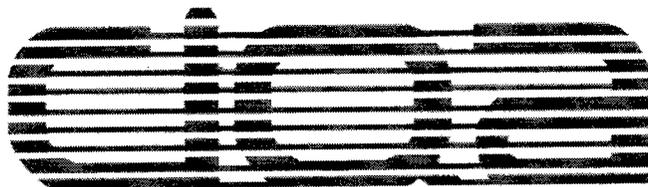


CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**RECUBRIMIENTO DE BORDOS DE CAPTACIÓN DE
AGUA CON GEOMEMBRANAS PLÁSTICAS PARA
MINIMIZAR LAS PERDIDAS POR INFILTRACIÓN**

CASO DE ESTUDIO

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

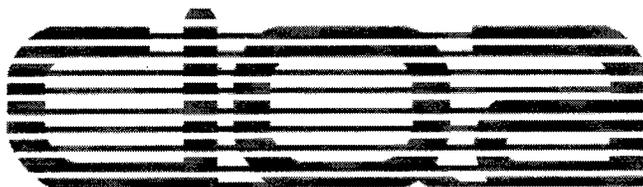
PRESENTA:

Ing. EDDY TRINIDAD ANGEL

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO, 2012.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



**RECUBRIMIENTO DE BORDOS DE CAPTACIÓN DE
AGUA CON GEOMEMBRANAS PLÁSTICAS PARA
MINIMIZAR LAS PERDIDAS POR INFILTRACIÓN**

CASO DE ESTUDIO

**PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:**

**ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA**

PRESENTA:

Ing. EDDY TRINIDAD ANGEL

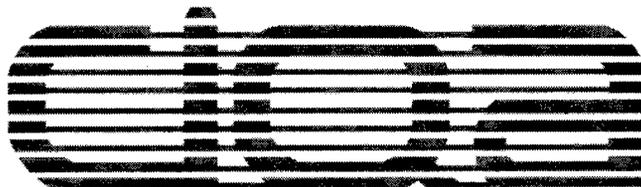
ASESOR:

M.C. Eduardo Alfonso Treviño López

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO, 2012.

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



RECUBRIMIENTO DE BORDOS DE CAPTACIÓN DE AGUA CON GEOMEMBRANAS PLÁSTICAS PARA MINIMIZAR LAS PERDIDAS POR INFILTRACIÓN

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO
DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA
OPCIÓN: AGROPLASTICULTURA

PRESENTA:

Ing. EDDY TRINIDAD ANGEL

SINODALES:


Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar


Dra. Hortensia Ortega Ortiz

SALTILLO, COAHUILA

AGOSTO, 2012.

AGRADECIMIENTOS

A Dios:

Por haberme dado esta vida guiándome por el camino del bien, abriéndome puertas para poder ser una persona más fuerte, segura y capaz de afrontar cualquier obstáculo que se presente cada día.

A mis Asesores:

M.C. Eduardo Alfonso Treviño López , Dr. Ricardo Hugo Lira Saldivar y la Dra. Hortensia Ortega Ortiz. Que me brindaron parte de su tiempo y recursos con la finalidad de ayudar en la realización de este trabajo.

AL CONACYT:

Quiero agradecer a esta institución por apoyarme en lo económico, para poder seguir realizando mis estudios profesionales.

A la Administración del CIQA

Dr. Luis Ernesto Elizalde Herrera, M.C. Gladys de los Santos Villareal, Nancy G. Espinosa Pinales e Imelda Vargas. Y todo el personal administrativo sin excepción, les quiero agradecer de todo corazón que en las buenas y en las malas, se portaron muy bien conmigo para salir adelante y terminar mi especialidad.

A los Trabajadores del CIQA:

Gracias a todos los trabajadores del departamento de Agroplásticultura que brindaron su amistad y convivencia, además de regalarme un bocado cada día, siempre me los llevaré dentro en mi recuerdo, ya que formaron parte de mi familia durante la especialidad.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Bersain Trinidad Morales

Candelaria de Jesús Ángel Chacón

Por su total e incondicional cariño y apoyo económico durante mi vida. La paciencia, la dedicación que brindaron para la realización de una meta y alcanzar los objetivos, a través de los consejo y ánimo dado que me fortalecieron durante toda mi carrera.

A mis Hermanos:

Ing. Hugo Alberto Trinidad Ángel

Teresa de Jesús Trinidad Ángel

Ing. Samuel Trinidad Ángel

Rosa Elena Trinidad Ángel

Por brindarme su apoyo incondicional en los momentos de dificultad y angustia, gracias porque me ayudaron a seguir adelante en mis estudios profesionales.

A mis Tíos:

Gracias por todo su apoyo, el entusiasmo que me mostraron a lo largo de toda mi carrera, por sus consejos y ánimo, los quiero y admiro como si fueran mis padres.

A mis Abuelos:

A ellos por la gran sabiduría y enseñanza de la vida, pues me ayudaron a corregir mi camino. A ellos les debo parte de mi vida y de mis estudios profesionales.

A mis amigos:

Dr. Antonio Flores Naveda y M.C. Gerardo Ontiveros. En general a todos, por el apoyo a lo largo de toda mi carrera; por sus consejos y ánimo y por haberme hecho sentir como si estuviera en mi casa.

CONTENIDO

	Página
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CUADROS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
RESUMEN	viii
SUMMARY	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS DEL CASO DE ESTUDIO	2
III. REVISION BIBLIOGRÁFICA	3
3.1 Antecedentes.....	3
3.2 Recubrimiento con geomembrana.....	4
3.3 Características de las geomembranas.....	5
3.4 Geomembranas calandreadas.....	6
3.5 Geomembranas extruidas.....	6
3.6 Tipos de geomembranas.....	6
3.6.1 Las geomembranas de polietileno.....	6
3.6.2 Geomembranas de polietileno de alta densidad.....	7
3.6.3 Geotextiles.....	7
3.7 Captación de agua para almacenar a través de la geomembrana.....	8
3.8 Materiales impermeabilizantes para bordos de almacenamiento.....	9
3.8.1 Membranas sepultadas.....	9
3.8.2 Membranas cubiertas con tierra.....	9
3.8.3 Membranas cubiertas con tierra y canto rodado.....	10
3.8.4 Membranas cubiertas con ferrocementos.....	10
3.8.5 Membranas expuestas.....	10
3.8.6 El caso de una membrana fabricada <i>in situ</i>	10
3.9 Longevidad de las membranas.....	11
3.10 Retardantés de la evaporación.....	11
3.10.1 Membranas.....	12

3.10.2 Hule butilo reforzado con nylon.....	12
3.10.3 Techos.....	12
3.10.3.1 Los techos estructurados.....	13
3.10.3.2 Los techos no estructurados.....	13
3.11 Placas suspendidas de material vegetativo.....	13
3.12 Materiales impermeabilizantes y retardantes de la evaporación.....	14
3.12.1 Piedra bola pintada de blanco.....	14
3.12.2 Botellas de vidrio pintadas interiormente de blanco.....	14
3.12.3 Botellas de plásticos.....	14
3.12.4 Botes de aluminio.....	14
3.13 Elementos por considerar para la construcción de reservorios.....	14
3.13.1 Selección del sitio.....	14
3.13.1.1 Topografía.....	15
3.13.1.2 Textura del suelo.....	15
3.13.1.3 Ubicación.....	16
3.13.1.4 Fuente de agua y área de drenaje.....	16
3.13.1.5 Definición del volumen de agua posible de capturar.....	17
3.13.1.6 Evaporación.....	17
3.13.1.7 Infiltración.....	18
3.13.1.8 Agua de reserva.....	18
3.14 Construcción de un reservorio.....	19
3.15 Taludes para presas de material homogéneo.....	21
3.16 Instalación de las geomembranas.....	22
3.16.1 Preparación del terreno.....	22
3.16.2 Preparación del soporte.....	22
3.16.3 Inspección de los trabajos de excavación.....	23
3.16.4 Transporte y almacenamiento.....	23
3.16.5 Plan de montaje.....	23
3.16.6 Colocación de la geomembrana.....	23
3.16.7 Anclaje de la geomembrana.....	24
3.16.7.1 Anclaje de coronación.....	24

3.16.7.2 Anclaje intermedio.....	25
3.16.7.3 Anclaje de fondo.....	26
3.16.8 Unión de mantas de geomembrana continuas.....	27
3.16.9 Procedimiento de la unión entre los plásticos de las geomembranas.	27
3.16.9.1 Colocación de la geomembrana.....	27
3.16.9.2 Preparación de la soldadura.....	28
3.16.9.3 Aplicación de limpieza “quick prime”.....	28
3.16.9.4 Instalar la banda autoadhesiva.....	29
3.16.9.5 Comprobar la alineación de la banda.....	30
3.16.9.6 Retirar el papel protector.....	30
3.16.9.7 Unión entre los plásticos	31
3.16.10 Casos de geomembrana que requiere una atención especial.....	31
3.16.11 Protección de la geomembrana.....	32
3.17 Calidad de los materiales empleados para la construcción de presas.....	33
3.18 Situación del agua en México.....	33
3.19 Impulso de nuevas alternativas para el suministro de agua.....	35
IV. ESTADO ACTUAL DE CONOCIMIENTO.....	37
V. CONCLUSIÓN.....	39
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	40

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Eficiencia de escurrimiento del agua estimado en superficies del suelo.....	17
2	Taludes para presas de material homogéneo.....	20
3	Las ventajas y desventajas de estos tres sistemas en la instalación de la geomembrana.....	22
4	Valores de la sección de la zanja para un suelo arcilloso y compactado.....	25
5	Protecciones de las geomembranas.....	32
6	Calidad de los materiales empleados para la construcción de presas	33
7	Incremento de la población presentando una proyección hasta el año 2030.....	34
8	Disponibilidad de agua en México.....	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1	Recubrimiento con Polietileno de alta densidad (HDPE).....	5
2	Polietileno de alta densidad.....	7
3	Rollos de geotextiles.....	7
4	Geomembrana para captación de agua.....	8
5	Depresión natural que podría servir como reservorio.....	15
6	Posible ubicación de un sitio para una geomembrana.....	16
7	Construcción de un estanque.....	20
8	Clasificación de muros según el material de elaboración.....	21
9	Anclaje en coronación con zanja y con lastrado.....	25
10	Anclaje intermedio.....	26
11	Anclaje de fondo con lastre.....	26
12	Anclaje de fondo con zanja.....	27
13	Colocación de la geomembrana.....	28
14	Aplicación de un agente limpiador “QuickPrime” sobre la geomembrana.....	29
15	Instalación la banda autoadhesiva.....	29
16	Comprobar la alineación de la banda.....	30
17	Retirar el papel protector.....	30
18	Cerrado de la junta.....	31
19	Refuerzo en la unión vertical.....	31
20	Geomembrana de carbofol.....	37

RESUMEN

Las geomembranas representan una técnica consolidada para el cubrimiento a largo plazo de las estructuras hidráulicas, nuevas o existentes, las cuáles han sido utilizadas en todo el mundo durante más de 50 años.

Las geomembranas son cada vez más utilizadas como barrera y protección de bordo contra las infiltraciones en proyectos hidráulicos en nuevas construcciones y en rehabilitaciones, debido a sus características que les permiten resistir a los efectos de asentamiento y radiaciones solares etc.

El uso de geomembranas abarca desde proyectos exigentes de alta tecnología, tales como aquellos en los que las geomembranas están expuestas sobre presas y también para proyectos en los que la geomembranas está cubierta o en condiciones menos exigentes tales como la construcción de bordos, canales de riego y embalses.

Las primeras aplicaciones se realizaron sobre las presas de material suelto porque siendo intrínsecamente permeables estas presas o construcciones de bordos necesitan de un elemento separado para proporcionar estanqueidad. El concepto de usar geomembranas sintéticas resistentes a sustituir a los materiales impermeables tradicionales como arcilla, hormigón o concreto entre otras, del buen desempeño recubierto con geomembranas a través de PVC o polietileno hecho en todo el mundo en numerosas presas de tierra que se basan en su utilización para detener la infiltración de agua en las juntas.

