

IMPERMEABILIZACIÓN DE PILETAS DE ACUMULACIÓN DE EFLUENTES DE TAMBOS



Recomendaciones y especificaciones
técnicas 2018

inale

Instituto Nacional de la Leche

IMPERMEABILIZACIÓN DE PILETAS DE ACUMULACIÓN DE EFLUENTES DE TAMBOS

Recomendaciones y especificaciones técnicas 2018

Comité Técnico Especializado para la gestión de Efluentes de Tambo



MVOTMA
Ministerio de Vivienda
Ordenamiento Territorial
y Medio Ambiente



PROYECTO
BIOVALOR
Generando valor con
residuos agro-industriales



UTEC
Universidad Tecnológica



Apoyan



TABLA DE CONTENIDOS

Generalidades	6
Opciones de impermeabilización	6
Suelo arcilloso compactado del lugar	8
Pasos a seguir para extraer la muestra de suelo a analizar.....	8
Cálculo del volumen de extracción necesario en caso de contar con el material <i>in situ</i>	10
Aspectos constructivos.....	11
Geomembranas sintéticas	12
Aspectos constructivos.....	12
Drenaje y ventilación.....	13
Geomembrana PEAD.....	14
Geomembrana PVC.....	16
Agradecimientos	18
Referencias bibliográficas	18

IMPERMEABILIZACIÓN DE PILETAS DE ACUMULACIÓN DE EFLUENTES DE TAMBOS

Recomendaciones y especificaciones técnicas 2018 ^(*)

El presente trabajo fue elaborado en el marco de la convocatoria del llamado Plan de lechería sostenible en la cuenca del río Sta. Lucía dentro del Proyecto de Desarrollo y Adaptación al Cambio Climático del MGAP (BIRF 8099-UY). El mismo es producto del intercambio y discusión entre las instituciones público y privadas relacionadas al sector lechero, de manera de unificar los criterios vinculados a esta temática relacionada a la impermeabilización de piletas de acumulación de efluentes. Entre éstas se encuentran además del MGAP, los ministerios de vivienda, ordenamiento territorial y medio ambiente (MVOTMA) mediante la dirección nacional de medio ambiente (DINAMA) y el de industria, energía y minería (MIEM) mediante el proyecto BIOVALOR, la Universidad de la República (UDELAR), CONAPROLE, la Sociedad de Productores de Leche de Florida (SPLF) y el Instituto Nacional de la Leche (INALE) quien actúa como convocante y coordinador del espacio técnico.

El diseño y construcción de piletas de acumulación de efluentes requiere de conocimientos técnicos específicos para los cuales se recomienda el asesoramiento técnico adecuado. Esta cartilla está dirigida a técnicos vinculados a la temática y pretende detallar en forma resumida algunas especificaciones técnicas y recomendaciones a tener en cuenta al momento de construir e impermeabilizar piletas de acumulación de efluentes. En el marco regulatorio de las leyes N° 16.466 y el código de Aguas N° 14.859, la DINAMA (MVOTMA) afirma que se debe alcanzar un coeficiente de conductividad hidráulica menor o igual a $1 \cdot 10^{-7}$ cm/seg. para considerar al depósito o pileta impermeable, así lo establece en el Manual para la gestión ambiental de tambos (2016).

^(*) Elaborado por: Ing. Agr. Marcela Rodríguez Cerchi. Contratada por Proyecto BIOVALOR para el apoyo al MGAP y la institucionalidad.

Generalidades:

Para la construcción de una pileta de acumulación de efluentes debe tenerse en cuenta en primer lugar el tipo de técnica que se utilizará para su impermeabilización. El método de impermeabilización a utilizar condiciona la geometría de la pileta y las técnicas de tratamiento del suelo (preparación del sustrato). En cualquier caso se debe prever el desvío de las pluviales, por ejemplo realizando un zanjeado para conducir dichas aguas pendiente abajo o bien construir una taipa perimetral compactada de entre 0,3 y 0,5m de altura. Se debe considerar la colocación de carteles de advertencia, escaleras, cuerdas o cercos, barras, etc., que garanticen la seguridad para las personas, ganado y vida silvestre.

Opciones de Impermeabilización:

De acuerdo a los recursos naturales, condiciones del sitio donde se va a construir la pileta y accesibilidad económica real del productor, existen diferentes materiales a utilizar para garantizar la permeabilidad máxima sugerida por la DINAMA. A continuación se presenta un cuadro con las opciones utilizadas a nivel mundial y sus principales características. Se remarcan las de mayor accesibilidad en el mercado local y las que mejor se adaptan a nuestras condiciones según las experiencias en nuestro país.

