



ANEXO 6

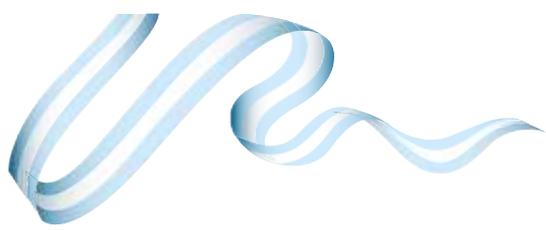
MEMORIA CÁLCULO GENERACIÓN DE LIXIVIADOS Y SISTEMA DE GESTIÓN CENTRO AMBIENTAL EL BORBOLLÓN

2014



CONTENIDOS

1. INTRODUCCIÓN	4
2. OBJETIVOS	4
3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO	4
3.1 Lixiviados producidos por la humedad de los residuos y la descomposición	4
3.1.1 Generación de lixiviado debido a la compactación y degradación de los residuos	4
3.1.2 Generación de gases	5
3.2 Estimación de la generación total de lixiviados esperada	7
4. SISTEMA GESTIÓN LÍQUIDOS LIXIVIADOS ...	10
4.1 Sistema de Captación y Recolección	10
4.2 Laguna de Acopio Temporal	12
4.3 Sistema de Recirculación de líquidos lixiviados	17



INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Esquema funcionamiento y cantidad de lixiviados a generarse en un relleno	7
Figura 2: Volumen anual de lixiviados producidos (m3) en el Módulo 1	9
Figura 3: Volumen anual de lixiviados acumulados del relleno	9
Figura 4: Esquema en planta de división de los sectores y	11
Figura 5: Corte esquemático – Sumidero de extracción de líquido lixiviado	12
Figura 6: Selección de la profundidad de la laguna	14
Figura 7: Planta Módulo 1 – Ubicación laguna lixiviados	15
Figura 8: Planta Laguna acopio de lixiviados	16
Figura 9: Corte Laguna de acopio de lixiviado	17
Figura 10: Conductos de recirculación de líquidos lixiviados	18
Figura 11: Corte tubos de reinyección de líquidos lixiviados	19

INDICE DE TABLAS

TABLA 1: Cantidades de residuos a disponer y propiedades físicas de los RSU	5
TABLA 2: Cálculo generación de biogás para el Módulo 1	5
TABLA 3: Cantidades de residuos a disponer y propiedades físicas de los RSU	6
TABLA 4: Cálculo de infiltración potencial de agua de lluvia	6
TABLA 5: Pesos y características de humedad	8
TABLA 6: Generación de lixiviados en el Módulo 1	8
TABLA 7: Generación de lixiviados en el Módulo 1	13
TABLA 8: Cálculo dimensiones Laguna de Retención de Lixiviados	14



1. INTRODUCCIÓN

El manejo adecuado y la preservación del medio ambiente, exigen una gestión adecuada de los líquidos lixiviados que son generados en el relleno sanitario del Centro Ambiental El Borbollón.

La naturaleza de los líquidos lixiviados tiene dos orígenes principales:

- a) Lixiviados producidos por la humedad propia de los residuos y la descomposición de la materia orgánica presente en los mismos.
- b) Lixiviados provenientes de fuentes externas, principalmente del ingreso de aguas pluviales al relleno.

2. OBJETIVOS

En el presente informe se plantean como objetivos: 1) Estimar las cantidades anuales y diarias de líquidos lixiviados que se generarán en el relleno sanitario del Centro Ambiental El Borbollón y 2) En función de los valores obtenidos diseñar un sistema adecuado de captación, extracción y gestión de estos líquidos.

3. METODOLOGÍA DE CÁLCULO

A partir del origen de los líquidos lixiviados, se establecieron las pautas para su estimación.

3.1 Lixiviados producidos por la humedad de los residuos y la descomposición

Se ha calculado la cantidad de líquidos lixiviados producidos por la humedad propia de los residuos y durante los procesos de descomposición biológica de la materia orgánica presente en éstos.

3.1.1 Generación de lixiviado debido a la compactación y degradación de los residuos

Como primer paso para la estimación del volumen de líquidos lixiviados a partir de los residuos, es necesario conocer las cantidades diarias y anuales de los residuos a disponer, para el año promedio de operación del primer Módulo, el peso específico compactado de los residuos y su contenido de humedad. Estos valores se utilizarán como base de cálculo del volumen de generación de lixiviado, por el concepto de compactación y degradación de los residuos dispuestos. En la **Tabla 1** se muestran los datos mencionados.

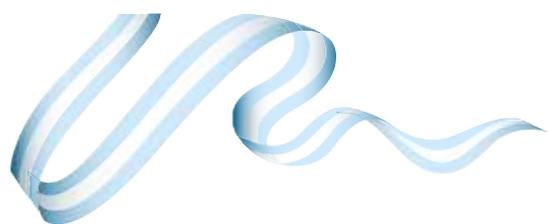


TABLA 1: Cantidades de residuos a disponer y propiedades físicas de los RSU

Datos residuos	Valores
Residuos a disponer por día (Tn)	1.313
Residuos a disponer por año (Tn)	479.245
Peso específico compactado de los residuos (kg/m ³)	1.000
Porcentaje de disponibilidad de los RSU para la bioconversión	65%
Humedad de los RSU	32%
Humedad disponible en los RSU para la bioconversión	21%

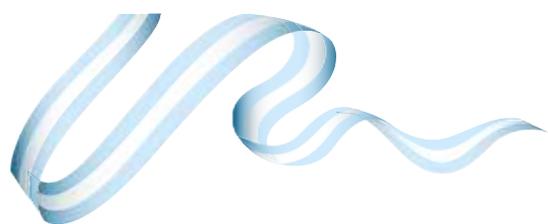
FUENTE: Elaboración propia

3.1.2 Generación de gases

Como ya se mencionó en la Memoria de generación de Biogás, del presente documento, la generación de los gases del relleno se calculó en función de la *Caracterización de los residuos domiciliarios de la zona metropolitana de Mendoza*, realizada por el Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza, en 2004, en el marco del Estudio denominado “*Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos – Área Metropolitana de Mendoza*”. En la **Tabla 2** se presentan los valores obtenidos para la generación de biogás de las fracciones rápida y lentamente degradable en m³/kg de residuos.

TABLA 2: Cálculo generación de biogás para el Módulo 1

Año	Descomposición Rápida Tasa Punta = 0,371 m ³ /kg/año			Descomposición Lenta Tasa Punta = 0,331 m ³ /kg/año			Total Rápidos + Lentos
	Tasa Prod. (m ³ /año)	Producción (m ³)	Producción (m ³ /kg RSU)	Tasa Prod. (m ³ /año)	Producción (m ³)	Producción (m ³ /kg RSU)	Producción (m ³ /kg RSU)
1	0,371	0,185	0,061	0,026	0,013	0,000	0,061
2	0,278	0,325	0,106	0,052	0,065	0,001	0,108
3	0,185	0,232	0,076	0,078	0,092	0,002	0,078
4	0,093	0,139	0,045	0,105	0,118	0,003	0,048
5	0,000	0,046	0,015	0,131	0,124	0,003	0,018
6				0,018	0,111	0,002	0,002
7				0,105	0,098	0,002	0,002
8				0,0092	0,085	0,002	0,002
9				0,078	0,072	0,002	0,002
10				0,065	0,059	0,001	0,001
11				0,052	0,046	0,001	0,001
12				0,039	0,033	0,001	0,001
13				0,026	0,020	0,000	0,000
14				0,013	0,020	0,000	0,000
15				0,000	0,007	0,000	0,000
		0,927	0,303		0,961	0,021	0,324



Además, se tuvieron en cuenta otros datos para el cálculo relacionados con el diseño del Módulo, el agua que se consumirá en la producción de gas, como sí también datos meteorológicos como la precipitación anual promedio (dato obtenido el análisis del clima realizado en el presente documento) y peso del material de cobertura diaria. En la **Tabla 3** se reflejan los valores consignados.

TABLA 3: Cantidades de residuos a disponer y propiedades físicas de los RSU

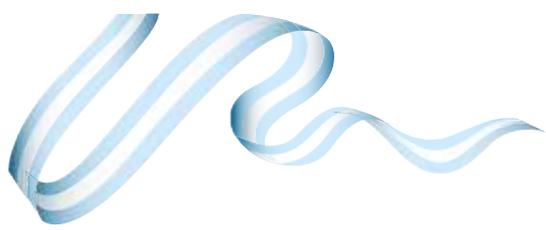
Datos del Módulo	Valores
Altura promedio de cada nivel (m)	5
Relación residuos/cobertura	7,7
Número de niveles	4
Datos de gases	Valores
Agua consumida en la formación de gas (kg/m ³)	0,16
Agua presente como vapor en el gas (kg/m ³)	0,0016
Peso específico del gas (kg/m ³)	1,339
Otros datos	Valores
Precipitación promedio anual (mm/año)	250
Peso del material de cobertura diaria (kg/m ³)	1800

FUENTE: Elaboración propia

También se realizó el cálculo del caudal de lluvia infiltrado, en función del tipo de suelo, y su capacidad de campo, punto de marchitez, coeficiente de escorrentía, capacidad de almacenamiento de agua, y permeabilidad, entre otros; y sobre datos meteorológicos obtenidos de la Estación Meteorológico El Plumerillo y Estación Meteorológica INTA. Y en función de todo esto se llegó a obtener el valor de infiltración potencial de 5 cm. En la **Tabla 4** se presentan los cálculos realizados.

TABLA 4: Cálculo de infiltración potencial de agua de lluvia

Mes	Pp (mm)	Evapotransp.	Escorrentia	Subida o pérdida de humedad	Deficit de humedad en el material de cobertura	Infiltración potencial (mm)
Enero	48,2	5,6	16,9	25,8	0,0	20,4
Febrero	38,0	4,7	13,3	20,0	0,0	14,6
Marzo	34,7	4,0	12,1	18,6	0,0	13,2
Abril	13,4	2,7	4,7	6,1	0,0	0,7
Mayo	7,9	2,0	2,8	3,1	0,0	-2,3
Junio	3,6	2,1	1,3	0,2	0,0	-5,2
Julio	12,2	2,3	4,3	5,7	0,0	0,3
Agosto	5,3	2,7	1,9	0,7	0,0	-4,7



Setiembre	13,2	3,5	4,6	5,1	0,0	-0,3
Octubre	8,2	4,3	2,9	1,0	0,0	-4,4
Noviembre	15,2	5,5	5,3	4,4	0,0	-1,0
Diciembre	23,3	8,2	8,2	6,9	0,0	1,5
	223,2	47,5	78,1	8,1	0,0	50,6

FUENTE: Elaboración propia

3.2 Estimación de la generación total de lixiviados esperada

A partir de los datos recopilados se realizó el cálculo de las cantidades totales de lixiviados generados por los residuos, según un modelo realizado siguiendo las pautas extraídas del libro “Gestión Integral de los Residuos Sólidos” de TCHOBANOGLOUS-THEISEN-VIGIL.

El modelo fue generado a partir del esquema que se presenta en la **Figura 1**, que representa las diferentes capas o niveles sucesivos de disposición de RSU en un relleno modelo y las variables que actúan sobre éste.

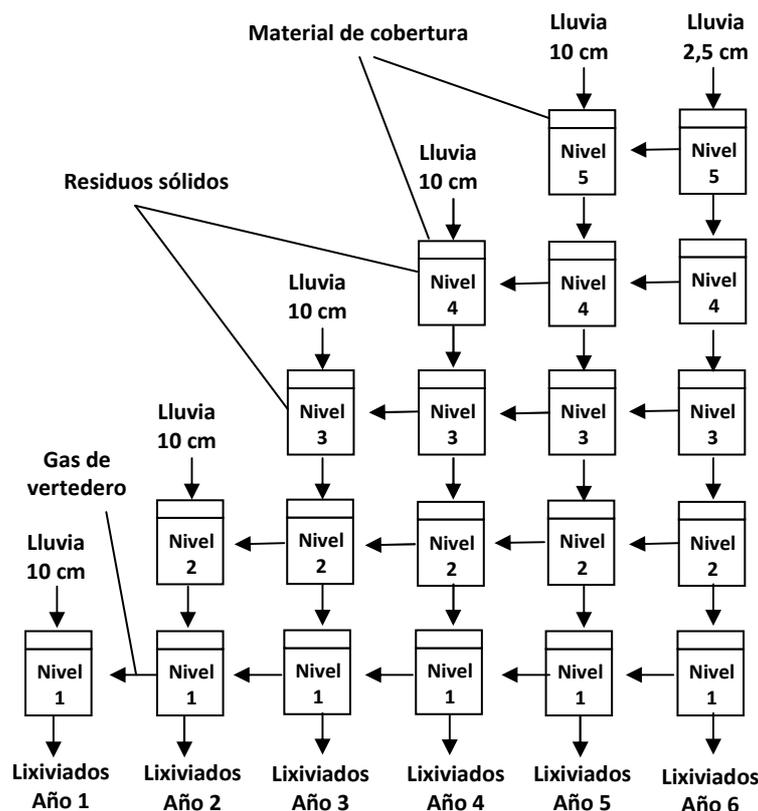


Figura 1: Esquema funcionamiento y evolución del modelo de estimación de la cantidad de lixiviados a generarse en un relleno

En la **Tabla 5** se pueden observar los pesos promedio, y características de humedad de los componentes de cada uno de los elementos del modelo.



TABLA 5: Pesos y características de humedad

Datos residuos	Valores
Material de cobertura diaria (kg/m ²)	1.035
Peso de los residuos (kg/m ²)	4.425
Peso del nivel (kg/m²)	5.460
Peso seco de los residuos (kg/m ²)	4.416
Contenido de humedad de los RSU (kg/m ²)	920
Peso anual de la lluvia infiltrada (kg/m ²)	50
Peso total del nivel (kg/m²)	5.510

FUENTE: Elaboración propia

A partir del análisis de los resultados obtenidos de la corrida del modelo, participando como variables en éste, el aporte de lixiviado por ingreso de aguas de lluvia y por la compactación y degradación de los residuos, fueron obtenidos los volúmenes de líquidos lixiviados a evacuar anualmente, que se presentan en la **Tabla 6**.

TABLA 6: Generación de lixiviados en el Módulo 1

Año	Volumen de lixiviados generados (m ³ /año)
1	0,00
2	0,46
3	45.344,22
4	59.576,30
5	9.938,25
6	1.398,85
7	3.123,84
8	2.336,39
9	1.414,46
10	637,83
11	336,25
12	308,04
13	298,20
14	253,23
15	234,21
16	216,93
17	204,56
18	197,59
19	190,17
20	188,68
21	0,00



En la **Figura 2**, se observa la variación de los volúmenes generados en el período de la vida útil del Módulo 1.

Generación de Lixiviados

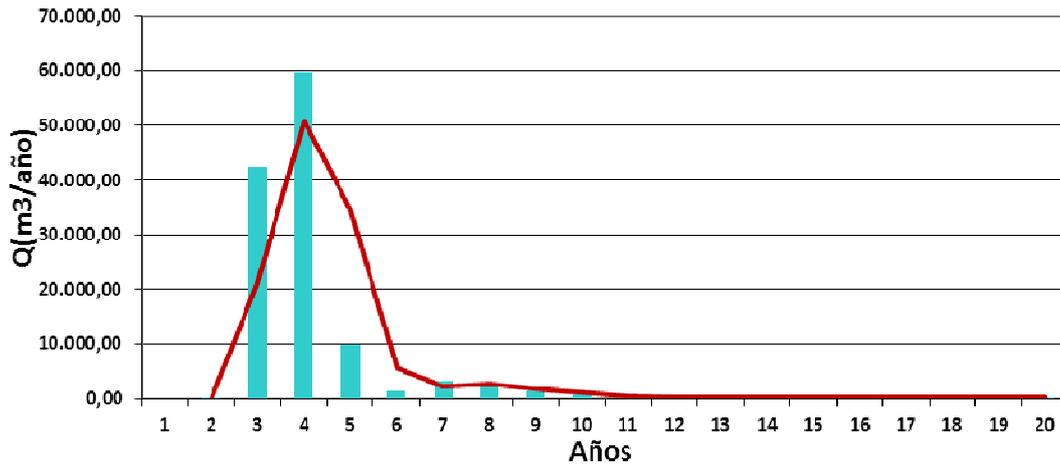


Figura 2: Volumen anual de lixiviados producidos (m³) en el Módulo 1 (se agrega línea de tendencia)

Según la estimación realizada, el volumen máximo de lixiviados se generará en el año 4 y será de 59.576 m³, solamente en el módulo 1. Pero como resulta necesario conocer la cantidad acumulada de lixiviados a generarse, es decir los valores acumulados de los tres restantes módulos, los que se irán construyendo cada cinco años, se utilizó el Método Simplificado para la obtención de estos valores. En la **Figura 3**, se pueden observar estos resultados.

Producción de líquidos lixiviados totales Método simplificado

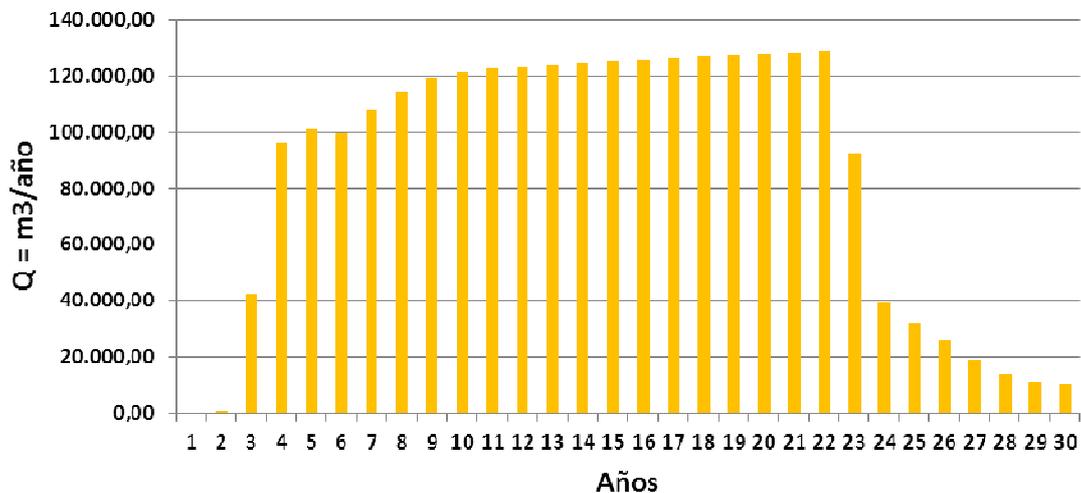


Figura 3: Volumen anual de lixiviados acumulados del relleno



De la gráfica surge que la máxima producción se producirá en el año 22, con un volumen de aproximadamente **128.800 m³**. Si bien este es el valor máximo, se puede observar un intervalo de alta generación, entre los años 9 al 22, con un promedio anual de 125.300 m³.

4. SISTEMA DE GESTIÓN DE LOS LÍQUIDOS LIXIVIADOS

El sistema adoptado para el tratamiento de los líquidos lixiviados generados consiste en la recirculación de los mismos dentro del seno de los residuos dispuestos. Los motivos de la elección de este sistema fueron los siguientes:

- El pasaje de líquidos lixivios con contenido de bacterias aclimatadas al tipo de residuo que se generen en el lugar, aceleran la descomposición de éstos, provocando una disminución del volumen que ocupan los residuos dispuestos en plazos más cortos.
- Los hechos enunciados en el punto anterior, permiten un mejor aprovechamiento de la capacidad del relleno, pudiendo alcanzar un aumento de ésta del orden del 20%.
- La simplicidad del sistema, que permite la operación de éste por operarios de bajo nivel de capacitación.

4.1 Sistema de Captación y Recolección

El proyecto del módulo ha sido dividido en 14 sectores separados por bermas impermeabilizadas, ubicadas en el fondo. La altura de coronamiento de las bermas se de 1 m. El fondo de cada uno de los sectores del módulo tiene una pendiente general del 1,5 por mil, hacia la esquina superior de los laterales del módulo del relleno.

Sobre los laterales externos del fondo de cada sector, será construido un dren pétreo materializado a través de gaviones de 1m x 1m de sección transversal. Estos drenes colectarán y transportarán el líquido lixiviado recolectado hacia los sumideros de captación y bombeo de lixiviados.

En la **Figura 4** se agrega un esquema en planta de la división de los módulos, las pendientes de fondo. El plano correspondiente se agrega en el **Anexo 1: Planos de Proyecto Ejecutivo**.

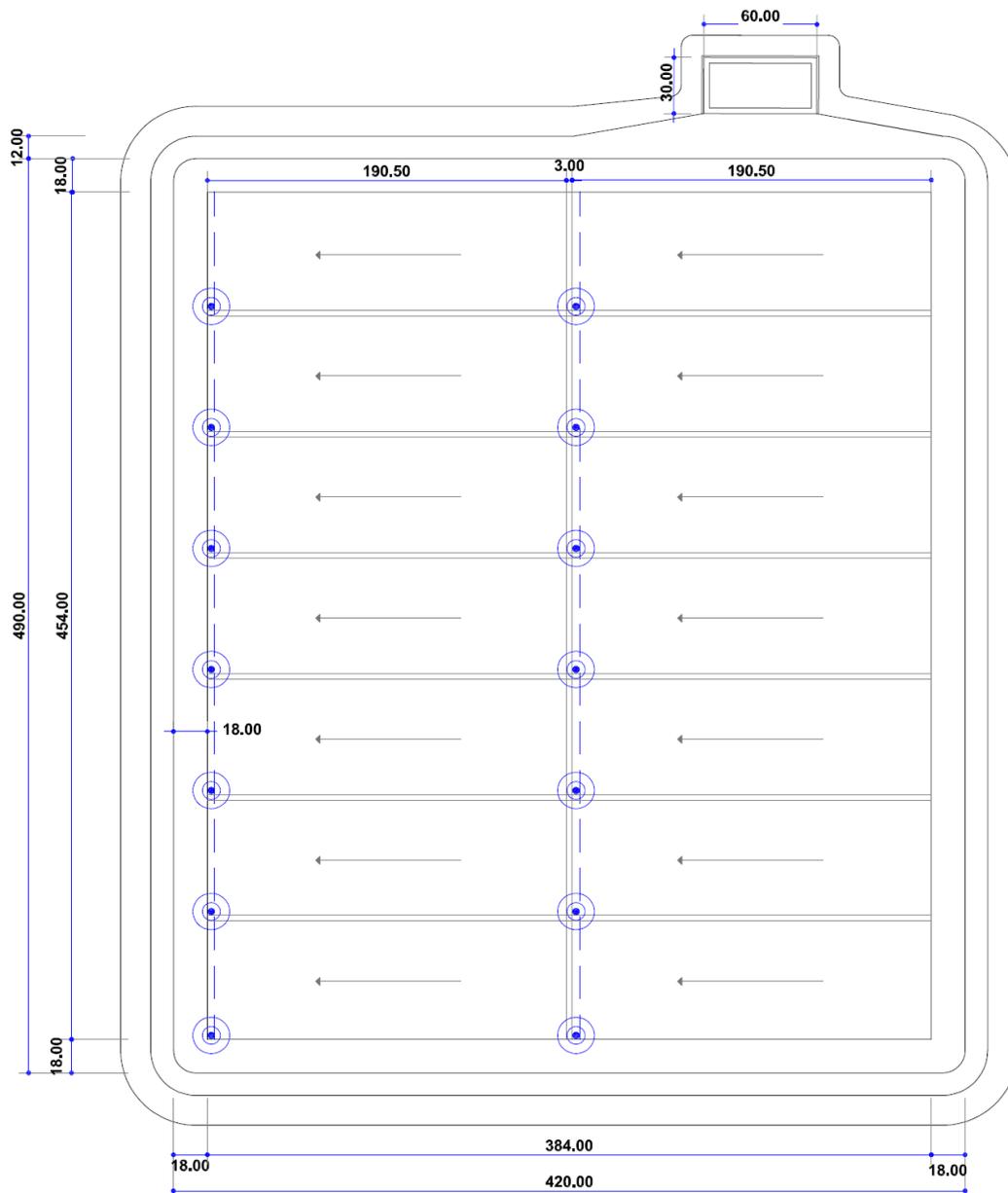


Figura 4: Esquema en planta de división de los sectores y pendientes de fondo del Módulo

Los sumideros de captación y bombero estarán contruidos con una caño de PEAD ranurado, de diámetro interior de 0,60 m, apoyado en forma vertical sobre una loseta de hormigón premoldeado de 1m x 1m.

Para la extracción del líquido lixiviado será utilizada una bomba sumergible portátil para líquidos cloacales, con un caudal de bombeo mínimo de 2.500n litros/hora, a 20 m de salto útil. El líquido lixiviado será bombeado desde cada pozo hacia la laguna de acopio temporal. En la **Figura 5**, puede observarse en un corte esquemático del tipo de instalación.

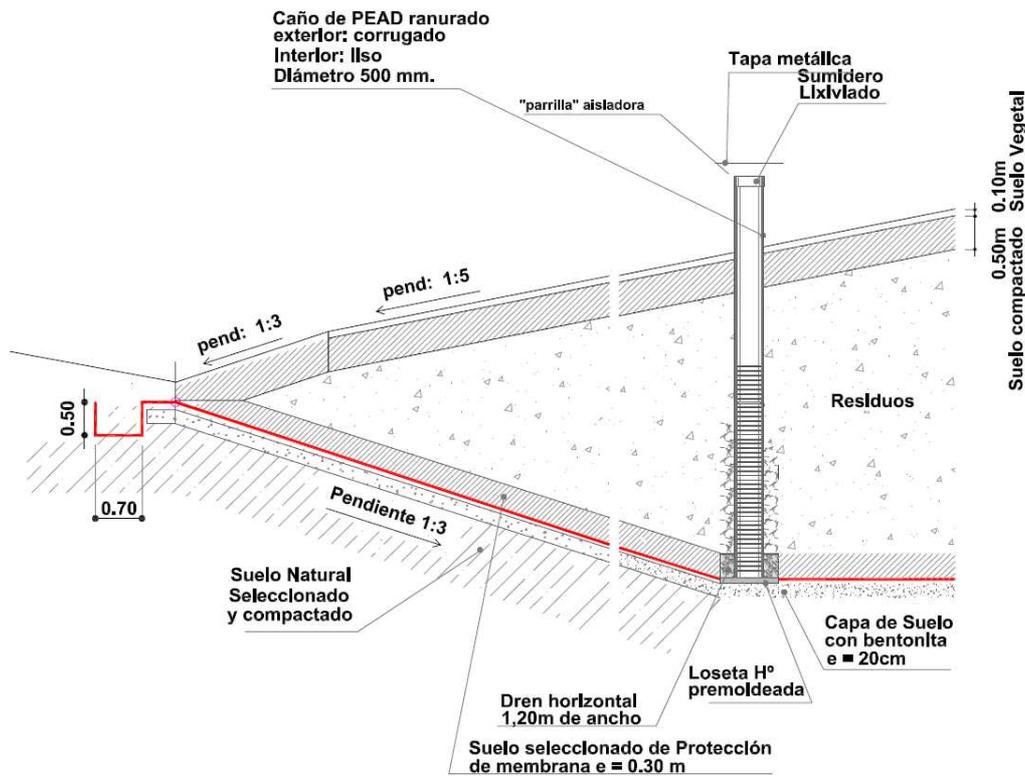


Figura 5: Corte esquemático – Sumidero de extracción de líquido lixiviado

4.2 Laguna de Acopio Temporal

El lixiviado extraído desde los sumideros de captación y bombeo, será bombeado hacia una laguna de acopio temporal, a la espera de su posterior rebombeo a los puntos de recirculación.

La laguna diseñada tiene una sección trapezoidal y sus dimensiones son las siguientes:

- Longitud de fondo: 48 m
- Ancho de fondo: 18 m
- Longitud a nivel superior: 60 m
- Ancho a nivel superior: 30 m
- Profundidad: 1,50 m

Esta laguna fue diseñada como elemento de transición entre la extracción del líquido y su reinyección en el relleno. La misma tendrá una capacidad de retención de 10 días de acopio de líquido, tomado con relación al valor teórico máximo calculado (es decir para el año de mayor producción de lixiviados). Este cálculo se realizó teniendo en cuenta el aporte pluviométrico y el efecto de la evaporación existente debido a las condiciones climáticas predominantes en la región.

La evaporación tiene gran importancia en la zona de estudio, dando como resultado que gran parte de los lixiviados producidos se evaporarán.



En la **Tabla 7**, se presentan los valores estimados de generación anuales y diarios de lixiviados

TABLA 7: Generación de lixiviados en el Módulo 1

Año	Volumen de lixiviados generados (m3/año)	Volumen de lixiviados generados (m3/mes)
1	0,00	0,00
2	0,46	0,00
3	45.344,22	3.480,30
4	59.576,30	4.896,60
5	9.938,25	816,90
6	1.398,85	114,90
7	3.123,84	256,80
8	2.336,39	192,00
9	1.414,46	116,40
10	637,83	52,20
11	336,25	27,60
12	308,04	26,10
13	298,20	24,60
14	253,23	20,70
15	234,21	19,20
16	216,93	17,70
17	204,56	16,80
18	197,59	16,20
19	190,17	15,60
20	188,68	15,60
21	0,00	0,00

FUENTE: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla precedente, la máxima generación está estimada para el año 4, por lo tanto el volumen necesario estimado para un almacenamiento de 10 a 15 días, en el año de mayor producción, siendo la capacidad de almacenamiento para la mayoría de los 20 años considerados, mucho mayor. Con las dimensiones del fondo de la laguna y limitándola con terraplenes de pendiente 1:2, se confeccionó la **Tabla 8**, con la Ley de Profundidades vs. Volúmenes almacenados y la **Figura 5** presenta la misma ley.



TABLA 8: Cálculo dimensiones Laguna de Retención de Lixiviados

Alturas (m)	Largo (m)	Ancho (m)	Área (m ²)	Volumen Parcial (m ³)	Volumen acumulado (m ³)
0,00	48,00	18,00	864,00	0,00	0,00
0,10	48,80	18,80	917,44	91,74	91,74
0,20	49,60	19,60	972,16	97,22	188,96
0,30	50,40	20,40	1028,16	102,82	291,78
0,40	51,20	21,20	1085,44	108,54	400,32
0,50	52,00	22,00	1144,00	114,40	514,72
0,60	52,80	22,80	1203,84	120,38	635,10
0,70	53,60	23,60	1264,96	126,50	761,60
0,80	54,40	24,40	1327,36	132,74	894,34
0,90	55,20	25,20	1391,04	139,10	1033,44
1,00	56,00	26,00	1456,00	145,60	1179,04
1,20	56,80	26,80	1522,24	152,22	1331,26
1,30	57,60	27,60	1589,76	158,98	1490,24
1,40	58,40	28,40	1658,56	165,86	1656,10
1,50	59,20	29,20	1728,64	172,86	1828,96
1,60	60,00	30,00	1800,00	180,00	2008,96
1,70	60,80	30,80	1872,64	187,26	2196,22
1,80	61,60	31,60	1946,56	194,66	2390,88
1,90	62,40	32,40	2021,76	202,18	2593,06
2,00	63,20	33,20	2098,24	209,82	2802,88

FUENTE: Elaboración propia

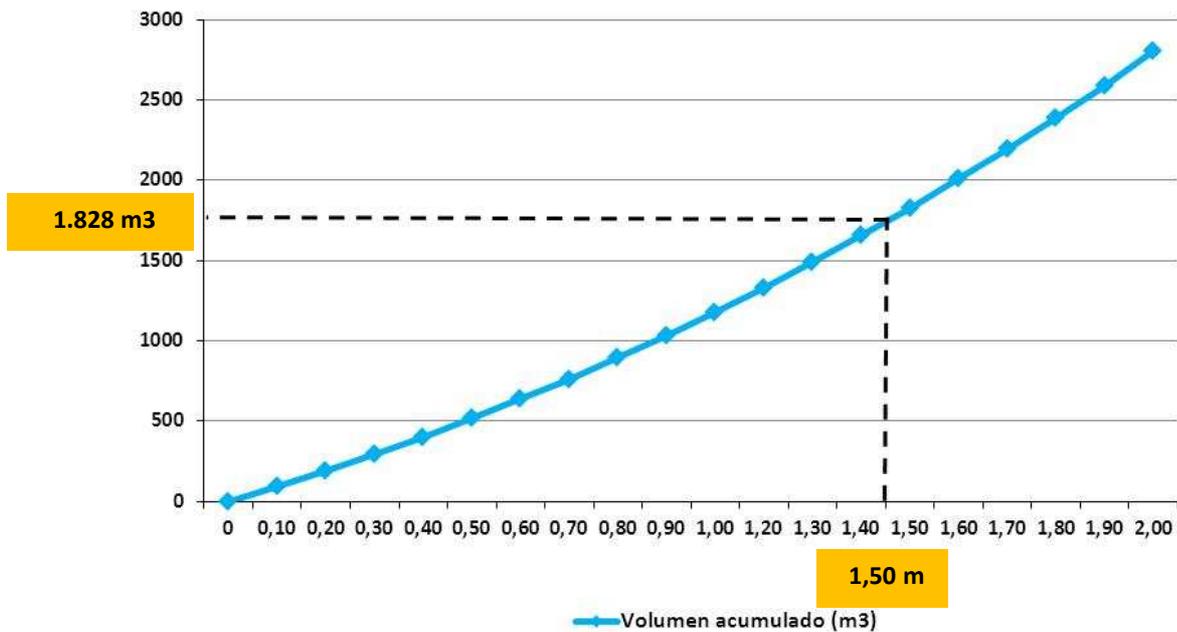


Figura 6: Selección de la profundidad de la laguna en función del volumen requerido



Como se puede observar en la **Figura 6**, para una profundidad de 1,50 m se cumple sobradamente con la premisa establecida que era obtener un volumen de 1.632 m³ (para 10 días de almacenamiento), ya que se está obteniendo un volumen de 1.828 m³.

En las **Figura 7, 8 y 9**, se agrega un esquema en planta de la pileta de acopio de lixiviados, vista en planta de la laguna y corte de la misma, (Ver **Anexo 1: Planos de Proyecto Ejecutivo**).

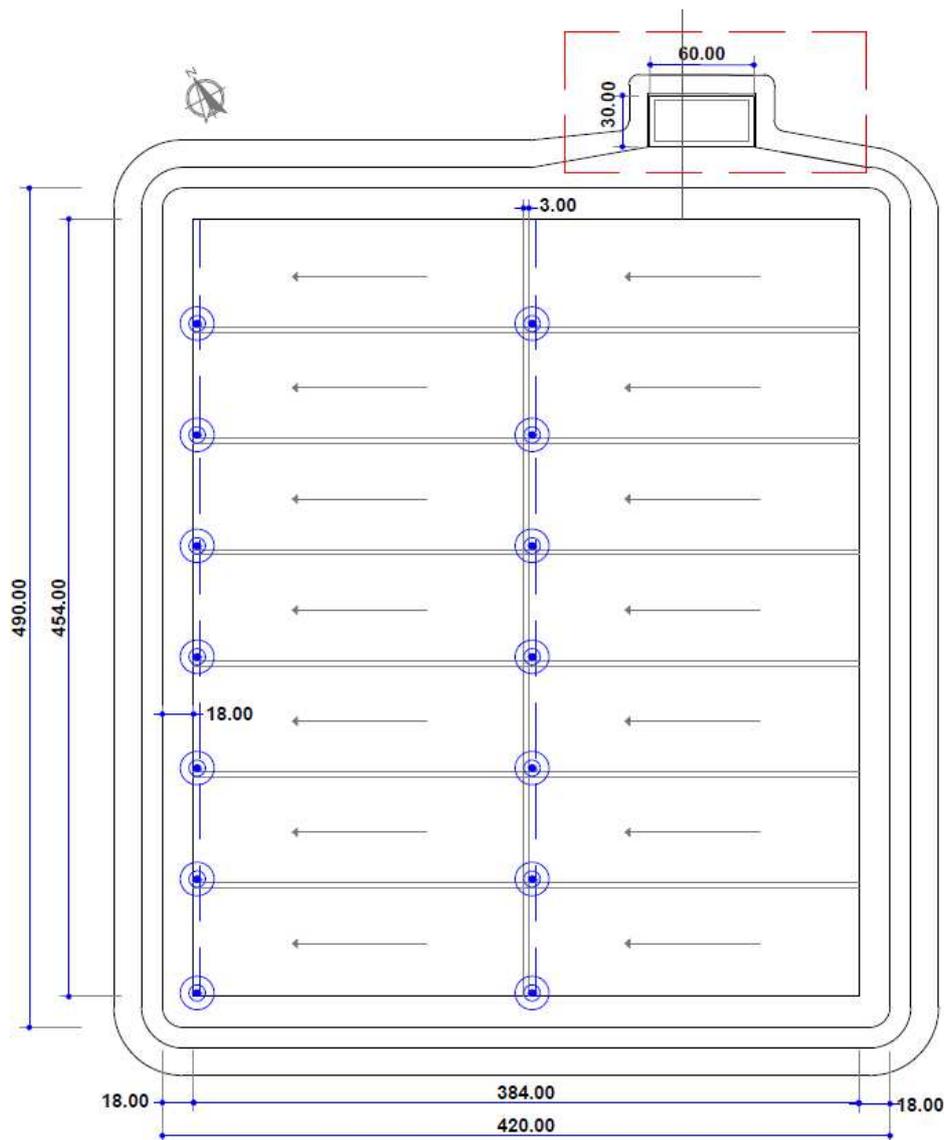


Figura 7: Planta Módulo 1 – Ubicación laguna lixiviados

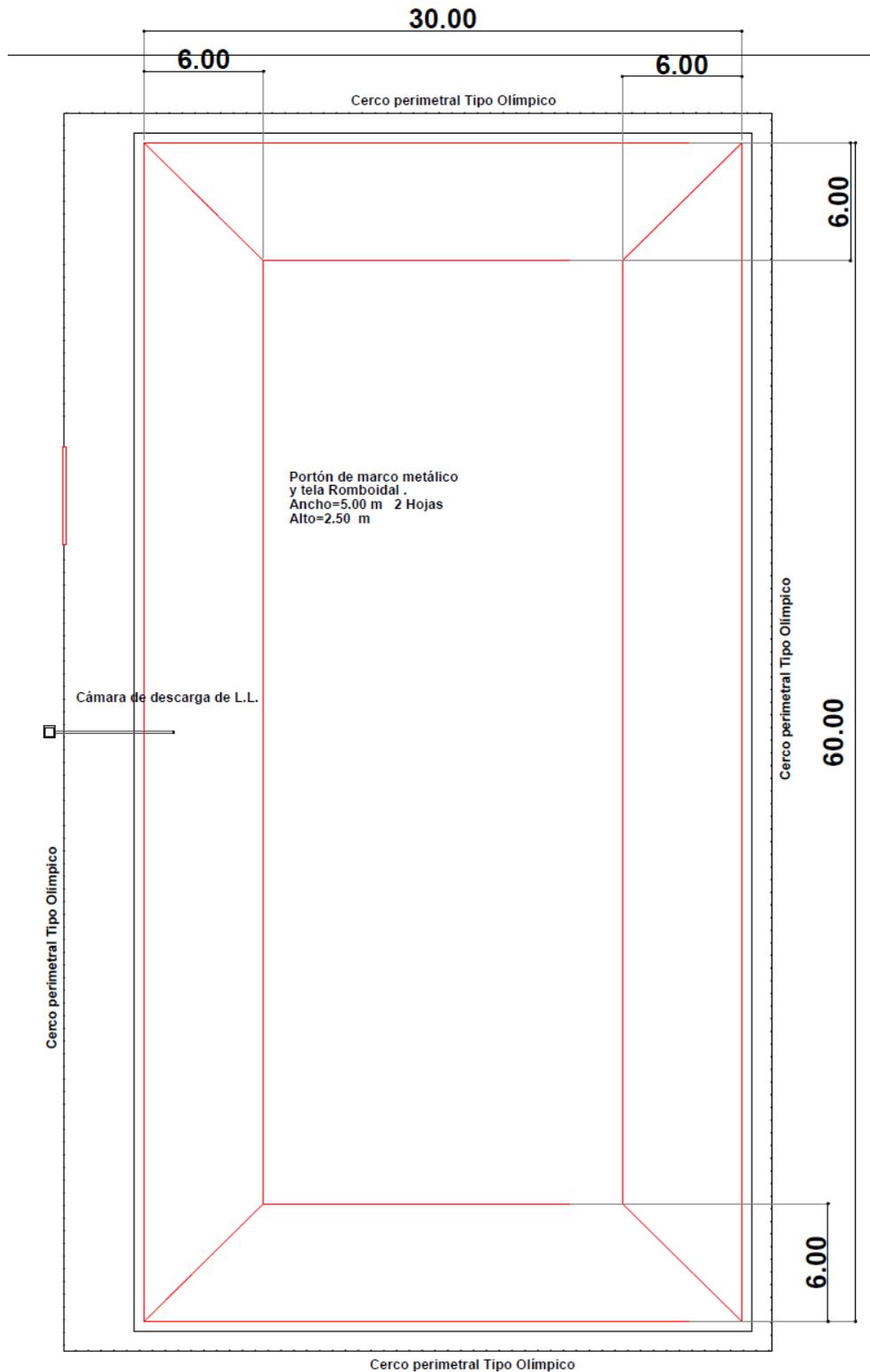


Figura 8: Planta Laguna acopio de lixiviados

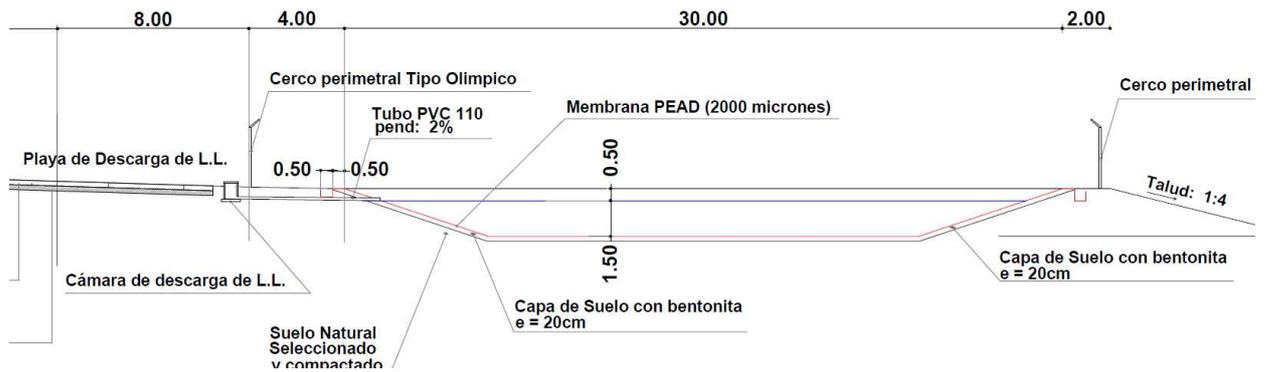


Figura 9: Corte Laguna de acopio de lixiviado

4.3 Sistema de Recirculación de líquidos lixiviados

Con el fin de recircular los líquidos lixiviados nuevamente hacia los distintos sectores del relleno sanitario, fue previsto un sistema de bombeo y reinyección desde la laguna de acopio hacia la parte superior de la cobertura final del módulo.

El sistema consiste en 16 columnas de distribución de lixiviado, a realizarse desde la parte superior de la cobertura final, hasta una profundidad de 2,5 m sobre el nivel del fondo del módulo. Estarán ubicadas en tresbolillo con una distancia media entre ellas de 50 m entre ellas, esta distribución garantiza la distribución uniforme de los líquidos lixiviados a través de toda el área del relleno.

En la **Figura 10** puede observarse el esquema de distribución en planta de las columnas de reinyección.

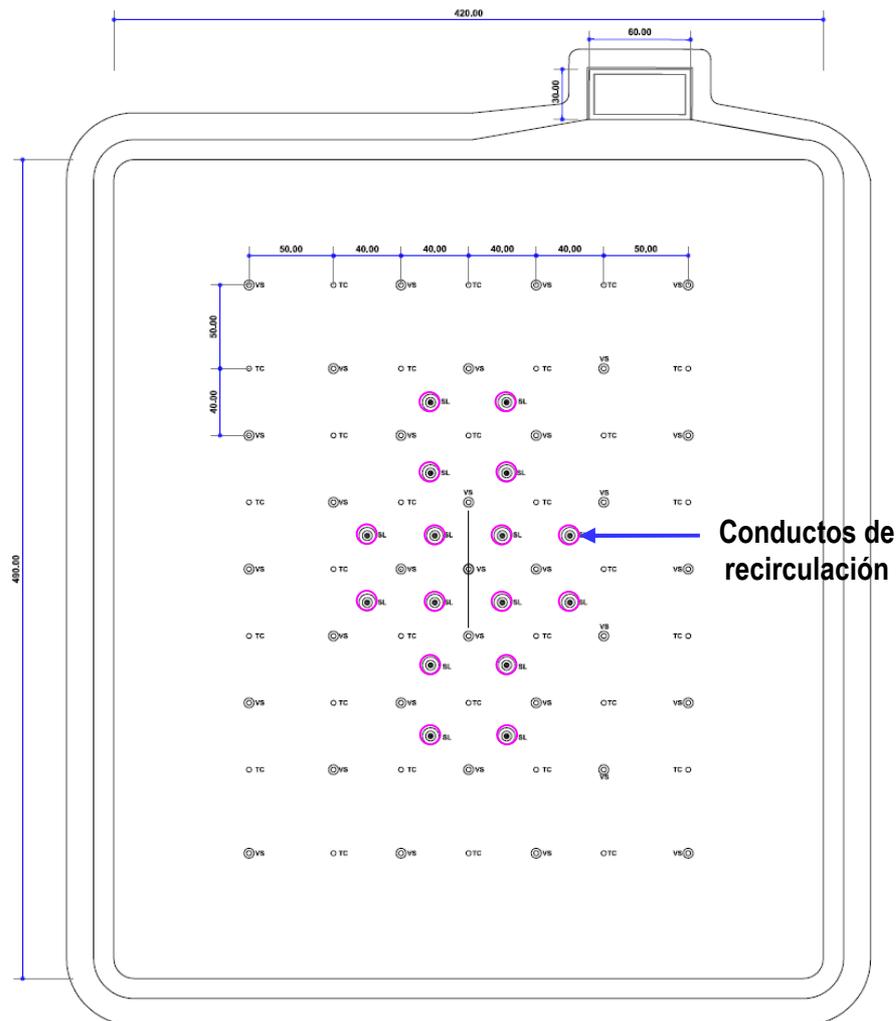
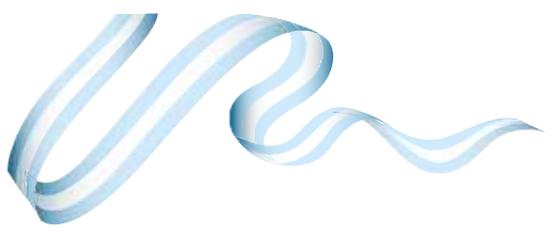


Figura 10: Conductos de recirculación de líquidos lixiviados

Para garantizar la distribución uniforme, y su pasaje por el seno de los residuos dispuestos, las columnas tendrán las siguientes características:

- Diámetro exterior de 0,50 m.
- Se intercalarán para su construcción neumáticos usados de automóvil, rellenos con piedra partida, con capas de piedra partida (diámetro menor a 2,5 m), del mismo espesor que el ancho de los neumáticos dispuestos (aproximadamente 0,25 m).
- Para mantener la integridad cultural del conjunto en su construcción, las columnas estarán contenidas con malla de acero electrosoldada (tipo Sima) de 4,2 mm de separación entre alambres de 10 cm de lado.
- El conjunto tendrá un tapa en su parte superior para impedir la entrada de aguas pluviales.

Estos dispositivos podrán ser construidos en conjunto con la disposición de los residuos, o a posteriori por medio de una perforación vertical y posterior relleno con los materiales que fueron indicados.



En la **Figura 11** se puede observar un esquema tipo del dispositivo a utilizarse. (Ver **Anexo 1: Planos de Proyecto Ejecutivo**).

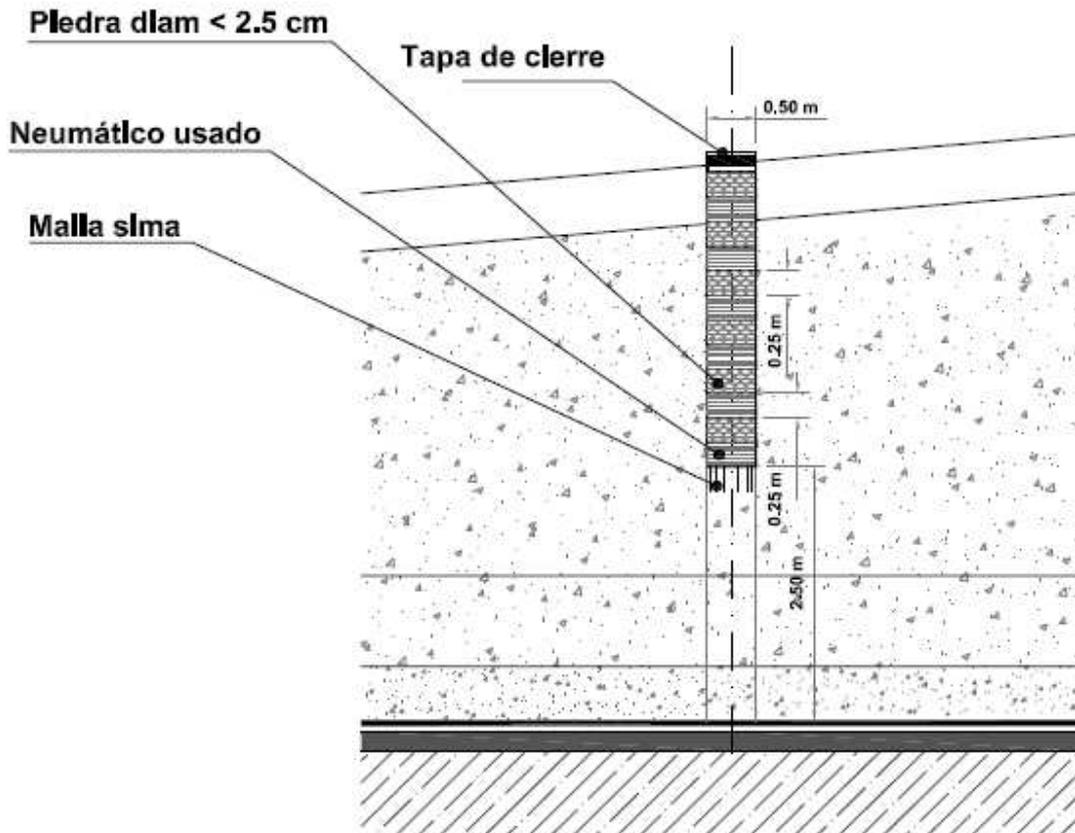


Figura 11: Corte tubos de reinyección de líquidos lixiviados

El transporte de líquido lixiviado podrá ser realizado por bombeo, con bomba sumergible de las mismas características que las descritas para el sistema de captación y distribución por medio de mangueras hasta cada uno de los puntos de recirculación del líquido lixiviado.