\frac{l}{d} \right] = 0.042 \left[\frac{l}{min} \right] \text{Dotación requerida de agua caliente}$$

Para VIS CASA se recomienda un calentador eléctrico, ya que tienen una vida útil mayor a los calentadores de gas, no se presenta acumulación de sales, además de poseer una alta eficiencia y ser de menor tamaño a los calentadores de depósito y de paso. Además

¹¹ Tomado de (M. I. Sánchez Galarza, 2017)

de ser diseñados para instalaciones con restricción de gas, como es el caso de VIS CASA.

VIS CASA está diseñada para dos personas por lo que el agua caliente demandada de manera simultánea es menor a la que puede abastecer el calentador eléctrico de la marca Rheem. Además, las dimensiones del calentador permiten ubicarlo estratégicamente debajo de las escaleras o en un espacio reducido.

<i>Calentador Rheem RT-3</i>	
	
Capacidad con ΔT 25 °C	1.87 [L/min]
Flujo mínimo para operación	1.89 [l/min]
Número de servicios	0.5 ¹²
Dimensiones	26*14.29*8.25 [cm]
Tensión eléctrica	110 [Vca]
Potencia eléctrica	3000 [W]

Figura 25, Recomendación de calentador eléctrico y especificaciones (Rheem, 2018)

6.4. Alternativa de calentador solar

Los calentadores solares son una alternativa sustentable patentada en 1891 por Clarence Kemp. Las ventajas de usar un calentador solar es el ahorro significativo de la cantidad de

¹² Con regaderas simultáneas de 6 a 8 litros.

energía eléctrica o del suministro de gas. Además, en México, el utilizar un calentador solar permite que la vivienda aplique para el programa de *Hipoteca Verde*.

El modelo *Calentador solar ERA ST-12-120INOX* es el calentador comercial de la marca CALOREX con capacidad de 120 litros, y de acuerdo con su ficha técnica permite abastecer de 3 a 4 servicios de regadera de manera simultánea.

Las ventajas de usar un calentador solar es que no genera emisiones de CO₂, utiliza un recurso gratuito e inagotable, el tiempo de recuperación de la inversión es relativamente corto, representa un ahorro económico significativamente y las garantías ofrecidas por el sector comercial no son menores a cinco años.

Las desventajas de utilizar un calentador solar en *VIS CASA* son las dimensiones y el peso del equipo, ya que deberá estar expuesto a la luz del sol y por tanto no permitirá ser transportado por la ciudad cuando el habitante requiera y de colocarse en el techo, se deberá reforzar el sitio en que se ubicará.

De omitir la restricción de espacio, la inclinación correcta para la Ciudad de México deberá ser de 17°, como se muestra en el diagrama de un calentador solar CALOREX, el cual es similar al modelo seleccionado.

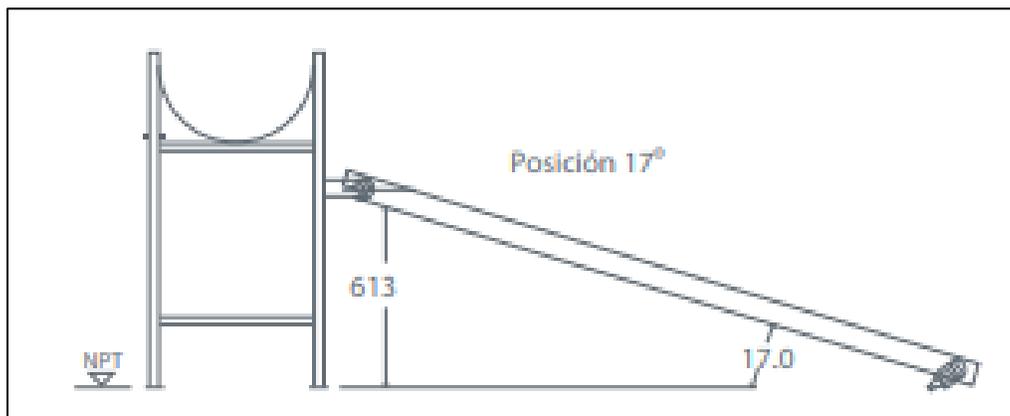


Figura 26, Diagrama de ubicación del calentador solar (Calorex, Sistema solar de calentamiento de agua, 2018)

7. Alternativa de captación de agua pluvial como complemento de suministro de agua

7.1. Normatividad

A nivel nacional, los sistemas de captación de agua pluvial (SCAP) o sistemas de captación de agua de lluvia (SCALL) cuentan con escasa normatividad sobre como diseñar, operar o acerca del mantenimiento que requieren los sistemas.

La ley de Aguas del Distrito Federal aplicable a la CDMX, con la finalidad de incrementar los niveles de agua de los mantos freáticos, establece que el Sistema de Aguas es responsable de promover en las zonas urbanas y rurales, la captación, almacenamiento y uso eficiente del agua pluvial como recurso alternativo, desarrollando programas regionales de orientación y uso de este recurso; y que las aguas pluviales recolectadas por particulares sean sometidas a procesos de tratamiento o potabilización para que cumplan con las disposiciones de las normas oficiales mexicanas y la certificación de calidad de la autoridad competente (Federal, 2003, última reforma 2015).

Los artículos de la Ley de Aguas Nacionales que se refieren a la captación de agua pluvial como parte de la infraestructura de la ciudad son los siguientes:

Artículo 86 Bis 1, se establece que 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 en aquellos usos que no requieran agua potable, además de contar con la instalación de sistemas alternativos de uso de agua de lluvia.

De acuerdo con el artículo 125 BIS 3, el sistema de captación y recarga de agua pluvial al subsuelo deberá estar indicado en los planos de instalaciones y formará parte del proyecto arquitectónico, el cual deberá ser presentado para el trámite del registro de Manifestación de Construcción o Licencia de Construcción Especial. Dicho mecanismo deberá ser evaluado y aprobado por el Sistema de Aguas de la CDMX, así como contar con la aprobación de la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda de las Delegaciones Políticas.

En el caso del artículo 126, se indican 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 otorgamiento de incentivos a la población por acciones individuales o colectivas de cosecha de agua de lluvia en la CDMX.

En el artículo 133 se establece que la planeación de cosecha de agua de lluvia, incluyendo los usos, ahorros y reúsos de agua pluvial potabilizada para el consumo humano con fines domésticos, y el aprovechamiento directo en cualquier otro uso, constituyen la sistematización, organización, promoción y otorgamiento de incentivos en esta materia.

Además, en el artículo 142 se indica la creación del Fondo General de Apoyo a la Cosecha de Agua de Lluvia del Distrito Federal, mismo que será administrado y operado por el Sistema de Aguas de la Ciudad de México y en el artículo 144 se especifica los recursos a los cuales se podrá destinar, autorizar, programar, ejercer y devengar el Fondo.

En 2013 se publicó el Art. 17 TER a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en el cual se establece que las dependencias de la Administración Pública Federal, Poder Legislativo Federal y Poder Judicial de la Federación deberán instalar en los inmuebles a su cargo un SCAP que se ajuste a cada caso (Federación, 2013).

Actualmente, se cuenta con el programa “PROCAPTAR” del cual se habló en el capítulo 3.4 de este trabajo de investigación. Dentro del desarrollo del programa se cuenta con el archivo “*Lineamientos técnicos: Sistema de captación de agua de lluvia con fines de abasto de agua potable a nivel vivienda*”, este documento y la “*Guía de diseño para captación del agua de lluvia*”¹³ sirvieron como base para el diseño del sistema de captación.

7.2. Ventajas y desventajas del sistema de captación de agua pluvial

Los SCAP, al igual que la mayoría de los sistemas, tienen ventajas y desventajas que pueden ser fundamentales para optar o no por captar el agua de lluvia.

¹³ Documento publicado en 2004 por la Organización Panamericana de la Salud (PAHO) en colaboración de la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS/OPS).

Entre los principales beneficios de cosechar agua de lluvia se encuentran los siguientes:

- Reducción de gastos de mantenimiento de una vivienda, mayores a largo plazo
- Reducción de consumo de agua de la red, por lo que disminuye la factura
- Disminución de inundaciones en épocas de lluvia
- Posibilidad de un incentivo gubernamental por el uso de ecotecnias
- Apoyo a la disminución de la sobreexplotación de acuíferos
- Preservación de los recursos de agua
- Alta calidad físicoquímica del agua de lluvia
- Sistema independiente, lo que lo hace adecuado para comunidades dispersas y alejadas

Los inconvenientes de un SCAP son asociados principalmente con los siguientes puntos:

- Volúmenes de almacenamiento grandes debido a que la lluvia no es constante en todo el año.
- Costos iniciales altos por falta de infraestructura
- Modelo de diseño no normado, los diseños y la construcción no suelen ser confiables y/o eficientes.
- Se requiere mantenimiento constante en la superficie de captación, ya que es la principal fuente de contaminación.

7.3. Sistema de captación de agua pluvial

El sistema de captación de agua pluvial está compuesto por 4 fases: a) captación; b) recolección y conducción; interceptor; y d) almacenamiento.

El esquema general de un SCAP o SCALL para una vivienda convencional se muestra en la Figura 27, Esquema general de un sistema de captación de agua pluvial se debe recordar que *VIS CASA* es un prototipo cuya principal característica es que permite trasladarse por la ciudad, por lo que el volumen de almacenamiento estará restringido por el espacio otorgado, el cual se abordará más adelante.

En el caso del interceptor de primeras aguas, el equipo multidisciplinario pretende el diseño de una patente de un interceptor de primeras aguas, el cual límite el volumen del dispositivo en función de la contaminación presentada.