SUMMARY

Geomembranes are an established technique for long-term coverage of hydraulic structures, new or existing. They have been used worldwide for over 50 years.

Geomembranes are increasingly used as a barrier and protection against infiltration board in water projects in new construction and renovations, due to its characteristics that enable them to withstand the effects of solar radiation settlement and so on.

The use of geomembranes challenging projects ranging from high technology, such as those in which the geomembrane is exposed on dams and also for projects where the geomembrane is covered or in less demanding conditions such as construction of dikes, irrigation canals and reservoirs.

The first applications were made on the dams of loose material as being inherently permeable constructs these dams or levees need a separate element to provide sealing. The concept of using geomembranes resistant synthetic substitute for traditional impervious materials such as clay, concrete or concrete bitumoso comes, among others, the good performance coated PVC geomembranes through polyethylene or indeed throughout the world in numerous earthen dams that based on its use to stop water infiltration into the joints.

I. INTRODUCCIÓN

Diversas sociedades humanas han luchado por su sobrevivencia durante varios milenios en ambientes áridos, semiáridos y secos, donde hay carencia de agua. Los sistemas de captación y aprovechamiento de agua de lluvia con geomembranas ayudan a resolver los problemas de abastecimiento para uso doméstico y riego, asimismo, representan opciones reales para incrementar los volúmenes disponibles de agua.

Lamentablemente, en América Latina y el Caribe, su utilización aún es limitada. Debido a esto, los gobiernos y comunidades buscan estrategias y unifican esfuerzos para enfrentar la creciente demanda, de ahí la urgencia de masificar la cultura del buen aprovechamiento del agua, mediante campañas masivas, utilizando todos los medios de comunicación y estableciendo programas y proyectos que conduzcan a mejorar el nivel de vida de los vecinos de zonas rurales (Armendáriz, 1994).

En ese sentido, producir agua es un término poco familiar por tratarse de un recurso que hasta hace poco era de fácil acceso, pero su escasez como problema global nos obliga a comprender que se corre el riesgo de su inminente agotamiento. Producir agua debe entenderse como las acciones encaminadas a proteger y recuperar las áreas vitales para la existencia del agua, como son las zonas de filtración, áreas de recarga acuífera, ríos y lagos (Farrera, 2000).

La cosecha de agua de lluvia puede entenderse como una forma de producir agua. Así, el almacenamiento de agua en reservorios es de suma importancia para la producción de cultivos rentables en una región donde hay escasez de agua. Además, la represa tiene su utilidad en el uso doméstico o como abrevadero para el ganado, pues reduce la inundación y sedimentación de la parte inferior de la represa, entre otros beneficios (Cubero, 1996).

Es así que la utilización de reservorios en donde se almacene agua de lluvia puede ayudar a reducir la explotación de aguas superficiales y subterráneas, a la vez, permite el aumento de producción, mediante la implementación de nuevas áreas de cultivo que utilicen el riego.

II. OBJETIVO DEL CASO DE ESTUDIO

Obtener información reciente sobre el recubrimiento de bordos de captación de agua con geomembranas plásticas para minimizar las pérdidas por infiltración a través de la recopilación en artículos, libros, páginas de internet, etc.

1.1. El objetivo del uso de recubrimientos de bordos de captación de agua con geomembranas comprende lo siguiente:

- a) Que sea una solución eficiente y eficaz en la retención del agua para satisfacer las necesidades de todo ser vivo.
- b) Disminuir las infiltraciones del agua mediante el uso de materiales plásticos como las geomembranas.
- c) Aumentar estos materiales para el aprovechamiento del agua y reducir la escasez del agua en zonas áridas y semiáridas.

III. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1 Antecedentes

Recubrimiento de bordos de captación de agua con geomembranas se han utilizado desde 1980, y su uso ha crecido constantemente como resultado de la preocupación por la preservación de los recursos acuíferos. Hoy en día es común encontrar regulaciones que piden el uso de geomembranas para contención, revestimiento y cerrado o capsulado (Conagua, 2008).

La aplicación de las geomembranas para la impermeabilización de las estructuras hidráulicas se remontan a hace más de medio siglo. Las geomembranas (varios tipos de revestimiento) fueron por primera vez empleadas en las estructuras hidráulicas inmediatamente después de la segunda guerra mundial, varios tipos de revestimiento. La instalación de geomembranas en las presas comenzó en Europa a finales de 1950 con la construcción de nuevas presas de materiales sueltos y se extendió progresivamente a la rehabilitación de todos los tipos de presas, y para la construcción de nuevas presas.

En los años 70, el uso de geomembranas en los embalses de las presas de materiales sueltos se extendió a la rehabilitación de las nuevas presas, en el decenio 1980 a la impermeabilización de las nuevas presas. El PVC que ha sido el primer tipo de geomembrana adoptadas sobre las presas, es también el único que se ha instalado en presas muy grandes (Pérez, 1989).

Las geomembranas se encuentran en una serie de presentaciones y con propiedades físicas, mecánicas y de resistencia química, diseñadas para satisfacer las necesidades de una amplia gama de funciones. Diferentes combinaciones de estas cualidades existen en varios materiales geosintéticos para cubrir un amplio espectro de utilidades geotécnicas. Cada material ha sido desarrollado bajo elevadas técnicas de control de calidad que determinan su manufactura y la misma instalación (Blanco, 1998).

Para la elección de la geomembrana adecuada es necesario basarse en la aplicación que se le dará y las condiciones de uso a las que estará sometida, el tipo de superficie en que se va a colocar, el tipo de fluido o contenido que va a cubrir y la geometría civil del proyecto, porque para ello se toman en cuenta las cualidades de la geomembrana como durabilidad, flexibilidad, comportamiento químico y desempeño mecánico.

Son diversas las ventajas en el uso de geomembranas, entre de las que podemos mencionar principalmente su alta resistencia a varias sustancias químicas, su muy baja permeabilidad, una alta resistencia a rayos ultravioleta y a una amplio margen de temperaturas, un tiempo de vida largo, su fácil instalación y reparación por técnicos calificados, lo que en conjunto nos da una excelente relación costo-beneficio (Armendáriz, 1994).

Las geomembranas son membranas impermeables ampliamente utilizadas como impermeabilizantes inferiores y revestimientos, y en los últimos años se utilizan sobre todo en canales y estanques.

Las geomembranas es uno de los tipos más comunes de geosintéticos y son un tipo de manta de plástico, elástico y flexible. La mayoría son fabricados con polietileno de alta densidad o policloruro de vinilo (PVC). Tienen excelente funcionamiento cuando se utilizan como revestimiento impermeabilizante y su uso principal es en lagos artificiales, la decantación, por lo tanto, preservan el medio ambiente evitando la contaminación de suelos, aguas subterráneas y afluentes cercanas (Amanco, 2010).

3.2 Recubrimiento con geomembrana

La geomembrana es un tipo de material sintético de larga duración, elaborado a base de polímeros sintéticos usados para impermeabilizar depósitos de agua. Recubrir la superficie de obras de almacenamiento de agua para impedir la filtración y la contaminación del líquido a través del fondo de la estructura.

En la selección del tipo de geomembrana se debe procurar que se mantengan las propiedades de impermeabilidad, durabilidad ante los rayos solares, tensión mecánica (producida por la presión hidrostática), y resistencia al funcionamiento (acción de las raíces). El transporte del material a la obra debe realizarse con "mantas" del mayor tamaño posible, para reducir las juntas. La unión se realiza por adhesivos (resinas) o termofusión cuña caliente (Vázquez y Rodríguez, 1982).

El terreno donde se instale la geomembrana deberá estar debidamente compactado, conformado (ser estable), seco, exento de raíces y libre de elementos punzo cortantes (piedras y guijarros). Para la unión de la geomembrana con las estructuras de entrada de aportaciones, la obra de excedencias, y la obra de toma; es común realizar pliegues en trincheras de anclaje.

Las pérdidas por recortes, solapes, anclajes y pliegues suelen ser del 5 al 10% del área de proyecto. En lugares con niveles freáticos someros, se aconseja cavar en la periferia de la obra de almacenamiento una zanja de drenaje para que baje el nivel freático y se eliminen eventuales bolsas de aire. Para asegurar la estabilidad de los taludes (en seco o en saturación) se sugiere por lo general una pendiente 2:1 y una altura de agua máxima de 10 m. Si se recubre la geomembrana con tierra, los taludes serán 3:1 (Díaz y López, 2002).



Figura 1. Recubrimiento con polietileno de alta densidad (HDPE). Fuente: (Urrea, 2012).

3.3 Características de las geomembranas

Las geomembranas son láminas impermeables fabricadas con materiales sintéticos y cuya principal función es la de impermeabilizar el suelo. Entre los principales materiales destacan: el caucho-butilo, el Polietileno de alta densidad (HDPE), el Polietileno de Baja densidad (LDPE), el Cloruro de Polivinilo (PVC) y el polipropileno (PP). Su espesor va desde los 0.5 mm hasta los 3 mm de espesor. Para la contención de agua es común utilizar geomembranas de 1 y 1.5 mm de espesor (para alturas de agua de más de 4 m).

Según el material cada tipo de geomembranas tiene diferentes características que afectan a los procedimientos de instalación, vida útil y el rendimiento. Por ejemplo, las geomembranas de PVC son muy flexibles y, en consecuencia, puede ajustarse a superficies irregulares sin llegar a ser perforados; pero el Polipropileno, es muy susceptible a los rayos UV, por tanto, no debe usarse en aplicaciones donde este expuesta o de lo contrario se hará quebradizo y frágil (Aguilar, 1994).

Las geomembranas son mantas de plástico relativamente impermeables. Hay dos categorías generales de geomembranas:

- a) Calandreadas y extruídas
- b) Barreras sintéticas de muy baja permeabilidad
- c) Materiales más comunes: polietileno, polipropileno, PVC.

3.4 Geomembranas calandreadas

Estas geomembranas se forman mediante la temperatura, el manejo y aplanado de una pasta viscosa fundida por una maquina, por medio de rodillos calientes rotatorios colocados adecuadamente. Las geomembranas más comunes son de PVC, polietileno clorosulfonado (CSPE), polietileno clorado (CPE), y más recientemente del PP (Falcón, 2005).

3.5 Geomembranas extruídas

Las membranas extruídas se fabrican fundiendo resinas poliméricas, y pasándolas por un troquel con mecanismo de tornillo. La hoja se forma ya sea mediante un troquel con planos horizontales o por medio de un troquel circular orientado verticalmente para formar o una lámina plana, ancha, movida sobre una banda continua, o un tubo cilíndrico de "película soplada" llena de aire, la cual es prensada y jalada por rodillos cortadores que están montados por encima del troquel (Horton, *et al.* 1994).

Las geomembranas de película soplada deben cortarse antes de enrollarlas. Las geomembranas extruídas comunes incluyen un HDPE y otro polietileno de baja densidad o muy flexible (VFPE). El PP es un tipo de geomembranas tensionada (así como flexible) relativamente nuevo (Horton, *et al.* 1994).

3.6 Tipos de geomembranas

Lisa, texturizada, pigmentada, conductiva, alta resistencia química, alta y baja densidad, resistencia mecánica o elongación.

3.6.1 Las geomembranas de polietileno

Las membranas de polietileno están compuestas de polímeros especiales que suministran una excelente protección al sitio ya que cuentan con la resistencia y el espesor suficientes para impedir la falla debido al esfuerzo físico (Velasco, 1991).

3.6.2 Geomembranas de polietileno de alta densidad

Se usan para la impermeabilización de techos, invernaderos, lagos y lagunas artificiales, canales de riego y proyectos acuícola y piscícolas.



Figura 2. Polietileno de alta densidad. Fuente: (Pavco, 2012)

3.6.3 Geotextiles

Usado para la protección de algunas de lixiviados, tratamientos de aguas, diques de contención secundaria, fosas de aguas residuales, tuberías y ollas de captación de aguas pluvial.