Cabe remarcar que el uso de cualquier tipo de nylon para silo como material de impermeabilización queda totalmente descartado como opción.

Material	Características
Suelo arcilloso compactado del lugar	Contenido de arcillas de baja plasticidad. Capa 30cm espesor. Coeficiente de conductividad hidráulica (K) mínimo de $1 \cdot 10^{-7}$ cm/seg con un grado de compactación del 95%
Geocompuesto de arcilla (GCL)	Bentonita (3mm mínimo) + 2 capas geotextil (densidad 100g/m ²). K bentonita de $1 \cdot 10^{-11}$ cm/seg. Ver link N°1 en referencias bibliográficas. Especificaciones GCL, GRI-GCL3 (GRI, 2016)
Geomembrana PEAD (polietileno de alta densidad)	≥ 1,5mm de espesor. Ver link N°2 en referencias bibliográficas. Especificaciones PEAD, GM13 (GRI, 2016)
Geomembrana PVC (policloruro de vinilo)	≥ 1mm de espesor. Ver link N°3 en referencias bibliográficas. Especificaciones PVC (PGI, 1996)
Geomembrana FPP (polipropileno flexible) y FPP-R (reforzado)	≥ 1mm de espesor. Ver link N°4 en referencias bibliográficas. Especificaciones FPP, GM18 (GRI, 2016)
Geomembrana LLEPD (polietileno lineal de baja densidad) y LLEPD-R	≥ 1,14mm de espesor. Ver link N°5 en referencias bibliográficas. Especificaciones LLEPD, GM17 y GM25 (GRI, 2016)
Geomembrana EPDM	≥ 1,14mm de espesor. Ver link N°6 en referencias bibliográficas. Especificaciones EPDM, GM21 (GRI, 2016)

Los links N°1, 2, 4, 5 y 6, señalados en las Referencias bibliográficas, indican las referencias técnicas referidas por el Geosynthetic Research Institute⁽⁶⁾. Cabe aclarar que también se encuentran las referencias técnicas específicas para cada material geosintético en “National Engineering Handbook” de la USDA-NCSR, 2014 ⁽¹⁾.

Según la situación del productor, sus recursos naturales respecto a la ubicación y tipo de suelo, se le debe recomendar lo que mejor se ajuste a sus posibilidades y su capacidad real de lograr el correcto alisado de la superficie. Esto último determinará el éxito o el fracaso en caso de utilizar geomembranas. En caso de optar por el método de suelo arcilloso compactado, se debe considerar el costo extra del apisonado con rodillo “pata de cabra” para lograr la compactación necesaria.

En el siguiente cuadro se muestran las principales ventajas y desventajas de aquellos métodos con mayor accesibilidad en el mercado actual en el país.

Material o método	Ventajas	Desventajas
Suelo arcilloso compactado del lugar	Mayor durabilidad	Necesidad de ensayos geotécnicos
	Más económico	
Geomembrana PEAD	Mejor adaptabilidad	Mano de obra especializada
	Mayor resistencia a la rotura, alargamiento y fureza de rotura (comparado con el PVC)	Menor flexibilidad
Geomembrana PVC	Mayor flexibilidad	Requiere la colocación previa de un geotextil
	Posibilidad de adquirir en único paño pre-soldado (hasta 1000m ²)	Precio actual mayor que el PEAD y menor que EPDM

A continuación se describen los principales aspectos técnicos y recomendaciones a considerar según cada material o metodología a utilizar, haciendo mayor énfasis en los detalles de aquellos materiales más recomendados remarcados arriba.

1. Suelo arcilloso compactado del lugar:

Se trata de una capa de 30cm de espesor de suelo arcilloso compactado en toda la superficie de la pileta (piso y paredes). Este material puede o no encontrarse en el sitio donde se construirá la pileta, por lo que el mismo podría ser acarreado desde un lugar cercano para conformar la cubierta necesaria. La distancia desde el lugar de extracción determinara la viabilidad económica de esta opción.

Este método requiere realizar un estudio previo del material a utilizar mediante tres análisis de laboratorio y se deberán tomar recaudos técnicos específicos para su implementación.

Se recomienda consultar previamente la formación de suelo del sitio para evaluar la posibilidad de encontrar materiales arcillosos aptos.

Pasos a seguir para extraer la muestra de suelo a analizar:

- 1- El lugar de extracción debe ser cercano a la ubicación de la pileta o en el sitio donde se localizará la misma.
- 2- Para extraer la muestra se debe realizar uno o varios pozos, utilizando retro, hoyadora o mecha broca. De esta forma se podrán evaluar las características del suelo (o sustrato) y la presencia de arcillas. Es recomendable que la profundidad no supere los 2- 2,5 metros.
- 3- Evaluar el material encontrado. Deberá constatarse que éste contenga arcillas y exista en cantidad suficiente para la realización de la obra.
- 4- La muestra debe pesar como mínimo 50Kg.

Una vez obtenida la muestra se debe enviar al laboratorio donde se realizarán los ensayos geotécnicos. El primer análisis a realizar es el de Clasificación (granulometría y límites de Atterberg) con el fin de corroborar la presencia de arcillas. Para constatar dicha presencia deberán existir en el material contenidos superiores al orden del 10-15% de finos y de baja plasticidad. Ver ejemplo de un resultado en la figura N° 1, donde se señalan en el cuadro las cantidades de material que pasan o son retenidas en diferentes tamaños de tamiz, mientras que la imagen traduce la misma información en forma gráfica. Este ejemplo señala un material con un 37% de material fino y lo clasifica en Arcillas de baja/media plasticidad.

Como se mencionara anteriormente, en caso de que el contenido de finos sea inferior al 10% el material no será apto para la realización de este método de impermeabilización, por lo que no será necesario continuar con los siguientes dos ensayos.

Figura N°1. Ensayo de Clasificación

Granulometría

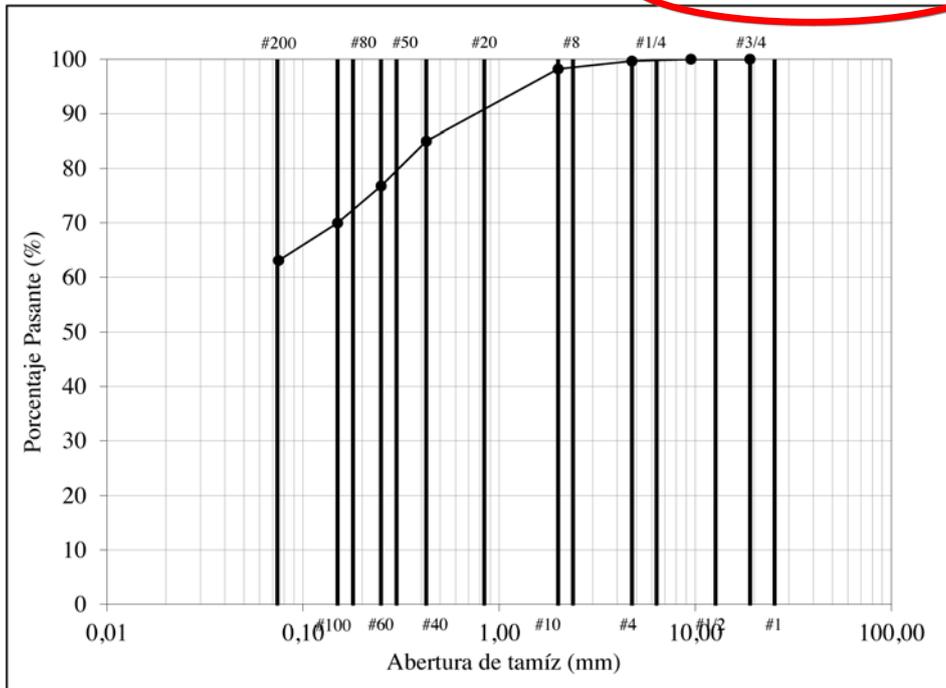
Tamíz	Abertura (mm)	Retenido (g)		Porcentajes (%)	
		Parcial	Acumulado	Retenido	Pasa
#3/4	19,00	0,0	0,0	0,0	100,0
#3/8	9,5	0,0	0,0	0,0	100,0
#4	4,75	1,7	1,7	0,3	99,7
#10	2	7,5	9,2	1,8	98,2
#40	0,425	67,4	76,6	15,0	85,0
#60	0,25	42,1	118,7	23,2	76,8
#100	0,15	34,7	153,4	30,0	70,0
#200	0,075	35,5	188,9	37,0	63,0
Fondo		322,3	511,2	100,0	0,0

Clasificación

AASHTO A-7-6 (11)

SUCS

CL Arcillas baja/media plasticidad



En caso de contar con un material con un contenido superior al 10-15% de finos y de baja plasticidad, se debe indicar al laboratorio que realice los ensayos de Proctor de acuerdo a la norma UY S-17 (con al menos 5 puntos de determinación), y el de Permeabilidad.

