

41121

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO 21

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES 1
CAMPUS ARAGON

“APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL”

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERIA CIVIL

P R E S E N T A :
MARQUEZ BOHOR MENDEZ MAURO CANEK

ASESOR:
PATROCINIO ARROYO HERNANDEZ

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

MEXICO 2003



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

2



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGÓN
SECRETARÍA ACADÉMICA

X

Ing. MARTÍN ORTIZ LEÓN
Jefe de la Carrera de Ingeniería Civil,
Presente.

X

En atención a la solicitud de fecha 10 de marzo del año en curso, por la que se comunica que el alumno MAURO CANEK MARQUEZ BOHOR MENDEZ, de la carrera de Ingeniero Civil, ha concluido su trabajo de investigación intitulado "APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL", y como el mismo ha sido revisado y aprobado por usted, se autoriza su impresión; así como la iniciación de los trámites correspondientes para la celebración del Examen Profesional.

Sin otro particular, reitero a usted las seguridades de mi atenta consideración.

Atentamente
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 10 de marzo del 2003
EL SECRETARIO

LIC. ALBERTO IBARRA ROSAS

C p Asesor de Tesis.
C p Interesado.

AIR/vr

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

*A Dios
por darme fe y esperanza
y a su bondad sin límites*

*Gracias a la UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
"ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES ARAGON"
quien me dio su autorización para estudiar y permanecer en sus instalaciones,
abriéndome sus puertas y formando a un profesionista, Ingeniero Civil*

*A mis maestros quienes fueron clave en mi formación
como Ingeniero*

*A mis Padres
LUIS MARQUEZ BOHOR RAMIREZ ,
FELICIDAD MENDEZ DE MARQUEZ BOHOR,
Por su apoyo incondicional en todas sus formas y su ejemplo moral y de superación
personal*

A mis compañeros por que a través de las vivencias conocí la verdadera amistad

*A mi tía MARIA DEL REFUGIO MENDEZ DE LA ROSA,
por su ayuda*

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

APROVECHAMIENTO DEL AGUA PLUVIAL

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCIÓN

1.1.-La problemática mundial de escasez de agua dulce	2
1.2.-Objetivo particular	7
1.3.-Alcances	8
1.4.-Breve aspecto histórico	9
1.5.-Problemática del agua en México	11

CAPITULO II: FUNDAMENTACION TÉCNICA

2.1.- Factores hidrológicos asociados con los sistemas de captación	26
2.1.1.-Tipos de precipitaciones	26
2.1.2.-Medición de la precipitación	27
2.1.3.-Elementos que integran una tormenta Intensidad-duración-periodo de retorno	33
2.1.4.-Esgurrimiento	41
2.2.- Necesidades hídricas de consumo	45
2.3.- Cisternas	48

CAPITULO III: SISTEMAS DE CAPTACIÓN DE AGUA DE LLUVIA

3.1.- Necesidad de los sistemas	55
3.2.- Ventajas y desventajas	56
3.3.- Clasificación de los sistemas	58
3.3.1.-Descripción general	58
3.3.2.-Especificaciones	58
3.3.3.-Clasificación	58
3.4.- Metodología para el desarrollo y planeación de los sistemas de captación	65
3.5.- Metodología de diseño de los sistemas de captación	66

CAPITULO IV: APLICACIONES

4.1.- Introducción	73
4.2.- Casos prácticos	74
4.2.1.-Tlalpuente, Distrito Federal	74
4.2.2.-Captación de agua de lluvia para el uso y manejo integral en Tuxpan, Jalisco	78
4.2.3.-Alternativas para la captación de agua de lluvia para consumo humano en el estado de Oaxaca	81
4.2.4.-Captación, manejo y conservación de agua de lluvia en la Huasteca Veracruzana	86
4.2.5.-Rajasthan, India	90
4.2.6.-Vaupes, Colombia	92
4.2.7.-Orocuina, Honduras	96

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.8.- La Trinidad, Nicaragua	96
4.3.- Ejemplos numéricos	99
4.3.1.- Ejemplo de diseño de un sistema de captación de agua pluvial para cubrir el déficit en la época de sequía	99
4.3.2.- Diseño de un sistema de captación de agua pluvial para surtir agua todo el año	100

CAPITULO V: CONCLUSIONES

BIBLIOGRAFÍA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I

INTRODUCCION

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1.1.- LA PROBLEMÁTICA MUNDIAL DE ESCASEZ DE AGUA DULCE

Entre los espectros del medio ambiente¹ que amenazan a la humanidad del siglo XXI, la escasez de agua dulce ocupa el primer lugar de la lista, particularmente en el mundo en desarrollo. Hace poco, las naciones unidas declararon que 2,700 millones de personas sufrirían una severa escasez de agua hacia el 2025 si el consumo se mantiene en los niveles actuales. El miedo a un futuro sin agua surge del crecimiento proyectado de la población mundial, de más de seis mil millones actualmente, a cerca de nueve mil millones en 2025. Sin embargo, la cantidad de agua dulce en el planeta no está aumentando. Cerca del 97% del agua de la Tierra, es salada, y se encuentra en mares y océanos. Aproximadamente el dos por ciento del agua (dulce y salada) de la Tierra está congelada en los glaciares, casquetes polares y algunas zonas continentales, y una fracción del uno por ciento se aprovecha para el consumo, el riego y usos industriales.

Sin embargo, las malas noticias en torno al agua no son cosa del futuro: hoy día, aproximadamente 1,200 millones de personas beben agua no potable y cerca de 2,500 millones carecen de sanitarios o de sistemas de drenaje adecuados. Más de cinco millones de personas mueren cada año de enfermedades vinculadas con el agua, como cólera y disentería.

En todo el globo, agricultores y autoridades municipales extraen agua del subsuelo más rápidamente de lo que éste se reabastece.

Para resolver esta problemática en lugares como: Africa, India y España, un grupo de personas, organizaciones y empresas trabajan para resolver el complejo problema del agua. Algunos han revivido técnicas ancestrales y otros aplican tecnología del siglo XXI.

Pero todos tienen dos objetos en común: el deseo de aprovechar con la máxima eficiencia cada gota de agua y la convicción de aplicar soluciones locales e incentivos económicos en sus campañas de conservación.

Es incuestionable el despilfarro de agua dulce en el planeta, en particular en la agricultura, actividad que representa el 70% del uso del agua. Es urgente aprovechar con más eficiencia cada gota de agua, ya que, a medida que crece la población mundial y aumenta la demanda de alimentos, el riego no controlado plantea una serie de amenazas a los ríos, humedales y lagos. El río Amarillo en China, utilizado por agricultores y ciudades, no ha llegado al mar casi ningún año de la década pasada. En América del Norte, el río Colorado apenas logra llegar al mar de Cortés, y el año antepasado, el río Bravo se secó antes de desembocar en el golfo de México. En Asia Central, el mar de Aral se redujo a la mitad después que los soviéticos comenzaron a desviar el agua para los cultivos de algodón y de otros productos. En muchas otras partes, se han secado incontables ríos.

¹El calentamiento global la destrucción de los bosques tropicales, la pesca oceánica excesiva.



FIGURA 1. EL "AZOTE DE CHINA ENTRA EN UNA NUEVA ETAPA

Llamado el "azote de China" por sus devastadoras inundaciones, el río Amarillo ya no es más que un hilito en su curso inferior. En los últimos años se ha secado en gran medida por el riego intenso río arriba. Asimismo, los otrora caudalosos ríos Nilo, Ganjes y Colorado apenas llegan al mar en las estaciones de sequía.



FIGURA 2. El año antepasado, en Matamoros, México, el nivel del río Bravo descendió por debajo de las tuberías de toma de agua. Ante el poco tratamiento de las aguas residuales, los canales de la ciudad (arriba) supuran aguas negras y contaminación industrial.

La utilización de bombas eléctricas para la extracción del agua subterránea ha impulsado una revolución verde en la India. Ese logro en la agricultura, ha permitido al país producir alimentos suficientes para sus mil millones de habitantes, se derivó de un enorme incremento en la extracción del agua freática. A mediados de la década de 1950, menos de 1000 bombas motorizadas extraían agua subterránea para la agricultura de esa nación. Hoy día, operan alrededor de 20 millones, cifra que crece medio millón cada año.

Pero al extraer el agua más rápidamente de lo que la naturaleza la repone, los acuíferos se han agotado al grado de que la mitad de la India enfrenta ahora problemas como la escasez de agua freática o el influjo del agua salada en pozos costeros. Hace cuatro décadas, el nivel freático de algunas de la tierras estaba a 30 metros; ahora se encuentra a 150 metros llegará el día en que no se pueda extraer más agua. El agua que ahora se bombea de las profundidades del subsuelo se ha ido acumulando durante miles de años. No sobreviviremos a menos que se propongan "nuevas medidas para recargar estos acuíferos." Una razón por la que los agricultores de la India, y en todo el mundo, han extraído agua de manera irresponsable es lo poco que pagan por ella. En India, el agua es gratuita, y el gobierno subsidia más de la cuenta de electricidad que acciona las bombas. Más que pagar por el número de horas que funciona la bomba, los agricultores pagan una cuota uniforme anual y extraen el agua sin medida.

El bombeo excesivo de los acuíferos, ya sea para uso agrícola o municipal, trasciende las fronteras de la India. Los agricultores estadounidenses sacan agua del acuífero de Ogallala, que esta por debajo de las Grandes Planicies, a una velocidad insostenible, lo que a dejado como consecuencia que una tercera parte del territorio que corresponde a Texas esté prácticamente agotada.

FIGURA 3. Las parvadas de aves migratorias siguen llegando al lago Tule, en California. El lago mide un poco más de 4 mil hectáreas; hace un siglo, tenía 10 veces ese tamaño. La mayor parte del agua se ha destinado a la agricultura. El 90% de los pantanos de California ha desaparecido, y 39 de 67 especies de peces autóctonos están extintos o en riesgo de extinción.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El nivel freático debajo de la llanura de China septentrional, que produce cerca de la mitad del trigo y del maíz del país, se reduce cada vez más. Sandra Postel, experta en agua dulce, opina que, de seguirse agotando las aguas subterráneas, podría reducirse la producción de granos de China e India entre un 10% y 20% en las próximas décadas.

En la región de Castilla-La Mancha, en el centro meridional de España tiene lugar una transformación sin precedentes de uno de los humedales más preciados del país: las Burbujas, este manantial submarino se secó en 1984. Las 24 mil hectáreas originales de humedales, hábitat de grullas y aves acuáticas, se han reducido a un núcleo de aproximadamente 5,700 hectáreas debido a la invasión de la agricultura de regadío. La Mancha ha presenciado una explosión de excavación de pozos en los últimos 40 años que ha reducido el nivel freático y el flujo de los ríos. El número de hectáreas irrigadas², ha crecido de 24 mil en 1960 a 200 mil hoy día, y el número de pozos ha aumentado de 1,500 a la cifra oficial de 21 mil.

Algunos expertos dicen que el número total, incluidos pozos clandestinos, podría superar los 50 mil. Mientras haya tantos pozos que extraigan agua del subsuelo, Las Burbujas no regresará. España se encuentra ahora frente a una encrucijada, este país mediterráneo ha construido presas³ y entubado el agua a través de grandes distancias para suministrarlas a granjas y municipios. Ahora, un Nuevo Plan Nacional Hidrológico propone la transferencia de cerca de 1,050 hectómetros cúbicos de agua anuales desde el río Ebro, en el norte, hasta las regiones florecientes a lo largo de la costa del Mediterráneo. El plan ha provocado controversia, ya que un creciente número de opositores cuestionan el costo económico y ambiental de programas tan colosales como éste. El gobierno sostiene que el proyecto de miles de millones de dólares es necesario para frenar la sobreexplotación de los acuíferos del sur. Pero los ambientalistas alegan que el Ebro ya ha perdido la mitad de su caudal por el riego y las presas, y que se reducirá todavía más, lo que acelerará el deterioro del delta de este río, uno de los principales criaderos de peces del Mediterráneo y hábitat fundamental de aves.

Los ambientalistas españoles indican que ya es hora de dejar de drenar los humedales del país y de reducir los subsidios agrícolas que garantizan los cultivos de regadío y alientan el derroche de agua. El humedal más grande de España - Doñana, en la costa del Atlántico, hogar de medio millón de aves que no emigran y escala de seis millones de aves migratorias- ha visto sus pantanos naturales menguar de 150 mil a 30 mil hectáreas a causa de los proyectos de desarrollo agrícola e ingeniería hidráulica. (A pesar de las pérdidas, Doñana sigue atrayendo a numerosos flamencos, cigüeñas blancas, el ibis de lustroso plumaje, gansos cenizos y otras aves acuáticas, porque los humedales se convirtieron en arrozales inundados o estanques de acuicultura.) El gobierno y los grupos conservacionistas se han embarcado en un programa importante de regeneración hidrológica, similar a un plan de ocho mil

² Los agricultores cultivan alfalfa, cebada, maíz, trigo y remolacha, entre otros productos.

³ Alrededor de 1,200 de ellas muy importantes.

millones de dólares para restaurar los flujos de agua en los Everglades, Florida, que revivirá algunos de los pantanos de Doñana.

Durante este siglo, muchos países se enfrentarán al dilema que confronta el pueblo español: cómo equilibrar las necesidades humanas con los requerimientos de los sistemas naturales que son vitales para mantener la vida en la Tierra. Algunos esperan que nuevas tecnologías, como la desalinización del agua de mar, resuelvan los problemas que enfrenta un mundo que vive bajo la presión de la falta de agua.

Debido a la deforestación de los bosques del planeta en algunos lugares de 210 días con lluvia al año durante los años de 1940 a 1950, hoy día tenemos escasamente de 60 a 90 días.

En cuanto a nuestro país el aumento vertiginoso de la población que se dio en el siglo XX, ha traído un incremento en la demanda de recursos para resolver las necesidades básicas, una de estas el abastecimiento de agua potable; la primera solución a esta necesidad fue la extracción de agua subterránea, este sistema primero fue suficiente pero con el gran incremento poblacional de la Ciudad de México, fue más grande la necesidad que la cantidad de agua freática y por tanto se desarrolló el sistema Cutzamala, el problema se complica ya que la Zona Metropolitana del Valle de México se encuentra en una trampa ecológica, porque de cada 10 litros de agua potable que se suministran a la población 7 son del subsuelo y con una mancha urbana que cada día crece más, va limitando la recarga del acuífero condenándolo a su extinción, ya que es más lo que se extrae que lo que puede recargarse.

De lo expuesto anteriormente se han desarrollado tecnologías para resolver el abasto de agua entre las que destacan:

- Captación de agua pluvial.
- Condensación de la neblina.
- Reciclaje de aguas residuales.
- Desalinización de agua de mar.
- Construcción de Acuíferos artificiales.
- Geles aglutinadores de moléculas de agua.
- Composta que retiene 10 veces más agua de lluvia que la tierra normal.
- Creación de muebles sanitarios que utilicen menos agua.
- Recarga artificial de los acuíferos.
- Planeación de sistemas hidrológicos.

Lo común de todas estas innovaciones es la optimización, buen uso y el ahorro del agua, por lo tanto su aplicación es de vital importancia no sólo para resolver el problema actual si no también para asegurar el suministro de agua para las generaciones futuras. Y así dejar una herencia hídrica a las siguientes generaciones.

1.2.-OBJETIVO PARTICULAR

En las excursiones que hacia en el bosque me daba cuenta que el esplendor de la vida, era en Septiembre y era porque acababan de pasar los meses de lluvia, los arroyos secos se convertían en torrentes caudalosos y los canales en otras temporadas vacíos, van llenos a su máxima capacidad, también me fijé que es la época en la que el ganado vacuno tiene más peso. De ahí surgió mi interés por el desarrollo de obras para captar agua pluvial, almacenarla y tenerla así para su uso y reserva, de tal manera que el agua captada en época de lluvias se convierta en una reserva para todo el año o para varios meses, según se planifique el depósito de almacenamiento, el sistema de captación del agua pluvial y el uso al que se le destine.

Otra observación personal de mis clases de Historia, es la de que la cultura humana floreció al lado de los ríos de ahí concluyo que la plataforma para el desarrollo de la civilización humana es la disponibilidad y utilización de los recursos hidráulicos.

El primer paso para salir del subdesarrollo es aumentar la capacidad de captación y almacenamiento de agua y de este modo incrementar la disponibilidad de recursos hidráulicos del país logrando:

- 1.-Mayor productividad agrícola y con esto tener una autosuficiencia alimenticia y por tanto una mejor alimentación a la población.
- 2.-Aumento en el nivel de vida de la población, al disponer esta en su totalidad de agua y de este modo vivir más higiénicamente.
- 3.-Propiciar el desarrollo Industrial al disponer más fácilmente del recurso hidráulico.
- 4.-Consolidar un Sistema Hidráulico Nacional de tal modo que el excedente de agua captada en una zona del país pueda surtir a una región con sequía o una presa con bajo nivel.

El desarrollo de sistemas para la captación de agua pluvial refuerza los puntos expuestos, ya que permite integrarse plenamente a la capacidad de suministro del vital líquido con los sistemas existentes contribuyendo a aumentar enormemente la riqueza hidráulica de la Nación y por tanto sus posibilidades para salir del subdesarrollo.

Razón por la que el objetivo es: **Presentar alternativas para la captación del agua de lluvia y así aprovecharla para el uso cotidiano.**

1.3.-ALCANCES

De acuerdo a lo anterior este trabajo lo desarrollo de la siguiente manera:

En el Capitulo I (Introducción), expongo la necesidad de contar con fuentes alternativas que permitan aumentar la disponibilidad del agua para consumo doméstico y agrícola. Expongo la problemática del agua a nivel: mundial, nacional y del Valle de México.

El Capitulo II (Fundamentación técnica), trata de los conocimientos técnicos, instrumentación y base teórica para el análisis de la relación lluvia-escurrimiento, además de dar información para el diseño de los sistemas: Dotación de agua y diseño de cisternas.

El Capitulo III (Sistemas de captación de agua de lluvia), contiene los diferentes sistemas de captación de agua pluvial, sus ventajas y desventajas de los sistemas en general y una metodología para el diseño de estos.

El Capitulo IV (Aplicaciones), muestra con ejemplos reales la gran aplicación de estos sistemas, también se incluyen dos ejemplos numéricos.

El Capitulo V(Conclusiones), da las reflexiones a las que se ha llegado después de realizar este trabajo.

1.4.- BREVE ASPECTO HISTORICO

En la India desde hace cinco mil años se usaba un sistema que consistía en captar agua de lluvia, aprovechando el terreno natural para canalizar y almacenar el agua de breves aguaceros del monzón y utilizarla todo el año.

Petra "Agua en el desierto"

Aunque poco conocido, el pueblo nabateo se distinguió por su vocación comercial y su talento arquitectónico y su ingeniería hidráulica. Este se asentó en la actual Jordania.

En los linderos del desierto montañoso, los nabateos edificaron Petra, la capital de su reino; para ello utilizaron las canteras de las montañas y, sobre la piedra misma, hacia el 319 a.C, comenzaron a tallar una urbe que habría de florecer durante cuatro siglos.

Investigaciones contemporáneas han revelado que, en su apogeo Petra tuvo unos 30 mil habitantes; sin embargo, en las piedras sepultadas yace el secreto de sus creencias y de su forma de vida.

Lo que salta a la vista es el dominio que los nabateos tenían sobre la ingeniería hidráulica. Ya desde el Siq es posible admirar el sistema de ingeniería que, por medio de una red de canales, presas y cisternas, servía para captar el agua de lluvia y distribuirla, de tal suerte que la urbe siempre estuviera abastecida - aún en épocas de sequía o ante la eventualidad de ser sitiada - , pero sin peligro de inundaciones.

Masada

Fortaleza Palestina situada a la orilla occidental del mar Muerto, construida en gran parte por Herodes. Después de la caída de Jerusalén 70 años d.c, **en esta fortaleza tenían cisternas gigantescas diseñadas para llenarse con una lluvia al año y con esta agua captada surtir del líquido un año a la fortaleza.**

En Europa los primeros almacenamientos de agua de lluvia fueron construidos en la época del imperio romano, mediante el uso de pequeñas presas de tierra y de mampostería, no eran solamente para almacenar el escurrimiento superficial, sino también para elevar el nivel freático, algunos ejemplos de estas estructuras se construyeron en los alrededores del lago Balaton, en Hungría en la era del emperador Galerio (305 - 311 años d.c); además utilizaron la captación y almacenamiento del agua de lluvia proveniente de los techos y de los patios de las casas. Los sistemas de captación de agua de lluvia eran considerados al diseñar y construir las casas-habitación los cuales se complementaban con la construcción de cisternas para el almacenamiento de agua con fines de uso domestico.

Otro testimonio se encuentra en el desierto de Negev, Israel, en cuyas laderas se colectaba y conducía la escasa precipitación de los pequeños lomerios hasta un recipiente construido con arcilla , el cual funcionaba como filtro de basuras y sedimentos que el agua arrastraba a su paso; posteriormente el líquido caía en cisternas de 200 a 300 metros cúbicos, donde se almacenaba para ser utilizado por el ganado y en las labores domésticas.

El desarrollo de estas tecnologías se remontan a épocas prehistóricas en las ruinas del palacio de Knossos (1710 a.c.) en Creta, donde se han encontrado sofisticados sistemas de captación de agua de lluvia, mediante la utilización de los techos y la construcción de cisternas. Se usaban pequeñas piscinas para almacenar el agua en el interior de los palacios y de las casas-habitación y también para establecer un sistema de aire acondicionado. Al construirse las ciudades, siempre se consideraba el abastecimiento de agua con fines de uso doméstico de las familias. Otro ejemplo se encuentra en el palacio de Alhambra en Granada, España donde se observan cisternas, piscinas y fuentes.

A principios de este siglo, los sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico perdieron su importancia debido al rápido crecimiento de las ciudades y a los sistemas de distribución de agua a nivel domiciliario.

En algunos países de América Latina y el Caribe, desde hace más de tres siglos se han practicado sistemas de captación de agua de lluvia para uso doméstico, donde la recolección del agua proveniente de los techos se almacenaba en cisternas de diferentes tipos donde el manejo y almacenamiento de escurrimientos superficiales se realiza en presas de tierra, estanques, jagüeyes y aljibes, que aún representa la fuente principal de agua para uso doméstico en ejidos y ranchos. En la época colonial era común observar los diversos sistemas de captación de agua de lluvia en las haciendas, en los conventos en las casas- habitación: aún se observan vestigios de estas tecnologías en los conventos de Santo Domingo, en Oaxaca; en Acolman, en el Estado de México y en el convento de Zacatecas, Zacatecas. Durante la segunda guerra mundial, algunas pistas de aeropuertos se utilizaron como áreas de captación.

1.5.- PROBLEMATICA DEL AGUA EN MEXICO

Aunque sujeta a fenómenos climáticos, la cantidad de agua que dispone el país es básicamente la misma año con año. Sin embargo se distribuye de forma muy desigual en el territorio y varias de las fuentes del líquido para consumo de la población se encuentran sobreexplotadas.

El contraste pluvial entre el norte y el sur de México es dramático: un chiapaneco recibe cada año, en promedio, 170 veces más agua que un baja californiano. En Baja California o Sonora puede llover menos de 100 milímetros al año; en Chiapas o Tabasco más de 3 mil.

De una precipitación media total de 772 milímetros al año, equivalente a mil 549 kilómetros cúbicos, el sureste recibe la mayor parte. La paradoja es que la zona noreste, norte y centro del país, que concentran el 84 por ciento del Producto Interno Bruto y el 77 por ciento de la población, cuentan tan solo con el 28 por ciento del agua. El Sureste en contraste, concentra el 16 por ciento del PIB, el 23 por ciento de la población y únicamente el 8 por ciento de las tierras irrigadas, pero tiene el 72 por ciento del total de las aguas nacionales.

La mayor parte del escurrimiento nacional se produce en el norte del país. Las regiones con mayor abundancia de agua son en contraste las más pobres.

El volumen de recarga anual de acuíferos es del orden de 63 kilómetros cúbicos al año, de estos están disponibles sólo 39 kilómetros cúbicos, de los cuáles se extraen al año 28 kilómetros cúbicos aproximadamente. Los acuíferos más dañados se encuentran en el norte.

En el documento "Cruzada por los Bosques y el Agua", la Semarnat precisa que el 78 por ciento de las aguas residuales municipales y el 85 por ciento de las industriales se vierten sin recibir tratamiento alguno.

No es abundante y esta mal distribuida. Pero también la desperdiciamos, ensuciamos y no paga el consumidor su precio verdadero.