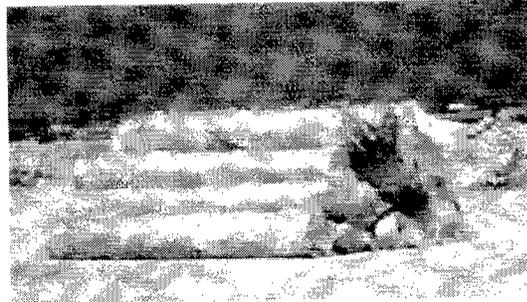


Figura 3. Rollos de geotextiles. Fuente: (Durán, 2010).

Las geomembranas están compuestas de polímeros especiales que suministran una excelente protección al sitio ya que cuentan con la resistencia y el espesor suficiente, esto aunado con una instalación apropiada genera un excelente revestimiento de amplia utilización, ayudando a que componentes de los líquidos residuales no se filtren. Estos, materiales resisten los rayos solares y la degradación por lixiviado (Cubero, 1996).



Figura 4. Geomembrana para captación de agua. Fuente: (Geosur, 2009).

3.7 Captación de agua para almacenar a través de las geomembranas

El almacenamiento de agua en una geomembrana permite al productor agropecuario tener un suministro de agua de buena calidad en el verano o durante las sequías o veranillos que se presentan en invierno. Las geomembranas se pueden construir para almacenar aguas de escorrentía provenientes de quebradas y ríos, o para capturar aguas llovidas, lo que se puede definir como cosecha de agua de lluvia. En ese sentido (Nasr, 1999) define la cosecha de agua como “la recolección del agua de escorrentía para su uso productivo”, mientras que, según (Farrera, 2000), la captación de agua de lluvia está definida como “la recolección de escorrentía superficial para su uso productivo, y que puede lograrse de las superficies de tejados, así como de corrientes de agua intermitentes o efímeras”.

Tomando en cuenta la relación entre el área de recolección y el área de depósito del agua se pueden anotar las siguientes categorías para cosecha de lluvia:

- a) Cosecha de agua en techos.
- b) Cosecha de agua para consumo animal.
- c) Cosecha de agua interlineal.
- d) Microcaptación.
- e) Captación de mediana escala o macrocaptación.
- f) Captación de gran escala (áreas de captación con muchos kilómetros cuadrados, necesitan estructuras muy complejas y grandes redes de distribución).

3.8 Materiales impermeabilizantes para bordos de almacenamiento

Como se mencionó anteriormente, en el medio rural de la zona árida y semiárida de México, el agua para consumo humano y consumo animal se toma de las presas de tierras o estanques. El agua concentrada en las tierras es agua de lluvia y, una vez en estos recipientes, queda expuesta a todo el rigor del fenómeno evaporativo y a las máximas velocidades del proceso de la infiltración (Aguilar, 2009).

En la mayoría de los casos, el agua disponible superficialmente en estos recipientes tiene una duración promedio de 3 a 6 meses, no obstante que se llama parcialmente varias veces durante el periodo lluvioso.

Es importante señalar que en la actualidad, en diversas partes de la zona árida del mundo, se emplean membranas impermeabilizantes para suspender las pérdidas de agua por filtración. En los recipientes de piso de tierra, las membranas disponibles para este propósito, se dividen en dos tipos de acuerdo con sus posibilidades de uso: geomembranas sepultadas y geomembranas expuestas (Villalobos, 2002).

3.8.1 Membranas sepultadas

Los materiales susceptibles de fácil intemperización o susceptibles a daños mecánicos, deben protegerse por una cubierta de suelo o algún otro material apropiado. Las experiencias de campo indican que todas las películas plásticas deben sepultarse y que los materiales a base de hule sintético pueden utilizarse sin ningún cubrimiento (Perotti, 2004).

3.8.2 Membranas cubiertas con tierra

Como fue indicado en la sección correspondiente a la preparación del terreno para cubrimiento con membranas y especialmente en el caso de cubrimiento con tierra, la excavación debe hacerse con un exceso de profundidad de 20 cm promedio en todas direcciones. Esto mantiene inalterado el volumen planeado de la cisterna y además permite el cubrimiento de la membrana.

El cubrimiento con tierra se inicia en el piso, para después continuar con los taludes y finalmente el bordo circundante. Cuando se planea proteger una membrana contra tráfico de animales o bien otros daños mecánicos, entonces el espesor de la capa de suelo para cubrimiento debe tener un mínimo de 25 cm y si se utiliza para este propósito es muy plástico, entonces el espesor debe ser mayor (Robledo, 1988).

3.8.3 Membranas cubiertas con tierra y canto rodado

Para este tipo de cubrimiento se requiere el mismo exceso de excavación que en el caso anterior, es decir, donde se emplea únicamente tierra. Además es importante aclarar que en este caso no se utiliza toda la tierra extraída, sino aproximadamente un 75%, puesto que tendrá que darse espacio a la piedra para emboquillar. Una vez aplicado el material plástico se cubre con tierra y se emboquilla simultáneamente el canto rodado en la capa de tierra, principiando con el piso del recipiente, para luego continuar con los taludes y finalmente llegar al bordo circundante (Villamizar, 1989).

3.8.4 Membranas cubiertas con ferrocemento

El exceso de excavación requerido cuando se va a emplear este tipo de cubrimiento, es de 3 cm promedio en todas direcciones. En el presente caso la tierra excavada en exceso no será empleada para cubrimientos.

Después de aplicar el material plástico en toda la superficie interna del recipiente se procede a cubrirlo con tela metálica (es recomendable la del tipo hexagonal) para luego hacer la aplicación de un mortero de arena y cemento, en un espesor de aproximadamente 2 cm. Este sistema de cubrimiento permite una proporción de taludes hasta de 0.5:1 (Morales y Rodríguez, 2010).

3.8.5 Membranas expuestas

Bajo condiciones de intemperismo semidesértico, donde se cuenta la mayor parte del año con una constante luminosidad radiante, los lapsos de humedecimiento son verdaderamente cortos y los cambios de temperatura son bastante severos, se tendrá que pensar en membranas más gruesas y menos vulnerables a esta clase de intemperismo (Velasco, 1991).

3.8.6 El caso de una membrana fabricada in situ

En este caso se trata de una membrana fabricada en el sitio de trabajo. Para este propósito se coloca la tela de poliéster sobre la superficie del suelo debidamente preparada. La tela se aplica con un mínimo del 1% de exceso (o soltura) en cada dirección, con el propósito de compensar el encogimiento. Una franja de la orilla del poliéster debe acomodarse pegada a las paredes y el fondo de la zanja circundante a la cisterna, estanque o cualquier recipiente de tierra de que se trate. Una vez extendida la tela se humedece con una solución débil de jabón para luego saturarla con emulsión asfáltica que se aplica

uniformemente con escobas o cepillos. En seguida se aplica la emulsión asfáltica con arcilla que, por lo general, requiere ser diluida con agua antes de la aplicación (7.6 L del concentrado diluido hasta un total de 200 L con agua); la aplicación de la dilución se hace en la proporción de 2.3 L/m³. En seguida se coloca una película de polietileno calibre (10.000) sobre la superficie, con un exceso de 10% uniformemente distribuido (C.P., 1991).

Debe tenerse la certeza de que la membrana no está agujerada o dañada, y que el exceso de material está bien distribuido; es importante mencionar que la película de polietileno también debe sepultarse en la zanja circundante al igual que la tela de poliéster.

Una nueva capa de tela de poliéster es colocada sobre el polietileno, humedecida con la solución diluida de jabón y saturada con la emulsión asfáltica en la proporción indicada anteriormente (2.3 L/m³). Es necesario tener precauciones para no dañar el polietileno durante la colocación de la tela de poliéster. Después de la aplicación de la emulsión asfáltica se tapan y compactan las zanjas con tierra. Finalmente, una cubierta de emulsión asfáltica debe aplicarse en la proporción de 1.1 L/m² a la proporción de la membrana localizada arriba del perímetro y mojada (Anaya y Martínez, 2007).

3.9 Longevidad de las membranas

La duración de las membranas depende básicamente del tipo de material utilizado, y de la protección que se dé a los materiales contra los daños mecánicos y contra el deterioro causado por la luminosidad radiante (Rodríguez, 1981).

- a) Las membranas sepultadas tienen una vida estimada de 10 a 20 años.
- b) Las membranas expuestas de hule artificial, que no están sujetas a tensiones mecánicas, tienen una vida estimada de 15 a 20 años.
- c) A la membrana fabricada *in situ* puede considerársele una duración de 15 a 20 años. En el caso de esta membrana, es recomendable la aplicación del sello con emulsión asfáltica cada 5 años sobre la porción arriba del perímetro mojado.

3.10 Retardadores de la evaporación

Uno de los fenómenos físicos más difíciles de controlar bajo condiciones de campo es la evaporación del agua libre. Este fenómeno que continúa siendo imperceptible, hasta que alguien clava una regla verticalmente en el piso de un estanque y observa como descendiendo al nivel del agua, desde la última vez que observo la regla (Valverde, 2007).

3.10.1 Membranas

Las pérdidas de agua por evaporación son disminuidas o eliminadas por dos mecanismos: reduciendo la cantidad de energía radiante (solar) que llega al cuerpo de agua, o bien, reduciendo el transporte de vapor de agua hacia arriba de la superficie líquida. La reducción de la energía incidente es mucho menos significativa que la supresión del desprendimiento de vapor de agua a partir de la superficie líquida (Vera, 2000).

La cantidad de energía radiante que llega a la superficie del agua, puede reducirse sombreando la superficie líquida o reflejando la energía luminosa incidente antes que llegue a ésta o por una combinación de ambos mecanismo (Vera, 2000).

La eliminación del transporte de vapor de agua hacia arriba de la superficie líquida puede lograrse íntegramente, mediante la instalación de una barrera física continua, es decir una membrana (Gavande, 1972).

3.10.2 Hule butilo reforzado con nylon

En el mercado internacional se encuentran disponibles las membranas de hule butilo reforzadas con nylon, con un espesor de 1/32 de pulgada (0.79375 mm). Estas membranas pueden conseguirse en una sola pieza y se venden en diferentes tamaños. Su colocación es sencilla y consiste en anclar dicha membrana en una zanja circundante a la cisterna en la cual se previene la evaporación del agua. Cabe destacar que generalmente esta membrana es instalada en una cisterna previamente impermeabilizada con alguno de los diversos materiales antes descritos, pero fundamentalmente con membranas de hule butilo (Salinas y Morales, 2010).

3.10.3 Techos

Como ya se menciona uno de los mecanismos utilizados para disminuir la evaporación de una superficie de agua libre, consiste en sombrear la superficie líquida.

De esta manera, la energía luminosa incidente es interceptada por la cubierta o techo utilizado; la energía interceptada puede ser parcialmente absorbida o parcialmente reflejada. La cantidad de absorción y la cantidad de reflexión que tomen lugar, van a depender de la naturaleza del techo o cubierta (Velasco, 2000).

Los techos de cubiertas que se han utilizado, pueden ser estructurados y no estructurados. Tanto uno como otro son construidos para controlar la evaporación en cisterna cuyas dimensiones son de tal magnitud que permitan económicamente el empleo de este tipo de protección contra el fenómeno evaporativo (Velasco, 2000).

3.10.3.1 Los techos estructurados

Son construidos en aquellos casos en que la dimensión más corta de una cisterna es todavía de mayor longitud que las láminas que permiten su colocación sin soportes intermedios (Anaya y Martínez, 2007).

3.10.3.2 Los techos no estructurados

Son construidos cuando una de las dimensiones de la cisterna es un 4% menor que la longitud máxima longitud de la unidad laminar disponible en el mercado.