El ensayo Proctor indica la relación entre diferentes grados de compactación y humedad al que se expone el material. El resultado de este ensayo es un gráfico (figura N°2) en el cual se describe una curva que vincula las dos variables analizadas. El punto más alto de dicha curva se denomina Peso Unitario Seco Máximo (PUSM). Este indica la compactación y humedad al cual se lograría el nivel más bajo de permeabilidad. Ver ejemplo de resultado en la figura N°2 donde se muestra para cada grado de humedad su correspondiente nivel de compactación alcanzado.

Figura N°2. Ensayo Proctor

ENSAYO PROCTOR

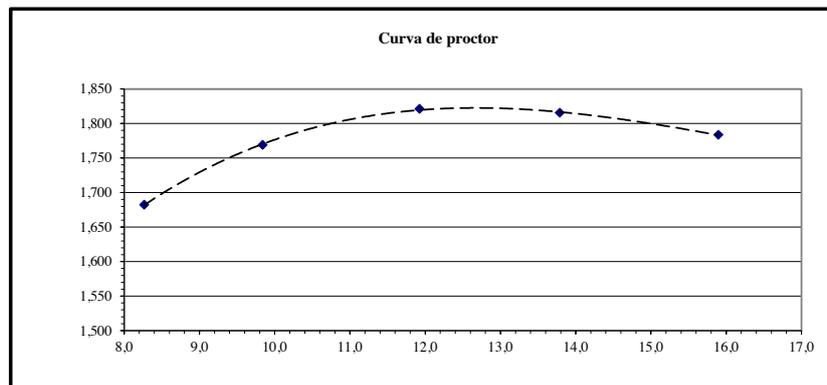
Energía: Modificado Molde: de 4"

COMPACTACIÓN

Punto N°	Peso del Suelo y Molde g	Peso del Molde g	Volumen del Molde cm ³	Peso específico		Observaciones
				Húmedo g/cm ³	Seco g/cm ³	
1	3781,5	1852	993	1,943	1,769	
2	3876	1852	993	2,038	1,821	
3	3903,5	1852	993	2,066	1,816	
4	3660,5	1852	993	1,821	1,682	
5	3904,5	1852	993	2,067	1,784	

HUMEDAD

Punto N°	Tara del Pf g	Peso total húmedo g	Peso total seco g	Humedad %	Humedad promedio %	Observaciones
1	116,6	455,8	425,9	9,7	9,8	
	114,8	487,4	453,5	10,0		
2	119,4	454,2	418,9	11,8	11,9	
	117,4	500,2	459,0	12,1		
3	109,8	460,5	418,3	13,7	13,8	
	117,3	514,9	466,4	13,9		
4	74,4	396,2	371,8	8,2	8,3	
	72,4	402,9	377,5	8,3		
5	72,4	352,2	314,0	15,8	15,9	
	72,2	340,8	303,8	16,0		



Humedad óptima: 12,7 %
 PUSM: 1,82 g/cm³

El tercer y último ensayo que se debe realizar es el de Permeabilidad. El mismo está asociado al de Proctor ya que indica el coeficiente de conductividad hidráulica (k) cuando el material es compactado al 95% de lo que indica el PUSM. El valor de la permeabilidad indicará si se alcanza con el valor de $1 \cdot 10^{-7}$ cm/seg. o qué tan aproximado está del mismo.

En el caso que se encuentre en el terreno material de naturaleza arcilloso, deberá en primer lugar controlarse la compactación y humedad del mismo. En caso de que la humedad no sea suficiente, luego de excavar la pileta, se escarificará los 30 cm superiores y se humectará, o se dejará orear hasta que lograr la humedad adecuada. Finalmente se compactará con rodillo "pata de cabra" hasta obtener la densidad del 95% del Proctor normal.

Cálculo del volumen de extracción necesario en caso de contar con el material *in situ*:

Para calcular el volumen de material a extraer (Xa), se debe considerar el volumen requerido final para cubrir la pileta (Xb). Xb resulta de multiplicar la superficie a cubrir por el espesor de la capa de arcilla compactada (30cm mínimo).

Al extraer el material éste sufrirá un aumento del volumen por esponjamiento, el cual se estima en un 30%. Por otra parte, una vez realizada la compactación del mismo sobre la superficie se define su volumen disminuirá un 15% aproximadamente. Con esto, el volumen de material a extraer estará definido por la siguiente fórmula:

$$X_a = 1,3 \times 1,15 \times X_b$$

A modo de ejemplo si se requieren cubrir 1000m^2 de superficie con 30cm de espesor, el volumen de material necesario es de $1000 \times 0,3 \times 1,3 \times 1,15 = 448,5\text{m}^3$.

Aspectos constructivos:

El primer aspecto a tener en cuenta es la pendiente de los taludes de la pileta. Esta deberá respetar una relación de 3 a 1 para permitir el trabajo de la maquinaria necesaria. Debido al alto nivel de compactación que se requiere (definido según resultado de ensayos geotécnicos), la incorporación del rodillo “pata de cabra” es necesario para lograrla ⁽²⁾.

La colocación de la arcilla debe realizarse en capas de entre 10-15cm de espesor (compactada).

Previo a construir la pileta, debe determinarse la humedad de la arcilla en el lugar para saber qué tan cerca estamos de la humedad óptima deseada, la cual se indica en el resultado del análisis Proctor (ver figura N°2).

Una vez compactada la superficie debe realizarse el control a campo de la humedad y grado de compactación logrado mediante las siguientes fórmulas:

Determinación de la humedad (%):

$$\frac{(\text{peso suelo húmedo (tal cual se obtiene la muestra)} - \text{peso suelo seco})}{\text{peso suelo seco}} \times 100$$

Determinación de la compactación (g/cm³):

$$\text{Compactación suelo Húmedo: } \frac{\text{Peso suelo húmedo}}{\text{volumen molde}}$$

$$\text{Compactación suelo Seco: compactación suelo húmedo} - \text{agua}$$

Los valores de humedad y compactación finales deben ser próximos a los obtenidos en los resultados analíticos del Proctor.

Es recomendable y necesario también realizar un ensayo de conductividad hidráulica o permeabilidad a campo para corroborar el grado de permeabilidad final logrado. De esta manera el productor podrá tener el respaldo técnico mediante un documento donde se registren los resultados obtenidos a campo.

2. Geomembranas sintéticas:

Aspectos constructivos

La geometría de la pileta debe ser diseñada con una pendiente en talud mayor o igual a 2:1. Se debe lograr un correcto alisado y compactación mínima de la superficie y para esto se debe contemplar la ausencia de piedras angulares mayores a los 0,9cm (ver figura N°3). En caso de existir este tipo de piedras se recomienda adicionar por debajo de la geomembrana un “amortiguador” de geotextil no tejido de al menos 300g/m² o bien una capa de tierra sin contenido de piedras o arena de al menos 15cm de espesor. La geomembrana debe estar en contacto directo y uniforme con el suelo compactado ⁽³⁾.

Debe preverse en todos los casos la construcción de una zanja de anclaje en todo el perímetro para la geo-membrana de al menos 40cm de ancho por 50 a 60cm de altura y un espacio de retiro plano de entre 0,8 y 1m según se muestra en la figura N° 4. Este método de anclaje es el más frecuente y recomendado.

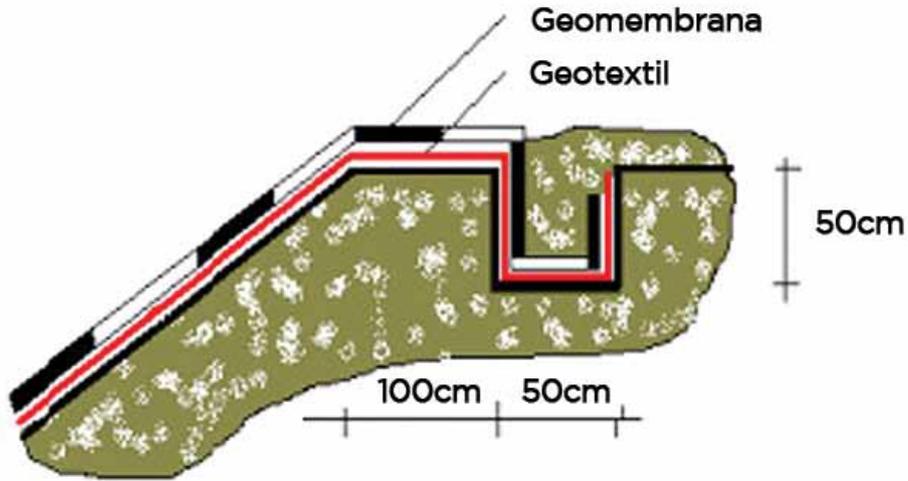
Se recomienda una vez impermeabilizada la pileta con geomembrana, la limpieza de la misma se realice mediante el bombeo del efluente, previamente agitado y homogeneizado, es decir, sin el uso de maquinaria de tipo vial como retroexcavadoras para evitar rupturas del material de impermeabilización.

Figura N°3. Técnica de alisado de la superficie con rodillo convencional



Fuente: Dairynz.co.nz “A farmers guide to building a new effluent storage pond”

Figura N°4. Zanja de anclaje



Fuente: Gentileza de Sotrafa S.A. Imagen modificada

Drenaje y ventilación

Dado que puede existir algo de contenido orgánico en el suelo (sustrato), se requiere incorporar canales de drenaje para evacuar los posibles gases generados por microorganismos (metanogénesis) según como se observa en la figura N°5. Estos canales son constituidos por geodrenes con una o dos capas de geotextil (densidad mayor a 100g/m²) y se colocan a no menos de 6m entre sí. Tener presente la necesidad de una pendiente de al menos 1%. Para el cálculo de materiales (geodren + geotextil) se estima un 20 a 30% de la superficie a cubrir.

Figura N°5. Geodrenes para el escape de gases (ventilación)



Fuente: Geosynthetica.net



Fuente: Practice note 21 "FARM DAIRY EFFLUENT PONDS"(izquierda), Revista "Land and Water", 2006 (derecha)

Para cualquier caso, se debe contar con el respaldo de la empresa proveedora e instaladora respecto a la garantía del material y su instalación. Es decir, que se realice el control en soldaduras, anclajes, recubrimiento caño de llegada del efluente, etc. y se le entregue al productor documento firmado correspondiente. Al mismo tiempo se requerirá de la supervisión durante la instalación por parte del técnico competente involucrado o el propio productor. Se debe corroborar que se alcance un correcto alisado y grado de compactación del piso y taludes (preparación del sustrato) para la posterior colocación de la geomembrana.

Luego, una vez colocada la geomembrana, se recomienda participar en el control de calidad de las soldaduras que deberá realizar la empresa instaladora. Por ejemplo para el caso de aquellas obtenidas por termofusión, se debe inyectar aire en los canales (ver figura N°6) y se corrobora que la presión se mantenga constante mediante la lectura del manómetro. Para cualquier caso, es recomendable que se realice también el control de calidad mediante la técnica de geo-eléctrica, siguiendo la normativa ASTM D7002 (ver link N°8), donde se realiza el testeado del 100% de la superficie de la geomembrana.

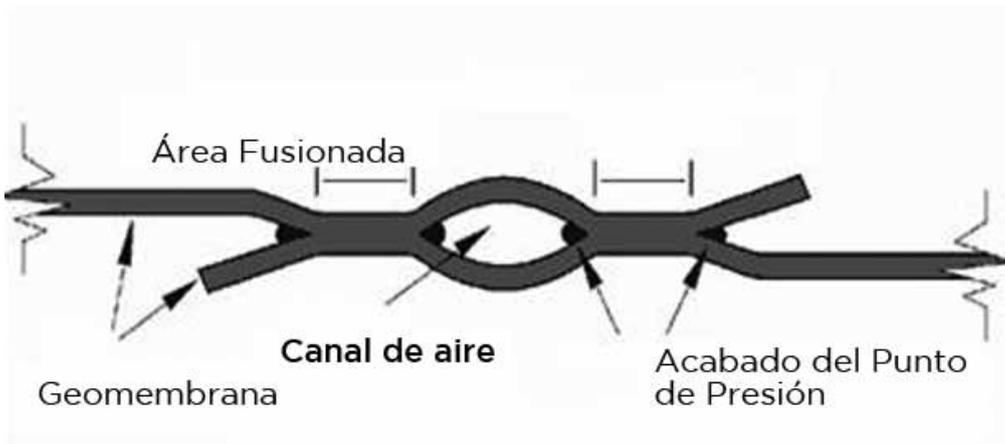
Geomembrana PEAD:

Se sugiere utilizar material certificado que cumpla con la normativa GRI ⁽⁶⁾, GM13 (ver link N°1).

Según las recomendaciones técnicas a nivel internacional el espesor mínimo a utilizar es de 1,5mm ^{(3) (4) (5)}. Este espesor asegura la funcionalidad de la geomembrana en términos de su resistencia a roturas ocasionadas por diferentes fuerzas a las cuales puede ser expuesta. No obstante, se podrá colocar un espesor menor (1mm) solamente en aquellos casos donde el tipo de suelo contenga material arcilloso y ausencia de piedras. Sea cual sea el espesor, previo a la instalación de la geomembrana, se deberá lograr un alisado y compactado del sustrato que garantice la ausencia de cualquier objeto punzante que ponga en riesgo su cometido.

Para su colocación se requiere de mano de obra especializada que garantice la calidad de las soldaduras. Estas soldaduras son obtenidas por extrusión y termofusión, esta última técnica es la más recomendada (figura N°6). Se sugiere que los ensayos de campo cumplan con la norma EPA 530/SW-91/051, esto se deberá tener en cuenta al momento de contratar la empresa instaladora (ver figura N°7).

Figura N°6. Esquema de soldadura por termofusión (cuña caliente) de geomembrana de PEAD



Fuente: <http://www.geinsaperu.com>. Geosinteticos e instalaciones S.A.C.

Figura N°7. Ejemplo de pileta impermeabilizada con PEAD.



Fuente: obtención propia

Geomembrana PVC:

Se sugiere utilizar material certificado que cumpla con la normativa del PVC Geomembrane Institute (ver link N°3) o “National Engineering Handbook” de la USDA citado al inicio.

Según las recomendaciones técnicas a nivel internacional el espesor mínimo a utilizar es de 1mm ⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾.

El PVC ofrece mayor flexibilidad que el PEAD pero requiere de la colocación previa de un geotextil en la totalidad de la superficie (categoría III y que cumpla con los estándares de la normativa GRI- GT12 (a), ver link N°7). Algunas empresas comercializan el PVC con el geotextil incorporado a la geomembrana. Las soldaduras pueden ser logradas mediante las técnicas de termofusión o químicamente. Al igual que para el caso del PEAD, se deben exigir los controles de calidad a la empresa instaladora.

Figura N°8. Ejemplo de pileta impermeabilizada con PVC



Fuente: Gentileza de Sansuy

Agradecimientos:

Se agradece al Dr. Ing. Alvaro Gutierrez, jefe del Laboratorio de Control de Calidad de Fundaciones, Instituto de Estructura y Transporte, Facultad de Ingeniería-UDELAR. Sus aportes fueron fundamentales para desarrollar y ampliar aspectos relacionados al método de suelo arcilloso compactado.

Referencias bibliográficas:

- ⁽¹⁾ National Engineering Handbook, Part. 642. General Contract Specification. Chapter 3. "Material Specifications 594"- Geomembrane Liner, January 2014.
- ⁽²⁾ Practice note 21 "FARM DAIRY EFFLUENT PONDS", ISSN 1176-0907 Version 3, IPENZ-DairyNZ, August 2017
- ⁽³⁾ Code of federal regulation 40, 1996
- ⁽⁴⁾ Wastewater lagoon construction, Environment Protection Authority, November 2014.
- ⁽⁵⁾ United States Natural Resources Conservation Services (NRCS), Conservation Practice Standard "Pond sealing or lining- Geomembrane or geosynthetic clay liner"- Code 521, October 2017.
- ⁽⁶⁾ Geosynthetic Research Institute (GRI) Specifications, 2018.

Links:

Nº1 <http://geosynthetic-institute.org/grispecs/gcl3.pdf>

Nº2 <http://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm13.pdf>

Nº3 <https://www.geosynthetica.net/Uploads/PGI1197.pdf>

Nº4 <http://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm18.pdf>

Nº5 <http://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm17.pdf>

<http://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm25.pdf>

Nº6 <http://geosynthetic-institute.org/grispecs/gm21.pdf>

Nº7 <http://geosynthetic-institute.org/grispecs/gt12a.pdf>

Nº8 <https://www.astm.org/Standards/D7002.htm>

Comité Técnico Especializado para la gestión de Efluentes de Tambo



Apoyan