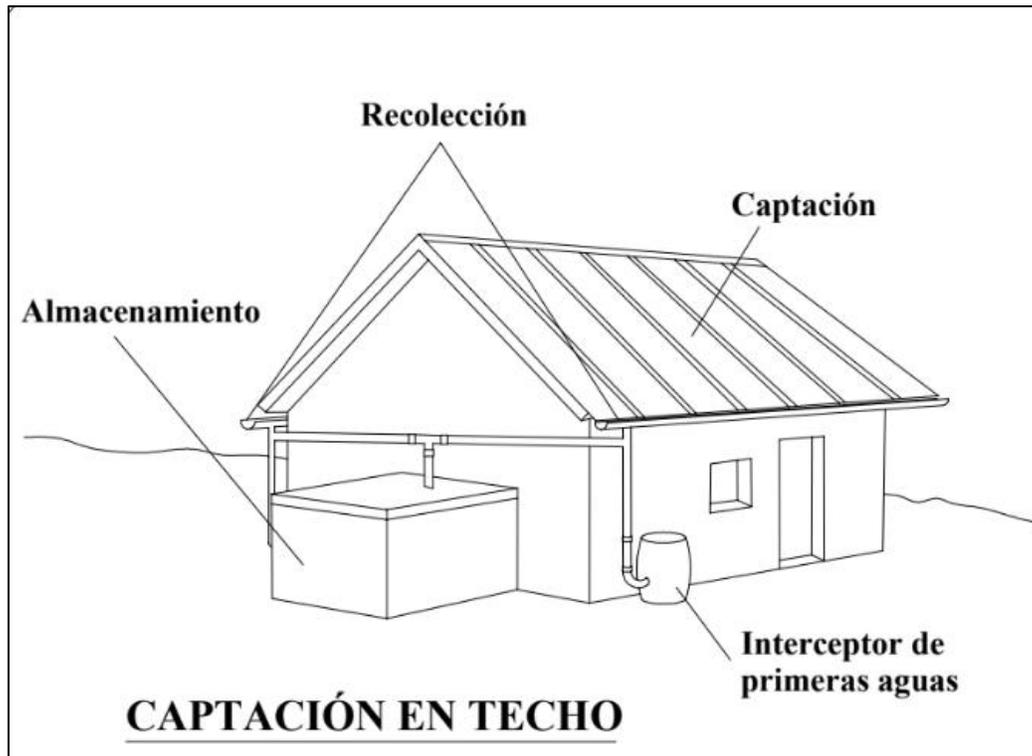


Figura 27, Esquema general de un sistema de captación de agua pluvial (PAHO, OMS, & CEPIS/OPS, 2004)

7.3.1. Captación

La captación está conformada por el techo de la edificación, el mismo que deberá contar con pendiente y superficie adecuadas para que facilite el escurrimiento del agua de lluvia hacia el sistema de recolección. En el cálculo se debe considerar la proyección horizontal del techo.

Los materiales empleados en la construcción de techos para la captación de agua de lluvia son la plancha metálica ondulada, tejas de arcilla, paja, etc. En el proyecto VIS CASA se utilizará plástico ABS laminado de una pieza, además será recubierta por una capa aislante de lana mineral y bitumen.

7.3.2. Recolección y conducción

Está conformado por las canaletas que van adosadas en los bordes más bajos del techo, en donde el agua tiende a acumularse y se conducirá al interceptor de primeras aguas.

El material de las canaletas debe ser liviano, resistente al agua y fácil de unir entre sí, a fin de reducir las fugas de agua. Por lo que se optará por el material de las instalaciones hidráulicas, CPVC.

Para el caso de las primeras aguas es necesario contar con un dispositivo de descarga, pues constituyen una posible fuente de contaminación.

7.3.3. Interceptor

El interceptor o discriminador de primeras aguas, es el dispositivo que se encarga de recibir las primeras aguas provenientes del lavado del techo y que contiene todos los materiales que en él se encuentren en el momento del inicio de la lluvia.

Este dispositivo impide que los residuos que se puedan encontrar en el techo ingresen al tanque de almacenamiento, además de que se minimiza la contaminación del agua almacenada y de la que vaya a almacenarse posteriormente. En el diseño del dispositivo generalmente se estima 1 litro de agua por metro cuadrado, y en zonas urbanas 2 litros.

7.3.4. Almacenamiento

Es la obra destinada a almacenar el volumen de agua de lluvia necesaria para el consumo diario, en especial durante el período de sequía. La unidad de almacenamiento debe ser duradera y al efecto debe cumplir con las especificaciones siguientes:

- Impermeable para evitar la pérdida de agua por goteo o transpiración,
- De no más de 2 m de altura para minimizar las sobre presiones,
- Con tapa para impedir el ingreso de polvo, insectos y de la luz solar,
- Disponer de una escotilla con tapa sanitaria lo suficientemente grande como para que permita el ingreso de una persona para la limpieza y reparaciones necesarias,
- La entrada y el rebose deben contar con mallas para evitar el ingreso de insectos y animales.
- Dotado de dispositivos para el retiro de agua y el drenaje.

En *VIS CASA*, el almacenamiento del agua captada se propone en la parte inferior de la casa. Se estima que el volumen de almacenamiento tendrá una altura de 30 [cm].

7.4. Diseño del SCAP/SCALL

Para el diseño del sistema de captación de agua de lluvia es necesario conocer ciertos aspectos de la vivienda y de la zona en la que se va a establecer la misma, tales como:

- Precipitación en la zona, datos pluviométricos
- Tipo de material de la superficie de captación
- Número de habitantes de la vivienda
- Demanda de agua (Con base a los usos a los que está destinada)

7.4.1. Obtención de datos de precipitación media mensual

En el país se utilizan estaciones climatológicas para monitorear la temperatura, precipitación, evaporación, velocidad y dirección del viento. De acuerdo con el *Atlas del agua en México 2016*, se contaba a nivel nacional con 3 160 estaciones climatológicas a cargo de CONAGUA. La ciudad de México corresponde a la RHA *XIII-Aguas del Valle de México* y cuenta con 183 estaciones climatológicas.

De acuerdo con la metodología teórica “Inverso de la distancia al cuadrado (IDC)” publicada por la American Society of Civil Engineers (ASCE), para realizar un análisis hidrológico y estimar los registros de precipitación faltantes se requieren un mínimo de tres estaciones vecinas que cuenten con por lo menos 25 años de datos pluviométricos.

En la base de datos del CLICOM en línea se tienen las estaciones divididas en dos secciones; Las estaciones con más de 25 años de datos efectivos y las estaciones con menos de 25 años de datos efectivos. Las estaciones climatológicas correspondientes a la Ciudad de México y que actualmente se encuentran operando, se muestran en la Figura 28, Estaciones climatológicas en la Ciudad de México y se enlistan en la Tabla 25, Estaciones climatológicas con más de 25 años de datos registrados.

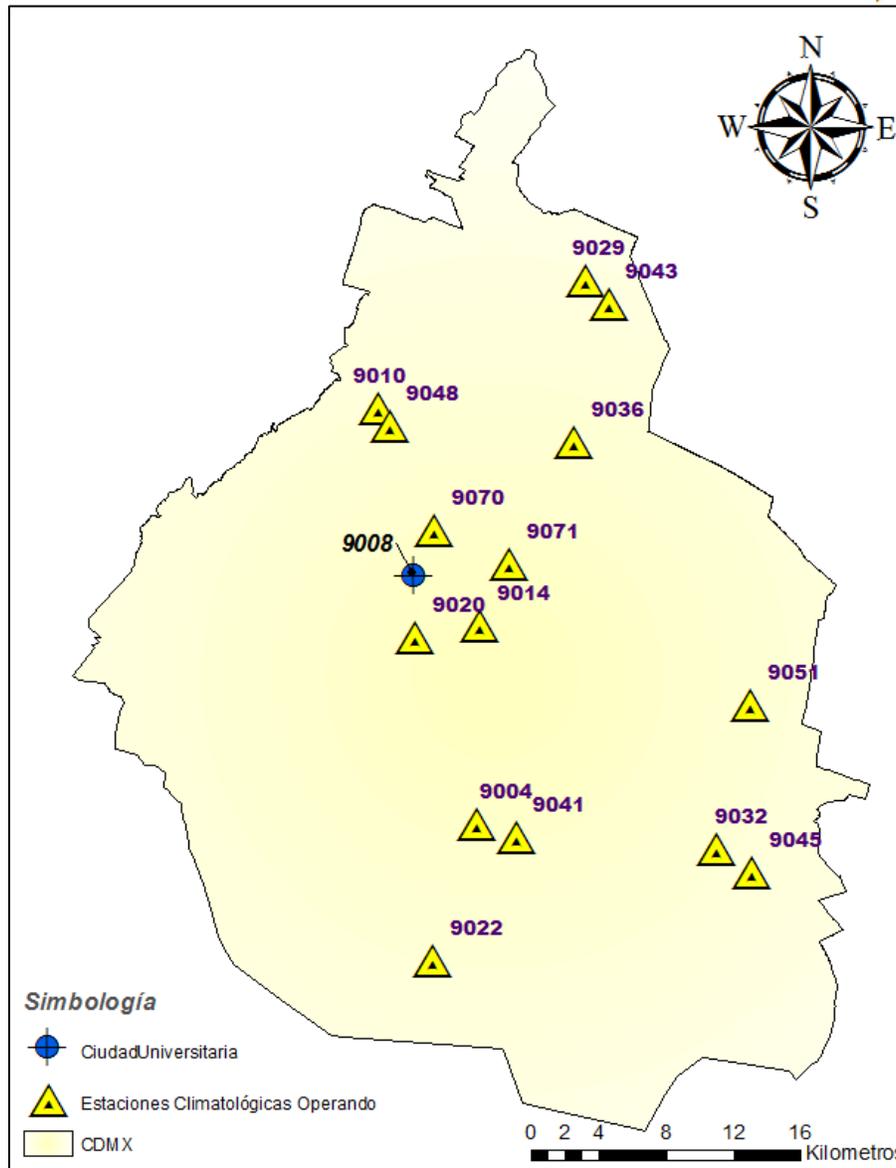


Figura 28, Estaciones climatológicas en la Ciudad de México

Tabla 25, Estaciones climatológicas con más de 25 años de datos registrados

Estación	Nombre	Años efectivos	Periodo	Coordenadas en X	Coordenadas en Y
9008	Ciudad Universitaria	12	1/4/2004 a 9/6/2017	99°10'59.88"O	19°19'41.88"N
9004	Calvario 61, DF	40.4	1/1/1970 a 1/1/2016	99° 8'57.12"O	19°12'11.16"N
9010	Colonia América, DF	35.8	8/1/1969 a 1/1/2016	99°12'6.12"O	19°24'45.00"N
9014	Colonia Santa Úrsula Coapa, DF	41.5	1/1/1971 a 1/1/2016	99° 8'53.16"O	19°18'11.88"N