3.11 Placas suspendidas de material vegetativo

En el medio rural del semidesierto mexicano existe un considerable número de plantas cuyas características permiten utilizarlas para la construcción de cuadros o placas, para proveer sombra a volúmenes de agua almacenados en bordos (Rodríguez y Morales, 2010). Dentro de las plantas que podrían ser utilizadas para el propósito de crear sombra, pueden señalarse las siguientes:

- a) Gobernadora (*Larrea tridentata*): De esta planta se utilizan los tallos secos, una vez eliminado el follaje.
- b) Sotol chino (*Dasyllirion texanum*): El follaje del sotol chino por su longitud y su forma aplanada, se acomoda y compacta para la construcción de cuadros.
- c) Cedro blanco (*Juniperus flaccida*): De los tallos de este árbol pueden hacerse tabletas de 40 ó 50 cm de largo por 10 ó 12 cm de ancho y 1 cm de espesor, con las cuales se arman placas.
- d) Sotol padillo (*Dasyllirion longisimum*): Esta planta también llamada vara de cuete posee un follaje cuyas hojas tienen precisamente forma de vara, siendo de color verde y muy duras. Las hojas en forma de vara son cilíndricas y tienen una longitud promedio de unos 60 cm.

3.12 Materiales impermeabilizantes y retardantes de la evaporación

3.12.1 Piedra bola pintada de blanco

Se coloca dentro de la cisterna sobresaliendo 20 cm de la superficie del suelo; la capa de piedra superficial se pinto de blanco con el objeto de reflejar los rayos solares (Hernández y Herrerías, 2004).

3.12.2 Botellas de vidrio pintadas interiormente de blanco

Este tratamiento consistió en pintar de blanco el interior de las botellas para darles la propiedad reflectiva a la luz solar; posteriormente, se les colocó un corcho con parafina de 17 mm de diámetro con el objeto de mantener flotando las botellas en la superficie del agua. Estos recipientes miden en la parte más ancha 7.2 cm de diámetro y en la parte más angosta 2.6 cm de diámetro con una longitud de 20.3 cm tomando en cuenta lo que sobresale el corcho con parafina (Hernández y Herrerías, 2004).

3.12.3 Botellas de plástico

El tratamiento consistió en colocar botellas de plástico debidamente tapadas sobre la superficie del agua, las cuales deberían ser flotantes (Hernández y Herrerías, 2004).

3.12.4 Botes de aluminio

Al igual que los botes pintados de blanco, se unieron en sus extremos perforados con colma-dur-pasta, lo que les dio características flotantes; la diferencia con el tratamiento de los botes pintados de blanco, fue que los de aluminio no se pintaron, ya que este tipo de metal no permite el deterioro físico por oxidación (Hernández y Herrerías, 2004).

3.13 Elementos por considerar para la construcción de reservorios (Bordos)

3.13.1 Selección del sitio

El diseño y construcción adecuados de los reservorios son indispensables para asegurar el éxito de estas obras, además de hacerlos más fáciles de cuidar, más seguros y económicos.

De acuerdo con (Perotti, 2004) es ideal considerar los aspectos constructivos del reservorio escogiendo el punto más alto de la finca, de modo que el agua pueda llegar desde este punto hasta cualquier lugar de la propiedad. Sin embargo, no siempre es posible

tener las condiciones adecuadas para lograr lo anterior. Si la estructura solo puede ubicarse en un punto muy bajo, será necesario considerar la implementación de bombeo.

La selección del sitio adecuado es clave para el éxito del reservorio. Debe tomarse en cuenta la topografía del terreno, la textura del suelo, el destino donde se usará el agua y la disponibilidad de la fuente de agua; estos factores se detallan a continuación (Perotti, 2004).

3.13.1.1 Topografía

La ubicación ideal para un reservorio es una depresión natural ancha y plana con una garganta estrecha en el extremo inferior, que permita embalsar el agua con una represa transversal.

El sitio más económico es el que permite represar la mayor cantidad de agua, con profundidad suficiente, usando la represa de menor tamaño y con el mínimo movimiento de tierra. Deben evitarse sitios poco profundos, donde sea difícil controlar malezas, que podrían perjudicar la calidad del agua, debido a la descomposición de las malezas, así como áreas con nacientes de agua, quebradas o ríos permanentes (Chris y Stephen, 2005).

Para estanques excavados se escogen áreas planas, tomando en cuenta que por cada metro cúbico de agua almacenada, es preciso excavar y retirar un metro cúbico de tierra.



Figura 5. Depresión natural que podría servir como un reservorio Fuente: (CEMEDE, 2009). Una alternativa para aumentar la capacidad de almacenamiento sin incrementar la excavación, es usar la tierra removida para construir diques laterales, debidamente compactados, que permitan almacenar agua por encima del nivel natural del terreno.

3.13.1.2 Textura del suelo

Es preferible construir los estanques en suelos de texturas arcillosas, que al compactarse adquieren cierta impermeabilidad y estabilidad; sin embargo, si se emplean geomembranas de PVC o plástico, pueden construirse en suelos de texturas francas y arenosas (Chris y Stephen, 2005).

Los afloramientos de rocas, grava o arena, pueden causar problemas por la excesiva infiltración y por el debilitamiento de las estructuras, por lo que deben evitarse en lo posible, o bien, recubrirse con materiales impermeables y resistentes antes de construir el embalse (Chris y Stephen, 2005).

3.13.1.3 Ubicación

Debe procurarse la ubicación más ventajosa, de acuerdo con el uso del agua, para evitar la necesidad de bombeo. Si el estanque es para abastecer abrevaderos o agricultura, es ideal utilizar la gravedad para el transporte del agua, por lo que conviene ubicarlo en una zona elevada de la finca, pero con suficiente área de captación para llenarlo en invierno (Rocha, 2010).

En fincas extensas y en áreas planas es inevitable el uso de bombas. En caso de querer utilizar un reservorio, cuya fuente de agua sea un techo, es conveniente ubicarlo cerca de la construcción, para reducir costos en las tuberías de transporte del agua. De igual forma, el reservorio debe estar ubicado lo más cerca posible del lugar donde se utilizará el agua (Valverde, 2007).

3.13.1.4 Fuente de agua y área de drenaje

Si el estanque se llena con agua de escorrentía, es preferible que ésta provenga de pastizales cercados, con buena cobertura, para reducir el arrastre de sedimentos. En caso que la cantidad de sedimentos arrastrados sea alta, puede construirse una caja de sedimentación a la entrada del embalse (Alvares, 1994).

Otra manera de contener los sedimentos es realizando prácticas de control de erosión en el terreno, como es el establecimiento de barreras de contorno, montículos en contorno o medias lunas, barreras vivas, entre otros (Alvares, 1994).



Figura 6. Posible ubicación de un sitio para una geomembrana. Fuente: (CEMEDE, 2009).

3.13.1.5 Definición del volumen de agua posible de capturar

La posibilidad de capturar agua de lluvia combina muchas variables. Destacan la pendiente del terreno, que idealmente no debe ser menor de 3 ó 5%, la precipitación acumulada anual caída en el sitio, el área de captación de aguas y la posibilidad de almacenamiento.

Desempeñan un rol importante en los sistemas de distribución de agua, tanto desde el punto de vista económico, así como del funcionamiento hidráulico del sistema y del mantenimiento de un servicio eficiente.

Los reservorios elevados en las zonas rurales cumplen dos propósitos fundamentales:

- ❖ Compensar las variaciones de los consumos que se producen durante el día.
- ❖ Mantener las presiones de servicio en la red de distribución.

No toda la lluvia que cae en un área determinada puede ser capturada y almacenada, debido a pérdidas por infiltración, según el tipo de suelo y la evaporación. Teniendo en consideración este fenómeno, en el Cuadro 1 se presentan los valores de eficiencia del escurrimiento del agua en distintas coberturas de suelo.

Cuadro 1. Eficiencia de escurrimiento del agua estimado en superficies del suelo. Fuente: (Frasier y Myers, 1983).

Eficiencia de escurrimiento estimado	Tipo de Superficie
90%	Para superficies lisas, impermeables como techos en metal, en teja asfáltica, de concreto, entre otros.
80%	Para superficies en grava o pavimentadas.
60%	Para suelos tratados.
30%	Suelo en su estado natural.

3.13.1.6 Evaporación

La evaporación es el cambio de estado del agua de líquido a vapor. La cantidad de agua evaporada depende de la radiación solar, temperatura, viento y área de espejo de agua (Villalobos, 2002).

Se recomienda embalses profundos y de menores dimensiones para reducir la evaporación, así como el empleo de coberturas para aminorar el efecto de los factores ambientales (Villalobos, 2002).

3.13.1.7 Infiltración

La infiltración es el proceso en el cual el agua almacenada atraviesa el fondo y paredes del embalse y se profundiza en el suelo, alimentando las aguas subterráneas. Es decir, es el flujo de agua desde el suelo hacia las zonas no saturadas y saturadas. Los factores que afectan la infiltración son:

- Tipo de cubierta geomembrana
- Características hidráulicas del suelo
- Estado de humedad del suelo
- Intensidad de la lluvia o cantidad de agua de riego
- Calidad del agua
- Formación de costras superficiales
- Trabajos agrícolas

Las pérdidas por infiltración varían según la textura del suelo, el tipo de material de las geomembranas y las prácticas de construcción. Sin embargo, en un estanque bien construido, éstas deben ser insignificantes en suelos pesados, y no deben pasar de un 5% en suelos más permeables (Rocha, 2010)

Una alternativa para reducir la infiltración al mínimo, es el empleo de geomembranas, plásticos, o concreto, aunque su uso debe responder, tanto a criterios técnicos como económicos.

En nuestro país, el porcentaje de suelos pesados es muy poco (5%), por lo que impermeabilizar los suelos, normalmente es una práctica necesaria para evitar pérdidas por infiltración (Bill y Mia, 2003).

3.13.1.8 Agua de reserva

Mantener un volumen de agua de reserva evita que el estanque se seque demasiado y se agriete (si es de suelo) y además, si hay cobertura plástica o de geomembrana, es factible extraer los sedimentos con un grado de humedad, sin que le hagan daño a la cobertura. La profundidad del agua de reserva varía, según el uso deseado y la cantidad de sedimentos esperada.

3.14 Construcción de un reservorio

La construcción de un reservorio involucra básicamente dos tipos de diseños:

Diseño estructural: se refiere al sistema de muro (pantalla) que se va a utilizar como presa y cuya función es detener el cauce natural en una zona tras la cual se forma una represa (el estanque o piscina para almacenar agua).

Este muro, dependiendo del tamaño de la represa, especialmente, su altura o profundidad del reservorio, podrá ser desde lo más elemental (un tabique en madera o un muro armado en tierra o piedra) hasta una gran pantalla en concreto reforzado como se utiliza en las grandes represas para la generación de energía (Bill, 2003).

Diseño hidráulico: Determina las dimensiones requeridas para las tuberías de conducción y manejo de los niveles de almacenamiento del agua. En esto es importante conocer los Índices de lluvia propios de la zona donde se ubica la represa y disponer de sistemas de válvulas o vertederos, o combinaciones, para manejar el nivel del reservorio y evitar la sobrecarga de la presa (Bill, 2003).

Para un reservorio de riego se debe tener en cuenta el volumen de agua que se requiere almacenar, según la extensión de tierras que se desea regar. Después de esto, se debe proceder a buscar un punto adecuado para la ubicación de la presa (el muro), que se construirá transversalmente a la dirección de la corriente y en una ubicación donde las condiciones geológicas sean las adecuadas, es decir, que no tenga paredes con cocas fragmentadas o con lastre, lo que implicaría aumentos en costos por revestimientos con cemento, geomembranas etc. (Bill, 2003).

Se debe buscar una posición para el muro, de manera que éste se pueda construir sin tener que hacer mucha inversión en su cimentación y anclajes contra el fondo y paredes del cauce, respectivamente. El muro debe quedar al final de un tramo de la depresión, donde el agua se pueda represar formando un estanque suficientemente grande para la reserva que se requiere; y donde no haya peligro de derrumbe o desbordamiento en las paredes laterales del cauce (Amanco, 2010).

Lo mejor es tratar de encontrar una zona rocosa o donde el suelo tenga propiedades arcillosas y rocosas combinadas. Para evitar las filtraciones de agua por el fondo y taludes, es recomendable compactar el área de reservorio y proteger con polietileno (Perotti, 2004).

La zona de trabajo en cada etapa deberá estar tan seca como sea posible durante la construcción. También, las paredes deben contar con aliviadores de presión, los cuales son

sistemas de válvulas y tuberías que permiten que la corriente atraviese el muro, sin generar mucha presión, antes de terminar todo el muro.

Si la represa se construye aguas arriba del lugar de riego, se puede usar la presión por gravedad para riego. De otra forma, se requerirá bombeo para poder realizar actividades de riego. La construcción del estanque empieza con la remoción de la vegetación presente y de la capa de suelo superficial, que no es apta para construir los diques, porque no es estable (Valverde, 2007).

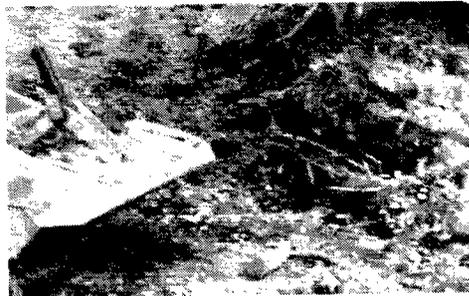


Figura 7. Construcción de un estanque. Fuente: (CEMEDE, 2009).

El material usado para el interior de la represa debe ser de textura adecuada, es decir, sin presencia de fragmentos de rocas, libre de materia orgánica y desechos, porque al descomponerse pueden causar fugas. Para la confección de taludes, el material debe esparcirse en capas de no más de 15 cm de espesor y compactarse bien, antes de colocar la siguiente capa (Cubero, 1996).

Todas las capas de material colocado deben humedecerse antes de compactarlas. Al construir los diques, la altura de diseño debe aumentarse un 10% para compensar el asentamiento. Los taludes dependen de la textura del material disponible y de la altura de los diques, de acuerdo con el Cuadro 2.

Cuadro 2. Taludes para presas de material homogéneo. Fuente: (Villamizar, 1989).

Material del terraplén	Altura de la Presa (m)	Talud aguas arriba	Talud agua abajo
Arcillas de baja plasticidad	Hasta 4.4-8	2:1, 2.5:1	1.5:1, 2:1
Arcilla arenosas	Hasta 4.4-8	3:1, 3.5:1	2:1, 2.5:1
Arena arcillosa, arcilla muy plásticas	Hasta 4	4:1	3:1

3.15 Taludes para presas de material homogéneo

Los terraplenes construidos con estos materiales requieren protección en los taludes, tanto el húmedo como el seco, para evitar la erosión en el caso de los materiales limo-arcillosos y el agrietamiento en el caso de suelos arcillosos y arcillo-arenosos.

Las protecciones más comunes de los taludes son la piedra para el talud húmedo y la tierra vegetal sembrada con pasto para el talud seco. Las arcillas expansivas, es decir, aquellas que sufren grandes cambios de volumen con los cambios de humedad, no son apropiadas para la construcción de terraplenes, debido a los cambios permanentes de humedad que presentan a lo largo de la vida útil del estanque (Falcón, 2005).

En determinadas ocasiones, se pueden emplear estas arcillas, siempre y cuando se les dé un tratamiento de estabilización con cal o con cemento y, además, el muro se revista con una membrana impermeable (polietileno o similar) para mantener su humedad constante. En este caso, la protección del talud se coloca exteriormente sobre la membrana (ver Figura 8).

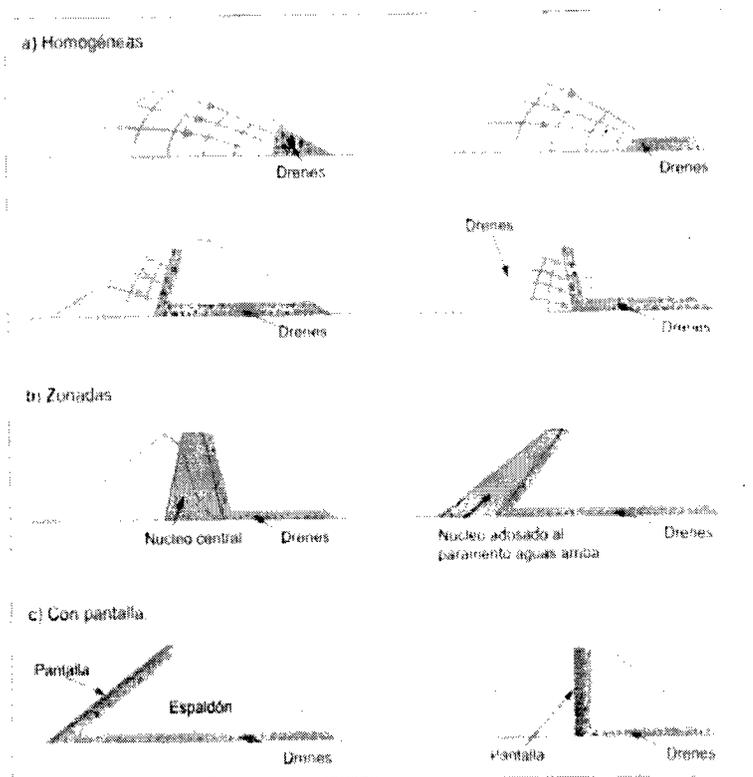


Figura 8. Clasificación de muros según el material de elaboración. Fuente: (Aguar, 1994).

3.16 Instalación de las geomembranas

3.16.1 Preparación del terreno

La preparación del terreno se puede realizar por:

- Excavación del terreno natural.
- Aporte de tierras para formar los taludes.
- Excavar el fondo del estanque y utilizar estas tierras para formar los taludes.

Previamente a la instalación de la geomembrana, es necesaria que la superficie de apoyo sea debidamente nivelada, compactada y exenta de cualquier material que pueda dañarla, como materiales cortantes, puntiagudos, o piedras con dimensiones por encima de lo especificado. Se recomienda, por tal motivo, que la geomembrana sea instalada inmediatamente después de terminada la preparación de la superficie de apoyo, evitando eventuales problemas de deterioro del terreno ocasionados por la intemperie, tránsito de vehículos o por la presencia de animales que puedan existir en la zona (Frasier y Mayers, 1983).

Cuadro 3. Las ventajas y desventajas de estos tres sistemas en la instalación de la geomembrana. Fuente: (Garrido, 2006).

Sistema	Ventajas	Desventajas
Sólo excavación	Poco movimiento del terreno (naturalmente consolidado). Costo bajo.	Evacuación del terreno excavado. Problemas con el drenaje del agua.
Alzado de taludes	El drenaje es más fácil. No hay problemas con los niveles freáticos.	Costo superior. Necesita apisonado.
Solución mixta	Promedio de los dos sistemas.	Costo moderado.

3.16.2 Preparación del soporte

Todos los terrenos que soportan las geomembranas deben estar compactados entre 85% y 95%. La compactación se realiza por consolidación natural o por apisonado mecánico. En este último caso, el material se dispone en capas de 20 a 50 cm como máximo y el asentamiento se completa con un rodillo vibratorio o con apisonadora. La operación de compactado se acompaña de un tratamiento de deshierbado del terreno (Gavande, 1977).

La superficie del soporte no puede contener elementos cortantes con granulometría superior a 5 mm. Si el fondo del estanque se compone de materiales no perforantes, como arena o arcillas la geomembrana se puede colocar directamente sobre dicha superficie. En la mayor parte de los casos es preciso instalar un geotextil, de por lo menos 300 g/m² (Robledo, 1988).

3.16.3 Inspección de los trabajos de excavación

El contratista debe visitar el emplazamiento del proyecto para comprobar que los trabajos de excavación se han llevado a cabo correctamente. El acabado de la superficie se debe controlar y cada elemento perjudicial quitado o adaptado. Cualquier corrección se debe realizar antes de iniciar los trabajos de impermeabilización (Pérez, 1988).

3.16.4 Transporte y almacenamiento

Hay que tomar las precauciones necesarias para no dañar la geomembrana durante el transporte y durante las operaciones de carga y descarga. Los rollos se han de colocar encima de una superficie plana limpia y sin asperezas. Las geomembranas no necesitan ninguna protección especial ante las inclemencias del tiempo. No obstante los accesorios se deben almacenar en un lugar seco y fresco (entre los 10 y 25 °C) y deben estar protegidos de las inclemencias del tiempo (Rodríguez, 1981).

3.16.5 Plan de montaje

Si las condiciones particulares de la obra lo recomiendan el contratista deberá establecer un plan de montaje. Este plan se elaborará de acuerdo con los planos de ejecución e indicarán la posición de las juntas de las mantas. El emplazamiento de los paneles se hará de acuerdo con dicho despiece (Velasco, 2000).

3.16.6 Colocación de la geomembrana

Los rollos se desenrollan y despliegan de acuerdo con el despiece planificado. La instalación empieza con el revestimiento de los taludes. Las mantas de geomembrana se desenrollan desde la zanja hacia el talud y se fijan temporalmente para permitir que se deslicen libremente hacia abajo. Es necesario asegurarse de que ningún guijarro u objeto cortante se quede atrapado debajo de la geomembrana, mientras se desenrollan las mantas.

Durante la instalación de las mantas, se deben evitar los grandes pliegues en el geotextil y perjudicar la superficie del soporte para permitir que la geomembrana se pueda maniobrar correctamente. La membrana se debe levantar/aletear en el perímetro permitiendo que el aire entre debajo, para deslizar la geomembrana sobre un cojín de aire.

El sobrante de la manta se puede dejar al pie del talud para conectarla con las mantas colindantes. Las uniones horizontales en los taludes se han de evitar tanto como sea posible. Todas las geomembranas deben reposar como mínimo 30-45 minutos antes de unir las juntas o efectuar las entregas (Amaya y Martínez, 2007).

3.16.7 Anclaje de la geomembrana

La geomembrana se debe mantener en su lugar para evitar el deslizamiento sobre el talud y limitar el riesgo de levantamiento por el viento. Según sea el tipo de estanque, hay varios sistemas para fijar la geomembrana:

- En la cumbrera del talud
- En una plataforma intermedia
- En el fondo

3.16.7.1 Anclaje en coronación

El anclaje se realiza por enterramiento de la geomembrana en una zanja o manteniéndola en su sitio por medio de un lastrado. Las dimensiones de la zanja dependen de las tensiones que se prevean. En un terreno coherente la sección mínima es de 40 cm x 40 cm. Además, esta sección varía en función de la longitud de la geomembrana entre dos anclajes, de la distancia entre un anclaje y el nivel de agua y en función de la velocidad del viento (Amaya y Martínez, 2007).

La geomembrana debe tener un retorno sobre el fondo de la balsa de 30 cm por lo menos. Si se esperan importantes movimientos del terreno una vez lleno el estanque, se deben proporcionar anclajes temporales en la cumbrera, para que la geomembrana se pueda mover sin estar sujeta a una tensión excesiva. Inmediatamente se coloca un lastrado parcial en la zanja y el anclaje final se lleva a cabo en una etapa posterior (Amaya y Martínez, 2007).

El estanque se debe llenar antes de rellenar y compactar la zanja de anclaje. El relleno y la compactación de la zanja de anclaje se deben trabajar sin someter la membrana a tensiones o a que sufra un pinchazo.

Con el objeto de evitar movimientos y deslizamientos de la geomembrana durante la instalación, se puede utilizar un lastrado temporal. Este lastrado también facilita las operaciones al unir las juntas. Este lastrado puede consistir en sacos de arena, neumáticos viejos o tabloncillos de madera (Salinas y Morales, 2010).

Cuadro 4. Valores de la sección de la zanja para un suelo arcilloso y compactado. Fuente: (Garrido, 2006).

Longitud del talud (m)	Sección de la zanja (m ²)	
	Velocidad del viento débil o moderada	Velocidad del viento elevada
	(< 100 km/h)	(> 100 km/h)
< 3	0.16	0.16
3-5	0.16	0.16
5-15	0.16	0.25
15-40	0.25	0.36
> 40	0.36	0.49

Es posible utilizar un lastrado como alternativa, si se toman las precauciones necesarias para que dicho lastrado no se deteriore con el tiempo.

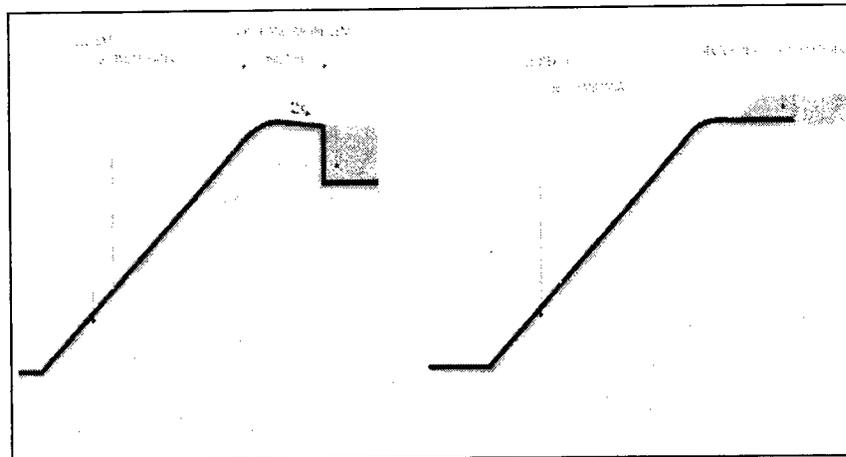


Figura 9. Anclaje en coronación con zanja y con lastrado Fuente: (Aguar, 1994).

3.16.7.2 Anclaje intermedio

En caso de taludes de altura considerable, puede ser necesario prever un anclaje intermedio para absorber los posibles movimientos de la geomembrana. Este anclaje se puede realizar utilizando lastre o zanja de anclaje.

Se puede añadir un relleno a la pendiente, con el objeto de no poner en peligro la estabilidad del talud (Amaya y Martínez, 2007).

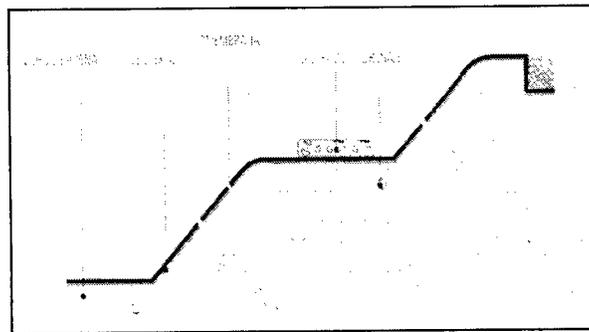


Figura 10. Anclaje intermedio. Fuente: (Aguilar, 1994).

3.16.7.3 Anclaje de fondo

En el caso de que el terreno natural del fondo del estanque sea suficientemente impermeable (arcilla, niveles geológicos impermeables) y para proporcionar una impermeabilización adecuada, es suficiente anclar la geomembrana al fondo con lastre.

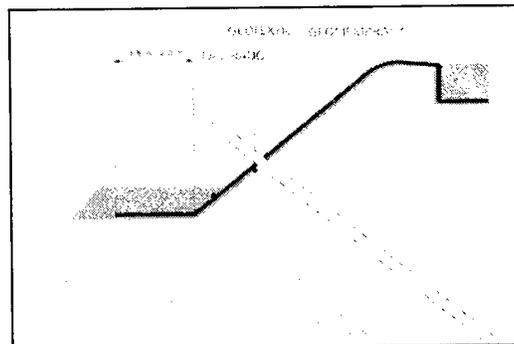


Figura 11. Anclaje de fondo con lastre. Fuente: (Aguilar, 1994).

Otra solución práctica es la de excavar, al pie del talud, una zanja con una profundidad de 1 m. En el caso de que el nivel impermeable se encuentre a una profundidad considerable, se puede extender la geomembrana en el fondo con una longitud suficiente para limitar la pérdida del estanque a una cantidad admisible (Amaya y Martínez, 2007).

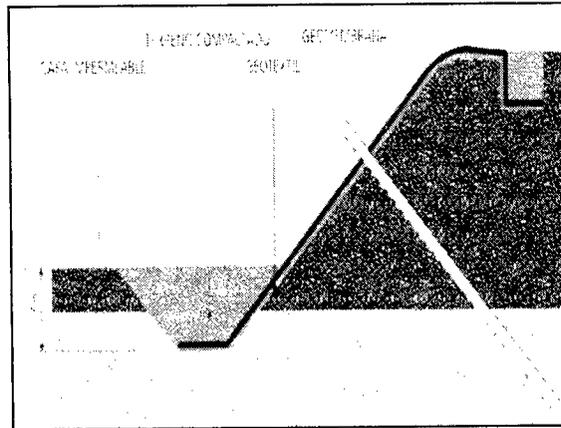


Figura 12. Anclaje de fondo con zanja. Fuente: (Aguilar, 1994).

3.16.8 Unión de mantas de geomembrana continuas

La unión de dos mantas adyacentes se debería realizar inmediatamente después de haber dejado en reposo las geomembranas. Todas las mantas se deben instalar sin tensiones y sin arrugas importantes traslapándolas 15 cm como mínimo. Todas las uniones en pendiente deben seguir la dirección de arriba abajo de la pendiente. No están permitidas las juntas horizontales (Chris y Stephen, 2005).

En terrenos blandos, debajo de la zona de la junta deberemos usar un tablero de madera, una placa aislante, o un panel laminado. Este panel se va moviendo por medio de una cuerda a medida que progresa el proceso de unión (Chris y Stephen, 2005).

3.16.9 Procedimiento de la unión entre los plásticos de las geomembranas

Dos geomembranas que se unen por medio de una banda autoadhesiva. A continuación vemos las etapas para lograr una junta correcta.

3.16.9.1 Colocación de la geomembrana

- Colocar las dos geomembranas con un solapo suficiente (± 20 cm).
- Vigilar que las mantas estén perfectamente planas y sin ninguna tensión.
- Utilizar un marcador para señalar en la manta inferior el emplazamiento exacto donde se aplicará la banda autoadhesiva.
- La marca ha de quedar situada entre 1 y 2 cm del borde de la manta superior y haciéndolo cada metro.

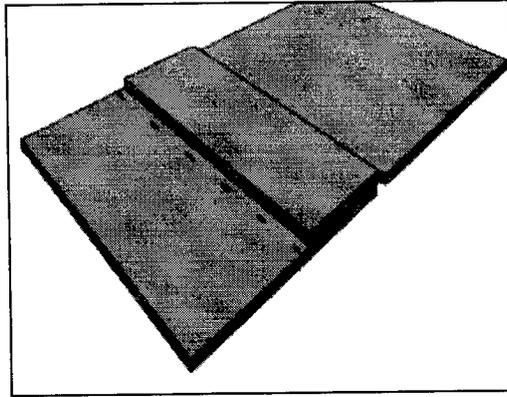


Figura 13. Colocación de la geomembrana. Fuente: (Blanco, 1998).

3.16.9.2 Preparación de la soldadura

Replegar la manta superior sobre sí misma, en un ancho de 25 cm y fijarlo con unos toques de imprimación (QuickPrime) cada metro. En el caso que la geomembrana esté manchada con barro o muy sucia, se recomienda un lavado previo de la zona de la soldadura, utilizando un trapo mojado en Splice Wash (líquido limpiador). Es preciso evitar todo contacto con el suelo con el fin de no contaminar la geomembrana en la zona de la junta (Chris y Stephen, 2005).

3.16.9.3 Aplicación de limpieza QuickPrime

Agitar a fondo el agente limpiador QuickPrime antes y durante su utilización, luego verter una pequeña cantidad (1.5 litros) en un cubo pequeño. La limpieza se aplica con la almohadilla. Mojar la almohadilla aplicadora, cuidando de mantenerla siempre en posición horizontal y dejar escurrir las gotas.

Aplicar la imprimación uniformemente sobre toda la longitud de la junta, con brazadas largas y regulares sobre ambas superficies, la cara inferior de la manta superior y la cara de arriba de la manta de abajo hasta que ambas superficies se vuelvan de color gris oscuro. Evitar refregones y manchones. Una aplicación de la almohadilla mojada de imprimación cubrirá una zona de alrededor de 1,00 m por un ancho de 10 cm (por una sola cara). Cambiar la almohadilla aplicadora a cada 60 m o cuando la imprimación se ha secado sobre la almohadilla. Las almohadillas usadas se desechan al final de la jornada laboral. Se requiere una cantidad adicional en las juntas realizadas en fábrica, y en la intersección de dos juntas de obra y en las zonas cubiertas con adhesivo (Chris y Stephen, 2005).

Ambas caras de la junta se tratarán simultáneamente, con el fin de lograr el período de secado simultáneo. Probar el estado de la imprimación. Esperar que la imprimación esté lista para pegar. La imprimación debe estar totalmente seca (± 10 minutos) antes de instalar la banda autoadhesiva (Chris y Stephen, 2005).

Comprobar su secado tocando la superficie tratada con un dedo limpio y seco para estar seguro que no hace hilo. Cuando tocamos la imprimación se ha de presionar en ángulo la superficie tratada para asegurar que está seca en todo su espesor. Si queda alguna señal al levantar el dedo, la junta no está preparada para instalar la banda. El tiempo de secado varía dependiendo de las condiciones ambientales (humedad relativa, viento).

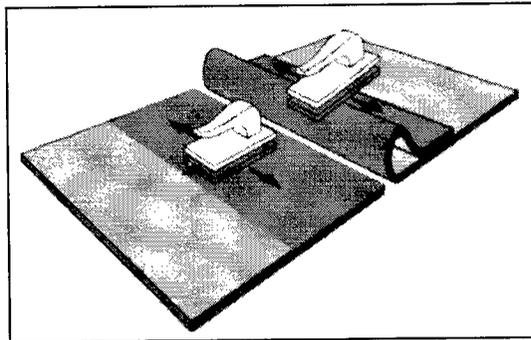


Figura 14. Aplicación de un agente limpiador “QuickPrime” sobre la geomembrana. Fuente: (Blanco, 1998).

3.16.9.4 Instalación de la banda autoadhesiva

Aplicar la banda autoadhesiva (QuickSeam Splice Tape) sin retirar el papel protector sobre la manta inferior, alineando el borde del papel protector con las marcas. Inmediatamente presionar la banda con un rodillo manual de silicona de 10 cm de ancho.

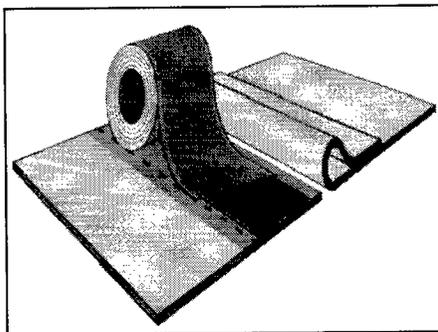


Figura 15. Instalación la banda autoadhesiva. Fuente: (Blanco, 1998).

3.16.9.5 Comprobar la alineación de la banda

Desprender la geomembrana superior y cerrar la primera parte de la junta con ayuda de la mano. Para evitar la formación de arrugas se aconseja realizar un movimiento perpendicular a la misma (90°). La hoja superior debe caer sin arrugas ni tensiones sobre la hoja inferior. Dejar que la manta superior quede apoyada sobre el papel protector de la banda. Recortar la geomembrana donde sea preciso para asegurar que al finalizar la junta quedarán a la vista de 10 a 15 mm de banda (Chris y Stephen, 2005).

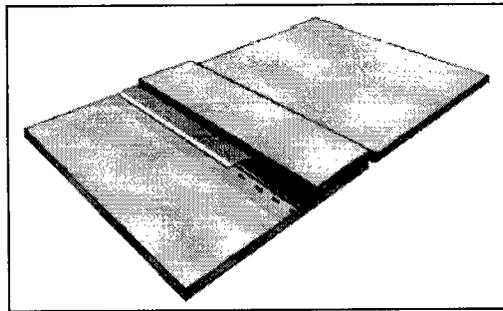


Figura 16. Comprobar la alineación de la banda. Fuente: (Blanco, 1998).

3.16.9.6 Retirar el papel protector

Para quitar el papel protector de la banda, primero presionar la geomembrana. Despegar el papel protector de la banda autoadhesiva estirando contra el peso de la manta inferior con un ángulo con la banda de 45° aproximadamente y en paralelo con la superficie de la base.

Permita que la manta superior caiga libremente sobre la banda autoadhesiva vista. Presionar sobre toda la longitud de la junta tan pronto se haya retirado todo el papel (Chris y Stephen, 2005).

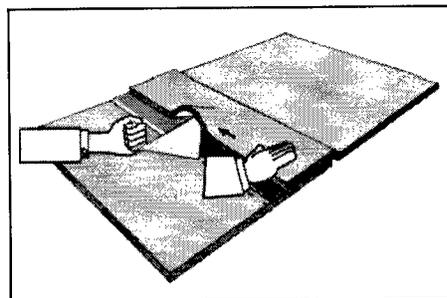


Figura 17. Retirar el papel protector. Fuentes: (Blanco, 1998).

3.16.9.7 Unión entre los plásticos

Finalmente, presionar con la ayuda de un rodillo de caucho siliconado, en primer lugar perpendicularmente juntamos los plástico y seguidamente a lo largo de toda la longitud del plástico. La Unión entre los plásticos se ha de ver así (Chris y Stephen, 2005).

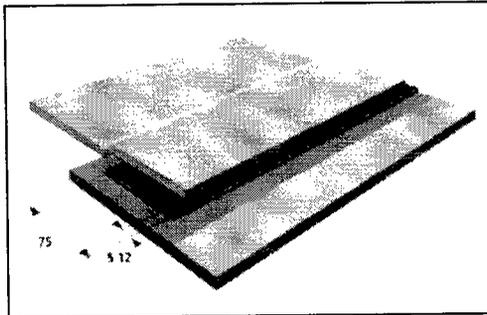


Figura 18. Cerrado de la junta. Fuente: (Blanco, 1998).

3.16.10 Casos de geomembrana que requieren una atención especial

Cuando la unión entre los plásticos es más larga que la banda autoadhesiva, la unión de las dos bandas autoadhesivas se realizará con una soldadura de 25 mm, como mínimo. Aplicar un refuerzo de FormFlash (22,5 x 20 cm) sobre esta zona de la junta.

Cuando varias geomembranas se encuentran en un punto común, no se pueden superponer más de tres mantas como máximo. Aplicar un refuerzo de FormFlash de (20 x 20 cm) sobre esta zona de unión.

Aplicar una pieza de FormFlash de (20 x 20 cm) sobre la zona cuando una junta de obra cambia de la base horizontal a la pendiente del talud, como se ve en la Figura 19 (Chris y Stephen, 2005).

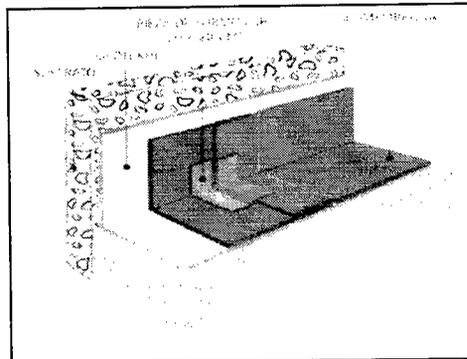


Figura 19. Refuerzo en la unión vertical. Fuente: (Blanco, 1998).

Cuando la geomembrana está contaminada (lodo, etc.) limpiar la zona de solapo con Splice Wash antes de aplicar la imprimación QuickPrime. Cuando las condiciones atmosféricas son desfavorables (humedad, condensaciones sobre la imprimación, lluvia, etc.) hay que detener la aplicación de la banda autoadhesiva (QuickSeam Splice Tape).

Se debe evitar todo movimiento de la geomembrana durante la aplicación de la banda autoadhesiva y durante los primeros minutos después de la instalación. No está permitido extender más mantas de las que se puedan unir durante toda la jornada. Las uniones en obra deben correr paralelas con la pendiente de arriba abajo del talud. Las juntas horizontales en los taludes no están permitidas (Chris y Stephen, 2005).

3.16.11 Protección de la geomembrana

Bajo ciertas condiciones, puede ser indispensable una protección de la geomembrana. En el cuadro 7. Se pueden encontrar algunas recomendaciones para la protección de la geomembrana contra toda agresión exterior.

Cuadro 5. Protecciones de las geomembranas. Fuente: (Zaragoza, 1996).

Protección contra	Precaución
Viento	Lastrado de fondo y/o de los bordos (en caso de vaciado temporal). Ajuste de la zanja de anclaje.
Olas	Protección mecánica de los bordos en función de la pendiente (recubrimiento con piedras, losas de hormigón, hormigón en masa).
Cuerpos flotantes (maderas, embarcaciones)	Olas grandes: Protección de los bordos.
Hielo	Balsas pequeñas: Limpieza.
Animales (roedores)	Protección mecánica del bordo. Escaleras. Valla alrededor del estanque.
Maquinaria de manutención	Protección mecánica de los bordos. Protección de la geomembrana por un lecho de arena (min. 20 cm.). Rampa de acceso.
Turbulencias localizadas donde el agua tiene una velocidad > 1 m. /sec. (agitador interno o canales	Protección pesada con lastrado.

La protección de la geomembrana se puede realizar de las formas siguientes:

Fondo de la balsa:

- Lecho de arena (espesor mín.: 20 cm): no requiere protección con geotextil.
- Gravas (espesor mín.: 20 cm): requiere protección con geotextil.
- Materiales prefabricados (pavimentos): requiere protección con geotextil.

3.17 Calidad de los materiales empleados para la construcción de presas

Para la construcción de represas es ideal utilizar materiales con contenido alto de arcilla (exceptuando las expansivas). Aquellos materiales con más de 40% de arcilla son los mejores. Por su parte, los materiales muy arenosos, con menos de 20% de arcilla no son adecuados para la construcción de las represas. Esta información se presenta en el cuadro 8.

Cuadro 6. Calidad de los materiales empleados para la construcción de presas. Fuente: (Villamizar, 1989).

Clase de material	Contenido de Arcilla (%)	Calidad del material del cuerpo de presa
Arcilla	40-60	Bueno, la superficie de la presa debe revestirse con algún tipo de protección.
Arcilla arenosa	20-40	Muy buena, no necesita medidas especiales.
Arena arcillosa	10-20	Regular, se necesita medidas especiales para detener la infiltración.
Arena	Menos de 20	Malo, no se admite para la construcción.

3.18 Situación del agua en México

La problemática de escasas de agua ha provocado que la administración y preservación del recurso hídrico sea una tarea compleja que requiere el trabajo conjunto de diversas dependencias federales, estatales, municipales y de la sociedad en general. Por lo que es de relevancia que se cuente con información confiable y actualizada acerca de todos los aspectos relacionados con la gestión del agua en México y el mundo.

Es imposible la vida sin agua, su creciente escasez y carácter vital, obligan a un análisis permanente de su problemática y a la propuesta de diferentes soluciones para su sustentabilidad. De hecho fenómenos como el cambio climático, la creciente degradación de las aguas superficiales y subterráneas, el desarrollo de las tecnologías altamente contaminantes, la creciente población demandante de agua potable, la desertificación por

abusos con la naturaleza, la escasez del recurso en cuencas hidrológicas, son algunos problemas que caracterizan la situación actual en materia de agua (Morales y Rodríguez, 2010).

La republica mexicana tiene una extensión territorial de 1,964.375 km² en esta superficie se tiene:

- ❖ 178 localidades urbanas con 50,000 o más habitantes.
- ❖ 2863 localidades entre 2.500 y 49.999 habitantes.
- ❖ 47771 localidades rurales entre 100 y 2.499 habitantes.
- ❖ 148.579 con menos de 100 habitantes.

La población en 2005, se estimo en 106, 451.679 habitantes, la cual se incrementará como se puede apreciar en el cuadro.

Cuadro 7. Incremento de la población presentando una proyección hasta el año 2030.

TABLA 1. POBLACIÓN POR ENTIDAD FEDERATIVA AL AÑO 2030.									
Población a mitad de año	2005	2010	2020	2030	Población a mitad de año	2005	2010	2020	2030
Aguascalientes	1,044,014	1,118,074	1,250,521	1,356,968	Nayarit	997,654	1,027,156	1,074,16	1,099,69
Baja california norte	2,947,836	3,346,657	4,138,565	4,864,276	Nuevo león	4,242,555	4,552,404	5,119,18	5,594,02
Baja california sur	502,623	566,904	692,379	805,327	Oaxaca	3,716,837	3,816,870	3,962,39	4,022,10
Campeche	775,765	837,593	955,823	1,056,688	Puebla	5,536,997	5,797,351	6,246,60	6,554,88
Chiapas	4,417,084	4,699,370	5,220,030	5,639,988	Querétaro	1,601,101	1,738,921	1,999,39	2,217,54
Chihuahua	3,432,518	3,716,854	4,244,089	4,685,156	Quintana roo	1,091,496	1,283,883	1,663,73	2,008,75
Coahuila	2,543,160	2,693,046	2,954,174	3,155,420	San Luis Potosí	2,409,311	2,452,198	2,522,68	2,555,97
Colima	591,350	626,679	691,397	740,610	Sinaloa	2,771,148	2,879,690	3,061,63	3,182,33
Distrito federal	8,814,797	8,814,867	8,766,429	85,951,81	Sonora	2,487,066	2,670,917	3,012,16	3,301,83
Durango	1,554,948	1,576,441	1,601,038	1,599,076	Tabasco	2,069,522	2,184,350	2,389,02	2,538,07
Estado de México	14,672,39	15,744,55	17,601,50	18,939,80	Tamaulipas	3,163,846	3,441,570	3,953,54	4,382,05
Guanajuato	5,065,338	5,230,932	5,492,638	5,653,326	Tlaxcala	1,072,311	1,153,609	1,305,70	1,431,23
Guerrero	3,260,576	3,294,329	3,310,700	3,267,235	Veracruz	7,295,935	7,378,261	7,467,89	7,427,93
Hidalgo	2,389,912	2,477,219	2,620,833	2,711,191	Yucatán	1,807,639	1,923,530	2,148,74	2,342,08
Jalisco	6,814,808	7,067,743	7,479,485	7,733,119	Zacatecas	1,416,865	1,418,673	1,404,15	1,371,74
Michoacán	4,227,017	4,276,644	4,327,113	4,300,893	Total	106,451,67	111,613,90	12063876	204,562,21
Morelos	1,717,252	1,806,618	1,961,018	2,071,042					

Fuente: Planeación del agua un enfoque social y sistemático (Conagua, 2008).

Además se prevé que la disponibilidad del agua para el año 2025 se reducirá en la mitad de la que se consume actualmente; debido a que el rango de disponibilidad que va de los 4.999 m³/habitante/año hacia abajo, México se encuentra en la zona de disponibilidad “media baja”, lo cual significa “escasez del recursos”.

Cuadro 8. Disponibilidad de agua en México.

Tendencia en la disponibilidad de agua en México		
Año	M/habitante/año	Disponibilidad
1955	11.500	Se estima alta en más de 10.000
1999	4.999	Se estima media de 5.000 a 10.000
2025	2.025	Se estima baja en menos de 5.000

Fuente: Planeación del agua un enfoque social y sistemático (Conagua, 2008).

3.19 Impulso de nuevas alternativas para el suministro de agua

El uso racional del agua en México debería ser una prioridad. En varias de sus regiones, se enfrentan ya serios problemas por la baja disponibilidad, desperdicio y contaminación de los recursos y el incremento de la demanda puede agravar la situación.

En los incisos anteriores se presentó un panorama general relacionado con la disponibilidad de agua a nivel mundial, el nuevo componente que representa el cambio climático en el escenario hídrico actual y futuro, la situación de México y los retos a los que se enfrenta la sociedad actual (Falcón, 2005).

En las regiones con abundancia de agua, la deforestación y la erosión de los suelos dañan la cantidad y calidad del recurso, disminuyendo los volúmenes aprovechables y propiciando inundaciones. Como se menciono anteriormente un 58% de los acuíferos en México están sobreexplotados (Anaya y Martínez, 2007).