"En México la causa de tan alta incidencia de enfermedades gastrointestinales en una tercera parte de las entidades federativas se debe a la contaminación del líquido por materia fecal, y afecta sobretudo a la población más pobre", indica un reporte de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

Sólo el 30 por ciento de los consumidores de agua en México paga por el líquido que utiliza. Quienes lo hace, pagan, en promedio, sólo una tercera parte del costo final del servicio. La tarifa promedio del país por un metro cúbico de agua aproximadamente un tinaco doméstico regular - es de 1.40 pesos, cuando el costo medio por potabilizar y transportar el líquido es de 5 pesos por metro cúbico. Como consecuencia de la baja recaudación y del insuficiente subsidio en las tarifas,

la mayoría de los 2 mil 300 organismos operadores de agua en el país trabaja con números rojos, y no puede costear las obras de infraestructura necesarias para ampliar la cobertura del servicio y garantizar la calidad del líquido. **Por ello, 12 millones de mexicanos carecen de agua potable y 23 millones de alcantarillado y la calidad del líquido dista de ser satisfactoria.**

El rezago en las tarifas afecta, fomenta el desperdicio e inhiben la inversión en la infraestructura. Al final son los más pobres los que pagan más, al tener que comprar pipas, en lugar de agua entubada.

Un gran desperdicio de agua se da en los 81 distritos de riego que hay en México, ya que se registra una eficiencia del 46 por ciento en el manejo del agua, lo que significa que más de la mitad se desperdicia, por filtraciones en canales sin revestir, fugas y otros factores.

Por fallas en la tuberías de las ciudades, se pierde entre un 25 y un 40 por ciento del líquido. Y cuando llueve no se almacena. La Ciudad de México, en la que llueve casi a diario cinco meses al año, sobreexplota sus acuíferos y trae agua desde más de 150 kilómetros de distancia.

La falta de agua ha llevado a quienes la necesitan a utilizar métodos que intentan alterar la naturaleza con técnicas como las siguientes:

Ionización: El 20 de junio de 1996, científicos rusos hicieron llover en puerto Libertad Sonora, al aplicar un método de ionización de la atmósfera que permitió la formación de nubes.

Bombardeo de nubes: Tamaulipas, Nuevo León y Sonora son algunos de los estados que han contemplado la técnica de la estimulación de las nubes para provocar la lluvia, a inyectar a las nubes con yoduro de plata.

Si continúan los actuales patrones de baja eficiencia en el riego, sobreexplotación de los acuíferos y contaminación de los cuerpos superficiales, en 25 años México padecerá la falta del recurso en varias ciudades, verá frenado su desarrollo, sufrirá el colapso de ecosistemas y registrará problemas de Salud Pública.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Abundancia sin aprovechar

Flujo anual de agua en México, desde la precipitación hasta su uso o regreso al ciclo hidrológico:

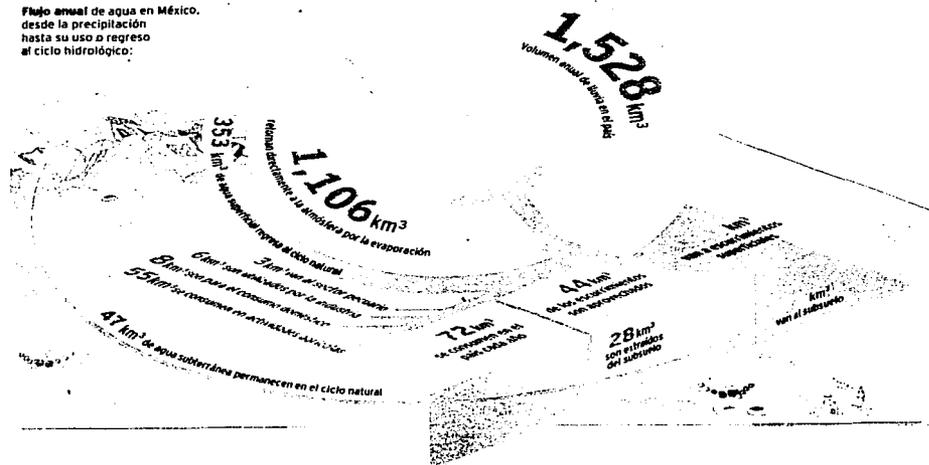


FIGURA 4

Debido a la problemática expuesta actualmente existe una disputa por el agua entre los Estados de la Federación Mexicana y entre México y los Estados Unidos de América que exponemos a continuación:

Caso 1) .- Ríos que dividen (Jalisco Vs Guanajuato)

Los Estados de Jalisco y Guanajuato mantienen una disputa por el manejo de los Recursos hidráulicos compartidos, que han obligado ya a que intervenga el Gobierno Federal. Por una parte, Jalisco reclama mayor cantidad de agua del río Lerma para garantizar un embalse mínimo en el Lago de Chapala, vital para el abastecimiento de la zona metropolitana de Guadalajara.

Por el otro, Guanajuato demanda acceso al líquido del río Verde para satisfacer la creciente demanda de León. Las autoridades de ambas entidades, se acusan mutuamente de falta de

sensibilidad ante las necesidades de la población y de no respetar los compromisos. Jalisco recibirá este año 270 millones de metros cúbicos adicionales para elevar el nivel de agua en Chapala⁴, petición que ha generado un rechazo entre agricultores y autoridades de Guanajuato, por considerar que se reducirá la capacidad de abasto en esta entidad.



FIGURA 5

Guanajuato requiere de su agua almacenada en la Presa Solís para garantizar los dos próximos ciclos agrícolas y no puede conceder un trasvase adicional.

El Gobierno de Guanajuato ha promovido la reactivación del proyecto para construir la presa San Nicolás, sobre el cause del río Verde⁵, obra que permitiría derivar casi 4 metros cúbicos por segundo para abastecer León y casi 10 metros cúbicos por segundo para abastecer Guadalajara.

El Gobierno Federal ofreció a principios del año iniciar a la brevedad la construcción de la presa, que tendría un costo de 500 millones de dólares y cuyo proyecto ejecutivo está ya concluido. No obstante el gobierno de Jalisco, ha condicionado la firma del convenio correspondiente a que se le resuelva lo del río Lerma.

⁴ Que se encuentra en su estado más crítico en casi 50 años.

⁵ En territorio de Jalisco, entre Teocaltiche y San Juan de los Lagos.

La Secretaría del Medio Ambiente presentó un plan maestro para el manejo de la cuenca del Lerma y la Comisión Nacional del Agua intenta convencer al Gobierno de Jalisco de aprobar el proyecto hidráulico de la Presa San Nicolás.

Caso 2).- La presa de la discordia (Tamaulipas Vs Nuevo León)

La construcción de la presa El Cuchillo y la regulación del uso del agua ha generado reclamos entre los estados de Tamaulipas y Nuevo León. La obra fue concebida para aumentar la cantidad de agua disponible para usos residenciales e industriales en Monterrey, sin embargo su operación perjudicó a la zona norte de la entidad tamaulipeca, tras su inauguración en octubre de 1994.

El proyecto provocó que los agricultores tamaulipecos del Distrito de Riego 026 registraran pérdidas por la falta de riego y que cientos de pescadores se quedaran sin comercio, al interrumpirse el curso de las aguas del Río San Juan que llenaba la presa Marte R. Gómez.



FIGURA 6. La Presa El Cuchillo fue construida para garantizar el abasto a Monterrey, pero afecto a los agricultores de Tamaulipas.

Un acuerdo firmado en 1996 por las dos entidades establece que cuando la presa tenga más de 315 millones de metros cúbicos al 1 de noviembre de cada año, el excedente deberá ser enviado a la presa Marte R. Gómez, siempre y cuando ésta tenga menos de 700 millones de metros cúbicos, pero la falta de lluvias ha provocado el bajo nivel de abastecimiento.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Cuando se han dado las liberaciones⁶, los agricultores cuestionan el volumen de los mismos, pues aseguran que es insuficiente para garantizar una buena cosecha. Además, acusan a los nuevoleonenses de tomar clandestinamente agua de los afluentes que deben llenarlos la presa Marte R. Gómez.

Otro factor que cuestionan es la calidad del agua. Mientras autoridades del sistema de abasto de agua potable y alcantarillado regiomontano aseguran que la calidad del líquido proveniente del Cuchillo es tal que puede beberse directamente de la llave, los tamaulipecos reclaman que el agua que reciben del río Bravo está contaminada.

Pero la presa no solamente ha provocado la inconformidad de los agricultores tamaulipecos, sino también de productores regiomontanos de los municipios de China, General Bravo, Doctor Coss, Cadereyta, Los Ramos y Aldama.

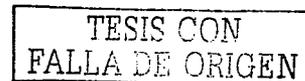
Tras cinco años de no trabajar en sus tierras por la escasez de agua, los agricultores recibieron apenas este año cerca de 24 millones de metros cúbicos de El Cuchillo, que solamente les alcanza para sembrar el 50 por ciento de sus hectáreas.

Caso 3).- Reclaman compensación (Estado de México vs Distrito Federal)

En los últimos meses, el Gobierno del Estado de México ha intensificado la exigencia para que la Federación le retribuya en obras o recursos los 21 mil litros de agua por segundo con que surte a la Ciudad de México. Distintos funcionarios de la administración estatal, han sugerido poner en la mesa de negociación un trueque y recibir, a cambio del agua, la ejecución de obras fundamentales en el Estado de México, como el Microcircuit⁷ o el saneamiento del Río Lerma. Incluso se ha planeado cobrarle el DF una sobrecuota por el líquido y que los recursos adicionales se canalicen al Edomex.

⁶ cinco trasvases en siete años.

⁷ Que abastecería de líquido a 14 municipios.



De los 35 mil metros cúbicos por segundo de agua que consume por segundo el DF, el 60 por ciento se extrae de fuentes localizadas en territorio mexiquense, lo que ha provocado, la sobreexplotación de acuíferos y la degradación de suelos.

El DF no sólo recibe agua del Cutzamala y del Lerma, también de pozos localizados en los municipios que lo rodean, como Chalco y los Reyes. En el Valle de México no es posible abrir más pozos por el hundimiento que registra la capital.

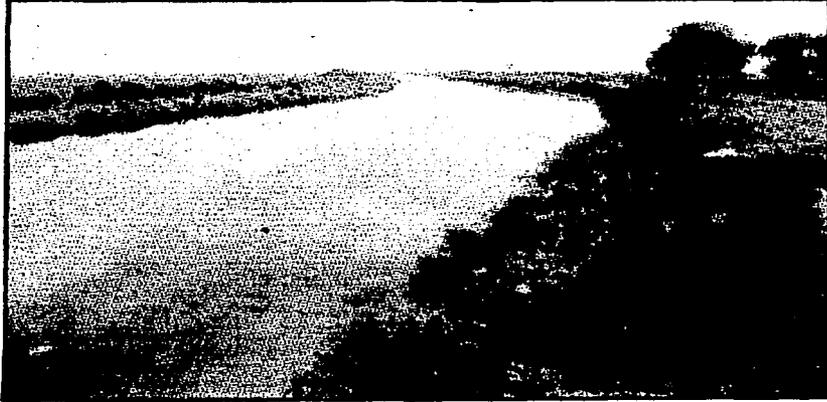


FIGURA 7. El río Lerma es una de las fuentes de abastecimiento para el Distrito Federal

Se calcula que para el 2010, el Edomex tendrá una población de 16.5 millones de habitantes y su demanda de agua será de 47 mil litros por segundo, es decir, de 260 litros persona día. Este año, el abasto es de 42 mil litros por segundo, de los cuales a cada mexiquense le tocan 267 litros diarios.

El Gobierno estatal dice estar consciente de que las fuentes de abasto del DF -el Cutzamala, el Lerma y los pozos de la zona conurbada- son controlados por la Federación. Sin embargo, considera que por estar ubicadas en su territorio tiene derechos sobre el líquido y merece una compensación.

LA CUOTA

*El Estado de México
aporta al Distrito
Federal la mitad del
agua que consume:*

Fuente de abastecimiento de Agua	Porcentaje de aportación del Edo. Méx al DF
Río Cutzamala	28.5
Río Lerma	14
Dos sistemas de pozos	7
Sistema La Caldera	0.5

TABLA 1

Caso 4).- Factor de tensión con Estados Unidos (México vs Estados Unidos)

La distribución del agua en la frontera se agrega a la agenda de temas conflictivos en la relación bilateral; México busca como cumplir sus compromisos sin afectar a los usuarios nacionales.

Desplazando al narcotráfico y la migración, el agua se colocó en los últimos meses como el principal tema de la agenda bilateral entre México y Estados Unidos. En Mayo del 2002 El Gobierno de Estados Unidos le pidió al Gobierno Mexicano el pago de los dos millones de metros cúbicos de agua del Río Bravo que México adeuda a EU.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

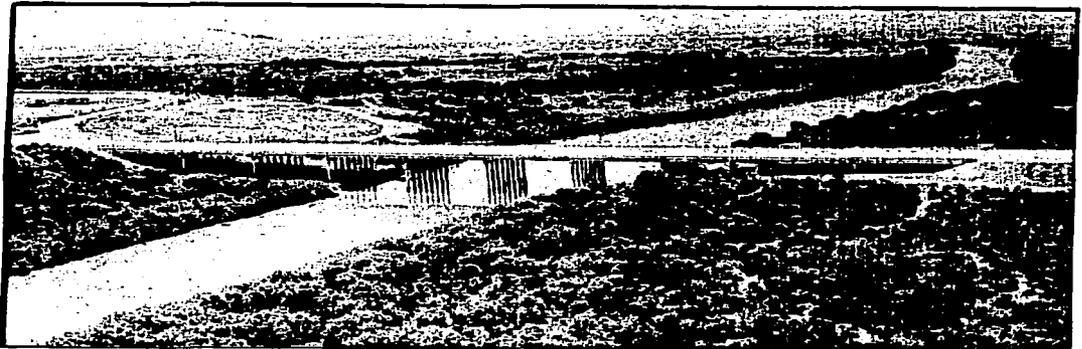


FIGURA 8. El río Bravo abastece a ciudades y zonas agrícolas de Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas en México y de Texas , en EU.

El adeudo se deriva de compromisos adquiridos en el tratado bilateral que México y Estados Unidos suscribieron en 1944 para repartirse el agua de los ríos Colorado y Bravo. En el tratado se acordó que EU entregue a México cada año mil 850 millones de metros cúbicos de agua del río Colorado, de la que se benefician Baja California y Sonora; y que México entregue al año 431 millones de metros cúbicos de líquido del río Bravo, en beneficio de Texas. En el caso del Bravo el computo se realiza en ciclos de 5 años.

En el reciente conflicto binacional, EU reclamó el retraso mexicano en cubrir la cuota correspondiente al ciclo 1997 - 2002. Argumentó que mientras existía agua disponible en México, los agricultores texanos enfrentaban problemas para cultivar.

México replicó que sus presas estaban vacías, debido a una sequía de 10 años. Luego de complicadas negociaciones, el Gobierno mexicano aceptó el pasado 1 de julio realizar una entrega "de contingencia" de 111 millones de metros cúbicos de sus reservas de las presas Falcón y la Amistad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Ambos países anunciaron además una inversión de 2 mil 100 millones de pesos, en los próximos 4 años, para modernizar la infraestructura de riego en la región fronteriza y obtener así ahorros de agua para cumplir con el tratado de 1944

El acuerdo resuelve el conflicto en lo inmediato, pero deja pendiente el pago del resto de la deuda y el diseño de estrategias para lograr un manejo sustentable de la cuenca del Bravo.

Caso 5).- La Ciudad de México y su escasez de agua

El principal problema que implica el suministro de agua a la Ciudad de México es el costo por transportar, tratar y sacar del subsuelo el agua son cada vez más elevados: actualmente, para surtir agua por un día a la Ciudad de México se requiere el equivalente de llenar tres veces el estadio Azteca, con un costo de 10 millones 584 mil pesos diarios.

Pese a que en la última década la población y la demanda por el suministro de agua se ha incrementado considerablemente, desde hace 6 años el Distrito Federal sigue recibiendo la misma cantidad de agua: 35 mil litros por segundo. El Distrito Federal se abastece de agua por dos vías: la externa, mediante los sistemas de Cutzamala y Lerma; y la interna con la explotación de los mantos acuíferos del subsuelo de la misma ciudad. Sin embargo, la sobreexplotación de éstos últimos ha provocado el hundimiento de nueve metros.

“Hasta 1980 estábamos perforando los pozos a 150 metros de profundidad. Actualmente lo hacemos a 200 y 300 metros porque el manto acuífero es más bajo, por lo tanto nos cuesta más trabajo sacar agua. Esto es porque hay que pagar más consumo de energía eléctrica y comprar equipo especial.

Pérdida de estabilidad de los edificios, grietas en el subsuelo que repercuten en el asfalto de calles y avenidas y en la red de distribución de agua potable y drenaje - ocasionando fisuras y rupturas en los tubos que los tubos que los conforman -, son algunas de las consecuencias del hundimiento de la ciudad. Si bien las autoridades están conscientes de ello, se enfrentan a una disyuntiva: “el gobierno tiene que tomar la decisión sobre lo que debe hacer: o subsanamos el problema de abastecimiento a la ciudad o evitamos su hundimiento”.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México es una de las más pobladas del mundo. Cuenta con 20 millones de habitantes

Está compuesta por el DF y 18 municipios del Estado de México

La disponibilidad de agua en la región del Valle de México es de 230 metros cúbicos por habitante al año, la más baja del país.

La zona metropolitana consume un promedio de 68 metros cúbicos por segundo.

El 59% del líquido que utiliza procede de pozos y 20 % del sistema Cutzamala

En el DF, el consumo promedio por habitante es de 223 litros al día.

La ZMCM cuenta con 18.5% de las tomas de agua del país.

En el DF, el costo del metro cúbico es de alrededor de 8 pesos.

La recaudación por habitante es de 0.94 pesos por habitante.

Las tarifas fijas para uso doméstico van de 15 a 423 pesos por bimestre.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A continuación describiremos con más detalle el sistema Cutzamala:

Una tercera parte del agua que utilizan los habitantes del Distrito Federal y los municipios conurbados tiene que recorrer una distancia equivalente a dos veces la carretera México-Cuernavaca y elevarse ocho veces la altura de la Torre Latinoamericana para llegar a viviendas, fábricas y comercios de la capital.

De esta manera los casi 20 millones de habitantes de la zona metropolitana de la Ciudad de México pueden recibir más de 19 mil litros por segundo de agua potable. El costo del proceso se de cinco a seis pesos por cada mil litros, casi cuatro veces la tarifa nacional promedio por el servicio de abastecimiento de agua.

El encargado de distribuir el agua en la zona es el Sistema Cutzamala, que funciona desde hace 20 años y que es la fuerza externa de abastecimiento más importante del Valle de México , superando al sistema Lerma-Santiago que desde hace 50 años comenzó a mostrar problemas de sobreexplotación.

La planta potabilizadora Los Berros , una de las más importantes del sistema Cutzamala, se ubica a unos quince minutos de Toluca. El líquido que llega desde los ríos pasa por cuatro líneas a 5 metros de profundidad, donde se le aplican los químicos que le harán consumible. En la planta trabajan alrededor de 120 personas que se turnan día y noche para asegurar que la gente no se quede sin el líquido.

El sistema, que extrae su agua de los caudales del río Balsas, se integra por un acueducto de 140 kilómetros de longitud y que incluye 19 kilómetros de túneles y 7.5 kilómetros de canal ; una planta potabilizadora con capacidad de 24 mil litros por segundo y seis plantas de que , en conjunto, vencen un desnivel de mil 366 metros.

Para poder funcionar las 24 horas de los 365 días del año, utiliza mil 650 millones de kilowatts/hora al año, lo que equivale al consumo de electricidad de una ciudad de más de un millón de habitantes.

Cutzamala no extrae agua de ningún acuífero. El líquido que pasa por sus ductos y plantas de potabilización y de bombeo proviene de siete presas que acumulan agua de ríos de Michoacán y el Estado de México.

“Este sistema tiene capacidad para suministrar hasta 19 metros cúbicos por segundo de agua potable, aprovechando las aguas de la cuenca alta del río Cutzamala, provenientes de la presa Tuxpan y el Bosque, en Michoacán (y de) Colorines, Ixtapan del Oro, Valle de Bravo y Villa Victoria, en el Estado de México, que anteriormente formaban parte del sistema hidroeléctrico Miguel Alemán, así como la presa El Chilesdo, que aprovechan las aguas del río Malacatepec”, explica un documento de la Comisión Nacional del Agua.

De acuerdo con la dependencia, son contados los sistemas de abastecimiento en el mundo que elevan el agua a niveles tan altos y que recorran tantos kilómetros para llegar hasta el punto final.

El sistema podrá funcionar por otros 30 años a su capacidad total y posteriormente se tendrán que buscar otras fuentes alternas para el abastecimiento de agua al Valle de México.

<p>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>

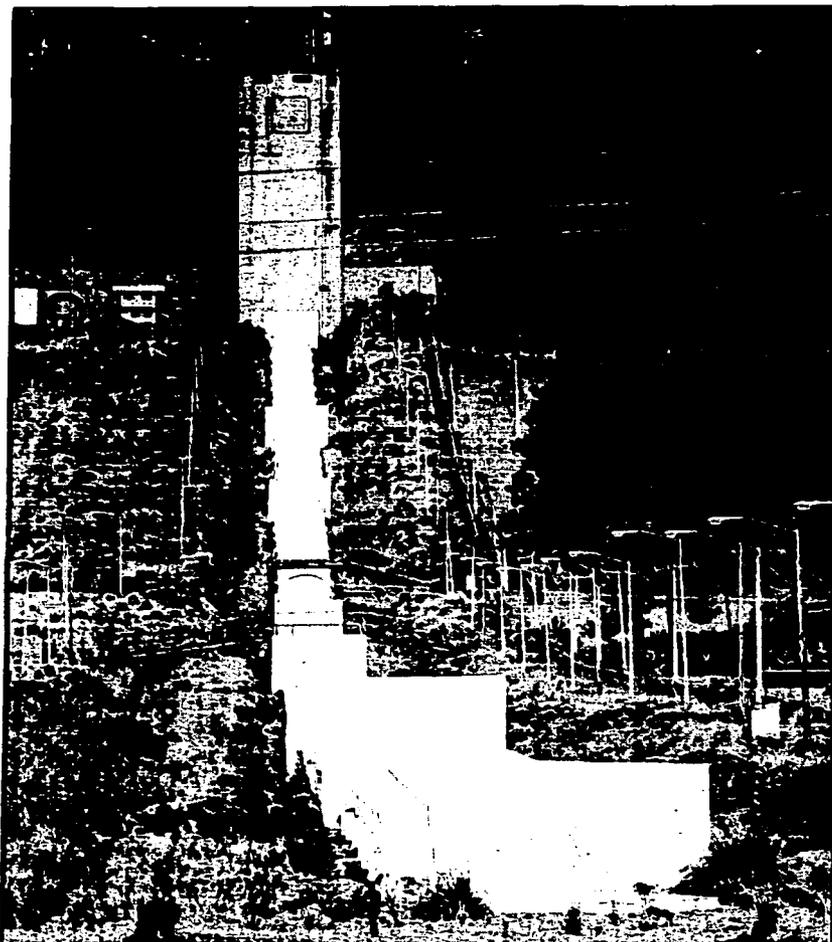


FIGURA 9. Desde la planta de bombeo, se envían 4 mil litros por segundo a una torre que se encuentra a 2 mil 700 metros sobre el nivel del mar, desde donde, por gravedad, llega hasta la ciudad de México.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una alternativa sería la de recolectar el agua de lluvia, que alcanza más de 7 mil millones de metros cúbicos al año. Actualmente el 80 por ciento de esta agua se evapora y el 11 por ciento se filtra al subsuelo. Del 9 por ciento restante sólo una mínima parte se regula para su aprovechamiento y el resto acaba en el drenaje.

A la población del DF que no recibe agua potable a través de una red de abastecimiento, la recibe por pipas a un costo muy elevado:

En la Sierra de Santa Catarina, en Iztapalapa, la lucha por el agua empieza temprano. Desde las 5:00 horas, los habitantes de Lomas del Paraíso se forman en el lugar donde las pipas surten agua dos o tres veces por semana. A las 8, una hora después de la llegada de los vehículos, ya no hay abasto. Al igual que Rodadero y Potrero Caltenco, Lomas del Paraíso es uno de los 14 asentamientos irregulares ubicados en los 161 mil 400 metros cuadrados que conforman el área de conservación de la Delegación Iztapalapa. Es la orilla de la demarcación. Sólo el Cerro de Tecuatzin separa a esta colonia de la Delegación Tláhuac. Las calles son tan empuñadas, que pocos autos y camiones llegan al límite de la zona. Tampoco llega el agua, el drenaje y otros servicios.