Estación	Nombre	Años efectivos	Periodo	Coordenadas en X	Coordenadas en Y
9020	Desviación Alta al Pedregal	60.1	1/1/1952 a 1/1/2016	99°10'55.92"O	19°17'48.84"N
9022	El Guarda	48.7	1/1/1961 a 1/1/2016	99°10'23.16"O	19° 8'3.84"N
9029	Gran Canal Km. 06+250	61.6	1/1/1952 a 1/1/2016	99° 5'29.04"O	19°28'36.12"N
9032	Milpa Alta	58.7	10/1/1929 a 1/1/2016	99° 1'18.84"O	19°11'26.16"N
9036	Playa Caleta 454 Colonia Marte	43.8	1/4/1968 a 31/10/2015	99° 5'52.08"O	19°23'43.08"N
9041	San Francisco Tlalnepantla	43.8	1/1/1961 a 31/5/2015	99° 7'42.96"O	19°11'48.12"N
9043	San Juan de Aragón	57.3	1/6/1953 a 31/12/2015	99° 4'45.12"O	19°27'55.08"N
9045	Santa Ana Tlacotenco	36.1	1/1/1969 a 10/01/2015	99° 0'10.08"O	19°10'44.04"N
9048	Tacubaya Central	No disponible	1/3/1877 a 31/12/2016	99°11'45.96"O	19°24'12.96"N
9051	Tláhuac	42.9	1/1/1961 a 31/5/2015	99° 0'12.96"O	19°15'46.08"N
9068	Puente la Llave	30.5	1/5/1976 a 31/10/2015	99° 3'10.08"O	19°25'45.12"N
9070	Campo Experimental, Coyoacán	28	1/1/1976 a 12/1/2007	99°17'44.44"O	19.35'14" N
9071	Colonia Educación	28	1/1/1982 a 31/12/2015	99° 7'55.92"O	19°20'2.04"N

Con respecto a los datos de registro de datos de estaciones climatológicas se tiene un inconveniente, la mayoría de las bases de datos se encuentran incompletas. Existen diferentes métodos para completar los registros de precipitación. Para este trabajo se utilizó el Método de la razón normal, el cual requiere estaciones auxiliares que tengas la información requerida por la estación en estudio (Morales García, 2015).

La ecuación que se utilizó para completar los datos de precipitación faltantes es:

$$hp = \frac{1}{n} * \left[\frac{Px}{P_A} * hp_A + \frac{Px}{P_B} * hp_B + \dots + \frac{Px}{P_n} * hp_n \right]$$

Donde:

- n se refiere al número de estaciones utilizadas
- Px se refiere a la precipitación promedio de la estación en estudio
- P_A, P_B, P_n se refieren a la precipitación media de las estaciones auxiliares
- hp_A, hp_B y hp_n se refieren a la precipitación anual de las estaciones auxiliares

La estación base “9008-Ciudad Universitaria” no cuenta con años efectivos, por lo que fue necesario el completar los datos de precipitación faltantes, para ello se utilizaron las estaciones de apoyo mostradas en la Figura 29, las cuales se encuentran en un radio de influencia de 5 km y 10 km, estas son enlistadas en la Tabla 26, Estaciones climatológicas utilizadas para completar datos faltantes. Los datos de precipitación fueron descargados de la base de datos CLICOM.

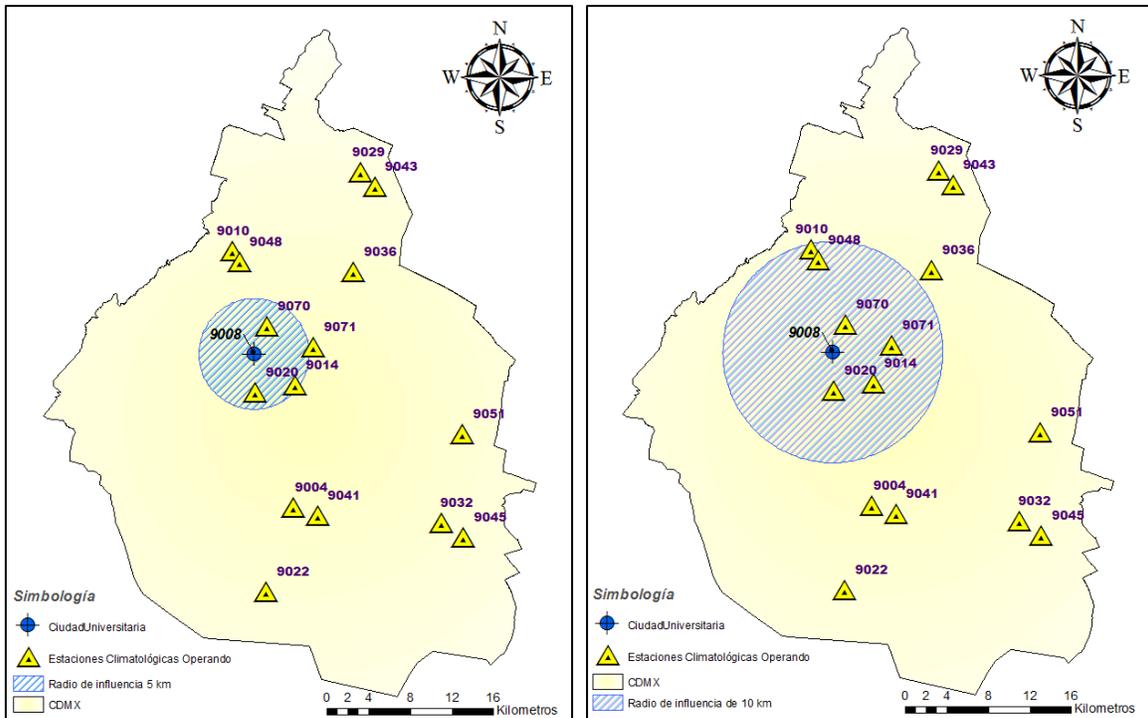


Figura 29, Estaciones climatológicas con radio de influencia de 5 km y 10 km

Tabla 26, Estaciones climatológicas utilizadas para completar datos faltantes

Estación	Nombre	Años efectivos	Periodo	Coordenadas en X	Coordenadas en Y
9010	Colonia América, DF	35.8	8/1/1969 a 1/1/2016	99°12'6.12"O	19°24'45.00"N
9014	Col. Santa Úrsula Coapa, DF	41.5	1/1/1971 a 1/1/2016	99° 8'53.16"O	19°18'11.88"N
9020	Desviación Alta al Pedregal	60.1	1/1/1952 a 1/1/2016	99°10'55.92"O	19°17'48.84"N
9070	Campo Experimental, Coyoacán ¹⁴	28	1/1/1976 a 12/1/2007	99°17'44.44"O	19.35'14" N
9071	Colonia Educación	28	1/1/1982 a 31/12/2015	99° 7'55.92"O	19°20'2.04"N

¹⁴ No es posible descargar la información de la base de datos de CLICOM a pesar de tener más de 25 años efectivos

Tabla 27, Datos de precipitación de estaciones auxiliares (Tomado de CLICOM, 2017)

Estación:	Colonia Educación	Col. Santa Úrsula Coapa	Colonia América	Desviación alta al Pedregal
Enero	5.75	7.94	6.15	10.69
Febrero	4.57	5.11	6.16	5.14
Marzo	10.24	10.82	15.26	10.31
Abril	21.03	23.28	26.92	24.46
Mayo	53.66	68.19	64.69	66.75
Junio	116.87	143.59	166.03	157.59
Julio	158.72	164.94	200.6	212.11
Agosto	139.53	157.05	187.94	209.41
Septiembre	126.89	147.31	170.08	189.8
Octubre	57.2	76.38	80.14	78.36
Noviembre	10.33	11.88	9.32	14.02
Diciembre	3.17	8	7.76	5.06
Media anual	59.00	68.71	78.42	81.98

En la Tabla 28, Datos de precipitación completos de la estación 9008-Ciudad Universitaria se muestran los resultados obtenidos al completar los datos con las estaciones auxiliares.

Tabla 28, Datos de precipitación completos de la estación 9008-Ciudad Universitaria

Estación:	Ciudad Universitaria
Enero	3.97
Febrero	2.76
Marzo	6.12
Abril	12.57
Mayo	33.29
Junio	76.24
Julio	96.22
Agosto	90.26
Septiembre	82.52
Octubre	38.15
Noviembre	6.00
Diciembre	3.11

7.4.2. Curvas de comportamiento de precipitación

De las estaciones utilizadas para completar los datos de precipitación a través de la base de datos CLICOM se determinó el comportamiento de la lluvia de manera mensual, como se puede ver en los meses de lluvia potencial son de abril a octubre.

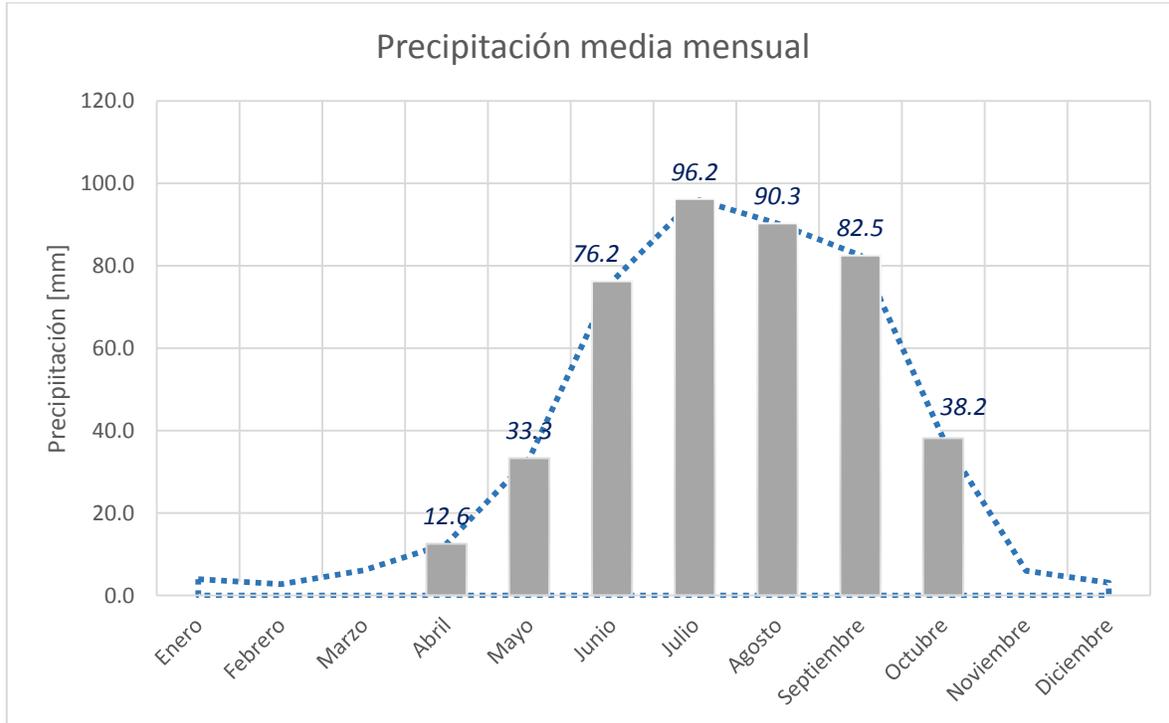


Figura 30, Curva de comportamiento de la precipitación en la zona de estudio (Elaboración propia con datos de CLICOM, 2017)

7.4.3. Determinación del volumen potencial de captación de agua

Previamente se determinó la precipitación promedio mensual de la zona de estudio y se estableció que la demanda de agua potable de VIS CASA es de 300 [l/hab/día]. Considerando que el material del que está construido el techo es plástico ABS laminado, el coeficiente de escorrentía que se utilizará para el diseño es de 0.9¹⁵.

Para el cálculo de la oferta de agua en el mes “i” en metros cúbicos se utilizó la siguiente fórmula:

¹⁵ Coeficiente tomado de los datos de “Guía de diseño para la captación de agua de lluvia”

$$A_i = \frac{Pp_i * Ce * Ac}{1000}$$

Donde:

- Pp_i se refiere a la precipitación promedio mensual [l/m²]
- Ce es el coeficiente de escorrentía, en VIS CASA = 0.9
- Ac es el área de captación, $Ac=14.25$
- A_i se refiere a la oferta de agua en el mes “i”, en [m³]

Tabla 29, Oferta de agua de lluvia en Ciudad Universitaria

Estación:	Ciudad Universitaria	A_i [m ³]	A_i [L]
Enero	4.0	0.051	50.86
Febrero	2.8	0.035	35.33
Marzo	6.1	0.079	78.53
Abril	12.6	0.161	161.18
Mayo	33.3	0.427	426.91
Junio	76.2	0.978	977.75
Julio	96.2	1.234	1234.05
Agosto	90.3	1.158	1157.56
Septiembre	82.5	1.058	1058.35
Octubre	38.2	0.489	489.34
Noviembre	6.0	0.077	76.90
Diciembre	3.1	0.040	39.89

En la Figura 31, Comportamiento de oferta de agua en Ciudad Universitaria se observa que los meses en que el agua captada es considerable son en el periodo abril-octubre, a esta temporada le denominaremos temporada de lluvia, y al periodo de noviembre-marzo, donde la precipitación es menor a 150 [L], temporada de estiaje.

En el diseño se debe considerar que no se puede almacenar en su totalidad el agua pluvial, ya que se tiene restricción de espacio.

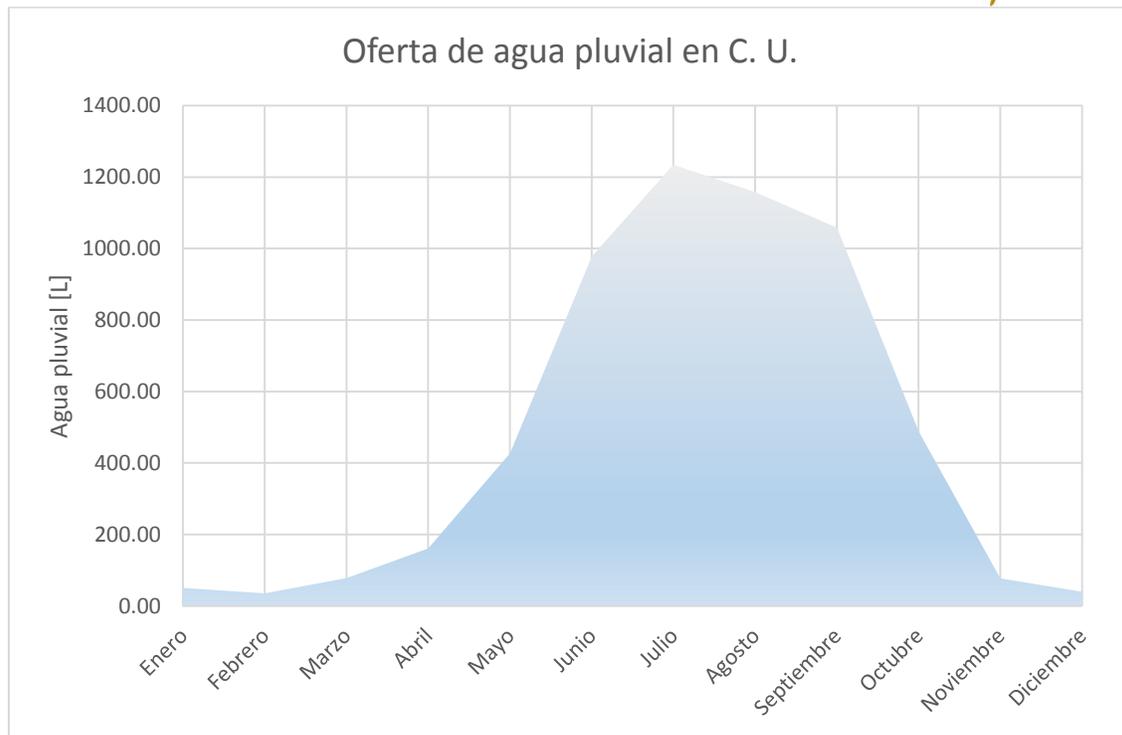


Figura 31, Comportamiento de oferta de agua en Ciudad Universitaria

7.4.4. Balance de consumos de agua potable

Se estima que el volumen de agua pluvial captada sea destinado para el excusado en esta etapa del proyecto, lo que permitiría disponer de ella sin un tratamiento previo.

El consumo de agua de una persona se clasifica en consumo directo y consumo indirecto, el primero engloba las actividades que se realizan en el hogar, mientras que el consumo indirecto se refiere a las actividades en las que el contacto no es directo, por ejemplo, actividades industriales, agrícolas, etcétera.

En México, de acuerdo con la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana las actividades principales son 6, los porcentajes de las actividades se muestran en la Figura 32, Actividades de consumo directo de agua. De acuerdo con los datos, el baño consume el 40% del agua destinada para cada habitante de una vivienda, en el caso de VIS CASA, de los 300 [l/día] que se suministrarán, 120 [l/día] serán destinados al desalojo de excretas (CESPT, 2016).

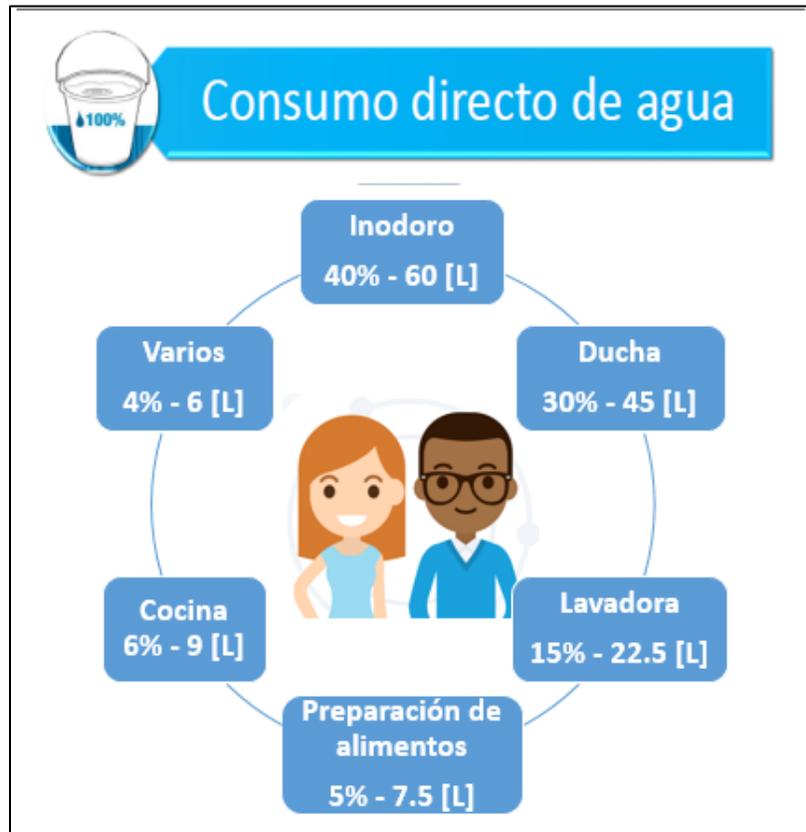


Figura 32, Actividades de consumo directo de agua (CESPT, 2016)

Otra forma de calcular la cantidad de agua utilizada en el inodoro es estimando la cantidad de veces que una persona dispone de las excretas al día. De acuerdo con la información disponible en el documento “Saneamiento seco con desviación de orina”¹⁶, una persona va 7.3 veces al día a orinar y 1 vez a defecar.

El inodoro seleccionado tiene dos tipos de descarga, “Flush rate short” y “Flush rate full”, por lo que el volumen de agua utilizado en un día se muestra en la Tabla 30, Consumo calculado por W.C., lo que se traduce en que el 19% del consumo directo de los habitantes de VIS CASA se destina al inodoro.

¹⁶ Apuntes de clase “Temas selectos del campo básico de Ingeniería Sanitaria: Sistemas descentralizados de suministro de agua y saneamiento de residuos líquidos y sólidos” del M.I. Juan Francisco de León Ibarra

Tabla 30, Consumo calculado por W.C.

Tipo de descarga	Cantidad	Consumo por descarga	Subtotal [L/día]
Descarga simple	7.3	3	21.9
Descarga completa	1	6.1	6.1
Total [L/hab/día]			28
Total [L/día]			56

Como ya se dijo, el agua pluvial captada será destinada al inodoro, por lo que el volumen de almacenamiento correcto será obtenido con la demanda diaria del W.C., en este caso se utilizará los datos de la Tabla 30, Consumo calculado por W.C. ya que los inodoros actuales son ahorradores, lo cual no fue considerado por la Comisión Estatal de Servicios Públicos de Tijuana, pues consideran una descarga de 12 [l].

Tabla 31, Consumo de agua del W.C. de VIS CASA

Mes	Núm. de días	Demanda diaria VIS CASA	Demanda mensual VIS CASA
Enero	31	56	1736
Febrero	28	56	1568
Marzo	31	56	1736
Abril	30	56	1680
Mayo	31	56	1736
Junio	30	56	1680
Julio	31	56	1736
Agosto	31	56	1736
Septiembre	30	56	1680
Octubre	31	56	1736
Noviembre	30	56	1680
Diciembre	31	56	1736

Debido a que el uso será exclusivamente para el inodoro, el sistema de captación puede omitir el uso del discriminador de primeras aguas, esto sólo es aplicable en esta fase del

proyecto VIS CASA, donde se abastece exclusivamente al inodoro, puesto que la calidad requerida no es de agua potable, en fases posteriores se establecería el abastecimiento a otros muebles incluyendo el tratamiento.

Tabla 32, Cálculo del almacenamiento

Mes	Oferta acumulada [m ³]	Demanda Acumulada [m ³]	Diferencia
Julio	1.234	1.736	-0.502
Agosto	2.392	3.472	-1.080
Septiembre	3.450	5.152	-1.702
Octubre	3.939	6.888	-2.949
Noviembre	4.016	8.568	-4.552
Diciembre	4.056	10.304	-6.248
Enero	4.107	12.040	-7.933
Febrero	4.142	13.608	-9.466
Marzo	4.221	15.344	-11.123
Abril	4.382	17.024	-12.642
Mayo	4.809	18.760	-13.951
Junio	5.787	20.440	-14.653

En la Tabla 32, Cálculo del almacenamiento es posible darse cuenta de que, debido a un área de captación mínima, se impide que el volumen de agua captado cubra al 100% el uso del excusado.

Con la restricción de un volumen de captación mínimo, se determinará el almacenamiento adecuado y en qué porcentaje cubre la demanda del inodoro. El equipo de trabajo de VIS CASA determino el almacenamiento de agua en reservorios de 150 [L] cada uno, se proponen 4 reservorios, pero como se muestra en la Tabla 33, Porcentaje de cobertura con agua pluvial, la oferta diaria de agua es de 40 [L] como máximo, lo que concluye que un reservorio de menor tamaño sería suficiente, y en este caso se cubre el 71% de la demanda teórica del excusado.

Tabla 33, Porcentaje de cobertura con agua pluvial

Mes	Oferta diaria [L]	Porcentaje cubierto
Julio	39.808	71%
Agosto	37.341	67%
Septiembre	35.278	63%
Octubre	15.785	28%
Noviembre	2.563	5%
Diciembre	1.287	2%
Enero	1.641	3%
Febrero	1.262	2%
Marzo	2.533	5%
Abril	5.373	10%
Mayo	13.771	25%
Junio	32.592	58%

7.4.5. Tormenta de diseño

Para conocer de qué manera llueve, es necesario conocer las intensidades de la zona en estudio, por lo cual se realiza el cálculo de las curvas de intensidad-duración-periodo de retorno (idTR). De igual manera que en la obtención de las precipitaciones medias mensuales, se utilizó el Sistema CLICOM para obtener los datos de precipitación y la metodología de la “Razón Normal” ya mencionada al inicio del subcapítulo. Los datos de precipitación obtenidos al completar la información con las estaciones auxiliares son los mostrados en Tabla 34, Datos de precipitación completos de estación 9008-Ciudad Universitaria.

Tabla 34, Datos de precipitación completos de estación 9008-Ciudad Universitaria

Año	Precipitación 24 horas	Año	Precipitación 24 horas	Año	Precipitación 24 horas
1971	43.4	1984	42	1997	33.2
1972	30.7	1985	38.7	1998	47.9
1973	41.9	1986	32	1999	30.8
1974	39.5	1987	31.2	2000	45.2

Año	Precipitación 24 horas	Año	Precipitación 24 horas	Año	Precipitación 24 horas
1975	35.4	1988	48	2001	54.6
1976	44.6	1989	35.7	2002	48.8
1977	53.1	1990	48	2003	42.1
1978	45.9	1991	44.6	2004	38.6
1979	30.2	1992	46	2005	36.6
1980	34.9	1993	48.9	2006	43.1
1981	36	1994	60.9	2007	49.7
1982	34.4	1995	38.2	2008	38.9
1983	39.5	1996	51.7		

7.4.5.1. Correcciones al valor representativo (Sau Soto, 1996)

Para adecuar el valor de precipitación máxima diaria obtenida para la estación base se deben aplicar dos factores de corrección, esto nos permitirá obtener un valor de precipitación más cercano al valor real. Los factores de corrección son el intervalo fijo de observación y el factor de reducción por magnitud de cuenca.

Intervalo fijo de observación

L.L Weiss con base a un estudio de diversas estaciones-año de datos lluvia, encontró que los resultados de un análisis probabilístico llevado a cabo con las lluvias máximas anuales tomadas en un único y fijo intervalo de observación, para cualquier duración comprendida entre 1 y 24 horas, al ser incrementados en un 13% conducían a magnitudes más aproximadas a las obtenidas en el análisis basado en lluvias máximas verdaderas.

De acuerdo con lo anterior, el valor representativo adoptado para la cuenca deberá ser multiplicado por un factor de 1.13 para ajustarlo por intervalo fijo y único de observación, pues los registros de lluvias máximas diarias se toman de 8 A.M. de un día a 8 A.M. del día siguiente y entonces, con tal corrección la lluvia representativa se convierte en lluvia máxima en 24 horas de determinado periodo de retorno.

Factor de reducción por magnitud de cuenca

Este factor es considerado para cuencas con una estación pluviométrica con área de influencia mayor a 25 [km²], ya que los valores puntuales son representativos de solo 25

[km²], por lo que al ser aplicados a un área mayor deberán ser reducidos de acuerdo con factores de reducción establecidos.

Precipitación máxima corregida

El factor de reducción por magnitud de cuenca no es aplicable a la zona de estudio, ya que los datos obtenidos se encuentran en un área de influencia de 10 [km²]. Al aplicar el factor de intervalo fijo de observación se obtiene la

Tabla 35, Precipitación máxima corregida

Año	hp 24 horas	hp máx corregida	Año	hp 24 horas	hp máx corregida	Año	hp 24 horas	hp máx corregida
1971	43.4	49.1	1984	42	47.4	1997	33.2	37.5
1972	30.7	34.7	1985	38.7	43.8	1998	47.9	54.1
1973	41.9	47.3	1986	32	36.1	1999	30.8	34.9
1974	39.5	44.7	1987	31.2	35.2	2000	45.2	51.1
1975	35.4	40	1988	48	54.3	2001	54.6	61.7
1976	44.6	50.4	1989	35.7	40.3	2002	48.8	55.2
1977	53.1	60	1990	48	54.3	2003	42.1	47.6
1978	45.9	51.8	1991	44.6	50.4	2004	38.6	43.6
1979	30.2	34.2	1992	46	52	2005	36.6	41.3
1980	34.9	39.4	1993	48.9	55.3	2006	43.1	48.7
1981	36	40.7	1994	60.9	68.8	2007	49.7	56.2
1982	34.4	38.9	1995	38.2	43.2	2008	38.9	44
1983	39.5	44.6	1996	51.7	58.4			

En datos estadísticos, en específico series hidrológicas, es importante analizar las características estadísticas tales como la media, desviación estándar, pruebas de homogeneidad, pruebas de independencia, esto permitirá comprobar si los datos presentan un comportamiento estadístico adecuado.

Para las pruebas de homogeneidad e independencia se utilizó el software AFA V.1.1 del Instituto Mexicano de Tecnología del Agua (IMTA), el cual realiza la prueba de homogeneidad con tres métodos; El método de Helmert, el método de T de Student y el método de Cramer. Al comprobar la homogeneidad y la independencia de la muestra se obtuvieron las funciones de distribución de la muestra, estación por estación para poder inferir los periodos de retorno a 2,5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100 años.

7.4.5.2. Funciones de Distribución

En la obtención de las funciones de distribución se utilizó igualmente el software AFA V.1.1. y las funciones de Distribución utilizadas son la función Normal, Log Normal de 2 parámetros, Log Normal de 3 parámetros, Gamma de 2 parámetros, Gamma de 3 parámetros, Gumbel, Exponencial 2 parámetros, General de Valores Extremos y la Gumbel Doble.

Al ir obteniendo los resultados de las distintas funciones de distribución, se obtuvieron las precipitaciones de diseño para diferentes tipos de periodos de retorno (2, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 100, 200, 500, 1000 y 2000), así como el periodo de retorno asignado a los valores de precipitación máximo anual. En el mismo análisis se obtuvo el “Error Estándar de Ajuste (EEA)” para cada función de distribución y se tomó el más bajo para ser usado en la obtención de las curvas IDT.

A continuación, se muestra la Tabla 36, Funciones de distribución, comparativa de los valores de precipitación máximos anuales, con la función de distribución elegida de acuerdo con el menor error estándar de ajuste.

Tabla 36, Funciones de distribución

Tr (años)	Normal	Exponencial (1)	Exponencial (2)		Log Normal (2)	Log Normal (3)		Gamma (2)	
			Momentos	Max.		Momentos	Max.	Momentos	Max.
2	47.1	32.7	44.5	43.0	46.4	46.6	46.2	46.6	46.7
5	54.2	75.9	52.3	55.2	53.8	54.0	53.8	54.0	53.9
10	57.9	108.5	58.1	64.5	58.1	58.2	58.3	58.2	58.0
15	59.8	127.6	61.5	69.8	60.4	60.4	60.7	60.3	60.1
20	61.0	141.2	63.9	73.7	62.0	61.8	62.4	61.8	61.5
25	61.9	151.7	65.8	76.6	63.1	62.9	63.6	62.8	62.5
50	64.4	184.4	71.6	85.9	66.6	66.1	67.4	66.0	65.6
100	66.7	217.0	77.5	95.1	69.9	69.1	71.0	68.9	68.5
200	68.8	249.7	83.3	104.3	73.0	72.0	74.4	71.6	71.1
500	71.4	292.9	91.0	116.5	77.0	75.6	78.9	75.1	74.5
1000	73.1	325.6	96.8	125.7	79.9	78.2	82.2	77.5	76.9
2000	74.8	358.2	102.7	134.9	82.8	80.7	85.5	79.9	79.2
EEA	1.4	33.1	2.6	4.4	1.2	1.1	1.2	1.1	1.2

Tabla 37, Funciones de distribución (continuación)

Tr (años)	Gamma (3)		LogPearson Tipo III		General de VE	Gumbel		Gumbel Doble
	Momentos	Max.	Momentos	Max.		Momentos	Max.	
2	46.6	45.9	46.4	46.3	46.5	45.7	45.7	47.0
5	54.0	53.8	53.9	53.8	54.0	53.2	53.9	54.2
10	58.2	58.7	58.3	58.2	58.3	58.1	59.2	58.1
15	60.4	61.4	60.7	60.6	60.5	60.9	62.3	60.2
20	61.8	63.3	62.3	62.3	62.0	62.8	64.4	61.7
25	62.9	64.7	63.5	63.5	63.1	64.3	66.0	62.8
50	66.1	68.9	67.1	67.2	66.2	68.9	71.1	66.2
100	69.1	72.9	70.5	70.7	68.9	73.5	76.1	69.5
200	71.9	76.8	73.7	74.1	71.4	78.1	81.0	72.9
500	75.4	81.9	77.9	78.5	74.2	84.1	87.6	77.3
1000	77.9	85.6	81.0	81.8	76.1	88.7	92.6	80.6
2000	80.4	89.3	84.0	85.0	77.8	93.2	97.5	83.9
EEA	1.1	1.2	1.1	1.2	1.1	1.5	1.2	1.0

7.4.5.3. Metodología de Chen

En este apartado se presentarán las curvas idTr (Intensidad-Duración-Periodo de Retorno), las cuales son obtenidas de las funciones de distribución presentadas anteriormente.

El procedimiento de obtención de las curvas idTr se describe a continuación:

- a) Seleccionar los períodos de retorno que tendrán las curvas, en este caso, 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 y 100.
- b) Calcular la precipitación de 24 horas para los periodos de retorno seleccionados
- c) Determinar el factor de convectividad ($R = \frac{P_1^{Tr}}{P_{24}^{Tr}}$) de acuerdo con la Figura 33, Regionalización del factor de convectividad, para el caso de Ciudad Universitaria R tiene un valor de 0.51.

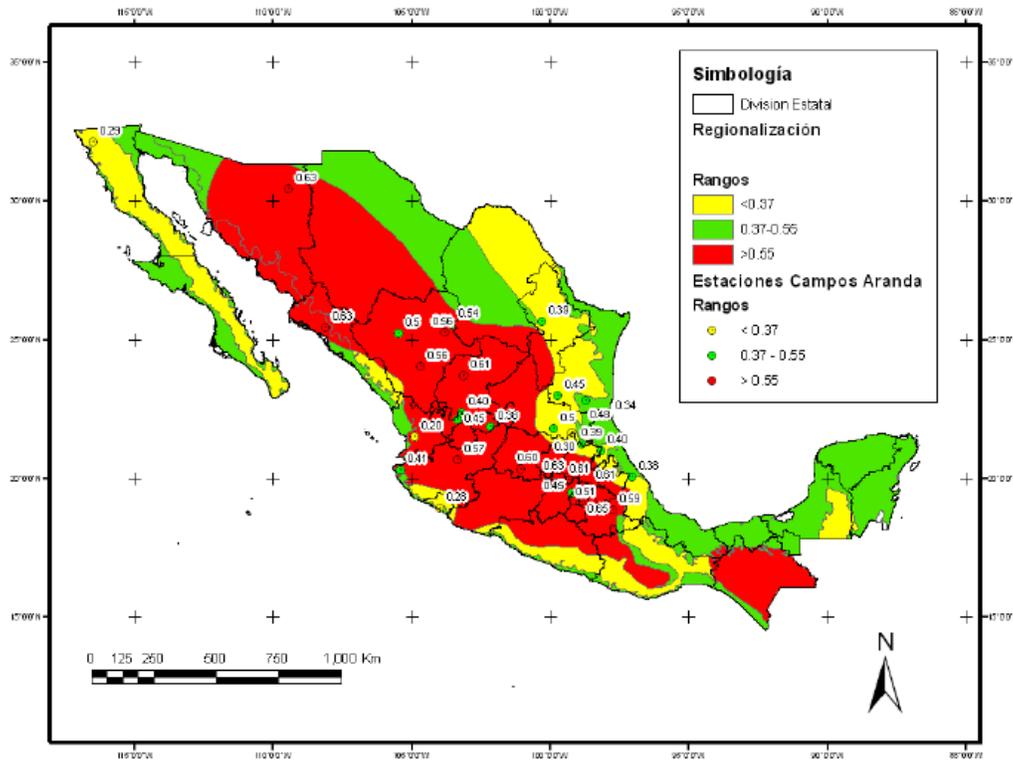


Figura 33, Regionalización del factor de convectividad (Campos A. & Gómez de Luna, 1990)

- d) Determinar la relación entre parámetros de una tormenta estándar y el factor de convectividad (Chen 1969).

$$a = 21.03453 - 186.4683R + 825.4915R^2 - 1084.846R^3 + 524.06R^4 = \mathbf{32.19}$$

$$b = 3.487775 - 68.13976R + 389.4625R^2 - 612.4041R^3 + 315.8721R^4 = \mathbf{10.17}$$

$$c = 0.2677553 + 0.9481759R + 2.1094R^2 - 4.827R^3 + 2.4596R^4 = \mathbf{0.83}$$

$$F = \frac{P_{24}^{100}}{P_{24}^{10}} = \mathbf{1.08}$$

- e) Las curvas Precipitación-Duración-Período de retorno serán construidas para diferentes duraciones, las cuales tendrán intervalos de 10 min., utilizando la siguiente fórmula.

$$i_d^{Tr} = \frac{aP_1^{10} \log(10^{2-F} * Tr^{F-1})}{(d + b)^c}$$

- f) Se dibujan las curvas Intensidad-Duración-Período de retorno en escala natural y en escala semi logarítmica.

Aunque se realizaron los cálculos para los periodos de retorno establecidos en el inciso a de este apartado, en las curvas idTr se dibujarán los periodos de retorno de 2, 10 y 20 años, y las intensidades para los diferentes periodos de retorno se muestran en la Tabla 38, Resumen de curvas idTr.

Tabla 38, Resumen de curvas idTr

Duración		Tr2	Tr5	Tr10	Tr15	Tr20	Tr25	Tr50	Tr100
Minutos	Horas								
10	0.17	74.39	76.91	78.81	79.93	80.72	81.33	83.24	85.15
20	0.33	53.26	55.06	56.42	57.22	57.79	58.23	59.59	60.96
30	0.50	41.99	43.42	44.49	45.12	45.57	45.91	46.99	48.07
40	0.67	34.92	36.10	37.00	37.52	37.89	38.18	39.07	39.97
50	0.83	30.03	31.05	31.81	32.26	32.58	32.83	33.60	34.37
60	1.00	26.43	27.33	28.00	28.40	28.68	28.90	29.58	30.25
120	2.00	15.83	16.36	16.77	17.00	17.17	17.30	17.71	18.11
300	5.00	7.70	7.96	8.16	8.27	8.35	8.42	8.61	8.81
1440	24.00	2.14	2.21	2.27	2.30	2.32	2.34	2.39	2.45

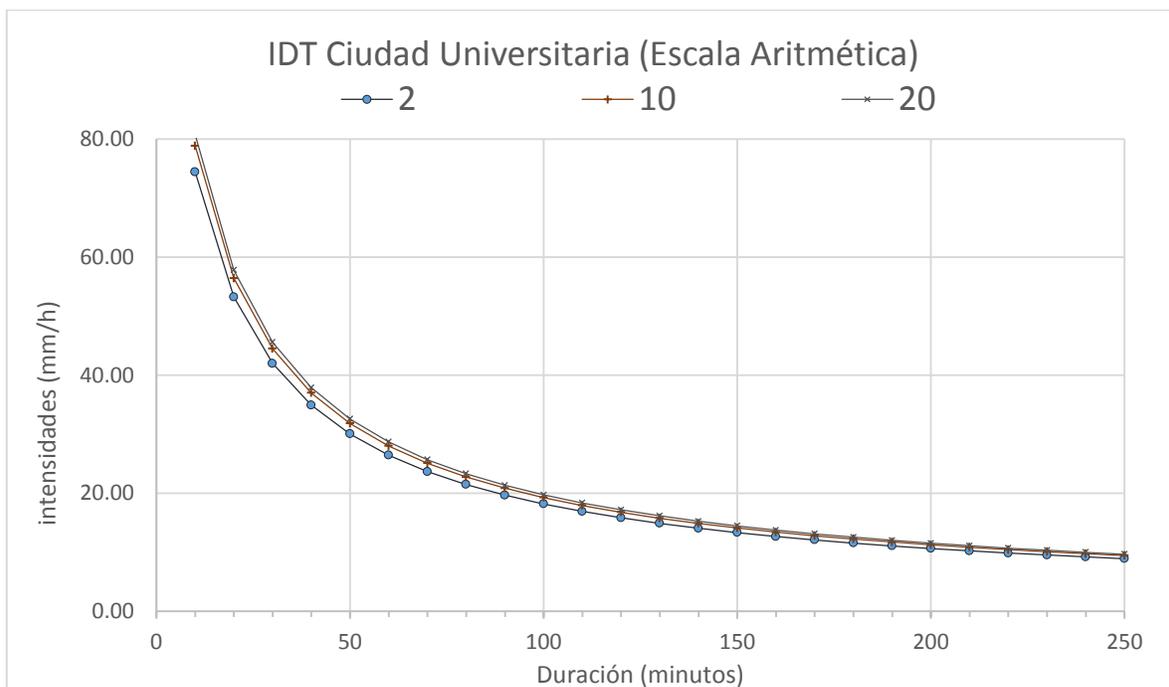


Figura 34, Curvas de intensidad-duración-periodo de retorno (idTr)

Considerando que el diseño de la instalación de aguas pluviales se realiza con una intensidad de precipitación correspondiente a un periodo de retorno de 10 años y una duración de 10 minutos,¹⁷ La intensidad correspondiente es de 78.81 [mm/h].

El cálculo del gasto pluvial se realiza con la ecuación:

$$Q_p = 2.778 * C_i A$$

Donde:

Q_p se refiere al gasto pluvial en L/s

A es el área de captación en hectáreas, en este caso de 14.25 [m²]=0.001425 [ha]

C es el coeficiente de escurrimiento adimensional, para casa habitación $C_{\text{promedio}}=0.6$

i es la intensidad de precipitación, [mm/h], en este caso de 78.81 [mm/h]

2.778 es un coeficiente de conversión de unidades

$$Q_p = 2.778 * C_i A = 2.778 * 0.6 * 78.81 \left[\frac{mm}{h} \right] * 0.001425 [ha] = 0.1871 \left[\frac{l}{s} \right] = 11.23 \left[\frac{l}{min} \right]$$

El diámetro mínimo de las columnas de aguas pluviales, cuando se piense descargue impurezas es de 80 [mm], es decir 3", pero para el proyecto de VIS CASA estaría sobrado, y arquitectónicamente se tendría inconvenientes con el concepto, por lo que se propone una tubería de CPVC de 2" de Ø, es decir, 48.6 [mm] de diámetro interior.

Lo anterior se verifica con lo recomendado por la tabla "Diámetros de columnas en aguas pluviales"¹⁸ en donde se indica que para un área de recolección de entre 9 y 25 [m²], el diámetro de columna será de 50 [mm] aproximadamente. Por lo que se cumple satisfactoriamente con la recomendación.

¹⁷ M. en I. José Luis Sánchez Galarza. Apuntes de la clase "Instalaciones de suministro y evacuación de agua para edificios" Posgrado de Ingeniería, semestre 2018-1.

¹⁸ Dr. Enrique César Valdez, "Instalaciones Sanitaria para Edificios". Facultad de Ingeniería.

8. Conclusiones y recomendaciones

El presente trabajo de investigación cumplió con el principal objetivo: el diseño de las instalaciones de la Vivienda Industrializada Sustentable, *VIS CASA UNAM*, incluyendo el análisis de los posibles materiales y seleccionando el que es viable en el ámbito hidráulico y ambiental.

El aprendizaje sobre la ecotecnia, captación de agua pluvial, fue significativo debido a que se realizó el contraste con las actividades que se realizan cotidianamente y cuánta agua consume cada actividad, además fue claro que no todas nuestras acciones requieren de agua potable.

Fue posible ver la funcionalidad del SCAP para una vivienda con espacio limitado, lo que nos lleva a concluir que un domicilio con mayor espacio puede captar mayor volumen y abastecer de mejor forma las necesidades de sus habitantes.

Es importante concientizar a la población acerca de la huella de carbono y la huella hídrica que se genera en las actividades cotidianas y lo que consumimos diariamente, pues en el análisis de materiales se observó que a pesar de tener características similares y una correcta funcionalidad para el proyecto, los perfiles medio ambientales pueden ser totalmente diferentes, como en el caso de la tubería PVC y la tubería PEX-PEX, siendo la segunda la que utiliza materiales con mayores contaminantes.

Es de vital importancia entender el papel de un buen diseño de las instalaciones, pues en este trabajo son pocos elementos sanitarios, lo cual no repercute en un problema grave, pero un mal cálculo o una consideración errónea puede causar problemas a corto y/o largo plazo que pueden generar malestares a los habitantes de la vivienda o pueden provocar el total cambio de las instalaciones hidráulicas.

La elección de un calentador solar favorece el uso de energía renovable y limpia, lo que contribuye a cumplir con el ODS 7 y disminuyendo la emisión de GEI al ambiente. Además de aportar un ahorro en el aspecto económico.

El planteamiento de un calentador eléctrico de manera auxiliar garantiza la satisfacción de las necesidades de los habitantes de *VIS CASA* inclusive en días que las condiciones no sean las óptimas de funcionamiento para el calentador solar. Las dimensiones que posee

permiten la ubicación del sistema en diferentes puntos de la vivienda, por lo que en caso de necesitar prescindir del calentador solar, aún se tendría el uso de agua caliente.

El correcto diseño de *VIS CASA* ocasionaría un prototipo de vivienda funcional que colaboré a los problemas que enfrenta la ciudad, tales como, inundaciones, población flotante, falta de servicios básicos en viviendas, tránsito en la ciudad, debido a esto es importante que cada elemento que lo integra tenga un correcto diseño, sin dejar en segundo plano el aspecto industrializado y sustentable de la vivienda, pues son factores que la caracterizan.

Bibliografía

- AEC, A. E. (7 de Enero de 2018). *GHG Protocol*. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/ghg-protocol>
- AEC, A. E. (7 de Enero de 2018). *Norma PAS 2060*. Obtenido de <https://www.aec.es/web/guest/centro-conocimiento/norma-pas-2060>
- Agreda Gozzález, R., Bilbabo Erezkano, A., Cavero Artero, S. J., & Delgado Moreno, P. (2013). *Guía para la neutralidad de carbono en empresas no reguladas*. Madrid, España: Escuela de Organización Industrial.
- Agua. (22 de Diciembre de 2017). *Visión General del Agua en México*. Obtenido de <http://agua.org.mx/cuanta-agua-tiene-mexico>
- Almanza, A. S. (2012). *La evolución de la Ciudad de México, factores para el desarrollo social*. México D. F.: Consejo de Evaluación del Desarrollo Social del Distrito Federal.
- Aquatherm. (2018). *Sistemas de tuberías de polipropileno (PP-R)*. Madrid, España: Aquatherm.
- Arquitectur. (5 de Junio de 2011). *Plásticos empleados en la edificación en abastecimiento de agua y desagües*. Obtenido de Arquitectura, edificación y urbanismo: <http://arquitectur.blogspot.mx/2011/04/plasticos-empleados-en-la-edificacion.html>
- ASIPLA, A. g. (2017). *Análisis del impacto de los gases de efecto invernadero en el ciclo de vida de los embalajes y otros productos plásticos en Chile V1.0*. Chile: http://www.acoplasticos.org/boletines/2011/Noticias_Ambientales_2011_04Julio/A_SIPLA_Huella_de_Carbono.pdf.
- Calorex. (14 de Febrero de 2018). *Calentador Instantáneo eléctrico punto de uso*. Obtenido de Calorex COX-IE-351: <http://www.calorex.com.mx/calentadores/calorex/instantaneo/instantaneo-punto-de-uso/cox-ie-351>
- Calorex. (14 de Febrero de 2018). *Sistema solar de calentamiento de agua*. Obtenido de Calentadores calorex: <http://www.calorex.com.mx/calentadores/calorex/solar/solar/calorex-solar-termosifon-150>
- Campos A., D., & Gómez de Luna, R. (1990). Procedimiento para obtener curvas idTr a partir de registros. *Revista Ingeniería Hidráulica en México*, vol. V, núm 2, 39-52.
- Carbono, H. d. (24 de Diciembre de 2017). *Huella de Carbono*. Obtenido de <http://www.huellacarbono.es/>

- CDMX, G. d. (2016). *RCDF, Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal*. México: Gaceta Oficial de la Ciudad de México.
- CEDIC, C. E. (2007). *El cobre, la elección profesional*. Madrid, España.: Comité Español de la ECPPC.
- Certicalia. (29 de Enero de 2018). *¿Cómo conseguir el certificado huella de carbono?* Obtenido de Certificado huella de carbono: <https://www.certicalia.com/certificado-huella-de-carbono/como-conseguir-el-certificado-huella-de-carbono>
- César Valdez, E., & González L., M. A. (1997). *Instalaciones Sanitarias para Edificios; Volumen 3*. México: Facultad de Ingeniería, UNAM.
- CESPT, C. E. (15 de marzo de 2016). *Artículo; consumo y tarifas*. Obtenido de Cultura agua: http://www.cespt.gob.mx/culturaagua/articulo_consumotarifas.html
- Comercio, A. y. (07 de Enero de 2018). *Foro sobre Cambio Climático*. Obtenido de <http://www.ambienteycomercio.org/los-estandares-iso-y-la-medicion-de-huella-de-carbono/>
- CONABIO (Dirección). (2013). *Con vida el agua* [Película].
- CONAGUA. (2016). *Estadísticas del Agua en México*. México: CONAGUA.
- CONAGUA, C. N. (2007). *Equilibrio hidrológico en la Cuenca del Valle de México*. México: Dirección General de la Comisión Nacional del Agua.
- CONAGUA, C. N. (2011). *El agua virtual y la huella hídrica*. México: CONAGUA.
- CONAGUA, C. N. (22 de Diciembre de 2017). *PROCAPTAR, Programa Nacional para Captación de Agua de Lluvia y Ecotecias en Zonas Rurales*. Obtenido de Acciones y Programas: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/programa-nacional-para-captacion-de-agua-de-lluvia-y-ecotecias-en-zonas-rurales-procaptar>
- Coyoacán, D. d. (2011). *Programa Delegacional de Desarrollo Urbano de Coyoacán*. México: SIDESO.
- EVANS. (17 de Febrero de 2018). *Sistema de presión 3/4 HP +76[L]*. Obtenido de Hidroneumáticos: <https://www.evans.com.mx/hidroneumaticos/hidroneumaticos/sistema-de-presion-3-4hp-76l.html>
- Federación, D. O. (2013). *Decreto por el que se adiciona un artículo 17 TER a la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente*. México: Diario Oficial de la Federación.

- Federal, G. d. (2003, última reforma 2015). *Ley de Aguas del Distrito Federal*. México: Asamblea Legislativa del Distrito Federal, VI Legislatura.
- Flexpad. (5 de Febrero de 2018). *Tubería multicapa PEX-AL-PEX*. Obtenido de Productos de tubería hidráulica: <http://www.flexpad.mx/productos-tuberia-hidraulica.php>
- GEOSAI, S. a. (5 de Febrero de 2018). *Propiedades y aplicaciones de la tubería de polietileno de alta densidad*. Obtenido de <http://www.geosai.com/tuberia-polietileno-alta-densidad/>
- Graizbord, B. (1995). La geografía de la descentralización demográfica de la ciudad de México. En & L. A. Aguilar, *El desarrollo urbano de México a fines del siglo XX* (págs. 101-114). Nuevo León, México.: Instituto de Estudios Urbanos de Nuevo León.
- Graizbord, B. (2007). Movilidad residencial en la Ciudad de México. . En *Estudios demográficos y urbanos*. (págs. 291-335).
- Hoyos, D. S. (16 de Mayo de 2011). *Sistemas de captación, almacenamiento, tratamiento y aprovechamiento de agua de lluvia en zonas urbanas*. Obtenido de PUERA, Programa de uso eficiente y racional del agua: <http://puera.imta.mx/index.php/avisos/2-avisos/39-sistemas-de-captacion-almacenamiento-tratamiento-y-aprovechamiento-de-agua-de-lluvia-en-zonas-urbanas>
- II-UNAM, I. d. (2015). Capítulo III, Estudio para delimitar microcuencas urbanas y definir los gastos pluviales. En I. d. II-UNAM, *Estudio para el proyecto hidrológico para proteger a la población de inundaciones y aprovechar mejor el agua (PROHTAB)* (págs. 32-34). México: II-UNAM, Instituto de Ingeniería y Universidad Nacional Autónoma de México.
- IMACIFP, D. I. (Septiembre de 2013). *Técnicas de montaje de instalaciones, tuberías metálicas*. Obtenido de <http://www.imacifp.com/wp-content/uploads/2013/09/C.F.G.M.-tuber%C3%ADAs.pdf>
- Jiménez Cisneros, B. E. (2001). Suministro de agua al Valle de México. En B. E. Jiménez Cisneros, *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada* (págs. 154-155). México: Limusa, Colegio de Ingenieros Ambientales de México, A. C.
- Lawson. B. (1996). *Proceso de fabricación del acero*. Barcelona, España: Universidad Politécnica de Cataluña.
- M. I. Sánchez Galarza, J. L. (2017). *Apuntes de clase Instalaciones de suministro y evacuación de agua*. Coyoacán, México: Posgrado de Ingeniería, UNAM.

- Madías, J. (2015). *Actualización tecnológica. Consumo de agua en la producción de acero, procesos, equipos y avances*. Argentina: Dossier Tecnológico.
- MERUS. (Marzo de 2018). *Prevención de las incrustaciones de calcio-Agua dura*.
Obtenido de <http://www.merus.es/in-general/water-containing-calcium-carbonate>
- Molecor. (12 de Febrero de 2018). *Huella ambiental de producto de las tuberías TOM de Molecor. Las tuberías de PVC-O más sostenibles*. Obtenido de MOLECOR:
<http://molecor.com/es/huella-ambiental-de-producto-de-las-tuberias-tomr-de-molecor-las-tuberias-de-pvc-o-mas-sostenibles>
- Molecor. (13 de Febrero de 2018). *Sostenibilidad*. Obtenido de Molecor, Orienting the future: <http://molecor.com/es/compania/sostenibilidad>
- Morales García, I. (2015). *Apuntes de clase de Hidrología*. México, Ciudad Universitaria: UNAM, Universidad Nacional Autónoma de México.
- Morris, B., Lawrence, A., Chilton, P., Adams, B., Calow, R., & Klinck, B. (2003). Groundwater and its susceptibility to degradation: a global assessment of the problem and options for management. *United Nations Environment Programme*, 126.
- OBCCD, O. B. (7 de Enero de 2018). *Gases de Efecto Invernadero*. Obtenido de <https://obccd.org/informacion-basica-2/gases-de-efecto-invernadero-co2e-co2-y-carbono/>
- Ogazón, L. (23 de Diciembre de 2017). *Sabes cómo se construye Ciudad Universitaria, una zona teñida de azul y oro*. Obtenido de Fundación UNAM:
<http://www.fundacionunam.org.mx/donde-paso/sabes-como-se-construye-ciudad-universitaria/>
- OMM, O. M. (30 de Octubre de 2017). *Boletín de la OMM sobre los Gases de Efecto Invernadero*. Obtenido de <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-aumento-de-la-concentraci%C3%B3n-de-gases-de-efecto-invernadero-alcanza-un>
- ONU, O. d. (25 de septiembre de 2015). *Objetivos de Desarrollo Sostenible, 17 objetivos para transformar nuestro mundo*. Obtenido de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>
- PAHO, O. P., OMS, O. M., & CEPIS/OPS, C. P. (2004). *Guía de Diseño para Captación del Agua de Lluvia*. Lima: Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental.
- PEMEX, M. C. (2012). *Presente futuro de la industria del plástico en México*. México: Petroquímica PEMEX.

- plásticos, T. d. (23 de Noviembre de 2013). *PVC clorado (CPVC)*. Obtenido de Tecnología de los plásticos: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.mx/2013/11/pvc-clorado-cpvc.html>
- PUMAGUA, & Urbana, I. (2016). *Informe final de actividades: Análisis de la calidad del agua en sistemas de captación de agua de lluvia*. México: UNAM.
- Rheem. (marzo de 2018). *Calentador Instantáneo Eléctrico*. Obtenido de http://rheem.com.mx/products_resources/downloads/9-339430f0b9a143f4aecf00bf28270faf1b313b.pdf
- Riveros, S. A. (2011). *Vivienda y Entorno Sustentable*. México: CONAVI, Comisión Nacional de Vivienda.
- Sau Soto, N. (1996). IV. Precipitación. En N. Sau Soto, *Estudio topohidráulico e hidrológico para el cruce del km 0+20 sobre el río Altar estado de Sonora, México* (págs. 32-47). Sonora: Universidad de Sonora, División de Ingeniería.
- SEDATU, C. (2017). NAMA, Vivienda Sustentable en México. *Mi casa es mi mundo*.
- Smith, D. M. (2007). Capítulo 3: El cambio climático y su impacto en la pobreza. En D. M. Smith, *Sólo tenemos un planeta: Pobreza, justicia y cambio climático* (pág. 12). Perú: ITDG, Soluciones prácticas.
- SSA, S. d. (26 de Diciembre de 2017). *Modificación a la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-1994, Salud ambiental. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización*. Obtenido de Secretaria de salud: <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/m127ssa14.html>
- TECNUN, U. d. (02 de Febrero de 2018). *Sustancias que contaminan la atmósfera*. Obtenido de Ciencias de la tierra y del medio ambiente: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/Ecologia/Hipertexto/10CAtm1/200Conta.htm>
- UCLM, U. d. (2003). *Tuberías de Materiales Plásticos*. España: Promateriales de construcción y arquitectura actual.
- Verde vivo. (28 de Enero de 2018). *¿Conoce qué es una vivienda sostenible?* Obtenido de Verde vivo: <http://www.verdevivo.com.co/conoce-que-es-una-vivienda-sostenible/>