Algunos razones para que esta situación se presente tiene que ver con que otras fuentes que podrían servir para abastecer las poblaciones, como los ríos se encuentran contaminados además de que la población está en constante crecimiento y en muchos casos habitan en zonas donde es muy difícil distribuir agua potable por algún sistema automatizado y asimismo el 75% del agua de precipitación no se aprovecha ya que se evapotranspira antes de ser almacenadas o en el peor de los casos termina contaminándose al mezclarse con agua negras (Anaya y Martínez, 2007).

La situación actual en materia actual de disponibilidad de agua no es favorable, razón por la cual resulta imperativo que se cuente con formas alternativas para captarla y su caso hacerla potable de tal forma que las personas puedan usarla sin riesgo. Dentro de este contexto se propone una revisión del estado del conocimiento en materia de sistema de captación de agua de lluvia en el mundo y en México, considerando la ventajas de implementar tecnologías en el país, tanto en ciudades como zonas rurales, los sistema de captación de agua de lluvia son una excelente alternativa de solución para el problema de abastecimiento de agua en lugares donde los sistemas de abastecimiento son deficientes o inexistentes. Algunas instituciones han probado que el agua de lluvia captada y almacenada puede emplearse para el consumo humano, siendo los costos de operación y mantenimiento de estos sistemas muy accesibles (Conagua, 2008).

Como se menciono anteriormente los estados con menor precipitación son Baja California Norte y sur, Chihuahua, Coahuila y Sinaloa con una precipitación anual menor a los 600 mm, sería conveniente que las tecnologías alternativas que se proponen, se implementasen en esta regiones con el fin de aminorar la escases de agua aprovechando las ventajas que proporciona la captación de agua de lluvia como es la economía, funcionalidad, eficiencia y facilidad de instalación.

IV. ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

Las geomembranas de carbofol son totalmente herméticas incluso para las sustancias más tóxicas. La instalación sistemática de carbofol como impermeabilizante en los vertederos o en terrenos de recubrimiento, evita la contaminación del agua subterránea. Las ventajas del carbofol son reconocidas incluso por las normas y controles más estrictos de almacenamiento, llenado, manipulación, fabricación, tratamiento y utilización de líquidos contaminados, tales, como la Ley de Conservación del Agua Alemana (WHG) o la Ley de Protección del Medio Ambiente británica (EPA) reconocen las ventajas de carbofol. El producto también se puede aplicar a sistemas de agua potable o sin contenido tóxico tales como conductos de agua, canales y estanques. En el caso de pendientes más pronunciadas, se pueden desarrollar sistemas específicos utilizando la geomembrana de superficie rugosa que tiene un mayor coeficiente de fricción y ofrece más seguridad (Guimera, 2012).

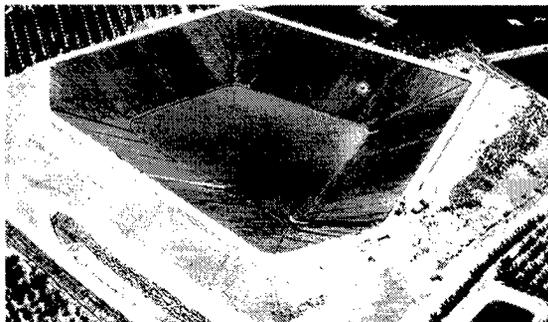


Figura 20. Geomembrana de carbofol. Fuente: (Guimera, 2012).

Carbofol se convirtió en 1989 en la primera geomembrana homologada por el Instituto Federal de Investigación y Análisis de Materiales (BAM). Más tarde el BAM homologó la geomembrana carbofol HDPE (de superficie lisa y rugosa) de 2.5 y 3.0 mm. de espesor para su aplicación en vertederos. En el caso de los sistemas de protección contra aguas freáticas, el Instituto Alemán de Tecnología de la Construcción (DIBt) homologó geomembranas carbofol de 1.5 mm o más de espesor.

Además carbofol ha sido homologado en otros países, en particular en la mayoría de países europeos. La fabricación a gran escala y el control de calidad externo permiten obtener información completa sobre el proceso de producción, desde la materia prima hasta el producto acabado.

Carbofol es muy duradero y resistente a los productos químicos y a los rayos ultravioleta. La superficie brillante de carbofol pone inmediatamente de manifiesto cualquier desperfecto accidental, de manera que las reparaciones se efectúan enseguida. De las reparaciones y soldaduras de juntas se ocupa un avanzado equipo de soldadura que registra todas las informaciones pertinentes mientras se realiza la operación. Las pruebas de presión de aire o al vacío verifican el estado de las soldaduras y garantizan el resultado del producto acabado (Guimera, 2012).

V. CONCLUSIONES

Las geomembranas se pueden considerar como una de las mejores técnicas disponibles para la impermeabilización y reforzamiento de los bordos, ya que presentan mejores propiedades que las barreras tradicionales de capas de tierra como es la arcilla. Las geomembranas plasticas son materiales modificada que ofrece una resistencia a la pérdida de impermeabilidad en los procesos de humectación-deseccación, y minimiza las perdidas por filtracion.

Como resultado de una intensiva y continuada investigación a través de institutos independientes supervisados por organismos federales y locales, en numerosos países europeos, se ha determinado que las ventajas de las geomembranas plásticas son las siguientes:

- Permeabilidad extremadamente baja: 100 a 1000 veces inferior a las arcillas convencionales.
- Mayores garantías frente a defectos de fabricación y puesta en obra.
- Larga vida útil debido a su gran durabilidad y robustez.
- Admite deformaciones sin daños, por su gran plasticidad y elasticidad.
- Alta estabilidad física y química frente al ataque de sustancias químicas.
- Elevada capacidad de retención de humedad: resistente a la sequedad.
- Excelente capacidad autosellante. Sellado de estructuras y autopenetraciones.
- Estabilidad e impermeabilidad de taludes a largo plazo.

La tecnología de las geomembranas se ha convertido en una alternativa para solucionar los problemas, especialmente de estabilización de suelos y bordos pero su implementación se ha hecho, en la mayoría de los casos, de forma concreta aplicando resultados obtenidos para la captación de agua pluviales. Bajo este concepto, en muchas ocasiones los geosintéticos han sido una solución exitosa pero en otras, la falta de conocimiento y de una metodología de diseño que permita definir los requerimientos de estos materiales de acuerdo con las condiciones particulares no ha permitido que los beneficios de esta tecnología sean aprovechados de manera eficiente.

VI. BIBLIOGRAFÍA

- Aguiar, E., 2006. Sistema para la captación y tratamiento de agua pluviales a través de las geomembranas. Ed. Mundi Prensa. España. 150 P.
- Aguilar, G., 2009. Manual para construir una geomembrana para captación de agua de lluvia. Ed. EUNED. San José, Costa Rica. 325 P.
- Alvares, E., 1994. Manual para el diseño, construcción y explotación de embalses impermeabilizados con geomembranas. Consejería de Agricultura y Alimentación. Ed. Mundi Prensa. Canarias, España. 240 P.
- Amanco, J., 2010. Especificaciones para geomembrana Ed.2241. Manual técnico de geomembrana. San José, Costa Rica. 156 P.
- Armendáriz, A., 1994. Sistemas de captación de agua de lluvia para uso domestico en América Latina y el Caribe. Ed. Gili. México. D.F. 250 P.
- Anaya M. y Martínez, J. 2007. Manual sistemas de captación y aprovechamiento del agua de lluvia para consumo humano. Ed. Mundi Prensa. España. 246 P.
- Bill, M., Slay, R., and Tarigari, H., 2003. Manejo de agua en zonas áridas Ed. GFR. Segunda edición. USA. 285-300 P.
- Blanco, M., 1998. Impermeabilización de embalses de agua. 1Er curso básico de geomembranas. Ed. Prensa Mundi. España. 285 P.
- Corbet, S., and Peters, M., 2005. Geotextiles and Geomembranes. Science journal article Ed. GFR. USA. 647-726 P.
- Colegio de Postgraduados, C.P., 1991. Manual de conservación del suelo y del agua. Tercera edición. Ed. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo de México. 248 P.
- Comisión Nacional Forestal (Conafor) 2004. Manual de obras y prácticas de protección, restauración y conservación de suelos forestales. 2a edición. Ed. JUISA S.A de C.V. 222 P.
- Conagua. 2008. Estadísticas del agua en México. Gobierno federal a través de la Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat) y Comisión Nacional del Agua. Ed. 2008. México. 200 P.
- Cubero, D., 1996. Manual de Conservación de suelos y aguas. Ed. EUNED. San José, Costa Rica. 100-200 P.
- Díaz, J.R., y López, J., 2002. Situación de los Agroplásticos. Ed. CYTED. Almería, España. 345-500 P.

- Farrera, A., 2000. Manual de captación y aprovechamiento de agua de lluvia a través de las geomembranas. Ed. Mundi Prensa. España, 115 P.
- Falcón, L., 2005. Captación y aprovechamiento de agua de lluvia por medio de las geomembranas. Ed. Continental. México. 235 P.
- Frasier, G., and Myers, L., 1983. Handbook of water harvesting. Ed.GFR. USA. 189 P.
- Gavande, S., 1977. Física de suelos, principios y aplicaciones. Ed. Limusa Wiley. España. 199–232 P.
- Guimera, A., 2012. Diseño de construcción de geomembrana. Ed. Manresa. España. 200-250 P.
- Hernández, G. R., 2004. Tecnologías de regeneración de cuencas para la obtención de agua, alternativas y procesos de participación social. Ed. Continental. México. 265 P.
- Horton, R., Ankeny, M., and Allmaras, R., 1994. Effects of soil compaction on soil hydraulic properties. Ed. Elsevier. Amsterdam, Netherlands. 141-155 P.
- Morales, D., y Rodríguez, R., 2010. Alternativas productivas de las geomembrana en Regiones áridas, consultoría Ed. Limusa. Epaña. 89-96 P.
- Nasr, H., 1999. Assessing desertification and water harvesting in the middle east and north africa. Ed. BAM. Germany. 425 P.
- Pérez, J.I., 1989. Construcción e impermeabilización de embalses con materiales plásticos. Plasticulture Vol. 82. No 2. Ed. Mundi. España. 240 P.
- Perotti, L 2004. Construcción de geomembrana para captación de agua. Ed. Mundi Prensa. España. 200-220 P.
- Robledo, P., y Martin V., 1988. Aplicación de los Plásticos en la Agricultura. Ed. Mundi Prensa. España. 310 P.
- Rocha, R., Morris, H., y Morales, D., 2010. Técnicas de cosecha de agua aplicables a nuestro medio. Ed. Gili. México. 150-200 P.
- Rodríguez, F., 1981. Elementos del escurrimiento superficial Ed. Chapingo. México. 200-300 P.
- Salinas, A., 2010. Manual de especificaciones técnicas básicas para la elaboración de estructuras de captación de agua de lluvia (SCALL) en el sector agropecuario de Costa Rica. Ed. UNI COSTA RICA. 96 P.
- Valverde, J.C., 2007. Riego y Drenaje. San José, Costa Rica: Edit. Universidad Estatal a Distancia (UNED). Ed. EUNED. San José, Costa Rica. 84 P.

- Vázquez, H., y Rodríguez, J. A., 1982. El uso de retardadores de la evaporación sobre superficies de agua libre. Ed. ITESM. Monterrey, N.L. 248 P.
- Velasco, A., 1991. El manejo de las geomembranas en zonas áridas. Ed. Limusa. España. 123 P.
- Vera, M., 2000. geotextiles en los semidesiertos mexicanos. Ed. Agt. Editor S.A. México. 117 P.
- Villalobos, E., 2002. Diseño del drenaje superficial. Ed. EUNED. Cartago, Costa Rica. 233 P.
- Villamizar, A., 1989. Diseño de Presas de Tierra para Pequeños Almacenamientos. Ed. Instituto Colombiano de Hidrología. Bogotá, Colombia. 405 P.
- Zaragoza, G., 1996. Seguridad de presas y embalses. Ed. Limusa. Murcia, España. 142-200 P.