“Antes estaba más canijo, ni las pipas llegaban. O acarrecabas desde allá abajo o ponías **tus tambos a llenar en las lluvias**, no había de otra; ahora tenemos a las pipas, aunque no es mucho, ahí la llevamos”, comenta Ana María Cruz, quien vive aquí desde hace más de siete años. Los tambos y los recipientes son insuficientes para almacenar el agua que utilizan las familias de la zona para bañarse o lavar la ropa, y que además se ensucia rápido en las cisternas.



FIGURA 10. Los niños vigilan que los recipientes se llenen y después ayudan en el traslado. Cada familia tiene al menos cinco tambos en donde se almacena el agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO II
FUNDAMENTACION TECNICA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.- FACTORES HIDROLOGICOS ASOCIADOS CON LOS SISTEMAS DE CAPTACION

Precipitación es, en general, el término que se refiere a todas las formas de humedad emanadas de la atmósfera y depositadas en la superficie terrestre, tales como lluvia, granizo, rocío, neblina, nieve o helada

2.1.1.- Tipos de precipitaciones

Las precipitaciones pueden ser clasificadas de acuerdo con las condiciones que producen movimiento vertical del aire:

Convectivas, orográficas y de convergencia.

Precipitaciones convectivas:

Cuando una masa de aire próxima a la superficie del terreno aumenta su temperatura, la densidad disminuye y la masa de aire trata de ascender y de ser remplazada por otra masa de aire más densa. Este proceso es bastante lento si las masas de aire están en calma y no hay turbulencia. En cambio, en regiones tropicales donde estas precipitaciones son muy típicas, el calentamiento desigual de la superficie terrestre provoca el surgimiento de estratos de aire con densidades diferentes, y genera una estratificación térmica de la atmósfera en equilibrio inestable. Si ese equilibrio es roto por cualquier motivo (viento, supercalentamiento), provoca una ascensión brusca y violenta del aire menos denso, capaz de alcanzar grandes altitudes. Esas precipitaciones son de gran intensidad y corta duración y se concentran en pequeñas áreas. Son importantes en proyectos de pequeñas cuencas hidrográficas.

Precipitaciones orográficas:

Resultan de la ascensión mecánica de corrientes de aire húmedo con movimiento horizontal cuando chocan sobre barreras naturales, tales como montañas.

Precipitación por convergencia:

Existen tres tipos: convergencia propiamente dicha, ciclones y frentes.

La convergencia propiamente dicha se presenta en el caso en que dos masas de aire de aproximadamente la misma temperatura, que viajan en dirección contraria, se encuentran a un mismo nivel. El choque entre las dos masas de aire hace que ambas se eleven.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El ciclón es una masa de aire circular con baja presión que gira en el sentido contrario de las manecillas del reloj en el hemisferio norte. Tiene en su centro el "ojo del ciclón", en el cual la presión es baja comparada con la masa de aire. Funciona, entonces, como una chimenea, haciendo subir el aire a las capas inferiores. El anticiclón es una zona de alta presión circular, que gira en el sentido de las manecillas del reloj en el hemisferio norte.

Se forma un frente cuando una masa de aire en movimiento encuentra otra masa de aire de diferente temperatura. Si la masa de aire en movimiento es fría y encuentra en su camino otra temperatura superior, el aire de esta última, por ser menos denso, se eleva sobre la capa de aire frío formando un frente frío. Si la masa de mayor temperatura encuentra en su movimiento una masa de aire frío, se forma un frente cálido.

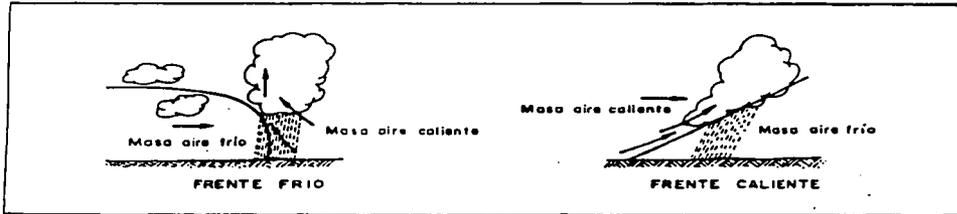


FIGURA 11.- Frentes frío y cálido

Las precipitaciones por convergencia, en general, son de larga duración y presentan intensidades de bajas a moderadas, y se esparcen por grandes áreas.

2.1.2.- Medición de la precipitación

Medidas Pluviométricas

Se expresa la cantidad de lluvia, Δh , como la altura caída y acumulada sobre una superficie plana e impermeable.

Para dichas mediciones se utilizan los pluviómetros y los pluviógrafos.

Medidas características

- Altura pluviométrica (Δh), en mm, se expresa diariamente, mensualmente, anualmente, etc.
- Intensidad de precipitación:
 $i = \Delta h / t$ expresada en mm / hora.
- Duración es el periodo de tiempo en horas, por ejemplo, desde el inicio hasta el fin de la precipitación.

IMPRESO CON
FALLA DE ORIGEN

Los aparatos más usuales en México para medir la precipitación son los pluviómetros y los pluviógrafos.

Los pluviómetros están formados por un recipiente cilíndrico graduado de área transversal a al que descarga un embudo que capta el agua de lluvia, y cuya área de captación es A (véase figura 12). Se acostumbra colocar en el embudo un par de mallas para evitar la entrada de basura u otros objetos. El área de captación A es normalmente diez veces mayor que el área del recipiente, con el objeto de que, por cada milímetro de lluvia, se deposite un centímetro en el recipiente. De este modo, es posible hacer lecturas a simple vista hasta de una décima de milímetro de lluvia, que corresponde a un milímetro depositado en el recipiente. En México se acostumbra tomar las lecturas de los pluviómetros diariamente a las 8 de la mañana.

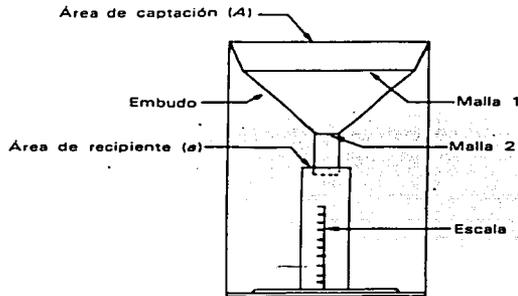


FIGURA 12

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los pluviógrafos son semejantes a los pluviómetros, con la diferencia de que tienen un mecanismo para producir un registro continuo de precipitación.

Este mecanismo está formado por un tambor que gira a una velocidad constante sobre el que se coloca un papel graduado especialmente. En el recipiente se coloca un flotador que se une mediante un juego de varillas a una plumilla que marca las alturas de precipitación en el papel (véase figura 13). El recipiente normalmente tiene una capacidad de 10 mm de lluvia y, al alcanzarse esta capacidad, se vacía automáticamente mediante un sifón (véase figura 13).

El pluviógrafo antes descrito es el de uso más común en México, aunque existen otros tipos en el mundo. Algunos ejemplos son el de resorte, que en lugar de flotador usa un resorte que se deforma con el peso del agua y que es más preferible cuando se miden alturas de nieve, y el de balancín, que tiene dos recipientes colocados en un balancín, de modo que cuando uno de ellos se llena desequilibra la balanza, que gira dejando el otro recipiente en posición de llenado. En algunos

aparatos el volumen de agua necesaria para hacer girar el balancín es el correspondiente a 0.25 mm de lluvia. En este tipo de pluviógrafos, al girar el balancín se acciona un interruptor que produce un impulso eléctrico que a su vez mueve la plumilla para registrar la altura de precipitación correspondiente.

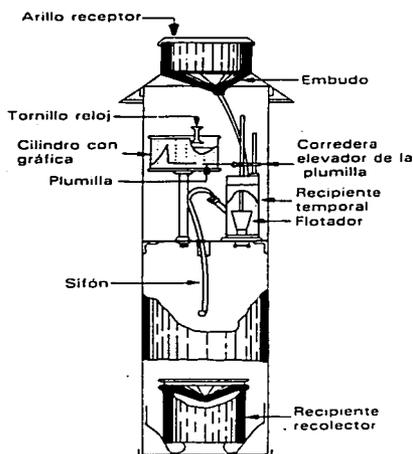


FIGURA 13

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El registro que se obtiene de un pluviógrafo se llama *pluviograma*. Normalmente, este registro es similar al mostrado en la figura 14.

En el registro de la figura 14, obtenido directamente de un pluviógrafo de flotador y sifón, los descensos ocurren cuando se ha llenado el recipiente, esto es, cuando se ha alcanzado los 10 mm de precipitación y se desaloja el agua contenida en él por medio del sifón.

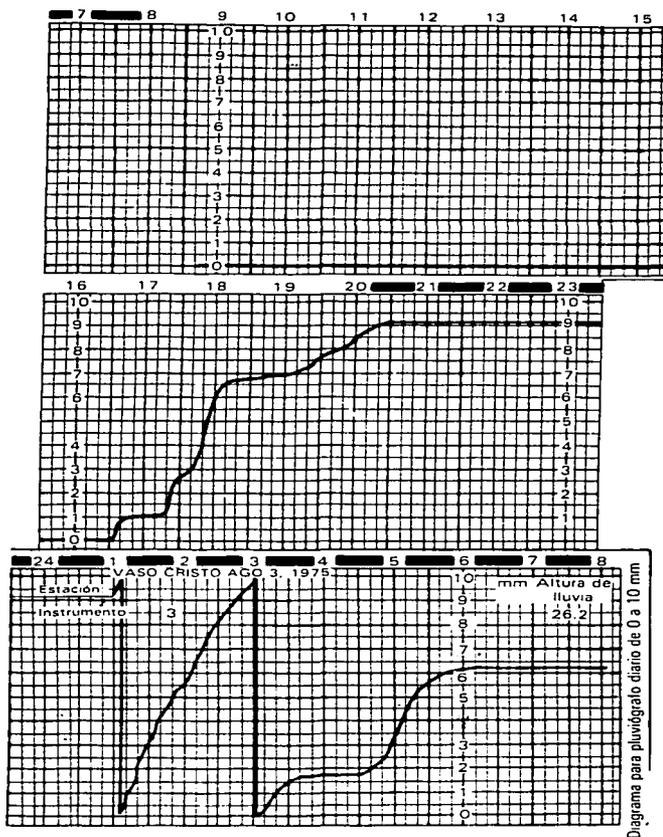


FIGURA 14

Es frecuente que el pluviógrafo tenga alguna falla y por ello los registros resulten defectuosos. En ocasiones es posible recuperar los datos de un registro defectuoso y a veces no, dependiendo del tipo de falla. Tanto para comprobar que el pluviógrafo funciona correctamente como para recuperar los datos de un registro defectuoso, conviene ayudarse del registro del pluviómetro. En las figuras 15.a - 15.e se muestran algunas de las fallas más comunes.

Cuando no hubo lluvia en un día dado, se acostumbra poner el mismo papel al día siguiente y así sucesivamente hasta que registre alguna precipitación (véase la figura 15f); la precipitación registrada corresponde, obviamente al último día.

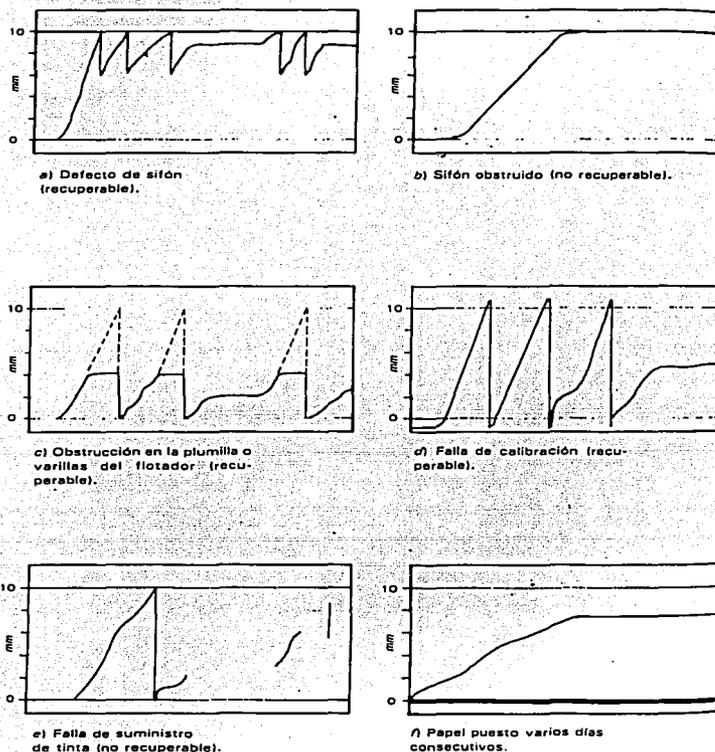


FIGURA 15

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si a un registro como el de la figura 14 se le quitan los descensos, se obtiene una gráfica de precipitación acumulada contra el tiempo llamada *curva masa de precipitación* (véase figura 16).

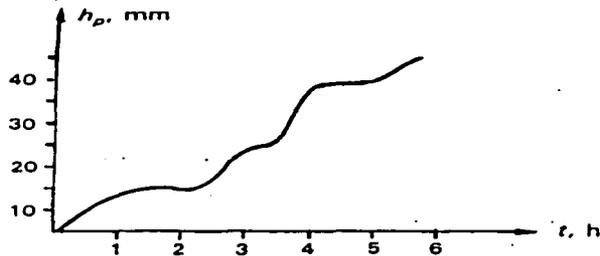


FIGURA 16. Curva masa de precipitación

Nótese que esta curva es no decreciente, y que su pendiente, en cualquier tiempo, es igual a la intensidad de la lluvia (altura de precipitación por unidad de tiempo) en ese instante.

A partir de la curva masa de precipitación es posible dibujar diagramas de barras que representan las variaciones de la altura de precipitación o de su intensidad en un intervalo de tiempo previamente seleccionados (véase figura 17). Estos diagramas de barras se llaman *hietogramas*.

El hietograma de la figura 17a se construye dividiendo el tiempo que duró la tormenta en n intervalos (que pueden ser iguales o no) y midiendo la altura de precipitación de cada uno de ellos.

El hietograma de la figura 17b puede obtenerse a partir de la figura 17a, dividiendo la altura de precipitación de cada barra entre el tiempo Δt que dura la misma. Ambos tipos de hietogramas son equivalentes, pero uno puede ser más útil que el otro dependiendo del tipo de análisis.

El intervalo Δt seleccionado es importante en cuanto a la información que proporciona el hietograma; un valor de Δt demasiado grande arrojaría muy poca información y uno muy pequeño la daría excesiva y difícil de manejar.

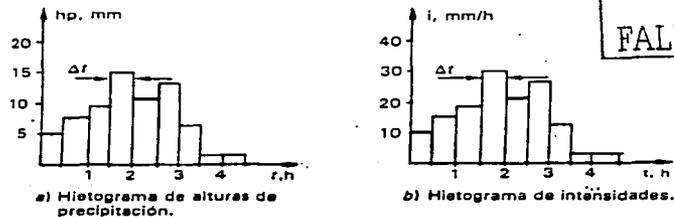


FIGURA 17. Hietogramas

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.3.- Elementos que integran una tormenta Intensidad-duración-periodo de retorno

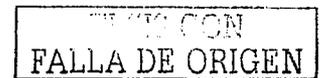
El grado óptimo de seguridad de una estructura depende, por un lado, de su costo y, por otro, del costo de las pérdidas asociadas con una falla. Por ejemplo, puede ser aceptable que un aeropuerto pequeño se inunde en promedio una vez cada dos o tres años, si el costo de un sistema de drenaje se compara con el de uno que sólo permita inundaciones una vez cada 50 años en promedio, o más aún, podría resultar totalmente incosteable un sistema de drenaje con el que se pudiera extraer cualquier cantidad de precipitación por grande que fuera, aun cuando tal drenaje fuera posible de construir.

Por otra parte, sería poco económico y poco ético aceptar un riesgo alto de falla del vertedor de una presa grande situada aguas arriba de una ciudad importante, pues esta falla tendría consecuencias desastrosas, mientras que en el ejemplo del aeropuerto una insuficiencia del drenaje no ocasionaría más que algunas molestias a los usuarios.

Sin embargo, al menos en lo que la teoría estadística respecta, no es posible tener una seguridad del 100% de que no exista ninguna avenida cuyas dimensiones hagan insuficiente el vertedor de la presa, sino que sólo se puede hablar de aceptar un riesgo pequeño. La magnitud de este riesgo aceptable depende del balance entre el costo de la obra y el de los daños que se producirían al verificarse una falla, y para poder determinar cuál es el riesgo que se corre al proponer los parámetros de diseño de la obra, es necesario analizar estadísticamente los datos hidrológicos recabados en la zona en estudio.

Estos datos son fundamentalmente de dos tipos: escurrimientos y precipitaciones. Un análisis del primer tipo de datos tendría como resultado directo un parámetro de diseño, que es el gasto máximo, mientras que el segundo proporcionaría datos con los cuales sería necesario alimentar un modelo de la relación lluvia-escurrimiento, para obtener una avenida de diseño

Algunos conceptos de probabilidad y estadística



Probabilidad. Si un experimento tiene n resultados posibles y mutuamente excluyentes y si de ellos na resultados tienen un atributo a , entonces la probabilidad de que ocurra un evento A con el atributo a es:

$$P(A) = (na/n) \dots\dots\dots(2.1)$$

Por ejemplo, el experimento puede llamarse “tiro de un dado” u “ocurrencia de una tormenta” y el atributo a puede ser “el número que sale del tiro del dado es 2”, o bien “la altura de precipitación total es mayor o igual a 500 mm”.

Periodo de retorno. Sea A el evento “el número que sale del tiro del dado es 2”, y B el evento “la altura máxima de precipitación en 24 h en cualquier año es de 500 mm”. Nótese que en el experimento “tiro de un dado” es posible hablar de resultados que tienen un valor numérico *exacto*, como 1,2, etc., y las

probabilidades asociadas a estos resultados son diferentes de cero ($1/6$ en cada caso). Es claro, sin embargo, que en el experimento "ocurrencia de una tormenta", la probabilidad que el resultado tome un valor *exacto*, como 500 mm, es nula. En el último caso es necesario hablar más bien de *intervalos*, como por ejemplo que la precipitación mencionada tome un valor de 500 mm o *mayor*, de 500 o *menor* o que esté en el intervalo de 300 a 500 mm.

El número de años en que, *en promedio*, se presenta un evento como el B , se llama *periodo de retorno*, *intervalo de recurrencia* o simplemente *frecuencia* y se acostumbra denotarlo con T .

Así, por ejemplo, el periodo de retorno de la ocurrencia del número dos en el tiro de un dado es el número de tiros en que, en promedio, el dos sale una vez; en este caso T es igual a 6 tiros. Del mismo modo, se dice que "el periodo de retorno de la precipitación máxima en 24 h de 500 mm es de 25 años" cuando, *en promedio*, se presenta una precipitación de esa magnitud o *mayor* una vez cada 25 años, de la misma manera que el dos no sale exactamente una vez cada seis tiros del dado.

De acuerdo con la definición, la probabilidad de que cualquier tiro del dado salga un dos es $P(2) = 1/6$; entonces se tiene la siguiente relación entre probabilidad y periodo de retorno:

$$P(A) \cdot T = 1 \quad \dots\dots\dots(2.2)$$

es decir:

$$T = \left(\frac{1}{P} \right) \quad \dots\dots\dots(2.3)$$

donde T y P se refieren a un evento cualquiera A .

La misma relación vale en el caso de la precipitación máxima en 24 h:

$$T = \left(\frac{1}{P(hp \leq 500mm)} \right)$$

esto es, el periodo de retorno de la precipitación máxima en 24 h de 500 mm es el inverso de que esta precipitación sea igualada o excedida en un año cualquiera.

Obviamente, $P(hp \leq 500 mm) = 1 - P(hp \geq 500 mm)$ y, entonces,

$$P(hp \leq 500mm) = 1 - \left(\frac{1}{T} \right)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Usualmente, cuando se tienen datos de un cierto periodo, y se desea aplicar algún método estadístico para extrapolar dichos datos a periodos de retorno mayores al de las mediciones, es necesario asignar un

valor de T a cada dato registrado. Conviene usar la siguiente expresión para asignar periodos de retorno a una serie de datos:

$$T = \frac{(n+1)}{m} \dots\dots\dots(2.4)$$

donde m = número de orden en una lista de mayor a menor de los datos y n = número de datos.

Riesgo. Si P es la probabilidad de que ocurra un evento en cualquier año,

$$P = \frac{1}{T}$$

entonces la probabilidad de que dicho evento *no* ocurra en un año cualquiera es:

$$\bar{P} = 1 - \left(\frac{1}{T}\right)$$

Si se supone que la no ocurrencia de un evento en un año cualquiera es independiente de la no ocurrencia del mismo en los años anteriores y posteriores, entonces la probabilidad de que el evento no ocurra en n años sucesivos es:

$$\underbrace{\bar{P} \quad \bar{P} \quad \bar{P} \dots\dots\dots \bar{P}}_{n \text{ factores}} = \bar{P}^n = (1 - (1/T))^n$$

y, por lo tanto, la probabilidad de que el evento ocurra al menos una vez en n años sucesivos es:

$$R = 1 - \bar{P}^n = 1 - \left(1 - \left(\frac{1}{T}\right)\right)^n \dots\dots\dots(2.5)$$

R es llamada *riesgo* en la teoría probabilística. Con este parámetro es posible determinar cuáles son las implicaciones de seleccionar un periodo de retorno dado para una obra que tiene una vida útil de n años.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Variación de la intensidad con la duración

Los datos de precipitación intensa de registros pluviográficos provenientes de los pluviogramas: distribución de la precipitación acumulada a lo largo del tiempo.

De esas gráficas se puede establecer, para diversas duraciones, las máximas intensidades ocurridas durante una lluvia dada. Las duraciones usuales son: 5 , 10 , 15 , 30 , 45 minutos y 1, 2, 3 , 6 , 12 , 24 horas. Los límites de duración son fijados usualmente en 5 minutos y 24 horas, porque 5 minutos representa el menor intervalo que se puede leer en los registros pluviográficos con precisión adecuada, y 24 horas porque para duraciones mayores se puede utilizar los datos observados en pluviómetros.

El número de intervalos de duración citado da puntos suficientes para definir curvas intensidad-duración de precipitación, referentes a diferentes periodos de retorno.

Curvas intensidad- Duración- Periodo de Retorno

La características de precipitación en una cuenca pequeña están dadas por las curvas Intensidad-Duración-Periodo de Retorno, que relacionan la intensidad de la precipitación con el intervalo de tiempo que dura, y con el periodo promedio que transcurre entre dos precipitaciones de intensidad igual o mayor que la considerada.

Para definir las curvas es necesario contar con el registro de un pluviógrafo instalado de preferencia dentro de la cuenca en estudio, y que tenga un periodo suficientemente grande de registro, de acuerdo con la vida útil de la obra y el periodo de retorno que se considere. Generalmente se acepta que se pueden obtener resultados confiables usando métodos probabilísticos para periodos de retorno de hasta el doble del intervalo de tiempo cubierto por los registros, aunque en la práctica se amplía mucho más la aplicación de estos métodos. Del análisis de los registros mencionados se obtienen las intensidades máximas anuales correspondientes a cada duración, las cuales se ordenan de mayor a menor y se calculan sus correspondientes periodos de retorno empíricos adaptando la fórmula (2.4):

$$T = \frac{n + 1}{m}$$

en la cual:

T = Periodo de retorno, en años

n = Número de años de registro

m = Número de orden de la precipitación.

<p>TESIS CON FALLA DE ORIGEN</p>

Existen diferentes métodos estadísticos aplicables al análisis de frecuencias de lluvias, pero el más ampliamente usado en la actualidad es el de Gumbel, al cual nos referimos a continuación.

Para realizar el análisis de frecuencia, para cada una de las duraciones, se supone que los valores máximos anuales representan a una población con una distribución de probabilidad de Gumbel $F(i)$ dada por la siguiente expresión:

$$\text{Probabilidad de que } \{I \leq i\} = F(i) = -e^{-e^{-\alpha(i-c)/\beta}} \dots\dots\dots(2.6)$$

En la cual:

I = variable aleatoria que representa la intensidad de la lluvia.

i = valores de la intensidad de la lluvia.

e = base de los logaritmos naturales

α y c = parámetros.

Por otra parte, si un evento hidrológico I igual o mayor que i ocurre en T años, la probabilidad $P\{I \geq i\}$ es igual a 1 en T casos, o sea:

$$P\{I \geq i\} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2.7)$$

La probabilidad de que I sea menor o igual que i es el complemento de la anterior, o sea:

$$1 - P\{I \leq i\} = \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2.8)$$

De donde:

$$P\{I \leq i\} = 1 - \frac{1}{T} \dots\dots\dots(2.9)$$

Substituyendo la expresión en la (2.6) se obtiene:

$$1 - \frac{1}{T} = e^{-e^{-\alpha(i-c)/\beta}} \dots\dots\dots(2.10)$$

Para ajustar la función (2. 10) a los datos de la muestra, se iguala a la media (μ) de la función de Gumbel a la media (i) de los valores registrados y la desviación estándar (σ) de la función a la correspondiente (s) de los datos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Las fórmulas utilizadas son las siguientes, en las cuales N es el número de observaciones.

$$\bar{i} = \frac{\sum_{j=1}^N ij}{N} \dots\dots\dots(2.11)$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^N (ij - \bar{i})^2}{N - 1}} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$c = \frac{6}{\pi} s = 0.780s \dots\dots\dots(2.13)$$

$$a = -0.577c - \bar{i} \dots\dots\dots(2.14)$$

Para cada serie de valores de "i" asociados con la misma duración se obtiene una pareja de valores correspondientes a los parámetros "a" y "c", los cuales definen la función que mejor se ajusta a cada serie de datos. Estos valores se substituyen en la ecuación (2.10), así como el valor del periodo de retorno de proyecto, con lo cual se pueden determinar los valores de la intensidad de precipitación asociada a cada duración y al periodo de retorno considerado.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Al final se tendrá un conjunto de parejas de valores que relacionan la intensidad con la duración correspondiente a dicho periodo de retorno, las cuales en general, muestran una distribución sensiblemente hiperbólica que se puede representar matemáticamente por una expresión de la siguiente forma:

$$i = \frac{A}{d + b} \dots \dots \dots (2.15)$$

En la cual

i = intensidad de precipitación (mm/ hr)

d = duración de la tormenta (min.)

A y B = parámetros

Para determinar los valores de los parámetros A y B de la fórmula (2.15) se utiliza el siguiente par de ecuaciones derivadas del método de ajuste por mínimos cuadrados:

$$A = \frac{N \sum_{j=1}^N (dj)^2 - \left(\sum_{j=1}^N dj \right)^2}{N \sum_{j=1}^N \frac{dj}{ij} - \sum_{j=1}^N dj \sum_{j=1}^N \frac{1}{ij}} \dots \dots \dots (2.16)$$

$$B = \frac{A \sum_{j=1}^N \frac{1}{ij} - \sum_{j=1}^N dj}{N} \dots \dots \dots (2.17)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

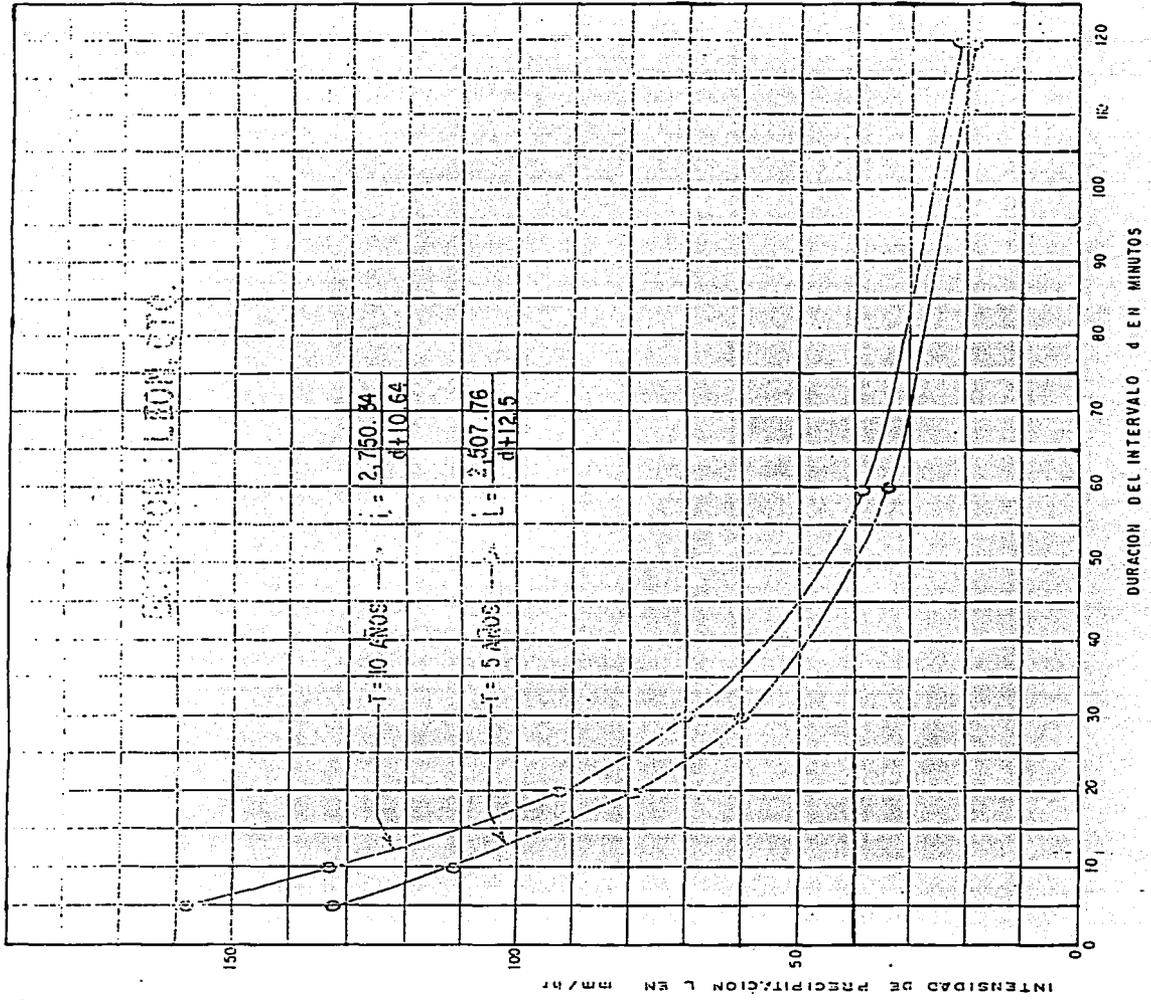


FIGURA 18. Curvas Intensidad-Duración-Periodo de retorno de una estación en León, Gto.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.1.4.-Escurrimiento

Fuentes de escurrimiento:

El escurrimiento es la parte de la precipitación, así como cualquier otro flujo contribuyente, drenada por las corrientes superficiales de las cuencas hasta su salida. El agua que fluye por las corrientes proviene de diversas fuentes, y , con base en ellas, se considera el escurrimiento como superficial, subsuperficial o subterráneo.

El superficial es aquel que proviene de la precipitación no infiltrada y que escurre sobre la superficie del suelo y la red de drenaje hasta salir de la cuenca. Se puede decir que su efecto sobre el escurrimiento total es directo y solo existirá durante una tormenta e inmediatamente después de que está cese. La parte de la precipitación que contribuye al escurrimiento superficial se le denomina precipitación en exceso.

El escurrimiento subsuperficial se debe a la precipitación infiltrada en la superficie del suelo, pero que se mueve sobre el horizonte superficial del mismo. Esto puede ocurrir cuando exista un estrato impermeable paralelo a la superficie del suelo; su efecto puede ser inmediato o retardado, dependiendo de las características del suelo. En general, si es inmediato se le da el mismo tratamiento que el escurrimiento superficial; en caso contrario, se le considera como escurrimiento subterráneo. Este último es el que proviene del agua subterránea, la cual es recargada por la parte de la precipitación que se infiltra a través del suelo, una vez que éste se ha saturado. La contribución del escurrimiento subterráneo al total varía muy lentamente con respecto al superficial.

Para analizar el escurrimiento total, puede considerarse compuesto por los escurrimientos directo y base. Este último proviene del agua subterránea, y el directo es el originado por el escurrimiento superficial. En la figura 19 se muestra el ciclo del escurrimiento, indicando las diferentes entre la precipitación y el escurrimiento total.

La consideración anterior tiene como finalidad distinguir la precipitación de cada escurrimiento. A la salida de un cuenca, en el caso de tener una corriente perenne, mientras no ocurra una tormenta alguna, por dicha corriente sólo se tendrá escurrimiento base debido al agua subterránea; al originarse una tormenta, si la cuenca es pequeña, casi inmediatamente se tendrá también escurrimiento directo.

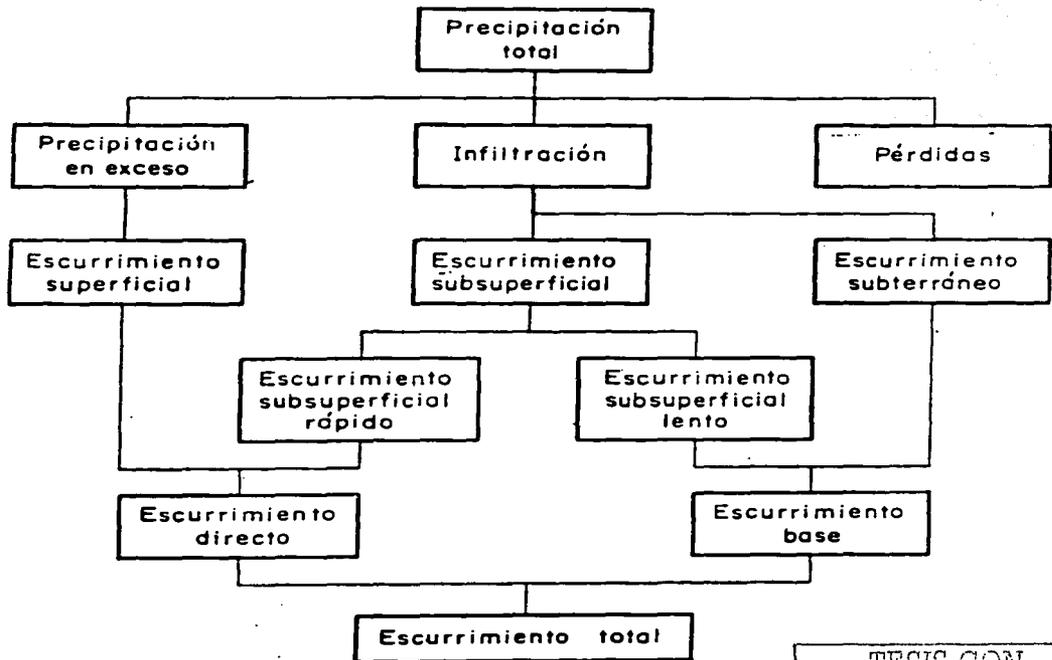
Ahora bien, el efecto de la tormenta se manifiesta directamente sobre el escurrimiento total y puede suceder que se requiera bastante tiempo para que el agua que se infiltra, y que pasa a formar parte del agua subterránea, sea drenada.

Descripción del proceso de escurrimiento:

El proceso presentado anteriormente depende de las condiciones existentes y de la cantidad de agua producida por la tormenta. De esta forma, cuando llueve sobre una determinada zona, parte del agua es interceptada por la vegetación existente en la zona, como son arbustos, pastos ó árboles y otra parte se

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

infiltra o llena las diferentes depresiones de la superficie. La primera de estas cantidades se denomina lluvia interceptada y, aunque no es muy importante, puede disponer de la mayor parte de una lluvia ligera. La segunda cantidad se llama infiltración; se denomina capacidad de infiltración al máximo volumen de agua que absorbe un suelo de determinadas condiciones. La última cantidad se designa almacenaje por depresión; posteriormente este almacenaje se evapora, es empleado por la vegetación, o se infiltra en el suelo, pero no se origina escurrimiento superficial.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 19. Relación entre la precipitación y el escurrimiento totales

Después de que las depresiones del suelo han sido llenadas, si la intensidad de lluvia excede a la capacidad de infiltración del suelo, la diferencia es llamada lluvia en exceso. Esta lluvia es un exceso primero que se acumula sobre el terreno como detención superficial, y a continuación fluye hacia los cauces. A este movimiento se le denomina flujo por tierra, y el agua que en esta forma llega a los cauces es el escurrimiento superficial.

En general debajo de la superficie del suelo hay un manto de agua, a cuyo límite superior se le denomina nivel freático; a la que se encuentra por debajo de este nivel se le llama agua subterránea, y a la que se encuentra sobre él, humedad del suelo. A la cantidad de agua que cualquier suelo puede retener indefinidamente contra la acción de la gravedad se le llama capacidad de campo. La diferencia entre la capacidad de campo de un suelo y la humedad que contenga en un cierto instante, se conoce como diferencia de humedad del suelo. De acuerdo con esto, cuando ocurre una tormenta, el agua que se infiltra primero satisface la deficiencia de humedad del suelo y posteriormente recarga el agua subterránea. Por lo tanto, puede ocurrir que muchas veces no exista recarga aunque haya infiltración.

El nivel freático del agua subterránea normalmente tiene una pendiente muy suave hacia su salida, que puede ser una corriente, un lago o el mar. El movimiento del agua subterránea usualmente es muy lento y depende principalmente del gradiente del nivel freático del suelo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Relaciones entre lluvia y el escurrimiento

Descripción cualitativa de las relaciones entre la lluvia y el escurrimiento:

En términos generales se puede decir que los métodos hidrológicos para predicción de escurrimientos basados en mediciones directas de éstos, es decir, en registros de aforos, son preferibles a aquellos basados en relaciones entre la lluvia y el escurrimiento, ya que en éstos intervienen casi siempre parámetros cuya valuación es imprecisa y, en algunas ocasiones, subjetiva. Sin embargo, existen muchos casos en los que la información relativa a gastos máximos aforados es deficiente o nula, por lo cual no se pueden usar los métodos primeramente mencionados y es necesario empezar estableciendo las precipitaciones de diseño para después, mediante una función de liga, inferir con base en éstas los gastos de diseño. De acuerdo con la función de liga entre las tormentas y las avenidas producidas por éstas se han desarrollado diversos métodos basados en relaciones entre la lluvia y el escurrimiento.

La mayoría de las relaciones utilizadas incluyen como parámetros solamente algunos de los factores que afectan el escurrimiento, los cuales son numerosos y, con frecuencia interdependientes. Estos factores se pueden clasificar en dos grupos: factores climáticos y factores fisiográficos. Los primeros incluyen principalmente los efectos de la precipitación, la evaporación y la transpiración, todos los cuales presentan variaciones estacionales. Los factores fisiográficos se pueden a su vez clasificar en dos: los característicos de la cuenca y los característicos del cauce. Dentro de los primeros se pueden incluir factores tales como tamaño, forma y pendiente de la cuenca, permeabilidad y uso del suelo, presencia de

lagos, etc. Los característicos del cauce están relacionados principalmente con las propiedades hidráulicas del mismo, las cuales gobiernan el movimiento de las corrientes y determinan su capacidad de almacenamiento. A continuación se presenta una lista de los principales factores que afectan el escurrimiento.

a) Factores climáticos.

Precipitación: forma (lluvia, nieve, granizo, etc.), intensidad, duración, distribución del tiempo, distribución en la superficie, periodo de retorno, dirección del movimiento de la tormenta, precipitación antecedente, humedad del suelo.

Intercepción: especies vegetales, composición, edad y densidad de los bosques; estación del año; magnitud de la tormenta.

Evaporación: Temperatura viento, presión atmosférica, naturaleza y forma de la superficie sujeta a evaporación.

Transpiración: Temperatura, radiación solar, viento, humedad del aire, humedad del suelo, clase de vegetación.

b) Factores fisiográficos

b.1) Características de la cuenca.

b.1.1) Factores físicos: Uso de suelo, infiltración superficial, tipo de suelo, permeabilidad y capacidad de almacenamiento de las capas del subsuelo, presencia de lagos, drenaje artificial.

b.2) Características del cauce.

Tamaño y forma de la sección hidráulica, pendiente, rugosidad, longitud, efecto de remanso.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.2.- NECESIDADES HIDRICAS DE CONSUMO

Dotación y consumo

Para calcular el consumo de cualquier tipo de construcción o incluso de un fraccionamiento, debemos tomar en cuenta la dotación que se asigne a cada persona, para que al tener el total de estas, que habite en una construcción o un fraccionamiento, podamos saber cual será el consumo diario del conjunto.

Dotaciones de agua

Como regla general, al calcular la dotación propia de un edificio, en función con su número de habitantes, pueden considerarse los datos que figuran a continuación, recomendados por la Asociación Mexicana de Empresas del Ramo de Instalaciones para la Construcción A.C.

Tipo de Edificación	Dotación
Habitación tipo popular	150 L / persona-día
Habitación de interés social	200 L / persona-día
Residencia y departamentos	250 a 500 L / persona-día
Oficinas (edificios de)	70 L / empleado-día

TABLA 2

En el caso de oficinas puede estimarse también a razón de 10 L / metro cuadrado área rentable.

Tipo de Edificación	Dotación
Hoteles	500 L / Huésped-día
Fábricas	70 L / obrero-turno
(sin consumo industrial)	
Hay que sumar los obreros de los tres turnos	
Cines	2 L / espectador-función
Baños públicos	500 L / bañista-día
Escuelas	100 L / alumno-día
Clubes	500 L / bañista-día

TABLA 3

En el caso de clubes hay que adicionar las dotaciones por cada concepto diferente, es decir: bañista, restaurante, riego de jardines, auditorio, salones de reunión, etc.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Tipo de edificación	Dotación
Restaurantes	16 a 30 L / comensal
Lavandería	40 L / kg de ropa seca
Hospitales	500 a 1000 L / cama-día
Riego de jardines	5 L / metro cuadrado superficie de césped cada vez que se riegue
Riego de Patios	2 L / metro cuadrado

TABLA 4

Otro esquema de dotación es el que se basa en el área de la edificación propuesto por la SEDUE:

Zona	Gasto Medio (L / Seg / Hectáreas)
Industrial	1
Artesanal	0.5
Comercial	0.6
Oficinas, hoteles, restaurantes	1.6
Habitacional	0.723
Escolar	1
Residencial	0.723
Deportiva	1
Granjas	1.5
Verde	0.1

TABLA 5

El siguiente esquema de dotación toma en cuenta la dotación de agua para cada individuo según el clima, propuesto por la Secretaría de Salubridad y Asistencia en L / Habitante / día:

Población	Tipo de Clima				
	frio	templado	Semicálido	Cálido	Casos especiales
500-1000	100	100	100	110	120
1001-1500	100	100	110	130	150
1501-2000	110	120	130	150	180
2001-3000	120	140	150	180	200
3001-5000	140	160	180	200	250
5001 en adelante	150	180	200	250	300

TABLA 6

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

La siguiente dotación la proporciona las Normas de proyecto para obras de Aprovisionamiento de Agua potable en localidades urbanas de la República Mexicana. Dirección General de Agua Potable y Alcantarillado, SRH, 1974.

Número de habitantes	Clima		
	Cálido	Templado	Frio
2500 a 15000	150	125	100
15000 a 30000	200	150	125
30000 a 70000	250	200	175
70000 a 150000	300	250	200
Mavor a 150000	350	300	250

TABLA 7

Las cifras de la Tabla 7 toman en cuenta el uso doméstico del agua que fluctúa más o menos como sigue en litros por habitante y por día:

Para bebida.	De 20 a 30
Cocina y limpieza	
Descarga de Muebles sanitarios	De 30 a 45
Para baño de regadera	De 20 a 30
Total	De 70 a 105

TABLA 8

A lo anterior hay que agregar el lavado de coches a razón de 20 a 200 litros por vehículo, el riego de patios y jardines que usan de 1 a 7 litros diarios por metro cuadrado y el uso de aire acondicionado a razón de 100 a 500 litros diarios por habitante. A falta de mediciones de consumo, son suficientes las dotaciones medias ya citadas, sin recurrir a teorizaciones para deducir cifras probables. Es importante anotar que la instalación de alcantarillado repercute en el aumento del consumo de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.3.-CISTERNAS

Conocido el consumo diario se calcula la capacidad de la cisterna, la cual debe ser suficiente para abastecer la construcción con un mínimo de 2/3 del consumo diario.

A esta capacidad hay que agregar en caso de requerirse sistema de servicio de protección contra incendio, una reserva, exclusiva para este servicio de:

8 metros cúbicos para cubrir un siniestro durante 1/2 hora.

36 metros cúbicos para cubrir un siniestro durante 2 horas.

Mayor en caso de solicitarlo la compañía aseguradora.

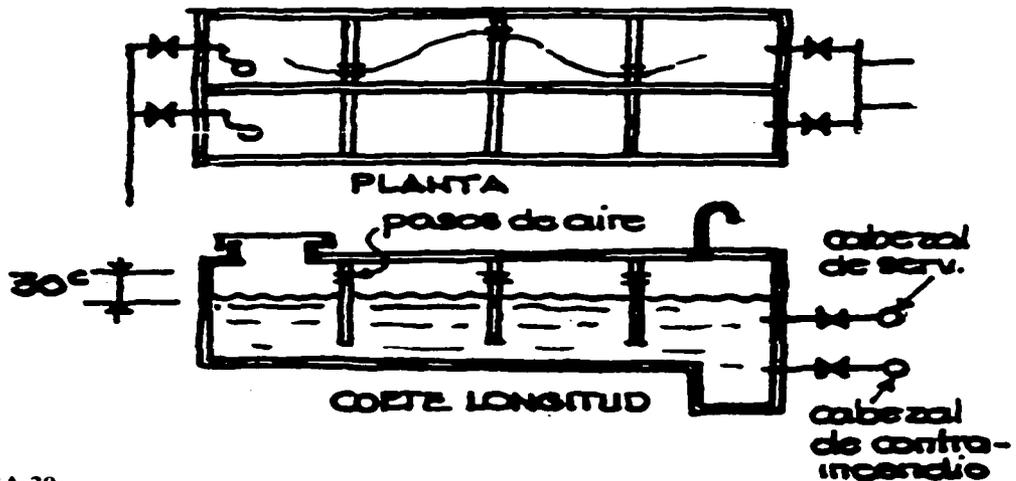


FIGURA 20

PROPORCIONES DE LAS CISTERNAS MAS ECONOMICAS. Una vez decidido el espesor de la lámina de agua dentro de la cisterna y el volumen que se va a almacenar, queda definida la superficie total que deben tener los compartimentos, cuyo número se fija en atención a sus dimensiones constructivas, a fin de no tener que recurrir a espesores exagerados en las losas de concreto con que se cubrirán éstos.

$$S = \frac{\text{Volumen que se va a almacenar}}{\text{espesor de la lámina}}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Si la cisterna (S) metros cuadrados de superficie en planta, se subdivide en (n) en compartimientos, siendo cada uno de (a) metros por (b) metros, en planta que:

$$S = nab \dots\dots\dots(2.18)$$

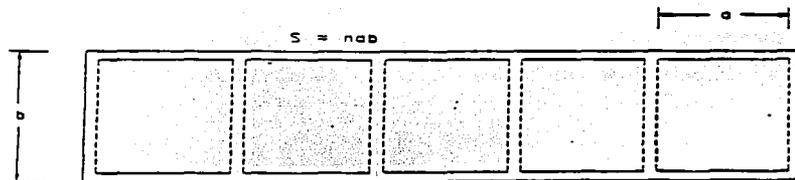


FIGURA 21

En el caso de que los (n) compartimientos formen una sola hilera, la superficie de los muros será proporcional a la altura interior de la cisterna, dimensión que se toma como fija y proporcional a la suma de las longitudes de los muros, suma que sera:

$$M = 2na + (n + 1)b \dots\dots\dots(2.19)$$

Pero como $b = \frac{S}{na}$

$$M = b(n + 1) + 2 \frac{S}{b} \dots\dots\dots(2.20)$$

Y para que el desarrollo de los muros sea mínimo, derivamos e igualamos a cero:

$$\frac{dM}{db} = (n + 1) - 2 \frac{S}{b^2} = 0 \dots\dots\dots(2.21)$$

o sea que:

$$n + 1 = 2 \frac{S}{b^2} = \frac{na}{b} \dots\dots\dots(2.22)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

De lo que resulta que las proporciones de cada compartimiento están en la relación.

$$\frac{a}{b} = \frac{n+1}{2n} \dots\dots\dots(2.23)$$

Y por otra parte se ve que el mínimo se obtiene cuando la suma de las longitudes es igual a la de los muros transversales.

$$2na = b(n+1) \dots\dots\dots(2.24)$$

Según lo anterior las proporciones óptimas de cada compartimiento, en cisternas de una sola hilera de celdas son como sigue:

Número total de Celdas n	Proporciones de Los lados ($a : b$)
1	1:1
2	4:3
3	3:2
4	8:5
5	5:3
6	12:7
7	7:4
8	16:9
9	19:5
10	20:11

TABLA 9

Así por ejemplo para una cisterna de 72 metros cúbicos, con un metro de lámina de agua y de 3 comportamientos:

$$S = \frac{72 \text{ metros cúbicos}}{1 \text{ metro}} = 72 \text{ metros cuadrados}$$

De la tabla anterior, para una cisterna de 3 compartimientos tenemos la proporción de $3a = 2b$, sustituimos la superficie obtenida de 72 metros cuadrados en (2.18), después despejamos de la proporción a y b dándonos: $a = \frac{2b}{3}$ y $b = \frac{3a}{2}$, para luego sustituirlas en (2.18), junto con la superficie.

