



**EDEC-EP**

**2014**

**DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL  
RESERVORIO DE PLATAFORMA ALTA**



DIRECTOR DEL PROYECTO: Ing. Víctor  
Chacón Cedeño

Equipo de apoyo: Ing. Juan Fernando Abril

03/07/2014

## TABLA DE CONTENIDO

<b>DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL RESERVORIO DE PLATAFORMA ALTA .....</b>	<b>3</b>
<b>1. ANTECEDENTES.....</b>	<b>3</b>
<b>2. ESTIMACION DEL CAUDAL DE INFILTRACION.....</b>	<b>3</b>
2.1. BALANCE HIDRICO .....	3
2.1.1. PRECIPITACIÓN (P) .....	3
2.1.2. EVAPOTRANSPIRACIÓN (ET) .....	4
2.1.3. DIFERENCIA ENTRE P Y ETP (P-ETP) .....	5
2.1.4. RESERVA DEL SUELO (R).....	5
2.1.5. VARIACIÓN DE LA RESERVA (R).....	6
2.1.6. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL (ETR) .....	6
2.1.7. FALTA DE AGUA (F) .....	6
2.1.8. EXCESO DE AGUA (EX).....	6
2.1.9. DESAGÜE O PERCOLACIÓN (PE).....	6
2.2. CAUDAL DE PERCOLACION .....	10
<b>3. DISEÑO DE DRENES PARA EL CONTROL DEL AGUA DE PERCOLACION EN EL RELLENO ...</b>	<b>10</b>
· CAPA DE GRAVA O PIEDRA. ....	10
· TUBERÍA DE DRENAJE. ....	11
· CRITERIOS DE DISEÑO.....	12
<b>4. DISEÑO DEL COLECTOR QUE CONECTA LOS DRENES A LA RED PRINCIPAL COLECTORA .</b>	<b>17</b>
<b>5. BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>19</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Datos de la estación pluviométrica Tarqui DJ Cumbe.....	4
Tabla 2. Precipitaciones medias mensuales .....	4
Tabla 3. Temperaturas medias mensuales .....	4
Tabla 4. Coeficiente de escorrentía .....	8
Tabla 5. Calculo de la Evapotranspiración- Método de Tornthwaite .....	9
Tabla 6. Percolación de lixiviados - Método de Balance Hídrico Directo.....	10
Tabla 7. Caudal de Percolación.....	10
Tabla 8. Granulometría de materiales para filtro de acuerdo con la experiencia en México.....	11

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Posición de la tubería en el drenaje.....	11
Figura 2. Colocación de la tubería - espina de pescado.....	12
Figura 3. Detalle del material de filtro y tubería de recolección .....	16

**INDICE DE GRÁFICOS**

Gráfico 1. Nomograma para el cálculo del diámetro de tubería a usar..... 14



### DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL RESERVORIO DE PLATAFORMA ALTA

#### 1. ANTECEDENTES

Según los diseños aprobados para el Nuevo Ecoparque Industrial Chaullayacu, se contempla en algunos sectores la necesidad de realizar grandes rellenos con el fin de obtener las cotas de diseño tanto viales como para los lotes que se proyectan.

Tal es el caso de la plataforma alta correspondiente al alineamiento ADL11 del trazado vial aprobado donde existen actualmente dos lagos de formación artificial que deberá ser rellenado

#### 2. ESTIMACION DEL CAUDAL DE INFILTRACION

El volumen de agua o flujo depende de los siguientes factores:

- ❑ Precipitación pluvial en el área del relleno.
- ❑ Escorrentía superficial y/o infiltración subterránea.
- ❑ Evapotranspiración.
- ❑ Grado de compactación.

##### 2.1. BALANCE HIDRICO

Partiendo del conocimiento de las precipitaciones medias mensuales y de la evapotranspiración mensual estimada, podemos estudiar el balance del agua en el suelo a lo largo del año. El conocimiento del balance de humedad (balance hídrico) es necesario para definir la falta y excesos de agua y es de aplicación para las clasificaciones climáticas, definir la hidrología de una zona y para la planificación hidráulica en nuestro caso. Para el diseño de drenes abordaremos el método de estimación del balance hídrico directo.

El método directo de Balance Hídrico, el agua del suelo se va perdiendo mes a mes hasta agotar la reserva para poder cubrir las necesidades de agua (evapotranspiración) y en resumen consiste en definir mes a mes los siguientes parámetros (en mm):

- ❑ P : precipitación media o mediana mensual
- ❑ ET : evapotranspiración (calculado por el método de thornthwaite)
- ❑ P-ET : diferencia entre la P y la ET
- ❑ R : reserva del suelo
- ❑ VR : variación de la reserva
- ❑ ETR : evapotranspiración real
- ❑ F : falta de agua
- ❑ Ex : exceso de agua
- ❑ D : drenaje o percolación.

##### 2.1.1. Precipitación (P)

Para establecer un análisis de las condiciones hidrológicas de la zona de influencia del sitio de implementación de los drenes subterráneos, se utilizó los datos proporcionados por la estación pluviométrica más cercana y completos, dicha estación es la Tarqui DJ Cumbe que se nos fue



proporcionado por la empresa pública ETAPA. De acuerdo con esto, los registros pluviométricos de precipitación para el sector son los siguientes:

<b>Estación:</b>	TARQUI DJ CUMBE
<b>Código:</b>	M418
<b>Latitud:</b>	3°2'6" (S)
<b>Longitud:</b>	78°2'56.4" (W)
<b>Elevación:</b>	2630

**Tabla 1. Datos de la estación pluviométrica Tarqui DJ Cumbe**

Fuente: ETAPA, EP

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.	Anual
1998	38.7	82.5	207.3	157.70	176.2	40.3	57.9	47.3	17.5	83.4	45.5	31	985.3
1999	70.2	90	139.5	126.00	154.5	84.5	37	19	138	71.5	25.5	112.1	1067.8
2000	28.8	97.9	100.2	100.00	160	66.8	11.7	23	129.2	13.9	22	67.7	821.2
2001	106.5	32.9	137.5	70.80	94.9	46.9	13.4	5.6	42.3	31	69	73.7	724.5
2002	25.9	35.2	97.9	100.10	82.2	21.3	27.3	12.9	25.1	115.6	102.5	89	735
2003	22.4	45.7	106.6	113.40	65.9	59.9	35.7	9.5	37.2	40.1	100.9	55.3	692.6
2004	26	54.4	58	89.00	100.1	42.1	35.5	7.7	64.7	53.8	117.6	76.2	725.1
2005	30	78	189	100.00	33	91	11.5	11.5	27.5	97	51	102.5	822
2006	69.5	68	120.5	111.50	50	39.5	10.5	28	51	61	109.5	99.5	818.5
2007	62.5	20	133.5	113.50	75.5	91.5	23.5	28.5	24	61.5	108	72.5	814.5
2008	47.5	127.5	134.5	164.50	103.7	58.8	56	45.1	63.9	101.5	85.5	32.5	1021
2009	100.5	65	53.5	99.50	68	77.5	13.5	19	14	43.5	45.5	78.5	678
2010	35	106	80	134.50	80.8	99.2	73.5	20.5	22.5	35.5	48	101.5	837
2011	46.5	106	70.5	159.50	59	50	63	24.5	96	108	99	77.5	959.5
Anual	710.0	1009.1	1628.5	1640.0	1303.8	869.3	470.0	302.1	752.9	917.3	1029.5	1069.5	
Media	50.71	72.08	116.32	117.14	93.13	62.09	33.57	21.58	53.78	65.52	73.54	76.39	835.86

**Tabla 2. Precipitaciones medias mensuales**

Fuente: ETAPA, EP

Además de acuerdo al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) se tiene un análisis de la distribución de temperaturas medias mensuales correspondientes al sector que se presentan en la siguiente tabla:

Año	Ene.	Feb.	Mar.	Abr.	May.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.	Dic.
Media	12.7	12.7	13.4	13.1	12.8	12	12.3	11.3	12.3	12.1	11.1	10.4

**Tabla 3. Temperaturas medias mensuales**

Fuente: (INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología))

### 2.1.2. Evapotranspiración (Et)

Para el cálculo de la evapotranspiración se utilizara el método de thornthwaite el cual está en función de la temperatura media, con una corrección en función de la duración astronómica del día y el número de días del mes.

Thornthwaite propuso la siguiente expresión:

$$Et = 16 \cdot 10^{\frac{T^a}{I}} \cdot L$$

Et : Evapotranspiración mensual sin ajustar en mm (mm/mes)



- T: temperatura media mensual en °C
- I: índice de calor anual

$$I = \prod_{j=1}^{12} i_j, \text{ con } i_j = \frac{T_j}{5}^{1.514}$$

a= parámetro que se calcula en función de I según la expresión:

$$a = 6.75 \times 10^{-7} I^3 - 7.71 \times 10^{-5} I^2 + 1.792 \times 10^{-2} I + 0.49239$$

Para el cálculo de la Evapotranspiración Corregida (ETp) de un mes determinado será preciso corregir Et mediante un coeficiente que tenga en cuenta el número de días del mes y hora de luz del cada día, en función de la latitud; para lo cual se introduce el índice de iluminación mensual en unidades de 12 horas, que debe multiplicar a Et para obtener ETp según Thornthwaite:

$$L = \frac{Nd}{30} \frac{Nh}{12}$$

- L: factor de corrección del número de días del mes (Nd<sub>i</sub>) y la duración astronómica del día Nh<sub>i</sub> (horas de sol)

$$N_h = 2 \times \sin^{-1}(-\tan(\delta) \times \tan(\varphi))$$

- φ: Latitud del Relleno Sanitario
- δ: declinación solar

$$\delta = 0.4093 \text{ sen} \left( \frac{2\pi Nd - 1.405}{365} \right)$$

### 2.1.3. Diferencia entre P y ETp (P-ETp)

Es el balance mensual de entradas y salidas potenciales de agua del suelo. La diferencia nos clasifica los meses en secos (P-ET<0) y en húmedos (P-ET>0) según las entradas superen o no a las salidas potenciales

### 2.1.4. Reserva del Suelo (R)

En el balance hídrico, la reserva del mes se calcula agregando los incrementos (P-ET) cuando estos son positivos. Así la reserva en el mes "i" (en función de la del mes anterior "i-1") será:

$$R_i = \begin{cases} R_{i-1} + (P_i - ET_i) & \text{si } 0 < R_{i-1} + (P_i - ET_i) < R_{\text{máx}} \\ R_{\text{máx}} & \text{si } R_{i-1} + (P_i - ET_i) > R_{\text{máx}} \\ 0 & \text{si } 0 > R_{i-1} + (P_i - ET_i) \end{cases}$$

Como referencia climática se toma una reserva máxima de 100 mm.

Los valores de la reserva se irán acumulando mes a mes en el período húmedo, según los incrementos PET > 0, y disminuirán al llegar el período seco, decreciendo mes a mes según los valores mensuales P-ET < 0. Como hemos visto, la reserva nunca tendrá como valor uno mayor que la reserva máxima, ni un número negativo.



Como se aprecia en la fórmula, necesitamos la reserva del mes anterior para comenzar el cálculo de la reserva, por ello, se asigna un valor hipotético a un mes y realizamos ciclos anuales de cálculo (aunque el cuadro del balance hídrico tenga un mes inicial y otro final) hasta que la hipótesis de que partimos se confirme al final del ciclo.

### 2.1.5. Variación de la Reserva (R)

Es la diferencia entre la reserva del mes en el que estamos realizando el cálculo y la reserva del mes anterior:

$$VR_i = R_i - R_{i-1}$$

### 2.1.6. Evapotranspiración Real (ETR)

La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes dependiendo de que haya suficiente agua disponible para evaporar y así llegar a la ET potencial o de referencia o no (por tanto, la  $ET_i$  es siempre mayor o igual a la  $ETR_i$ ). El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la existente en la reserva del suelo.

En el período húmedo, al cubrir la precipitación la demanda potencial la ET real es igual a la potencial; es decir

$$ETR_i = ET_i.$$

En el período seco, el agua que se evapora será el agua de precipitación más la que extraemos del suelo ó variación de la reserva (la reserva que nos queda menos la que teníamos el mes anterior, como tendrá signo negativo se toma el valor absoluto); es decir:

$$ETR_i = P_i + |VR_i|$$

### 2.1.7. Falta de agua (F)

Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar). Por tanto, la falta de agua es:

$$F_i = ET_i - ETR_i.$$

### 2.1.8. Exceso de agua (Ex)

Es el agua que excede de la reserva máxima y que se habrá perdido por escorrentía superficial o profunda. Por tanto:

$$\begin{aligned} Ex_i &= [P_i - ET_i - VR_i] && \text{si } (P_i - ET_i) > 0 \\ Ex_i &= 0 && \text{si } (P_i - ET_i) \leq 0 \end{aligned}$$

### 2.1.9. Desagüe o Percolación (Pe)

$$D_i = (1-C) \cdot [D_{i-1} + Ex_i]$$

Donde:

C: 0,4 coeficiente de descarga que se obtiene en base a las características del suelo de la siguiente tabla, considerando un periodo de retorno de 25 años.



**DISEÑO DEL SISTEMA DE DRENAJE DEL RESERVORIO DE PLATAFORMA ALTA**



Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
<b>Zonas urbanas</b>							
<b>Asfalto</b>	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
<b>Cemento, tejados</b>	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
<b>Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)</b>							
<b>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<b>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<b>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,34	0,38	0,41	0,45	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,39	0,43	0,46	0,50	0,58
<b>Zonas rurales</b>							
<b>Campos de cultivo</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,40	0,44	0,47	0,51	0,60
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,55	0,62
<b>Pastizales, prados, dehesas</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<b>Bosques, montes arbolados</b>							
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,38	0,48



Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58

Tabla 4. Coeficiente de escorrentía

Fuente: (Chow, 1994)

■ **RESULTADOS:**

Como resultados del balance hídrico realizado para los rellenos sobre los lagos, para la posterior obra vial para el Nuevo Ecoparque Industrial Chaullayacu, se tiene los siguientes resultados: