



Parámetro	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
P (mm)	50.71	72.08	116.32	117.14	93.13	62.09	33.57	21.58	53.78	65.52	73.54	76.39
Et (mm)	56.84	51.34	60.70	57.13	57.39	51.32	54.65	49.27	52.89	53.57	46.65	44.51
P-Et (mm)	-6.13	20.74	55.62	60.01	35.74	10.77	-21.08	-27.69	0.89	11.95	26.89	31.88
R (mm)	93.87	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	78.92	51.23	52.12	64.07	90.96	100.00
VR (mm)	-6.13	6.13	0.00	0.00	0.00	0.00	-21.08	-27.69	0.89	11.95	26.89	9.04
ETR (mm)	56.84	51.34	60.70	57.13	57.39	51.32	54.65	49.27	52.89	53.57	46.65	44.51
F (mm)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ex (mm)	0.00	14.61	55.62	60.01	35.74	10.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	22.85
C	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
Pe (mm)	7.82	13.45	41.45	60.87	57.97	41.24	24.75	14.85	8.91	5.35	3.21	15.63

Tabla 6. Percolación de lixiviados - Método de Balance Hídrico Directo

Fuente: Equipo consultor

2.2. CAUDAL DE PERCOLACION

Una vez obtenido la máxima percolación en el mes más crítico (mm/mes) se multiplica por el área de la proyección horizontal de las plataformas del relleno para obtener el caudal de percolación.

El área de proyección horizontal del relleno se obtuvo midiendo directamente dicha área en el plano topográfico, utilizando para esto el programa computacional AUTOCAD.

area de percolación en los drenes (m2)	Pe máx. (en el mes más crítico) (mm)	Caudal en el área De drenes (m3/día)	Caudal total de percolación en DRENES [Q1] (Lt/s)
7775	60.87	15.78	0.18

Tabla 7. Caudal de Percolación

Fuente: equipo consultor.

Por lo tanto el caudal de diseño circundante por el subdren es de 0.18 l/s.

3. DISEÑO DE DRENES PARA EL CONTROL DEL AGUA DE PERCOLACION EN EL RELLENO

Los drenes que llevan el agua percolada son zanjas excavadas a mano o máquina, rellenas de material filtrante; generalmente grava o piedra, y elementos de captación y transporte de agua como son las tuberías perforadas; los subdrenes captan y evacuan el agua proveniente del subsuelo y se conectan a un dren principal formando una estructura a modo de espina de pescado, para finalmente evacuar a la red colectora de aguas lluvias.

▣ Capa de grava o piedra.

Como relleno, generalmente se utiliza bloques de piedra triturada o material aluvial grueso limpio.

La secretaria de obras públicas de México (SOP), recomendaba un filtro general básico en todo tipo de suelos para subdrenes de carretera, de acuerdo a la tabla 8. Este tipo de filtro, aunque cumple con las especificaciones para una gran gama de suelos, en algunos casos podría presentar problemas de erosión interna o taponamiento.

Malla Tamiz ASTM	Porcentaje que pasa en peso
1 ½"	100
1"	80 a 100
¾"	85 a 100
3/8"	40 a 80
No. 4	20 a 55
No. 10	0 a 35
No. 20	0 a 20
No. 40	0 a 12
No. 100	0 a 7
No. 200	0 a 5

Tabla 8. Granulometría de materiales para filtro de acuerdo con la experiencia en México
Fuente: Secretaria de Obras Publicas en México.

Es por ello que el porcentaje de finos debe limitarse a menos del 3% en peso de pasantes del tamiz número ASTM 200 y los finos no deben ser plásticos. Ya que los subdrenes construidos con material que contenga más del 5% de finos generalmente son ineficientes.

▣ Tubería de Drenaje.

El sistema de drenaje consiste en tubos perforados que se colocan dentro de la capa de piedra bola o grava. Estos tubos deben ser colocados al fondo de la capa, como lo muestra la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, para permitir que todas las aguas se percolen al interior del tubo. Es importante que exista una capa de filtro de geotextil para evitar que se colmaten los tubos.

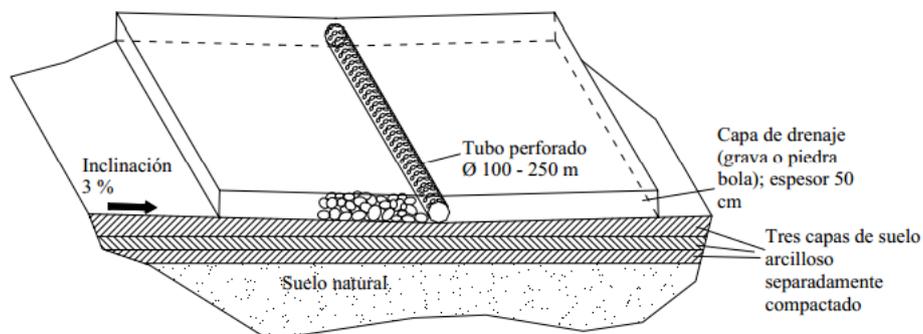


Figura 1. Posición de la tubería en el drenaje
Fuente: Equipo consultor

Para evitar acumulaciones de aguas y asegurar una conducción rápida y eficiente a la red colectora, se diseña el fondo del relleno en triángulos ligeramente inclinados y se coloca los

tubos al fondo de estos triángulos (sistema espina de pescado) con un colector mayor en el centro. La Figura 2. Colocación de la tubería - espina de pescado muestra el sistema de espinas de pescado para rellenos. En el diseño de las inclinaciones se debe considerar asentamientos del suelo después de la construcción.

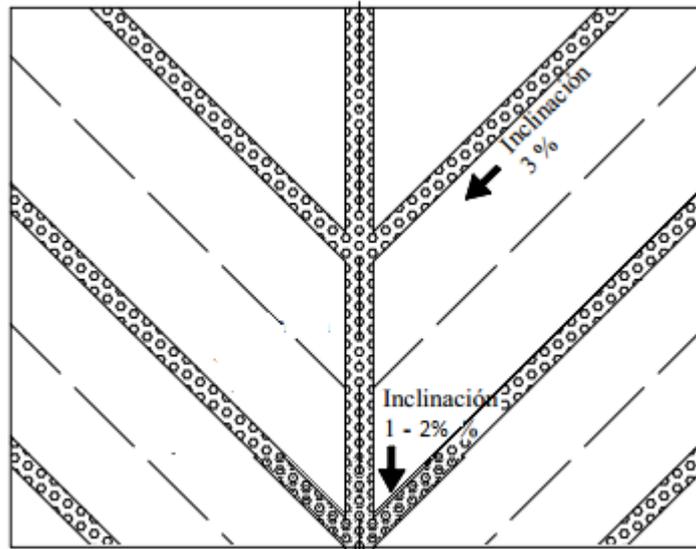


Figura 2. Colocación de la tubería - espina de pescado
Fuente: Equipo Consultor

Conforth, 2005., recomienda tubería perforada de diámetro entre 6" a 8". Se utilizarán tuberías perforadas comerciales de diámetro de 160mm tanto para los subdrenes como para el colector. Este diámetro deberá ser comprobado con los nomogramas de diseño que se muestran más adelante.

El área total de orificios tiene que ser superior a 100 cm²/m de tubo. Eso corresponde a orificios con un diámetro de 1 cm y una distancia entre ellos de 2.5 cm o > 12.7 orificios por metro lineal.

■ Criterios de Diseño.

En base a las anteriores recomendaciones de diseño se deben cumplir los siguientes criterios que garanticen el correcto funcionamiento del dren:

- **Material de filtro:** Requisitos de granulometría comparados con el suelo

$$4 < \frac{D_{15}_F}{D_{85}_S} < 9$$

D₁₅: es el diámetro en milímetros para el cual el 15% de las partículas del filtro son menores a ese diámetro.

D₈₅: es el diámetro en milímetros para el cual el 85% de las partículas del material del suelo son menores a ese diámetro.

Adicionalmente se debe cumplir los límites

$$\frac{D_{15}_F}{D_{15}_S} < 40$$



$$\frac{D_{50F}}{D_{50S}} < 25$$

D50: es el diámetro en milímetros para el cual el 50% de las partículas son menores a ese diámetro.

Si el Porcentaje que pasa la malla 200 < 5% la curva es totalmente heterogénea

- **Criterio de permeabilidad** (Therzaghi y Peck)

$$\frac{D_{15F}}{D_{15S}} > 4$$

Adicionalmente se debe cumplir los límites

$$\frac{D_{60F}}{D_{10F}} < 20 \text{ (coef. de uniformidad)}$$

Y el tamaño máximo de partícula no debe ser mayor de 75 milímetros.

- **Tubería Colectora:** U. S Army Corps of Engineers (1955)

Tubos circulares se debe cumplir que

$$\frac{D_{85F}}{\phi} > 1$$

ϕ : Diámetro de perforación

El criterio utilizado por U.S. Bureau of Reclamation (1973) es el siguiente: D85 del filtro junto al orificio / ancho de la ranura ≥ 2 para tuberías con ranuras.

- **Geotextil**

Los geotextiles son telas permeables, filtrantes, construidas con fibras sintéticas, especialmente polipropileno, poliéster, nylon y polietileno. Los geotextiles pueden ser tejidos y no tejidos:

$$\theta_{95} < B * D_{85}$$

- B=1 Para: Cu 2 ó > 8
- B = 0.5 Cu para: 2 < Cu < 4
- B = 8 / Cu Para: 4 < Cu < 8

Donde,

- θ_{95} = Tamaño de la abertura medida del geotextil a la cual el 95% del peso de partículas esféricas de vidrio es retenido.
- D 85 = Diámetro de tamiz en mm. que permite el paso del 85% en peso del suelo.
- Cu = D60 / D10 Coeficiente de uniformidad del suelo.

- **Criterio de permeabilidad de geotextil**



Para condiciones de flujo estable o flujo laminar y suelos no dispersivos, con porcentajes de finos no mayores al 50%.

$$K_g > K_s$$

Donde:

K_g : Permeabilidad del geotextil

K_s : Permeabilidad del suelo

Para condiciones de flujo crítico, altos gradientes hidráulicos, suelos finos:

$$K_g > 10 * K_s$$

▣ **Comprobación del diámetro de la tubería seleccionada**

Diámetro de tubería seleccionado para el dren se debe comprobar con el siguiente nomograma a fin de garantizar el diseño. El nomograma está en función del caudal de diseño anteriormente calculado (ver sección 2.2) y de la pendiente del dren que para nuestro caso será de 2% para el colector y los subdrenes.

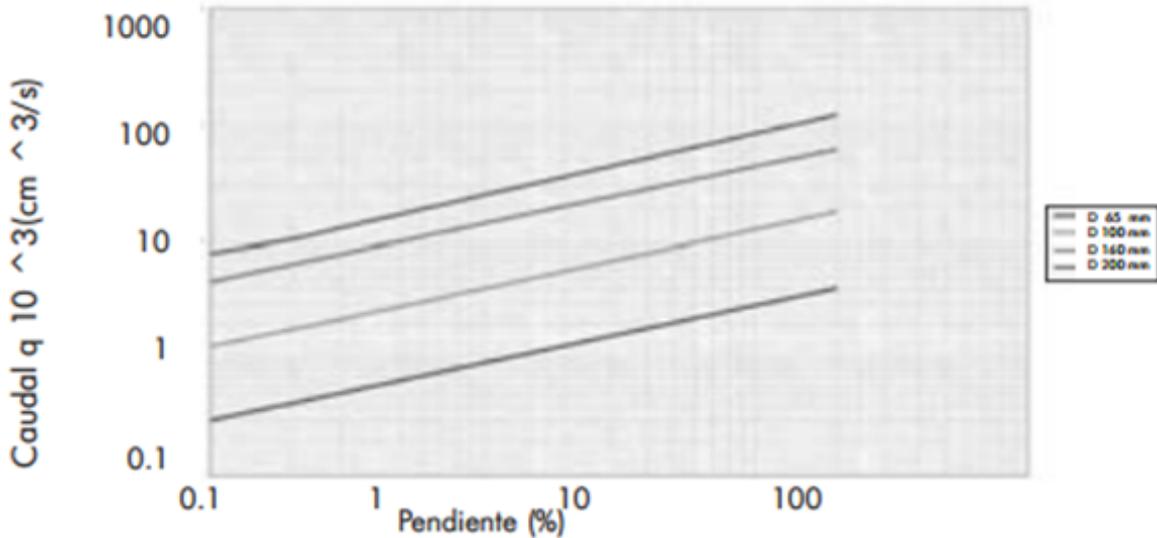


Gráfico 1. Nomograma para el cálculo del diámetro de tubería a usar

▣ **RESULTADOS:**

Los datos previos para el dimensionamiento de los materiales para filtro, características del geotextil son:

Clasificación	U.S.C.	CL	
Permeabilidad del suelo	K_s	0.001	cm/s
Diámetro que deja pasar el 85% del peso del suelo	D85	19	mm
Intensidad de la precipitación	I_r	129.1	mm/h
Pendiente del subdren	S	2	%
Material filtrante profundidad		0.4	m

Y con el caudal de percolación obtenido en la parte balance hídrico se tiene de:

- Diámetro de los subdrenes

Caudal total circundante por el subdren	Qt	0.18	l/s
---	-----------	-------------	------------



182.6	cm ³ /s
-------	--------------------

Con el caudal circundante y el nomograma grafico 1, se obtiene un diámetro de 65mm, pero de acuerdo a la recomendación para drenes descrita en la sección de tubería de drenaje, se considerara la mínima de 160mm.

El diámetro de tubería de drenaje será la misma tanto para el dren principal, como para el secundario. El dren principal iniciara captando el agua subsupéficial de la vertiente número uno (descrita en el Informe de "Exploración Geofísica para el Proyecto de Explotación de Agua Subterránea en el Parque Industrial Chaullayacu (2012)), luego los drenes de espina de pescado, para finalmente descargar al pozo PD3, definido en los planos de diseño.

- Tamaño de abertura del geotextil

CRITERIOS PARA EL GEOTEXTIL	D60	9.5		
	D10	0.425		
Coeficiente de uniformidad del suelo	Cu=D60/D10	22		
Coeficiente para obtener θ	B	1		de tablas
	D85	19	mm	
Tamaño de la abertura medida del geotextil	O95	19	mm	$\theta_{95} < B * D_{85}$

De acuerdo al resultado se cree conveniente utilizar geotextil no tejido de 1600 NT

- Características del material filtrante

El material filtrante disponible deberá tener las siguientes propiedades:

kf	0.01	cm/s	Permeabilidad el material filtrante
D15f	10	mm	tamiz 40
D50f	50	mm	tamiz 4
D85f	50	mm	tamiz 2"

Con este material se verificara si es posible colocar directamente como material filtrante si el suelo presenta las siguientes características:

D15s	0.425	mm	tamiz 200
D50s	4.75	mm	tamiz 40
D85s	19	mm	tamiz 200

De acuerdo a las consideraciones echas para material de filtro, se obtiene los siguientes resultados:

Criterios de granulometria			
D15f/D85s	$4 < D_{15} F / D_{85} S < 9$	0.52631579	no cumple
D15F/D15s	$D_{15} F / D_{15} S < 40$	23.5294118	cumple

D50f/D50s	D50 F/D50 S < 25	10.5263158	cumple
-----------	------------------	------------	--------

Verificación de la permeabilidad del material filtrante:

Terzaghi: D15 F/ D15 S > 4	23.5294118	cumple
----------------------------	------------	--------

Y la uniformidad del material:

D60 F/D10 F < 20	22.35	no cumple
------------------	-------	-----------

Debido a que no cumplen con todas las consideraciones, se recomienda la utilización de material granular de 2 a 4 pulgadas, tomando en cuenta que el porcentaje en peso de material pasante el tamiz 200 sea máximo de 3%.

- Tamaño de orificios de la tubería colectora:

Huecos circulares		
D: Diámetro- no mayor	10	mm
D85F/D>1	7.5	cumple

Ranuras		
A: Ancho - no mayor	5	mm
D85F/A>1.2	15	cumple

Finalmente, mientras mayor es el diámetro del orificio, mayor capacidad de recolección, por lo tanto se considera un diámetro de orificio igual al mínimo recomendado de 10mm, y colocados en la mitad inferior del tubo para lograr una mayor interceptación del agua, reducir el lavado del material y disminuir la cantidad de agua atrapada en la base de la zanja.

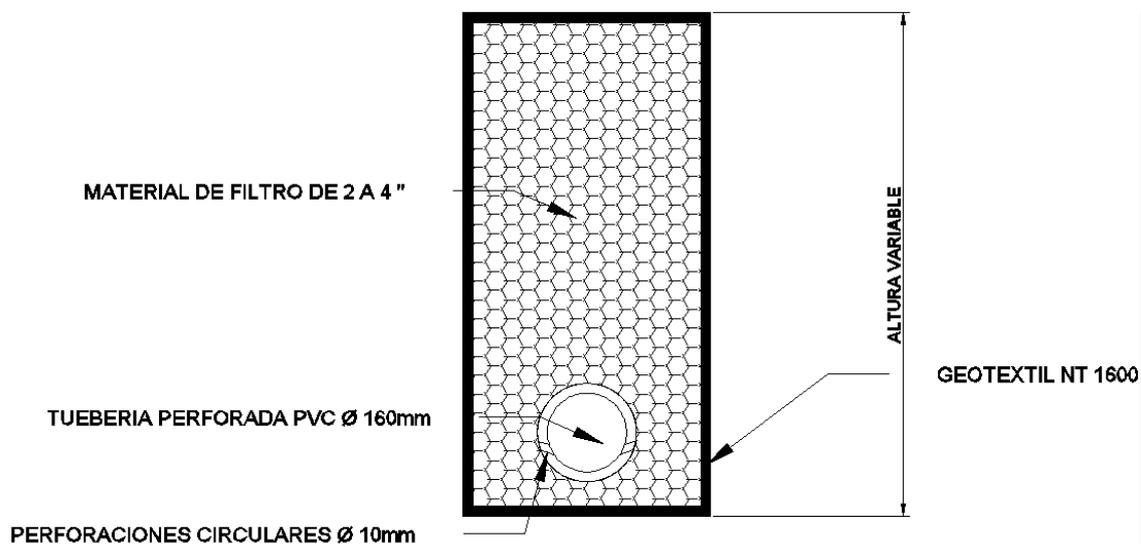


Figura 3. Detalle del material de filtro y tubería de recolección
Fuente: Equipo Consultor



4. DISEÑO DEL COLECTOR QUE CONECTA LOS DRENES A LA RED PRINCIPAL COLECTORA

El agua captada por los drenes en los rellenos serán conducidos a un colector, el mismo que será dirigido hacia la red colectora pluvial, la cual estará detallada en los planos de diseño. Además del agua captada por los drenes generados en los rellenos, existe una vertiente, o afloramiento de agua sub superficial, denominada vertiente número 1, ubicada en la cabecera del lago desecado con un caudal aforado de 0.15 l/s según el “Informe de Exploración Geofísica Para el Proyecto de Explotación de Agua Subterránea en el Parque Industrial Chaullayacu” (2012). Por lo tanto el colector se diseñara de tal manera que pueda evacuar en condiciones normales los dos aportes de caudal.

A partir de las cotas del proyecto de la red pluvial será trazado el colector en cuestión, cumpliendo con las especificaciones técnicas de ETAPA que se mencionan a continuación:

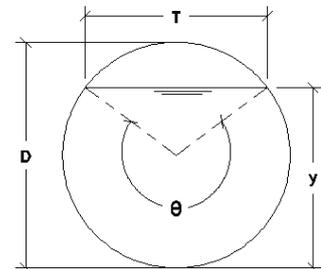
Coefficiente de rugosidad	=0.009
Velocidad mínima	= 0.6 m/s
Velocidad máxima	= 7 m/s (especificaciones de material PVC)
Calado máximo (y/D)	= 75 %
Diámetro mínimo	= 315 mm.

Para el diseño hidráulico del colector se considera la ecuación de Manning. Chow, V (1994)

$$Q = \frac{A^{5/3} * S_0^{1/2}}{n * P^{2/3}}$$

Donde:

- Q = Caudal de descarga
- A = Sección parcialmente llena
- So = Pendiente del tramo d tubería
- n = rugosidad de Manning
- P = Perímetro mojado



Los parámetros de la ecuación de Manning se obtiene de las siguientes formulas:

$$A = \frac{1}{8} * (\theta - \text{sen}\theta) * D^2$$

$$P = 0.5 * \theta * D$$

$$\text{Ancho superficial (T)} = 2 * \sqrt{y(D - y)}$$

$$\theta = 2 \sin^{-1} \frac{T}{D}$$



RESULTADOS:

Caudal efluente captado	Drenes del relleno	0.18	l/s
	Vertiente N°1	0.15	l/s
Caudal de diseño Q	0.33		l/s

QS	Diam Nominal	Calado	Calado.	Ancho Superficial	θ	Area	Pendiente	Perimetro Mojado	Radio hid	Velocidad
l/s	mm	Y (mm)	(%)	T (m)		A (m ²)	So (%)	P (m)	R (m)	m/s
0.33	315	10.91	3.83	0.109	0.788	0.0008	1	0.11	0.01	0.41

De acuerdo al resultado obtenido, el colector con diámetro de 315mm funcionara en condiciones normales, cumpliendo con las especificaciones antes mencionadas. La tubería para el colector será novafor.

La longitud del colector será de 43.48m el cual conectara del pozo PD3 al pozo PS23, indicado en los planos de diseño.



5. BIBLIOGRAFÍA

INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología). (s.f.). *Anuarios meteorológicos* .

Chow, V. T. (1994). *Hidráulica de Canales Abiertos*. Mc Graw - Hill.

Organización Panamericana de la Salud. (2005). *Guía para el Diseño de Tanques Sépticos, Tanques Imhoff y Lagunas de Estabilización*. Lima.

J. Almorox. Balance Hídrico - Método directo

J. Almorox. Métodos de Estimación de las evapotranspiraciones según Thornthwaite (1984)

Terzaghi K, Peck R. (1967). "Soil Mechanics in Engineering Practice". 2ed Jhon Wiley and Sons, New York. the first edition was published in 1948.

U.S. Army Corps of Engineering (1953), "Filter Experiments and Design Criteria". Waterways Experiment Station, Technical Memorandum No3-360, United States Corps of Engineers, Waterways Experiment Station

Romero Rojas, J. A. (2010). *TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES*. escuela colombiana de ingeniería.

Conforth. D.H., (2005), "Landslides in Practice", Investigations, Analisis, and Remedial/Preventative Opciones In Soil Jhon Wiley and Sons inc.

Verdugo J. (2012). Informe de Exploración Geofísica para el Proyecto de Exploración de Agua Subterránea en el Parque Industrial Chaullayacu". Cuenca, Parroquia Tarqui.