Sustituyendo b nos da: $a = 4$ metros

Del mismo modo despejando a y sustituyendo en 2.18 a obtenemos $b = 6$ metros.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para facilitar el proceso usamos la formula:

$$a = \sqrt{\frac{2s(n+1)}{2n}} \dots\dots\dots(2.25)$$

$$b = \sqrt{\frac{2s}{n+1}} \dots\dots\dots(2.26)$$

Para cisternas con división axial, es decir, con dos hileras de celdas, se tiene como superficie total en planta de los (n) compartimientos:

$$S = naa$$

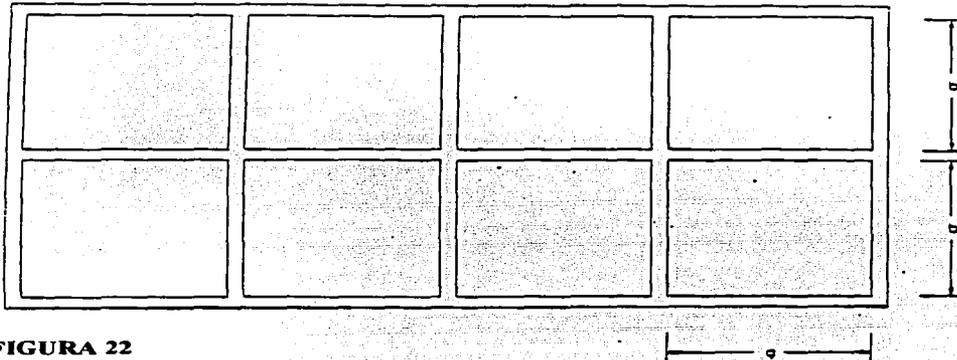


FIGURA 22

o bien :

$$M = \frac{3na}{2} + b(n+2) \dots\dots\dots(2.27)$$

por lo que:

$$\frac{dM}{db} = \frac{3s}{2b} + (n+2) \dots\dots\dots(2.28)$$

$$n+2 = \frac{3na}{2B}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Y también en este caso el mínimo de muros se obtiene cuando el desarrollo de los transversales es igual al de los muros longitudinales.

$$\frac{3na}{2} = b(n+2) \dots\dots\dots (2.29)$$

De acuerdo con lo anterior, las proporciones óptimas para cada compartimiento en cisternas con dos hileras de celdas son:

Número total de Celdas n	Proporciones de Los lados (a:b)
2	3:4
4	1:1
6	9:8
8	6:5
10	5:4
12	9:7
14	21:16
16	4:3
18	27:20
20	15:11

TABLA 10

Igualmente, una cisterna de 200 metros cuadrados de planta con 10 comportamientos en dos hileras. De la tabla anterior para 10 comportamientos tenemos la proporción de $5a = 4b$, despejando a queda $a = \frac{4b}{5}$, sustituyendo en (2.18), junto con la superficie de 200 metros cuadrados da $b = 5m$, de modo análogo despejamos y sustituimos b en (2.18) y nos da $a = 4m$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Para mayor facilidad podemos utilizar las formulas para cisternas de dos hileras:

$$a = \sqrt{\frac{6s(n+2)}{3n}} \dots\dots\dots(2.30)$$

$$b = \sqrt{\frac{3s}{2(n+2)}} \dots\dots\dots(2.31)$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO III

**SISTEMAS DE CAPTACION
DE AGUA DE LLUVIA**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.1.- NECESIDAD DE LOS SISTEMAS

El agua dulce es esencial para la vida y para el desarrollo sostenible, es un recurso natural que tiene dimensiones sociales, económicas, culturales y ambientales las cuales son interdependientes y complementarias.

La cuarta parte de la población mundial no tiene acceso al agua potable, más de la mitad de la humanidad carece de un saneamiento adecuado del agua, su mala calidad y la falta de higiene figuran entre las principales causas de enfermedad y muerte, así como la escasez de agua, las inundaciones y las sequías, la pobreza, la contaminación, el tratamiento inadecuado de los desechos y la insuficiencia de infraestructura plantean serias amenazas al desarrollo económico y social, la salud humana, la seguridad alimentaria mundial y el medio ambiente. El acceso limitado de agua, en términos de cantidad y calidad, puede frenar considerablemente el desarrollo sostenible.

El agua es fuente de vida: sin embargo esta fuente se va agotando cada día ya que mares interiores, lagos, lagunas y ríos se van secando. El consumo de agua aumenta a un ritmo dos veces más rápido que el crecimiento demográfico, su volumen se duplica cada veinte años. Al término del siglo pasado, la cantidad de agua dulce disponible por habitante solo fue de un cuarto de lo que era en 1950 en África y un tercio de lo que era entonces en Asia o en América Latina.

Para prevenir y combatir los efectos de la escasez de agua dulce, es necesario elaborar lineamientos y estrategias concretas que ayuden a mejorar la gestión y la preservación de los recursos de agua dulce.

Es necesario reconocer la necesidad de los enfoques integrados que vinculen el desarrollo a la protección del medio ambiente, considerar la participación de todos tanto mujeres como hombres y reconocer el valor social y económico del agua.

La necesidad del desarrollo de sistemas de captación de agua pluvial:

El desarrollo de sistemas de captación de agua pluvial surge de la necesidad de habitar el déficit de agua con la que vive la población mundial y prever la necesidad a futuro, garantizar la cantidad de agua suficiente para la producción de alimentos, también de propiciar un medio ambiente mejor. Esta mejora se logra de la siguiente manera: Al captar una cantidad de agua directamente de la lluvia, esta cantidad ya no es necesaria extraerla de algún cuerpo de agua, y estos cuerpos puede reabastecerse del líquido, además la captación de agua pluvial contribuye a lo que a continuación exponemos:

- 1.- Dotar de agua para uso domestico a todas las comunidades que carezcan del suministro público del líquido, siempre y cuando sea viable la utilización de los sistemas de captación.
- 2.- Para las zonas urbanas estos sistemas pueden cubrir los déficit de agua que suministra las distintas entidades.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- 3.-Obtener agua a un menor costo.
- 4.-Por medio de estanques se puede contribuir a acelerar la recarga de los acuíferos.
- 5.- Al disminuir los costos por obtención del agua para siembra y ganado disminuye el precio de productos agrícolas.
- 6.- Auxiliar en planes de desarrollo hidráulico.
- 7.- Aumentan la riqueza hídrica del país.
- 8.- Asegurar el suministro de agua para la cada vez mayor población del país.

En general al aumentar la disponibilidad del agua y disminuir los costos de su obtención se crea una base para el desarrollo del país y la mejora del nivel de vida de la población.

3.2.- VENTAJAS Y DESVENTAJAS

A continuación mencionaremos las principales ventajas y desventajas de los sistemas de captación de agua pluvial.

Ventajas:

- La captación pluvial provee una fuente de agua al punto donde se requiere. Esto es manejo y operación In Situ.
- La construcción de un sistema de captación de agua de lluvia es simple y los habitantes de la región pueden construir fácilmente uno, minimizando su costo.
- La tecnología es flexible. Los sistemas se pueden construir para satisfacer casi cualquier demanda. Hogares de escasos recursos pueden comenzar con un simple tanque pequeño y adicionar más cuando puedan producirlos.
- Los techos de las casas habitación o de los edificios forman parte de estos sistemas por lo que su costo no es significativo, en algunas ocasiones.
- Los techos permiten coleccionar agua y su abastecimiento en épocas de emergencia.
- La calidad del agua de lluvia llega a ser mejor que otras fuentes de agua.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- El agua de lluvia es una fuente de agua limpia, de bajo contenido de sales, de bajo costo y no contaminada.
- Los costos de operación y mantenimiento son bajos.
- Los campesinos liberan el tiempo empleado para la obtención de agua fuera de sus comunidades y por tanto emplearlo en otras actividades productivas.
- La edificación adquiere un valor productivo.

Desventajas

- El agua de lluvia no es controlable durante las épocas de sequía.
- El éxito de la captación de agua de lluvia depende de la frecuencia y cantidad de lluvia que se precipita en determinada región, por tal razón los dimensionamientos del volumen de la cisterna y el área de captación implícitamente involucran una probabilidad de error o que en un tiempo determinado no cubran la demanda, es decir, el sistema no siempre funciona.
- El agua de lluvia puede llegar a contaminarse por los animales y por la materia orgánica.
- Las cisternas aumentan el costo de la construcción y puede ser una limitante para muchas familias de escasos recursos.
- El almacenamiento de agua en las cisternas puede inducir la presencia de mosquitos los cuales pueden producir algunas enfermedades en el hombre.

En algunas ocasiones puede ser que el tamaño de la cisterna esté limitado por el costo de construcción y que el agua disponible para el uso doméstico no sea suficiente para la familia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.3.- CLASIFICACION DE LOS SISTEMAS

Sistemas de Captación de Agua de la lluvia de los techos y los pisos

3.3.1.- Descripción general

La precipitación media anual en México varía considerablemente en general la lluvia tiene una mala distribución a través del año y se observa que en cuatro meses cae del 70 al 80% del total, quedando los ocho meses restantes con escasez y mala distribución de lluvia.

Actualmente existen muchos casos en los cuales se establecen sistemas de captación de agua de lluvia de carácter comunal y llegan a abastecer a poblaciones de varios miles de personas. Las cisternas o almacenamientos varían en cuanto a materiales para su construcción, sus tamaños y formas. Las cisternas pueden estar bajo el nivel del suelo, semienterradas o arriba de la superficie del suelo.

3.3.2.- Especificaciones

Los sistemas de captación de agua de lluvia deben considerar un área de captación, un sistema de conducción, y un sistema de almacenamiento.

3.3.3.- Clasificación

Los sistemas de captación se pueden clasificar según el nivel en el que se encuentre el área de captación que puede ser:

- a) En una estructura por encima del nivel del piso.
- b) En el nivel del piso.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

A) SISTEMAS CON EL AREA DE CAPTACION EN UNA ESTRUCTURA POR ENCIMA DEL NIVEL DEL PISO:

1.- Sistema en el que el área de captación de agua es el techo de una vivienda (Aunque puede ser el techo de cualquier edificación).

En la figura 23 se muestran los elementos de un sistema convencional de captación de lluvia, el área de captación esta formado por el techo de la casa (Ac), el sistema de conducción por la canaleta de lámina galvanizada que se encuentra colocada sobre el borde del techo (Sc) y la cisterna (C) que se encuentra conectada al área de captación a través de la canaleta.

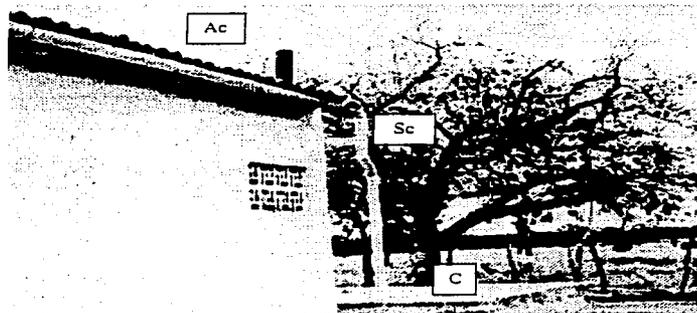


FIGURA 23.- Sistema de captación de agua de lluvia.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Los materiales utilizados para la construcción de las cisternas o almacenamientos pueden ser de los materiales siguientes: concreto reforzado, fibra de vidrio, acero inoxidable, ferrocemento y polivinililo con el objeto de evitar la contaminación del agua, las cisternas o almacenamientos pueden construirse como parte de la casa habitación o edificios y puede estar junto ó a cierta distancia de ellos.

Como se muestra en la Figura 24, los almacenamientos de agua deben considerar los siguientes requerimientos:

- Una cubierta sólida y segura (Tapa).
- Un filtro de grava, arena y carbón (Filtro).
- Tubería conductora del agua (Tubo).
- Una llave de paso (Toma).
- Un sistema de extracción del agua que no la contamine (Toma).
- Un sistema para eliminar demasías (Rebalse).
- Un sistema para limpieza del área de captación y del área de almacenamiento (Desagüe).

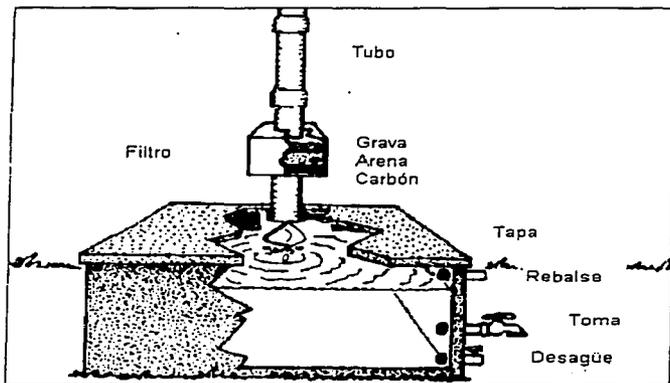


Figura 24.- Componentes de una cisterna.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.- Techos de cuenca. Son estructuras diseñadas para recolección directa del agua de lluvia. Estos dispositivos constan básicamente de dos secciones: el techo, que funciona como área de contribución y retardador de la evaporación simultánea e inmediatamente abajo de éste, se encuentra en el tanque o cisterna de almacenamiento.

El techo está formado por dos superficies que convergen en un canal central, lo cual permite al agua de lluvia recibida por el techo caer por gravedad a la cisterna, a través de unas cajas de tamiz.

Colocado sobre la pared externa del tanque, se ubica un piezómetro, el cual permite observar el volumen del agua almacenada. El sistema de conducción del agua consiste una válvula de salida, continuada por una tubería para terminar en una llave para consumo humano. (Fig 25).

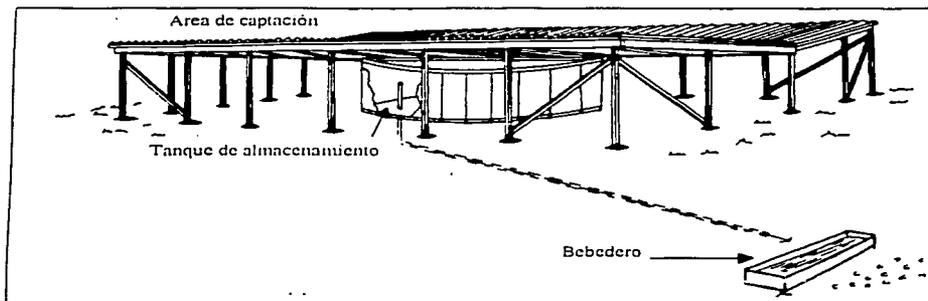


FIGURA 25.- Techos cuenca para abrevaderos

B) SISTEMAS CON EL AREA DE CAPTACION AL NIVEL DEL PISO

1.-Estanques o presas de tierra. Sin duda, el estanque o presa de tierra, es el más primitivo de los sistemas recolectores de agua de lluvia, pero también el más común de todos los dispositivos utilizados para ese propósito. Por lo menos un estanque se encuentra en cada núcleo de población ejidal de la zona árida-semiárida del país, en algunos casos puede haber más de 15.

Este tipo de recolección, ordinariamente no puede tener agua durante 12 meses del año, en la mayor parte de los casos el campesino solamente puede disponer de agua de estanque durante 4 a 6 meses. Lo anterior no precisamente se debe a que no se llene, lo cual acontece 2 ó 3 veces al año, sino a las enormes pérdidas por infiltración y evaporación a que está sujeta el agua almacenada en estos recipientes y, también, a la gran reducción que sufren su capacidad de almacenamiento debido a la acumulación de sedimentos, lo cual puede ser una capa de 25 a 30 cm de espesor por año de cada 35 ó 40 hectáreas de área de escurrimiento.

El sitio para la construcción del bordo (única estructura del estanque), generalmente es seleccionado por algún miembro de la autoridad ejidal, mientras que sus dimensiones siempre están en función de las horas de trabajo autorizadas para el operario de la máquina y no en base a las especificaciones de trabajo de campo elaboradas por algún ingeniero.

El ingeniero, generalmente es agrónomo, sólo se concreta a mostrar al operario el sitio escogido por los campesinos para la construcción del bordo y a abastecerlo de combustible para que no pare la máquina.

TRABAJOS CON
FALLA DE ORIGEN

Sin duda, el conocimiento que los campesinos tienen del terreno es un factor importante, dado que conocen perfectamente bien los sitios del agostadero por donde bajan los escurrimientos, pero ¿Cuál es el volumen de éstos? y ¿En cuánto tiempo se registrarán?, son cosas que ellos no pueden decir, sino más bien el ingeniero tiene que medir. También la experiencia del operario de la máquina es valiosa, pero es recomendable que siga las especificaciones del ingeniero para construir el bordo y la compactación en capas del citado bordo.

Es lamentable ver a menudo bordos con la apariencia de una pared, en cuya sección aguas arriba no existe la capacidad de almacenamiento correspondiente a las dimensiones del bordo construido. En otros lugares se observan bordos reventados, seguramente porque el volumen de agua fue superior del esperado, por falta de compactación del borde, por la ausencia de un vertedor de demasías o por combinación de las tres causas, siendo este último lo más usual.

Finalmente, es importante mencionar que el agua concentrada en un estanque es de la más infima calidad como agua potable y representa la causa principal de mortalidad, sobre todo en los primeros años de vida de los niños que habitan los núcleos de población.



FIGURA 26.- Captación de agua en estanques

En el estanque abrevan toda clase de animales y, al hacerlo defecan y orinan en las aguas allí concentradas. Análisis bacteriológicos de agua de estanque reportan incontables colonias de microorganismos. (Figura 26).

2.- Trampas de agua de lluvia. Son sistemas colectores de agua pluvial, básicamente consistentes en una área de captación que conecta con una cisterna de almacenamiento.

El agua almacenada en la cisterna se distribuye por gravedad, entubándola hasta el centro de los agostaderos, cuando se trata de consumo animal o hasta las cercanías de un núcleo de población cuando se va a utilizar para consumo humano. El área de escurrimiento y la cisterna de almacenamiento que se

encuentra dentro de una superficie cercada, deben quedar totalmente impermeabilizadas. Además, la cisterna debe contar con retardador de evaporación. (Figura 27).

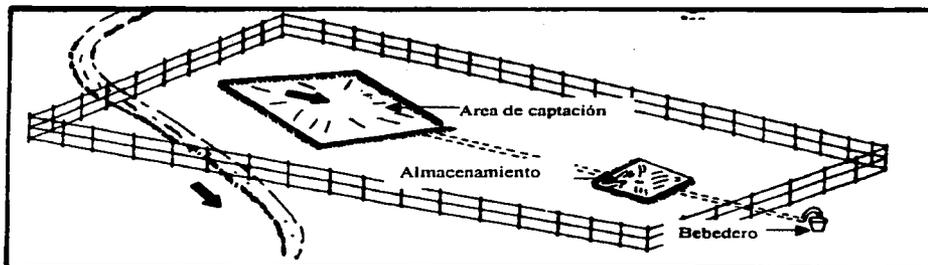


FIGURA 27.- Trampas de agua

3.-Aljibes. Son recolectores de aguas pluviales de escurrimiento que representan una versión más avanzada que la del estanque. El principio es lo mismo, es decir, aguas de escurrimiento procedentes de los terrenos de agostadero almacenadas en un recipiente.



FIGURA 28.- Aljibe

Prácticamente, la única diferencia entre estanque y aljibe es que en el segundo, la cisterna es una cavidad excavada a flor de tierra, de dimensiones regulares, revestida interiormente con piedra y cemento, características de construcción que en condiciones normales eliminan las pérdidas de agua por infiltración. Sin embargo, el agua almacenada sigue totalmente expuesta al proceso de evaporación y el recipiente, que básicamente constituye el aljibe, reduce drásticamente su capacidad de almacenamiento por la acumulación anual de sedimentos, como sucede con el caso del estanque (Figura 28).

El agua de aljibe podría considerarse de calidad menos mala que el agua de estanque, puesto que el aljibe generalmente lo mantienen cercado, no tanto para que no penetren los animales a abrevar sino por el temor de que al caerse a éste se ahoguen.

Finalmente debe mencionarse que el aljibe es un sistema recolector de aguas pluviales menos común que el estanque, porque en la construcción del aljibe va incluido su recubrimiento interno con mampostería, renglón que representa la mayor inversión de este tipo de obra.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.4.- METODOLOGIA PARA EL DESARROLLO Y PLANEACION DE LOS SISTEMAS DE CAPTACION

La metodología para el desarrollo físico de los sistemas de captación de agua pluvial tiene como objetivo optimizar la capacidad de captación de los sistemas y establecer la planeación social en la comunidad y los pasos son los siguientes:

1.- Determinar por medio de estudios hidrológicos la viabilidad del desarrollo de sistemas de captación de agua pluvial, para la comunidad.

2.-Si el sistema es viable se procede a la divulgación del proyecto: Conviene realizar una asamblea general en la comunidad, en la que se establezcan las metas del proyecto y se invite a la comunidad a establecer propuesta, además promover un intercambio de ideas.

3.-Una vez que la población acepta la realización del proyecto de captación, se determina las necesidades hídricas de la comunidad: Se tiene que establecer los usos que se la va a dar al agua captada y son: domestico, industrial, agrícola, consumo de ganado.

4.- Posteriormente se decide si la captación será comunal, por vivienda o mixta.

5.- Se procede a determinar el tipo de sistema se va a adoptar y las dimensiones de este, basándose en la metodología de diseño de los sistemas de captación (3.5), el clima y el presupuesto de la comunidad, proponiendo así un sistema que capte la cantidad necesaria de agua a un bajo costo.

6.- La construcción o adaptación del área de captación.

7.-La construcción de la conducción del área de captación a la cisterna.

8.-La construcción de la cisterna.

9.- Una vez construido el sistema de captación, se registra el funcionamiento del mismo, la cantidad de agua captada y el impacto en la comunidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.5.- METODOLOGIA DE DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE CAPTACION

Para calcular el área en la que se capte el agua de lluvia lo primero que se toma en cuenta es que por cada milímetro de agua de lluvia que cae sobre un metro cuadrado, se obtendrá la cantidad de un litro de agua⁸. No obstante, existen coeficientes de escurrimiento que modifican el enunciado anterior debido a las pérdidas en las superficies de captación causadas por el rebote del agua al caer, la absorción y la evaporación del agua y la pendiente de las superficies, entre otros. Se recomienda usar el coeficiente de escurrimiento apropiado para el área que se trate.

Entonces, la información necesaria para el diseño de los sistemas de captación es la altura de precipitación promedio de cada mes del año de la zona a tratar y las necesidades efectivas de agua, además de un coeficiente de escurrimiento para el área de captación (Tabla 11).

Para optimizar la captación de agua pluvial la metodología de diseño varía según la necesidad de agua:

A).- Para cubrir el déficit de agua durante la época de estiaje

B).- Para satisfacer la necesidad de agua durante todo el año

A).- Para cubrir el déficit de agua durante la época de estiaje:

1.- Procedimiento para cálculo de necesidades efectivas de agua

1.a).- Multiplicar el (consumo/ persona / día) en lts, dado por alguna de las tablas de la sección (2.2), por el número de personas que habitan la vivienda, para establecer la necesidad hídrica diaria de la vivienda (consumo/ vivienda/ día) en lts.

1.b).- Este valor obtenido multiplicarlo por el número de días que dura la época de estiaje, y el volumen obtenido en lts convertirlo a metros cúbicos, este último volumen será el agua necesaria a ser captada durante la época de mayor precipitación del año y determina la capacidad de la cisterna.

⁸ M. Anaya. "Sistemas de captación de Agua de lluvia (Manual Técnico)". Pag. 20

TABLA 11. Valores del coeficiente de escurrimiento

TIPO DEL ÁREA DRENADA	COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO	
	MÍNIMO	MÁXIMO
ZONAS COMERCIALES:		
Zona comercial	0.70	0.95
Vecindario	0.50	0.70
ZONAS RESIDENCIALES		
Unifamiliares	0.30	0.50
Multifamiliares, espaciados	0.40	0.60
Multifamiliares, compactos	0.60	0.75
Semiurbanas	0.25	0.40
Casas habitación	0.50	0.70
ZONAS INDUSTRIALES:		
Espaciado	0.50	0.80
Compacto	0.60	0.90
CEMENTERIOS, PARQUES	0.10	0.80
CAMPOS DE JUEGO	0.20	0.35
PATIOS DE FERROCARRIL	0.20	0.40
ZONAS SUBURBANAS	0.10	0.30
CALLES:		
Asfaltadas	0.70	0.95
De concreto hidráulico	0.70	0.95
Adoquinadas	0.70	0.85
ESTACIONAMIENTOS	0.75	0.85
TECHADOS	0.75	0.95
PRADERAS:		
Suelos arenosos planos (pendientes 0.02 o menos)	0.05	0.10
Suelos arenosos con pendientes medias (0.02-0.07)	0.10	0.15
Suelos arenosos escarpados (0.07 o más)	0.15	0.20
Suelos arcillosos planos (0.02 o menos)	0.13	0.17
Suelos arcilloso con pendientes medias (0.02-0.07)	0.18	0.22
Suelos arcillosos escarpados	0.25	0.35

2.- Cálculo del área efectiva de captación:

Suponemos que durante las lluvias los pozos y fuentes de bombeo de agua potable se encuentra operando en condiciones adecuadas por lo que no hay necesidad de utilizar el agua de lluvia para consumo. Pero al acercarse la época seca el abastecimiento del líquido proveniente de estas fuentes merma debido a lo cual es importante llenar la cisterna durante los meses de mayor precipitación para protegerse durante la época de seca que comienza.

Sin embargo, hay que considerar que del total de agua de lluvia que cae sobre la superficie de captación una parte de ella no llega a la cisterna al quedar atrapada en pequeñas oquedades del área de captación o al formar una película de adherencia alrededor de las partículas sólidas. Por lo que se recurre a un coeficiente de escurrimiento C y de este modo obtener una altura de precipitación captada:

$$apec \text{ (mm)} = \Sigma (ap)^9 \text{ mm} \times C$$

en donde:

$apec$ = altura de precipitación efectiva captada durante la época de lluvias en mm.

ap = altura de precipitación de cada mes en mm.

Posteriormente convertir $apec$ en metros.

Para calcular el área efectiva de captación se divide el volumen del agua necesaria a ser captada en los meses de lluvia, para satisfacer la demanda durante los meses de sequía (Paso 1), entre la sumatoria de las alturas de precipitación efectivas captadas durante la época de lluvias..

$$aec \text{ (m}^2\text{)} = \frac{vn \text{ (m}^3\text{)}}{(apec)m}$$

en donde:

vn = volumen necesario a captar en metros cúbicos.

aec = área efectiva de captación en metros cuadrados.

Dicha área puede obtenerse de la proyección horizontal del techo de la casa, patios, techos de la cisterna y demás áreas susceptibles de captar agua de lluvia

⁹ De los meses del año con mayor altura de precipitación

3.- Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna:

La forma geométrica de la cisterna dependerá de las condiciones particulares del lugar, la disponibilidad de recursos y en general de las fronteras de la ingeniería civil. Sus dimensiones externas dependerán de los materiales que se utilicen para su manufactura y del sistema de construcción siendo lo más importante que las dimensiones internas sean adecuadas para almacenar el volumen de agua a consumir durante los meses de sequía, su diseño puede hacerse con las expresiones del apartado (2.3).

B).-Para satisfacer la necesidad de agua durante todo el año:

Un caso interesante es aquel donde se requiere el uso del agua de lluvia durante todo el año para lo cual los cálculos deberán realizarse considerando que el déficit causado por la época de sequía se compensa con el exceso de agua captada en la época de lluvia.

1.- Cálculo para las necesidades de agua:

Se realiza de forma similar al método de captación para sequía, pero en esta situación es necesario calcular las necesidades de agua por mes de la vivienda, con el (consumo/ vivienda/ día) en lts, se considera un promedio de días por mes de (365 días al año / 12 meses) = 30.42 días / mes, así el consumo total por mes es:

(consumo/vivienda/ día) lts x (30.42 días/mes) = (consumo/ vivienda/ mes) lts, este convertirlo a m^3 .

2.- Cálculo del área efectiva de captación:

Para el cálculo de la captación de este inciso el área destinada a captar el agua de lluvia se multiplica por su coeficiente de escurrimiento correspondiente (C), el área efectiva de captación es:

$$(ac) m^2 \times C = (aec) m^2$$

en donde:

ac = área de captación en metros cuadrados.

aec = área efectiva de captación en metros cuadrados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.- Cálculo del balance de disponibilidad de agua:

Utilizando los datos de precipitación mensual promedio y área efectiva de captación, se obtendrá el volumen de agua captado para cada mes del año, al que se le restará el consumo mensual de agua y así obtener el balance de disponibilidad de agua para cada mes. Durante la época de secas se espera un déficit en la captación de agua de lluvia respecto al consumo, este debe compensarse con el superávit de los meses lluviosos (Tabla 12).

Balance mensual en m^3 = volumen de agua captada en el mes (m^3) - (consumo/ vivienda/ mes) m^3

TABLA 12. Balance de captación de agua de lluvia

Mes	Precipitación (mm)	Volumen captado (metros cúbicos)	Balance (metros cúbicos)
enero			-
febrero			-
marzo			-
abril			+
mayo			+
junio			+
julio			+
agosto			+
septiembre			+
octubre			-
noviembre			-
diciembre			-

+ Indica un exceso o superávit en la captación de agua de lluvia

- Indica una falta o déficit en la captación de agua de lluvia

Los déficits y excedencias del cuadro anterior son supuestos

4.- Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna

Por lo tanto, el volumen de la cisterna debe ser suficiente para almacenar la sumatoria de los meses con déficit al que da origen la época seca, su diseño puede hacerse con las expresiones del apartado (2.3).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Otro modelo de diseño interesante para el desarrollo de Sistemas de Captación de Agua Pluvial es el desarrollado en Singapur "Rain Water Cister System"

Singapur cuenta con una superficie territorial de 631 km² y una población de 3.04 millones de habitantes, de los cuales el 80% vive en edificios. La precipitación pluvial es de 1,942 mm; sin embargo, debido al progresivo aumento de la población y rápido desarrollo industrial, el aumento de la demanda de agua se tuvo que compensar con la utilización de sistemas de captación de agua de lluvia en áreas pavimentadas, techos de industrias y edificios.

Actualmente, el 25% del agua potable se utiliza en sanitarios por lo que uno de los propósitos de los sistemas es ahorrar agua mediante la utilización de agua de lluvia de dichas labores.

Se diseño un modelo computacional llamado "Rain Water Cistern System" (RWCS), para establecer la relación que existe entre los parámetros como áreas de captación, tamaño de los tanques o cisternas y porcentaje de utilización del agua basados en parámetros de precipitación pluvial.

El modelos permite determinar el tamaño óptimo de las cisternas y el volumen de agua de lluvia que debe colectarse para disminuir la utilización del agua potable; además, determinar el lugar óptimo técnica y económicamente para la construcción de los sistemas.

El principio del modelo es el siguiente: el agua de lluvia es colectada y conducida hasta la cisterna, si la cantidad colectada supera el volumen de la cisterna, el agua se escurre por el área de captación, si el agua almacenada en la cisterna es insuficiente, se utiliza un suministro de agua potable para llenarla

El modelo usado es el siguiente:

$$Q_i = AR_i - ((E_i + B_i) + D_i)$$

Donde:

Q_i = Cantidad de agua al final del tiempo i .

A = Area de captación.

R_i = Intensidad de lluvia en el tiempo i .

D_i = El consumo en el tiempo i .

B_i = La tasa de consumo en el tiempo i .

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CAPITULO IV

APLICACIONES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.1.- INTRODUCCION

En los últimos tres siglos, los sistemas de captación de agua de lluvia construidos con canaletas en las orillas de los techos y los almacenamientos de las cisternas han sido la base para abastecimiento de agua para uso doméstico de muchas islas pequeñas y en varios lugares del mundo. Aunque estos sistemas de captación de agua de lluvia están desapareciendo en muchos países, se estima que alrededor de 100 millones de personas en el mundo dependen parcial o totalmente de estos sistemas.

La precipitación media anual en América Latina y el Caribe varía de menos de 500 a más de 1,500 mm; en general la lluvia tiene una mala distribución a través del año y se observa que en cuatro meses cae del 70 al 80% del total, quedando los ocho meses restantes con escasez y mala distribución de lluvia, por lo cual mostramos ejemplos de casos prácticos de tres países latinoamericanos: Colombia, Honduras y Nicaragua.

En cuanto a México el problema más dramático que sigue afrontando el habitante del medio rural, es la carencia del agua para consumo humano y consumo animal. Más de la mitad del agua potable producida se consume en menos de 100 ciudades grandes y medianas, el resto en las otras 156,502 localidades del país, por tal motivo, actualmente existen muchos casos en los cuales se establecen sistemas de captación de agua de lluvia de carácter comunal y llegan a abastecer poblaciones pequeñas en el presente capítulo mostramos estos casos de captación de agua pluvial en México, en el DF y los estados de: Jalisco, Oaxaca y Veracruz.

Otro caso interesante que exponemos, es el Sistema de Captación de Agua Pluvial utilizado en la India que tiene el fin de recargar los acuíferos.

Hemos dividido los ejemplos de aplicación en:

- Casos prácticos.
- Ejemplos numéricos.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.-CASOS PRACTICOS

4.2.1.-Tlalpuente, Distrito Federal

Se trata de un complejo ecológico en donde los vecinos se dan el lujo de tener depósitos hasta con 2 millones de litros del vital líquido almacenados. Emplean el agua de lluvia y reciclan la que utilizan para el aseo personal y doméstico.

Como en un oasis, existe en la ciudad de México un lugar donde el agua no falta. Es más, los vecinos de este sitio se dan el lujo de tener depósitos hasta con 2 millones de litros de agua en espera de ser usada. Nada que ver con, por ejemplo, las colonias de la zona oriente y poniente de la ciudad, en donde la gente debe esperar hasta una semana para surtirse del vital líquido. Se trata del único fraccionamiento ecológico de la ciudad de México: **Tlalpuente**. Ubicado en el kilómetro 23 de la carretera federal de Cuernavaca, este asentamiento se convirtió desde 1988 en la Primera Zona Especial de Desarrollo Controlado, regulada por la Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda del Gobierno del Distrito Federal.

Mientras que en la delegación Iztapalapa cerca de 500 mil habitantes sufren por la carencia de abasto, las 160 familias que residen en Tlalpuente ***“son prácticamente autosuficientes”***.

Lo que hace la diferencia: en Tlalpuente se aprovechan las aguas pluviales y se reciclan las aguas grises, aquellas jabonosas que resultan del aseo personal, y doméstico. Cada una de las 160 casas que conforman este complejo ecológico cuentan con un sistema de captación de agua pluvial- por techos y terrazas- y de recuperación de aguas grises a base de filtros, pozos y cisternas.

El agua de lluvia que se capta por techos y terrazas, por ejemplo, es canalizada a pozos de grava, arena y carbón activado que funcionan como filtros que “limpian” el líquido. Este es almacenado en una cisterna y utilizado para uso primario, esto es, fregaderos, lavabos, regaderas y lavadoras. En el caso de las aguas residuales y jabonosas el proceso es parecido: pasan por un filtro- de grava o arena - y se almacenan en una cisterna para uso secundario: riego de jardines y excusados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

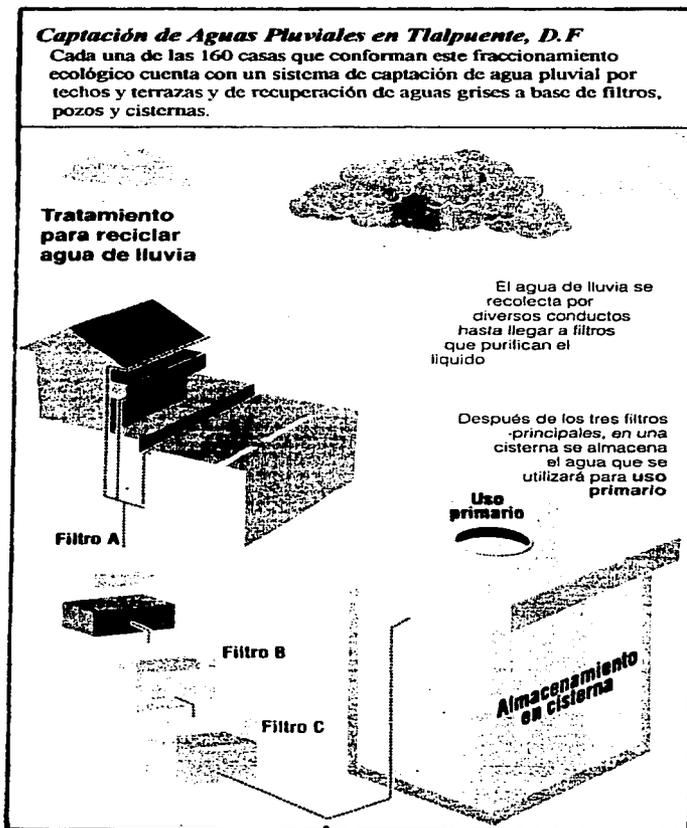


FIGURA 29.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

En cuanto a las aguas negras, éstas son conducidas a una fosa séptica bacteriológica o a un sistema de tratamiento - que cuenta con las autorizaciones sanitarias correspondientes- antes de ser filtrada al subsuelo, el proceso descrito anteriormente, se puede observar gráficamente en la figura No.30. En contraste, miles de familias en la Ciudad de México batallan día con día por el abasto del líquido. En San Bartolo Ameyalco, Delegación Alvaro Obregón, por ejemplo, hay familias que desde que se asentaron en las orillas del pueblo nunca han contado con el servicio de agua potable. "Han subsistido comprando pipas".

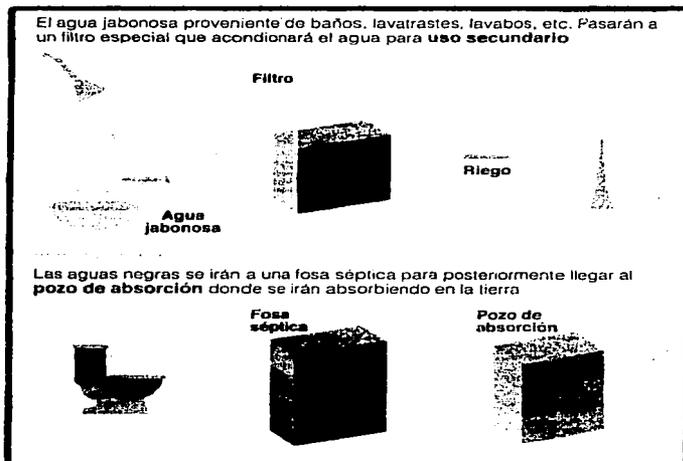


FIGURA 30.

Lo mismo sucede con la gente de Las Palmas, Amaret, Xaxalpa y del Camino viejo a Mixcoac. Esta situación tiene solución, aunque sea parcial; recolectando el agua pluvial, mediante la instalación de pozos de absorción, y con la recarga de los mantos freáticos. Ello no sólo aliviaría la falta del servicio de agua a la población, sino que evitaría el paulatino hundimiento de la ciudad. Sin embargo nada de esto se hace.

El gobierno del D.F trabaja con un proyecto para la instalación de pozos de absorción, en etapa de prototipos, consistente en pozos exploratorios, pero su puesta en marcha tiene que ver con los costos y al menos a corto plazo no se tiene considerado seguir avanzando en el programa. Y es que cada día los costos por transportar, tratar y sacar del subsuelo agua son más elevados: actualmente, para surtir agua

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

para un día a la Ciudad de México se requiere el equivalente a llenar tres veces el estadio Azteca, con un costo de 10 millones 584 mil pesos diarios.

Utilizar un sistema como el de Tlalpuente requiere un espacio donde se ubiquen las cisternas, una fosa de filtros y otra de recuperación y además un área mínima para la excavación y otra fosa para sacar el agua, pero el gobierno establece prioridades y una de ellas es resolver el problema de abasto que implica pagar energía eléctrica, el agua misma, el transporte, la extracción y el mantenimiento y no queden recursos para este tipo de proyectos. El Distrito Federal se abastece de agua por dos vías: la externa, mediante los sistemas Cutzamala y Lerma; y la interna con la explotación de los mantos acuíferos del subsuelo de la misma ciudad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.2.-CAPTACION DE AGUA DE LLUVIA PARA EL USO Y MANEJO INTEGRAL EN TUXPAN, JALISCO

OBJETIVOS GENERALES

- 1.-Implementar la captación de agua de lluvia que mitigue los efectos de la sequía en la comunidad.
- 2.-Promover el manejo integral del traspasio utilizando la captación de agua de lluvia como recurso indispensable.

Objetivo específico:

- Captar 30,000 litros de agua para usar en actividades de producción de frutas, hortalizas, plantas medicinales, producción de carne y huevo con la explotación de aves de corral y conejo para beneficio de la nutrición de las familias de la comunidad.

Aspectos técnicos

El abastecimiento de agua potable requiere de una planeación en la que se desarrollen diseños tipo, logrando soluciones al menor costo, utilizando recursos disponibles y tecnologías apropiadas. Por las características socioeconómicas y las condiciones ambientales de los municipios donde se ubican las comunidades del estado de Jalisco se diseñó un prototipo para captación de agua en techumbres, sus componentes son: una área de captación (techumbre); una conducción vertical de tubo de p.v.c.; un almacenamiento que incluye su llave de salida.

- a) Area de captación (techumbre): Se identificaron como materiales idóneos para la techumbre los existentes en la región como la lamina galvanizada acanalada calibre 26 de 3.05 x 0.82 m se excluyeron los techumbres de paja y lamina de asbesto, la primera debido a que contamina el agua debida a su descomposición y la segunda debido a que el desprendimiento de fibras a altas --- concentraciones puede afectar la salud.

La superficie del área de captación es importante puesto que de ella dependerá el volumen de agua a captar, conducir y almacenar se consideró idónea una superficie mínima de 36 metros cuadrados.

- b) Conducción lateral perimetral: consiste en una canaleta de lámina galvanizada calibre 26 de --- de 0.10 m las longitudes son variables y dependen del área de capitación, esta descarga a una pieza especial de campana, la cual se une a la conducción vertical de p.v.c.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Conducción vertical de p.v.c: consiste en una tubería hidráulica de p.v.c. de dos pulgadas de diámetro que se une a una trampa de sedimentos que consiste en una caja de muros de tabique de 1.20 x 1.0 x 60 cm. De altura, el cual contiene vertedores y filtros agregados pétreos como grava y arena. La caja tiene una válvula de desfogue para su limpieza y mantenimiento, así como una tapa de concreto.

Almacenamiento: Se seleccionaron un tipo; el consistente en la construcción con muros de tabique, de 2.50 x 2.5 m con capacidad para almacenar 30 metros cúbicos y dimensiones de 4.50 de ancho x 4.0 de largo x 2.50 m de altura.

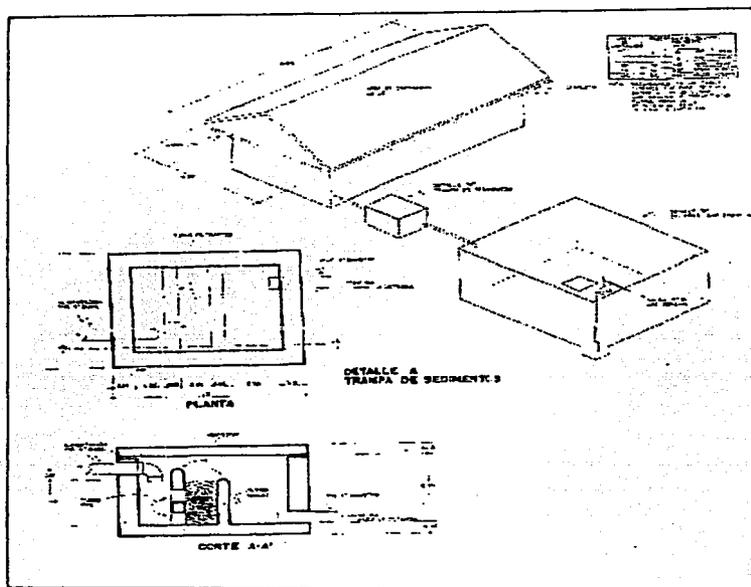


FIGURA 31

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

RESULTADOS

Se capatarón en el tanque 30,000 litros de agua de lluvia la cual se utiliza en el riego de las hortalizas, plantas medicinales. Plantas de ornato y arboles frutales, también servirá para dar de beber a animales que se crían en el traspatio como son las gallinas, conejos y ganado lechero.

Esta propuesta ha impactado tanto en el municipio donde se implemento la casa modelo como al interior del estado, construyéndose tres modelos similares en los municipios de Jilotlán de los Dolores, Santa Maria del Oro y Pihuamo. Observándose inquietud de parte de las mujeres y los productores por adoptar este sistema de captación. Dando inicio a la cultura del uso eficiente del agua y la preocupación por su cuidado. La señora dueña de la casa después de estar desconfiada dado que juzga que a su edad ya no se aprende, comenta estar muy satisfecha con los resultados y refiere que le será de gran utilidad los litros de agua captada ya que en época de secas, este vital liquido no existe ni para mitigar las necesidades básicas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.3.-Alternativas para la captación de agua de lluvia para consumo humano en el Estado de Oaxaca.

En 1997, en coordinación con el Instituto para el Desarrollo Integral para la Familia (DIF) se puso en marcha el Programa Piloto de abastecimiento de agua potable a comunidades rurales, por medio de la captación de agua en los techos de las viviendas y almacenamientos en cisternas. El abastecimiento de agua a comunidades presenta la problemática que éstas están dispersas, carecen de fuentes de abastecimiento cercanos, es demasiado costoso los sistemas de abastecimiento o bien presentan problemas sociales para aprovechar en forma comunal una fuente de abastecimiento.

Dentro de la cuenca del Río Atoyac, en San Bartolomé Quialana se ha avanzado en trabajos de construcción de bordos de almacenamiento de agua, muros de contención y represas de gaviones, a partir de los cuales se establecen proyectos productivos para diversificar el tipo de cultivos tradicionales y mejorar el ingreso de los productores. Otras dos comunidades realizan los diagnósticos participativos y han establecido ensayos sobre abonos verdes y terrazas de muro vivo para disminuir erosión en suelos agrícolas y al mismo tiempo incrementar su fertilidad.

Además, se desarrollan cuatro prototipos para captación de agua de lluvia en techumbres para consumo humano en nueve localidades de los municipios de Coatecas Altas, Santa Inés del Monte, Santiago Tilantongo, Santa María Peñoles, Santa María Apazco y San Juan Nuxa. Se tiene programado construir 197 sistemas mediante la dotación de lámina galvanizada, canaleta y tubos recolectores de lluvia, así como apoyar la construcción de cisternas almacenadoras.

El proyecto pretende beneficiar a 1,182 habitantes con un costo total de (\$175,000.00 USD).

Problemática

El Estado de Oaxaca cuenta con una superficie total cercana a 9.3 millones de hectáreas, se estima que el 11.4% se destina a la agricultura, el 38.9% es de uso forestal y el 49.7% a las actividades pecuarias, a través de las áreas de pastizales y agostaderos. Respecto a la cubierta vegetal, el 40.3% cuenta con bosques u otro tipo de vegetación, el 31% tiene otros usos del suelo y el 28.6% se trata de zonas forestales perturbadas. La erosión del suelo está presente en el 57.2% de la superficie total estatal, es decir, en más de 5.3 millones de hectáreas. De la tierra erosionada, el 26.5% se considera leve, el 35.4% es severa y el 38.1% muestra niveles de erosión muy severa.

Se presenta una dispersión poblacional de cerca de 9,681 localidades rurales y lo abrutón del territorio dificulta el abastecimiento de agua por medios convencionales, por carecer en muchos de los casos de fuentes de abastecimiento cercanas a los núcleos de la población, situación que hace necesaria la

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

búsqueda de alternativas de captación de agua de lluvia que garanticen, al menos, el volumen de agua para satisfacer las necesidades básicas para consumo humano.

El aumento en la densidad demográfica en la región agudizo el uso intensivo del suelo y de los mantos freáticos, aunado al efecto de la presión sobre los recursos naturales que empieza desde la deforestación de las laderas de las zonas montañosas para obtener madera para construcciones rurales y leña para uso doméstico, hasta los aprovechamientos forestales contemporáneos, lo cual propició una escasez de residuos orgánicos que pudieran incorporarse al suelo y una evaporación acelerada de la humedad proveniente de las lluvias, lo que acelera la erosión hídrica, disminuye la capa fértil del suelo y la capacidad para la regeneración natural de la vegetación.

El pastoreo de rebaños mixtos en los agostaderos desmontados con un manejo comunal del recurso, también contribuye a la reducción de la vegetación ya perturbada. Esta problemática incide directamente en una disminución creciente de la productividad agrícola tanto en la planicie como en las partes altas de las cuencas y en el valle, adicionándose que la Ciudad de Oaxaca se ha convertido en un polo de atracción para las migración regional.

Meta del proyecto

- Proveer de sistemas de abastecimiento de agua a 1,182 habitantes, mediante el apoyo para captación de agua de lluvia en techumbres.

Metodología

Características de los sistemas de captación de agua de lluvia para consumo humano

El abastecimiento de agua potable requiere de una planeación en la que se desarrollen diseños tipo, soluciones de menor costo, utilización de los recursos disponibles y tecnologías apropiadas.

Por las características socioeconómicas y las condiciones ambientales de los sitios donde se ubican las comunidades seleccionadas, se diseñaron tres tipos de captación de lluvia en techumbres. Sus componentes son: una área de captación (techumbre), una conducción vertical de tubo PVC; un almacenamiento que incluye su llave de salida, mostramos el modelo en la figura 32. Las características de los componentes descritos son las siguientes:

- Area de captación (techumbre):** Se identificaron como materiales idóneos para la techumbre los existentes en la región, tales como teja o madera y lámina galvanizada acanalada calibre 26 de 3.05 x 0.82 m. Se excluyeron los techumbres de paja y lámina de asbesto, la primera debido a que contamina el agua en su descomposición y la segunda por el desprendimiento de fibras a altas concentraciones puede afectar la salud. La superficie del área de captación es importante puesto que de ella dependerá el volumen de agua a captar, conducir y almacenar, considerándose idónea una superficie mínima de 36 metros cuadrados.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

- b. Conducción lateral perimetral:** Consiste en una canaleta de lámina galvanizada calibre 26 de 0.10 m las longitudes son variables y depende del área de captación.
- c. Conducción vertical de pvc:** Consiste en tubería hidráulica de pvc de 2 pulgadas de diámetro RD 41 que se une a una trampa de sedimentos, que consiste en una caja de muros de tabique de 1.20 x 1.0 x 60 m de altura, la cual contiene vertedores y filtros agregados pétreos como grava y arena. La caja tiene una válvula de desfogue para su limpieza y mantenimiento, así como una tapa de concreto.
- d. Distribución:** Consiste en una tubería con un diámetro de 2.5 m y llave de Nariz.

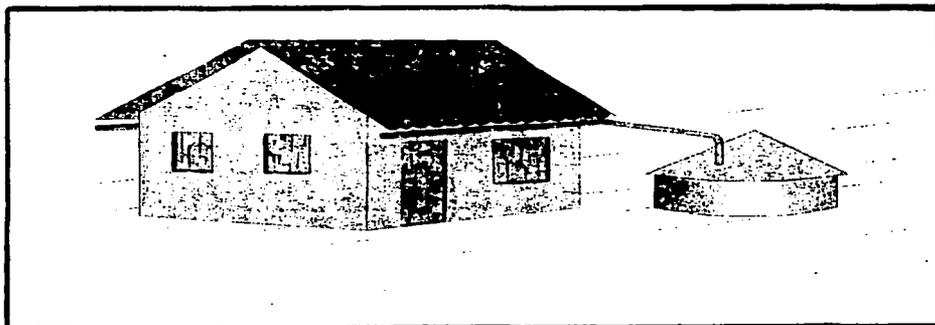


FIGURA 32.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Por otra parte el Instituto Politecnico Nacional desarrolla Sistemas de Captación de Agua Pluvial utilizando como material el ferrocemento, este desarrollo lo efectua en la Mixteca Oaxaqueña:

El IPN Unidad Oaxaca desarrollo un sistema basado en el uso del ferrocemento como material de construcción de obras para la captación de aguas de lluvia mediante "ollas de agua". Desarrollando y aplicando este modelo:

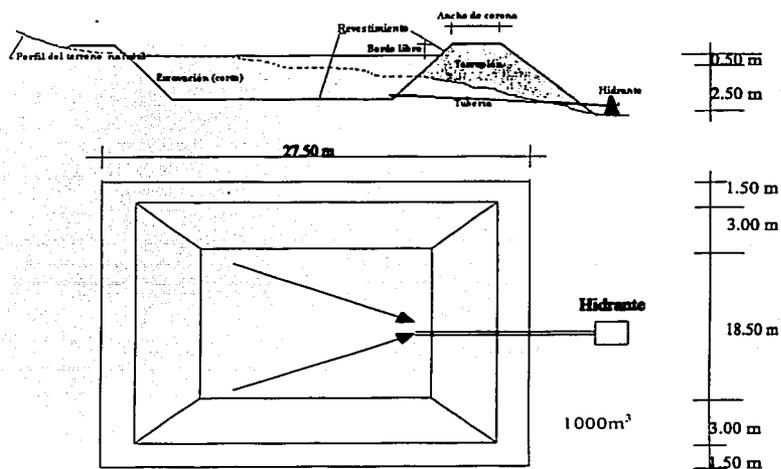


FIGURA 33. Estanque con capacidad de 1000 metros cúbicos

Cisternas o tanques de depósito. Son estructuras para almacenar agua de lluvia que se capte de los techos de las viviendas y el ferrocemento permite hacerlos de diferentes formas y capacidades. La experiencia que se tiene, es un tanque de 15 metros cúbicos de capacidad y se han construido en otros países tanques elevados de más de 1000 metros cúbicos de capacidad.

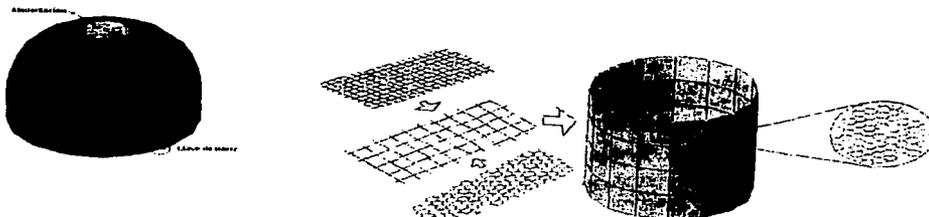


FIGURA 34. Formas de tanques pequeños de depósitos de agua

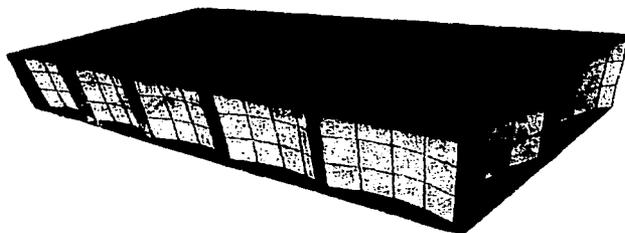


FIGURA 35. Cisterna propuesta con capacidad de 100 metros cúbicos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.4.-CAPTACION , MANEJO Y CONSERVACION DE AGUA DE LLUVIA EN LA HUASTECA VERACRUZANA

La colecta de agua de lluvia en pequeños volúmenes para consumo humano en las poblaciones establecidas dentro de regiones de escasa precipitación pluvial es una practica de la cual dependen la vida de personas, animales y plantas.Las comunidades ubicadas en la región conocida como la Huasteca Veracruzana, presentan graves problemas de deterioro ecológico siendo uno de los principales problemas la escasez de agua durante periodos críticos de sequía, puede que sí bien es cierto que esta región cuenta con las características de zonas tropicales y templada, que además posee una gran cantidad de ríos y arroyos que abastecen de este liquido a las comunidades, durante el periodo de sequía la gran mayoría de los ríos y arroyos, se secan desapareciendo por completo afectando tanto a personas como plantas y animales, siendo más grave esta situación en el municipio de Huayacocotla en los ejidos ubicados dentro de la zona de transición la cual presenta características áridas y semiáridas debido a que estos ejidos cuentan únicamente, con el agua de temporal para cubrir sus necesidades y algunos manantiales los cuales no dan abasto a la población total.

Objetivos

Generar alternativas reales en el manejo de escurrimientos superficiales en la zona para asegurar un abasto y aprovechamiento del agua.

Metas

Construir en el ejido de Agua Bendita a manera de demostración un sistema de captación de agua de lluvia tipo B:C, diseñado por Carwin Bret Cluff, para medir su capacidad de captación.

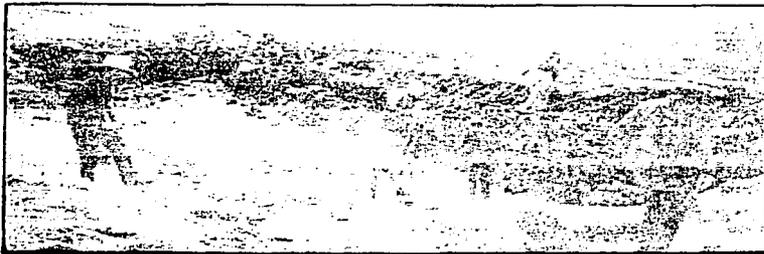


FIGURA 36.

Características Generales

- **Localización.**
Los ejidos de Donangú y Rosa de Castilla se encuentran ubicados en el municipio de Huayacocotla, en la región Noroeste del estado de Veracruz en la Sierra Madre oriental y estribaciones de la Cordillera Neovolcánica entre las coordenadas 20° 30' y 20° 35' de latitud Norte, 98° 30' y 98° 35' de longitud Oeste.
- **Precipitación.**
La precipitación media anual es de 634 a 1358 mm.

Colecta de Agua de Lluvia

Para iniciar los trabajos en la conservación de agua se propone la utilización de los sistemas tipo B.C, este sistema cuenta con una área de contribución de forma rectangular o cuadrada totalmente impermeabilizada, uno de sus lados conecta directamente a la cisterna de almacenamiento, tanto el área de contribución como la cisterna de almacenamiento quedan protegidos por una cerca perimetral, la cisterna cuenta con un retardador de evaporación, del fondo de la cisterna se inicia una tubería de 5 cm de diámetro la cual tiene como objeto desalojar toda el agua almacenada con el propósito de desviar los escurrimientos de agua circundantes se establece un bordo de protección alrededor del cosechador.

METODOLOGÍA

Para el desarrollo del proyecto se marcaron tres aspectos fundamentales:

- a) La divulgación del proyecto.
 - b) Ubicación del área en donde se construirá el sistema de captación.
 - c) La construcción.
- b) Aprobado el trabajo con el cosechador se ubico el área en la que se trazara y construirá el sistema de cosecha de agua de lluvia. Procurando que el área tenga una superficie aproximada de 2400 metros cuadrados siendo esta un área rectangular de 60 por 40 m y una pendiente de entre 3 y 5 %.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

c) Posteriormente se inicio la construcción del sistema.

La construcción del cosechador se realizo en el siguiente orden:

ÁREA DE CONTRIBUCION

La superficie del área de contribución será de 820 metros cuadrados con forma rectangular de 33.5 m de ancho por 24.47 m de largo el área de captación deberá estar libre de plantas, por lo cual se deberá de desmontar el área en caso de ser necesario. También deberá de aplanarse lo más posible y si se requiere está se tendrá que nivelar para asegurar un escurrimiento uniformé hacia la cisterna de almacenamiento, estas actividades se requieren para poder llevar a cabo la impermeabilización.

CISTERNA DE ALMACENAMIENTO

La cisterna para almacenar el agua de lluvia que se capte tendrá la forma de una pirámide truncada invertida con las siguientes dimensiones, base inferior rectangular de 4.57 m de ancho por 23.18 m de largo, base superior rectangular de 7 m de ancho por 24.47 m de largo con una profundidad de 1.83 m; de igual manera que el área de contribución en el fondo y paredes de la cisterna se tienen que compactar y pulir para poder impermeabilizar.

RETARDADOR DE EVAPORACION

Para esta parte del sistema se utilizara lamina R-90 calibre 22 de 7.30 m de longitud y 0.90 m de ancho, las laminas se colocaran sobre la cisterna para proteger contra la incidencia directa de los rayos solares y de esta forma tener una menor evaporación.

SISTEMA DE CONDUCCIÓN

Del fondo de la cisterna de almacenamiento se inicia un sistema de conducción instalando un tubo de 2 pulgadas de diámetro la cual se conecta a una línea de tuberia de pvc de 2 pulgadas de diámetro , la distancia de la tuberia se determina en el lugar dependiendo de la pendiente que se tenga, para proteger la tuberia este debe de sepultarse para lo cual será necesario hacer una donde se enterrara la manguera. Todo el sistema debe de estar protegido por un cercado de alambre de púas y un bordo de contención de escurrimientos.

Debido a las condiciones climáticas durante la construcción del modulo fue necesario detener momentáneamente esta ya que iniciaba el periodo de lluvia, estando la obra sin el revestimiento, considerándose como obra negra, demostrando su funcionalidad al llenarse en su **totalidad en un periodo de tres días de lluvia.**

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

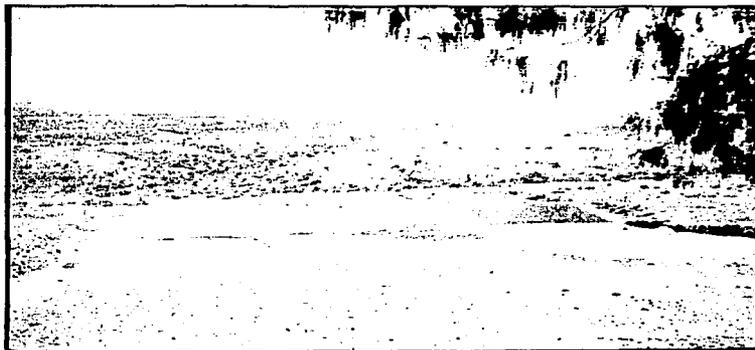


FIGURA 37



FIGURA 38

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.5.- RAJASTAN, INDIA

Rajendra Singh promueve una milenaria técnica que consiste en captar agua de lluvia, aprovechando el terreno natural para canalizar y almacenar el agua de breves aguaceros del monzón y utilizarla todo el año. Hace 20 años, Rajendra Singh viajó a la zona noroeste de Rajastán, afligida por la escasez de agua debido a la excesiva extracción de aguas subterráneas. Poco después de su llegada, Singh comprendió dos cosas. La primera: el manejo inteligente del agua era la clave para ayudar a las aldeas de la región más susceptibles de sufrir sequías; la segunda: los agricultores estaban bombeando demasiada agua subterránea. Un viejo aldeano le mostró a Singh las numerosas presas de tierra cuya estructura estaba dañada y los embalses llenos de cieno.

Pero los programas de captación pluvial en la comunidad perdieron popularidad durante el régimen británico y después de la independencia en 1947; el descuido, aunado a la extracción excesiva de agua subterránea, condujo a una crisis en las aldeas de la India occidental. Singh se enfrascó en la construcción de johads y ayudó gradualmente a los aldeanos en todo Rajastán.

Actualmente, Singh es quizás el más conocido en un numeroso grupo de personas que han revivido las antiguas técnicas de recolección de agua de lluvia, que usan no sólo presas sino **también tanques de almacenamiento subterráneo y grandes embalses revestidos de concreto**. La organización de Singh, financiada por la Fundación Ford, entre otras, cuenta con 45 empleados de tiempo completo y 230 de medio tiempo. Singh viaja ocho meses al año,

El éxito de su movimiento se debe en gran medida a su personalidad, que ha inspirado a los aldeanos a seguir su ejemplo durante el arduo proceso de construir presas, a veces con sus propias manos. Su actitud es amable e imperturbable, y pasa horas escuchando a los aldeanos, a veces duerme en sus casas y come en su mesa. Una de las aldeas, que Singh visitó se llamaba Neemi, ubicada en unas colinas áridas a 30 kilómetros de Jaipur, la capital de Rajastán. Los agricultores de Neemi habían agotado los pozos y algunos estaban abandonando la tierra en busca de trabajo en las ciudades vecinas. Singh les ayudó a construir varias presas grandes y, a finales de la década de 1990, los embalses empezaron a recargar los agotados acuíferos y a servir de efecto catalizador para que los aldeanos describen como un cambio rotundo en la suerte de Neemi. Hoy día Neemi es una aldea pujante en un valle fértil, con verdes campos sembrados de trigo, vegetales, sandías y flores. No sólo se ha frenado la migración a las ciudades, sino que más de 400 trabajadores agrícolas han llegado a Neemi a cultivar frutas y vegetales. Al disponer de más agua y forraje, el número de cabezas de ganado entre los 122 productores de leche que habitan en Neemi ha aumentado considerablemente y se ha cuadruplicado la producción de este alimento en la aldea.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Singh atribuye el creciente éxito de su movimiento a un hecho fundamental: alienta a la población local a construir presas y embalses más pequeños, en lugar de atenerse a las enormes presas construidas por el gobierno, que a menudo reemplazan a los residentes y llevan el agua a zonas lejanas.

“Este trabajo satisface la necesidad de autosuficiencia de los pobladores locales -comenta Sing.- . En un proyecto pequeño todos pueden participar en las tomas de decisiones. Es la única manera efectiva de mejorar la comunidad. La comunidad gana fuentes de trabajo y tiene un sentimiento de propiedad y control.”

Sunita Narain, directora del centro para la Ciencia y el Medio Ambiente, sin fines de lucro, en Nueva Delhi, dijo que la captación de agua de lluvia no es una panacea y necesita combinarse con medidas de conservación y, en ocasiones, con las grandes obras públicas que Singh aborrece. Aún así , el trabajo de Singh y otros tiene un profundo impacto en la India, dijo Narain, y confirma un axioma en el mundo en desarrollo: **“El manejo eficaz del agua es el primer paso para aliviar la pobreza”**.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.6.- VAUPES, COLOMBIA

En la Comisaria Especial del Vaupés de la República de Colombia, el régimen de lluvias en la región va de los meses de abril a noviembre con precipitaciones anuales medias de 2,179.2 mm , con un máximo en el mes de septiembre de 481.2 mm y un mínimo en el mes de diciembre de 2.0 mm.

Demanda

La demanda mínima de agua en las comunidades indígenas es de 15 l / hab / día para cocinar los alimentos y 20 l / hab / día para el aseo personal (sin baño).

Los parámetros que condicionan el abasto de agua de lluvias para la Comisaria de Vaupés son:

- Índice de pluviosidad anual: 2,179.2 mm.
- Consumo promedio anual para una población equivalente a 25 personas: 319 metros cúbicos.

Area de captación

A partir de los parámetros anteriores se determinó que se requiere una área de captación de 154 metros cuadrados. Además, se recomendó la escogencia de dos sitios o construcciones donde se instalaron los tanques, dado que el promedio de las cubiertas en la región es de 80 metros cuadrados.

Almacenamiento

Considerando la prioridad del programa, se utilizaron tanques de fibra de vidrio con capacidad de 500 litros, en número adecuado a la demanda correspondiente y por presentar las condiciones óptimas para su transporte.

Distribución

La distribución de las pilas se proyectó mediante cisternas públicas y acometidas individuales teniendo en cuenta que la vivienda más alejada de la fuente de abasto estaría a 100 m.

Magnitud del programa

La solución (paquete) unitaria de abasto de lluvia se recomienda solo para poblaciones dispersas menores o iguales a 100 habitantes. La razón para no encausar la solución a poblaciones mayores, se debe al alto costo, que disvirtuaría la bondad del programa requiriendo de soluciones más complejas como un sistema de acueducto.

El paquete para el abasto de agua de lluvia para 25 personas se compone de ocho tanques de fibra de vidrio de 500 litros de capacidad, canaletas de recolección de pvc o zinc con sus respectivos accesorios de instalación, tuberías y accesorios de distribución.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.7.- OROCUINA, HONDURAS

En coordinación con el Departamento de Infraestructura de la Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional Autónoma de Honduras, se diseñaron cinco sistemas basados en (pilas recolectoras)¹⁰ para almacenamiento de agua de lluvia, las que se instalaron durante 1992 en igual número de fincas de pequeños productores asociados al Proyecto Agrosilvopastoril. Todas las estructuras se localizaron en el municipio de Orocuina, por ser ésta una de las áreas que presenta los más agudos problemas de desabastecimiento de agua. Un ejemplo de ello es que los habitantes de comunidades enteras como Gualiqueme, El Jazmin, los Araditos y Las Chicas, entre otras, se ven obligados a desplazarse distancias hasta de 2.5 kilómetros para abastecerse de agua (de dudosa calidad) o abreviar el ganado, debido a la disminución de caudales, lo cual se agudiza en la estación seca.

Las pilas recolectoras se presentan como una alternativa muy útil para almacenar agua de lluvia captada por el techo de la casa, reduciendo de esa forma el tiempo que la familia dedica a esas labores especialmente en la estación de lluvia y, por lo tanto, liberan el uso de mano de obra familiar para destinarlo a otras actividades.

Las pilas recolectores establecidos consistieron de una estructura rectangular sencilla construida con materiales factibles de obtener en la finca o cerca de ellas, tales como arena, grava y piedra; los únicos insumos externos requeridos son cemento y varilla de hierro. La varilla de hierro se utilizó ocasionalmente dependiendo del tamaño de la pila. La grava, arena y cemento se usaron en proporciones 4:2:1, respectivamente. Las dimensiones de las pilas (ancho, longitud y profundidad) fueron variables y dependieron de las posibilidades económicas del participante, ya que no se llegó a utilizar toda el área de captación existente (menos del 20 % de los casos).

Para captar el agua de lluvia se instalaron canaletas alrededor del techo de la vivienda. Todas las viviendas poseían techos de teja, la cual fue ordenada en sus extremos inferiores para permitir la colocación de los canaletes, los materiales del canaleta variaron entre lámina de zinc y madera (coyol). Se registraron datos relacionados con costos de los insumos materiales y mano de obra utilizados en la construcción de las pilas recolectoras, ahorro de mano de obra en labores de acarreo de agua y utilización del agua almacenada.

La capacidad de almacenamiento de las pilas varió de 1.03 metros cúbicos a 4.40 metros cúbicos. Los tamaños de las estructuras dependieron de las posibilidades económicas de los participantes y en cierta medida de sus necesidades de agua para diversos usos, en función del tamaño y grupo familiar.

¹⁰ *pila: Pieza grande de piedra o de otra mampostería, cóncava y profunda, donde cae o se echa el agua para varios usos.*

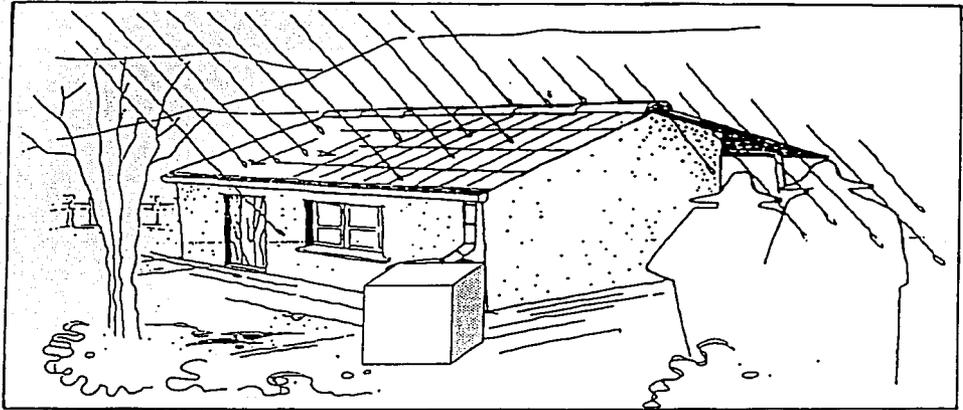


FIGURA 39. Pilas recolectoras de agua de lluvia en el municipio de Orocuina, Honduras.

Usos y beneficios

La duración en días del agua captada en las pilas, de acuerdo al estudio, se atribuye a cuatro factores principalmente:

- Tamaño de la pila.
- Número de miembros de la familia.
- Tamaño del rebaño ganadero.
- Usos adicionales que se le de al agua almacenada.

El periodo de utilización del agua varió de 5 a 12 días en 1992, cuando las familias empezaban a hacer uso de las pilas. Sin embargo, los datos de 1993 indican que las misma familias aprendieron a utilizar más racionalmente el agua de las pilas, resultando en una duración de hasta de 40 días, lo cual indica que se puede reducir aproximadamente a 25 litros/persona/día el consumo de agua en el verano. Durante la estación de lluvias las pilas se llenan totalmente de agua de ocho a nueve veces.

se puede reducir aproximadamente a 25 litros/persona/día el consumo de agua en el verano. Durante la estación de lluvias las pilas se llenan totalmente de agua de ocho a nueve veces.

Todos los participantes y sus familias indicaron estar utilizando el agua para lavado de ropa (35%), aseo personal (24%), uso doméstico en la cocina (21%), consumo animal (11%) y riego suplementario (4%) especialmente en pequeños huertos hortícolas. Los participantes 1 y 5 no usaron la pila para irrigación y este último tampoco la utilizó para consumo del ganado por poseer otras fuentes de agua dentro de su finca para estos propósitos. Se estimó apenas un 5% debido a infiltración y evaporación.

Además de los diversos usos que la familia da a las pilas de captación de agua, se destaca un beneficio económico adicional, representando por el ingreso de costo neto o ahorro del dinero al interior de la finca, durante el periodo de utilización (duración) del agua que varía de L 25 (USD 2.08) a L 312 (USD 26) por cada evento de uso de pila calculado con base a la duración del agua captada (según datos de 1992), y en otras palabras la suma de dinero que la familia ahorra al reducir o eliminar la contratación de mano de obra para acarreo de agua o por otro lado, representa una liberación de mano de obra para una finca, especialmente de niños, la cual puede ser aprovechada para realizar otras actividades productivas. En total, por año, se estima que el ahorro de mano de obra de recolección de agua (asumiendo que tuviese un costo de oportunidad), va de L 200 (USD 16.67) a más de L 2,000 (USD 166.67).

La calidad del agua almacenada en las pilas no se evaluó excepto por apreciación, y es alta, sin embargo, en algunas observaron larvas de zancudos porque no se había construido la cubierta protectora, la cual es necesaria

Otras consideraciones

Después de más de un año de uso, todos los participantes manifestaron estar muy satisfechos con los beneficios de las pilas, las cuales siguen utilizando y además existe interés en ampliar la capacidad o número de pilas en la finca. Respecto a otros criterios de la validación con una tecnología se considera el nivel de aceptación pues, tras una breve explicación, los cinco participantes decidieron implementar, costeados totalmente ellos todos los gastos, durante la implementación se brindó asesoría gratuita. La adopción de la tecnología es muy alta, pues tras más de un año de uso no solo continúan las pilas en uso sino que los productores desean ampliarlas o aumentar su número (uno lo hizo por iniciativa en 1992).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.8.-LA TRINIDAD, NICARAGUA

Mediante la asesoría de W. Santos (1992), se construyó un almacenamiento de agua utilizando concreto en la finca de un productor asociado al Proyecto Agrosilvopastoril, en la comunidad de Llano Largo, municipio de La Trinidad Nicaragua. En esta zona la población hace uso de agua almacenada por escorrentía superficial en lagunas cavadas manualmente, la cual es a veces consumida sin ningún tratamiento previo (Figura 40).

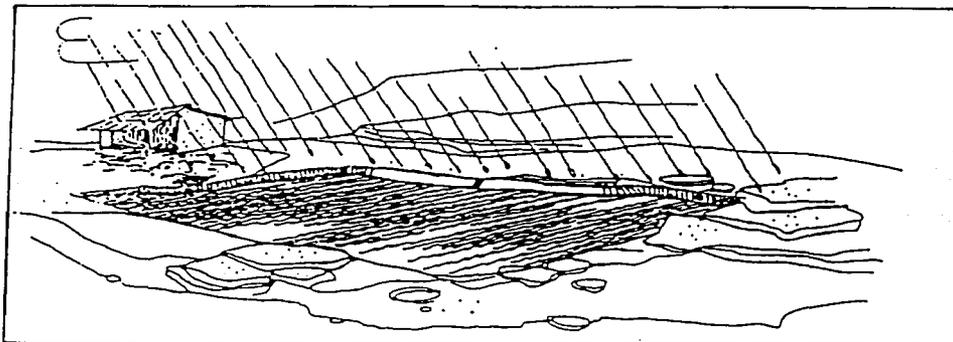


FIGURA 40. Almacenamiento de agua por una presa en la comunidad de El Llano , Nicaragua.

La precipitación promedio anual donde se ubicó el deposito de concreto es de 800 mm, el área de captación de agua de lluvia corresponde a 108 metros cuadrados de superficie techada de la casa. El deposito de concreto que se construyó, para investigar la tecnología de la región, es una pila rectangular de 4 m de ancho, 9 m de largo y 1 m de profundidad, para un volumen total de 36 metros cúbicos con las siguientes estructuras:

- 1 Muro para piso de arena, cemento , piedrin (piedra triturada) y bolón (piedra procedente de ríos).
- 1 Paredes (arena , cemento, hierro 1/4 de pulgada y ladrillos de barro).
- 1 Vigas y columnas (arena, cemento , piedrin, hierro de 3/8 de pulgada y 1/4 y alambre de amarre).
- 1 Piso o loza (arena , cemento , hierro de 3/8 de pulgada y 1/4 y alambre de amarre).
- 1 Repello (arena y cemento).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

1 Afinado (arena y cemento).

1 Filtros internos y externos (arena , piedrin, carbón vegetal, cemento y ladrillo de barro, instalados en la entrada de agua al tanque y a la salida).

1 Canales (de madera, zinc o tubos para riego).

El deposito de concreto fue techado con paja seca, aunque posteriormente se techará con zinc o teja de barro, para usarlo para captación, ampliando el área de captación en 36 metros cuadrados. Así , con un área de captación de 144 metros cuadrados, se consideró que un tanque de 36 metros cúbicos no esta sobredimensionado, al menos para los años con lluvia normal o superior.

Usos

El volumen almacenado durante las lluvias de 1992 fue de 4, 54 metros cúbicos de agua (con área de captación de solo 108 metros cuadrados), la cual fue utilizada por una familia de 5 miembros durante 3.7 meses (8.2 litros/persona/día), reduciendo el empleo de mano de obra (familiar o contratada) en 170 jornales para acarreo de agua, lo cual representa un ahorro de (USD 162.32) durante el periodo de aprovechamiento del agua de pila (asumiendo la existencia de un costo de oportunidad para dicha mano de obra).

El agua almacenada fue usada para el consumo humano y labores de cocina. Se usó un promedio de 40 litros por día durante 3,7 meses, aún habiendo captado solamente 4,54 metros cúbicos en el deposito.

En 1993, a pesar de la capacitación que se dio a la familia respecto al uso eficiente del agua almacenada y a que no se repararon algunas fisuras, al 30 de noviembre se contaba con un volumen de agua almacenada de 14,5 metros cúbicos. Asumiendo pérdidas normales de un 10%, 13,000 litros de agua a 75 litros/ familia/ día (casi el doble de lo que se consumió durante la estación seca 1992-93) alcanzarán para 173 días, prácticamente lo requerido durante la estación seca. Sin embargo, estos resultados enfatizan la necesidad de capacitar bien a las familias sobre el uso del agua y la necesidad de reparar los tanques cuando hay fugas evidentes.

Análisis de agua

Durante el mes de diciembre de 1992 y enero de 1993 se hicieron los análisis bacteriológicos y fisico-químicos del agua en el deposito y después de filtrada. Los análisis fueron realizados por el Instituto Nicaragüense de Acueductos y Alcantarillados (INCA).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Región I. Las muestras de agua filtrada (provenientes del grifo) se encontraron libres de contaminación fecal, las cuales obviamente se eliminaron a través del filtro, pues las muestras no filtradas presentaron, aunque bajos, niveles de contaminación de coliformes fecales. Esta contaminación es normal por exponerse el agua al medio ambiente, lo cual puede evitarse con un mejor techo (el techo de paja construido deja amplias entradas a la contaminación); sin embargo, el agua filtrada se considera apta para el consumo, pues cumple con las especificaciones de la Organización Mundial de la Salud.

Otras consideraciones

Años después de construido el deposito, la familia manifiesta plena satisfacción por la tecnología, pues para ellos representa la posibilidad de dedicar a otras actividades el tiempo destinado al acarreo de agua y contar con agua de calidad y relativamente abundante.

Respecto a la difusión de la tecnología, por ser esta forma de implementarla de alto costo, su difusión se logrará solamente con financiamiento. De hecho, con apoyo del MAG (Región 1), se han construido otros tres sistemas similares en la Comunidad de Llano Largo, Municipio La Trinidad (Estelí), con tanques o de 246 y 80 metros cúbicos. En particular, para la construcción del tanque de 80 metros cúbicos se utilizó piedra local en vez de ladrillo, lo cual bajó el costo de la construcción.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3.- EJEMPLOS NUMERICOS

4.3.1-Ejemplo de diseño de un Sistema de Captación de Agua Pluvial para cubrir el déficit de la época de sequía

Supongamos una situación de un lugar de un pueblo en una zona de clima cálido de México que tiene 600 habitantes, donde se necesita calcular el volumen total de las necesidades básicas de agua para una familia de 7 integrantes, según la tabla 6 (pag:46) las necesidades hídricas de consumo ascienden a 110 (litros/persona/día), también hay que diseñar una cisterna para almacenar el líquido durante 6 meses que es lo que dura la época de sequía, en la tabla 12, se muestra el reporte de la precipitación promedio mensual y anual.

Mes	Precipitación (mm)
Enero	25
Febrero	15
Marzo	10
Abril	20
Mayo	70
Junio	90
Julio	130
Agosto	150
Septiembre	90
Octubre	70
Noviembre	20
Diciembre	10
Total	700

Tabla 12. Precipitación promedio mensual para la zona

1. Procedimientos para cálculo de necesidades efectivas de agua

Se consideran seis meses de sequía de noviembre a fines de abril del siguiente año, de tal manera que para una familia de 7 personas durante 6 meses la cantidad de agua requerida se calcula de la siguiente manera:

$$7 \text{ Personas} \times 110 \text{ litros / personas / día} \times 180 \text{ días} = 138600 \text{ litros}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. Cálculo para el área efectiva de captación

Sin embargo hay que considerar que del total del agua de lluvia que cae sobre la superficie de captación solo una parte de esta llega a la cisterna debido a que existen ineficiencias en la conducción de agua por evaporación y absorción, entre otras, suponiendo un sistema como la trampa de agua de lluvia, formado por un área de captación de concreto hidráulico, obtenemos un coeficiente de escurrimiento $C = 0.7$ de la tabla 11 (pag:67) Por lo que se considera una eficiencia promedio de captación del 70%; la cantidad de agua efectiva captada, los meses en los que más llueve son de Mayo a Octubre, logrando entre estos una altura de precipitación acumulada de 600 mm:

$$600 \text{ mm} \times 0.7 = 420 \text{ mm} \text{ ó } 0.42 \text{ m}$$

Para calcular el área efectiva de captación se divide el volumen necesario a captar entre la altura de precipitación efectiva acumulada de Mayo a Octubre. Considerando que 1 metro cúbico = 1,000 litros, los 138600 litros a consumir equivalen a 138.6 metros cúbicos. De esta forma:

$$\frac{138.6 \text{ m}^3}{0.42 \text{ m}} = 330 \text{ m}^2$$

3. Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna

La cisterna debe almacenar el total del agua destinada para satisfacer la demanda durante la época de sequía por tanto su volumen mínimo debe ser de 138.6 metros cúbicos. La forma geométrica de la cisterna dependerá de las condiciones particulares del lugar, para este caso proponemos una cisterna rectangular:

Largo	5m
Ancho	8 m
Altura	3.5 m

Capacidad de la cisterna: 140 metros cúbicos.

Para evitar el exceso de espesores en las paredes de la cisterna, se sugiere diseñarla con las formulas de la sección 2.3 pags: 48-53.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.3.2.-Diseño de un Sistema de Captación de Agua Pluvial para surtir agua todo el año

Supongamos un lugar con precipitación media anual de 800 mm cuya distribución mensual se muestra en la tabla 13, diseñar un sistema de captación de agua pluvial, que abastezca a una familia de 6 miembros en un clima templado de una población de 1200 habitantes, de la tabla 6 (pag:46) obtenemos un consumo diario de 100 litros por persona, además se dispone entre el área del techo de la casa, un techo cuenca y una trampa de agua de 400 metros cuadrados de superficie de captación hechos los tres de concreto hidráulico.

Mes	Precipitación (mm)
Enero	15
Febrero	15
Marzo	20
Abril	30
Mayo	100
Junio	150
Julio	200
Agosto	100
Septiembre	70
Octubre	60
Noviembre	30
Diciembre	10
Total	800

Tabla 13. Precipitación promedio mensual para zonas templadas

1. Cálculo para las necesidades de agua

La metodología es similar a la del caso anteriores, pero en esta situación es necesario calcular las necesidades de agua por mes, considerando un promedio de días por mes de 365 días al año / 12 meses = 30.42 días / mes , así el consumo total por mes es:

$$(6 \text{ habitantes}) \times (100 \text{ lts / hab/ dia}) \times 30.42 \text{ dias / mes} = 18,252 \text{ lts / mes}$$

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2. Cálculo del área efectiva de captación

Obtenemos un coeficiente de escurrimiento $C = 0.7$ de la tabla 11 (Pag:67). Por lo que se considera una eficiencia promedio de captación del 70%, debido a que se cuenta con una superficie de 400 metros cuadrados para captar agua de lluvia y el coeficiente de escurrimiento es del 70%, el área efectiva de captación es:

$$400 \text{ metros cuadrados} \times 0.7 = 280 \text{ metros cuadrados}$$

3. Cálculo del balance de disponibilidad de agua

Utilizando los datos de precipitación mensual (cuadro anterior) y área efectiva de captación (280 metros cuadrados), se obtendrá el volumen de agua captado de cada mes, al que se le restará el consumo mensual promedio de (18.25 metros cúbicos) para obtener el balance de la disponibilidad de agua por mes. Durante la época de secas se espera un déficit en la captación de agua de lluvia respecto al consumo, este debe compensarse con el superávit de los meses lluviosos (Tabla 14).

Tabla 14. Balance de captación de agua de lluvia.

Mes	Precipitación (mm)	Volumen captado (metros cúbicos)	Balance (metros cúbicos)
enero	15	4.2	-14.05
febrero	15	4.2	-14.05
marzo	20	5.6	-12.65
abril	30	8.4	-9.85
mayo	100	28	9.75
junio	150	42	23.75
julio	200	56	37.75
agosto	100	28	9.75
septiembre	70	19.6	1.35
octubre	60	16.8	-1.45
noviembre	30	8.4	-9.85
diciembre	10	2.8	-15.45

+ Indica un exceso o superávit en la captación de agua de lluvia.

- Indica una falta o déficit en la captación de agua de lluvia.

Obtenemos la sumatoria de los déficits:

Déficits acumulados Vol = 81.05 metros cúbicos

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4. Cálculo para las dimensiones internas de la cisterna

Por lo tanto, el volumen de la cisterna debe ser suficiente para almacenar el déficit al que da origen la época seca, cuyo volumen asciende a 81.05 metros cúbicos.

Así , las dimensiones efectivas de la cisterna serán: de un lado 4 metros del otro lado 5 metros, por 4.2 metros de profundidad , para darnos un volumen de 84 metros cúbicos. Para evitar el exceso de espesores en las paredes de la cisterna, se sugiere diseñarla con las formulas de la sección 2.3 pags: 48-53.

CAPITULO V

CONCLUSIONES

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

5.1.- CONCLUSIONES DEL TRABAJO

En el siglo XX aumento muchísimo la población mundial y nacional, lo que ha generado una disparidad entre la cantidad de agua dulce disponible y la población humana, además esta problemática se complica debido a la explotación desmedida de los cuerpos de agua y los mantos freáticos, de tal modo que con una menor cantidad de agua dulce disponible hay que satisfacer a una cada vez mayor población. Por lo que se ha recurrido entre otras alternativas para resolver este problema a una vieja técnica: **la captación directa del agua pluvial.**

Los Sistemas de Captación de Agua Pluvial son de diversos tipos, y varían según la necesidad, el clima y los recursos disponibles, pudiendo variar las dimensiones del área de captación y de la cisterna para optimizarlas.

De lo expuesto en este trabajo podemos concluir lo siguiente:

- Del caso *Tlalpuente*, El Gobierno Federal, reconoce que se debería estar trabajando en el desarrollo de Sistemas de Captación de Agua Pluvial, pero no lo estamos haciendo, por no tener presupuesto para realizarlos.
- De el caso del programa desarrollado por el DIF en el estado de Oaxaca se concluye que los Sistemas de Captación de Agua Pluvial promueven entre los habitantes de las comunidades la participación activa en la identificación y evaluación en campo de alternativas técnicas para el manejo integral de los recursos naturales, aportando su mano de obra, materiales de la región y adaptándolas a las condiciones locales con el apoyo técnico de las dependencia estatales y las instituciones federales y centros de educación superior e investigación, teniendo en cuenta las decisiones de consenso comunitario.
- En el Sistema de Captación de agua en la *Huasteca Veracruzana*, se observa que el modelo desarrollado, se llenara únicamente con la precipitación que se presenta en la región, por lo que es importante el establecimiento y construcción de más captadores de agua de lluvia en las comunidades de los demás municipios tanto para el abastecimiento de la población como para el consumo del ganado.
- Del sistema de captación de agua pluvial en Honduras estos son los resultados: Después de más de un año de uso, los usuarios manifestaron estar muy satisfechos con los beneficios de las pilas recolectoras, las cuales siguen utilizando y además existe interés en ampliar la capacidad o número

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

de estos sistemas. Esta tecnología se puede promover debido a que se puede capacitar a los usuarios a un bajo costo.

A continuación daremos una reflexión de los tipos de Sistemas de Captación de Agua Pluvial:

Sistema en la que el área de captación es el techo de la vivienda: Este sistema tiene la ventaja de que le da un valor productivo a la estructura, pero solo es recomendable para zonas con abundante precipitación en las que un área no tan grande de captación sería suficiente para cubrir la cantidad de agua necesaria a ser captada.

Techos cuenca: Este tipo de sistemas es más costoso, pero al ser la única función del techo recolectar agua de lluvia, se pueden abaratar bastante los costos y disminuir los tiempos de construcción al emplearse elementos como piscinas prefabricadas y utilizar materiales livianos: concreto ligero y lamina delgada, también tiene la ventaja que se pueden usar materiales para el techo con un coeficiente de escurrimiento casi de uno, para lograr un máximo escurrimiento.

Trampas de agua de lluvia: Este tipo de sistemas es recomendable para aquellas zonas con pocas precipitaciones al año, ya que de unas cuantas lluvias se tiene que captar grandes volúmenes de agua y solo es posible obtenerlos por medio de extensas áreas de captación, estas áreas solamente son viables si son construidas al nivel del suelo.

Estanques: Este tipo de captación es la más rudimentaria, del agua captada, se tienen grandes pérdidas por infiltración y evaporación, esta agua no es apta para el consumo humano, sin embargo este tipo de captación de agua de lluvia es muy útil cuando lo que se quiere es reabastecer de agua a los mantos acuíferos.

En general de los Sistemas de Captación de Agua Pluvial concluimos:

- 1.- Inicialmente se recomiendan este tipo de sistemas solo para poblaciones dispersas menores o iguales a 100 habitantes. La razón para no encausar la solución a poblaciones mayores, se debe al alto costo, que desvirtuaría la bondad del programa requiriendo de soluciones más complejas como un sistema de acueducto.
- 2.- Libera el tiempo que los habitantes de la comunidad emplean para adquirir el agua de lugares distantes a su comunidad y este tiempo dedicarlo a actividades productivas.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

3.- Para comunidades urbanas muy saturadas de población estos sistemas no son muy recomendables ya que se requieren de grandes superficies de terreno para el área de captación y para los almacenamientos.

4.- Los Sistemas no son viables para zonas con contaminación atmosférica.

5.- El manejo eficaz del agua es el primer paso para aliviar la pobreza.

6.- Los sistemas están poco difundidos.

Los sistemas de Captación de Agua Pluvial, son una alternativa que ha demostrado su viabilidad desde hace cinco mil años, en el presente trabajo se demostró su gran eficiencia, es una alternativa poco utilizada, que se debe de empezar a aplicar a gran escala y generar modelos para aquellas comunidades del país que tengan déficits de agua para consumo: domestico y agrícola.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

BIBLIOGRAFIA

LIBROS:

Anaya Garduño, Manuel, Manual Técnico de Sistemas de Captación de Agua de Lluvia para uso Doméstico en América Latina y El Caribe, México, Editorial de la Agencia de cooperación técnica IICA-México, 1998.

Aparicio Mijares, Francisco Javier, Fundamentos de hidrología de superficie, Distrito Federal, Editorial Limusa, 2001.

Monsalve Sáenz, Germán, Hidrología en la Ingeniería, Santa fe de Bogotá, Editorial: Alfaomega, 1999.

Rodríguez, Alberto, Apuntes de clase del curso: Instalaciones Hidráulicas, Sanitarias y de Gas para Edificios, Distrito Federal, División de Educación Continua de la Facultad de Ingeniería, UNAM, Junio de 1992.

Rojas, Osain Dabian, Métodos hidrológicos para previsión de escurrimientos, México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1992.

Valdés, Enrique Cesar, Abastecimiento de Agua Potable, Vol. I, Distrito Federal, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994.

Zepeda, Sergio, Manual de Instalaciones: Hidráulicas, Sanitarias, Aire, Gas y Vapor, Distrito Federal, Editorial Limusa, 2001.

ARTICULOS EN LIBRO:

Caballero Aquino, Tertuliano, "El ferrocemento aplicado en obras de captación de agua de lluvia, en Oaxaca", pp 186-196, en: Manuel Anaya Garduño et al (ed.), Memorias de la VI Reunión Nacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, 25 al 28 de octubre de 1999, Jalapa, Veracruz, Editora del Gobierno del Estado de Veracruz .

Calderón Solano, Miguel Armando, "Captación de agua de lluvia para el uso y manejo integral del traspatio. Una experiencia en el municipio de Tuxpan, Jalisco. En la comunidad El Poblado donde se implemento la casa modelo" pp 134-141 en: Manuel Anaya Garduño et al (ed.), Memorias de la VI Reunión Nacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, 25 al 28 de octubre de 1999, Jalapa, Veracruz, Editora del Gobierno del Estado de Veracruz.

Sotres Narváez, Dinhora et al, "Captación, Manejo y Conservación de Agua de Lluvia y Humedad Relativa", pp 111-121, en: Manuel Anaya Garduño et al (ed.), Memorias de la VI Reunión Nacional Sobre Sistemas de Captación de Agua de Lluvia, 25 al 28 de octubre de 1999, Jalapa, Veracruz, Editora del Gobierno del Estado de Veracruz.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

REVISTAS:

González, Margarita Esther, "Petra, Una ciudad esculpida en piedra", Yuelo , Diciembre del 2001, No.95, pp 60-64, Editorial: Medios Publicitarios Impresos.

Montaigne, Fen, "La presión del agua", National Geographic, Septiembre del 2002, No.3, pp 2-33, Editorial Televisa.

PERIODICOS:

Alcaraz, Yetlaneci, "Tlalpuente, En donde nunca escasea el agua", El Universal, 22 de Marzo del 2002, Sección B, pp 4.

Estrada, José David, "Ríos que dividen", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 24.

Hernández, Erika et al, "Reclaman compensación", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 22.

Millán, Daniel, "El reto del Milenio", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 4.

Millán, Daniel, "Factor de tensión con Estados Unidos", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 23.

Muñoz, Sergio, "La presa de la discordia", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 25.

Reyes, Carlos, "En el país de las pipas", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 20.

Taniguchi, Hanako, "Un popote de 140 kilómetros", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 15.

Taniguchi, Hanako, "Tarifas baratas y falta de liquidez", Reforma, 8 de Julio del 2002, Suplemento especial: Agua, El desafío, pp 18.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN