ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Análisis Hidrológico de la Cuenca del Cerro Colorado y su Interacción con la Autopista Terminal Terrestre - Pascuales"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Jaramillo Nieto Jimmy Marlon

Sanga Suárez Christian José

Año: 2007

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Ciencias de la Tierra

"Análisis Hidrológico de la Cuenca del Cerro Colorado y su Interacción con la Autopista Terminal Terrestre-Pascuales"

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO CIVIL

Presentada por:

Jaramillo Nieto Jimmy Marlon
Sanga Suárez Christian José

Año: 2007

A G R A D E C I M I E N T O

Nuestra complacencia a todas las personas, quienes brindaron sus conocimientos, experiencias y la información necesaria para la elaboración de este compendio.

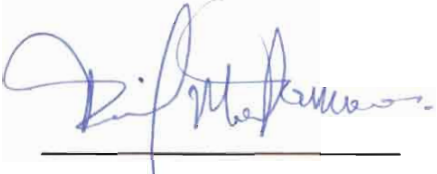
D E D I C A T O R I A

A nuestros padres con cariño por *habernos brindado el respaldo* y la inagotable motivación durante todo este tiempo.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Dr. Carlos Vera M.
DIRECTOR

Ing. Manuel Gómez de la Torre M.Sc.
VOCAL



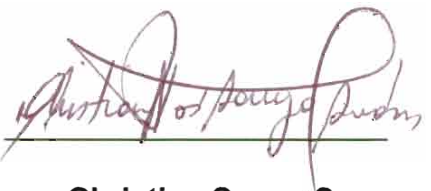
Dr. David Matamoros
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de graduación de la ESPOL)

Jimmy Jaramillo N.



Christian Sanga S.

RESUMEN

La ingeniería hidrológica incluye aspectos que comprende al diseño y operación de proyectos para el control y uso del agua. y de ahí su estrecha relación con obras de ingeniería civil como autopistas, puentes, presas, túneles, etc. Este es el caso de la autopista Terminal Terrestre - Pascuales que por estar vinculada con una cuenca Hidrográfica formada por la ladera de un cerro atraviesa por amplias investigaciones debido al acogimiento del aguas por medios de alcantarilla.

En esta tesis se presenta un análisis hidrológico a la cuenca del Cerro Colorado, utilizando registros de datos de lluvia para estimar la precipitación de diseño, luego con diferentes metodologías se obtuvieron los caudales que el sistema hidrológico aporta y finalmente se determino el comportamiento hidráulico de los drenajes necesarios para la conducción y desalojo.

Se describió a la cuenca, primeramente ubicándola en coordenadas geográficas. También conociendo su delimitación y sus características hidrológicas se la ha dividido en tres partes.

Se hizo un análisis estadístico de los datos de precipitación máxima diaria, efectuando el ajuste a una distribución probabilidad y luego se calculo el periodo de retorno con la lluvia del 13 de diciembre de 1997. Se selecciono la precipitación extrema presente en nuestro medio a través de un cálculo de alturas e intensidades máximas de lluvia de las fajas pluviográficas de los meses marzo, abril, noviembre, diciembre del año 1997. Se efectúo un análisis comparativo de las metodologías usadas para la obtención de una ecuación de lluvia.

Como paso posterior a la caracterización de la cuenca hidrográfica y al conocimiento de su geomorfología, se estudio los fundamentos teóricos del Método Racional, de la Soil Conservation Service y del Método de Ven te chow para determinar las variaciones del flujo superficial en la cual con criterio ingeneril se selecciono la mas adecuada para las condiciones de las cuencas.

Con el caudal seleccionado en cada cuenca se realizo un análisis hidráulico de cinco alcantarillas existentes. Primero se establecieron áreas de aportaciones en cada drenaje, luego se distribuyeron caudales en cada una de ellas. Segundo se calculo la altura de agua en la entrada usando una prueba de ensayo y error.

INDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN II

INDICE GENERAL III

ABREVIATURAS IV

INDICE DE FIGURAS V

INDICE DE TABLAS VI

INTRODUCCION.-

CAPITULO 1 3

1. DESCRIPCION DE LAS CUENCAS 3

1.1. Ubicación geográfica y política. 4

1.2. Descripción Hidrológica de las Cuencas 5

1.2.1. Delimitación de las cuencas 6

1.2.2. Caracterización de las cuencas a través de sus parámetros geomorfológicos 7

Área y perímetro 7

Forma de la cuenca 8

Sistema de Drenaje 10

Características del relieve de la cuenca 12

1.2.3. Tipo de flujo que se presentan en los cauces 16

1.2.4. Material del lecho 18

CAPITULO 2 21

2. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS HIDROLOGICOS 21

2.1. Periodo de Retorno 22

2.1.1. Ajuste de datos a una distribución de probabilidades 23

a) Distribución Gumbel Tipo I 25

b) Distribución Normal 26

c) Distribución Pearson Tipo III 28

2.1.2. Prueba de Bondad de Ajuste 30

a) Prueba X2 30

b) Prueba Kolmogorov - Smirnov 33

2.1.3. Cálculo del periodo de retorno 37

2.2. Análisis de intensidades máximas. 39

2.3. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia(IDF) 43

CAPITULO 3 48

3. ESTIMACIÓN DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL A TRAVÉS DE LOS DATOS DE LLUVIA 48

3.1. EL ESCURRIMIENTO POR EL MÉTODO DE LAS ABSTRACCIONES DE LA SOIL CONSERVATION SERVICE SCS 49

3.1.1. Estimación del número de curva de escorrentía, CN 53

3.1.2. Determinación del número de curva de escorrentía para la cuenca del cerro colorado 61
3.1.3. Determinación de la precipitación efectiva 66
3.2. HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS 67
3.3. MÉTODO RACIONAL 81
3.3.1. DESCRIPCION Y APLICACIONES DEL METODO RACIONAL 82
a) TIEMPO DE CONCENTRACION. 82
b) INTENSIDAD DE LA LLUVIA EN UN PERIODO IGUAL AL TIEMPO DE CONTENTRACION 83
c) COEFICIENTE DE ESCORRENTIA. 85
d) APLICACION DE LA FORMULA BASICA 87
3.4. MÉTODO DE CHOW 88
3.5. CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES 93
CAPITULO 4 95
4. ESTUDIO DE LAS ALCANTARILLAS EXISTENTE EN LA AUTOPISTA 95
4.1. Determinación del caudal para cada alcantarilla 96
4.2. Altura de agua a la entrada (Hw) 96
4.3. Flujo en alcantarillas 104
4.4. Determinación de la capacidad de la alcantarilla 110

4.5. Muros de ala 112

CAPITULO 5 121

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS 121

CAPITULO 6 129

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 129

6.1. Conclusiones 129

6.2. Recomendaciones 132

A B R E V I A T U R A

M.s.n.m	Metro sobre el nivel del mar
Has	Hectáreas
M	Metro
Km.	Kilómetro
Km^2	Kilómetro cuadrado
DAC	Dirección de Aviación Civil
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
FAE	Fuerza Aérea Ecuatoriana
INOCAR	Instituto Oceanográfico de la Armada
mm.	milímetro
IDF	Intensidad-Duración-Frecuencia
EMAG	Empresa Municipal de Alcantarillado de Guayaquil
IIFIUC	Instituto de Investigación de la Facultad de ingeniería de la *Universidad Católica*
SCS	Soil Conservation Service
AMC	Condición de Humedad Antecedente

S I M B O L O G I A

Ks	Factor de forma
A	Área
L	Longitud de máximo recorrido
Kc	Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad
N	Número de orden de la cuenca
D_d	*Densidad de drenaje*
P_4	Tipo de relieve accidentado
S_1	Pendiente media o promedio
S_2	Pendiente media ponderada
Tc	Tiempo de concentración
F(x)	Probabilidad de ocurrencia de un evento x
x	Evento extremo
$\alpha, \beta, \sigma, \lambda, \varepsilon$	Parámetros de la función distribución de probabilidad
Γ	Función gamma
μ	Media muestral
s	Desviación estándar de la muestra
K_T	Factor de frecuencia
Z	Variable normal estándar
Cs	Coeficiente de asimetría de la muestra
θ_i	Número observado de eventos-i
ε_i	Número esperado de evento-i
ν	Grados de libertad de la distribución X^2
H_o	Hipótesis nula
K_T	Factor de frecuencia
X_T	*Variable aleatoria (máxima precipitación)*
w	Variable intermedia

p	Probabilidad de excedencia
T	*Periodo de retorno*
z	Variable normal estándar
k	Factor adimensional
i	*Intensidad de lluvia*
Pe	Precipitación efectiva, profundidad de escorrentía, precipitación que produce escurrimiento
P	Precipitación total
CN	Número de curva
R	Coeficiente adimensional (2.54 cm)
A_a	Abstracciones
C	Clasificación hidrológica de los suelos - moderadamente alto potencial de escorrentía
c	Coeficiente de escorrentía
V	Volumen de agua escurrido en la cuenca
t_l	Tiempo de desfase o retardo
Y	Pendiente media de la cuenca
t_p	Tiempo pico
Q_p	*Caudal pico de un hidrograma de escorrentía*
q_p	Caudal pico de un hidrograma unitario
HAU	Hidrograma adimensional unitario
HU	Hidrograma unitario
HED	Hidrograma de escorrentía directa
Q_E	Caudal de escorrentía directa
Q_E	Caudal de escorrentía directa
Hw	Altura de agua a la entrada
$ARh^{2/3}$	*Factor de sección*
Rh	Radio hidráulico
ϕ	Factor de velocidad
α	*Coeficiente de energía (Coriolis)*
D	Diámetro de alcantarilla (circular)

β	Angulo de alabeo
N_F	Número de Froude
d	Tirante del escurrimiento
v	velocidad media
Y_C	Tirante critico
Y_N	Tirante normal
S_C	Pendiente critica
S_N	Pendiente normal
n	*Coeficiente de rugosidad de Manning*

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPITULO 1 3

1. DESCRIPCION DE LAS CUENCAS 3

Figura 1.1.- Ubicación Geográfica de la cuenca en el plano central del sector 4

Cerro Colorado 5

Figura 1.2.- Flujo efímero en el cauce que descarga a la alcantarilla 1+420 18

Figura 1.3.- La fotografía muestra la cima redondeada del cerro y los arrozales en su zona baja 19

Figura 1.4.- Material limo arcilloso. 20

CAPITULO 2 21

2. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS HIDROLOGICOS 21

CAPITULO 3 48

3. ESTIMACIÓN DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL A TRAVÉS DE LOS DATOS DE LLUVIA 48

Figura 3.1. Material fino, limo arenoso de Formación Piñón 55

Figura 3.2. Fisiografía, Cerro colorado en el proyecto habitacional 57

Figura 3.3.- Uso de suelo 65

Figura 3.4.- Hidrograma Unitario Adimensional del Soil Conservation Service, SCS 68
Figura 3.5.- Diagrama del cálculo del hidrograma unitario 70
Figura 3.6.- Diagrama del cálculo del hidrograma de escorrentía directa 71
Figura 3.7 a.- Hidrograma unitario cuenca 1 73
Figura 3.7 b.- Hidrograma de escorrentía de la cuenca 1..... 74
Figura 3.8 a.- Hidrograma unitario cuenca 2 76
Figura 3.8 b.- Hidrograma de escorrentía de la cuenca 2..... 77
Figura 3.9 a.- Hidrograma unitario cuenca 3 79
Figura 3.9 b.- Hidrograma de escorrentía de la cuenca 3..... 80
Figura 3.10.- Factor de reducción en función del tiempo de retraso y la duración en exceso..... 91
CAPITULO 4..... 95
4. ESTUDIO DE LAS ALCANTARILLAS EXISTENTE EN LA AUTOPISTA..... 95
Figura 4.1.- Distribución del área de escurrimiento que tributa a cada alcantarilla 98
Figura 4.2.- Alcantarilla estándar- Flujo a superficie libre..... 105
Figura 4.3 (a).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 0+820 108

Figura 4.3 (b).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 1+420 108

Figura 4.3 (c).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 1+700 109

Figura 4.3 (d).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 1+960 109

Figura 4.3 (e).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 2+150 110

Figura 4.4.- Angulo de alabeo [b] 114

Figura 4.5.- Perfil del flujo de la abscisa 0+820.- Línea de energía, el nivel de la profundidad normal, crítica y de la superficie del agua..... 117

Figura 4.6.- Perfil del flujo de la abscisa 1+700.- Línea de energía, el nivel de la profundidad normal, crítica y de la superficie del agua..... 119

CAPITULO 5..... 121

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS 121

Figura 5.1.- Gastos picos en Cuencas con áreas de igual magnitud... 124

Figura 5.2.- Gastos pico de las cuencas en estudio. 124

CAPITULO 6..... 129

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 129

ÍNDICE DE TABLAS

CAPITULO 1 3

1. DESCRIPCION DE LAS CUENCAS 3

Tabla 1.1 Delimitación de la cuadricula que contiene la cuenca del Cerro Colorado en coordenadas UTM 4

Tabla 1.2: Área y perímetro de las cuencas en análisis 7

Tabla 1.3. Forma de la cuenca según el índice de compacidad. 10

Tabla 1.4.- Orden y densidad de drenaje de cada cuenca 12

Tabla 1.5. Relieve característico de cada cuenca en función de su pendiente 13

Tabla 1.6. Pendiente del cauce principal de cada cuenca 14

Tabla 1.7 Longitud de máximo recorrido y al centróide de cada cuenca 15

Tabla 1.8. Tiempo de concentración (TC) 16

Tabla 1.9. Tipo de flujo en los cauces 17

CAPITULO 2 21

2. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS HIDROLOGICOS 21

Tabla 2.1. Serie de máximas precipitaciones diarias tomadas de la Estación Radio Sonda 23

Tabla 2.2.- Función de densidad de probabilidad que se ajustan a datos hidrológicos 24

Tabla 2.3. Obtención de los parámetros estadísticos de la muestra - μ, s 25

Tabla 2.4.- Parámetros de las distribuciones de probabilidades 29

Tabla 2.5.- Medidas descriptivas para una función Log-normal y Log-pearson tipo III 29

Tabla 2.6.- Medidas descriptivas para una función Log-normal y Log-pearson tipo III 30

Tabla 2.7.- Parámetro estadístico [D] 32

Tabla 2.8.- Aprobación de hipótesis 33

Tabla 2.9.- Parámetro estadístico 34

Tabla 2.10.- Calificación de las distribuciones usadas 36

Tabla 2.11.- Función Pearson tipo III mejor ajustada 36

Tabla 2.12.- Periodo de retorno de la lluvia de Diciembre 13 de 1997 . 39

Tabla 2.13.- Máximas intensidades registradas en de marzo de 1997-Radio Sonda 41

Tabla 2.14.- Máximas intensidades registradas en abril de 1997-Radio Sonda 41

Tabla 2.15.- Máximas intensidades registradas en noviembre de 1997-Radio Sonda 42

Tabla 2.16.- Máximas intensidades registradas en diciembre de 1997-Radio Sonda 42
Tabla 2.17.- Modelos matemáticos que relaciona la intensidad-duración 45
Tabla 2.18.-Modelos que relacionan la intensidad-duración-frecuencia 45
Tabla 2.19.-Ecuaciones obtenidas por la EMAG y la IIFIUC 47
CAPITULO 3 48
3. ESTIMACIÓN DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL A TRAVÉS DE LOS DATOS DE LLUVIA 48
Tabla 3.1.- Clasificación hidrológica de los suelos de las cuencas en el cerro colorado 56
Tabla 3.2.- Distribución porcentual del tipo de cobertura que predomina en la cuenca del cerro colorado 59
Tabla 3.3.- Condición Hidrológica que caracteriza a las cuencas 59
Tabla 3.4.- Condición de humedad antecedente publicada por la Soil Conservation service 60
Tabla 3.5.- Números de curva para la zona baja de la cuenca del Cerro Colorado de acuerdo una condición de humedad tipo AMCII 63
Tabla 3.6.- Número de curva para la zona protegida del Cerro Colorado bajo una condición de humedad tipo AMCII 63
Tabla 3.7.- Número de curva de escorrentía promedio para la cuenca del cerro colorado bajo la condición de humedad antecedente AMCIII 64

Tabla 3.8.- Escurrimiento y Abstracciones totales (Incluye intercepción, detención e infiltración) generado..... 66
Tabla 3.9.- Volumen de agua infiltrada en el suelo de la cuenca del cerro colorado..... 66
Tabla 3.10.- Caudal pico de las cuencas en estudio 69
Tabla 3.11.- Ordenadas de hidrograma unitario y de escorrentía de la cuenca 1 72
Tabla 3.12.- Ordenadas de hidrograma unitario y de escorrentía de la cuenca 2 75
Tabla 3.13.- Ordenadas de hidrograma unitario y de escorrentía de la cuenca 3 78
Tabla 3.14.- Tiempo de concentración de cada cuenca a través de la formula de Kirpich..... 83
Tabla 3.15.- Coeficiente a y b para diferente periodo de retorno..... 84
Tabla 3.16.- Intensidad de lluvia para diferente periodo de retorno..... 85
Tabla 3.17.- Porcentaje y el área con el tipo de cobertura para el uso de suelo..... 86
Tabla 3.18.- Coeficiente de escorrentía parcial de acuerdo a la pendiente del terreno, cobertura vegetal y tipo de suelo..... 86
Tabla 3.19.- Coeficiente de escorrentía para las micro-cuencas..... 87
Tabla 3.20.- Caudal aportado por las cuencas con un periodo de retorno de 10 años..... 88

Tabla 3.21.- Intensidad de lluvia en mm/hora 89

Tabla 3.22- Duración de la lluvia de 185.55 mm 89

Tabla 3.23.- Precipitación que produce escorrentía según Chow 90

Tabla 3.24.- Tiempo de retraso en horas y minutos 92

Tabla 3.25.- Caudal escurrido de cada cuenca 92

Tabla 3.26.- Caudal de aguas residuales con un coeficiente de retorno del 80% 93

Tabla 3.27.- Resumen de caudales.- caudal seleccionado y caudal unitario 94

CAPITULO 4 95

4. ESTUDIO DE LAS ALCANTARILLAS EXISTENTE EN LA AUTOPISTA. 95

Tabla 4.1.- Área de Aportación.-Consta el caudal pico y la alcantarilla de las cuencas 96

Tabla 4.2.- (a) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 0+820 .. 99

Tabla 4.2.- (b) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 1+420 100

Tabla 4.2.- (c) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 1+700 101

Tabla 4.2.- (d) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 1+960 102

Tabla 4.2.- (e) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 2+150 103

Tabla 4.3.- Altura del cauce, aguas arriba de la alcantarilla 104

Tabla 4.4- Profundidad normal y crítica en el barril 106

Tabla 4.5- Pendiente normal - crítica y tipo de flujo..... 107

CAPITULO 5..... 121

5. ANALISIS Y DISCUSION DE RESULTADOS 121

Tabla 5.4.- Intensidad máximas de lluvias en distintas instituciones.. 127

CAPITULO 6..... 129

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 129

INTRODUCCION

En la presente tesis, se realiza un estudio hidrológico al área contigua de la autopista Terminal Terrestre - Pascuales, donde se encuentra el Cerro Colorado, que por sus delimitaciones forma un sistema de cuencas capas de producir escorrentía que se descarga a través de alcantarillas subsistentes.

El propósito planteado radica en el análisis del comportamiento de las alcantarillas ante la presencia de eventos lluviosos extremos como el suscitado el 13 de diciembre de 1997.

El desarrollo de este trabajo se sustenta en procesos descritos en diversos textos guías donde se resaltan la eficiencia de la estadística hidrológica, la aplicabilidad de los métodos que estiman la avenida de diseño y la practicidad de los nomogramas que diseñan y establecen las condiciones de funcionamiento hidráulico de la alcantarilla. Dentro del estudio de las cuencas se realizará el reconocimiento de la topografía, el procesamiento de la información cartográfica y la definición de parámetros que permitan describir las características fisiográficas del terreno. Luego se seleccionará de forma discreta la precipitación de diseño de una serie de datos meteorológicos registrados en fajas y anuarios. Este proceso de elección contemplará el ajuste de las máximas precipitaciones anuales registradas por la estación Radio Sonda a la función de probabilidad más conveniente. Así también se presentará un estudio de intensidades del registro pluviográfico de los meses

mas lluviosos del año mil novecientos noventa y siete con el propósito de discernir entre un evento de mayor intensidad y uno de mayor precipitación, además se mostrará un compendio acerca de la relación intensidad-duración-frecuencia enfocado a sus formas de expresión y a las experiencias suscitadas en el medio.

Consecutivamente se estimará el escurrimiento de la cuenca a través de Hidrogramas unitarios sintéticos cuyo uso es ocasional en zonas de estudio con proyección urbanística, que no necesitan el aforo de los cauces y que su aplicación se fundamenta en la suposición de ciertas premisas, con la intención de comparar sus resultados con los obtenidos al evaluar el Método Racional. Luego se seleccionará el caudal de diseño con los criterios antes analizados.

Por último se determinará la capacidad hidráulica de las alcantarillas realizando un estudio de las condiciones de entrada a la estructura y la definición del tipo de flujo.

CAPITULO 1

1. DESCRIPCION DE LAS CUENCAS

La cuenca como un sistema hidrológico permite conocer de forma detallada la superficie y el suelo por donde drena el agua.

En este capítulo se enunciará algunos parámetros o constantes que se obtiene en el procesamiento de la antigua información cartográfica del cerro Colorado para conocer las características fisiográficas de las cuencas antes de la construcción de la Autopista Terminal-Pascuales y los conjuntos habitacionales. Luego se cambiará la topografía del plano de la zona de estudio con las variaciones que se presentan en situ para analizarlas en la última parte de la tesis.

El primero paso dentro de la descripción hidrológica de las cuencas en el cerro Colorado es conocer la ubicación geográfica y política, la misma se expone en el plano facilitado por la unidad de fiscalización de la autopista antes mencionada.

El segundo contempla la delimitación y la caracterización a través de parámetros geomorfológicos de las cuencas, así también la exploración del tipo de flujo y del material que transportan sus cauces.

1.1. Ubicación geográfica y política.

La zona de estudio se encuentra localizada al norte de la Ciudad de Guayaquil en un sector llamado cerro Colorado. Las cuencas que se analizarán, se encuentran asentadas en la falda nor-occidente del cerro a una altitud de 104,56 m.s.n.m hasta la Autopista Terminal Terrestre-Pascuales.

Las coordenadas geográficas del cerro Colorado se muestran en la tabla 1.1, y en la figura 1.1 se observa la ubicación geográfica de las cuencas.

Ubicación Geográfica		
Punto	**Latitud N**	**Longitud E**
1	9770685	620801
2	9770837	620742
3	9770877	621340
4	9770881	621034

Tabla 1.1 Delimitación de la cuadrícula que contiene las cuencas del cerro Colorado en coordenadas UTM

Figura 1.1.- Ubicación Geográfica de las cuencas en el plano central del sector Cerro Colorado

1.2. Descripción Hidrológica de las Cuencas.

1.2.1. Delimitación de las cuencas

La delimitación de una cuenca consiste en definir la línea de divortio aquarum o línea divisoria que separa las precipitaciones que caen en cuencas inmediatamente vecinas, y que encaminan la escorrentía resultante para uno u otro sistema fluvial.

A la línea de divortio aquarum también se la conoce como línea neutra de flujo por pasar por el punto de captación y por los puntos de máxima cotas entre cuencas, interceptando a todas las curvas de altitudes del plano o de la carta topográfica.

Existen dos tipos de divisorias, la divisoria topográfica o superficial que define el área de drenaje de una cuenca y la divisoria freática o subterránea que establece los límites de los embalses de agua subterránea. Estas dos divisorias difícilmente coinciden.

De acuerdo a las líneas divisorias y a la antigua fisiografía del cerro, se dividió la zona de estudio en tres sub-cuencas. El área de drenaje occidental se la denominó cuenca 1, al área vecina cuenca 2 y 3 a la cuenca oriental.

1.2.2. Caracterización de las cuencas a través de sus parámetros geomorfológicos

1.2.2.1. Área y perímetro

Dentro de los parámetros geomorfológicos que caracterizan a una cuenca, se tiene el área y el perímetro. La superficie de la cuenca se encuentra definida por una línea de curva cerrada o línea de divortio aquarum, cuya magnitud es obtenida mediante el planimetrado de la proyección horizontal sobre un plano horizontal.

El área generalmente se expresa en kilómetros cuadrados, en caso que las dimensiones sean muy pequeñas, se las expresan en hectómetros cuadrados o hectáreas. La longitud de la línea de divortio aquarum da como resultado el perímetro de la cuenca y se la expresa en metros. En la tabla 1.2 se muestra el área y el perímetro de cada cuenca que será considerada.

Área y Perímetro		
Cuenca	**Área (Has)**	**Perímetro(m)**
1	11,16	1418,16
2	27,49	2470,52
3	53,56	3202,91

Tabla 1.2: Área y perímetro de las cuencas en análisis

1.2.2.2. Forma de la cuenca

Es muy difícil expresar satisfactoriamente por medio de índice numérico el efecto de la forma de la cuenca sobre las características hidrológicas de la corriente. Varios índices han sido sugeridos para expresar la forma de la cuenca. El factor de forma y el índice de Gravelius o también llamado coeficiente de compacidad son los parámetros que se describen a continuación, para el efecto que estas tengan en las cuencas consideradas.

a. Factor de Forma(*KS*)

Es un parámetro adimensional que denota la forma redondeada o alargada de la cuenca, esta definida como la relación entre el área A de la cuenca y el cuadrado del máximo recorrido (L).

$$Ks = \frac{A}{L^2}$$

Según el criterio de Ortiz O. recogido de un artículo sobre la *Evaluación Hidrológica* menciona que el factor de forma da una indicación de la tendencia hacia las crecidas; cuanto mayor sea este valor tenemos crecidas rápidas y muy

intensas, mientras que si este valor es pequeño las crecidas son muy lentas y sostenidas.

En la tabla 1.3 se muestran los valores del factor de forma para las distintas cuencas que se está analizando.

b. Índice de Gravelius o coeficiente de compacidad (*Kc*)

Igual que el parámetro anterior, el índice de Gravelius describe la geometría de la cuenca y es un parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Su importancia radica en su relación estrecha con el tiempo de concentración del sistema hidrológico, de ahí el criterio expuesto por Ortiz O. donde menciona que las cuencas redondeadas tienen tiempo de concentración corto con gastos pico muy fuerte y recesiones rápidas, mientras que en cuencas alargadas los tiempos de concentración son grandes, los gastos pico son más atenuados y las recesiones más prolongadas.

$$Kc = 0.28 \; P \sqrt{A}$$

Siendo:

P: perímetro de la cuenca.
A: área de la cuenca.

Forma de la cuenca			
Cuenca	Factor de forma (Ks)	Índice de compacidad (Kc)	Clasificación
1	0.66	1.19	Casi redonda a oval - redonda (1,00-1,25)
2	0.27	1.32	Oval redonda a oval oblonga (1,26-1,50)
3	0.51	1.23	Oval redonda a oval oblonga (1,26-1,50)

Tabla 1.3. Forma de la cuenca según el índice de compacidad, de acuerdo a la clasificación tomada de la revista hidrored.

1.2.2.3. Sistema de Drenaje

La importancia del estudio de la fisiología de la red natural de drenaje o del sistema de drenaje de una cuenca, se basa en la cuantificación del escurrimiento, sobre todo cuando la información hidrometeorológica es escasa.

Los sistemas de drenajes, se encuentran íntimamente relacionados con las condiciones superficiales que caracterizan a una cuenca, las mismas se deben a la redisposición y los procesos erosivos a los que ha sido sometido.

a. Número de orden de la cuenca(*N*)

El número de orden de la cuenca, esta estrechamente relacionado con el número de ramificaciones del sistema de drenaje. Mientras menor sea el número de tributarios

ramificados, mayores son las infiltraciones, debido a la presencia de material permeable en la zona. Existen dos metodologías para determinar el orden de la cuenca, el criterio de Schumn y el de Horton.

En este análisis se consideró el primer criterio, el cual consiste en designar a todos los tributarios que no se ramifican como de primer orden y a una vertiente originaria de cauces con igual orden como de orden inmediato superior, mientras que dos de diferente orden dan origen a otro de igual orden que el de orden mayor y así sucesivamente hasta llegar al orden de la cuenca. El cauce principal cuya descarga la realiza a un canal de tierra contiguo a la autopista tiene el orden más elevado, que es nada menos el orden de la cuenca. El resultado de este proceso de selección, se muestra en el plano 3 y 4 que se adjunta a esta tesis. Mientras que el orden establecido para cada cuenca se resume en la tabla 1.4

b. Densidad de drenaje

La densidad de drenaje o densidad de cauces, es la relación entre la longitud total de los cursos de agua de la hoya y su área total.

$$Dd = \frac{L}{A}, \text{ en } Km./km^2$$

En donde:

L: Longitud total de las corrientes de agua, en km.

A: Área total de la hoya, en km^2

El valor de densidad de drenaje fluctúa entre 0,5 Km. /km^2 característico en cuencas con drenaje pobre y 4,0 Km. /km^2 para cuencas con drenaje excepcional.

En la tabla 1.4 se presenta la densidad de drenaje obtenida de cada cuenca.

Sistema de drenaje			
Cuenca	Orden de la cuenca (N)	Densidad de Drenaje (D_d)	Tipo de drenaje
1	2	2.78	Moderado
2	2	3.65	Excepcional
3	3	1.91	Moderado

Tabla 1.4.- Orden, densidad y tipo de drenaje de cada cuenca. Escala de valores tomada de Hidrología en la Ingeniería- Monsalve G.

1.2.2.4. Características del relieve de la cuenca

a. Pendiente de la cuenca

Un parámetro importante en la caracterización del relieve de la cuenca, es la magnitud de su pendiente, ya que a través de ella es posible conocer el tiempo de concentración o tiempo que tarda el agua lluvia en concentrarse en los lechos fluviales. Este parámetro

influye en la manifestación de crecidas máximas y en el potencial de degradación de la cuenca, sobretodo en terrenos desprotegidos de cobertura vegetal.

A continuación exponemos la tabla 1.5 con las pendientes correspondientes a cada cuenca

Tipo de relieve		
Cuenca	**Pendiente**	**Tipo de relieve**
1	0.246	Accidentado (P4)
2	0.217	
3	0.224	

Tabla 1.5. Relieve característico de cada cuenca en función de su pendiente

b. Pendiente del cauce principal

La pendiente del cauce principal o de máximo recorrido, es una característica importante, ya que permite conocer la velocidad de escurrimiento de las corrientes de agua.

Para su obtención existen diversas formas, entre ellas las siguientes:

- ✓ La pendiente media (S_1), es la diferencia total de elevación del lecho del río divido por su longitud entre esos puntos (ver tabla 1.7)
- ✓ Pendiente media ponderada (S_2), es un valor más real, su metodología se basa en el trazado de una línea, de tal manera que el área comprendida entre esa línea y los

ejes coordenados sea igual a la comprendida entre la curva del perfil del cauce y dichos ejes.

La pendiente media y ponderada de cada cuenca se muestra en la tabla 1.6 y el corte longitudinal de cada cauce se expone en el plano 3 y 4 del apéndice E.

Pendiente del cauce principal			
Cuenca	**Media (S1)**	**Media ponderada (S2)**	**Descripción**
1	0.163	0.107	Medio con mayor posibilidad de erosión y transporte de sedimento
2	0.078	0.043	Medio con menor posibilidad de erosión y transporte de sedimento
3	0.078	0.027	Medio con menor posibilidad de erosión y transporte de sedimento

Tabla 1.6. Pendiente del cauce principal de cada cuenca

c. Longitud de máximo recorrido

La longitud de máximo recorrido, es la medida de mayor trayectoria de las partículas del flujo, comprendida entre el punto más bajo del colector común, conocido como punto emisor y el punto más alto o inicio del recorrido sobre la línea de divortio aquarum. La longitud del cauce principal de cada cuenca se muestra en la tabla 1.7.

d. Longitud al centróide

La longitud al centróide es una característica que se encuentra íntimamente relacionada con la longitud de

máximo recorrido, y es la longitud medida sobre el cauce principal entre el punto emisor hasta el pie de la perpendicular trazada sobre el cauce y que pasa por el centróide del área de la cuenca. La longitud de máximo recorrido y al centróide se muestra en la tabla 1.7.

Longitud [Km.]		
Cuenca	**Máximo Recorrido**	**Centróide**
1	0,411	0.196
2	1,004	0.385
3	1,021	0.578

Tabla 1.7 Longitud de máximo recorrido y al centróide de cada cuenca

e. Tiempo de concentración(*Tc*)

Es el tiempo que tarda una partícula de agua en descender desde la parte más alta al punto de descarga de una zona de estudio y comúnmente se lo asume como el tiempo de duración de una lluvia cuando el evento se distribuye uniformemente en toda la cuenca.

Este parámetro está estrechamente relacionado con el caudal pico y con el tiempo de recesión de la cuenca, mientras mayores sean sus valores, los diagramas de escorrentía son más alargados y por ende el gasto pico es más leve, cuando se presentan tiempos de concentración más cortos los caudales picos son intensos y las recesiones son muy rápidas. Los tiempos de

concentración correspondiente a cada cuenca se presentan en la tabla 1.8

Tiempo de Concentración(T_c)		
Cuenca	Fórmula de Kirpich	
	Minutos	Horas
1	4.74	0.08
2	13.37	0.22
3	16.21	0.27

Tabla 1.8. Tiempo de concentración (T_C)

1.2.3. Tipo de flujo que se presentan en los cauces

El tipo de flujo de un cauce se basa en la constancia de la escorrentía, según esta los cursos de agua se pueden dividir en:

- ✓ *Perennes,* los cuales se caracterizan por tener agua todo el tiempo, y por ende el nivel freático de agua subterráneo se mantiene continuamente alimentado y no desciende nunca debajo del lecho del río.
- ✓ *Intermitentes,* se caracterizan por que sus corrientes escurren en las estaciones invernales y se secan durante el verano. Lo cual influye directamente en el nivel freático, el mismo que se conserva por encima del lecho del río solo en la estación lluviosa.

- ✓ *Efímeros,* es el tipo de flujo de los cauces en el sector y se caracteriza por existir apenas o inmediatamente después de los períodos de precipitación, y sólo transportan escurrimiento superficial. El nivel freático en este tipo de cauces se encuentra siempre debajo del nivel inferior del lecho de la corriente, por lo tanto no existe posibilidad alguna a que exista escurrimiento subterráneo.

En la figura 1.2 se muestra el canal de tierra que recoge el caudal escurrido tras una precipitación, así como el almacenamiento de agua por las irregularidades que presenta la superficie del terreno. Mientras que la tabla 1.9 clasifica al cauce principal de cada cuenca según el tipo de flujo:

Tipo de Flujo	
Cuenca	**Tipo de Flujo**
1	Efímeros
2	Efímeros
3	Efímeros

Tabla 1.9. Tipo de flujo en los cauces

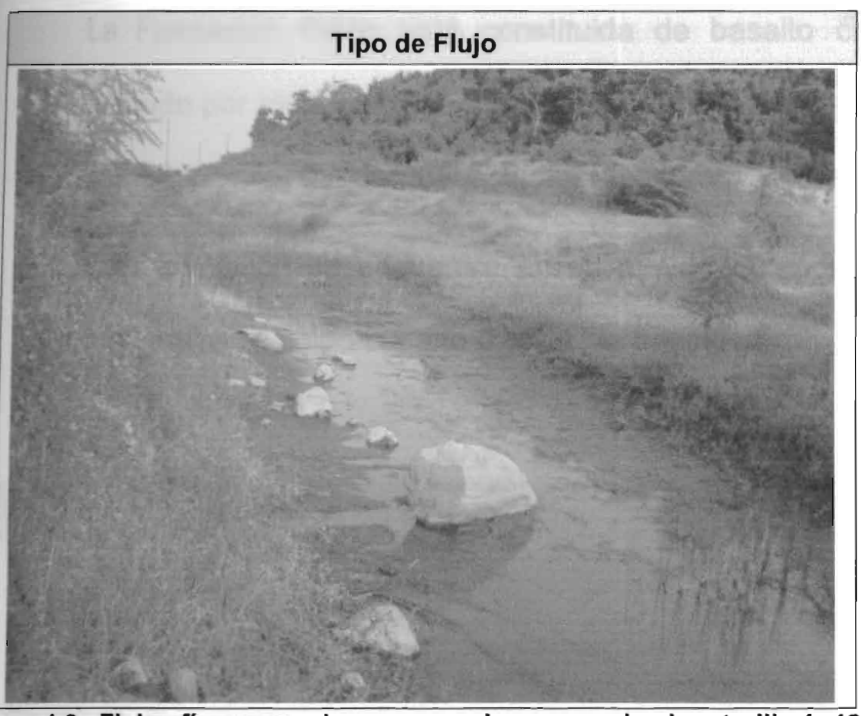


Figura 1.2.- Flujo efímero en el cauce que descarga a la alcantarilla 1+420

1.2.4. Material del lecho

a. Litología

Tomando como base el estudio del sector norte de Guayaquil, se estableció que el cerro Colorado esta conformado por la formación piñón, su paisaje es colineado y está fuertemente meteorizado, sus cimas son redondeadas y alargadas compuestas de Arenisca Silíceas, como se muestra en la figura 1.3 donde también se resalta un corte transversal y la cobertura vegetal.

La Formación Piñón está constituida de basalto cristalino, formado por roca ígnea que pertenece al periodo cretáceo, su nombre original fue dada al estudiar su afloramiento en situ.

Esta formación se encuentra en su mayoría compuesta por roca extrusivas, tipo basalto o andesita basáltica

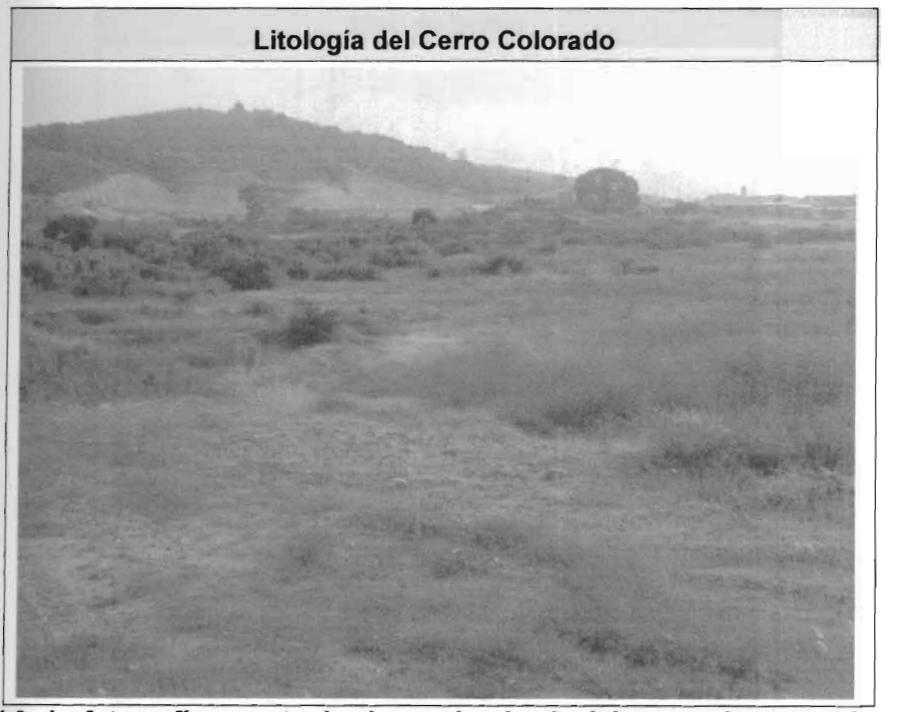


Figura 1.3.- La fotografía muestra la cima redondeada del cerro y los arrozales en su zona baja.

b. Suelo

La diversidad de suelos que existen en el área se debe a la combinación de agentes geológicos que meteorizan la roca y a la depositación de partículas finas.

Los suelos se caracterizan por presentar una textura limo arcilloso, la cual pasa gradualmente al limo arenoso con granos que varían de sub-redondeados ha redondeados. En la figura 1.4 se muestra el material predominante del sector que ha sido arrastrado hasta el canal de tierra

Figura 1.4.- Material limo arcilloso.

CAPITULO 2

2. ANALISIS ESTADISTICO DE DATOS HIDROLOGICOS

El análisis estadístico consiste en parametrizar un conjunto de datos (precipitaciones o caudales) con el fin de extrapolar y conocer eventos venideros.

La selección de la precipitación de diseño, se inicia con la revisión del registro pluviográfico obtenido de una estación meteorológica cercana al sector en estudio.

Actualmente Guayaquil cuenta con tres estaciones pluviográficas, la primera localizada en el aeropuerto "Simón Bolívar" a cargo de la Dirección de Aviación Civil-DAC; la segunda inicialmente localizada en la cdla. La FAE y luego reubicada en la Universidad Estatal de Guayaquil, a cargo del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología-INAMHI; y la tercera ubicada dentro de la Base Naval Sur a cargo del Instituto Oceanográfico de la Armada-INOCAR.

Este capítulo se ha dividido en tres partes; la primera contiene el ajuste de los datos de precipitación a una distribución de probabilidades y el cálculo del periodo de retorno de la precipitación registrada el **13 de diciembre de 1997** utilizando factor de frecuencia; la segunda muestra las mayores intensidades obtenidas del levantamiento de las fajas correspondiente a los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre del año 97; y la tercera menciona dos formas para expresar la relación de intensidad-duración-frecuencia.

2.1. Periodo de Retorno

Es el tiempo promedio en que se vuelve a presentar un evento hidrológico. El conocimiento inicial de este evento, el cual permite el diseño y la planificación óptima de la obra, depende de la extrapolación de una secuencia de observaciones máximas, como las series anuales de máximas precipitaciones diarias en Guayaquil, obtenidas del Anuario hidrológico-meteorológico emitido por el

INAMHI, cuyos valores expuestos en la tabla 2.1 se ajustarán a una distribución de probabilidad con el propósito de experimentar con dichas funciones y calificarlas mediante una prueba de bondad.

Precipitación Máxima Diaria-Estación Radio Sonda		
Año	Precipitación (mm.)	Fecha
1992	113,60	19 de Marzo
1993	75,70	10 de Febrero
1994	130,60	19 de Diciembre
1995	79,00	17 de Febrero
1996	104,30	1 de Febrero
1997	**185,50**	**13 de Diciembre**
1998	221,80	18 de Abril
1999	60,40	26 de Abril

Tabla 2.1. Serie de máximas precipitaciones diarias tomadas de la Estación Radio Sonda

2.1.1. Ajuste de datos a una distribución de probabilidades

Una distribución de probabilidades es una función que representa la probabilidad de ocurrencia de una serie pluviográfica. En Estadística existen varias funciones de distribución de probabilidad teórica y en su mayoría no es posible probarlas todas para un problema en particular, por lo tanto, se escogió de esas funciones las que mejor se adoptan a la serie de máximas precipitaciones diarias registradas al norte de la ciudad de Guayaquil.

En la tabla 2.2 se enumeran algunas de las distribuciones de probabilidad mas utilizadas, del mismo modo se presenta la función y el tipo de dato hidrológico al que es aplicable.

Distribuciones de probabilidades para el ajuste de información hidrológica		
Distribuciones	**Función de densidad de probabilidad**	**Aplicación**
Normal	$f(x)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right)}$	La precipitación anual (suma de los efectos de los muchos eventos)
Log-normal	$f(x)=\frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}}e^{\left(-\frac{(y-\mu_y)^2}{2\sigma_y^2}\right)};y=\log x$	La distribución de tamaños de gotas de una lluvia, volúmenes mensuales de escurrimiento de un río.
Exponencial	$f(x)=\lambda e^{-\lambda x}$	Determinar el volumen de *escorrentía contaminada* que entra a los ríos a medida que la lluvia lava los contaminantes en la superficie.
Gamma	$f(x)=\frac{\lambda^{\beta}x^{\beta-1}e^{-\lambda x}}{\Gamma(\beta)}$	La altura de precipitación
Pearson tipo III	$f(x)=\frac{\lambda^{\beta}(x-\varepsilon)^{\beta-1}e^{-\lambda(x-\varepsilon)}}{\Gamma(\beta)}$	La distribución de probabilidades de picos decrecientes máximos anuales
Log-Pearson tipo III	$f(x)=\frac{\lambda^{\beta}(y-\varepsilon)^{\beta-1}e^{-\lambda(y-\varepsilon)}}{x\Gamma(\beta)};y=\log x$	La distribución de probabilidades de picos *decrecientes máximos* anuales
Valores extremos		
tipo I – Gumbel	$f(x)=\frac{1}{\alpha}e^{\left[\frac{x-\mu}{\alpha}-e^{\left(\frac{x-\mu}{\alpha}\right)}\right]}$	Modela las tormentas de lluvia
tipo II – Frechet		
tipo III- Weibull		Los flujos de estirajes

Tabla 2.2.- Función de densidad de probabilidad que se ajustan a datos hidrológicos tomada de varios textos guías.

Dado el registro meteorológico constituido por las máximas precipitaciones anuales desde el año 1992 al 1999, se determinó las medidas descriptivas como paso previo al ajuste del conjunto de

datos. El cálculo de la media y desviación estándar se muestra en la siguiente tabla.

Precipitación Máxima Diaria - Estación Radio Sonda						
AÑO	PRECIPITACION	DÍA		$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$
1992	113.6	19 de Marzo	1	-7,76	60,26	467,74
1993	75.7	10 de Febrero	1	-45,66	2085,06	95209,23
1994	130.6	19 de Diciembre	1	9,24	85,33	788,25
1995	79	17 de Febrero	1	-42,36	1794,58	76022,95
1996	104.3	1 de Febrero	1	-17,06	291,13	4967,39
1997	185.5	13 de Diciembre	1	64,14	4113,62	263837,23
1998	221.8	18 de Abril	1	100,44	10087,69	1013182,51
1999	60.4	19 de Marzo	1	-60,96	3716,43	226562,64
Σ:	970,9	N	8	Σ:	22234,10	0.01
MEDIA		121,36	DESVIACION ESTANDAR			56,36
COEFICIENTE DE SESGO		1,1738	COEFICIENTE DE ASIMETRIA			1,7887

Tabla 2.3. Obtención de los parámetros estadísticos de la muestra - μ, s

El uso de las distribuciones de probabilidades consiste en estandarizar el evento extremo buscado a través de la sustitución de la media, la varianza y el coeficiente de asimetría en cada una de las ecuaciones que el autor ha desarrollo. En las siguientes líneas se expondrá acerca de cuatro distribuciones de probabilidad seleccionadas en el estudio y las ecuaciones necesarias para el cálculo de sus parámetros.

a) Distribución Gumbel Tipo I

La distribución de valores extremos tipo I cuyas propiedades fueron desarrolladas por Gumbel (1941) se aplican de mejor manera a las tormentas de lluvia, tal es el caso que son el sustento para el

método estándar de análisis de frecuencia de crecientes en Gran Bretaña (Natural Environment Research Council, 1975).

Del estudio realizado por Gumbel a una serie de datos, estableció los parámetros α y μ en función de la media y la desviación estándar, las mismas que citamos a continuación:

$$\alpha = \frac{s \times \sqrt{6}}{\pi}; \qquad \text{ec. 2.1}$$

s: Desviación estándar de la muestra

$$\mu = \bar{x} - 0.5772\alpha; \qquad \text{ec. 2.2}$$

μ: Moda de la distribución o punto de máxima densidad de probabilidad

$\bar{x}$: Media de la muestra

Remplazando los valores de la desviación y media muestral (tabla 2.3) en las ecuaciones 2.1 y 2.2 respectivamente, se obtienen los parámetros que estandarizan a cada evento analizado (tabla 2.4).

b) Distribución Normal

La distribución normal se caracteriza por ser la menos usada de todas las funciones de probabilidad, debido a que la mayor parte de las variables hidrológicas son no negativas y tienden ser

asimétricas, mientras que ésta varía a lo largo de un rango continuo $[-\infty, \infty]$.

Esta función establece que la suma de cada evento independiente como son las precipitaciones diarias en una región y el volumen de escurrimiento diario de un rió tienden a estar normalmente distribuida.

El primer paso para realizar el ajuste de datos es estandarizar la muestra a través de la ecuación 2.3

$$z = K_T = \frac{X_T - \mu}{s}; \qquad \text{ec. 2.3}$$

Siendo;

μ : Media muestral

s: Desviación estándar

K_T: Factor de Frecuencia

z: Variable normal estándar

Para realizar el ajuste de datos a una distribución Log - normal se aplica la misma ecuación antes descritas con la única particularidad que se emplean el logaritmo de la variable, la media y la desviación estándar. La tabla 2.5 muestra el cálculo de estas medidas descriptivas.

c) Distribución Pearson Tipo III

La distribución Pearson Tipo III o también llamada la *distribución gamma de tres parámetros,* utiliza tres medidas descriptivas para la obtención de sus parámetros.

Esta distribución es aplicable a lluvias o caudales máximos anuales y el cálculo de sus parámetros se lo realiza a través de las siguientes ecuaciones:

$$\beta = \left(\frac{2}{C_s}\right)^2 ; \qquad \text{ec. 2.4}$$

$$\lambda = \frac{S}{\sqrt{\beta}} ; \qquad \text{ec. 2.5}$$

$$\in = \bar{x} - S\sqrt{\beta} ; \qquad \text{ec. 2.6}$$

Siendo;

$\beta, \lambda, \in$: Parámetros de la distribución de probabilidad

s: Desviación estándar

Cs: Coeficiente de asimetría

$\bar{x}$: Media muestral

En la tabla 2.4 constan todos los parámetros necesarios para conocer la probabilidad de ocurrencia teórica de un evento específico a través de las distribuciones Gumbel Tipo I, Normal, Pearson Tipo III y Log-normal.

Distribución de Probabilidad						
Datos		Parámetros				
		Gumbel Tipo I				
X_T	185,50 mm	α	43,94	μ	96,00	
		Normal				
		μ	121,36	σ	56,36	
		Pearson Tipo III				
		β	1.25	λ	50.4	$\in$ 58.35
$Log(X_T)$	2.27 mm	Log-normal				
		μ_y	2.05	σ_y	0.19	

Tabla 2.4.- Parámetros de las distribuciones de probabilidades

Precipitación Máxima Diaria - Estación Radio Sonda							
AÑO	PRECIPITACION	LOG(Pe)	DÍA		$(X_i - X)$	$(X_i - X)^2$	$(X_i - X)^3$
1992	113.6	2.055	19 de Mar	1	0.01	0.00	0.00
1993	75.7	1.879	10 de Feb	1	-0.17	0.03	0.00
1994	130.6	2.116	19 de Dic	1	0.07	0.01	0.00
1995	79	1.898	17 de Feb	1	-0.15	0.02	0.00
1996	104.3	2.018	1 de Feb	1	-0.03	0.00	0.00
1997	185.5	2.268	13 de Dic	1	0.22	0.05	0.01
1998	221.8	2.346	18 de Abr	1	0.30	0.09	0.03
1999	60.4	1.781	26 de Abr	1	-0.26	0.07	-0.02
Σ:		16.362	N	8	Σ:	0.27	0.01
MEDIA		2.05	DESVIACION ESTANDAR			0.19	
COEFICIENTE DE SESGO		0.21	COEFICIENTE DE ASIMETRIA			0.32	

Tabla 2.5.- Medidas descriptivas para una función Log-normal y Log-pearson tipo III

2.1.2. Prueba de Bondad de Ajuste

En la tabla 2.4 se mostró los parámetros de cada distribución de probabilidad como resultado del ajuste de los datos de precipitación, en seguida se describirá de manera breve la prueba de bondad del ajuste, que en la teoría de estadística las más conocidas son la x^2 y la *Kolmogorov-Smirnov*. La selección de la distribución de probabilidad obedecerá a un análisis realizado a estos resultados, donde se califica cada una de ella.

a) Prueba X2

La prueba X^2 es la más popular. Fue propuesta por Karl Pearson en 1900.

Para aplicar la prueba, el primer paso es dividir los datos en número de *k* de intervalos de clase, donde se ha escogido *k = 6*. Como se muestra en la tabla 2.6.

Intervalo de Clases				
Intervalo i	**Límite inferior li**	**Límite superior Si**	**Marca de clase**	**Número Observado θ_i**
1	0	40	20	0
2	40	80	60	3
3	80	120	100	2
4	120	160	140	1
5	160	200	180	1
6	200	240	220	1
Número de Muestra – n				**8**

abla 2.6.- Medidas descriptivas para una función Log-normal y Log-pearson tipo III

Luego se calcula el parámetro estadístico:

$$D = \sum_{i=1}^{k} (\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i \qquad \text{ec. 2.7}$$

Donde:

θ_i : Es el número observado de eventos en el intervalo i

ε_i : Es el número esperado de evento en el mismo intervalo, y se calcula como:

$$\varepsilon_i = n[F(S_i) - F(I_i)]; i = 1,2,3,...k \qquad \text{ec. 2.8}$$

Siendo:

$F(S_i)$: Función de distribución de probabilidad en el límite superior del intervalo *i*

$F(I_i)$: Función de distribución de probabilidad en el límite inferior del intervalo i

n: Número de evento.

En la columna (4) de la tabla 2.7 se muestra los valores ε_i para las cuatro funciones de distribución vistas anteriormente

Parámetro Estadístico						
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Función de Distribución	Intervalo	F(Si)	F(Ii)	ε_i	$(\theta_i - \varepsilon_i)^2 / \varepsilon_i$	D
Normal	1	0.074	0.015	0.46	0.46	4.04
	2	0.230	0.074	1.25	2.46	
	3	0.488	0.230	2.07	0.00	
	4	0.752	0.488	2.11	0.58	
	5	0.918	0.752	1.33	0.08	
	6	0.982	0.918	0.52	0.46	
Log-normal	1	0.009	0.000	0.07	0.07	2.47
	2	0.221	0.009	1.69	1.01	
	3	0.560	0.221	2.71	0.19	
	4	0.791	0.560	1.85	0.39	
	5	0.907	0.791	0.92		
	6	0.959	0.907	0.42	0.80	
Pearson III	1	0.01	0.01	0.04	0.04	1.98
	2	0.23	0.01	1.77	0.86	
	3	0.54	0.23	2.44	0.08	
	4	0.77	0.54	1.84	0.38	
	5	0.90	0.77	1.05	0.00	
	6	0.96	0.90	0.46	0.62	
Gumbel	1	0.03	0.00	0.20	0.20	9.34
	2	0.24	0.10	1.07	3.49	
	3	0.56	0.40	1.27	0.42	
	4	0.79	0.69	0.80	0.05	
	5	0.91	0.86	0.38	0.99	
	6	0.96	0.94	0.17	4.20	

Tabla 2.7.- Parámetro estadístico [D]

Una vez calculado el parámetro D se determina el valor de una variable aleatoria con distribución X^2 para $\nu = k - 1 - m$ grados de libertad y un nivel de significancia α, donde m es el número de parámetros estimado a partir de los datos (m = 2; Normal, Log-normal, Gumbel; m = 3; Pearson III), que se encuentran en la tabla 2.4.

Se acepta una función distribución, si se cumple lo siguiente:

$$D \leq X^2_{1-\alpha,k-1-m}$$

Ho: La función de distribución de probabilidad es $\mathscr{D}(\alpha, \beta, \ldots)$

Si se considera un nivel de significancia α = 0.05 como probabilidad de contradicción a la hipótesis nula-*Ho*, es imperioso recordar que mas de una función de distribución de probabilidad será aceptada por lo tanto la discriminación de una de ellas esta dada por el menor valor que posee el parámetro estadístico ***D.*** Los valores de X^2 para funciones de dos y tres parámetros se obtienen de la primera tabla del apéndice B, los mismo se exponen en la tercera columna de la tabla 2.8 donde también se cita el valor de D y la aprobación o el rechazo de cada una de las funciones de distribución de probabilidad empleadas.

Aprobación de Hipótesis				
Función de Distribución	***D***	***V***	$\chi^2_{0.95,\nu}$	***Ho***
Normal	4.04	3	7.81	se acepta
Log-normal	2.47		7.81	se acepta
Gumbel	**9.34**		**7.81**	***se rechaza***
Pearson	1.98	2	5.99	se acepta

abla 2.8.- **La función de Distribución Log-normal con menor valor de D determina que es la mas optima de acuerdo a la prueba X^2**

b) Prueba Kolmogorov – Smirnov

Esta prueba consiste en comparar el máximo valor absoluto de la diferencia D entre la función de distribución de probabilidad

observada $F_0(x_m)$ y la estimada $F(x_m)$ con un valor crítico *d* que depende del número de datos y del nivel de significancia seleccionado (tabla 2 del apéndice B)

Se acepta la Hipótesis (H_o), si se cumple la siguiente restricción:

$$D < d(n, \alpha)$$

Siendo

n: Número de datos, 8

α : Nivel de significancia, 0.05

La función de distribución de probabilidad observada se calcula como:

$$F_0(x_m) = 1 - \frac{m}{m+1} \qquad \text{ec. 2.9}$$

Siendo

m: Número de orden de los datos

X_m: Datos de precipitación de mayor a menor

N: Número total de datos

En la columna (2) de la tabla 2.9 se han escrito las precipitaciones máximas anuales ordenadas en forma decreciente, en la siguiente se muestran los valores de la función de distribución de probabilidad observada obtenidas al evaluar la ecuación 2.9. En las columnas (4), (6), (8) y (10) se presentan los valores de $F(x_m)$ calculados con las cinco funciones de distribución teórica vista anteriormente y en las columnas (5), (7), (9) y (11) se muestran los valores absolutos de las diferencias entre $F_0(x_m)$ y $F(x_m)$.

Parámetro Estadístico - D										
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
m	X_m	$F_0(X_m)$	$F(X_m)$ Normal	$\|F_0(X_m) - F(Xm)\|$	$F(X_m)$ Lognormal	$\|F_0(X_m) - F(Xm)\|$	$F(X_m)$ Pearson	$\|F_0(X_m) - F(Xm)\|$	$F(X_m)$ Gumbel	$\|F_0(X_m) - F(Xm)\|$
1	221,8	0,8889	0,9625	0,0736	0,9406	0,0517	0,932	0,0431	0,9445	0,0556
2	185,5	0,7778	0,8708	0,0930	0,8749	0,0971	0,849	0,0712	0,8777	0,0999
3	130,6	0,6667	0,5636	0,1031	0,6368	0,0299	0,600	0,0667	0,6344	0,0322
4	113,6	0,5556	0,4443	0,1113	0,5120	0,0436	0,496	0,0596	0,5117	0,0438
5	104,3	0,4444	0,3783	0,0661	0,4325	0,0119	0,422	0,0224	0,4370	0,0075
6	79,0	0,3333	0,2236	0,1097	0,2119	***0,1214***	0,223	***0,1103***	0,2294	***0,1040***
7	75,7	0,2222	0,0351	***0,1871***	0,1841	0,0381	0,199	0,0232	0,2045	0,0177
8	60,4	0,1111	0,1379	0,0268	0,0681	0,0430	0,091	0,0201	0,1056	0,0055

Tabla 2.9.- Parámetro estadístico

Se ha sombreado el valor de *D* para cada función de distribución en la tabla 2.10. Como se puede observar, según esta prueba se aceptarían todas las funciones de distribución consideradas para un nivel de significancia α = 0.05, para el cual el valor crítico *d* es 0.43 con n = 8 (tabla 3, apéndice B). La función distribución con el menor valor de *D* es la Gumbel por lo que, según esta prueba, esta seria la preferible (tabla 2.10).

Aprobación de Hipótesis			
Función de Distribución	**D**	***d***	**Ho**
Normal	0.1871	0.43	Se acepta
Log-normal	0.1214	0.43	Se acepta
Pearson	0.1103	0.43	Se acepta
Gumbel	**0.1040**	**0.43**	Se acepta

Tabla 2.10.- Calificación de las distribuciones usadas

En la tabla 2.11 se resumen los resultados de las pruebas de bondad del ajuste y se califican las funciones según el orden de preferencia indicado por cada prueba, dado 1 a la "mejor" y 4 a la "peor". De estos resultados se concluye que la mejor función que se ajusta a los datos de precipitación es la Pearson tipo III.

Selección de la función de Distribución		
Función de Distribución	**X^2**	**Kolmogorov**
Normal	3	4
Log-normal	2	3
Pearson	**1**	**2**
Gumbel	se rechaza	1

Tabla 2.11.- Función Pearson tipo III mejor ajustada

2.1.3. Cálculo del periodo de retorno

Una vez seleccionada la función de distribución que mejor se aplica a la muestra, la Pearson tipo III, es posible calcular el periodo de retorno a través de la función de densidad de probabilidad y los parámetros antes obtenidos (tabla 2.4), sin embargo el calculo de la magnitud de un evento extremo en cierto caso y el periodo de retorno como el nuestro, requiere de que la función sea fácilmente invertible, no obstante para practicidad del cálculo se prefirió utilizar un método alternativo.

Este método consistió en determinar el factor de frecuencia a través de ciertas expresiones matemáticas, que relacionan las medidas descriptivas de una muestra con la probabilidad de ocurrencia de un evento extremo seleccionado [X_T] cuyo valor corresponde a la precipitación del 13 de diciembre de 1997 seleccionada por presentarse en uno de los fenómenos de "El Niño" con mejor registro pluviográfico y por haber sido corroborado tras el levantamiento de la faja pluviográfica de todo el mes.

Primero se determina el factor de frecuencia de la precipitación a través de una aproximación que relaciona la media y la desviación estándar muestral.

$$K_T = \frac{X_T - \bar{x}}{s} \qquad \text{ec. 2.10}$$

Donde:

s: Desviación estándar de la muestra

$\bar{x}$: Media de la muestra

X_T: Variable aleatoria (máxima precipitación)

K_T: Factor de frecuencia.

Luego se realiza un tanteo hasta alcanzar el factor de frecuencia antes calculado por medio de las ecuaciones desarrolladas por Kite (1977)

Este tanteo se inicia evaluando la ecuación 2.11 para obtener el factor *k* a través del coeficiente de asimetría de la muestra

$$k = C_S/6 \qquad \text{ec. 2.11}$$

En seguida se calcula el valor *z* correspondiente a una probabilidad de excedencia *p* a través de la ecuación 2.12 que asocia una variable intermedia *w*

$$z = w - \frac{2.51557 + 0.802853\,w + 0.010328\,w^2}{1 + 1.432788\,w + 0.189269\,w^2 + 0.001308\,w^3} \qquad \text{ec. 2.12}$$

Donde;

$$w = \left[\ln\left(\frac{1}{p^2}\right)\right]^{1/2} ; p = 1/T \qquad \text{ec. 2.13}$$

Siendo

w: Variable intermedia

p: Probabilidad de excedencia

T: Periodo de retorno (años)

Sustituyendo *z* y *k* en la ecuación 2.14 obtenemos el factor de frecuencia K_T.

$$K_T = z + (z^2 - 1)k + \frac{1}{3}(z^3 - 6z)k^2 - (z^2 - 1)k^3 - zk^4 + \frac{1}{3}k^5 \quad \text{ec. 2.14}$$

Siendo:

K_T: Factor de frecuencia

z: Variable normal estándar

k: Factor adimensional

T: Periodo de retorno (años)

En la tabla 2.12 consta el periodo de retorno obtenido de la evaluación de las ecuaciones antes descritas

Resultados	
FACTOR DE FRECUENCIA[k_T]	1,1380
PERIODO DE RETORNO	8,59 años

Tabla 2.12.- Periodo de retorno de la lluvia de Diciembre 13 de 1997

2.2. Análisis de intensidades máximas.

Las metodologías para el cálculo de la escorrentía en cuenca de estudios utilizan las intensidades con que se precipitan las lluvias en cierto sector. Como ya se conoce, la selección de una intensidad de diseño no corresponde al criterio de una sola persona, por tanto es necesario realizar un análisis a las máximas intensidades registradas para posteriormente extrapolarlas utilizando métodos estadísticos.

El primer paso para diseñar gráfica y analíticamente las curvas IDT, es identificar la serie de datos con la que se pretende trabajar.

Si se busca eventos con probabilidades mayores de 0.2 ($T \geq 5$ años), se recomienda utilizar un serie de datos compuestas de valores máximos anuales o sea tomando el mayor evento de cada año, si se desea conocer eventos que ocurren con mayor frecuencia, es mejor analizar una serie compuesta por valores que se encuentren por encima de algún valor base pre-seleccionado, de tal manera que no se escojan mas de dos o tres eventos cada año.

La estación "Radio Sonda" consta de un pluviógrafo que registra continuamente la variación de la lluvia con el tiempo. Esta información es captada en fajas pluviográficas que permiten al observador procesar el evento lluvioso en periodos mínimos de 10 minutos y máximos de 24 horas, como se muestra en la figura 2.1 del apéndice B.

Las intensidades de las precipitaciones provienen de pluviogramas que registra la precipitación acumulada a lo largo del tiempo.

De esas gráficas se puede obtener para diversas duraciones, las máximas intensidades ocurridas en una lluvia. Durante los meses de marzo, abril, noviembre y diciembre de 1997, se presentaron los mejores eventos hidrológicos, por lo cual se hizo el análisis de intensidades de estas fajas(apéndice B) para 10, 20, 30 minutos, y de 1 y 2 horas de duración, los mismos se presentan a continuación:

Intensidad máxima (mm./h)							
MARZO	DURACION					FECHA	HORA
	10 min.	20 min.	30 min.	1 hora	2 Hora		
ALTURA MAX (mm.)	10	17	24	41,8	51,4	4 de Marzo de 1997	07H50
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	60	51	48	41,8	25,7		
ALTURA MAX (mm.)	9,1	15,3	21,3	39,7	57,9	15 de Marzo de 1997	18H00
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	54,6	45,9	42,6	39,7	28,95		
ALTURA MAX (mm.)	7	12	15,3	18,7	18,9	19 de Marzo de 1997	16H20
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	42	36	30,6	18,7	9,45		
ALTURA MAX (mm.)	15,5	27	34,5	65	111,8	**25 de Marzo de 1997**	**02H00**
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	**93**	**81**	**69**	**65**	**55,9**		

Tabla 2.13.- Máximas intensidades registradas en de marzo de 1997-Radio Sonda

Intensidad máxima (mm./h)							
ABRIL	DURACION					FECHA	HORA
	10 min.	20 min.	30 min.	1 hora	2 hora		
ALTURA MAX (mm.)	4,7	7,6	8,5	9,3	0	12 de Abril de 1997	16h30
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	28,2	22,8	17	9,3	0		
ALTURA MAX (mm.)	5,9	1,5	2,1	2,4	3,4	13 - 14 de Abril de 1997	19h05
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	35,4	4,5	4,2	2,4	1,7		
ALTURA MAX (mm.)	2,6	4,6	4,7	4,7	5,9	14 – 15 de Abril de 1997	19h50
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	15,6	13,8	9,4	4,7	2,95		
ALTURA MAX (mm.)	7	12,5	14,9	16,2	19,3	**17 de Abril de 1997**	**19h28**
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	**42**	**37,5**	**29,8**	**16,2**	**9,65**		
ALTURA MAX (mm.)	4,3	6,3	7,5	11,1	19,9	18 – 19 de Abril de 1997	19h00
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	25,8	18,9	15	11,1	9,95		
ALTURA MAX (mm.)	3,4	6,6	9,2	13,3	18	21 de Abril de 1997	01h10
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	20,4	19,8	18,4	13,3	9		
ALTURA MAX (mm.)	2,5	4,2	5	8,5	12,9	21 de Abril de 1997	21h00
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	15	12,6	10	8,5	6,45		
ALTURA MAX (mm.)	6,5	9,5	10,9	20,7	24,2	28 de Abril de 1997	18h30
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	39	28,5	21,8	20,7	12,1		
ALTURA MAX (mm.)	3,8	4,3	4,4	5,3	6	30 de Abril de 1997	18h00
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	22,8	12,9	8,8	5,3	3		

Tabla 2.14.- Máximas intensidades registradas en abril de 1997-Radio Sonda

Intensidad máxima (mm./h)							
NOVIEMBRE	DURACION					FECHA	HORA
	10 min.	20 min.	30 min.	1 hora	2 hora		
ALTURA MAX (mm.)	6,5	10	13,4	17,9	24,4	11 de Noviembre de 1997	05H00
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	39	30	26,8	17,9	12,2		
ALTURA MAX (mm.)	11	22	29	36,4	0	14 de Noviembre de 1997	19h30
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	66	66	58	36,4	0		
ALTURA MAX (mm.)	11,5	22	26,8	32,7	34,5	**17 de Noviembre de 1997**	**17H00**
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	**69**	**66**	**53,6**	**32,7**	**17,25**		
ALTURA MAX (mm.)	9,8	15	19,9	34,7	63,8	23 – 24 de Nov de 1997	17H20
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	58,8	45	39,8	34,7	31,9		

Tabla 2.15.- Máximas intensidades registradas en noviembre de 1997-Radio Sonda

Intensidad máxima (mm./h)							
DICIEMBRE	DURACION					FECHA	HORA
	10 min.	20 min.	30 min.	1 hora	2 hora		
ALTURA MAX (mm.)	6,1	9,2	12,5	23	32,8	4 de Dic de 1997	15h00
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	36,6	27,6	25	23	16,4		
ALTURA MAX (mm.)	6	11,2	14,7	24	30,7	8 - 9 de Dic de 1997	16h00
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	36	33,6	29,4	24	15,35		
ALTURA MAX (mm.)	13	24,8	33	46,8	61,7	10 – 11 de Dic de 1997	22h30
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	78	74,4	66	46,8	30,85		
ALTURA MAX (mm.)	19,5	34,5	48	80	130,5	**13 - 14 de Dic de 1997**	**21h40**
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	**117**	**103,5**	**96**	**80**	**65,25**		
ALTURA MAX (mm.)	8	9,5	10,1	10,2	11,1	21 - 22 de Dic de 1997	19h30
INTENSIDAD MAX (mm/hora)	48	28,5	20,2	10,2	5,55		

Tabla 2.16.- Máximas intensidades registradas en diciembre de 1997-Radio Sonda

En cada tabla se resalta el evento más intenso del mes, sin embargo la precipitación que se presento el 13 y 14 de diciembre de 1997, fue la lluvia con mayor intensidad suscitada ese año ya que alcanzó los 117 mm. /h durante los diez primeros minutos.

Este proceso de selección se toma como patrón para obtener un conjunto de datos compuesto por las mayores intensidades anuales caídas en un sector.

2.3. Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia(IDF)

La intensidad de la lluvia se la define como la cantidad de agua que cae, en un punto, por unidad de tiempo, y es inversamente proporcional a la duración de la tormenta. La duración de la tormenta es el tiempo que transcurre desde que inicia la precipitación de la tormenta hasta que esta cesa.

Willems (2000) define las curvas intensidad-duración-frecuencia (IDF) como la relación que existe entre la intensidad de precipitación media y la frecuencia de ocurrencia (inverso del periodo de retorno); estas curvas son herramientas ampliamente utilizadas en ingeniería para fines de plantación, diseños y operación de los proyectos hidráulicos, así como la protección de obras de ingeniería contra avenidas máximas.

Existen básicamente dos formas de expresar la relación IDT para un sitio dado, la primera a través de curvas y la segunda a través de modelos matemáticos

Para la construcción de las curvas Aparicio plantea dos métodos, uno conocido como *intensidad - periodo de retorno*, el cual relaciona estas

dos variables para cada duración por separado mediante algunas de las funciones de distribución de probabilidad usada en hidrología.

Estas familias de distribuciones probabilísticas se someten a pruebas de bondad, para determinar cual de ellas se aplica de mejor manera a la serie de valores pluviográficos.

El segundo método relaciona simultáneamente las tres variables en una familia de curvas cuya ecuación es:

$$i = \frac{k \times T^m}{(d+c)^n} \qquad \text{ec. 2.7}$$

Donde k, m, n y c son constante que se calcula mediante un análisis de correlación lineal múltiple.

$$\log i = \log k + m \log T - n \log(d + C) \qquad \text{ec. 2.8}$$

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 \qquad \text{ec. 2.9}$$

Modelos matemáticos para las curvas (IDF).

Las curvas intensidad, duración y frecuencia también pueden expresarse como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de diseño, en una gráfica (Chow et al., 1994). A continuación se presentan los modelos matemáticos mas conocidos a nivel mundial que se utilizan para estimar las curvas IDF.

Ecuación que relaciona la intensidad de la lluvia con la duración de la tormenta.		
Autor	**Modelo**	**Características**
Ponce(1989)	$i = \frac{\lambda}{(d+\theta)^{\eta}}$	Siendo n < 1

Tabla 2.17.- Modelos matemáticos que relaciona la intensidad-duración

Nota: Los valores de λ y θ se determinan por análisis de regresión

Ecuaciones que relacionan la intensidad de la lluvia de una tormenta con la duración y frecuencia de ocurrencia de esta.		
Autor	**Modelo**	**Aplicación**
Bernard (1932).	$i = \frac{\lambda \times T^{\psi}}{d^{\eta}}$	
Sherman (1931)	$i = \frac{\lambda \times T^{\psi}}{(d+\theta)^{\eta}}$	Boston-Massachussets-USA
Wenzel (1982).	$i = \frac{\lambda}{d^{\eta}+\theta}$	Varias ciudades de los Estados Unidos
Chow et al. (1994),	$i = \frac{\lambda \times T^{\psi}}{d^{\eta}+\theta}$	Varias ciudades de los Estados Unidos
Koutsoyiannis et al. (1998).	$i = \lambda \left\{ \frac{\psi - \ln\left[-\ln\left(1-\frac{1}{T}\right)\right]}{(d+\theta)^{\eta}} \right\}$	Atenas- Grecia

Tabla 2.18.-Modelos que relacionan la intensidad-duración-frecuencia

Nota: Los valores de λ, Ψ, η y θ se estiman por aproximaciones sucesivas cuando se ajusta cada modelo.

Diversas publicaciones donde se resalta la ecuación de lluvia, como el producto del análisis de los máximos eventos registrados en una estación, indican que el modelo matemático propuesto por Ponce donde se relacionan dos variables, no es recomendable debido a que sólo se aplica a un 50% de la muestra, mientras que las ecuaciones que relacionan las tres variables muestran un buen ajuste al punto que absorben el 90% de los datos en el peor de los casos.

La Empresa Municipal de Alcantarillado de Guayaquil, EMAG elaboró dos ecuaciones de lluvia para su plan de manejo de aguas servidas. La primera contempla los datos lluviosos de los años 1951 a 1981 mientras que la segunda incluye el registro de la estación invernal 82-83, que fue extremadamente lluviosa debido a la presencia del fenómeno El Niño. Este incremento de datos hizo variar los coeficientes de la ecuación, difiriendo la intensidad de la lluvia en el ±1%. Más tarde el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica, IIFIUC presentó un trabajo donde obtuvo nuevas ecuaciones pluviométricas utilizando la distribución de frecuencia de Gumbel para el ajuste de datos que incluían lluvias intensas hasta el año 1998. En la siguiente tabla se presenta las tres ecuaciones obtenidas por la EMAG y el IIFIUC respectivamente para un período de retorno de 10 años.

Ecuaciones Pluviométricas		
Entidad Proponente	**Ecuación**	**Datos**
EMAG 1	$i = \frac{771.56}{(t+16)^{0.56}}$	1951-1981
EMAG 2	$i = \frac{853.5}{(t+15)^{0.6}}$	1951-1987
IIFIUC	$i = -37.509\ln(T_C) + 237.62$	1951-1998

Tabla 2.19.-Ecuaciones obtenidas por la EMAG y la IIFIUC

En el presente trabajo se decidió utilizar la ecuación propuesta por el Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica, IIFIUC porque el registro pluviográfico utilizado incluye los valores de las lluvias intensas de los dos fenómenos El Niño acontecidos en los periodos 1982 – 1983 y 1997 - 1998.

CAPITULO 3

3. ESTIMACIÓN DE ESCORRENTIA SUPERFICIAL A TRAVÉS DE LOS DATOS DE LLUVIA

La lluvia considerada como una variable hidrológica de entrada en un sistema denominado cuenca hidrográfica, se distribuye en la superficie terrestre de diferente manera.

La intercepción, la detención superficial, la humedad del suelo, precipitación directa sobre la corriente de agua, agua subterránea, flujo sub-superficial y *escorrentía superficial* son fenómenos que consumen la lluvia totalmente.

El estudio de las cuencas hidrográficas a través de la hidrología superficial, permite conocer la variación de la escorrentía en función de la precipitación.

El cálculo del caudal que produce una cuenca sin aforar su cauce principal puede ser obtenido mediante la estimación de la cantidad de agua que penetra la superficie (fenómeno de abstracción) o la cantidad de líquido que se llega a escurrir ante la presencia de un evento lluvioso.

En este capítulo se analiza tres métodos para cuantificar el flujo producido por el escurrimiento de una tormenta de diseño. En primer lugar se obtienen gráficas con las variaciones de Caudal vs. Tiempo, aplicando el método hidrograma unitario sintético desarrollado por la Soil Conservation Service de los Estados Unidos pero antes se calcula el volumen de agua por medio del *método de abstracciones*. En segundo lugar se estima el caudal de escorrentía directa por el **método racional** utilizando los valores típicos de coeficiente de escorrentía y por último con el **método de Ven Te Chow** se calcula el caudal que produce una precipitación de diseño de 185,50 mm con un período de retorno de 9 años.

3.1. EL ESCURRIMIENTO POR EL MÉTODO DE LAS ABSTRACCIONES DE LA SOIL CONSERVATION SERVICE SCS

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie terrestre al suelo y se distingue del de percolación en que el

movimiento del agua es hacia abajo y llega al nivel freático o a una zona saturada.

La tasa de infiltración indica la máxima capacidad de absorción de agua en una condición dada. Esta capacidad se puede obtener a través de la diferencia de la precipitación y la escorrentía superficial de una cuenca.

Los factores que intervienen en la capacidad de infiltración son:

- Humedad del suelo.
- Permeabilidad del suelo.
- Temperatura del suelo y condiciones de contorno.

Existen varios criterios para el cálculo del volumen de agua infiltrado, sin embargo la mayoría requiere de una cuenca aforada. El Soil Conservation Service propuso un método que permite estimar la precipitación que produce escorrentía [Pe] a partir de la precipitación total y las características de la cuenca.

El método de abstracciones de la Soil Conservation Service (SCS), también conocido como número de curva de escorrentía CN, fue desarrollado para el cálculo de las abstracciones de una tormenta. En este método, la profundidad de escorrentía o precipitación efectiva $\mathbf{P_e}$ está en función de la precipitación total **P** y de un parámetro de

abstracción referido al número de curva o **CN**, cuyos valores fluctúan entre 1 y 100.

El número de curva [CN] depende de ciertas propiedades productoras de escorrentía tales como:

- ✓ Tipo de suelo hidrológico,
- ✓ Utilización y tratamiento del suelo,
- ✓ Condiciones de la superficie del terreno, y
- ✓ Condición de humedad antecedente del suelo.

El método del número de curva [CN] como explica Monsalve S. en su texto guía Hidrología en la Ingeniería se desarrollo en base a datos de precipitación y escorrentía de 24 horas, lo cual limita él cálculo de la precipitación efectiva [P_e], y no toma explícitamente en consideración las variaciones temporales de intensidad de lluvia. Una herramienta que permite transformar los datos de lluvia en caudal, es la que introdujo Sherman y la denomino Hidrograma unitario de una cuenca, la misma que se analizará en el siguiente ítem.

La ecuación que permite calcular la precipitación efectiva se basa en una hipótesis que relaciona dos cantidades reales y dos cantidades potenciales, a continuación se muestra la ecuación expresada en términos del número de curva y de la precipitación total (Monsalve G.- Hidrología en la Ingeniería).

$$P_e = \frac{(CN(P+2)+200)^2}{CN[CN(P-8)+800]}$$ ec. 3.1

Siendo:

$$P \geq \frac{200}{CN} - 2$$

y

P: Precipitación [pulg.]

P_e: Precipitación efectiva [pulg.]

La ecuación 3.1 cuando sus parámetros están en unidades del sistema métrico utiliza un coeficiente *R* adimensional que cambia su expresión original (Monsalve G.-Hidrología en la Ingeniería).

$$P_e = \frac{R[(CN(P/R)+2)-200]^2}{CN[CN((P/R)-8)+800]}$$ ec. 3.2

Siendo:

$$P \geq R \times \left(\frac{200}{CN} - 2 \right)$$

y

P: Precipitación [cm.]

Pe: Precipitación efectiva [cm.]

R: 2.54

De esta manera, las abstracciones totales A (incluyendo intercepción, detención superficial e infiltración propiamente dicha) son iguales a la diferencia entre la precipitación total y la efectiva:

$$A = P - P_e \qquad \text{ec. 3.3}$$

3.1.1. Estimación del número de curva de escorrentía, CN

La cantidad de agua que produce la cuenca en estudio puede ser determinada a través del producto del área de la cuenca por la escorrentía P_e (ecuación 3.1 o 3.2) que relaciona la precipitación y el número de curva de escorrentía. El número de curva CN puede ser establecido a través de la valoración del tipo y uso del suelo que predomina en la cuenca. Para caracterizar el recubrimiento de la cuenca, el método de la abstracciones desarrollado por la Soil Conservation Service lo describe a través de una combinación específica; primero de los suelos hidrológicos que describe el tipo de suelo, segundo el uso de la tierra que describe el tipo y la capa vegetal, tercero la condición hidrológica que define la capacidad para aumentar o impedir la escorrentía superficial y por último la humedad antecedente que toma en cuenta la historia reciente de precipitación.

A. Clasificación hidrológica de los suelos

El método desarrollado por la Soil Conservation Service, clasifica a los suelos en cuatro grupos, considerando tres propiedades fundamentales que son:

- ✓ Profundidad del nivel freático en época de invierno,
- ✓ Infiltración y permeabilidad del suelo luego de un humedecimiento prolongado, y
- ✓ La profundidad hasta el estrato de permeabilidad muy lenta

Sin la influencia de la cobertura vegetal del suelo y basándose en los resultados obtenidos en los ensayos realizados en laboratorio (apéndice c – estudios de suelo), se clasificó a los suelos como tipo C, con un potencial moderadamente alto de escorrentía.

Esto se debe a que en el medio impera material fino, producto de la meteorización de rocas basálticas y andesíticas pertenecientes a la Formación Piñón como se muestran en las Figura 3.1.

Material fino disgregado en el cauce principal

Figura 3.1. Material fino, limo arenoso de Formación Piñón.

Estos suelos se caracterizan por tener una textura variante, que van desde una arena arcillosa hasta una arena limosa y desde un limo arcilloso a un limo arenoso, además tienen una permeabilidad relativamente baja del orden de 10^{-3}-10^{-5} lo que impide la infiltración del agua en la superficie terrestre.

A continuación se muestra la tabla 3.1 donde se indica la cuenca y el grupo al que pertenece el suelo.

Clasificación hidrológica de los suelos			
Clasificación	CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
Bajo potencial de escorrentía			
Moderadamente bajo potencial de escorrentía			
Moderadamente alto potencial de escorrentía	C	C	C
Alto potencial de escorrentía			

Tabla 3.1.- Clasificación hidrológica de los suelos de las cuencas en el cerro colorado

B. Uso y tratamiento del suelo

Ya que el método de las abstracciones de la SCS, es aplicable primordialmente para uso agrícola, es necesario especificar que el área de estudio se encuentra dentro de la zona urbana de Guayaquil, siendo afectada por la reserva ecológica del cerro Colorado.

La mayor parte de la topografía de la cuenca ha sufrido cambio fisiográficos debido al desarrollo de proyectos habitacionales (Urbanización Metrópolis, Ciudadela del Magisterio) y a la extracción de material pétreo para conformar la estructura del pavimento de la autopista, no obstante la zona alta de la cuenca conserva una pequeña variedad de árboles característicos de la región complementada con matorrales pequeños y esparcidos. La figura 3.2 proporciona una panorámica de la actual disposición del terreno, además se aprecia los cortes realizado al cerro Colorado y su cobertura.

Terrenos que conforman el Cerro Colorado

Figura 3.2. Fisiografía, cerro Colorado en el proyecto habitacional.

C. Condición hidrológica.

El prado que se encuentra en la cuenca del cerro Colorado es evaluado con una condición hidrológica de pasto natural. El porcentaje del área cubierta con pasto natural y la intensidad de pastoreo son estimados visualmente. La cuenca del cerro Colorado se caracteriza por poseer ligera vegetación en su explanada y una pequeña población de árboles en su parte superior, por lo tanto la condición hidrológica es compuesta.

Para sectores no considerados como bosques, una condición hidrológica pobre corresponde a menos del 50 por ciento de área cubierta y alta intensidad de pastoreo. Una condición hidrológica aceptable corresponde al 50 a 75 por ciento del área cubierta y media intensidad de pastoreo. Mientras que una condición hidrológica buena corresponde a más del 75 por ciento del área cubierta y ligera intensidad de pastoreo.

La condición hidrológica de pequeñas arboledas aisladas o árboles que han sido sembrados para fincas consideradas como bosques se determina visualmente como sigue: (1) pobre - densamente pastado o bosques regularmente quemados, con pocos arbustos y muy pequeña cantidad de humus vegetal, (2) aceptable - con pastos pero no quemados, con algunos arbustos y moderada cantidad de humus vegetal y (3) buena - protegidos con pasto, con alta cantidad de humus vegetal y muchos arbustos cubriendo la superficie.

Con el propósito de facilitar el cálculo del factor de escorrentía medio y para apreciar mejor el tipo de cobertura que se presenta en cada cuenca, se decidió expresar la cantidad de área en porcentaje (véase tabla 3.2).

Tipo de cobertura de la cuenca			
Cobertura vegetal	Porcentaje del área con este tipo de cobertura vegetal		
	CUENCA # 1	CUENCA # 2	CUENCA # 3
Sin vegetación	39,63%	73,71%	79,73%
	44236,41 m2	202644,72 m2	427075,69 m2
Bosque - Densa Vegetación	60,37%	26,29%	20,27%
	67394,12 m2	72264,38 m2	108546,37 m2
Total	111630,52 m2	274909,10 m2	535622,06 m2

Tabla 3.2.- Distribución porcentual del tipo de cobertura que predomina en la cuenca del cerro colorado

Conociendo el tipo y la cantidad de cobertura vegetal que tiene el suelo de cada cuenca, se puede determinar la condición hidrológica que las identifica. En la tabla 3.3 se presenta el tipo y el estado de hidrológico que caracteriza al área inspeccionada.

Condición Hidrológica			
Tipo de condición	CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
< 50 % del área Cubierta Alta intensidad de pastoreo – **Mala**		✓	✓
50-75% del área Cubierta Media intensidad de pastoreo-**Regular**	✓		
> 75% del área Cubierta Ligera intensidad de pastoreo-**Buena**			

Tabla 3.3.- Condición Hidrológica que caracteriza a las cuencas

D. Condición de humedad antecedente

El método del número de curva de escorrentía tiene tres niveles de humedad antecedente, dependiendo de la precipitación total en los cinco días previos a la tormenta, la tabla 3.4 contiene los tres tipos de condiciones que establece la Soil Conservation Service para la escala de valores donde se ajuste la precipitación acumulada previa al evento considerado.

Precipitación acumulada para tres niveles de condición de humedad antecedente.	
Condición de humedad antecedente(AMC)	**Precipitación acumulada de los 5 días previos al evento en consideración(cm)**
I	0 - 3,30
II	3,50 - 5,25
III	más de 5,25

Tabla 3.4.- Condición de humedad antecedente publicada por la Soil Conservation service

Nota: Este cuadro fue desarrollado utilizando datos del occidente de los Estados Unidos. Por consiguiente, se recomienda tener cautela al emplear los valores suministrados en este cuadro para determinar la condición de humedad antecedente en otras regiones geográficas o climáticas. La precipitación acumulada de los cinco días previos al evento en consideración es para épocas de crecimiento de las plantas.

El AMCI considera al suelo seco, el AMCII a suelos humedecidos mientras que el AMCIII a suelos completamente saturados.

En el capitulo anterior se realizó el levantamiento de las fajas meteorológicas de los cuatro meses más lluviosos en el fenómeno El Niño del año 1997. Si se considera al evento lluvioso registrado el 13 de diciembre de 1997 como la precipitación de diseño, entonces se designaría al suelo una condición de humedad antecedente saturada o AMCIII, ya que la precipitación acumulada de los cinco días anteriores al evento es de 229 mm.

3.1.2. Determinación del número de curva de escorrentía para la cuenca del cerro Colorado

El Soil Conservation Service publicó tres tablas de uso práctico para determinar el número de curva de algunas coberturas hidrológicas del suelo. Una para zonas urbanas, otra para zonas agrícolas desarrolladas y otra para zonas agrícolas no desarrolladas. Estos cuadros muestran el valor de CN para una condición de humedad promedio AMCII. Para obtener los valores de CN para otra condición de humedad antecedente, se adicionó una tabla donde se denota los valores de número de curva [CN] para condiciones de humedad AMCI Y AMCIII en función de la condición promedio AMCII.

Otra manera de determinar el número de curva para estas dos condiciones es a través de ciertas relaciones, las cuales se presentan a continuación:

$$CN_I = \frac{CN_{II}}{2.3 - 0.0013CN_{II}} \qquad \text{ec. 3.4}$$

La ecuación 3.4 permite calcular el número de curva [CN] para una condición de humedad tipo I considerada a suelos secos.

$$CN_{III} = \frac{CN_{II}}{0.43 - 0.0057CN_{II}} \qquad \text{ec. 3.5}$$

Mientras la ecuación 3.5 permite calcular el número de curva [CN] para una condición de humedad tipo III considerada a suelos completamente saturados.

Tomando como preámbulo lo antes expuesto y basándose en los cuadros de número de curva de escorrentía [CN] para varias coberturas hidrológicas del suelo, a continuación se determina la cobertura, el uso de suelo y el valor CN que tiene la cuenca, para una condición de humedad antecedente promedio AMCII.

Los valores de CN correspondiente al suelo que caracteriza a la zona baja de la cuenca se extrajeron de la tabla 1 del apéndice C, donde se encuentran el número de escorrentía para áreas urbanas. En la tabla 3.5 se muestra en detalle este coeficiente.

Número de curva de escorrentía para áreas urbanas			
Tipo de cobertura y condición hidrológica	CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
Clasificación Hidrológica	C	C	C
Áreas urbanas desarrolladas Áreas recientemente conformadas (solamente permeables, sin vegetación)	91	91	91

Tabla 3.5.- Números de curva para la zona baja de la cuenca del Cerro Colorado de acuerdo una condición de humedad tipo AMCII

La zona alta del cerro Colorado que ha sido declarada como bosque protegido, se enmarca de mejor manera en el cuadro de números de curva de escorrentía especificado para áreas agrícolas cuyos valores se presentan en la tabla 2 del apéndice C. Esta tabla establece el valor de CN considerando el uso y la condición hidrológica del suelo.

Número de curva de escorrentía para áreas no urbanizadas			
Uso de la Tierra	CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
Condición Hidrológica	REGULAR	MALA	MALA
Bosque	73	77	77

Tabla 3.6.- Número de curva para la zona protegida del cerro Colorado bajo una condición de humedad tipo AMCII

Con la determinación del número de curva de escorrentía para el área urbana recientemente conformada y el bosque protector bajo una condición de humedad promedio AMCII, se procedió al cálculo del $CN_{promedio}$ que caracterice a toda la cuenca, bajo la condición de humedad AMCIII establecida para suelos completamente saturados. Los valores de CN promedio correspondiente a cada cuenca se presentan en la tabla 3.7, adicionalmente se muestra en la figura 3.3 la planimetría de la cuenca con el uso de suelo y el factor de escorrentía.

Número de curva de escorrentía			
Condición de humedad antecedente	CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
AMC III	90	94	95

Tabla 3.7.- Número de curva de escorrentía promedio para la cuenca del cerro colorado bajo la condición de humedad antecedente AMCIII

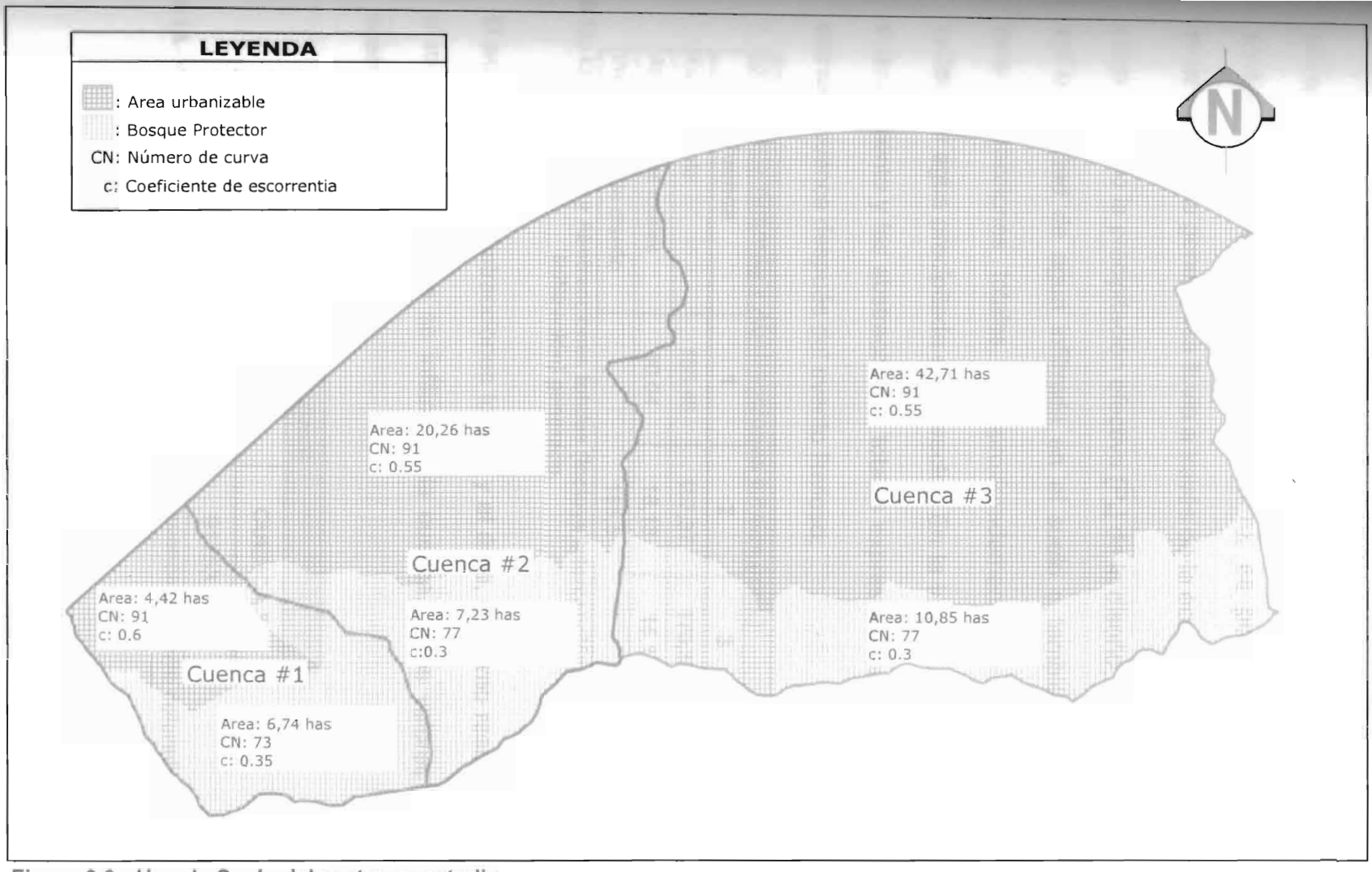


Figura 3.3.- Uso de Suelo del sector en estudio

3.1.3. Determinación de la precipitación efectiva.

Una vez que se determinó el número de curva CN y se estableció la precipitación de diseño (P = 185.50 mm), es posible estimar el escurrimiento que generó esa lluvia a través de la ecuación 3.2.

Luego restando la precipitación efectiva [P_e] de la diseño, se establece que la cantidad de agua infiltrada en el suelo o también conocida como abstracciones totales es aproximadamente el 12% de la cantidad de agua precipitada en el sector. En la tabla 3.8 se muestra el escurrimiento y las abstracciones totales expresadas en milímetros para cada cuenca después del evento lluvioso.

Escurrimiento y Abstracciones totales [mm.]			
Cuenca	**1**	**2**	**3**
Escurrimiento	155,46	167,37	170,37
Abstracciones totales	30,04	18,13	15,13
Precipitación de diseño	185,5		

Tabla 3.8.- Escurrimiento y Abstracciones totales (Incluye intercepción, detención e *infiltración) generado.*

El producto de las abstracciones totales y el área, da como resultado el volumen de agua que se infiltra en la cuenca. Estos valores se muestran en la tabla 3.9.

Volumen - V[m3]		
CUENCA 1	**CUENCA 2**	**CUENCA 3**
17354,21	46011,28	91253,29

abla 3.9.- Volumen de agua infiltrada en el suelo de la cuenca del cerro colorado

3.2. HIDROGRAMA UNITARIO SINTÉTICO DEL SOIL CONSERVATION SERVICE, SCS

El hidrograma unitario sintético del Soil Conservation Service desarrollado por Victor Mockus (1950) permite obtener hidrógrafas o hidrogramas de caudal sin necesidad de tener un registro de precipitación y escorrentía.

Aunque este tipo de hidrograma se usa en cuencas de mediano tamaño (2.5-25 km^2) y se basa en el análisis de un gran número de hidrogramas unitarios naturales de varias cuencas hidrográficas, se aplicará en el análisis de la cuenca del cerro Colorado a manera de ejemplo para efecto de investigación.

Mockus desarrolló un hidrograma unitario sintético de forma triangular para propósitos prácticos, sin embargo en ciertos diseños la extensión de la curva de recesión tiene un papel preponderante y en tal virtud se usa el hidrograma curvilíneo adimensional.

En la figura 3.4 se describe la curva Caudal vs. Tiempo denominada hidrograma unitario adimensional, el cual fue difundido por el Soil Conservation Service para aplicarlo a cuencas no aforadas.

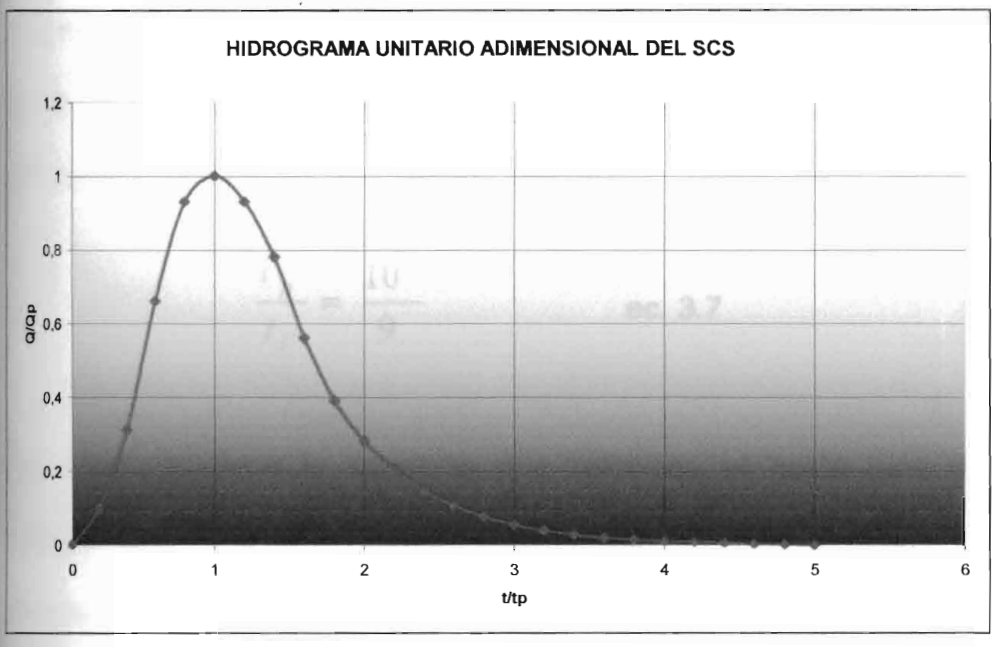


Figura 3.4.- Hidrograma Unitario Adimensional del Soil Conservation Service, SCS

El hidrograma unitario sintético generado a partir del caudal y el tiempo pico permitió a Mockus relacionar estos parámetros con el tiempo de retardo de la cuenca. A continuación se muestra las tres ecuaciones fundamentales para el cálculo del caudal y el tiempo pico de un hidrograma unitario.

El *tiempo de desfase o retardo* esta relacionado con el número de curva de escorrentía CN, a través de una ecuación que involucra la longitud de máximo recorrido y la pendiente media de la cuenca.

$$t_l = \frac{L^{0.8}\left(2540 - 22.86CN\right)^{0.7}}{14104CN^{0.7}Y^{0.5}} \qquad \text{ec. 3.6}$$

A la vez el tiempo pico se relaciona con el tiempo de desfase a través de un coeficiente deducido de su definición y de la experiencia recolectada en cuencas de mediano tamaño.

$$\frac{t_p}{t_l} = \frac{10}{9} \qquad \text{ec. 3.7}$$

Por último se tiene la ecuación que relaciona el gasto pico del hidrograma unitario para 1 mm de precipitación efectiva con el área de drenaje de la cuenca y el tiempo pico. El resultado de esta ecuación estará expresado en metros cúbico por segundo si la superficie esta en kilómetros cuadrados y el tiempo en horas.

$$Q_p = \frac{0.208 \quad A}{t_p} \qquad \text{ec. 3.8}$$

En la tabla 3.10 se presenta todos los parámetros necesarios para el cálculo del caudal pico así como el valor de descarga estimado que cada cuenca aporta.

Caudal pico [q_p]			
	CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
Longitud máx. Recorrido(m)-[L]	410,7	1003,69	1021,36
Pendiente media de la cuenca-[Y]	0,25	0,22	0,22
Número de curva [CN]	90	94	95
Tiempo de desfase(horas)-[T_l]	0,08	0,14	0,13
Tiempo pico(horas)-[T_p]	0,09	0,15	0,15
Área (km^2)-[A]	0,11	0,27	0,54
Caudal pico (m^3/seg.)	0,26	0,15	0,16

Tabla 3.19.- Caudal pico de las cuencas en estudio

Si se multiplica las ordenadas del hidrograma adimensional por el caudal pico [q_p] y las abscisas del hidrograma adimensional por el tiempo pico [t_p], se obtiene el hidrograma unitario de cada cuenca como se muestra en el esquema para el cálculo del hidrograma unitario.

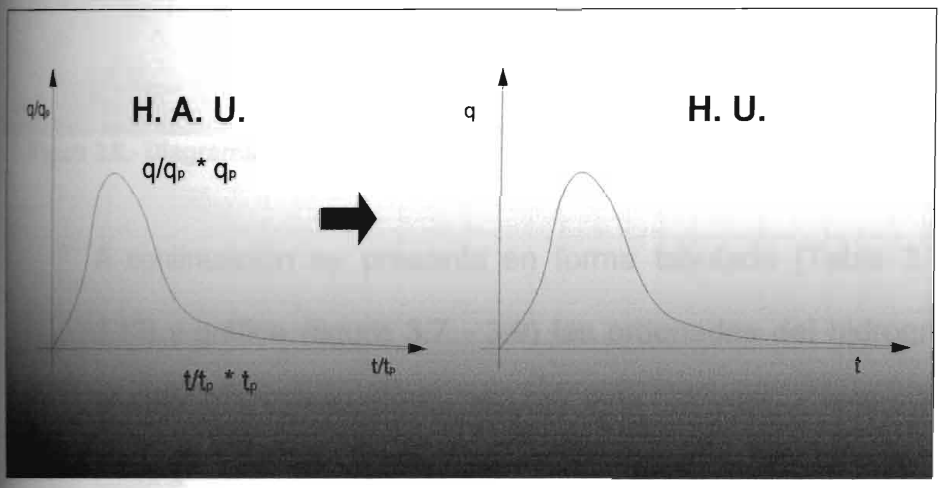


Figura 3.5.- Diagrama del cálculo del hidrograma unitario

El caudal pico $\mathbf{Q_p}$ de un hidrograma de escorrentía puede ser calculado a través del producto del caudal pico del hidrograma unitario q_p por la precipitación efectiva $\mathbf{P_e}$. Así también es posible generar el hidrograma de escorrentía directa multiplicando las ordenadas del hidrograma unitario por la precipitación efectiva tal como se muestra en la figura 3.6, donde se esquematiza el cálculo del hidrograma de escorrentía directo.

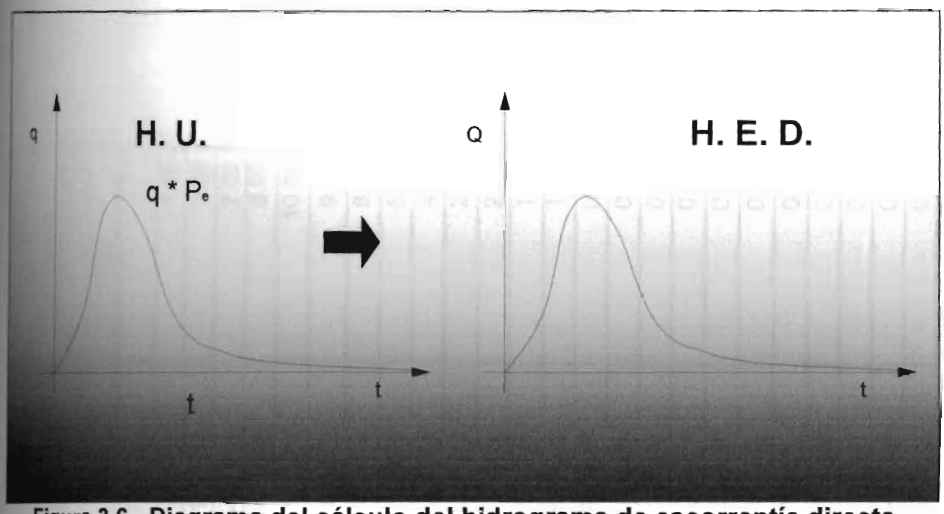
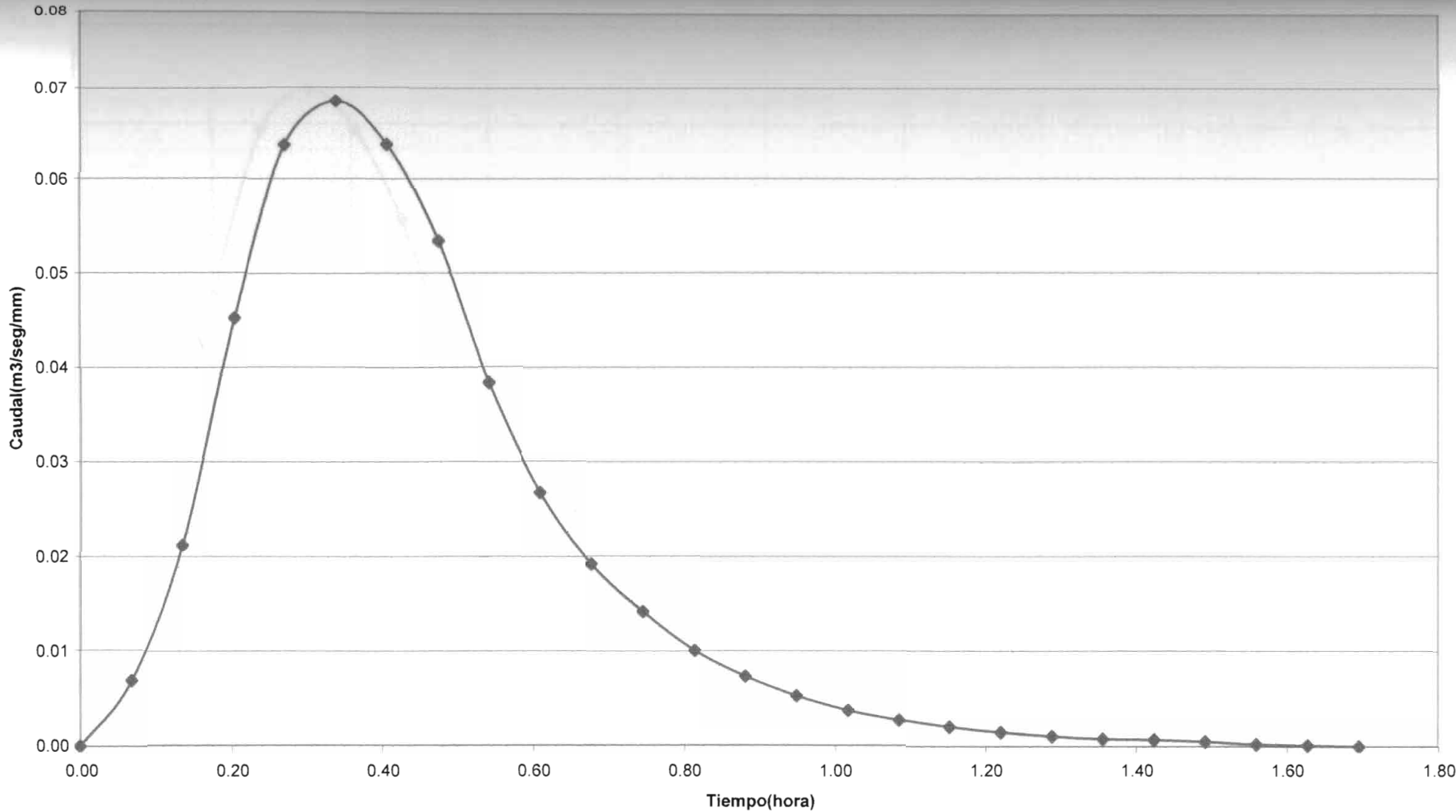


Figura 3.6.- Diagrama del cálculo del hidrograma de escorrentía directa

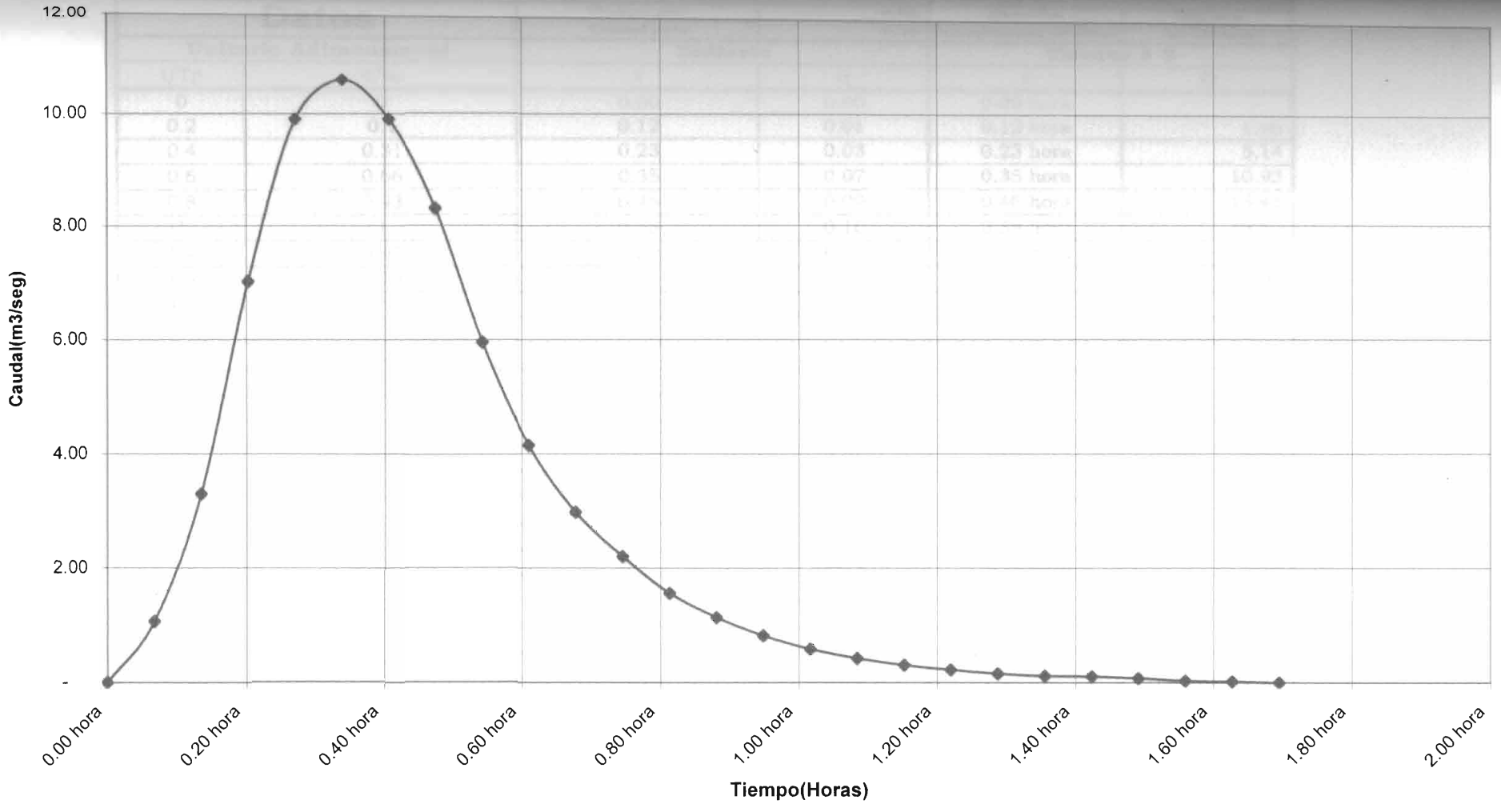
A continuación se presenta en forma tabulada (Tabla 3.11 - 3.13) y gráfica (figura 3.7 - 3.9) las ordenadas del hidrograma unitario y de escorrentía directa que se obtuvo para cada cuenca.

Ordenadas del Hidrograma de Escorrentía Directa de la Cuenca # 1					
Datos		Tiempo pico	0.34	Duracion	350 min
		Caudal pico	0.07 m3/s/mm	Precipitación efectiva	155.46mm
Unitario Adimensional		Unitario		Cuenca # 1	
t/Tp	q/q_p	t	q	t	Qp
0	0	0.00	0.00	0.00 hora	-
0.2	0.1	0.07	0.01	0.07 hora	1.06
0.4	0.31	0.14	0.02	0.14 hora	3.30
0.6	0.66	0.20	0.05	0.20 hora	7.02
0.8	0.93	0.27	0.06	0.27 hora	9.90
1	1	0.34	0.07	0.34 hora	10.64
1.2	0.93	0.41	0.06	0.41 hora	9.90
1.4	0.78	0.47	0.05	0.47 hora	8.30
1.6	0.56	0.54	0.04	0.54 hora	5.96
1.8	0.39	0.61	0.03	0.61 hora	4.15
2	0.28	0.68	0.02	0.68 hora	2.98
2.2	0.207	0.75	0.01	0.75 hora	2.20
2.4	0.147	0.81	0.01	0.81 hora	1.56
2.6	0.107	0.88	0.01	0.88 hora	1.14
2.8	0.077	0.95	0.01	0.95 hora	0.82
3	0.055	1.02	0.00	1.02 hora	0.59
3.2	0.04	1.09	0.00	1.09 hora	0.43
3.4	0.029	1.15	0.00	1.15 hora	0.31
3.6	0.021	1.22	0.00	1.22 hora	0.22
3.8	0.015	1.29	0.00	1.29 hora	0.16
4	0.011	1.36	0.00	1.36 hora	0.12
4.2	0.01	1.42	0.00	1.42 hora	0.11
4.4	0.007	1.49	0.00	1.49 hora	0.07
4.6	0.003	1.56	0.00	1.56 hora	0.03
4.8	0.0015	1.63	0.00	1.63 hora	0.02
5	0	1.70	0.00	1.70 hora	-

Tabla 3,11.- Secuencia de cálculo de las ordenadas del hidrograma unitario y del hidrograma de escorrentía directa de la cuenca #1



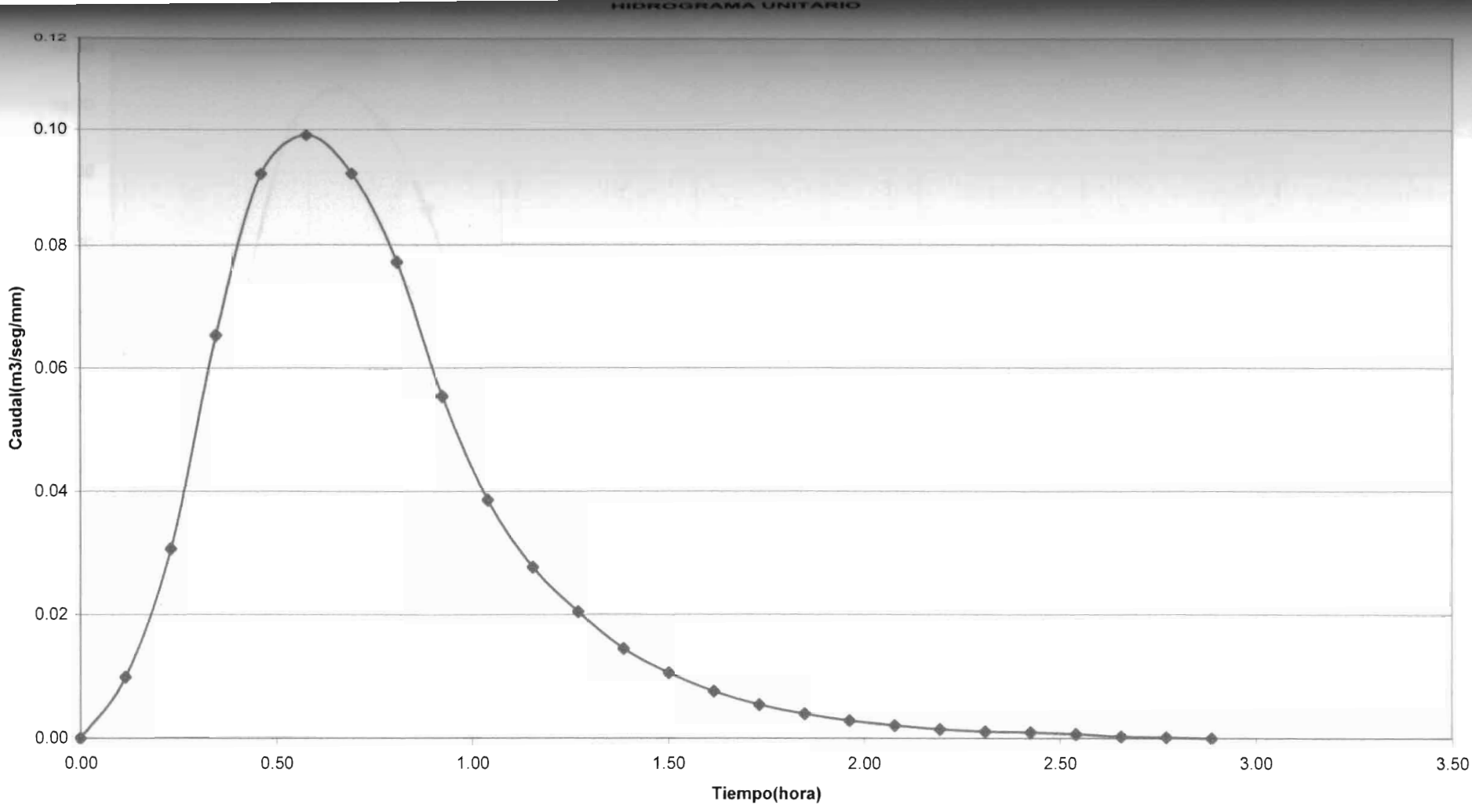
Grafica 3.7a.- Hidrograma unitario de la cuenca #1



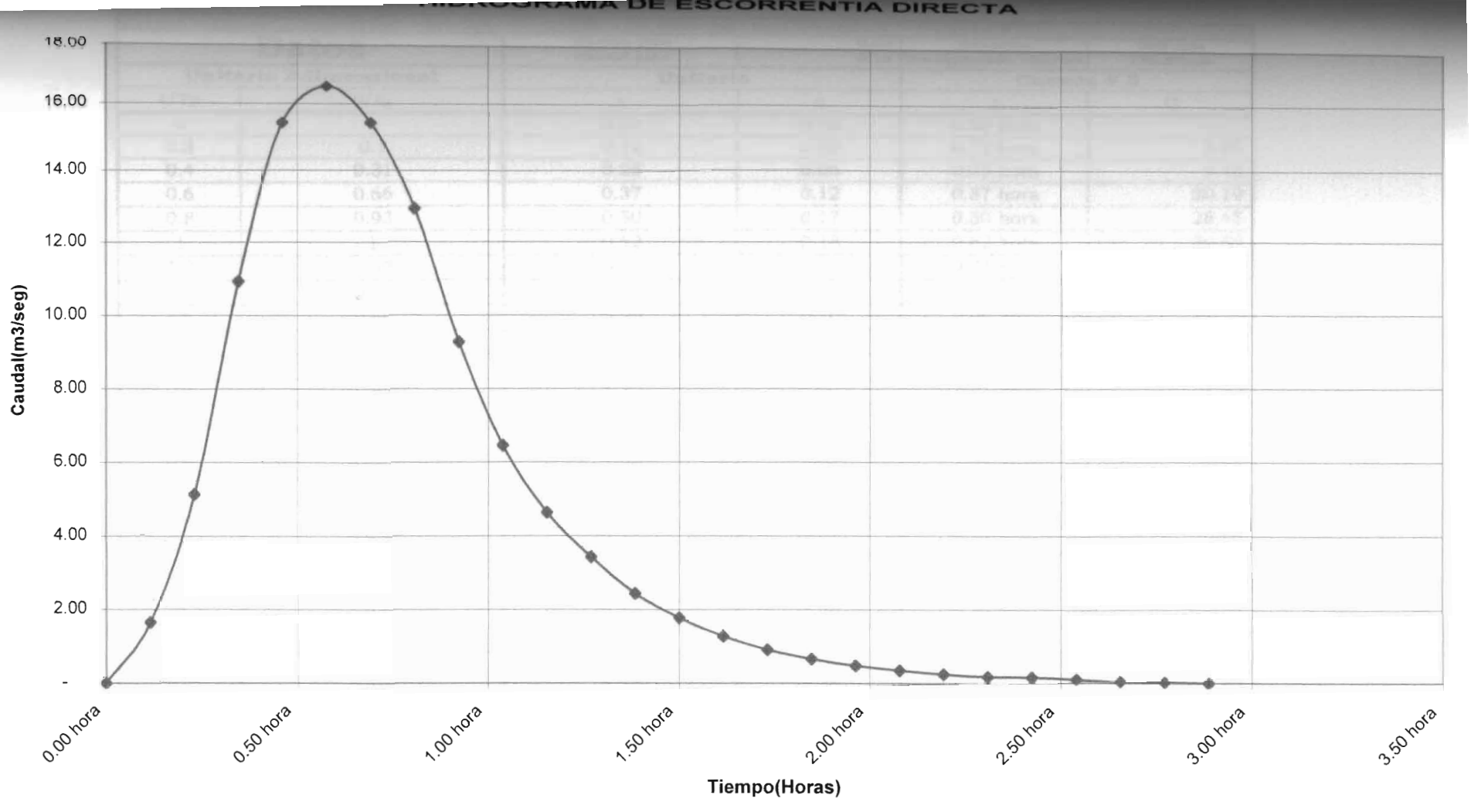
Grafica 3.7 b.- Hidrograma de escorrentía directa de la cuenca #1

Ordenadas del Hidrograma de Escorrentía Directa de la Cuenca # 2					
Datos		Tiempo pico	0.58	Duracion	380 min
		Caudal pico	0.10	Precipitación efectica	167.37mm
Unitario Adimensional		**Unitario**		**Cuenca # 2**	
t/Tp	q/q_p	t	q	t	Q
0	0	0.00	0.00	0.00 hora	-
0.2	0.1	0.12	0.01	0.12 hora	1.66
0.4	0.31	0.23	0.03	0.23 hora	5.14
0.6	0.66	0.35	0.07	0.35 hora	10.93
0.8	0.93	0.46	0.09	0.46 hora	15.41
1	1	0.58	0.10	0.58 hora	16.57
1.2	0.93	0.69	0.09	0.69 hora	15.41
1.4	0.78	0.81	0.08	0.81 hora	12.92
1.6	0.56	0.92	0.06	0.92 hora	9.28
1.8	0.39	1.04	0.04	1.04 hora	6.46
2	0.28	1.16	0.03	1.16 hora	4.64
2.2	0.207	1.27	0.02	1.27 hora	3.43
2.4	0.147	1.39	0.01	1.39 hora	2.44
2.6	0.107	1.50	0.01	1.50 hora	1.77
2.8	0.077	1.62	0.01	1.62 hora	1.28
3	0.055	1.73	0.01	1.73 hora	0.91
3.2	0.04	1.85	0.00	1.85 hora	0.66
3.4	0.029	1.96	0.00	1.96 hora	0.48
3.6	0.021	2.08	0.00	2.08 hora	0.35
3.8	0.015	2.20	0.00	2.20 hora	0.25
4	0.011	2.31	0.00	2.31 hora	0.18
4.2	0.01	2.43	0.00	2.43 hora	0.17
4.4	0.007	2.54	0.00	2.54 hora	0.12
4.6	0.003	2.66	0.00	2.66 hora	0.05
4.8	0.0015	2.77	0.00	2.77 hora	0.02
5	0	2.89	0.00	2.89 hora	-

Tabla 3,12.- Secuencia de cálculo de las ordenadas del hidrograma unitario y del hidrograma de escorrentía directa de la cuenca #2



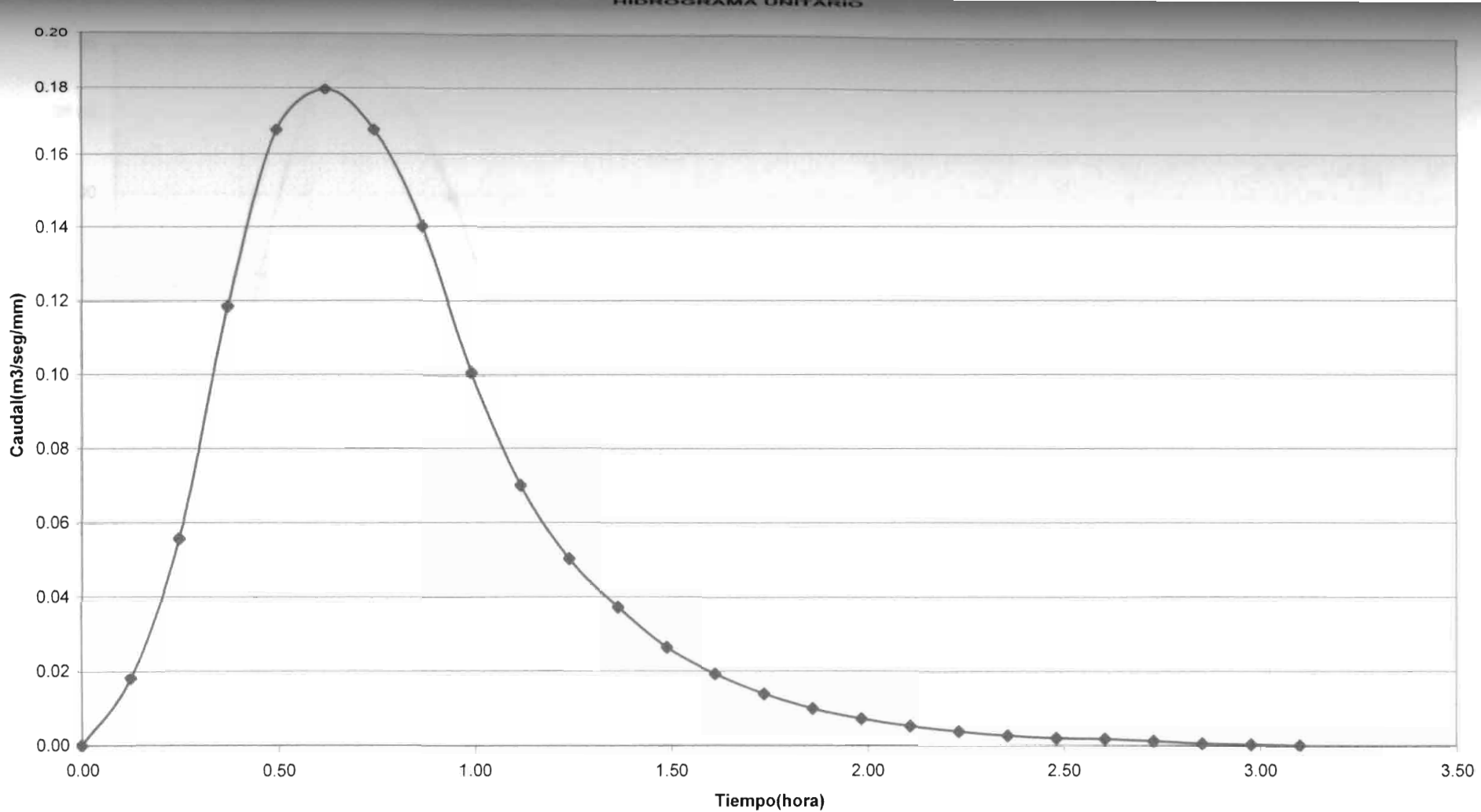
Grafica 3.8 a.- Hidrograma Unitario de la cuenca #2



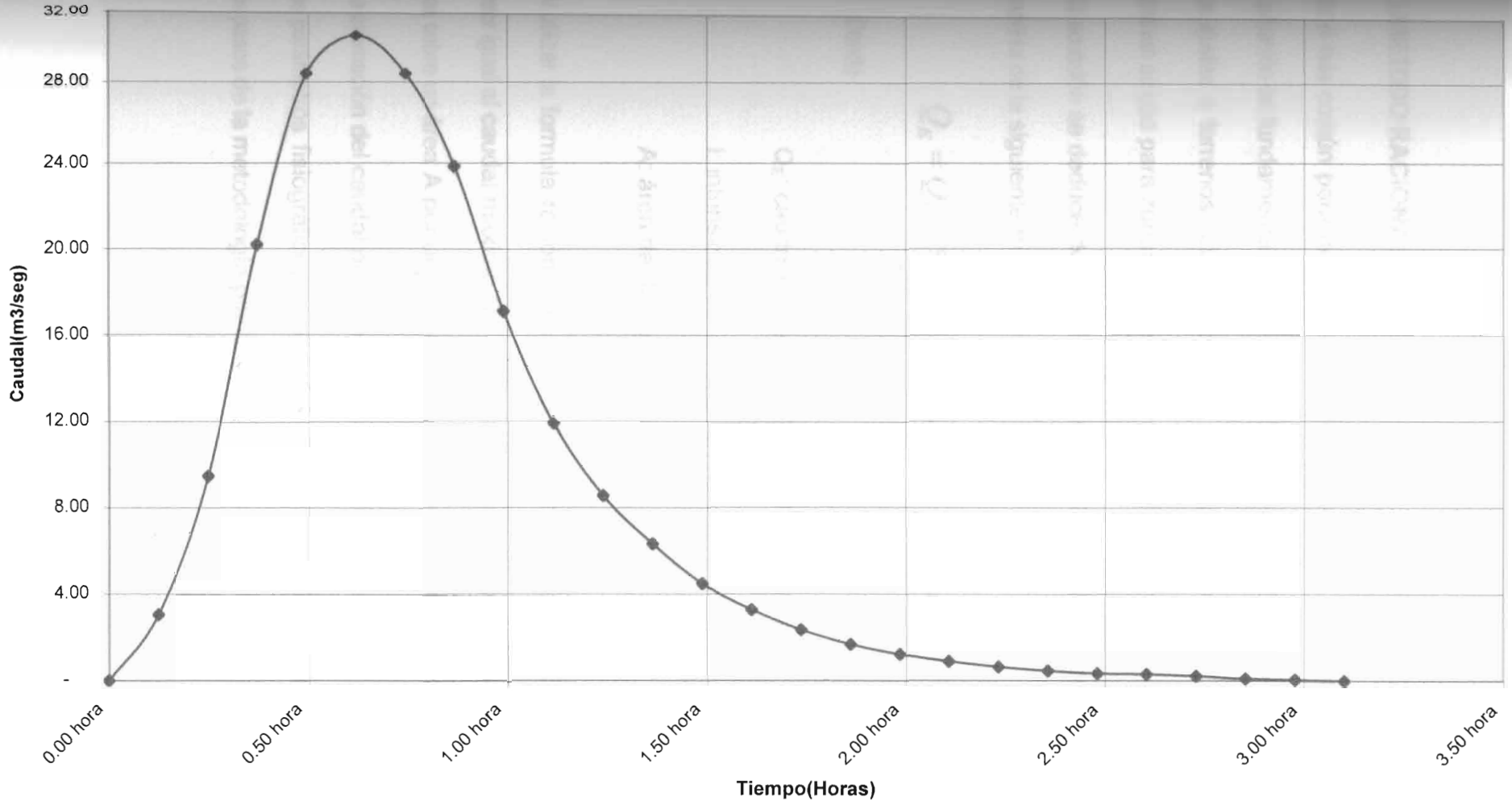
Grafica 3.8 b.- Hidrograma de escorrentía directa de la cuenca #2

Ordenadas del Hidrograma de Escorrentía Directa de la Cuenca # 3					
Datos		**Tiempo pico**	**0.62**	**Duracion**	**380 min**
		Caudal pico	**0.18**	**Precipitación efectica**	**170.37mm**
Unitario Adimensional		**Unitario**		**Cuenca # 3**	
t/Tp	q/q_p	t	q	t	Q
0	0	0.00	0.00	0.00 hora	-
0.2	0.1	0.12	0.02	0.12 hora	3.06
0.4	0.31	0.25	0.06	0.25 hora	9.48
0.6	0.66	0.37	0.12	0.37 hora	20.19
0.8	0.93	0.50	0.17	0.50 hora	28.45
1	1	0.62	0.18	0.62 hora	30.59
1.2	0.93	0.74	0.17	0.74 hora	28.45
1.4	0.78	0.87	0.14	0.87 hora	23.86
1.6	0.56	0.99	0.10	0.99 hora	17.13
1.8	0.39	1.12	0.07	1.12 hora	11.93
2	0.28	1.24	0.05	1.24 hora	8.57
2.2	0.207	1.37	0.04	1.37 hora	6.33
2.4	0.147	1.49	0.03	1.49 hora	4.50
2.6	0.107	1.61	0.02	1.61 hora	3.27
2.8	0.077	1.74	0.01	1.74 hora	2.36
3	0.055	1.86	0.01	1.86 hora	1.68
3.2	0.04	1.99	0.01	1.99 hora	1.22
3.4	0.029	2.11	0.01	2.11 hora	0.89
3.6	0.021	2.23	0.00	2.23 hora	0.64
3.8	0.015	2.36	0.00	2.36 hora	0.46
4	0.011	2.48	0.00	2.48 hora	0.34
4.2	0.01	2.61	0.00	2.61 hora	0.31
4.4	0.007	2.73	0.00	2.73 hora	0.21
4.6	0.003	2.85	0.00	2.85 hora	0.09
4.8	0.0015	2.98	0.00	2.98 hora	0.05
5	0	3.10	0.00	3.10 hora	-

Tabla 3,13.- Secuencia de cálculo de las ordenadas del hidrograma unitario y del hidrograma de escorrentía directa de la cuenca #3



Grafica 3.9 a.- Hidrograma Unitario de la cuenca #3



Grafica 3.9 b.- Hidrograma de escorrentía directa de la cuenca #3

3.3. MÉTODO RACIONAL

Es el más común para determinar el escurrimiento en un área dada. Su aplicación se fundamenta en la suposición de ciertas premisas que mejor se ajustan a terrenos urbanizados sin embargo su sencillez y facilidad motivan su uso para zonas rurales (consultar referencia 4).

Su ecuación se deduce de la definición de coeficiente de escorrentía y se expresa de la siguiente manera:

$$Q_E = Q_P = 0.278 \cdot C \cdot I \cdot A \qquad \text{ec. 3.9}$$

Donde

Q_E: caudal de escorrentía directa, en m^3/seg.

I: intensidad de la lluvia, en mm/hora

A: área de drenaje, en Km^2

Al utilizar la formula racional (ecuación 3.9), se supone que $\mathbf{Q_E}$ toma un valor igual al caudal máximo $\mathbf{Q_P}$, cuando una lluvia con cierta intensidad **I** cae sobre un área **A** por un periodo igual al *Tiempo de Concentración*.

La estimación del caudal pico que produce la cuenca del cerro Colorado y los parámetros fisiográficos necesarios para el mismo se presentan en los pasos de la metodología planteada a continuación.

3.3.1. DESCRIPCIÓN Y APLICACIÓN DEL METODO RACIONAL.

a) TIEMPO DE CONCENTRACION.

Equivale al tiempo que tarda el agua en pasar del punto mas alejado hasta la salida de la cuenca. Naturalmente, el tiempo de concentración t_c depende de la longitud máxima que debe recorrer el agua hasta la salida de la cuenca y la pendiente media del cauce.

Se la puede determinar a través de trazadores o formulas empíricas como la desarrollada por Kirpich.

FÓRMULA DE KIRPICH

Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee, Estados Unidos, con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar t_c por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas.

$$t_c = 0.0078 L^{0.77} S^{-0.385} \qquad \text{ec. 3.10}$$

en donde:

t_c: Tiempo de concentración (minutos)

L: Longitud del cause principal desde la divisoria de la hoya hasta la salida (pies)

S: Pendiente promedio de la corriente principal (pie/pie)

Evaluando la longitud y la pendiente media del cause en la ecuación 3.10 se obtiene el tiempo de concentración de cada cuenca en análisis. (Ver Tabla 3.14)

Tiempo de Concentración			
KIRPICH	CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
HORAS	0,08	0,22	0,27
MINUTOS	4,74	13,37	16,21

Tabla 3.14.- Tiempo de concentración de cada cuenca a través de la formula de *Kirpich*

b) INTENSIDAD DE LA LLUVIA EN UN PERIODO IGUAL AL TIEMPO DE CONTENTRACION.

El cálculo de la intensidad considera el pre escogimiento de la magnitud de la lluvia y su período de retorno. Su determinación se realiza a través del análisis estadístico del evento o mediante un modelo matemático.

Para la estimación de la intensidad de lluvia en las cuencas del cerro Colorado se escogió la ecuación de lluvia desarrollada por el Instituto de Investigación de la

Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica, IIFIUC porque su cálculo contemplo el procesamiento de un mayor registro pluviográfico (1951-1998) y los valores de intensidad difieren con los proporcionados por las ecuaciones de EMAG en un máximo del 6%. Su modelo se muestra en la ecuación 3.11

$$I = a * Ln(Tc) + b \qquad \text{ec. 3.11}$$

Los coeficientes a y b de la ecuación de lluvia varían según el periodo de retorno. En la tabla 3.15 se muestra los valores de a y b para los periodos más comunes.

Coeficientes de la Ecuación de lluvia		
Tiempo (años)	Coeficientes	
	a	B
2	-20,37	123,38
3	-22,21	135,70
5	-27,12	169,16
10	-31,71	199,41
25	-37,51	237,62
50	-41,81	265,97
100	-46,09	294,16

Tabla 3.15.- Coeficiente a y b para diferente período de retorno

Conociendo los coeficientes a y b de la ecuación de lluvia y el tiempo de concentración [T_c] se evalúa la ecuación 3.11 para obtener la intensidad de lluvia en cada cuenca (Véase tabla 3.16)

Intensidad de Lluvia para diferente periodo de retorno				
Ecuación de lluvia	Periodo de Retorno	Intensidad de la Lluvia		
		CUENCA #1	CUENCA #2	CUENCA #3
$I = a * Ln(Tc) + b$	2	91,68	70,57	66,64
	3	101,13	78,11	73,82
	5	126,95	98,85	93,62
	10	150,06	117,20	111,08
	25	179,24	140,36	133,13
	50	200,89	157,55	149,49
	100	222,42	174,65	165,76

Tabla 3.16.- Intensidad de lluvia para diferente periodo de retorno

c) COEFICIENTE DE ESCORRENTIA.

El coeficiente c es una medida de la proporción de la lluvia que se convierte en escorrentía. En un techo de metal casi toda la lluvia se convertirá en escorrentía, de manera que c será casi 1.0, mientras que un suelo arenoso bien drenado, donde las nueve décimas partes de la lluvia penetran en la tierra, el valor de c sería de 0,1.

Es habitual encontrarse con diferentes tipos de área de drenaje dentro de una cuenca en estudio, por lo tanto es necesario establecer un C_{medio} que caracterice a todo el sector en general. A continuación se presenta una secuencia de cálculo para obtener el coeficiente de escorrentía medio.

El primer paso es establecer el porcentaje de área correspondiente al tipo de cobertura que posee el suelo. En la tabla 3.17 denominada Uso de Suelo se presenta los porcentajes de área y la respectiva cobertura vegetal de cada cuenca.

Uso del Suelo			
Cobertura vegetal	**Porcentaje del área con este tipo de cobertura vegetal**		
	CUENCA # 1	**CUENCA # 2**	**CUENCA # 3**
Sin vegetación	39,63%	73,71%	79,73%
	4,4241 Has	20,2644 Has	42,7075 Has
Bosque - Densa Vegetación	60,37%	26,29%	20,27%
	6,7394 Has	7,2264 Has	10,8546 Has
Total	11,1630 Has	27,4909 Has	53,5623 Has

Tabla 3.17.- Porcentaje y el área con el tipo de cobertura para el uso de suelo

El segundo paso es seleccionar idóneamente el coeficiente de escorrentía c de la tabla 3 del apéndice C, considerando el tipo de suelo y la cobertura vegetal. En la tabla 3.18 se muestra los coeficientes de escorrentía seleccionado para el suelo característico del cerro Colorado y su pendiente promedio.

Coeficiente de Escorrentía Parcial			
Cobertura vegetal	**Tipo de suelo**	**Pendiente del Terreno**	
		Media(20-5)%	**Suave(5-1)%**
Sin vegetación	Semipermeable	0,6	0,55
Bosque-Densa vegetación	Semipermeable	0,35	0,3

Tabla 3.18.- Coeficiente de escorrentía parcial de acuerdo a la pendiente del terreno, cobertura vegetal y tipo de suelo

El último paso es determinar el C_{medio} de cada cuenca a través del producto del porcentaje de área y su respectivo coeficiente de escorrentía, como se muestra en la siguiente expresión:

$$C_{medio} = C_1 \times A_1 + C_2 \times A_2 + C_3 \times A_3 + ... + C_i \times A_i ; i = 1,2,3,...$$

En la tabla 3.19 se muestra el coeficiente de escorrentía promedio de cada cuenca, obtenido al combinar los diferentes factores con la proporción de área que le corresponde.

Coeficiente de Escorrentía medio			
Descripción	**CUENCA # 1**	**CUENCA # 2**	**CUENCA # 3**
Estimación	0,45	0,48	0,5
Pendiente del Terreno	Media(20-5)%	Suave(5-1)%	Suave(5-1)%

Tabla 3.19.- Coeficiente de escorrentía para las micro-cuencas

d) APLICACIÓN DE LA FORMULA BÁSICA.

Una vez conocido cada uno de los parámetros de la formula racional, el proceso se finiquita evaluando su ecuación. En la tabla 3.20 se muestra el caudal pico de cada cuenca expresado en litros por segundo. Este caudal fue calculado con un período de retorno de 10 años por ser el tiempo aproximado en que la lluvia registrada el 13 de diciembre se vuelve a presentar.

Caudal de aportaciones de las cuencas en estudio					
Ecuación	Cuenca	Área	Coef. de escorrentía	Intensidad de la Lluvia	Q[lps] Pend. Media
2.78 * C * I * A	#1	11.16	0,61	150,06	2838,04
	#2	27.49	0,61	117,2	5468,64
	#3	53.56	0,62	111,08	10248,37

Tabla 3.20.- Caudal aportado por las cuencas con un periodo de retorno de 10 años

3.4. MÉTODO DE CHOW

Este método se aplica a cuencas no urbanas con un área menor de 25 km^2 y ayuda a obtener el caudal pico de hidrogramas de diseños de alcantarillas y otras estructuras de drenaje pequeñas. El cálculo del gasto pico es sencillo y su ecuación relaciona el gasto pico de un hidrograma unitario con la altura de precipitación efectiva.

$$Q_P = P_e \times q_p \qquad \text{ec. 3.12}$$

A continuación se presenta de manera simplificada el proceso de cálculo del caudal pico.

La aplicación de este método requiere que los datos de precipitación estén expresados en forma de curvas IDT o de una ecuación de lluvia, de tal manera que se escoja la intensidad y la duración para un tiempo de retorno adecuado a la lluvia registrada el 13 de diciembre de 1997 por la estación meteorológica Radio Sonda. En la tabla 3.21 se muestra los coeficientes para obtener la intensidad de lluvia en un

período de recurrencia de 9 años, tiempo en que se registra una lluvia de 185.50 mm de altura de precipitación.

$$i = a \times \ln\left(t_c\right) + b$$

Intensidad de Lluvia-Periodo de Retorno 9 Años				
Coeficientes		Intensidad-mm/hora		
a	b	Cuenca #1	Cuenca #2	Cuenca #3
-31.707	199.41	150.06	117.20	111.08

Tabla 3.21.- Intensidad de lluvia en mm/hora

En la tabla 3.22 consta la duración efectiva de la lluvia dada en minutos y en horas. Este tiempo fue calculado a través de la expresión $d = P/i$ donde la precipitación P es igual a 185.50 mm de lluvia registrada el 13 de diciembre de 1997 y la intensidad esta dada por los valores presentados en tabla anterior.

Duración de la lluvia		
Cuenca	Duración Efectiva-d_e	
	Minutos	Horas
1	74.19	1.24
2	95.00	1.58
3	100.00	1.67

Tabla 3.22- Duración de la lluvia de 185.55 mm

Conociendo las características de la cuenca y su correspondiente número de curva, se determina la precipitación que produce escorrentía a partir de la ecuación 3.13. Los valores de CN y de precipitación efectiva se muestran en la tabla 3.23

$$Pe = \frac{\left(P - \frac{508}{CN} + 5.08\right)^2}{P + \frac{2032}{CN} - 20.32} \qquad \text{ec. 3.13}$$

Siendo;

P_e: Precipitación efectiva, en mm.

P: Precipitación total, en mm.

CN: Número de escurrimiento, adimensional

Precipitación Efectiva-P_e		
Cuenca	Número de Curva	Precipitación Efectiva
#1	90	155.51
#2	94	167.43
#3	95	170.01

Tabla 3.23.- Precipitación que produce escorrentía según Chow

Chow estableció un factor de reducción de picos Z que relaciona al tiempo t_r que se cumple desde el centro de masa de precipitación al pico del hidrograma y la duración efectiva. Los valores de Z se muestran en la figura 3.10, cuya función esta expresada a través de la curva obtenida del análisis de 60 hidrogramas en 20 cuencas pequeñas de (0.01 a 20 km^2) del medio oeste estadounidense.

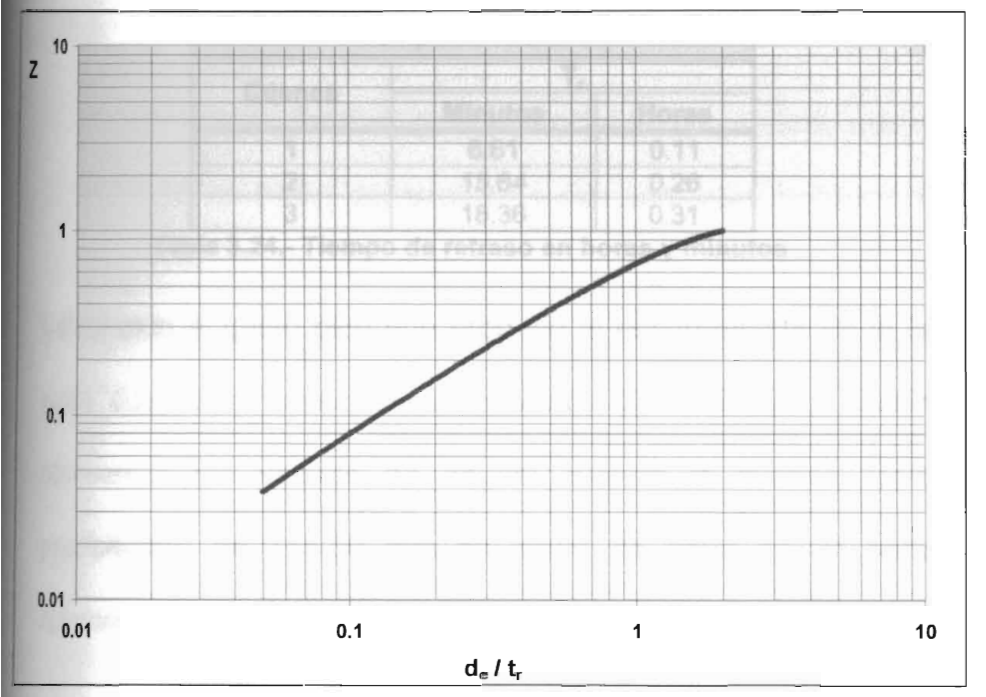


Figura 3.10.- Factor de reducción en función del tiempo de retraso y la duración en exceso

Chow presentó una expresión para el cálculo del tiempo de retraso, la misma que se cita a continuación

$$t_r = 0.005\left[\frac{L}{\sqrt{S}}\right]^{0.64} \qquad \text{ec. 3.14}$$

Siendo;

t_r: Tiempo de retraso, en horas.

L: Longitud del cauce principal, en metros

S: Pendiente del cauce principal, en %

Reemplazando y evaluando en la ecuación 3.14, se obtiene el tiempo que transcurre del centro de masa de la precipitación al pico del hidrograma de cada cuenca, cuyos valores se encuentran en la tabla 3.24.

Tiempo de Retraso		
Cuenca	T_r	
	Minutos	Horas
1	6.61	0.11
2	15.64	0.26
3	18.36	0.31

Tabla 3.24.- Tiempo de retraso en horas y minutos

Calculando el gasto pico que produce el escurrimiento de la lluvia en cada cuenca a través de la ecuación 3.15 citada a continuación obtenemos los valores de caudal cuando la cuenca recibe una precipitación de 185.50 mm de altura de agua en un periodo de retorno de 9 años aproximadamente.

$$Q_P = \frac{0.278PeAc}{de}Z \qquad \text{ec. 3.15}$$

Siendo;

Q_p: Caudal o gasto pico, en m^3/seg.

P_e: Precipitación efectiva, en mm.

d_e: Duración en exceso, en minutos.

A_c: Área de la cuenca, en km^2.

Z: *Factor de reducción pico, adimensional.*

En la tabla 3.25, se resume los valores de caudal correspondiente a cada cuenca

Caudal Pico	
Cuenca	Q_p. [m^3/seg]
1	3.90
2	8.08
3	15.19

Tabla 3.25.- Caudal escurrido de cada cuenca

3.5. CAUDALES DE AGUAS RESIDUALES

El área de estudio tiene un gran potencial de crecimiento urbanístico y actualmente se están desarrollando dos conjuntos habitacionales, la Ciudadela del Magisterio y Urbanización Metrópolis, cuya descarga de aguas residuales previamente tratadas es de 12,21 l/seg. que corresponde a 0.01 m^3/seg. (Tabla 3.26)

Estimación de caudal en áreas de proyección urbanística

En la cuenca #1 y #3 donde se ubica el campamento de la compañía constructora de la autopista y la cantera de materiales respectivamente, se ha reconformado el suelo con el propósito de crear proyectos habitacionales. Considerando esta área y el caudal que aporta las ciudadelas se tiene la cantidad de aguas residuales que se necesita evacuar.

Caudal de Aguas Residuales					
Descripción	Área	Densidad poblacional	Dotación	Caudal	
	Has	hab./has	l/hab./día	L/seg.	m^3/seg.
Ciudadela del Magisterio	12,91	170	200	8,13	0,01
Urbanización Metrópolis	7,35	150	200	4,08	0,00
Zona baja-Cuenca #1	4,49	160	200	2,66	0,00
Zona baja-Cuenca #3	42,73	160	200	25,32	0,03
Total				**40,19**	**0,04**

Tabla 3.26.- Caudal de aguas residuales con un coeficiente de retorno del 80%

3.6. SELECCIÓN DEL CAUDAL DE DISEÑO

Después de haber efectuado las metodologías para cuantificar el escurrimiento de una tormenta de diseño se procede a la selección de los caudales haciendo uso de criterios ingeneriles en la comparación de los resultados.

La selección obedeció de la semejanza de los valores, de la realidad, y del proceso usado para obtenerlos. Se dio mayor valor al procedimiento que contempló la mayor parte de la información obtenida en campo y se desestimó el caudal de aguas residuales.

Enfocándose en estos puntos, en la tabla 3.27 se resume los caudales obtenidos con las metodologías antes expuestas y los seleccionados, además se muestra el área y el caudal unitario de cada cuenca.

Resumen de Caudales [m^3/seg.]				
Métodos		**Cuenca #1**	**Cuenca #2**	**Cuenca #3**
Hidrograma Sintético SCS		10,64	16,57	30,59
Racional		2,84	5,47	10,25
Ven Te Chow		3,90	8,08	15,19
Área de la cuenca [km^2]		0,11	0,27	0,54
Caudal seleccionado		3,90	8,08	15,19
Caudal unitario	m^3/seg./km^2	34,96	29,40	28,36
	lt/seg./m^2	349,62	293,97	283,57

Tabla 3.27.- Resumen de caudales.- caudal seleccionado y caudal unitario

CAPITULO 4

4. ESTUDIO DE LAS ALCANTARILLAS EXISTENTE EN LA AUTOPISTA.

Las alcantarillas de drenaje son estructuras hidráulicas que sirven para desalojar el agua producida por el escurrimiento de la lluvia en una planicie cuando su flujo es interrumpido por algún terraplén. Su capacidad depende de la altura de agua a la entrada y a la salida, del caudal que aporta cada área y de las condiciones de entrada.

El propósito de este capítulo, es determinar la capacidad de descarga y el tipo de flujo que se presenta en cada alcantarilla. Para su efecto se utiliza

ábacos y tablas que simplifican el proceso de cálculo, además se aplican ciertas metodologías para conocer el perfil del flujo dentro del barril.

4.1. Determinación del caudal para cada alcantarilla

El caudal de diseño se obtuvo multiplicando el área de influencia (en porcentaje) y el caudal de la cuenca a la que corresponde la alcantarilla. En la tabla 4.1 se presenta este cálculo junto con el caudal de descarga de cada alcantarilla, mientras que la figura 4.1 muestra la distribución y el área tributaria de cada una.

Distribución del Caudal en la Cuenca					
CUENCA #1	3,90 m3/seg.	100,00%	00+820	3,90 m3/seg.	7,24m3/seg.
CUENCA #2	8,08 m3/seg.	41,39%		3,34 m3/seg.	
CUENCA #2	8,08 m3/seg.	58,61%	01+420	4,74 m3/seg.	8,46m3/seg.
CUENCA #3	15,19 m3/seg.	24,54%		3,73 m3/seg.	
CUENCA #3	15,19 m3/seg.	20,35%	01+700	3,09 m3/seg.	3,09 m3/seg.
CUENCA #3	15,19 m3/seg.	17,48%	01+960	2,66 m3/seg.	2,66 m3/seg.
CUENCA #3	15,19 m3/seg.	37,63%	02+150	5,72 m3/seg.	5,72 m3/seg.

Tabla 4.1.- Área de Aportación.-Consta el caudal pico y la alcantarilla de las cuencas

4.2. Altura de agua a la entrada (Hw)

Dentro del diseño de alcantarillas existen ciertas condiciones preponderantes. Las características básicas del flujo y la geometría de los canales tanto aguas arriba como aguas abajo, da un mejor discernimiento para la selección y el dimensionamiento de la

alcantarilla, mientras que la altura del agua a la entrada limita la capacidad del ducto.

En este análisis se han definido dos valores de cabeza de agua a la entrada con el fin de conocer la descarga inicial y máxima de cada alcantarilla cuando se presente la precipitación de diseño. El primer valor es la altura de la creciente aguas arriba y el segundo es la altura del muro de contrafuerte.

La altura de la creciente aguas arriba será determinada mediante una prueba de ensayo y error, la cual consiste en calcular el factor derecho de la ecuación 4.1 a partir de los datos mencionados en la tabla 4.2.

$$ARh^{2/3} = \frac{nQ}{\phi\sqrt{S}} \qquad \text{Ec. (4.1)}$$

Luego se asume un valor [y] y se calcula el factor de sección, se realiza varios tanteos hasta que el valor calculado de $ARh^{2/3}$ sea similar a $nQ/\phi\sqrt{S}$, este valor [y] que satisface la igualdad (4.1) se lo conocerá como tirante normal.

En la tabla 4.2 se muestra las características y la geometría del canal natural a donde el agua escurre de manera laminar. También se exponen las vistas en planta y frontal de la bocatoma y el difusor de cada alcantarilla, además se presenta la longitud, pendiente y posición de los tubos instalados. La geometría junto con las medidas del canal y la bocatoma de cada alcantarilla se expone a mayor escala en el plano 4 adjunto a este análisis.

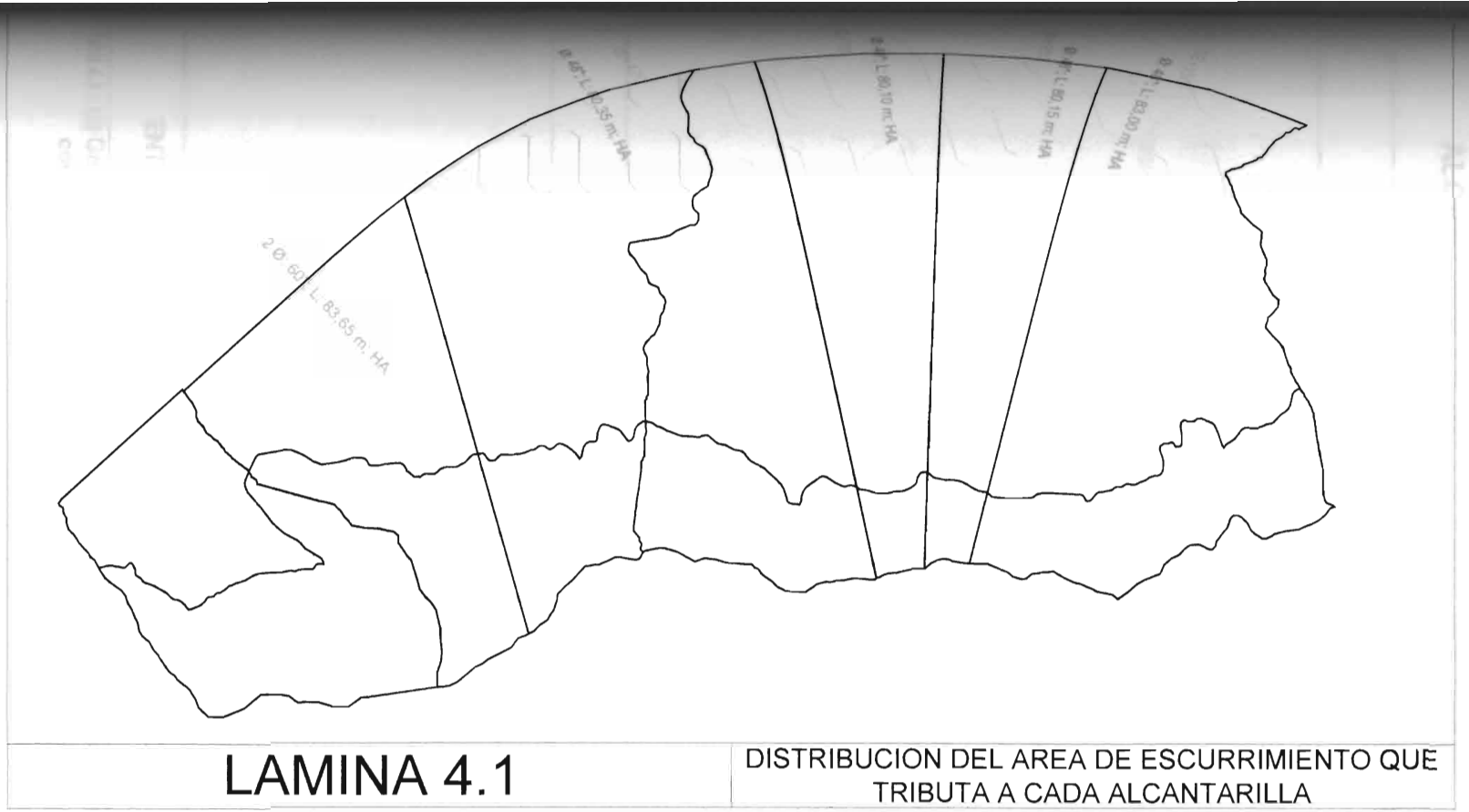


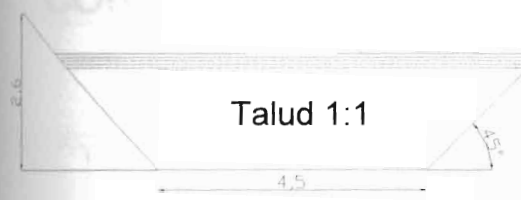
Figura 4.1.- Distribución del área de escurrimiento que tributa a cada alcantarilla

ALCANTARILLA EN LA ABSCISA 0+820

CARACTERIZACION DEL CANAL NATURAL

CANAL NATURAL

CORTE B-B´



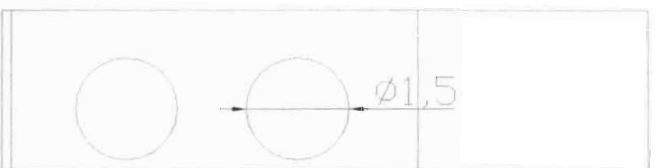
Coef. de rugosidad:
Excavado con pala - con arbustos
Secc. transversal:
Variante CORTE BB´ - CORTE CC´

CORTE C-C´

Pendiente: 0.0038

SECCION TRANVERSAL DE ALCANTARILLA

ENTRADA



Longitud: 83,65 m
Pendiente: 0.02

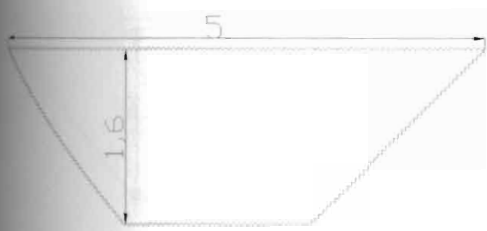
ENTRADA: ALCANTARILLAS DE ARISTAS CUADRADAS

Tabla 4.2.- (a) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 0+820

ALCANTARILLA EN LA ABSCISA 1+420

CARACTERIZACION DEL CANAL NATURAL

CORTE B-B´

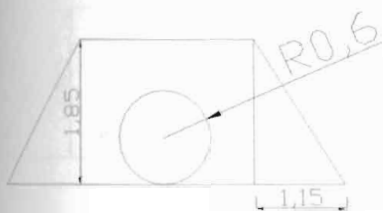


Coef. de rugosidad:
Canales sin mantenimiento - arbustos sin cortar tan altos como el flujo
Pendiente: 0.014
Talud 1:1
Base: 1.8 m

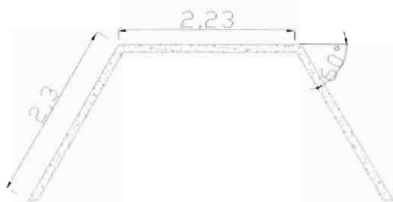
SECCION TRANVERSAL DE ALCANTARILLA

BOCATOMA

FRONTAL



PLANTA



Longitud: 80,35 m
Pendiente: 0.006

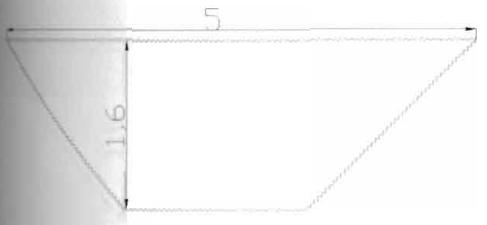
ENTRADA: MUROS DE ALAS – ALCANTARILLAS DE ARISTAS CUADRADAS

Tabla 4.2.- (b) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 1+420

ALCANTARILLA EN LA ABSCISA 1+700

CARACTERIZACION DEL CANAL NATURAL

CORTE B-B´

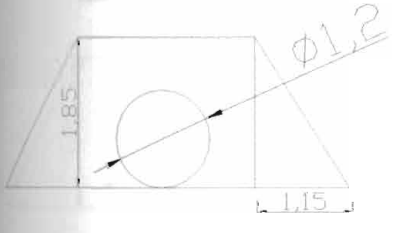


Coef. de rugosidad:
Canales sin mantenimiento - pastos y arbustos sin cortar - fondo limpio, arbustos en los lados
Pendiente: 0.004
Talud 1:1
Base: 1.8 m

SECCION TRANVERSAL DE ALCANTARILLA

BOCATOMA

FRONTAL



PLANTA

Longitud: 80,10 m
Pendiente: 0.009

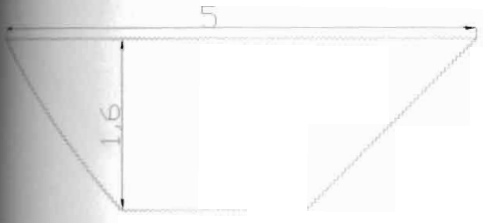
ENTRADA: MUROS DE ALAS – ALCANTARILLAS DE ARISTAS CUADRADAS

Tabla 4.2.- (c) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 1+700

ALCANTARILLA EN LA ABSCISA 1+960

CARACTERIZACION DEL CANAL NATURAL

CORTE B-B´

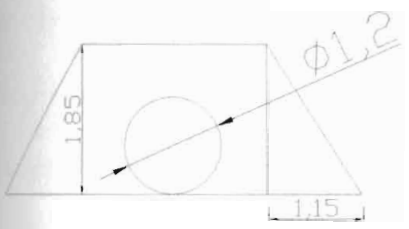


Coef. de rugosidad:
Canales sin mantenimiento - *pastos y arbustos sin cortar* - fondo limpio, arbustos en los lados
Pendiente: 0.026
Talud 1:1
Base: 1.8 m

SECCION TRANVERSAL DE ALCANTARILLA

BOCATOMA

FRONTAL



PLANTA

Longitud: 80,15 m
Pendiente: 0.001

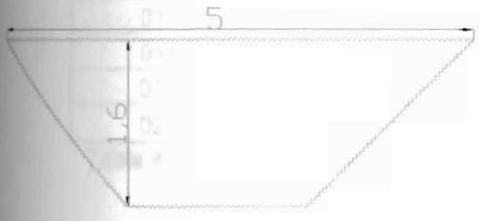
ENTRADA: MUROS DE ALAS – ALCANTARILLAS DE ARISTAS CUADRADAS

Tabla 4.2.- (d) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 1+960

ALCANTARILLA EN LA ABSCISA 2+150

CARACTERIZACION DEL CANAL NATURAL

CORTE B-B´

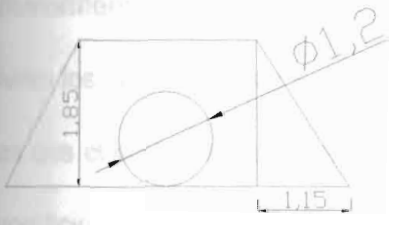


Coef. de rugosidad:
Canales sin mantenimiento - pastos y arbustos sin cortar - fondo limpio, arbustos en los lados
Pendiente: 0.027
Talud 1:1
Base: 1.8 m

SECCION TRANVERSAL DE ALCANTARILLA

BOCATOMA

FRONTAL



PLANTA

Longitud: 83.00 m
Pendiente: 0.001

ENTRADA: MUROS DE ALAS – ALCANTARILLAS DE ARISTAS CUADRADAS

Tabla 4.2.- (e) Geometría de la sección transversal y longitudinal del canal natural; condiciones de entrada a la alcantarilla abscisa 2+150

De acuerdo a los datos expuestos en las tablas y evaluando las ecuaciones descritas en el proceso para el cálculo aproximado del tirante normal del canal natural, se obtuvo los siguientes resultados.

Altura de agua a la entrada (H_w)		
Alcantarilla	**Tirante Normal Canal Natural (m)**	**Altura del muro protector (m)**
00+820	1,16	2,34
01+420	1,73	1,85
01+700	1,11	1,85
01+960	1,15	1,85
02+150	1,69	1,85

Tabla 4.3.- Altura del cauce, aguas arriba de la alcantarilla

4.3. Flujo en alcantarillas

Las alcantarillas se diseñan para que operen a superficie libre y en condiciones críticas dependiendo de los patrones denotados anteriormente. Haciendo uso de estos patrones de flujo, Hee (1969) dividió los tipos de flujo en dos clases con cuatro categorías cada una. Las dos clases las denomino flujo con entrada sumergida y entrada a superficie libre y estableció una relación que permite definir si la entrada de la alcantarilla está o no sumergida. Dicha relación se denota a continuación:

$$H_1 - z_{ent} \leq 1.2D$$

Siendo,

H_1: Energía total a la entrada

z: Nivel del lecho a la entrada

D: Altura del barril

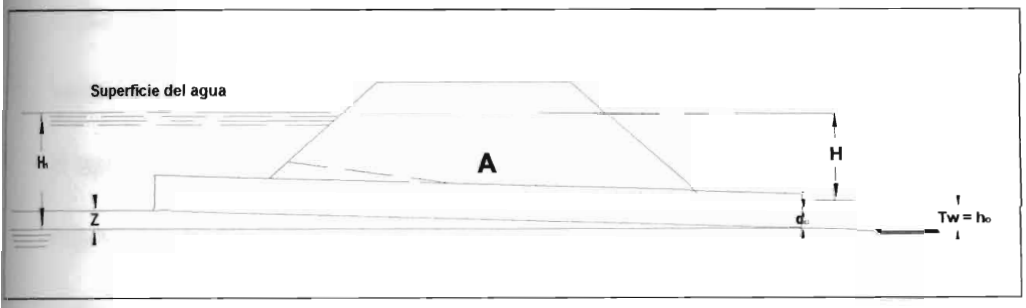


Figura 4.2.- Alcantarilla estándar- Flujo a superficie libre

En el artículo anterior se definió dos alturas de agua a la entrada, la primera se obtuvo del tirante normal del canal natural que en la mayoría de los casos es menor a 1.2 D y por tanto el flujo a la entrada es a superficie libre, mientras que en otras el nivel del agua supera a la corona del barril en mas del 20% de su diámetro es decir es mayor a 1.2D lo que correspondería a una entrada sumergida.

El funcionamiento de la alcantarilla depende de la altura de la superficie del agua dentro del barril también conocido como tirante normal. Mediante este valor se puede establecer si la alcantarilla trabaja o no a presión.

La valoración del tirante y la pendiente crítica cuando el flujo dentro del barril no es a presión, ayuda a seleccionar el régimen del agua dentro

de la alcantarilla entre subcrítico o supercrítico y ha establecer una posible ubicación de la sección de control.

Tanto el tirante normal como el crítico pueden ser determinados a través de ábacos o cálculos, el primero se lo obtuvo determinando el factor de sección dividido para el diámetro de la alcantarilla, luego este valor se lo llevó a la grafica para el cálculo del tirante normal adjuntado al apéndice 4-1. La profundidad crítica fue determinada a través de la expresión (4.2) y corroborada a través de los ábacos publicados en el compendio #3 de la Transportation Research Board National Academy of Sciences que trata sobre las estructuras de drenaje incluido en el apéndice correspondiente a este capítulo.

$$Tirante_crítico = D\left(\frac{0.339 \times D}{D^{2.5}}\right)^{0.517} \qquad \text{Ec. (4.2)}$$

Los valores de tirante normal y crítico se los encuentran en la tabla 4.4, la misma que se presenta a continuación.

Tirante Normal y Crítico				
Alcantarilla	Diámetro (m)	Caudal (m^3/seg.)	Tirante Normal (m)	Tirante Critico (m)
0+820	1,5	3,62	0,45	0,99
1+420	1,2	8,463	No definido	No definido
1+700	1,2	3,091	0,8	0,97
1+960	1,2	2,655	No definido	0,90
2+150	1,2	5,716	No definido	No definido

Tabla 4.4- Profundidad normal y crítica en el barril

Nota: Las profundidades normal y critica donde se cita la frase "no definido", se debe a que el diámetro de la alcantarilla es insuficiente y en cuyo caso los datos ingresados no se ajustan a la curva correspondiente, sin embargo esta razón no justifica la incapacidad de descarga de una alcantarilla.

Luego del cálculo de la profundidad crítica se determinó la pendiente y el tipo de flujo que se presenta dentro del barril evaluando la ecuación 4.3, donde $Rh^{2/3}$ se calcula a partir de la altura de agua para régimen crítico.

$$Pendiente - crítica = \left(\frac{n * Q}{a * Rh^{2/3}} \right)^2 \qquad \text{Ec. (4.3)}$$

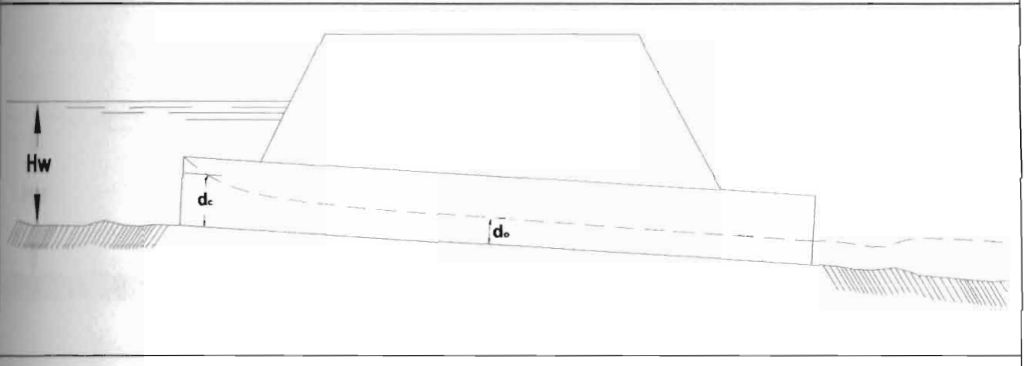
Los resultados del cálculo de la pendiente normal [S_o] y crítica [S_c] de cada alcantarilla y el tipo de flujo se muestran en la tabla 4.5.

Pendiente de Batea y Critica del Barril			
Alcantarilla	**S_c**	**S_o**	**Tipo de flujo**
0+820	0,009	0,020	Flujo supercrítico
1+420	-	0,006	Flujo a presión
1+700	0,009	0,009	Flujo supercrítico
1+960	0,025	0,001	Flujo Subcrítico
2+150	-	0,009	Flujo a presión

Tabla 4.5- Pendiente normal - crítica y tipo de flujo

De acuerdo a las características del caudal en alcantarillas modelos se pudo seleccionar el patrón de flujo al que se asemeja la operación de las alcantarillas instaladas en la Autopista. Estos patrones de flujo junto con sus características se detallan a continuación:

Alcantarilla - 0+820



$H_1 - z < 1.2D$ – Entrada de superficie libre

Profundidad de equilibrio uniforme o tirante normal < Profundidad crítica

Pendiente de batea de barril > Pendiente crítica de barril

Altura de agua de escape < Altura del barril

Control a la entrada

Figura 4.3 (a).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 0+820

Alcantarilla – 1+420

$H_1 - z > 1.2D$ – Entrada sumergida

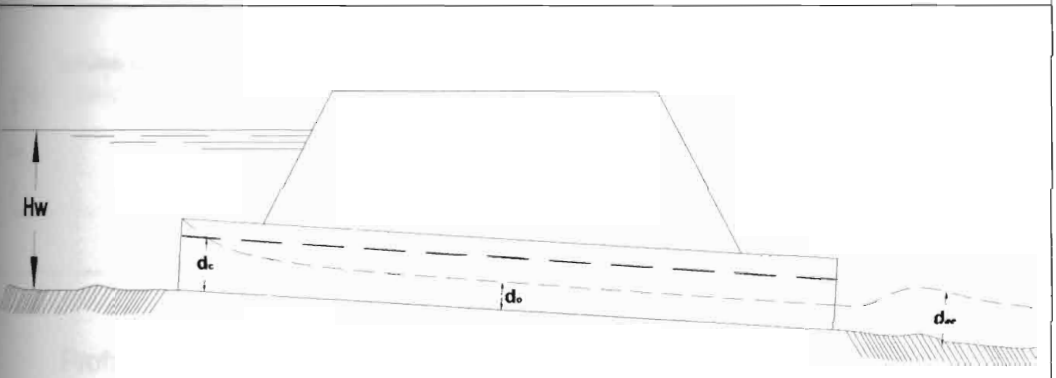
Profundidad de equilibrio uniforme > Altura del barril

Altura de agua de escape < Altura del barril

Control a la salida

Figura 4.3 (b).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 1+420

Alcantarilla - 1+700



H_1 - z > 1.2D – Entrada sumergida

Profundidad de equilibrio uniforme o tirante normal < Profundidad crítica

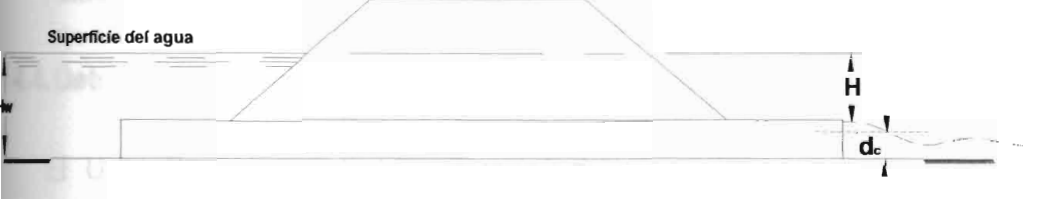
Pendiente de batea de barril > Pendiente crítica de barril

Profundidad uniforme < Altura de agua de escape < Altura del barril

Control a la entrada

Figura 4.3 (c).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la *abscisa 1+700*

Alcantarilla - 1+960



H_1 - z > 1.2D – Entrada sumergida

Profundidad de equilibrio uniforme o tirante normal no definida

Pendiente de batea de barril < Pendiente crítica de barril

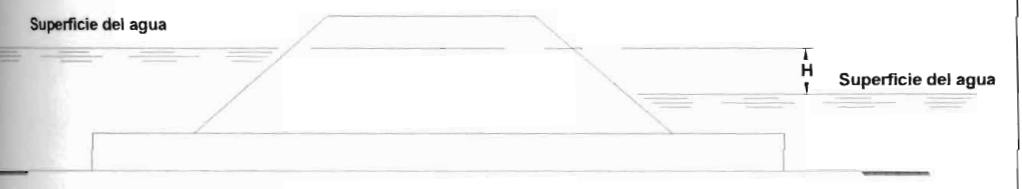
Altura de agua de escape < Altura del barril

Flujo lleno a la salida

Control a la salida

igura 4.3 (d).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la abscisa 1+960

Alcantarilla – 2+150



H_1 - z > 1.2D – Entrada sumergida

Profundidad de equilibrio uniforme o tirante normal no definida

Altura de agua de escape > Altura del barril

Salida Ahogada

Control a la salida

gura 4.3 (e).- Alcantarilla estándar.- Patrón y características básicas del flujo en la *abscisa 2+150*

Para determinar la capacidad de la alcantarilla, se evaluó los dos valores de energía total aguas arriba (Hw) con control a la entrada y a la salida en los nomogramas publicados por la U.S. Bureau of Public Road.

.4. Determinación de la capacidad de la alcantarilla

El U.S. Bureau of Public Road publicó varios nomogramas que permiten calcular la energía total aguas arriba cuando el flujo es con control a la entrada (La altura inicial en el barril es cercana a la altura crítica) y cuando es con control a la salida (La altura a la salida del barril es cercana a la altura crítica).

La selección de los ábacos depende de dos características básicas:

- Tipo de Alcantarilla
    - Circular
    - Cajón
    - Oval
- Material de Alcantarilla
    - Concreto; n = 0.012
    - Metal corrugado.

Para el uso de estos nomogramas es necesario conocer inicialmente ciertos datos, los cuales se enumeran a continuación

- Caudal de descarga
- Longitud de alcantarilla
- Pendiente de alcantarilla
- Forma de entrada y tipo de estructura(perdidas a la entrada)
- Altura de agua a la entrada y a la salida.

El uso de los nomogramas consiste en seleccionar la mayor altura de agua a la entrada (Hw) cuando el control es a la entrada o cuando es el control a la salida. Esta altura de agua es la energía total aguas

arriba necesaria para que la alcantarilla desaloje cierto caudal Q bajo ciertas condiciones preestablecidas. Si en el medio físico no es posible esta carga de agua (H_w), entonces la capacidad de la alcantarilla será limitada.

En la siguiente tabla de resultados se muestra la altura de agua a la entrada, el caudal que descarga la alcantarilla y la ubicación de la sección de control.

Caudal de descarga					
Abscisa	Energía Total Aguas Arriba		Coef. de entrada [Ke]	Caudal [Q] (m^3/seg.)	Descripción
	Control a la *entrada* (m)	Control a la *salida* (m)			
0+820	1,16		0,5	1,82	
	1,65 *			3,82	Secc. de control a la ent.
1+420	1,73		0,5	2,02	
	1,85 *	1,76–1,85 *		**3,08**	Secc. de control a la sal.
1+700	1,1		0,5	1,82	
	1,80 *	1,64		3,09	Secc. de control a la ent.
1+960	1,15		0,5	1,82	
	1,56	1,85 *		2,66	Secc. de control a la sal.
2+150	1,69		0,5	2,94	
	1,85	1,76–1,85 *		**3,24**	Secc. de control a la sal.

Tabla 4.6- Energía total aguas arriba y el caudal de descarga de cada alcantarilla.

4.5. Muros de ala

Las estructuras construidas a la entrada y a la salida de una alcantarilla no solo sirven para proteger el terraplén de la erosión, sino también para mejorar sus características hidráulicas.

Existen varios tipos de muros y su selección depende de la utilidad y las condiciones que se presentan en el sitio. De esta variedad se puede enunciar las siguientes:

El muro final recto es usado en alcantarillas pequeñas con pendientes leves y cuando el flujo del agua y el barril están alineados; si se desea realizar un cambio brusco en la dirección del escurrimiento, el muro final en *L* es lo óptimo; si el caudal debido al escurrimiento es grande, entonces es preferible usar aleros alabeados, tratando que el ángulo de alabeo sea con respecto al eje de la corriente de llegada y por último los muros en forma de *U* que resultan siendo los menos eficientes de todos los anteriores y tiene como única ventaja el costo por construcción.

Los aleros de los muros de aleta a la entrada y a la salida de una alcantarilla, deben ser alabeados lo suficientemente para conseguir que la corriente desde la alcantarilla se pegue a los muros de transición.

Determinación del ángulo de alabeo

Izzard sugirió una expresión matemática para determinar el ángulo de transición en forma aproximada. Esta expresión relaciona a la velocidad media del flujo y la altura del agua en el barril.

$$\tan\beta = \frac{1}{2N_F} = \frac{2.85\sqrt{d}}{V} \qquad \text{Ec. (4.3)}$$

Siendo:

N_F: Número de Froude.

d: Tirante del escurrimiento.

V: Velocidad media.

β: Ángulo de alabeo

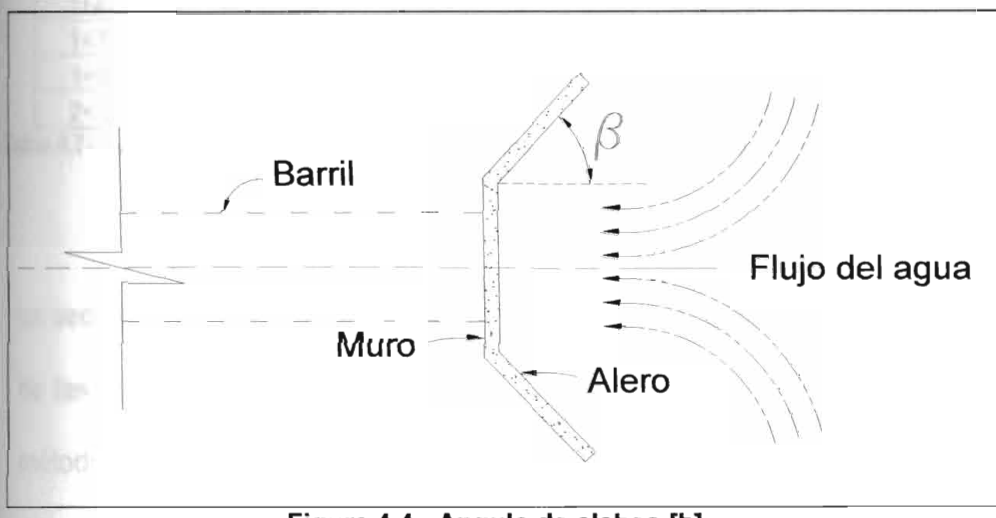


Figura 4.4.- Angulo de alabeo [b]

La velocidad media de las alcantarillas se obtuvo mediante el método *paso a paso* para aquellas que tenían la sección de control en la entrada, mientras que las alcantarillas con sección de control a la salida se las calculó dividiendo el caudal para el área mojada Q/A debido a que el tirante calculado era similar al diámetro del barril.

La velocidad media en cada alcantarilla y el método usado para su obtención se presenta en la tabla 4.7.

Velocidad Media				
Alcantarilla	Diámetro (m)	Caudal [Q] (m3/seg.)	Velocidad media (m/seg.)	Descripción
0+820	1.5	3.82	4.59	Método paso a paso
1+420	1.2	3.08	2.72	Flujo a sección llena
1+700	1.2	3.09	3.22	Método paso a paso
1+960	1.2	2.66	2.35	Flujo a sección llena
2+150	1.2	3.24	2.86	Flujo a sección llena

Tabla 4.7- Velocidad media mediante el método de paso a paso y del flujo a sección llena

La secuencia y las iteraciones necesarias para el cálculo del perfil del flujo de las alcantarillas ubicadas en la abscisa 0+820 y 1+700 empleando el método paso a paso se muestran en las tablas 4.8 y 4.9, mientras que el diagrama con las líneas de energía, normal, crítica y superficie del agua para cada alcantarilla se exhiben en la figura 4.5 y 4.6

Perfil de Flujo Mediante el Método del Paso Directo

Caudal-Q= 3.62 m3/seg 134.07 pie3/seg Caudal para una sola alcantarilla

(●) Sistema Métrico

( ) Sistema Inglés

Tirante de escurrimiento 0.69

n-Manning= 0.015

Pendiente de la alcnatarilla-So= 0.020

α = 1.00

Tirante Crítico-Yc= 0.99 m 3.30 pie

Tirante Normal-Yn= 0.68 m 2.25 pie

Diametro-D= 1.50 m 5.00 pie

Longitud-L= 83.65 m 278.83 pie

$$S_f = \frac{n^2 V^2}{2.22 R^{4/3}}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_o - S_f}$$

Cálculo de Perfil de flujo para alcantarillas

y/D	y	T	θ	A	Rh	Rh4/3	V	$\alpha V^2/2g$	E	ΔE	Sf	$\overline{S}_f$	$So - \overline{S}_f$	Δx	x	$\alpha V^2/2g$	yn	yc
0.660	**3.30**	4.74	3.79	13.75	1.45	1.64	9.75	1.49	**4.79**		0.0059						**2.25**	**3.30**
0.650	**3.25**	4.77	3.75	13.51	1.44	1.63	9.92	1.54	**4.79**	0.00	0.0061	0.0060	0.0138	**0.2654**	0.2654	1.53	**2.25**	**3.30**
0.600	**3.00**	4.90	3.54	12.30	1.39	1.55	10.90	1.86	**4.86**	0.07	0.0078	0.0070	0.0129	**5.2402**	5.5056	1.85	**2.25**	**3.30**
0.550	**2.75**	4.97	3.34	11.07	1.32	1.45	12.12	2.29	**5.04**	0.19	0.0102	0.0090	0.0108	**17.3035**	22.8091	2.28	**2.25**	**3.30**
0.500	**2.50**	-5.00	3.14	9.82	1.25	1.35	13.66	2.91	**5.41**	0.37	0.0140	0.0121	0.0077	**48.0158**	70.8249	2.90	**2.25**	**3.30**
0.490	**2.45**	-5.00	3.10	9.57	1.23	1.32	14.01	3.07	**5.52**	0.10	0.0150	0.0145	0.0053	**19.6519**	90.4769	3.05	**2.25**	**3.30**
0.480	**2.40**	-5.00	3.06	9.32	1.22	1.30	14.39	3.24	**5.64**	0.12	0.0161	0.0156	0.0043	**27.4605**	117.9373	3.22	**2.25**	**3.30**
0.470	**2.35**	-4.99	3.02	9.07	1.20	1.28	14.79	3.42	**5.77**	0.13	0.0174	0.0168	0.0031	**42.2803**	160.2176	3.40	**2.25**	**3.30**
0.460	**2.30**	-4.98	2.98	8.82	1.18	1.25	15.20	3.61	**5.91**	0.15	0.0187	0.0180	0.0018	**81.0502**	241.2678	3.59	**2.25**	**3.30**
0.458	**2.29**	-4.98	2.97	8.76	1.18	1.25	15.30	3.66	**5.95**	0.04	0.0191	0.0189	0.0010	**37.5622**	278.8300	3.64	**2.25**	**3.30**
0.458	**2.29**	-4.98	2.97	8.76	1.18	1.25	15.30	3.66	**5.95**	0.00	0.0191	0.0191	0.0008	**0.0000**	278.8300	3.64	**2.25**	**3.30**

Tabla 4.8- Hoja de calculo para la obtención del perfil del flujo de la abscisa 0+820 mediante el método del paso a paso

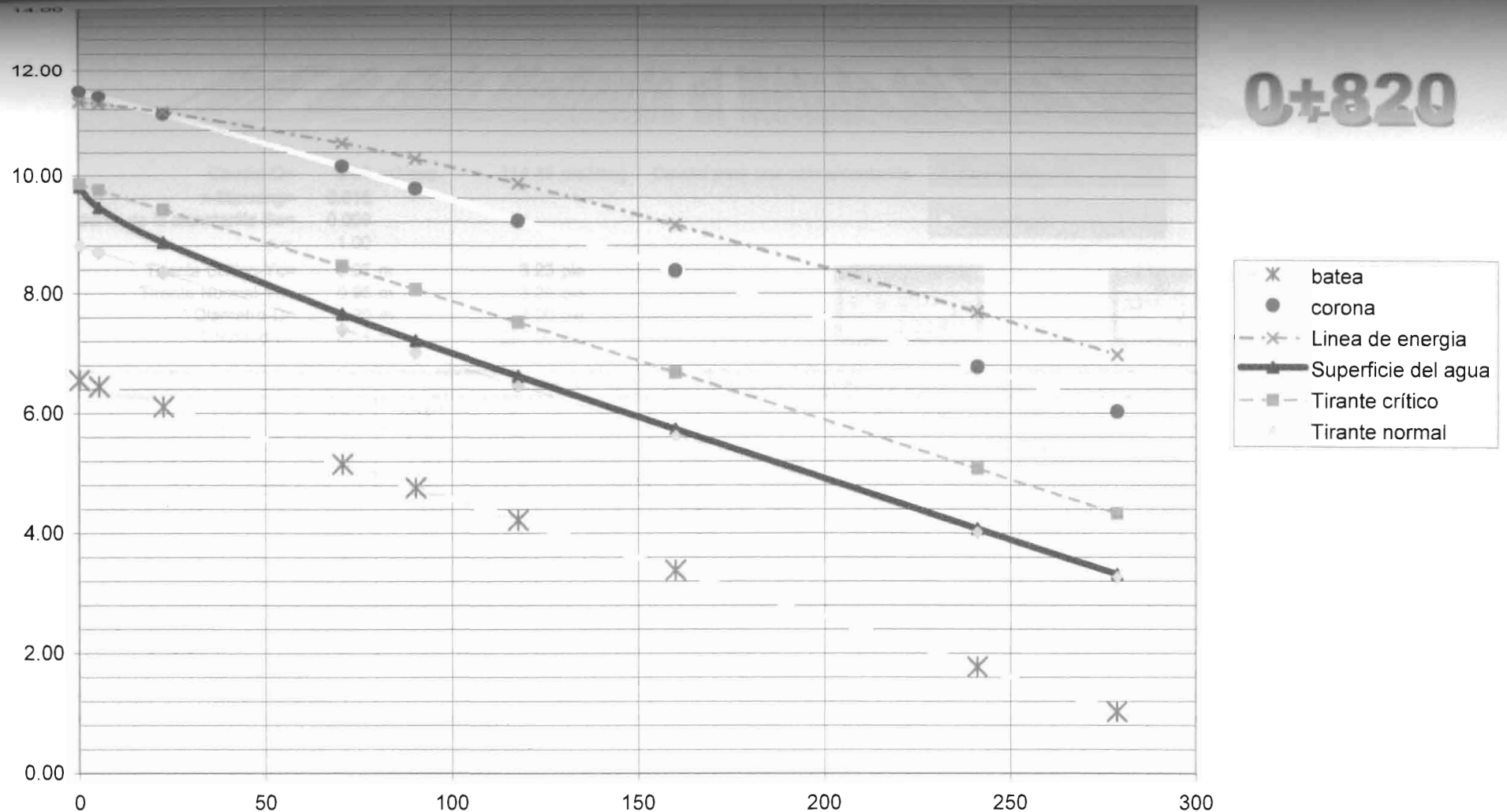


Figura 4.5.- Perfil del flujo de la abscisa 0+820.- Línea de energía, el nivel de la profundidad normal, crítica y de la superficie del agua

Perfil de Flujo Mediante el Método del Paso Directo

Caudal-Q= 3 09 m3/seg 114.48 pie3/seg Caudal para una sola alcantarilla

n-Manning= 0.015

Pendiente de la alcnatarilla-So= 0 009

1.00

Tirante Crítico-Yc= 0 97 m 3.23 pie

Tirante Normal-Yn= 0.96 m 3 20 pie

Diametro-D= 1.20 m 4.00 pie

Longitud-L= 80.1 m 267.00 pie

(•) Sistema Métrico

( ) Sistema Inglés

Tirante de escurrimiento 0.95

$$S_f = \frac{n^2 V^2}{2.22 R^{4/3}}$$

$$\Delta x = \frac{\Delta E}{S_o - S_f}$$

Cálculo de Perfil de flujo para alcantarillas

y/D	y	T	θ	A	Rh	Rh4/3	V	$\alpha V^2/2g$	E	ΔE	Sf	$\overline{S}_f$	$So - \overline{S}f$	Δx	x	$\alpha V^2/2g$	yn	yc
0.808	**3.23**	3 15	4.47	10.88	1.22	1.30	10.52	1.73	**4.96**		0.0086						**3.20**	**3.23**
0 806	**3.22**	3 16	4.46	10.85	1.22	1.30	10.55	1.74	**4.96**	0 00	0.0087	0 0087	0.0003	**3.3038**	3.3038	1.73	**3.20**	**3.23**
0.804	**3.22**	3 18	4.45	10.83	1 22	1.30	10.57	1.75	**4.96**	0.00	0.0087	0.0087	0.0003	**0.5009**	3 8047	1.74	**3.20**	**3.23**
0 802	**3.21**	3.19	4 44	10.80	1.22	1.30	10.60	1.75	**4.96**	0 00	0.0088	0 0087	0.0003	**0.9250**	4.7298	1 75	**3.20**	**3.23**
0.800	**3.20**	3 20	4.43	10.78	1.22	1.30	10.62	1.76	**4.96**	0.00	0.0088	0.0088	0.0002	**1.5206**	6.2503	1.75	**3.20**	**3.23**
0.798	**3.19**	3.21	4.42	10.75	1.22	1.30	10.65	1.77	**4.96**	0.00	0.0088	0.0088	0.0002	**2.4201**	8.6704	1 76	**3.20**	**3.23**
0.796	**3.18**	3 22	4.41	10.73	1 22	1.30	10.67	1 78	**4.96**	0.00	0.0089	0 0089	0.0001	**3.9400**	12.6105	1.77	**3.20**	**3.23**
0.794	**3.18**	3.24	4.40	10.70	1.22	1.30	10.70	1.79	**4.96**	0 00	0.0089	0.0089	0.0001	**7.0687**	19.6792	1.78	**3.20**	**3.23**
0.792	**3.17**	3.25	4.39	10.67	1 22	1.30	10.73	1 80	**4.97**	0.00	0.0090	0.0090	0.0000	**17.2692**	36.9484	1.79	**3.20**	**3.23**
0.791	**3.16**	3.25	4.38	10.66	1.22	1.30	10.74	1 80	**4.97**	0.00	0.0090	0.0090	0.0000	**230.0516**	267 0000	1.79	**3.20**	**3.23**
0.791	**3.16**	3 25	4.38	10.66	1 22	1.30	10.74	1.80	**4.97**	0 00	0 0090	0.0090	0.0000	**0.0000**	267.0000	1 79	**3.20**	**3.23**

Tabla 4.9- Hoja de calculo para la obtención del perfil del flujo de la abscisa 1+700 mediante el método del paso a paso

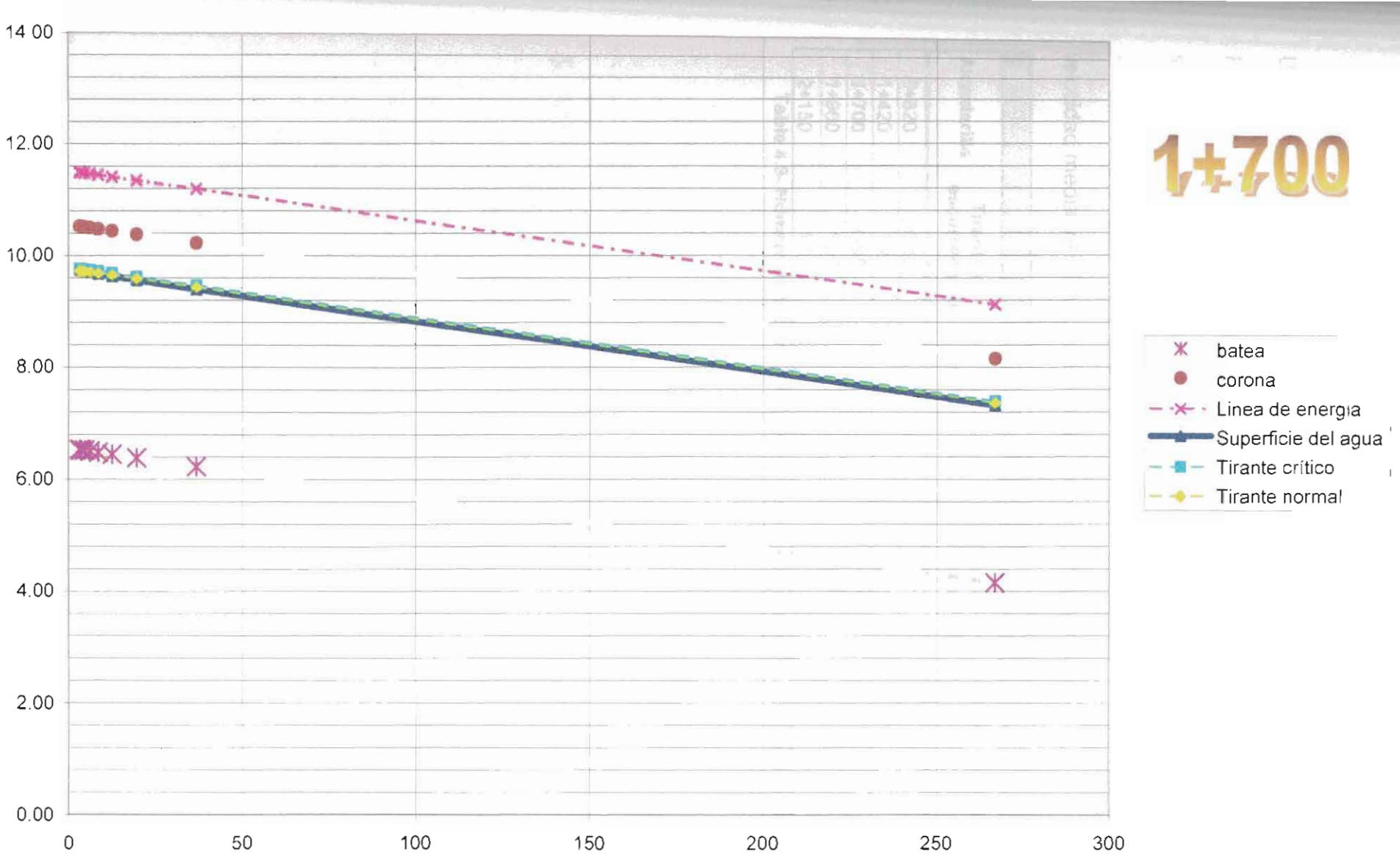


Figura 4.6.- Perfil del flujo de la abscisa 1+700.- Línea de energía, el nivel de la profundidad normal, crítica y de la superficie del agua

Una vez conocida la velocidad media, es posible calcular el número de Froude para establecer el estado del flujo de las alcantarillas que trabajan a superficie libre y calcular el ángulo de alabeo de los aleros a través de la ecuación 4.3. La tabla 4.9 muestra la altura de agua a la salida del barril, la velocidad media, el número de Froude y el ángulo de alabeo.

Angulo de alabeo [β]				
Alcantarilla	**Tirante de escurrimiento**	**Velocidad media (m/seg.)**	**Número de Froude [NF]**	**Angulo de alabeo β**
0+820	0.69	4.59	1.77	16 °
1+420	1.20	2.72	-	-
1+700	0.95	3.22	1.06	25 °
1+960	1.20	2.35	0.69	36 °
2+150	1.20	2.86	-	-

Tabla 4.9- Número de Froude.- Ángulo de alabeo con respecto al eje del barril

CAPITULO 5

5. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

El análisis se realiza a 900 metros de vía aproximadamente, va desde la abscisa 0+450 a la 1+350 de la Autopista Terminal Terrestre-Pascuales. La superficie de estudio alcanza el kilómetro cuadrado y esta dividido en tres cuencas. Para una mejor comprensión este capítulo se lo ha desarrollado en tópicos, considerando el orden de los temas tratados anteriormente.

Variación del tiempo de concentración con respecto a ciertos parámetros fisiográficos

El relieve de la zona en estudio se caracteriza por ser plano ya que las pendientes medias no sobrepasan al 3%. Si se considera este tipo de relieve y que la pendiente es inversamente proporcional al tiempo de concentración, se puede preestablecer que la cuenca #2 por poseer una pendiente (0.217) menor a las otras, tenga un tiempo de concentración (13.37 minutos) grande, sin embargo el desarrollo de expresiones matemáticas para su valoración, no solo relacionan el desnivel en el sitio, sino también la longitud del máximo recorrido que realiza una gota de agua al pasar por la cuenca, lo cual justifica un mayor tiempo de concentración en la cuenca #3 (16.21 minutos) en comparación a las otras. Ver tabla 5.1

Tiempo de Concentración			
Cuenca	**Pendiente**	**Long. Máx. Recorrido (Km.)**	**Fórmula de Kirpich (min.)**
1	0.246	0,411	4.74
2	0.217	1,004	13.37
3	0.224	1,021	16.21

Tabla 5.1. Relación Pendiente – Longitud de recorrido – Tiempo de concentración

Otro parámetro importante es el factor de forma que permite conocer la rapidez con que el agua llega al cauce principal. Uno de los índices más conocidos que expresa la forma de la cuenca, es el índice de compacidad o coeficiente de Gravelius, el cual esta estrechamente

relacionado con el tiempo de concentración, ya que las cuencas redondeadas como el caso de la cuenca #1 tienen un tiempo de concentración menor a las que por su morfología son alargadas. En la tabla 5.1 se puede observar esta variación. El factor de forma también sirve como un indicador de tendencias a las crecidas, ya que las cuencas con factor de forma menor a uno, tienen menor posibilidad de tener una precipitación intensa simultáneamente sobre toda su extensión que en un área de igual tamaño pero con un factor de forma grande. Las cuencas #2 y #3 por tener una forma oval-oblonga (ver plano 2 en apéndice E) son un poco más alargadas que la cuenca #1 y por tanto los gastos pico son más atenuados. Una manera de explicar y observar este hecho, es considerar a modo de ejemplo una superficie de igual magnitud en todas las cuencas como se aprecia en la figura 5.1. Sin embargo las variaciones de superficie hacen que los gastos picos crezcan proporcionalmente. Figura 5.2.

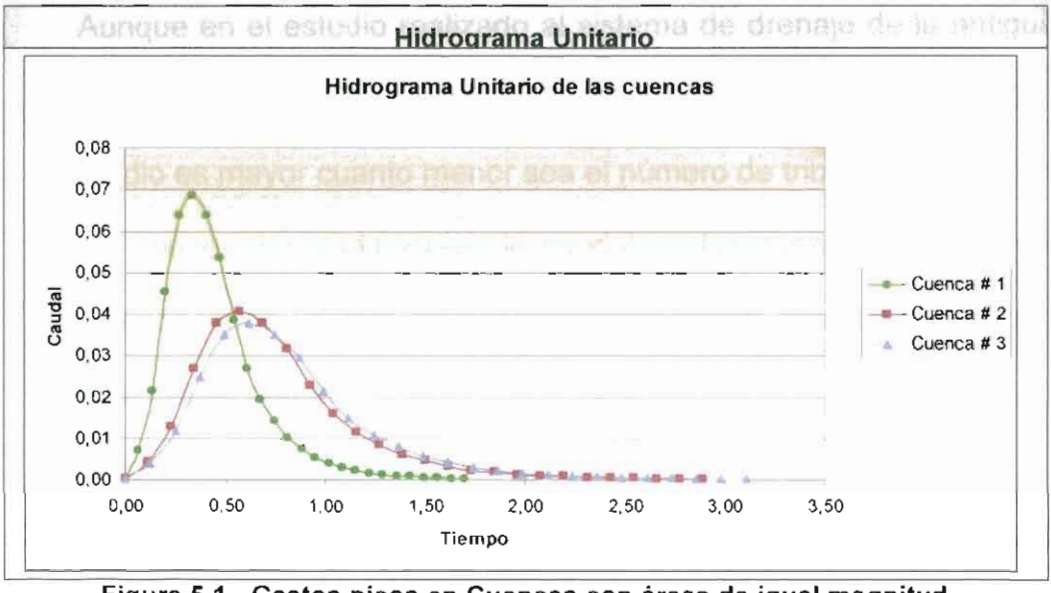


Figura 5.1.- Gastos picos en Cuencas con áreas de igual magnitud

Se ha tomado como referencia el área de la cuenca #1 para mostrar como varían los Gastos picos en las otras cuencas que tienen forma alargada y con tiempo de concentración mas prolongado.

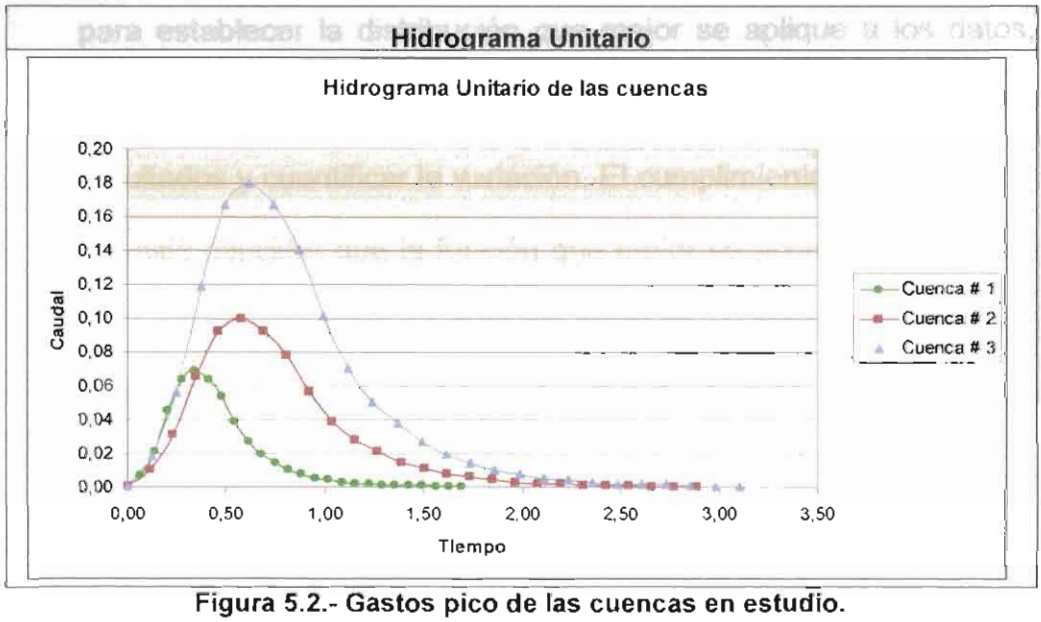


Figura 5.2.- Gastos pico de las cuencas en estudio.

Aunque en el estudio realizado al sistema de drenaje de la antigua y actual disposición del terreno, se especifica que la infiltración en el medio es mayor cuanto menor sea el número de tributarios que posee los cauces, las variaciones de caudal en las cuencas 2 y 3 no son considerables ya que es posible que el suelo presente una menor relación de poros.

Estadística de datos hidrológicos

En este capítulo se ajustaron las máximas precipitaciones diarias anuales a una distribución de probabilidad, con el propósito de determinar el período de retorno del mayor evento registrado el año noventa y siete. Aunque este ajuste considera una prueba de bondad, para establecer la distribución que mejor se aplique a los datos, se decidió evaluar todas las funciones estudiadas para comparar los resultados y cuantificar la variación. El cumplimiento de este propósito permitió dilucidar que la función que mejor se acomoda a los datos y las restantes no varía en más del 10 % en su periodo de retorno, por tanto no es imperioso el uso de ella. En la tabla 5.2 se aprecia el periodo de retorno al evaluar todas las funciones estudiadas y su variación con respecto a la Pearson tipo III.

Variación del Periodo de Retorno		
Distribución	**Periodo de Retorno**	**Variación**
Gumbel Tipo I	8,18	5%
Normal	7,84	9%
Log-Normal	7,99	7%
Pearson Tipo III	***8,59***	Base
Log-Pearson Tipo III	8,52	1%

Tabla 5.2.- Periodo de retorno usando distintas distribuciones

Estudio de intensidades

El procesamiento de las fajas pluviográficas de los meses marzo, abril, noviembre y diciembre de 1997, permitió aseverar ciertas conjeturas.

La primera es acerca de la coincidencia de un evento intenso y uno lluvioso. Aunque el 13 de diciembre llovió con mayor intensidad (117 mm/h - 10 min. de duración), este evento no registró la mayor precipitación del año, ya que fue el 23 de noviembre cuando cayó mayor cantidad de agua (237.10 mm – 19.67 horas de duración).

La segunda se enfoca al uso de los modelos matemáticos cuya evaluación bajo las condiciones de diseño permiten la extrapolación eficiente de los eventos hidrológicos, las ecuaciones de lluvia obtenidas por la EMAG y la IIFIUC para un período de retorno igual al de la lluvia del 13 de diciembre de 1997 nos dio un valor de intensidad similar al obtenido tras el procesamiento de la faja. En la tabla 5.4 se pueden apreciar estos valores

Intensidad de Lluvia (F = 10 AÑOS)					
Cuenca	Tiempo de Concentración	EMAG 1	EMAG 2	IIFIUC	Registro Dic 13 de 1997
	Minutos	$i=\frac{771.56}{(t+16)^{0.96}}$	$i=\frac{853.5}{(t+15)^{0.6}}$	$i=-31.707\ln(T_r)+199.41$	
#1	4.74	138.79	142.56	150.07	117
#2	13.37	114.22	114.68	117.19	117
#3	16.21	108.47	108.30	111.09	117

Tabla 5.4.- Intensidad máximas de lluvias en distintas instituciones.

Comportamiento hidráulico de alcantarillas

En el estudio realizado al sistema de drenaje transversal que permite la conducción en forma controlada del agua para que cruce la autopista, se revisó cada uno de los parámetros que condicionan el flujo y la capacidad de descarga.

La evaluación de cada alcantarilla a través del método desarrollado por la U.S. Department of Commerce, Bureau of public Roads permitió determinar el comportamiento del modelo hidráulico a escala natural.

La alcantarilla ubicada en la abscisa 0+820 esta conformada por dos barriles de 1.50 m de diámetro, por lo que cada uno debería descargar la mitad del caudal que el área portante produce (7.24 m^3/seg.).

En la figura 5.3 se ilustra dos eventos de una posible trayectoria del flujo dentro de la alcantarilla, la línea roja representa al flujo inicial,

donde se describe la altura del agua cuando el caudal que se transporta a través del canal natural ingresa al barril con una altura igual a su tirante normal. Esta carga hidráulica en la bocatoma sólo permite descargar 2.16 m^3/seg. cuya cantidad resulta deficiente para el caudal producido por la escorrentía. A medida que la altura del agua se incrementa, la capacidad de descarga de la alcantarilla crece hasta alcanzar 3.68 m^3/seg. de descarga.

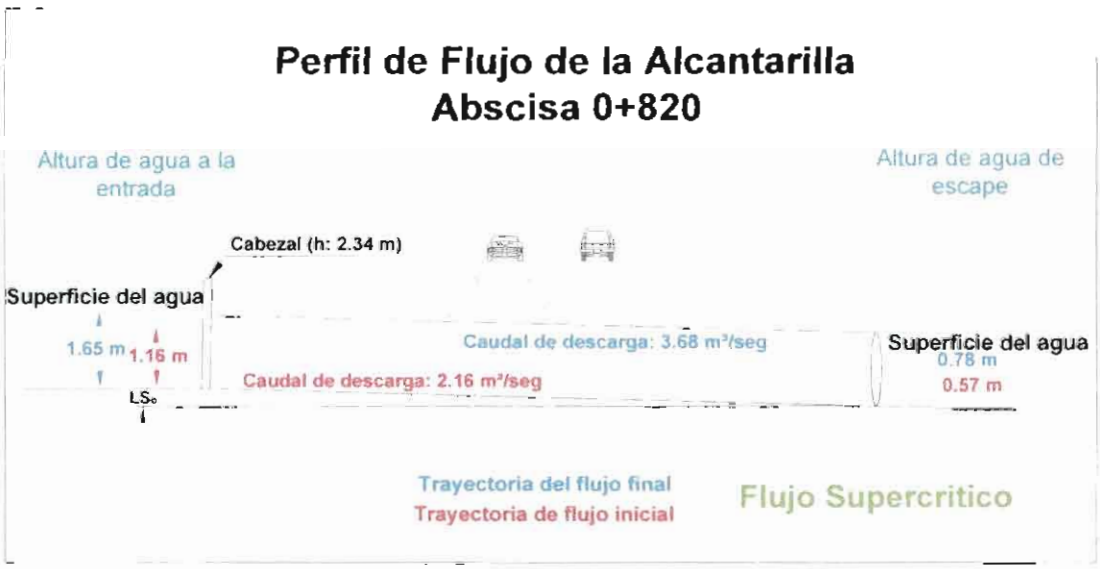


Figura 5.3.- Comportamiento hidráulico de las alcantarilla 0+820.

Las alcantarillas ubicadas en las abscisas 1+700 y 1+960 describen una trayectoria similar presentándose una variante en la última con respecto al régimen que tiene el flujo cuyo tipo es supercrítico.

CAPITULO 6

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Luego del análisis de los resultados obtenidos en el desarrollo de esta tesis, se puede concluir lo siguiente:

I. Si bien es cierto el análisis de datos estadístico no abarco un registro extenso de precipitaciones, el criterio de selección de las fajas correspondientes al fenómeno El Niño del noventa y

siete en conjunto con las máximas precipitaciones anuales presentadas en el anuario, permitió determinar la precipitación e intensidad de diseño muy cercana a la obtenida al evaluar la ecuación de lluvia del Instituto de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Católica, IIFIUC y de la Empresa Municipal de Alcantarillado de Guayaquil EMAG.

II. Al realizar la prueba de bondad de ajuste a los datos de precipitación se determinó que la función Pearson tipo III, es la regla de tendencia que adhiere mayor cantidad de datos.

III. A pesar de ajustar una muestra de ocho datos correspondientes a las máximas precipitaciones registradas por la estación Radio Sonda, el período de retorno de la lluvia del 13 de diciembre 1997 no varía si se incrementa la muestra con registros pluviográficos de estaciones cercanas.

IV. Pese a que la norma del MOP indica un período de retorno de 20 años para el diseño de vías, las estructuras de drenaje transversal tan solo logran descargar un flujo con recurrencia de 10 años.

V. Al determinar el caudal de diseño, evaluando tres métodos conocidos, se seleccionó el de Ven Te Chow por considerar

parámetros que califican de mejor manera las caracteristicas del medio.

VI. La reducción de la densidad drenaje de la antigua forma de la cuenca a la actual fisiografía del cerro Colorado, no es razón suficiente para que exista incremento de caudales escurridos, ya que la remoción y compactación de material del sitio permite una reducción de poros.

VII. Dos alcantarillas de las cinco analizadas tendrían condicionado su uso de manera eficiente a la construcción de una estructura de almacenaje que retenga el caudal extra no desalojado.

VIII. Dentro de la cuantificación del caudal de diseño, no se considera el agua residual que el área urbana aporta a cada alcantarilla, ya que su valor es despreciable y no afecta el diseño hidráulico.

6.2. Recomendaciones

I. Colocar rejillas de protección en las bocatomas de las alcantarillas con el propósito de retener desechos sólidos que obstruyan el flujo del agua a través de ellas.

II. Mejorar los bordes de entrada de cada alcantarilla y construir cisternas de almacenamiento para reducción de caudales picos con el fin de suplir la deficiencia de carga hidráulica en la entrada de algunas alcantarillas y las pendientes que en su mayoría no cumplen con las normas establecidas.

III. Verificar que las descargas de aguas servidas que las urbanizaciones existentes y proyectadas produzcan y que se evacuen al rió Daule a través de las alcantarillas, cumpla con las normas ambientales mínimas requeridas.

IV. Crear un ente educativo conformado por catedráticos y estudiantes de nivel superior con el propósito de recopilar, procesar y facilitar toda la información meteorológica de la ciudad para el desarrollo de proyectos sin fines de lucro.

V. Promover un estudio estadístico para la colocación estratégica de estaciones meteorológicas y para el procesamiento, ajuste y obtención de curvas de intensidad-duración-frecuencia para el sector norte, central y sur de la ciudad de Guayaquil.

VI. Fomentar la investigación de cuencas hidrográficas aforadas con el fin de estimar un coeficiente de mayoración o reducción que al combinarlo con el número de curva CN permita obtener una tasa de escorrentía que se adapte a nuestro medio.

B I B L I O G R A F I A

[1] APARICIO, F. 1995. Fundamentos de hidrología de Superficie. Balderas, México: Limusa. 303 p.

[2] CHOW, V.; MAIDMAENT, D.; MAYS L. 1994. Hidrología Aplicada. Santafé de Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 584 p.

[3] MONTOYA, A. 1999. Curso de hidrología. Guayaquil, Ecuador: 175 p.

[4] MONSALVE, G. 1999. Hidrología en la Ingeniería. _Bogotá, Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 382 p

[5] CHANSON, H. 2002. Hidráulica de Flujo de canales abiertos. Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 560 p.

[6] NOVAK, P.; MOFFAT, A.; NALLURI, R.; NARAYANAN, R. 2001. Estructuras hidráulicas. Bogotá, Colombia: Mc Graw-Hill. 599 p.

[7] FUGITA, O., CAMARA, F., ASSAE, S. 1979. Drenagem Urbana-Manual de projeto. Sao Paulo, Brasil: CETESB DAEE. 469 p.

[8] CHOW, V. 1998. Hidráulica de Canales. Colombia: Mc Graw-Hill. 560 p.

[9] TRANSPORTATION RESEARCH BOARD NATIONAL OF SCIENCES, TRASNPORTATION TECHNOLOGY SUPPORT FOR DEVELOPING COUNTRIES. 1974. Compendium #3. "Small Drainage Structures". EEUU: Library of Congress Cataloging in Publication Data.

[10] MERRITT, F.; LOFTIN, M.; RICKETTS, J. 2002. Manual del Ingeniero Civil, Cuauhtémoc, México: Mc Graw-Hill. 21.18-21.42 p.

[11] PIZARRO, R.; ABARZA, A.; FLORES, J. 2001. Análisis Comparativo de la curvas Intensidad-Duración –Frecuencia (IDF) en 6 Estaciones Pluviográficas (VII Región del Maule, Chile). Chile, Universidad de Talca. 44 p.

[12] INAMHI. 1980 Estudio de Intensidades-Segunda Parte. Ecuador: Ministerio de Recursos Naturales y Energía

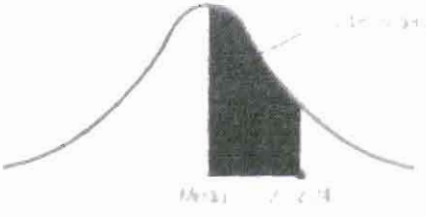
[13] MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2005. Registro Oficial Nº 525; Quito, Ecuador. Nº 128

A P E N D I C E A

PARAMETROS GEOMORFOLOGICOS DE LA ANTIGUA Y ACTUAL DISPOSICION DEL TERRENO							
CARACTERISTICAS				**CUENCA #1**	**CUENCA #2**	**CUENCA #3**	**CUENCA 2-3**
AREA (m^2)		A		111630.523	274909.104	535622.059	810531.163
PERIMETRO (m)		P		1418.162	2470.519	3202.907	4108.144
LONG. TOTAL - CURVAS DE NIVEL (m)				27488.650	59552.230	119762.625	107588.913
CENTROIDE		X		496121.850	496438.420	497043.896	6217225.360
		Y		2013249.850	2013540.910	2013612.307	9771565.090
LONG. CENTROIDE (m)				195.862	385.457	577.534	307.302
LONG. MAX. RECORRIDO (m)				410.702	1003.695	1011.150	693.602
PENDIENTE - CAUCE		F/L		0.11	0.04	0.027	0.040
PENDIENTE - CUENCA		Sc	DL/A; D=1 m	0.246	0.217	0.224	0.133
COEFICIENTE DE GRAVELIUS O INDICE DE COMPACIDAD		Kc	$0.28 * P * A^{0.5}$	*1.19*	*1.32*	*1.23*	*1.28*
CLASIFICACION	**Indice**			1.0 a 1.25	1.26 a 1.50	1.26 a 1.50	1.26 a 1.50
	Forma de la cuenca			*Casi redonda a oval - redonda*	*Oval redonda a oval oblonga*	*Oval redonda a oval oblonga*	*Oval redonda a oval oblonga*
FACTOR DE FORMA		F	A / L^2	0.66	0.27	0.52	1.68
TIEMPO DE CONCENTRACIÓN	**Kirpich Horas**	$0.9545*\left(\frac{L^3}{F}\right)^{0.385}$		0.08	0.22	0.27	0.17
	Kirpich Minutos	$0.0195*\left(\frac{L^3}{F}\right)^{0.385}$		4.74	13.37	16.09	10.36

A P E N D I C E B

Tabla 2.- Función de probabilidad utilizada en distintas distribuciones



Apéndice Tabla 1

*Áreas bajo la curva de distribución de probabilidad normal estándar entre la media y valores positivos de z

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.0000	0.0040	0.0080	0.0120	0.0160	0.0199	0.0239	0.0279	0.0319	0.0359
0.1	0.0398	0.0438	0.0478	0.0517	0.0557	0.0596	0.0636	0.0675	0.0714	0.0753
0.2	0.0793	0.0832	0.0871	0.0910	0.0948	0.0987	0.1026	0.1064	0.1103	0.1141
0.3	0.1179	0.1217	0.1255	0.1293	0.1331	0.1368	0.1406	0.1443	0.1480	0.1517
0.4	0.1554	0.1591	0.1628	0.1664	0.1700	0.1736	0.1772	0.1808	0.1844	0.1879
0.5	0.1915	0.1950	0.1985	0.2019	0.2054	0.2088	0.2123	0.2157	0.2190	0.2224
0.6	0.2257	0.2291	0.2324	0.2357	0.2389	0.2422	0.2454	0.2486	0.2517	0.2549
0.7	0.2580	0.2611	0.2642	0.2673	0.2704	0.2734	0.2764	0.2794	0.2823	0.2852
0.8	0.2881	0.2910	0.2939	0.2967	0.2995	0.3023	0.3051	0.3078	0.3106	0.3133
0.9	0.3159	0.3186	0.3212	0.3238	0.3264	0.3289	0.3315	0.3340	0.3365	0.3389
1.0	0.3413	0.3438	0.3461	0.3485	0.3508	0.3531	0.3554	0.3577	0.3599	0.3621
1.1	0.3643	0.3665	0.3686	0.3708	0.3729	0.3749	0.3770	0.3790	0.3810	0.3830
1.2	0.3849	0.3869	0.3888	0.3907	0.3925	0.3944	0.3962	0.3980	0.3997	0.4015
1.3	0.4032	0.4049	0.4066	0.4082	0.4099	0.4115	0.4131	0.4147	0.4162	0.4177
1.4	0.4192	0.4207	0.4222	0.4236	0.4251	0.4265	0.4279	0.4292	0.4306	0.4319
1.5	0.4332	0.4345	0.4357	0.4370	0.4382	0.4394	0.4406	0.4418	0.4429	0.4441
1.6	0.4452	0.4463	0.4474	0.4484	0.4495	0.4505	0.4515	0.4525	0.4535	0.4545
1.7	0.4554	0.4564	0.4573	0.4582	0.4591	0.4599	0.4608	0.4616	0.4625	0.4633
1.8	0.4641	0.4649	0.4656	0.4664	0.4671	0.4678	0.4686	0.4693	0.4699	0.4706
1.9	0.4713	0.4719	0.4726	0.4732	0.4738	0.4744	0.4750	0.4756	0.4761	0.4767
2.0	0.4772	0.4778	0.4783	0.4788	0.4793	0.4798	0.4803	0.4808	0.4812	0.4817
2.1	0.4821	0.4826	0.4830	0.4834	0.4838	0.4842	0.4846	0.4850	0.4854	0.4857
2.2	0.4861	0.4864	0.4868	0.4871	0.4875	0.4878	0.4881	0.4884	0.4887	0.4890
2.3	0.4893	0.4896	0.4898	0.4901	0.4904	0.4906	0.4909	0.4911	0.4913	0.4916
2.4	0.4918	0.4920	0.4922	0.4925	0.4927	0.4929	0.4931	0.4932	0.4934	0.4936
2.5	0.4938	0.4940	0.4941	0.4943	0.4945	0.4946	0.4948	0.4949	0.4951	0.4952
2.6	0.4953	0.4955	0.4956	0.4957	0.4959	0.4960	0.4961	0.4962	0.4963	0.4964
2.7	0.4965	0.4966	0.4967	0.4968	0.4969	0.4970	0.4971	0.4972	0.4973	0.4974
2.8	0.4974	0.4975	0.4976	0.4977	0.4977	0.4978	0.4979	0.4979	0.4980	0.4981
2.9	0.4981	0.4982	0.4982	0.4983	0.4984	0.4984	0.4985	0.4985	0.4986	0.4986
3.0	0.4987	0.4987	0.4987	0.4988	0.4988	0.4989	0.4989	0.4989	0.4990	0.4990

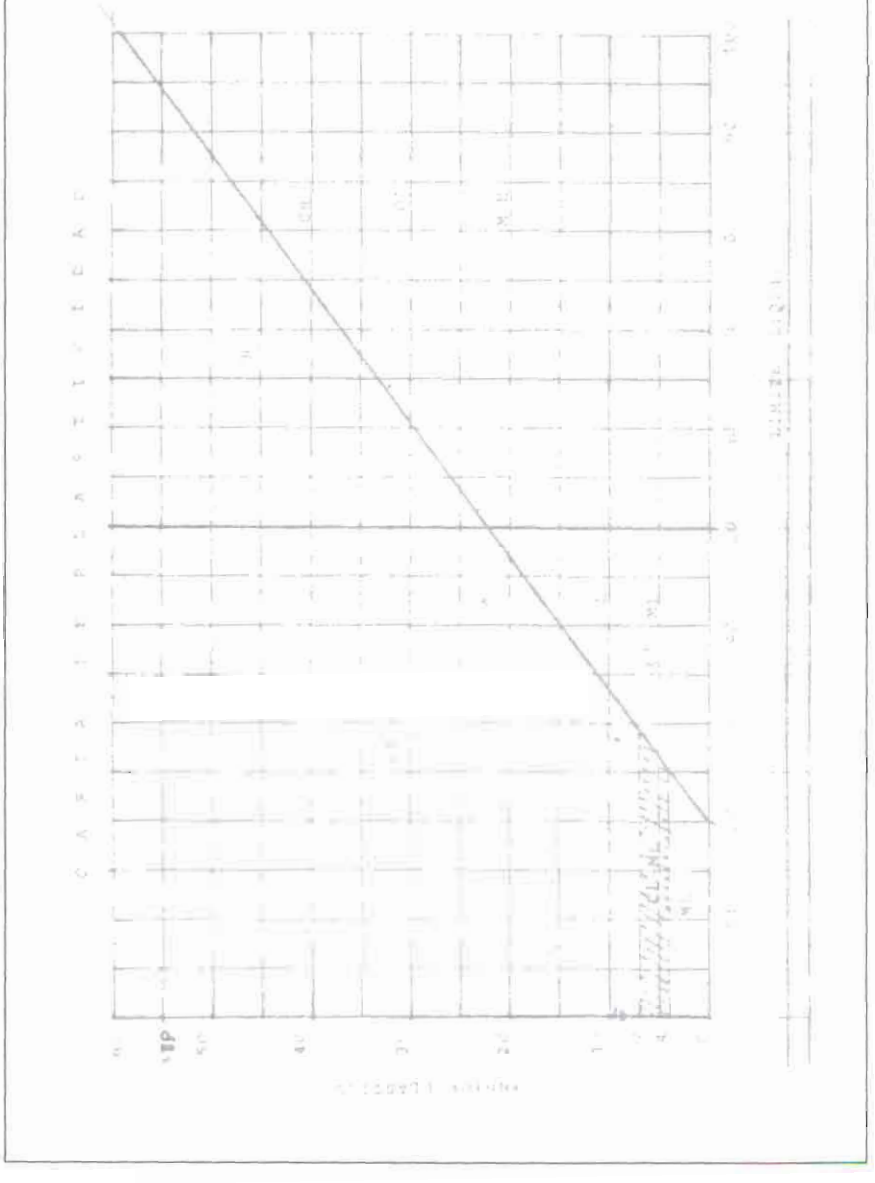
INFORME DE ESTUDIO DE SUELO

En el laboratorio se ensayaron siete muestras recogidas en campo, a continuación se indica el tipo de ensayo y los resultados que dejaron estos:

- ✓ Realizando un lavado por el tamiz 200 se observo que la mayoría de la muestra estaba compuesta por más del 50 % de finos.
- ✓ Utilizando la copa de caza grande, se realizo el ensayo de límites líquido y plástico para definir el símbolo que le corresponde a cada muestra utilizando la carta plasticidad.
- ✓ Así también se determino el valor de permeabilidad relativa a través de pruebas con permeametro de carga variable, con el fin de compararlos con los de la tabla publicada por la ASTM para suelos típicos.
- ✓ De acuerdo a estos resultados y realizando una analogía con la clasificación hidrológica de los suelos para la estimación del número de escorrentía realizado por la Soil Conservation Service, se pudo establecer que están dentro del grupo C de acuerdo con el potencial de escurrimiento.

VALORES RELATIVOS DE LA PERMEABILIDAD - ASTM		
Permeabilidad relativa	**Valores de k [$^{cm}/_{seg.}$]**	**Suelo Típico**
Muy permeables	$> 10^{-1}$	Grava gruesa
Permeabilidad media	10^{-1} a 10^{-3}	Arena Arena fina
Baja permeabilidad	10^{-3} a 10^{-5}	Arena limosa Arena sucia
Muy baja permeabilidad	10^{-5} a 10^{-7}	Limo
Impermeable	$< 10^{-7}$	Arcilla

CARTA DE PLASTICIDAD



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO: _____ Fecha: 18-09-06

MUESTRA: # 1 Para: _____

Fuente del Material: _____

Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2(1/2)"					
2"					
1(1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4					
No.4	224	44,8	44,8	55,20	
No.6					
No.8					
No 10	56	11,2	56	44,00	
No.12					
No.16					
No 20					
No 30					
No.40	78	15,6	71,6	28,4	
No.50					
No.60					
No.80					
No.100					
No.200	56	11,20	82,8	17,2	
No.					
Fondo	86	17,20	100	0	
Total	500	100			

$K = 5.16 \times 10^{-4}$ cm/seg.

Prueba por _____ Cálculo por _____

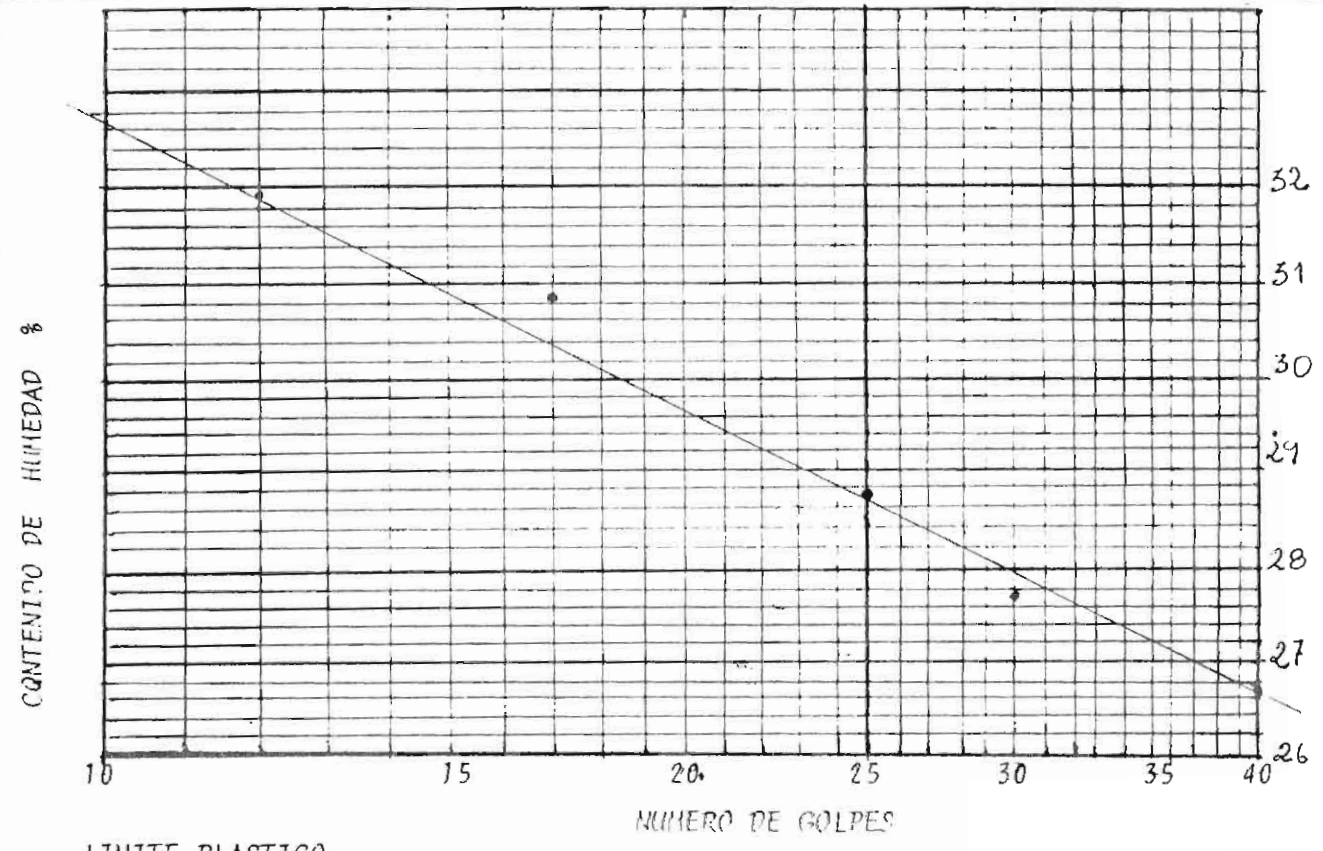
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO

PROYECTO : Fecha:
Exploración : Muestra: M1 Profundidad :

LIMITE LIQUIDO

Recipiente No.			55	243	101	74	220	307
Recipiente + peso húmedo,		gr.	13,95	23,24	23,76	26,89	25,4	29,5
Recipiente + peso seco,		gr.	12,06	19,26	19,79	22,38	21,31	24,3
Agua	Ww	gr.	1.89	3,98	3,97	4,51	4,09	5,2
Recipiente		gr.	6,14	6,38	5,93	6,12	5,98	6,35
Peso seco	WS	gr.	5,92	12,88	14,44	16,26	15,33	17,95
Contenido de humedad- w		%	31,93	30,90	28,61	27,74	26,68	28,97
Número de golpes			12	17	25	30	40	35



LIMITE PLASTICO

Recipiente No.				304	101	Humedad Natural
Rec.+Peso húmedo		gr.		13,1	14,36	
Rec.+Peso seco		gr.		12,21	13,0	
Agua	Ww	gr		1,19	1,36	
Recipiente		gr.		5,91	6,11	
Peso seco	WS	gr.		6,3	6,89	
Contenido de humedad w		%		18,81	19,73	
Límite Plástico				19,31		

WL = 28,77 %
WP = 19,31 %
IP = 9,46 %

SIMBOLO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD
Arena Arcillosa
SC

Operador: Calculado por:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO: _____ Fecha: 18-09-06

MUESTRA: #2 Para: _____

Fuente del Material: _____

Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2(1/2)"					
2"					
1(1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No.4	248	24,8	24,8	75,2	
No.6					
No.8					
No.10	80	8,0	32,8	67,2	
No.12					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40	210	21,0	53,8	46,2	
No.50					
No.60					
No.80					
No.100					
No.200	156	15,6	69,4	30,6	
No.					
Fondo	306	30,6	100	0	
Total	1000				

$K = 3.48 \times 10^{-4}$ cm/seg.

Prueba por _____ Cálculo por _____

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

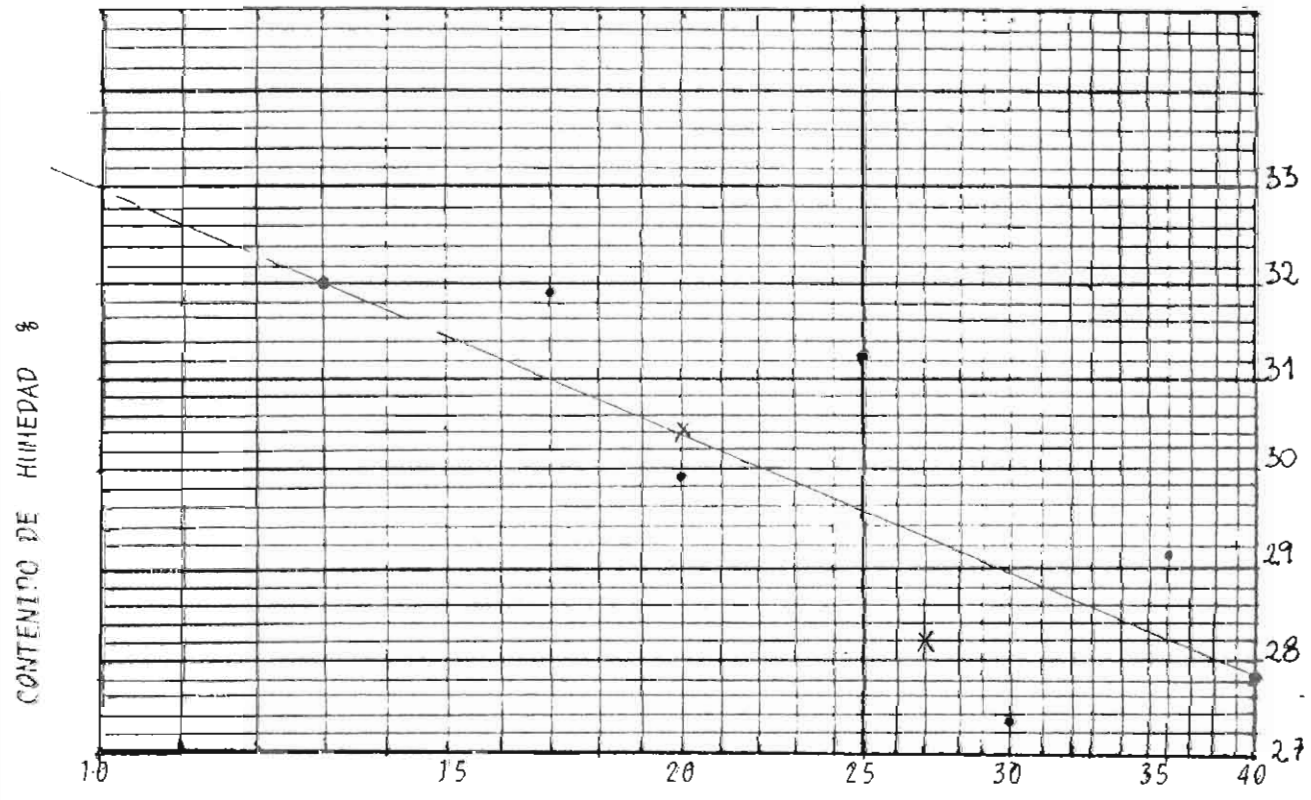
ENSAYO DE LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO

PROYECTO : Fecha:

Perforación : Muestra: # 2 Profundidad :

LIMITE LIQUIDO

Recipiente No.			59	202	107	1	62	115
Recipiente + peso húmedo		gr.	22,3	23,4	20,5	22,9	22,4	16,25
Recipiente + peso seco		gr.	18,34	19,44	17,06	19,28	18,78	14,03
Agua	Ww	gr.	3,96	3,96	3,44	3,62	3,62	2,22
Recipiente		gr.	5,92	6,9	6,06	6,02	6,33	6,05
Peso seco	WS	gr.	12,42	13,25	11	13,26	12,45	7,98
Contenido de humedad- w		%	31,88	29,89	31,21	27,30	29,08	27,82
Número de golpes			17	20	25	30	36	40



LIMITE PLASTICO

Recipiente No.				9	16	Humedad Natural
Rec. +Peso húmedo		gr.		15,42	15,2	
Rec. +Peso seco		gr.		13,74	13,68	
Agua	Ww	gr.		1,68	1,52	
Recipiente		gr.		6,01	6,03	
Peso seco	WS	gr.		7,73	6,65	
Contenido de humedad w		%		21,73	19,81	
Límite Plástico				20,8		

WL = 29,58 %

WP = 20,8 %

IP = 8,78 %

SIMBOLO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD

Arena Arcillosa SC

Operador: Calculado por: Verificado por:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO: _____ Fecha: _____
MUESTRA: #3 Para: _____

Fuente del Material: _____
Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3					
2(1/2)"					
2					
1(1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No.4	21,97	2,75	2,75	97,5	
No.6					
No.8					
No.10	15,22	1,90	4,65	95,35	
No.12					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40	108,43	13,55	18,2	81,8	
No.50					
No.60					
No.80					
No.100					
No.200	187,70	23,46	41,66	58,34	
No.					
Fondo	466,68	58,34	100	-	
Total	800,00				

$K = 1.65 \times 10^{-4}$ cm/seg

Prueba por _____ Cálculo por _____

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO

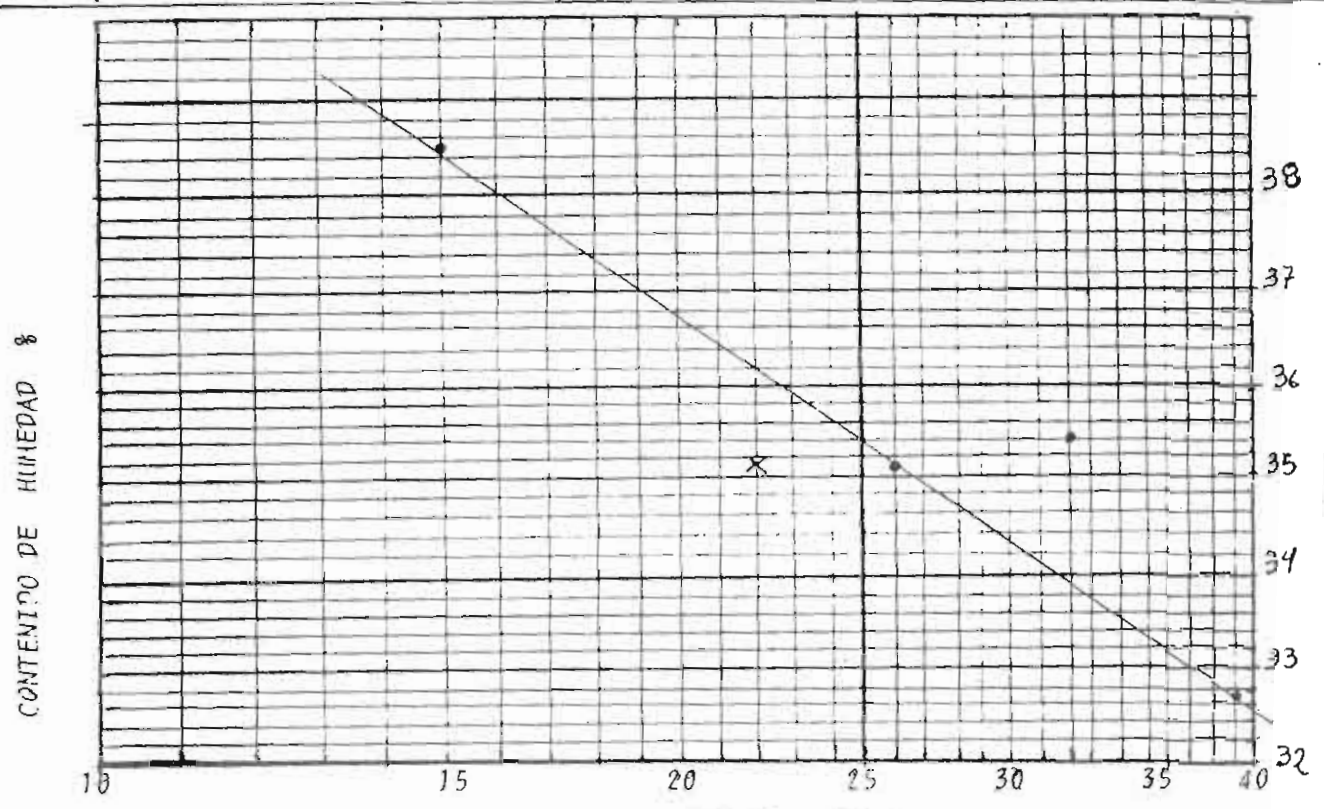
PROYECTO : Fecha:

Ubicación : Muestra: #3 Profundidad :

LIMITE LIQUIDO

1

Recipiente No.			9	135	11	93	61	23
Recipiente + peso húmedo		gr.	24,2	20,0	26,6	32,8	21,46	31,9
Recipiente + peso seco		gr.	19,14	16,63	21,28	25,86	17,50	26,81
Agua	Ww	gr.	5,06	3,37	5,32	6,94	3,96	5,09
Recipiente		gr.	6,00	6,23	6,14	6,29	6,23	11,26
Peso seco	WS	gr.	13,14	10,40	15,14	19,57	11,27	15,55
Contenido de humedad- w		%	38,51	32,40	35,14	35,46	35,14	32,73
Número de golpes			15	20	26	32	22	31



LIMITE PLASTICO

Recipiente No.				101	304	Humedad Natural
Rec.+Peso húmedo		gr.		10,32	9,49	
Rec.+Peso seco		gr.		9,58	8,85	
Agua	Ww	gr		0,74	0,64	
Recipiente		gr.		6,11	5,91	
Peso seco	WS	gr.		3,47	2,94	
Contenido de humedad w		%		21,33	21,77	
Límite Plástico				21,55		

WL = 35,75%

WP = 21,55 %

IP = 14,20%

SIMBOLO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD

Operador: Calculado por: Verificado por:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO: _____ Fecha: _____

MUESTRA: #4 - 6 Para: _____

Fuente del Material: _____

Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2(1/2)"					
2"					
1(1/2)"					
1"					
3/4					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No.4	5.2	1.04	1.04	98.96	
No.6					
No.8					
No.10	7.1	1.42	2.46	97.54	
No 12					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40	82.5	16.5	18.96	81.04	
No.50					
No.60					
No.80					
No.100					
No.200	95.0	19.00	37.96	62.04	
No.					
Fondo	310.2	62.04	100		
Total	500	100			

$K = 1.18 \times 10^{-5}$

Prueba por _____ Cálculo por _____

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

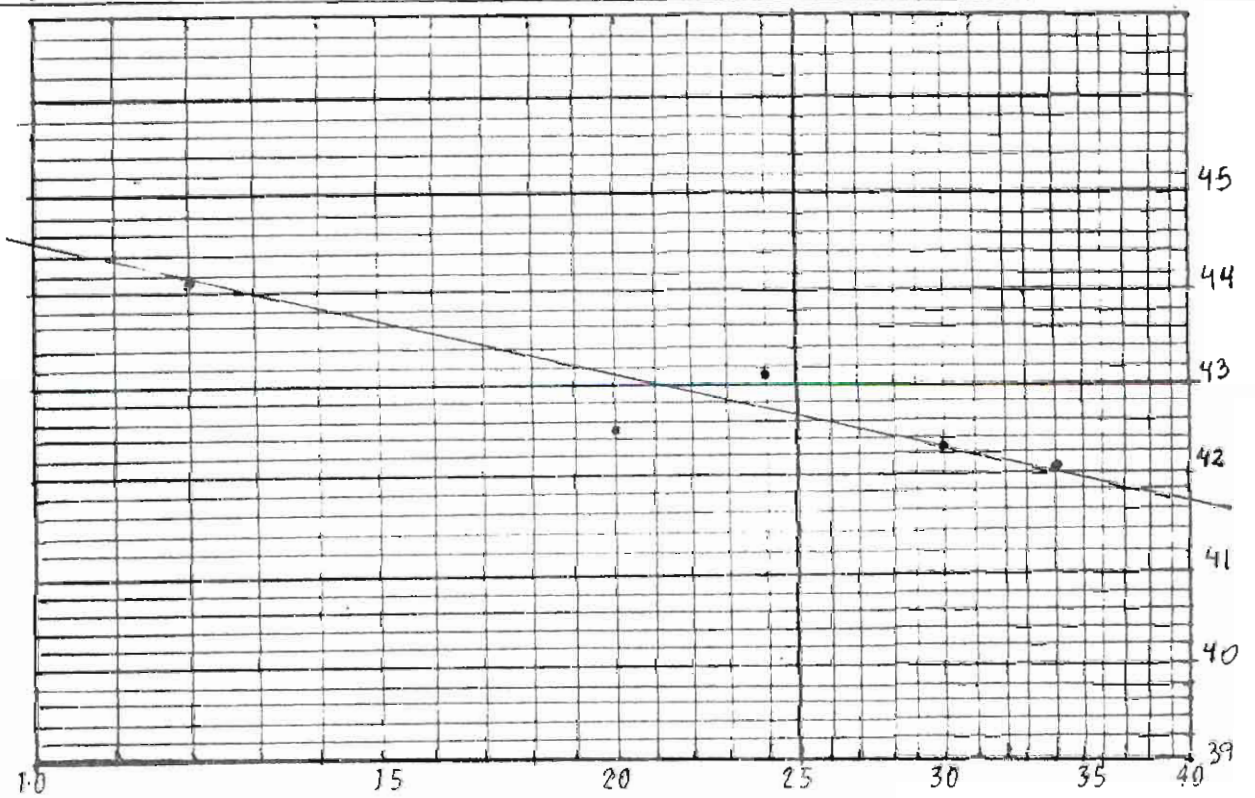
ENSAYO DE LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO

PROYECTO : Fecha:

Perforación : Muestra: #4 Profundidad :

LIMITE LIQUIDO

Recipiente No.			90	243	7	8	35	107
Recipiente + peso hámedo		gr.	20,59	21,50	22,53	20,5	23,36	21,55
Recipiente + peso seco,		gr.	16,18	16,99	17,56	16,3	18,29	17,16
Agua	Ww	gr.	4,41	4,51	4,97	4,2	5,07	4,39
Recipiente		gr.	6,19	6,39	6,04	6,38	6,26	11,09
Peso seco	WS	gr.	9,99	10,6	11.52	9,92	12,03	6,07
Contenido de humedad- w		%	44,14	42,55	43,14	42,34	42,14	39,59
Número de golpes			12	20	24	30	34	40



LIMITE PLASTICO

Recipiente No.				101	16	Humedad Natural
Rec.+Peso hímedo		gr.		11,27	9,92	
Rec.+Peso seco		gr.		10,44	9,26	
Agua	Ww	gr				
Recipiente		gr.		5,95	6,26	
Peso seco	WS	gr.				
Contenido de humedad w		%		18,49	22,00	
Límite Plástico					20,25	

WL = 42,68%

WP = 20,25 %

IP = 22,43%

SIMBOLO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD

Ch

Operador: Calculado por: Verificado por:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO: _____ Fecha: _____

MUESTRA: #5-10 Para: _____

Fuente del Material: _____

Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2(1/2)"					
2"					
1(1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No.4	2.0	0.4	0.4	99.6	
No.6					
No.8					
No.10	27.9	5.58	5.98	94.02	
No.12					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40	182.6	36.52	42.5	57.5	
No.50					
No.60					
No.80					
No.100					
No.200	104.1	20.82	63.32	36.68	
No.					
Fondo	183.4	36.68	100		
Total	500	100			

$k = 2.30 \times 10^{-5}$ cm/seg.

Prueba por _____ Cálculo por _____

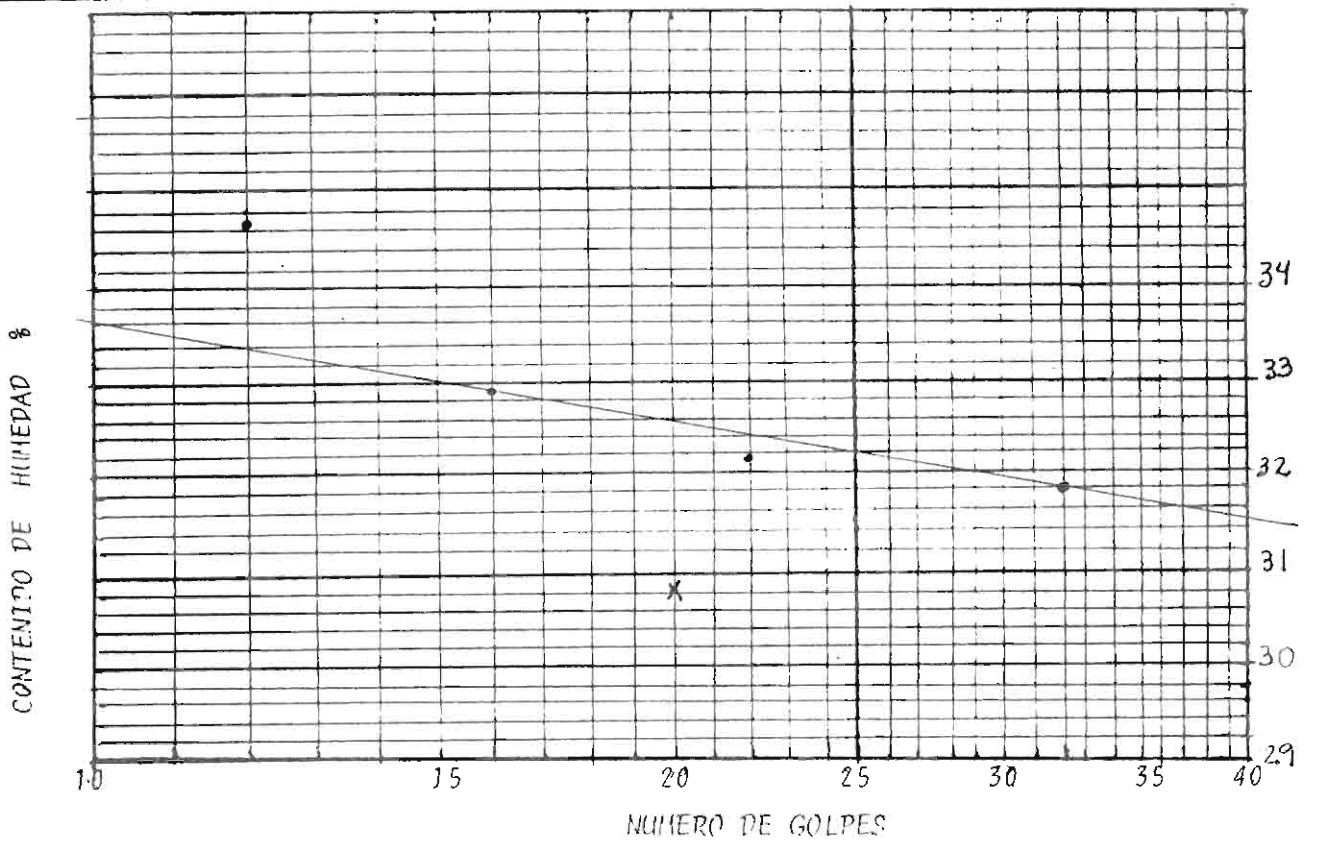
FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

ENSAYO DE LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO

PROYECTO : Fecha:

Exploración : Muestra: #5 Profundidad :

		LIMITE LIQUIDO 23,00	22,19	20,94	15,57	16,35	21,26
Recipiente No.		59	7	16	107	74	91
Recipiente + peso húmedo,	gr.	28,41	27,04	25,43	18,23	19,11	25,60
Recipiente + peso seco,	gr.	22,69	21,93	20,72	15,37	16,22	21,00
Agua	Ww gr.	5,72	5,11	4,71	2,86	2,89	4,6
Recipiente	gr.	5,94	6,16	6,03	6,07	6,12	5,87
Peso seco	WS gr.	16,5	15,54	14,68	8,99	9,96	14,93
Contenido de humedad- w	%	34,67	32,88	32,08	31,81	29,02	30,81
Número de golpes		12	18	22	32	36	20



LIMITE PLASTICO

			Humedad Natural
Recipiente No.	10	115	
Rec.+Peso húmedo gr.	7,86	9,32	
Rec.+Peso seco gr.	7,62	8,84	
Agua Ww gr			
Recipiente gr.	6,23	6,06	
Peso seco WS gr.			
Contenido de humedad w %	17,27/14,79	17,27/14,79	
Limite Plástico			
	7,65	8,9	

WL = 29,8 %

WP = 14,79 %

IP = 15,01 %

SIMBOLO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD

SC

Operador: Calculado por: Verificado por:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO: _____ Fecha: _____

MUESTRA: #6-2 Para: _____

Fuente del Material: _____

Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2(1/2)"					
2"					
1(1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
- No.4	50,7	10.14	10.14	89.86	
No.6					
No.8					
- No.10	26,9	5.38	15.52	84.48	
No.12					
No.16					
No.20					
No.30					
- No.40	91,7	18.34	33.86	66.14	
No 50					
No 60					
No 80					
No 100					
- No.200	127,50	25,5	59.36	40.64	
No.					
Fondo	203.2	40.64	100.00		
Total	500				

$K = 5.70 \times 10^{-4}$ cm/seg

Prueba por _____ Cálculo por _____

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

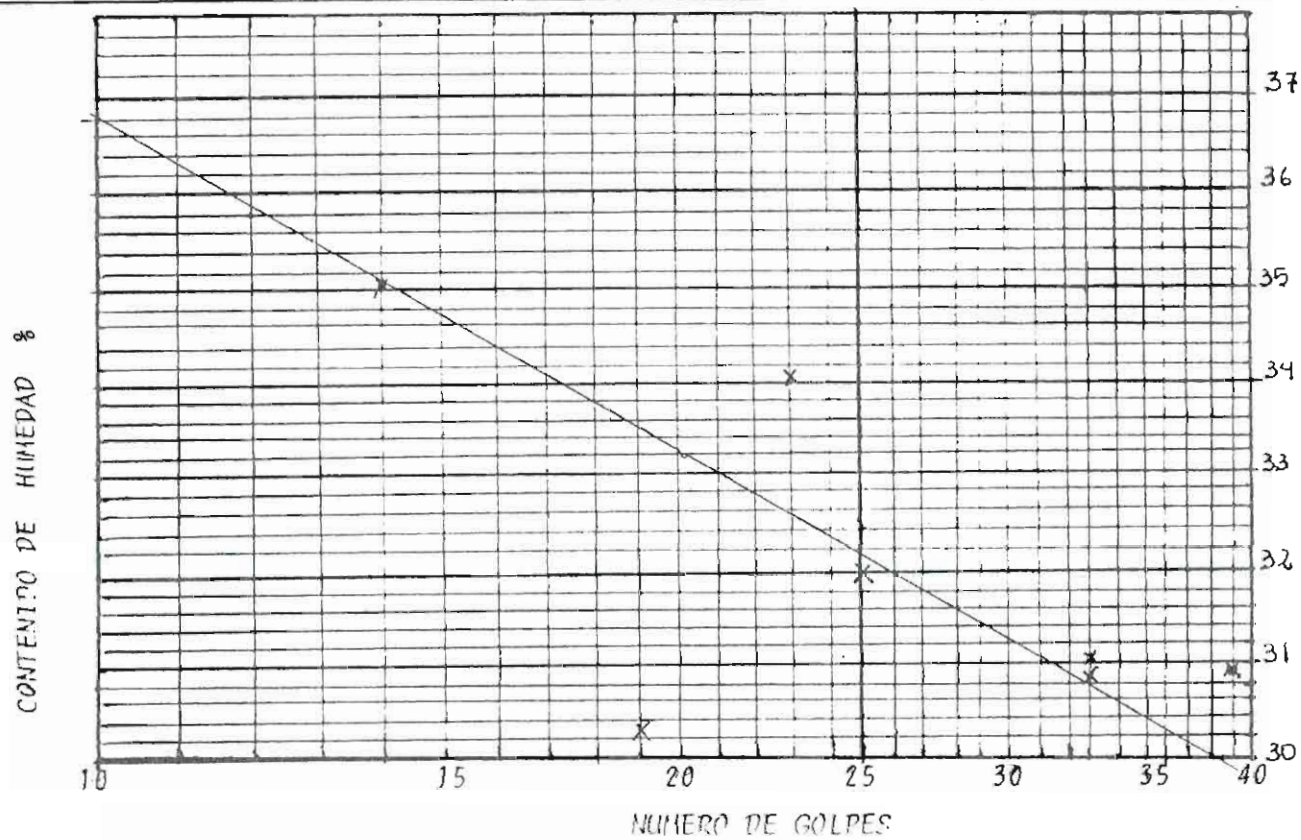
ENSAYO DE LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO

PROYECTO : Fecha:

Exploración : Muestra: #6 Profundidad :

LIMITE LIQUIDO

Recipiente No.			15	J	66	13	2	39
Recipiente + peso húmedo,		gr.	27,84	37,77	25,37	33,78	36,26	33,11
Recipiente + peso seco,		gr.	22,21	30,48	20,42	27,03	29,17	26,76
Agua	Ww	gr.	5,63					
Recipiente		gr.	6,18	6,30	5,90	5,94	6,16	6,04
Peso seco	Ws	gr.	16,03					
Contenido de humedad-	w	%	35,12	30,15	34,09	32,01	30,81	30,72
Número de golpes			14	19	23	25	33	34



LIMITE PLASTICO

Recipiente No.			59	35		Humedad Natural
Rec.+Peso húmedo		gr.	9,67	8,21		
Rec.+Peso seco		gr.	9,09	7,90		
Agua	Ww	gr				
Recipiente		gr.	5,93	6,27		
Peso seco	Ws	gr.				
Contenido de humedad	w	%	18,35	19,02		
Limite Plástico				18,69		

WL = 32,12%

WP = 18,69%

IP = 13,43%

SIMBOLO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD

Operador: Calculado por: Verificado por:

ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL

LABORATORIO DE MECANICA DE SUELOS

ANALISIS GRANULOMETRICO

PROYECTO: _____ Fecha: _____

MUESTRA: #7-8 Para: _____

Fuente del Material: _____

Descripción del Material: _____

Tamiz	Peso Parcial	% Retenido	% Retenido Acumulado	% Pasante Acumulado	Especificaciones
3"					
2(1/2)"					
2"					
1(1/2)"					
1"					
3/4"					
1/2"					
3/8"					
1/4"					
No.4	67.1	13,42	13.42	86 58	
No.6					
No.8					
No.10	15,0	3.00	16 42	83.58	
No.12					
No.16					
No.20					
No.30					
No.40	61,4	12,28	28.7	71 30	
No.50					
No.60					
No.80					
No.100					
No.200	101.5	20 3	49	51 00	
No.					
Fondo	255	51	100		
Total	500				

$K = 4.09 \times 10^{-4}$ cm/seg

Prueba por _____ Cálculo por _____

FACULTAD DE INGENIERIA EN CIENCIAS DE LA TIERRA
LABORATORIO DE SUELOS Y RESISTENCIA DE MATERIALES

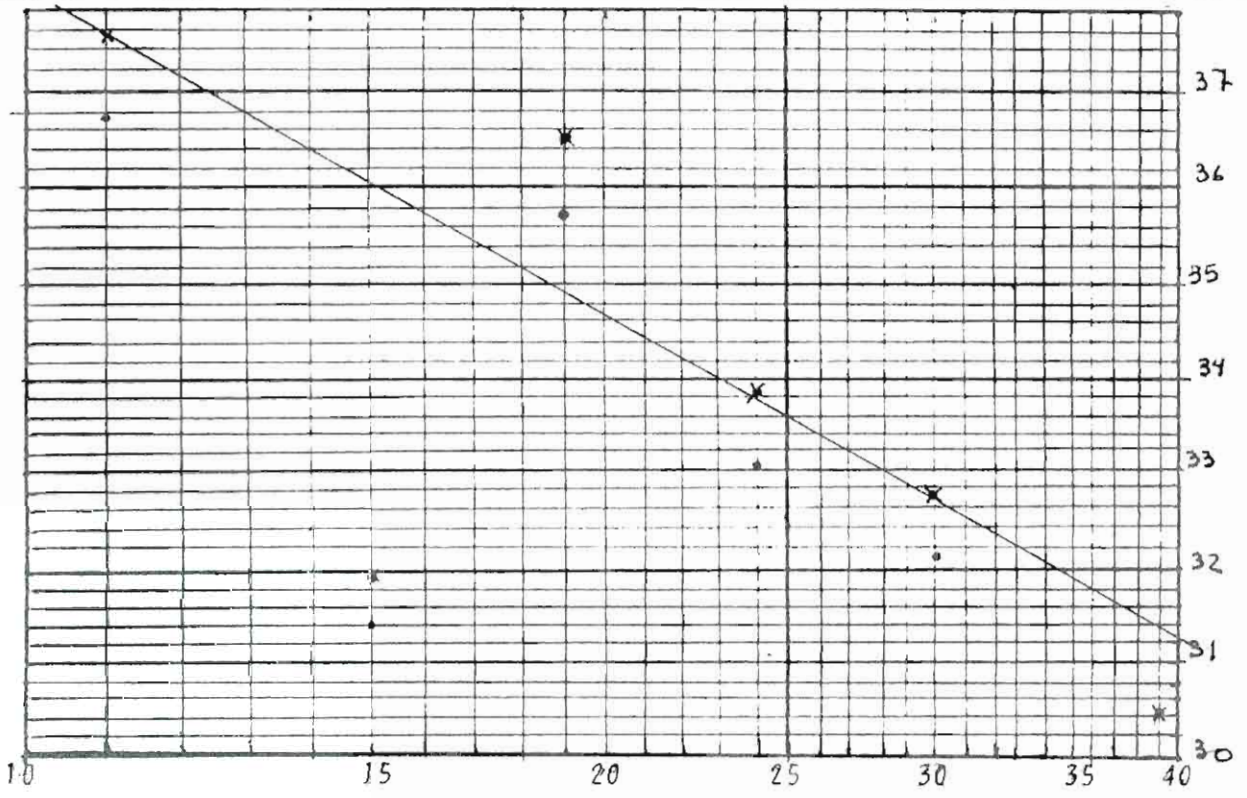
ENSAYO DE LIMITES LIQUIDO Y PLASTICO

PROYECTO : Fecha:

Exploración : Muestra: #7 Profundidad :

LIMITE LIQUIDO

Recipiente No.			243	1	107	101	10	91
Recipiente + peso húmedo		gr.	20,74	25,47	18,48	19,67	22,71	24,06
Recipiente + peso seco,		gr.	16,82	20,76	15,16	16,20	18,65	19,80
Agua	Ww	gr.	88	84	22	26	71	86
Recipiente		gr.	6,38	6,02	6,08	5,94	6,24	5,88
Peso seco	WS	gr.	36,76	31,24	35,67	33,01	32,08	30,04
Contenido de humedad- w		%	37,55	31,95	36,56	33,82	32,72	30,60
Número de golpes			11	15	19	24	30	39



LIMITE PLASTICO

Recipiente No.			7	115	16	Humedad Natural
Rec.+Peso húmedo		gr.	7,38	9,50	8,99	
Rec.+Peso seco		gr.	7,17	8,91	8,49	
Agua	Ww	gr.				
Recipiente		gr.	6,16	6,05	6,03	
Peso seco	WS	gr.				
Contenido de humedad w		%	20,79	20,63	20,33	
Limite Plástico				20,58		

WL = 33,60 %

WP = 20,58 %

IP = 13,02 %

SIMBOLO DE LA CARTA DE PLASTICIDAD

Operador: Calculado por: Verificado por:

A P E N D I C E C

Tabla 1.- Número de curva de escorrentia para areas urbanas-Promedio de la condicion de humedad antecedente AMC II e Ia=0,2S

Tipo de Cobertura y condición hidrológica	% Promedio áreas impermeables [1]	A	B	C	D
		Número de curva			
Areas urbanas totalmente desarrolladas(vegetación ya establecida)					
Espacios abiertos(prados, parques, campos de golf, cementerios, etc)[2]					
Condición pobre(menos del 50 % cubierto de pasto)		68	79	86	89
Condición regular(del 50 % al 75% cubierto de pasto)		49	69	49	84
Condición buena(más del 75% cubierta de pasto)		39	61	74	80
Areas impermeables:					
Parqueaderos pavimentados, techos, autopistas, etc.(excluyendo derecho de vía)		98	98	98	98
Calles y caminos: Pavimentados		98	98	98	98
Pavimentadas; zanjas abiertas(incluyendo derecho de vía)		83	89	92	93
Grava(incluyendo derecho de vía)		76	85	89	91
Tierra(incluyendo derecho de vía)		72	82	87	89
Areas desiertas urbanas occidentales					
Paisajes desérticos naturales(solamente áreas permeables)[3]		63	77	85	88
Paisajes desérticos artificiales(barrera impermeable de maleza, arbustos de desierto con 1 a 2 pulg de diametro; cubierta de arena o grava y orillas de áreas húmedas)		96	96	96	96
Areas urbanas.		89	92	94	95
Coemercial y de negocios	85	81	88	91	93
Industrial	72				
Areas residenciales por promedio del tamaño del lote:		77	85	90	92
1/8 acre o menos	65	61	75	83	87
1/4 acre	38	57	72	81	86
1/3 acre	30	54	70	80	85
1/2 acre	25	51	68	79	84
1 acre	20	46	65	77	82
2 acre	12				
Areas urbanas desarrolladas					
Areas recientemente conformadas(solamente áreas permeables, sin vegetación)		77	60	73	79

[1] El porcentaje promedio de área impermeable muestrada fue empleado para desarrollar el conjunto de CNs. Otras suposiciones son las siguientes. áreas impermeables están directamente conectadas con el sistema de drenaje, áreas impermeables tienen

[2] CNs mostrados son equivalentes a aquellos de pastos. CNs compuestos pueden ser calculados para otras combinaciones de tipo de cobertura de espacios abiertos

[3] Los CNs de áreas permables se supones equivalentes a arbustos de desierto con una condición hidrologica pobre

A P E N D I C E C

Tabla 2 Número de curva de escorrentía de otras tierras agrícolas- Condición de humedad antecedente promedio AMC II e la =0 2S.

Descripción y tipo de cobertura	Condición hidrológica	Numero de curva para grupos de suelos hidrológicos			
		A	B	C	D
Pastos, forraje para pastoreo[1]	Mala	68	79	86	89
	Regular	49	69	79	84
	Buena	39	61	74	80
Prados continuos, protegidos de pastoreo, y generalmente segado para heno.	–	30	58	71	78
Maleza mezclada con pasto de semilla, con la maleza como principal elemento[2]	Mala	48	67	77	83
	Regular	35	56	70	77
	Buena	30	48	65	73
Combinación de bosques y pastos (huertas o granjas con árboles)[3]	Mala	57	73	82	86
	Regular	43	65	76	32
	Buena	32	58	72	79
Bosques[4]	Mala	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Buena	30	55	70	77
Predios de granjas, construcciones, veredas, caminos y lotes circundantes	—	59	74	82	86

[1] Mala. menos del 50% del suelo cubierto con pastoreo intensivo sin maleza.
Regular 50 a 75% del suelo cubierto y un pastoreo no muy intensivo
Buena: más del 75% del suelo cubierto y un pastoreo ocasional a hgero

[2] Mala. menos del 50% del suelo cubierto
Regular: 50 a 75% del suelo cubierto.
Buena: más del 75% del suelo cubierto.

[3] Los CNs mostrados se calcularon para áreas con 50% bosques y 50% cubiertas con pastos. Otras combinaciones pueden ser calculadas de CNs para bosques y pastos

[4] Mala Humus vegetal, pequeños árboles y maleza destruida por pastoreo intensivo, y quemas regulares
Regular Bosques con pastoreo pero no quemados, suelo cubierto por humus vegetal.
Buena. Bosques protegidos del pastoreo, y el suelo cubierto adecuadamente por humus vegetal

[5] Número de curva actual menor a 30. Emplear CN=30 para cálculos de escorrentia.

A P E N D I C E C

Tabla 3.- Valores del coeficiente de escorrentía. C.	
TIPO DE ÁREA DE DRENAJE	COEFICIENTE DE ESCORRIENTE, C
PRADOS:	
Suelos arenosos, planos, 2%	0.05-0.10
Suelos arenosos, promedio 2-7%	0.15-0.20
Suelos pesados, planos, 2%	0.13-0.17
Suelos pesados, promedio, 2-7%	0.18-0.22
Suelos pesados, pendientes, 7%	0.25-0.35
DISTRITOS COMERCIALES:	
Áreas de centro de ciudad	0.70-0.95
Áreas vecinas	0.50-0.70
RESIDENCIAL	
Áreas casas individuales separadas	0.30-0.50
Casas multifamiliares separadas	0.40-0.60
Casas multifamiliares unidas	0.60-0.75
Suburbana	0.25-0.40
Áreas de apartamentos de vivienda	0.50-0.70
INDUSTRIAL	
Áreas livianas	0.50-0.80
Áreas pesadas	0.60-0.90
PARQUES CEMENTERIOS	0.10-0.25
CAMPOS DE JUEGOS	0.20-0.35
ÁREAS DE PATIOS DE FERROCARRILES	0.20-0.40
ÁREAS NO DESARROLLADAS	0.10-0.30
CALLES:	
Asfaltadas	0.70-0.95
Concreto	0.80-0.95
Ladrillo	0.70-0.85
CALZADAS Y ALAMEDAS	0.75-0.85
TECHOS	0.75-0.95

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

4 de Marzo de 1997 07H50

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	1.2	1.2					
10	6.0	4.8	4.8				
20	16.0	10.0	10.0	14.8			
30	23.0	7.0	7.0	17.0	21.8		
40	30.0	7.0	7.0	14.0	24.0		
50	37.0	7.0	7.0	14.0	21.0		
60	43.0	6.0	6.0	13.0	20.0	41.8	
70	46.5	3.5	3.5	9.5	16.5	40.5	
80	47.7	1.2	1.2	4.7	10.7	31.7	
90	47.9	0.2	0.2	1.4	4.9	24.9	
100	49.0	1.1	1.1	1.3	2.5	19.0	
110	51.9	2.9	2.9	4.0	4.2	14.9	
120	52.6	0 7	0.7	3.6	4.7	9.6	51.4
130	52.9	0.3	0.3	1.0	3.9	6.4	46.9
140	53.6	0.7	0.7	1.0	1.7	5.9	37.6
150	54.5	0.9	0.9	1.6	1.9	6.6	31.5
160	55.5	1.0	1.0	1.9	2.6	6.5	25.5
170	56.2	0.7	0.7	1.7	2.6	4.3	19.2
180	56.6	0.4	0.4	1.1	2.1	4.0	13.6
190	56.8	0.2	0.2	0.6	1.3	3.9	10.3
200	57.1	0.3	0.3	0.5	0.9	3.5	9.4
210	57.2	0.1	0.1	0.4	0.6	2.7	9.3
220	57.2	0.0	0.0	0.1	0.4	1.7	8.2
230	57.2	0.0	0.0	0.0	0.1	1.0	5.3
240	57.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	4.6
250	57.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	4.3
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**10.0**	**17.0**	**24.0**	**41.8**	**51.4**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**60.0**	**51.0**	**48.0**	**41.8**	**25.7**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

15 de Marzo de 1997 18H00
16 de Marzo de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	*6.4*	*6.4*					
10	7.9	1.5	1.5				
20	8.3	0.4	0.4				
30	15.5	7.2	7.2	7.6			
40	21.0	5.5	5.5	12.7	13.1		
50	26.7	5.7	5.7	11.2	18.4		
60	35.8	9.1	9 1	14.8	20.3		
70	42.0	6.2	6.2	15.3	21.0	34.1	
80	48.0	6.0	6.0	12.2	21.3	39.7	
90	55.0	7.0	7.0	13.0	19.2	39.5	
100	58.5	3.5	3.5	10.5	16.5	37.5	
110	62.2	3.7	3.7	7.2	14.2	35.5	
120	64.3	2.1	2.1	5.8	9.3	28.5	57.9
130	65.0	0.7	0.7	2.8	6.5	23.0	57.1
140	65.3	0.3	0.3	1.0	3.1	17.3	57.0
150	65.5	0.2	0.2	0.5	1.2	10.5	50.0
160	66.5	1.0	1.0	1.2	1.5	8.0	45.5
170	68.2	1.7	1.7	2.7	2.9	6.0	41.5
180	71.0	2.8	2.8	4.5	5 5	6.7	35.2
190	78.7	7.7	7.7	10.5	12.2	13.7	36.7
200	83.5	4.8	4.8	12.5	15.3	18.2	35.5
210	87.5	4.0	4.0	8.8	16.5	22.0	32.5
220	90.9	3.4	3.4	7.4	12.2	24.4	32.4
230	91.9	1.0	1.0	4.4	8.4	23.7	29.7
240	92.5	0.6	0.6	1.6	5.0	21.5	28.2
250	92.7	0.2	0.2	0.8	1.8	14.0	27.7
260	92.8	0.1	0.1	0.3	0.9	9.3	27.5
270	92.9	0.1	0.1	0.2	0.4	5.4	27.4
280	93.2	0.3	0.3	0.4	0.5	2.3	26.7
290	93.3	0.1	0.1	0.4	0.5	1.4	25.1
300	93.4	0 1	0.1	0.2	0.5	0.9	22.4
310	93.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.8	14.8
320	93.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	10.0
330	93.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	6.1
340	93.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	2.7
350	93.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	1.7
360	93.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1
370	93.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	1.0
380	93.7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.9

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

15 de Marzo de 1997 18H00
16 de Marzo de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
390	*93.8*	*0.1*	*0.1*	*0.1*	*0.2*	*0.2*	*0.9*
400	93.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.6
410	93.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5
420	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
430	93.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**9.1**	**15.3**	**21.3**	**39.7**	**57.9**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**54.6**	**45.9**	**42.6**	**39.7**	**29.0**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

19 de Marzo de 1997 16H20
20 de Marzo de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	0.3	0.3					
10	2.5	2.2	2.2				
20	7.5	5.0	5.0	7.2			
30	14.5	7.0	7.0	12.0	14.2		
40	17.8	3.3	3.3	10.3	15.3		
50	18.9	1.1	1.1	4.4	11.4		
60	19.0	0 1	0.1	1.2	4.5	18.7	
70	19.0	0.0	0.0	0.1	1.2	16.5	
80	19.0	0.0	0.0	0.0	0.1	11.5	
90	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	
100	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	
110	19.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
120	19.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	18.9
130	19.3	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3	16.8
140	19.4	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4	11.9
150	19.5	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	5.0
160	19.6	0.1	0.1	0.2	0.3	0.6	1.8
170	19.6	0.0	0.0	0.1	0.2	0.6	0.7
180	19.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4	0.6
190	19.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	0.7
200	19.7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.7
210	19.8	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.8
220	19.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.8
230	19.9	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.9
240	19.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.7
250	20.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	0.7
260	20.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.6	0.9
270	20.4	0.1	0.1	0.4	0.5	0.6	0.9
280	21.5	1.1	1.1	1.2	1.5	1.7	1.9
290	25.0	3.5	3.5	4.6	4.7	5.1	5.4

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

19 de Marzo de 1997 16H20
20 de Marzo de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
300	27.3	2.3	2.3	5.8	6.9	7.4	7.7
310	28.0	0.7	0.7	3.0	6.5	8.0	8.3
320	28.5	0.5	0.5	1.2	3.5	8.2	8.8
330	28.7	0.2	0.2	0.7	1.4	8.3	8.9
340	29.0	0.3	0.3	0.5	1.0	7.5	9.2
350	29.2	0.2	0.2	0.5	0.7	4.2	9.3
360	29.2	0.0	0 0	0.2	0.5	1 9	9.3
370	29.3	0.1	0.1	0.1	0.3	1.3	9.3
380	29.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8	9.0
390	29.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	9.0
400	29.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	7.9
410	29.7	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	4.7
420	30.1	0.4	0.4	0.7	0.7	0.9	2.8
430	30.2	0.1	0.1	0.5	0.8	0.9	2.2
440	30.4	0.2	0.2	0.3	0.7	1.1	1.9
450	30.5	0.1	0.1	0.3	0.4	1.1	1.8
460	30.6	0.1	0.1	0.2	0.4	1.2	1.6
470	30.7	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0	1.5
480	30.8	0.1	0.1	0.2	0.3	0.7	1.6
490	30.9	0.1	0.1	0.2	0.3	0.7	1.6
500	30.9	0.0	0.0	0.1	0.2	0.5	1.6
510	33.0	2.1	2.1	2.1	2.2	2.5	3.6
520	33.5	0.5	0.5	2.6	2.6	2.9	4.1
530	35.4	1.9	1.9	2.4	4.5	4.7	5.7
540	35.7	0.3	0.3	2.2	2.7	4.9	5.6
550	35.9	0.2	0.2	0.5	2.4	5.0	5.7
560	36.2	0.3	0.3	0.5	0.8	5.3	5.8
570	36.7	0.5	0.5	0.8	1.0	3.7	6.2
580	37.7	1.0	1.0	1.5	1.8	4.2	7.1
590	38.5	0.8	0.8	1.8	2.3	3.1	7.8
600	39.0	0.5	0.5	1.3	2.3	3.3	8.2
610	40.3	1.3	1.3	1.8	2.6	4.4	9.4
620	41.1	0.8	0.8	2.1	2.6	4.9	10.2
630	42.0	0.9	0.9	1.7	3.0	5.3	9.0
640	42.8	0.8	0.8	1.7	2.5	5.1	9.3
650	43.4	0.6	0.6	1.4	2.3	4.9	8.0
660	43.9	0.5	0.5	1.1	1.9	4.9	8.2
670	44.1	0.2	0.2	0.7	1.3	3.8	8.2
680	44.4	0.3	0.3	0.5	1.0	3.3	8.2

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

19 de Marzo de 1997 16H20
20 de Marzo de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
690	44.6	0.2	0.2	0.5	0.7	2.6	7.9
700	45.0	0.4	0.4	0.6	0.9	2.2	7.3
710	45.5	0.5	0.5	0.9	1.1	2.1	7.0
720	45.8	0.3	0.3	0.8	1.2	1.9	6.8
730	46.6	0.8	0.8	1.1	1.6	2.5	6.3
740	47.2	0.6	0.6	1 4	1.7	2.8	6.1
750	47.6	0.4	0.4	1.0	1.8	3.0	5.6
760	48.5	0.9	0.9	1 3	1.9	3.5	5.7
770	49.0	0.5	0.5	1.4	1.8	3.5	5.6
780	50.2	1.2	1.2	1.7	2.6	4.4	6.3
790	52.3	2.1	2.1	3.3	3.8	5.7	8.2
800	53.6	1.3	1.3	3.4	4.6	6.4	9.2
810	54.0	0.4	0.4	1.7	3.8	6.4	9.4
820	54.2	0.2	0.2	0.6	1.9	5.7	9.2
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**7.0**	**12.0**	**15.3**	**18.7**	**18.9**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**42.0**	**36.0**	**30.6**	**18.7**	**9.5**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

25 de Marzo de 1997 02H00 PRECIPITACION ANTECEDENTE 31,5 mm

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	2.3	2.3					
10	2.5	0.2	0.2				
20	2.5	0.0	0.0	0.2			
30	2.5	0.0	0.0	0.0	0.2		
40	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0		
50	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0		
60	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	
70	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
80	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
90	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
100	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
110	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
120	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
130	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
140	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
150	2.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
160	2.7	0.0	0.0	0.2	0.2	0.2	0 2
170	2.8	0.1	0.1	0.1	0.3	0.3	0.3
180	2.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	0.3
190	2.9	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	0.4
200	3 0	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	0.5
210	3.1	0.1	0 1	0.2	0.3	0.4	0.6
220	3.1	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.6
230	3.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.6
240	4.5	1.4	1.4	1.4	1.4	1.7	2.0
250	20.0	15.5	15.5	16.9	16.9	17.1	17.5
260	31.5	11.5	11.5	27.0	28.4	28.5	29.0
270	36.6	5.1	5.1	16.6	32.1	33.5	33.9
280	39.5	2.9	2.9	8 0	19.5	36.4	36.8
290	42.1	2.6	2.6	5.5	10.6	39.0	39.3

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

25 de Marzo de 1997 02H00 PRECIPITACION ANTECEDENTE 31,5 mm

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
300	45.7	3.6	3.6	6.2	9.1	41.2	42.9
310	46.8	1.1	1.1	4.7	7.3	26.8	43.9
320	48.3	1.5	1.5	2.6	6.2	16.8	45.3
330	49.5	1.2	1.2	2.7	3.8	12.9	46.4
340	51.2	1.7	1.7	2.9	4.4	11.7	48.1
350	53.2	2.0	2.0	3.7	4.9	11.1	50.1
360	61.3	8.1	8.1	10.1	11.8	15.6	56.8
370	64.8	3.5	3.5	11.6	13.6	18.0	44.8
380	75.0	10.2	10.2	13.7	21.8	26.7	43.5
390	82.5	7.5	7.5	17.7	21.2	33.0	45.9
400	92.5	10.0	10.0	17.5	27.7	41.3	53.0
410	102.5	10.0	10.0	20.0	27.5	49.3	60.4
420	113.0	10.5	10.5	20.5	30.5	51.7	67.3
430	122.8	9.8	9.8	20.3	30.3	58.0	76.0
440	133.5	10.7	10.7	20.5	31.0	58.5	85.2
450	147.5	14.0	14.0	24.7	34.5	65.0	98.0
460	157.0	9.5	9.5	23.5	34.2	64.5	105.8
470	165.0	8.0	8.0	17.5	31.5	62.5	111.8
480	167.0	2.0	2.0	10.0	19.5	54.0	105.7
490	170.5	3.5	3.5	5.5	13.5	47.7	105.7
500	171.6	1.1	1.1	4.6	6.6	38.1	96.6
510	172.1	0.5	0.5	1.6	5.1	24.6	89.6
520	173.1	1.0	1.0	1.5	2.6	16.1	80.6
530	174.6	1.5	1.5	2.5	3.0	9.6	72.1
540	175.2	0.6	0.6	2.1	3.1	8.2	62.2
550	176.1	0.9	0.9	1.5	3.0	5.6	53.3
560	177.3	1.2	1.2	2.1	2.7	5.7	43.8
570	178.2	0.9	0.9	2.1	3.0	6.1	30.7
580	178.9	0.7	0.7	1.6	2.8	5.8	21.9
590	179.3	0.4	0.4	1.1	2.0	4.7	14.3
600	179.5	0.2	0.2	0 6	1.3	4.3	12.5
610	179.5	0.0	0.0	0.2	0.6	3.4	9.0
620	179.7	0.2	0.2	0.2	0.4	2.4	8.1
630	180.0	0 3	0.3	0.5	0.5	1.8	7.9
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**15.5**	**27.0**	**34.5**	**65.0**	**111.8**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**93.0**	**81.0**	**69.0**	**65.0**	**55.9**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

12 de Abril de 1997 16h30

TIEMPO	LLUVIA		DURACION			
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1
min	mm	mm	min	min	min	hora
0	0.1	0.1				
10	3.0	2.9	2.9			
20	7.7	4.7	4.7	7.6		
30	8.6	0.9	0.9	5.6	8.5	
40	9.0	0.4	0.4	1.3	6.0	
50	9.2	0.2	0.2	0.6	1.5	
60	9.4	0.2	0.2	0.4	0.8	9.3
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**4.7**	**7.6**	**8.5**	**9.3**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**28.2**	**22.8**	**17.0**	**9.3**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

13 de Abril de 1997 19h05
14 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	0.0	0.0					
10	5.9	5.9	5.9				
20	6.5	0.6	0.6				
30	6.6	0.1	0.1	0.7			
40	6.7	0.1	0.1	0.2	0.8		
50	6.7	0 0	0.0	0.1	0.2		
60	6.7	0.0	0.0	0.0	0.1		
70	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	
80	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	
90	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
100	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
110	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
120	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
130	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
140	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
150	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
160	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
170	6.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
180	6.8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
190	6.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
200	6.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
210	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
220	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
230	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
240	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
250	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
260	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
270	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
280	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
290	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

13 de Abril de 1997 **19h05**
14 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
300	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
310	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
320	7.0	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
330	7.3	0.3	0.3	0.5	0.5	0.5	0.5
340	7.3	0.0	0.0	0.3	0.5	0.5	0.5
350	7.4	0.1	0.1	0.1	0.4	0.6	0.6
360	7.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.7	0.7
370	7.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	0.7
380	7.6	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	0.8
390	7.8	0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	1.0
400	8.6	0.8	0.8	1.0	1.1	1.3	1.8
410	9.3	0.7	0.7	1.5	1.7	1.9	2.5
420	9.6	0.3	0.3	1 0	1.8	2 1	2 8
430	9.8	0.2	0.2	0.5	1.2	2.3	3.0
440	9.9	0.1	0.1	0 3	0.6	2.3	2.9
450	10.1	0.2	0.2	0.3	0.5	2.3	2.8
460	10.4	0.3	0.3	0.5	0.6	1.8	3.1
470	10.5	0.1	0.1	0 4	0.6	1.2	3.1
480	10.7	0.2	0.2	0.3	0.6	1.1	3.2
490	10.9	0.2	0.2	0.4	0.5	1.1	3.4
500	11.0	0.1	0.1	0.3	0.5	1.1	3.4
510	11.1	0.1	0.1	0.2	0.4	1.0	3.3
520	11.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.8	2.6
530	11.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	1.9
540	11.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.6
550	11.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4	1.5
560	11.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	1.4
570	11.3	0.0	0 0	0.0	0.1	0.2	1.2
580	11.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	1.0
590	11.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	0.9

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

13 de Abril de 1997 **19h05**
14 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
600	11.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7
610	11.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.6
620	11.6	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.6
630	11.6	0.0	0.0	0.1	0.2	0.3	0.5
640	11.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4
650	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
660	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
670	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3
680	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
690	11.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
700	11.8	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.4
710	12.0	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.6
720	12.0	0.0	0.0	0.2	0.4	0.4	0.6
730	12.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.5	0.6
740	12.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	0.5
750	12.1	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	0.5
760	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.5
770	12.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5
780	12.7	0.6	0.6	0.6	0.6	0.7	1.1
790	13.6	0.9	0.9	1.5	1.5	1.5	2.0
800	14.2	0.6	0.6	1.5	2.1	2.1	2.6
810	14.4	0.2	0.2	0.8	1.7	2.3	2.8
820	14.5	0.1	0.1	0.3	0.9	2.4	2.7
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**5.9**	**1.5**	**2.1**	**2.4**	**3.4**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**35.4**	**4.5**	**4.2**	**2.4**	**1.7**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

14 de Abril de 1997 19h50
15 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	2.4	2.4					
10	5.0	2.6	2.6				
20	7.0	2.0	2.0	4.6			
30	7.1	0.1	0.1	2.1	4.7		
40	7.1	0.0	0.0	0.1	2.1		
50	7.1	0.0	0.0	0.0	0.1		
60	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	
70	7.2	0.1	0.1	0.1	0.1	2.2	
80	7.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	
90	7.3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	
100	7.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	
110	7.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	
120	7.6	0.3	0.3	0 3	0.3	0.5	5 2
130	9.3	1.7	1.7	2.0	2.0	2.1	4.3
140	10.5	1 2	1 2	2.9	3.2	3.3	3.5
150	10.7	0.2	0.2	1.4	3.1	3.4	3.6
160	11.0	0.3	0.3	0.5	1.7	3.7	3.9
170	11.2	0.2	0.2	0.5	0.7	3.9	4.1
180	11.2	0.0	0.0	0.2	0.5	3.6	4.1
190	11.3	0.1	0.1	0.1	0.3	2.0	4.1
200	11.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8	4.1
210	11.4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	4.1
220	11.4	0 0	0.0	0.1	0.1	0.4	4.1
230	11.5	0.1	0.1	0.1	0.2	0.3	4.2
240	11.5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	3.9
250	11.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	2.2
260	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0
270	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8
280	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

14 de Abril de 1997 **19h50**
15 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
290	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
300	11.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
310	11.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
320	11.7	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4
330	11.8	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4
340	11.9	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5
350	12.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.6	0.6
360	12.4	0.3	0.3	0.5	0.6	0.9	0.9
370	12.6	0.2	0.2	0.5	0.7	1.0	1.1
380	13.0	0.4	0.4	0.6	0.9	1.3	1.5
390	13.4	0.4	0.4	0.8	1.0	1.6	1.9
400	13.7	0.3	0.3	0.7	1.1	1.8	2.2
410	14.3	0.6	0.6	0.9	1.3	2.2	2.8
420	15.1	0.8	0.8	1.4	1.7	2.7	3.6
430	15.7	0.6	0.6	1 4	2.0	3.1	4.1
440	16.3	0.6	0.6	1.2	2.0	3.3	4.6
450	16.9	0.6	0.6	1.2	1.8	3.5	5.1
460	17.4	0.5	0.5	1.1	1.7	3.7	5.5
470	18.0	0.6	0.6	1.1	1.7	3.7	5 9
480	18.2	0.2	0.2	0.8	1.3	3.1	5.8
490	18.5	0.3	0.3	0.5	1.1	2.8	5.9
500	18.5	0.0	0.0	0.3	0.5	2.2	5.5
510	18.6	0.1	0.1	0.1	0.4	1.7	5.2
520	18.7	0.1	0.1	0.2	0.2	1.3	5.0
530	18.9	0.2	0.2	0.3	0.4	0.9	4.6
540	19.1	0.2	0.2	0.4	0.5	0.9	4.0
550	19.2	0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	3.5
560	19.3	0.1	0.1	0.2	0.4	0.8	3.0
570	19.4	0.1	0.1	0.2	0.3	0.8	2.5
580	19.7	0.3	0.3	0.4	0.5	1.0	2.3
590	20.0	0.3	0.3	0.6	0.7	1.1	2.0

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

14 de Abril de 1997 **19h50**
15 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
600	20.5	0.5	0.5	0.8	1.1	1.4	2.3
610	20.5	0.0	0.0	0.5	0.8	1.3	2.0
620	20.5	0.0	0.0	0.0	0.5	1.2	2.0
630	20.6	0.1	0.1	0.1	0.1	1.2	2.0
640	20.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0.9	1.9
650	20.7	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	1.8
660	20.8	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	1.7
670	20.9	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	1.7
680	20.9	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	1.6
690	21.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	1.6
700	21.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.5	1.4
710	21.5	0.4	0.4	0.5	0.6	0.8	1.5
720	21.8	0.3	0.3	0.7	0 8	1.0	1.3
730	22.0	0.2	0.2	0.5	0.9	1.1	1.5
740	22.0	0.0	0.0	0.2	0.5	1.1	1.5
750	22.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.0	1.4
760	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.9	1.4
770	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.3
780	22.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.2
790	22.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.2
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**2.6**	**4.6**	**4.7**	**4.7**	**5.9**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**15.6**	**13.8**	**9.4**	**4.7**	**3.0**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

17 de Abril de 1997 19h28 PRECIPITACION ANTECEDENTE 41.50 mm

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	0.0	0.0					
10	7.0	7.0	7.0				
20	12.5	5.5	5.5	12.5			
30	14.9	2.4	2.4	7.9	14.9		
40	15.9	1.0	1.0	3.4	8.9		
50	16.0	0.1	0.1	1.1	3.5		
60	16.2	0.2	0.2	0.3	1.3	16.2	
70	16.3	0.1	0.1	0.3	0.4	9.3	
80	16.4	0.1	0.1	0.2	0.4	3.9	
90	18.6	2.2	2.2	2.3	2.4	3.7	
100	18.7	0.1	0.1	2.3	2.4	2.8	
110	18.7	0.0	0.0	0.1	2.3	2.7	
120	19.3	0.6	0.6	0.6	0.7	3.1	19.3
130	20.0	0.7	0.7	1.3	1.3	3.7	13.0
140	21.2	1.2	1.2	1.9	2.5	4.8	8.7
150	21.2	0.0	0.0	1.2	1.9	2.6	6.3
160	21.2	0.0	0.0	0.0	1.2	2.5	5.3
170	21.3	0.1	0.1	0.1	0.1	2.6	5.3
180	21.3	0.0	0.0	0.1	0.1	2.0	5.1
190	21.4	0.1	0.1	0.1	0.2	1.4	5.1
200	21.4	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	5.0
210	21.4	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	2.8
220	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.7
230	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.7
240	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1
250	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
260	21.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
270	21.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**7.0**	**12.5**	**14.9**	**16.2**	**19.3**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**42.0**	**37.5**	**29.8**	**16.2**	**9.7**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

18 de Abril de 1997 19h00
19 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	0.1	0.1					
10	0.9	0.8	0.8				
20	4.5	3.6	3.6	4.4			
30	6.5	2.0	2.0	5.6	6.4		
40	7.5	1.0	1.0	3.0	6.6		
50	8.1	0.6	0.6	1.6	3.6		
60	9.1	1.0	1.0	1.6	2.6	9.0	
70	10.0	0.9	0.9	1.9	2.5	9.1	
80	14.3	4.3	4.3	5.2	6.2	9.8	
90	16.3	2.0	2.0	6.3	7.2	9.8	
100	17.5	1.2	1.2	3.2	7.5	10.0	
110	19.2	1.7	1.7	2.9	4.9	11.1	
120	20 0	0.8	0.8	2.5	3.7	10.9	19.9
130	20.4	0.4	0.4	1.2	2.9	10.4	19.5
140	20.6	0.2	0.2	0.6	1.4	6.3	16.1
150	20.7	0.1	0.1	0.3	0.7	4.4	14.2
160	20.8	0.1	0.1	0.2	0.4	3.3	13.3
170	20.8	0.0	0.0	0.1	0.2	1.6	12.7
180	21.0	0.2	0.2	0.2	0.3	1.0	11.9
190	21.4	0.4	0.4	0.6	0.6	1.0	11.4
200	21.5	0.1	0.1	0.5	0.7	0.9	7.2
210	21.5	0.0	0.0	0.1	0.5	0.8	5.2
220	21.8	0.3	0.3	0.3	0.4	1.0	4.3
230	22.2	0.4	0.4	0.7	0.7	1.4	3.0
240	22.2	0.0	0.0	0.4	0.7	1.2	2.2
250	22.2	0.0	0.0	0.0	0.4	0.8	1.8
260	22.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	1.6
270	22.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.8	1.6
280	22.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.6	1.6
290	23.1	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	2.3

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

18 de Abril de 1997 19h00
19 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
300	23.7	0.6	0.6	1.3	1.4	1.5	2.7
310	24.1	0.4	0.4	1.0	1.7	1.9	2.7
320	24.8	0.7	0.7	1.1	1.7	2.6	3.3
330	25.1	0.3	0.3	1.0	1.4	2.8	3.6
340	25.4	0.3	0.3	0.6	1.3	3.0	3.6
350	25.8	0.4	0.4	0.7	1.0	2.7	3.6
360	26.2	0.4	0.4	0.8	1.1	2.5	4.0
370	26.5	0.3	0.3	0.7	1.1	2.4	4.3
380	27.2	0.7	0.7	1.0	1.4	2.4	5.0
390	28.1	0.9	0.9	1.6	1.9	3.0	5.8
400	29.4	1.3	1.3	2.2	2.9	4.0	7.0
410	30.6	1.2	1.2	2.5	3.4	4.8	7.5
420	31.8	1.2	1.2	2.4	3.7	5.6	8.1
430	32.4	0.6	0.6	1.8	3.0	5.9	8.3
440	33.6	1.2	1.2	1 8	3.0	6.4	8.8
450	34.6	1.0	1.0	2.2	2.8	6.5	9.5
460	35.6	1.0	1.0	2.0	3.2	6.2	10.2
470	36.6	1.0	1.0	2.0	3.0	6.0	10.8
480	37.5	0.9	0.9	1.9	2.9	5.7	11.3
490	38.9	1.4	1.4	2.3	3.3	6.5	12.4
500	40.0	1.1	1.1	2.5	3.4	6.4	12.8
510	41.1	1.1	1.1	2.2	3.6	6.5	13.0
520	41.8	0.7	0.7	1.8	2.9	6.2	12.4
530	42.3	0.5	0.5	1.2	2.3	5.7	11.7
540	43.4	1.1	1.1	1.6	2.3	5.9	11.6
550	44.8	1.4	1.4	2.5	3.0	5.9	12.4
560	45.6	0.8	0.8	2.2	3.3	5.6	12.0
570	46.4	0.8	0.8	1.6	3.0	5.3	11.8
580	47.3	0.9	0.9	1.7	2.5	5.5	11.7
590	48.4	1.1	1.1	2.0	2.8	6.1	11.8

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

18 de Abril de 1997 19h00
19 de Abril de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
600	49.3	0.9	0.9	2.0	2.9	5.9	11.8
610	50.0	0.7	0.7	1.6	2.7	5.2	11.1
620	50.2	0.2	0.2	0.9	1.8	4.6	10.2
630	50.4	0.2	0.2	0.4	1.1	4.0	9.3
640	50.7	0.3	0.3	0.5	0.7	3.4	8.9
650	50.8	0.1	0.1	0.4	0.6	2.4	8.5
660	50.9	0.1	0.1	0.2	0.5	1.6	7.5
670	51.0	0.1	0.1	0.2	0.3	1.0	6.2
680	51.0	0.0	0.0	0.1	0.2	0.8	5.4
690	51.6	0.6	0.6	0.6	0.7	1.2	5.2
700	51.7	0.1	0.1	0.7	0.7	1.0	4.4
710	51.7	0.0	0.0	0.1	0.7	0.9	3.3
720	51.8	0.1	0.1	0.1	0.2	0.9	2.5
730	51.8	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8	1.8
740	51.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	1.6
750	51.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	1.5
760	51.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	1.2
770	51.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2	1.1
780	52.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	1.1
790	52.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2	1.0
800	52.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	1.2
810	52.5	0.3	0.3	0.5	0.5	0.6	0.9
820	52.9	0.4	0.4	0.7	0.9	1.0	1.2
830	53.0	0.1	0.1	0.5	0.8	1.1	1.3
840	53.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.0	1.2
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**4.3**	**6.3**	**7.5**	**11.1**	**19.9**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**25.8**	**18.9**	**15.0**	**11.1**	**10.0**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

21 de Abril de 1997 01h10

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	0 0	0.0					
10	0.1	0.1	0.1				
20	0.3	0.2	0.2	0.3			
30	0.6	0.3	0.3	0.5	0.6		
40	0.7	0.1	0.1	0.4	0.6		
50	0.8	0.1	0.1	0.2	0.5		
60	0.8	0.0	0.0	0.1	0.2	0.8	
70	0.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	
80	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	
90	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	
100	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	
110	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
120	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
130	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7
140	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5
150	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
160	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
170	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
180	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
190	0.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
200	0.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
210	0.9	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
220	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1
230	1.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4
240	1.6	0.4	0.4	0.7	0.7	0.8	0.8
250	1.9	0.3	0.3	0.7	1.0	1.0	1.1
260	2.2	0.3	0.3	0.6	1.0	1.3	1.4
270	2.6	0.4	0.4	0.7	1.0	1.7	1.8
280	3.3	0.7	0.7	1.1	1.4	2.4	2.5
290	5.2	1.9	1.9	2.6	3.0	4.0	4.4

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

21 de Abril de 1997 01h10

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
300	6.5	1.3	1.3	3.2	3 9	4 9	5.7
310	7.4	0.9	0.9	2.2	4.1	5.5	6.5
320	10.8	3.4	3.4	4.3	5.6	8.6	9.9
330	14.0	3.2	3.2	6.6	7.5	11.4	13.1
340	16.6	2.6	2.6	5.8	9.2	13.3	15.7
350	17.8	1.2	1.2	3.8	7.0	12.6	16.6
360	18.7	0.9	0.9	2.1	4.7	12.2	17.1
370	19.5	0.8	0.8	1.7	2.9	12.1	17.6
380	20.0	0.5	0.5	1.3	2.2	9.2	17.8
390	20.6	0.6	0.6	1.1	1.9	6.6	18.0
400	20.9	0.3	0.3	0.9	1.4	4.3	17.6
410	21.3	0.4	0.4	0.7	1.3	3.5	16.1
420	22.2	0.9	0.9	1.3	1 6	3.5	15.7
430	22.7	0.5	0 5	1.4	1.8	3.2	15.3
440	22.9	0.2	0.2	0.7	1.6	2.9	12.1
450	23.0	0.1	0.1	0.3	0.8	2.4	9.0
460	23.0	0.0	0.0	0.1	0.3	2.1	6.4
470	23.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.7	5.2
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**3.4**	**6.6**	**9.2**	**13.3**	**18.0**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**20.4**	**19.8**	**18.4**	**13.3**	**9.0**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

21 de Abril de 1997 21h00

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	4.9	4.9					
10	4.9	0.0	0.0				
20	5.2	0.3	0.3	0.3			
30	6.0	0.8	0.8	1.1	1.1		
40	6.7	0.7	0.7	1.5	1.8		
50	6.8	0.1	0.1	0.8	1.6		
60	6.8	0.0	0.0	0.1	0.8	1.9	
70	6.8	0.0	0.0	0.0	0.1	1.9	
80	7.0	0.2	0.2	0.2	0.2	1.8	
90	7.4	0.4	0.4	0.6	0.6	1.4	
100	8.2	0.8	0.8	1.2	1.4	1.5	
110	9.0	0.8	0.8	1.6	2.0	2.2	
120	11.5	2.5	2.5	3.3	4.1	4.7	6.6
130	13.2	1.7	1.7	4 2	5.0	6.4	8.3
140	13.7	0.5	0.5	2.2	4.7	6.7	8.5
150	15 6	1.9	1.9	2.4	4.1	8.2	9.6
160	16.6	1.0	1.0	2.9	3.4	8.4	9.9
170	17.5	0.9	0.9	1.9	3.8	8.5	10.7
180	18.4	0.9	0.9	1.8	2.8	6.9	11.6
190	19.0	0.6	0.6	1.5	2.4	5.8	12.2
200	19.9	0.9	0.9	1.5	2.4	6.2	12.9
210	20.0	0.1	0.1	1.0	1.6	4.4	12.6
220	20.3	0.3	0.3	0.4	1.3	3.7	12.1
230	20 5	0.2	0.2	0.5	0.6	3.0	11.5
240	20.6	0.1	0.1	0.3	0.6	2.2	9.1
250	20.8	0.2	0.2	0.3	0.5	1.8	7.6
260	20.9	0.1	0.1	0.3	0.4	1.0	7.2
270	20.9	0.0	0.0	0.1	0.3	0.9	5.3
280	21.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.7	4.4
290	21.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	3.5

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

21 de Abril de 1997 21h00

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
300	21.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5	2.7
310	21.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3	2.1
320	21.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	1.4
330	21.3	0.0	0.0	0.2	0.2	0.4	1.3
340	21.3	0.0	0.0	0.0	0.2	0.3	1.0
350	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.8
360	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7
370	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.5
380	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
390	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
400	21.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
410	21.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4
420	21.5	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.4
430	21 6	0.1	0.1	0.2	0.3	0.3	0.5
440	21.6	0.0	0.0	0 1	0.2	0.3	0.3
450	21.7	0.1	0.1	0 1	0 2	0.4	0.4
460	21.7	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	0.4
470	21.7	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4
480	21.7	0.0	0.0	0 0	0.0	0.2	0.4
490	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
500	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
510	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
520	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
530	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
540	21.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**2.5**	**4.2**	**5.0**	**8.5**	**12.9**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**15.0**	**12.6**	**10.0**	**8.5**	**6.5**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

28 de Abril de 1997 10h00

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	0.0	0.0					
10	0.1	0.1	0.1				
20	0.1	0.0	0.0	0.1			
30	0.1	0.0	0.0	0.0	0.1		
40	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0		
50	0.9	0.8	0.8	0.8	0.8		
60	1.2	0.3	0.3	1.1	1.1	1.2	
70	1.9	0.7	0.7	1.0	1.8	1.8	
80	5.0	3.1	3.1	3.8	4.1	4.9	
90	5.2	0.2	0.2	3.3	4.0	5.1	
100	8.1	2.9	2.9	3.1	6.2	8.0	
110	10.1	2.0	2.0	4.9	5.1	9.2	
120	10.3	0.2	0.2	2.2	5.1	9.1	10.3
130	10.4	0.1	0.1	0.3	2.3	8.5	10.3
140	10.8	0.4	0.4	0.5	0.7	5.8	10.7
150	11.4	0.6	0.6	1.0	1.1	6.2	11.3
160	12.2	0.8	0.8	1 4	1.8	4.1	12.1
170	13.0	0.8	0.8	1.6	2.2	2.9	12.1
180	13.0	0.0	0.0	0.8	1.6	2.7	11.8
PROFUNDIDAD MAXIMA(mm)			**3.1**	**4.9**	**6.2**	**9.2**	**12.1**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**18.6**	**14.7**	**12.4**	**9.2**	**6.1**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

28 de Abril de 1997 18h30

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	3.0	3.0					
10	3.5	0.5	0.5				
20	10.0	6.5	6.5	7.0			
30	13.0	3.0	3.0	9.5	10.0		
40	14.4	1.4	1.4	4.4	10.9		
50	18.5	4.1	4.1	5.5	8.5		
60	21.2	2.7	2.7	6.8	8.2	18.2	
70	24.2	3.0	3.0	5.7	9.8	20.7	
80	25.5	1.3	1.3	4.3	7.0	15.5	
90	26.5	1.0	1.0	2.3	5.3	13.5	
100	26.9	0.4	0.4	1.4	2.7	12.5	
110	27.2	0.3	0.3	0.7	1.7	8.7	
120	27.2	0.0	0.0	0.3	0.7	6.0	24.2
130	27.3	0.1	0.1	0.1	0.4	3.1	23 8
140	27.3	0.0	0.0	0.1	0.1	1.8	17.3
150	27.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.8	14.3
160	27.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	12.9
170	27.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	8.9
180	29.2	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	8.0
190	30.3	1.1	1.1	2.9	3.0	3.0	6.1
200	31.0	0.7	0.7	1.8	3.6	3.7	5.5
210	31.2	0.2	0.2	0.9	2.0	3.9	4.7
220	31.4	0.2	0.2	0.4	1.1	4.1	4.5
230	31.6	0.2	0.2	0.4	0.6	4.2	4.4
240	32.0	0.4	0.4	0.6	0.8	2.8	4.8
250	32.2	0.2	0.2	0.6	0.8	1.9	4.9
260	32.6	0.4	0.4	0.6	1.0	1.6	5.3
270	32.7	0.1	0.1	0.5	0.7	1.5	5.4
280	32.8	0.1	0.1	0.2	0.6	1.4	5.5
290	32.8	0.0	0.0	0.1	0.2	1.2	5.4

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

28 de Abril de 1997 18h30

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
300	32.8	0.0	0.0	0.0	0 1	0.8	3.6
310	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	2.5
320	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.8
330	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.6
340	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4
350	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2
360	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
370	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6
380	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2
390	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
400	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
410	32.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
420	32.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
430	32.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1
440	33.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2
450	33 1	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	0.3
460	33.2	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4
470	33.2	0.0	0.0	0.1	0.2	0.4	0.4
480	33.2	0.0	0.0	0.0	0.1	0.3	0.4
490	33.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	0.4
500	33.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.4
510	33.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.4
520	33.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
530	33.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4
540	33.3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.4
550	33.3	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	0.4
560	33.3	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.3
570	33.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.2
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**6.5**	**9.5**	**10.9**	**20.7**	**24.2**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**39.0**	**28.5**	**21.8**	**20.7**	**12.1**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

30 de Abril de 1997 18h00

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	1 0	1.0					
10	1.8	0.8	0.8				
20	1.8	0.0	0.0	0.8			
30	1.8	0.0	0.0	0.0	0.8		
40	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0		
50	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0		
60	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	
70	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
80	2.3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
90	2.7	0.4	0.4	0.9	0.9	0.9	
100	2.7	0.0	0.0	0.4	0.9	0.9	
110	6.5	3.8	3.8	3.8	4.2	4.7	
120	7.0	0.5	0.5	4.3	4.3	5.2	6.0
130	7.1	0.1	0.1	0 6	4.4	5.3	5.3
140	7.1	0.0	0.0	0.1	0.6	4.8	5.3
150	7.1	0.0	0.0	0.0	0.1	4.4	5.3
160	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	4.4	5.3
170	7.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	5.3
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**3.8**	**4.3**	**4.4**	**5.3**	**6.0**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**22.8**	**12.9**	**8.8**	**5.3**	**3.0**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

11 de Noviembre de 1997 05H00

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	0.0	0.0					
10	0.1	0.1	0.1				
20	0.4	0.3	0.3	0.4			
30	2.1	1.7	1.7	2.0	2 1		
40	3.2	1.1	1.1	2.8	3.1		
50	4.0	0.8	0.8	1.9	3.6		
60	6.6	2.6	2.6	3.4	4.5	6.6	
70	10.0	3.4	3.4	6.0	6.8	9.9	
80	13.5	3.5	3.5	6.9	9.5	13.1	
90	20.0	6.5	6.5	10.0	13.4	17.9	
100	21.1	1.1	1.1	7.6	11.1	17.9	
110	21.9	0.8	0.8	1.9	8.4	17.9	
120	22.8	0.9	0.9	1.7	2.8	16.2	22.8
130	24.1	1.3	1.3	2.2	3.0	14.1	24.0
140	24.8	0.7	0.7	2.0	2.9	11.3	24.4
150	25.2	0.4	0.4	1.1	2.4	5.2	23.1
160	25.4	0.2	0.2	0.6	1.3	4.3	22.2
170	25.4	0.0	0.0	0.2	0.6	3.5	21.4
180	25.5	0.1	0.1	0.1	0.3	2.7	18.9
190	25.5	0.0	0.0	0.1	0.1	1.4	15.5
200	25.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.7	12.0
210	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.5
220	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	4.4
230	25.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	3.6
240	25.6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	2.8
250	25.6	0.0	0.0	0.1	0.1	0 1	1.5
260	25.6	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1	0.8
270	25.7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.2	0.5
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**6.5**	**10.0**	**13.4**	**17.9**	**24.4**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**39.0**	**30.0**	**26.8**	**17.9**	**12.2**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

14 de Noviembre de 1997 19h30

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	0.0	0.0					
10	1.1	1.1	1.1				
20	4.0	2.9	2.9				
30	11.0	7.0	7.0	9 9			
40	22.0	11.0	11.0	18.0	20.9		
50	33.0	11.0	11.0	22.0	29.0		
60	36.1	3.1	3.1	14.1	25.1		
70	37.5	1.4	1.4	4.5	15 5	36.4	
80	37.7	0.2	0.2	1.6	4.7	33.7	
90	37.8	0.1	0.1	0.3	1.7	26.8	
100	38.0	0.2	0.2	0.3	0.5	16.0	
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**11.0**	**22.0**	**29.0**	**36.4**	**0.0**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**66.0**	**66.0**	**58.0**	**36.4**	**0.0**

17 de Noviembre de 1997 17H00

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	*mm*	*mm*	*min*	*min*	*min*	*hora*	*hora*
0	0.0	0.0					
10	0.1	0.1	0.1				
20	0.2	0.1	0.1	0.2			
30	0.3	0.1	0.1	0.2	0.3		
40	2.1	1.8	1.8	1.9	2.0		
50	5.0	2.9	2.9	4.7	4.8		
60	16.5	11.5	11.5	14.4	16.2	16.5	
70	27.0	10.5	10.5	22.0	24.9	26.9	
80	31.8	4.8	4.8	15.3	26.8	31.6	
90	33.0	1.2	1.2	6.0	16.5	32.7	
100	33.5	0.5	0.5	1.7	6.5	31.4	
110	33.8	0.3	0.3	0.8	2.0	28.8	
120	34.0	0.2	0.2	0.5	1.0	17.5	34 0
130	34.4	0.4	0.4	0.6	0.9	7.4	34.3
140	34.7	0.3	0.3	0.7	0.9	2.9	34.5
150	34.8	0.1	0.1	0.4	0.8	1.8	34.5
160	34.9	0.1	0.1	0.2	0.5	1.4	32.8
170	35.0	0.1	0.1	0.2	0.3	1.2	30.0
180	35.0	0.0	0.0	0.1	0.2	1.0	18.5
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**11.5**	**22.0**	**26.8**	**32.7**	**34.5**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**69.0**	**66.0**	**53.6**	**32.7**	**17.3**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

23 de Noviembre de 1997 17H20 \CION ANTECEDENTE 41.50 mm
24 de Noviembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	0.0	0.0					
10	3.8	3.8	3.8				
20	5.3	1.5	1.5	5.3			
30	7.0	1.7	1.7	3.2	7.0		
40	8.0	1.0	1.0	2.7	4.2		
50	13.5	5.5	5.5	6.5	8.2		
60	15.1	1.6	1.6	7.1	8.1	15.1	
70	17.0	1.9	1.9	3.5	9.0	13.2	
80	20.0	3.0	3.0	4.9	6.5	14.7	
90	21.6	1.6	1.6	4.6	6.5	14.6	
100	22.2	0.6	0.6	2.2	5.2	14.2	
110	23.0	0.8	0.8	1.4	3.0	9.5	
120	23.4	0.4	0.4	1.2	1.8	8.3	23.4
130	23.7	0.3	0.3	0.7	1.5	6.7	19.9
140	24.1	0.4	0.4	0.7	1.1	4.1	18.8
150	24.6	0.5	0.5	0.9	1.2	3.0	17.6
160	25.0	0.4	0.4	0.9	1.3	2.8	17.0
170	25.8	0.8	0.8	1.2	1.7	2.8	12.3
180	26.5	0.7	0.7	1.5	1.9	3.1	11.4
190	27.0	0.5	0.5	1.2	2.0	3.3	10.0
200	27.8	0.8	0.8	1.3	2.0	3.7	7.8
210	28.5	0.7	0.7	1.5	2.0	3.9	6.9
220	29.0	0.5	0.5	1.2	2.0	4.0	6.8
230	29.6	0.6	0.6	1.1	1.8	3.8	6.6
240	30.0	0.4	0.4	1.0	1.5	3.5	6.6
250	30.1	0.1	0.1	0.5	1.1	3.1	6.4
260	30.1	0.0	0.0	0.1	0.5	2.3	6.0
270	30.1	0.0	0.0	0.0	0.1	1.6	5.5
280	30.2	0.1	0.1	0.1	0.1	1.2	5.2
290	30.2	0.0	0.0	0.1	0.1	0.6	4.4
300	30.3	0.1	0 1	0.1	0.2	0.3	3.8
310	30.4	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	3.4
320	30.6	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	2.8
330	31.3	0.7	0.7	0.9	1.0	1.2	2.8
340	32.0	0.7	0.7	1.4	1.6	1.8	3.0
350	32.6	0.6	0.6	1.3	2.0	2.4	3.0
360	33.7	1.1	1.1	1.7	2.4	3.4	3.7
370	38.2	4.5	4.5	5.6	6.2	7.8	8.1
380	44.5	6.3	6.3	10.8	11.9	13.9	14.4
390	50.0	5.5	5.5	11.8	16.3	18.7	19.9

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

23 de Noviembre de 1997 17H20 PRECIPITACION ANTECEDENTE 41.50 mm
24 de Noviembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
400	58.0	8.0	8.0	13.5	19.8	26.0	27.8
410	64.1	6.1	6.1	14.1	19.6	31.5	33.9
420	67.0	2.9	2.9	9.0	17.0	33.3	36.7
430	70.5	3.5	3.5	6.4	12.5	32.3	40.1
440	75.0	4.5	4.5	8.0	10.9	30.5	44.4
450	82.0	7.0	7.0	11.5	15.0	32.0	50.7
460	87.0	5.0	5.0	12.0	16.5	29.0	55.0
470	94.0	7.0	7.0	12.0	19.0	29.9	61.4
480	97.5	3.5	3.5	10.5	15.5	30.5	63.8
490	100.0	2.5	2.5	6.0	13.0	29.5	61.8
500	102.1	2.1	2.1	4.6	8.1	27.1	57.6
510	104.3	2.2	2.2	4.3	6.8	22.3	54.3
520	107.0	2.7	2.7	4.9	7.0	20.0	49.0
530	110.0	3.0	3.0	5.7	7.9	16.0	45.9
540	114.3	4.3	4.3	7.3	10.0	16.8	47.3
550	120.0	5.7	5.7	10.0	13.0	20.0	49.5
560	124.1	4.1	4.1	9.8	14.1	22.0	49.1
570	125.5	1.4	1.4	5.5	11.2	21.2	43.5
580	126.5	1.0	1.0	2.4	6.5	19.5	39.5
590	127.6	1.1	1.1	2.1	3.5	17.6	33.6
600	129.4	1.8	1.8	2.9	3.9	15.1	31.9
610	131.5	2.1	2.1	3.9	5.0	11.5	31.5
620	134.8	3.3	3.3	5.4	7.2	10.7	32.7
630	138.2	3.4	3.4	6.7	8.8	12.7	33.9
640	140.5	2.3	2.3	5.7	9.0	14.0	33.5
650	141.6	1.1	1.1	3.4	6.8	14.0	31.6
660	143.4	1.8	1.8	2.9	5.2	14.0	29.1
670	147.0	3.6	3.6	5.4	6.5	15.5	27.0
680	151.8	4.8	4.8	8.4	10.2	17.0	27.7
690	153.0	1.2	1.2	6.0	9.6	14.8	27.5
700	154.0	1.0	1.0	2.2	7.0	13.5	27.5
710	154.4	0.4	0.4	1.4	2.6	12.8	26.8
720	154.8	0.4	0.4	0.8	1.8	11.4	25.4
730	155.2	0.4	0.4	0.8	1.2	8.2	23.7
740	155.9	0.7	0.7	1.1	1.5	4.1	21.1
750	156.3	0.4	0.4	1.1	1.5	3.3	18.1
760	156.8	0.5	0.5	0.9	1.6	2.8	16.3
770	157.2	0.4	0.4	0.9	1.3	2.8	15.6
780	157.7	0.5	0.5	0.9	1.4	2.9	14.3
790	158.2	0.5	0.5	1.0	1.4	3.0	11.2

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

23 de Noviembre de 1997 17H20 \CION ANTECEDENTE 41.50 mm
24 de Noviembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
800	158 7	0.5	0.5	1.0	1.5	2.8	6.9
810	161.1	2 4	2.4	2.9	3.4	4.8	8.1
820	165.3	4.2	4.2	6.6	7.1	8.5	11.3
830	170.6	5.3	5.3	9.5	11.9	13.4	16.2
840	180.0	9.4	9.4	14.7	18.9	22.3	25.2
850	180.1	0.1	0.1	9.5	14.8	21.9	24.9
860	185.0	4.9	4.9	5.0	14.4	26.3	29.1
870	190.2	5.2	5.2	10.1	10.2	29.1	33.9
880	200.0	9.8	9.8	15.0	19.9	34.7	43.2
890	204.7	4.7	4.7	14.5	19.7	34.1	47.5
900	208.4	3.7	3.7	8.4	18.2	28.4	50.7
910	211.3	2.9	2.9	6.6	11.3	31 2	53.1
920	214.7	3.4	3.4	6.3	10.0	29.7	56.0
930	217.5	2.8	2.8	6.2	9.1	27.3	56.4
940	219.0	1.5	1.5	4.3	7.7	19.0	53.7
950	220.9	1.9	1.9	3.4	6.2	16.2	50.3
960	222.0	1.1	1.1	3.0	4.5	13.6	42.0
970	223.0	1.0	1.0	2.1	4.0	11.7	42.9
980	223.9	0.9	0.9	1.9	3.0	9.2	38.9
990	225.0	1.1	1.1	2.0	3.0	7.5	34.8
1000	225.9	0.9	0.9	2.0	2.9	6.9	25.9
1010	227.0	1.1	1.1	2.0	3.1	6.1	22.3
1020	227.9	0.9	0.9	2.0	2.9	5.9	19.5
1030	228.5	0.6	0.6	1.5	2.6	5.5	17.2
1040	230.5	2.0	2.0	2.6	3.5	6.6	15.8
1050	233.8	3.3	3.3	5.3	5.9	8.8	16.3
1060	234.8	1.0	1.0	4.3	6.3	8.9	15.8
1070	235.2	0.4	0.4	1.4	4.7	8.2	14.3
1080	235.3	0.1	0.1	0.5	1.5	7.4	13.3
1090	235.6	0.3	0.3	0.4	0.8	7.1	12.6
1100	236.0	0.4	0.4	0 7	0.8	5.5	12.1
1110	236.3	0.3	0.3	0.7	1.0	2.5	11.3
1120	236.7	0.4	0.4	0.7	1.1	1.9	10.8
1130	236.8	0.1	0.1	0.5	0.8	1.6	9.8
1140	237.0	0.2	0.2	0.3	0.7	1.7	9.1
1150	237.1	0.1	0.1	0.3	0.4	1.5	8.6
1160	237.1	0.0	0.0	0.1	0.3	1.1	6.6
1170	237.1	0.0	0.0	0 0	0.1	0.8	3.3
1180	237.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	2.3
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**9.8**	**15.0**	**19.9**	**34.7**	**63.8**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**58.8**	**45.0**	**39.8**	**34.7**	**31.9**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

4 de Diciembre de 1997 15h00

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	1.0	1.0					
10	1.0	1.0	0.0				
20	1.0	1.0	0.0	0.0			
30	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0		
40	1.0	1.0	0.0	0.0	0.0		
50	1.3	1.3	0.3	0.3	0.3		
60	1.7	1.7	0.4	0.7	0.7	0.7	
70	1.9	1.9	0.2	0.6	0.9	0.9	
80	3.0	3.0	1.1	1.3	1.7	2.0	
90	9.0	9.0	6.0	7.1	7.3	8.0	
100	10.6	10.6	1.6	7.6	8.7	9.6	
110	10.8	10.8	0.2	1.8	7.8	9.5	
120	11.4	11.4	0.6	0.8	2.4	9.7	10.4
130	12.1	12.1	0.7	1.3	1.5	10.2	11.1
140	12.8	12.8	0.7	1.4	2.0	9.8	11.8
150	14.5	14.5	1.7	2.4	3.1	5.5	13.5
160	20.6	20.6	6.1	7.8	8.5	10.0	19.6
170	23.3	23.3	2.7	8.8	10.5	12.5	22.0
180	26.8	26.8	3.5	6.2	12.3	15.4	25.1
190	32.5	32.5	5.7	9.2	11.9	20.4	30.6
200	35.8	35.8	3.3	9.0	12.5	23.0	32.8
210	36.5	36.5	0.7	4.0	9.7	22.0	27.5
220	36.6	36.6	0.1	0.8	4.1	16.0	26.0
230	36.6	36.6	0.0	0.1	0.8	13.3	25.8
240	36.6	36.6	0.0	0.0	0.1	9.8	25.2
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**6.1**	**9.2**	**12.5**	**23.0**	**32.8**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**36.6**	**27.6**	**25.0**	**23.0**	**16.4**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

8 de Diciembre de 1997 16h00
9 de Diciembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	*8.3*	*8.3*					
10	8.3	0.0	0.0				
20	8.3	0.0	0.0				
30	8.3	0.0	0.0	0.0			
40	8.3	0.0	0.0	0.0	0.0		
50	9.4	1.1	1.1	1.1	1.1		
60	13.5	4.1	4.1	5.2	5.2		
70	17.0	3.5	3.5	7.6	8.7	8.7	
80	23.0	6.0	6.0	9.5	13.6	14.7	
90	28.2	5.2	5.2	11.2	14.7	19.9	
100	31.2	3.0	3.0	8.2	14.2	22.9	
110	33.4	2.2	2.2	5.2	10.4	24.0	
120	35.5	2.1	2.1	4.3	7.3	22.0	
130	37.5	2.0	2.0	4.1	6.3	20.5	29.2
140	38.4	0.9	0.9	2.9	5.0	15.4	30.1
150	38.9	0.5	0.5	1.4	3.4	10.7	30.6
160	39.0	0.1	0.1	0.6	1.5	7.8	30.7
170	39.1	0.1	0.1	0.2	0.7	5.7	29.7
180	39.2	0.1	0.1	0.2	0.3	3.7	25.7
190	39.4	0.2	0.2	0.3	0.4	1.9	22.4
200	39.5	0.1	0.1	0.3	0.4	1.1	16.5
210	40.5	1.0	1.0	1.1	1.3	1.6	12.3
220	40.8	0.3	0.3	1.3	1.4	1.8	9.6
230	40.9	0.1	0.1	0.4	1.4	1.8	7.5
240	41.0	0.1	0.1	0.2	0.5	1.8	5.5
250	41.0	0.0	0.0	0.1	0.2	1.6	3.5
260	41.1	0.1	0.1	0.1	0.2	1.6	2.7
270	41.4	0.3	0.3	0.4	0.4	0.9	2.5
280	43.2	1.8	1.8	2.1	2.2	2.4	4.2
290	44.4	1.2	1.2	3.0	3.3	3.5	5.3

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

8 de Diciembre de 1997 16h00
9 de Diciembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
300	47.2	2.8	2.8	4.0	5.8	6.2	8.0
310	48.0	0.8	0.8	3.6	4.8	7.0	8.6
320	51.5	3.5	3.5	4.3	7.1	10.4	12.0
330	54.8	3.3	3.3	6.8	7.6	13.4	14.3
340	56.0	1.2	1.2	4.5	8.0	12.8	15.2
350	57.4	1.4	1.4	2.6	5.9	13.0	16.5
360	58.2	0.8	0.8	2.2	3.4	11.0	17.2
370	59.3	1.1	1.1	1.9	3.3	11.3	18.3
380	60.2	0.9	0.9	2.0	2.8	8.7	19.1
390	60.5	0.3	0.3	1.2	2.3	5.7	19.1
400	60.6	0.1	0.1	0.4	1.3	4.6	17.4
410	61.0	0.4	0.4	0.5	0.8	3.6	16.6
420	62.0	1.0	1.0	1.4	1.5	3.8	14.8
430	63.1	1.1	1.1	2.1	2.5	3.8	15.1
440	63.7	0.6	0.6	1.7	2.7	3.5	12.2
450	63.8	0.1	0.1	0.7	1.8	3.3	9.0
460	63.9	0.1	0.1	0.2	0.8	3.3	7.9
470	64.5	0.6	0.6	0.7	0.8	3.5	7.1
480	65.5	1.0	1.0	1.6	1.7	3.5	7.3
490	70.0	4.5	4.5	5.5	6.1	6.9	10.7
500	72.8	2.8	2.8	7.3	8.3	9.1	12.6
510	74.5	1.7	1.7	4.5	9.0	10.7	14.0
520	75.3	0.8	0.8	2.5	5.3	11.4	14.7
530	75.4	0.1	0.1	0.9	2.6	10.9	14.4
540	75.5	0.1	0.1	0.2	1.0	10.0	13.5
550	75.5	0.0	0.0	0.1	0.2	5.5	12.4
560	75.5	0.0	0.0	0.0	0.1	2.7	11.8
570	75.5	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	11.7
580	75.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	11.6
590	75.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	11.0
600	75.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.0
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**6.0**	**11.2**	**14.7**	**24.0**	**30.7**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**36.0**	**33.6**	**29.4**	**24.0**	**15.4**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

10 de Diciembre de 1997 22h30
11 de Diciembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	3.2	3.2					
10	4.4	1.2	1.2				
20	6.0	1.6	1.6	2.8			
30	16.0	10.0	10.0	11.6	12.8		
40	29.0	13.0	13.0	23.0	24.6		
50	32.0	3.0	3.0	16.0	26.0		
60	32.2	0.2	0.2	3.2	16.2	29.0	
70	32.3	0.1	0.1	0.3	3.3	27.9	
80	32.5	0.2	0.2	0.3	0.5	26.5	
90	32.5	0.0	0.0	0.2	0.3	16.5	
100	32.6	0.1	0.1	0.1	0.3	3.6	
110	32.8	0.2	0.2	0.3	0.3	0.8	
120	32.8	0.0	0.0	0.2	0.3	0.6	29.6
130	32.9	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	28.5
140	32.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	26.9
150	33.5	0.6	0.6	0.6	0.7	1.0	17.5
160	34.4	0.9	0.9	1.5	1.5	1.8	5.4
170	34.7	0.3	0.3	1.2	1.8	1.9	2.7
180	36.5	1.8	1.8	2.1	3.0	3.7	4.3
190	44.0	7.5	7.5	9.3	9.6	11.1	11.7
200	57.0	13.0	13.0	20.5	22.3	24.1	24.5
210	68.8	11.8	11.8	24.8	32.3	35.3	36.3
220	77.0	8.2	8.2	20.0	33.0	42.6	44.4
230	81.5	4.5	4.5	12.7	24.5	46.8	48.7
240	83.0	1.5	1.5	6.0	14.2	46.5	50.2
250	86.0	3.0	3.0	4.5	9.0	42.0	53.1
260	89.0	3.0	3.0	6.0	7.5	32.0	56.1
270	91.5	2.5	2.5	5.5	8.5	22.7	58.0
280	94.5	3.0	3.0	5.5	8.5	17.5	60.1
290	96.4	1.9	1.9	4.9	7.4	14.9	61.7

Continua...

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

10 de Diciembre de 1997 22h30
11 de Diciembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
300	97.2	0.8	0.8	2.7	5.7	14.2	60.7
310	97.8	0.6	0.6	1.4	3.3	11.8	53.8
320	98.3	0.5	0.5	1.1	1.9	9.3	41.3
330	99.2	0.9	0.9	1.4	2.0	7.7	30.4
340	100.6	1.4	1.4	2.3	2.8	6.1	23.6
350	101.2	0.6	0.6	2.0	2.9	4.8	19.7
360	101.8	0.6	0.6	1.2	2.6	4.6	18.8
370	102.2	0.4	0.4	1.0	1.6	4.4	16.2
380	102.6	0.4	0.4	0.8	1.4	4.3	13.6
390	103.1	0.5	0.5	0.9	1.3	3.9	11.6
400	103.5	0.4	0.4	0.9	1.3	2.9	9.0
410	104.3	0.8	0.8	1.2	1.7	3.1	7.9
420	104.8	0.5	0.5	1.3	1.7	3.0	7.6
430	105.0	0.2	0.2	0.7	1.5	2.8	7.2
440	105.2	0.2	0.2	0.4	0.9	2.6	6.9
450	105.3	0.1	0.1	0.3	0.5	2.2	6.1
460	105.4	0.1	0.1	0.2	0.4	1.9	4.8
470	105.5	0.1	0.1	0.2	0.3	1.2	4.3
480	105.5	0.0	0.0	0.1	0.2	0.7	3.7
490	105.5	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	3.3
500	105.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	2.9
510	105.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	2.4
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**13.0**	**24.8**	**33.0**	**46.8**	**61.7**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**78.0**	**74.4**	**66.0**	**46.8**	**30.9**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

13 de Diciembre de 1997 21h40 PRECIPITACION ANTECEDENTE 229 mm
14 de Diciembre de 1997

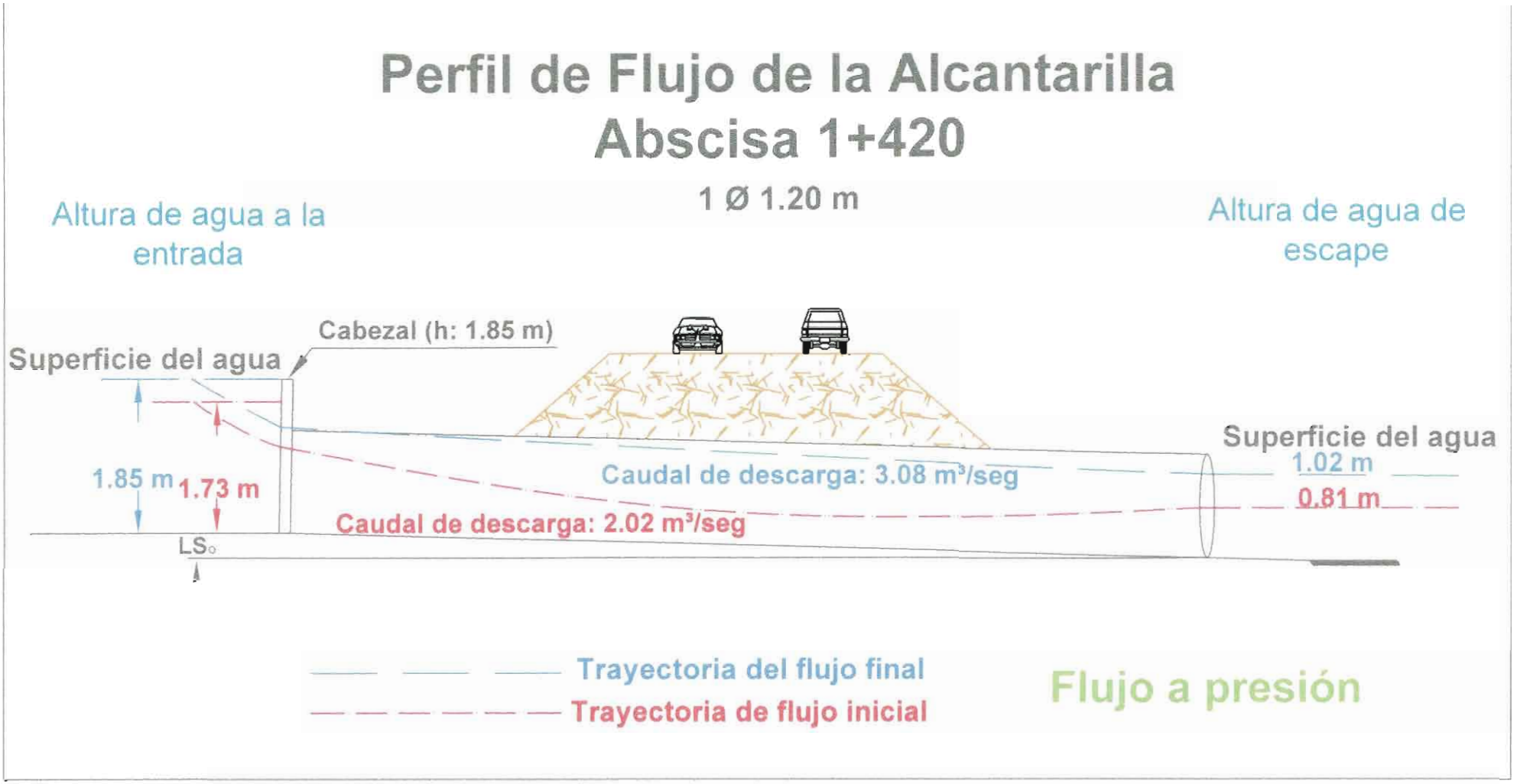
TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	0.0	0.0					
10	0.2	0.2	0.2				
20	0.2	0.0	0.0	0.2			
30	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2		
40	1.0	0.8	0.8	0.8	0.8		
50	13.0	12.0	12.0	12.8	12.8		
60	17.5	4.5	4.5	16.5	17.3	17.5	
70	27.0	9.5	9.5	14.0	26.0	26.8	
80	40.5	13.5	13.5	23.0	27.5	40.3	
90	60.0	19.5	19.5	33.0	42.5	59.8	
100	75.0	15.0	15.0	34.5	48.0	74.0	
110	84.0	9.0	9.0	24.0	43.5	71.0	
120	94.0	10.0	10.0	19.0	34.0	76.5	94.0
130	107.0	13.0	13.0	23.0	32.0	80.0	106.8
140	113.5	6.5	6.5	19.5	29.5	73.0	113.3
150	123.0	9.5	9.5	16.0	29.0	63.0	122.8
160	131.5	8.5	8.5	18.0	24.5	56.5	130.5
170	143.0	11.5	11.5	20.0	29.5	59.0	130.0
180	148.0	5.0	5.0	16.5	25.0	54.0	130.5
190	151.1	3.1	3.1	8.1	19.6	44.1	124.1
200	155.8	4.7	4.7	7.8	12.8	42.3	115.3
210	159.0	3.2	3.2	7.9	11 0	36.0	99.0
220	164.5	5.5	5.5	8.7	13.4	33.0	89.5
230	170.0	5.5	5.5	11.0	14.2	27.0	86.0
240	173.0	3.0	3.0	8.5	14.0	25.0	79.0
250	178.5	5.5	5.5	8.5	14.0	27.4	71.5
260	180.0	1.5	1.5	7.0	10.0	24.2	66.5
270	180.8	0.8	0.8	2.3	7.8	21.8	57.8
280	181.5	0.7	0.7	1.5	3.0	17.0	50.0
290	182.2	0.7	0.7	1.4	2.2	12.2	39.2
300	183.3	1.1	1.1	1.8	2.5	10.3	35.3
310	184.5	1.2	1.2	2.3	3.0	6.0	33.4
320	185.1	0.6	0.6	1.8	2.9	5.1	29.3
330	185.3	0.2	0.2	0.8	2.0	4.5	26.3
340	185.4	0.1	0.1	0.3	0.9	3.9	20.9
350	185.4	0.0	0.0	0.1	0.3	3.2	15.4
360	185.4	0.0	0.0	0.0	0.1	2.1	12.4
370	185.5	0.1	0.1	0.1	0.1	1.0	7.0
380	185.5	0.0	0.0	0.1	0.1	0.4	5.5
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**19.5**	**34.5**	**48.0**	**80.0**	**130.5**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**117.0**	**103.5**	**96.0**	**80.0**	**65.3**

LEVANTAMIENTO DE FAJAS METEREOLÓGICAS

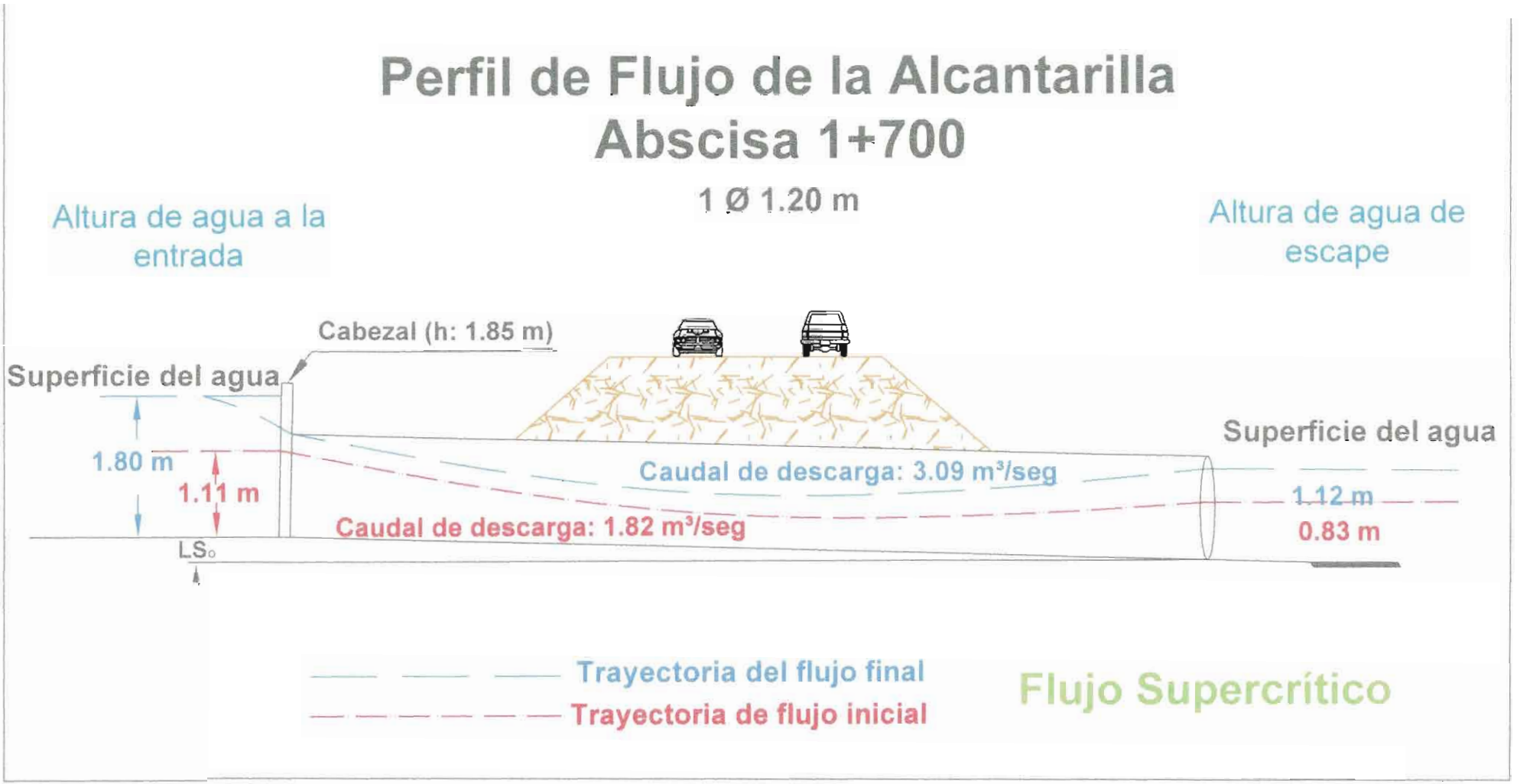
21 de Diciembre de 1997 19h30
22 de Diciembre de 1997

TIEMPO	LLUVIA		DURACION				
	Acumulada	Parcial	10	20	30	1	2
min	mm	mm	min	min	min	hora	hora
0	2.5	2.5					
10	2.6	0.1	0.1				
20	2.7	0.1	0.1	0.2			
30	2.9	0.2	0.2	0.3	0.4		
40	3.2	0.3	0.3	0.5	0.6		
50	3.6	0.4	0.4	0.7	0.9		
60	3.8	0.2	0.2	0.6	0 9	1 3	
70	4.1	0.3	0.3	0.5	0.9	1.5	
80	4.3	0.2	0.2	0.5	0.7	1.6	
90	4.9	0.6	0.6	0.8	1.1	2.0	
100	5.3	0.4	0.4	1.0	1.2	2.1	
110	5.4	0.1	0.1	0.5	1.1	1.8	
120	5.4	0.0	0.0	0.1	0.5	1.6	2.9
130	5.7	0.3	0.3	0.3	0.4	1.6	3.1
140	5.8	0.1	0.1	0 4	0.4	1 5	3.1
150	5.8	0.0	0.0	0.1	0.4	0.9	2.9
160	5.8	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	2.6
170	5.9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.5	2.3
180	5.9	0.0	0.0	0.1	0.1	0.5	2.1
190	6.5	0.6	0.6	0.6	0.7	0.8	2.4
200	14.5	8.0	8.0	8.6	8.6	8.7	10.2
210	16.0	1 5	1.5	9.5	10.1	10.2	11.1
220	16.0	0.0	0.0	1.5	9.5	10.2	10.7
230	16.0	0.0	0.0	0.0	1.5	10.1	10.6
240	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.1	10.6
250	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.5	10.3
260	16.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	10.2
270	16.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	10.3
280	16.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1	10.3
290	16.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	10.3
300	16.3	0.1	0.1	0.2	0.2	0.3	10.4
310	16.8	0.5	0.5	0.6	0.7	0.8	10.3
320	17.2	0.4	0.4	0.9	1.0	1.2	2.7
330	17.3	0.1	0.1	0.5	1.0	1.2	1.3
340	17.3	0.0	0.0	0.1	0.5	1.2	1.3
350	17.3	0.0	0.0	0.0	0.1	1.1	1.3
360	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	1.3
370	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.3
380	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	1.3
390	17.4	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	1.3
PROFUNDIDAD MAXIMA(min)			**8.0**	**9.5**	**10.1**	**10.2**	**11.1**
INTENSIDAD MAXIMA(mm/hora)			**48.0**	**28.5**	**20.2**	**10.2**	**5.6**

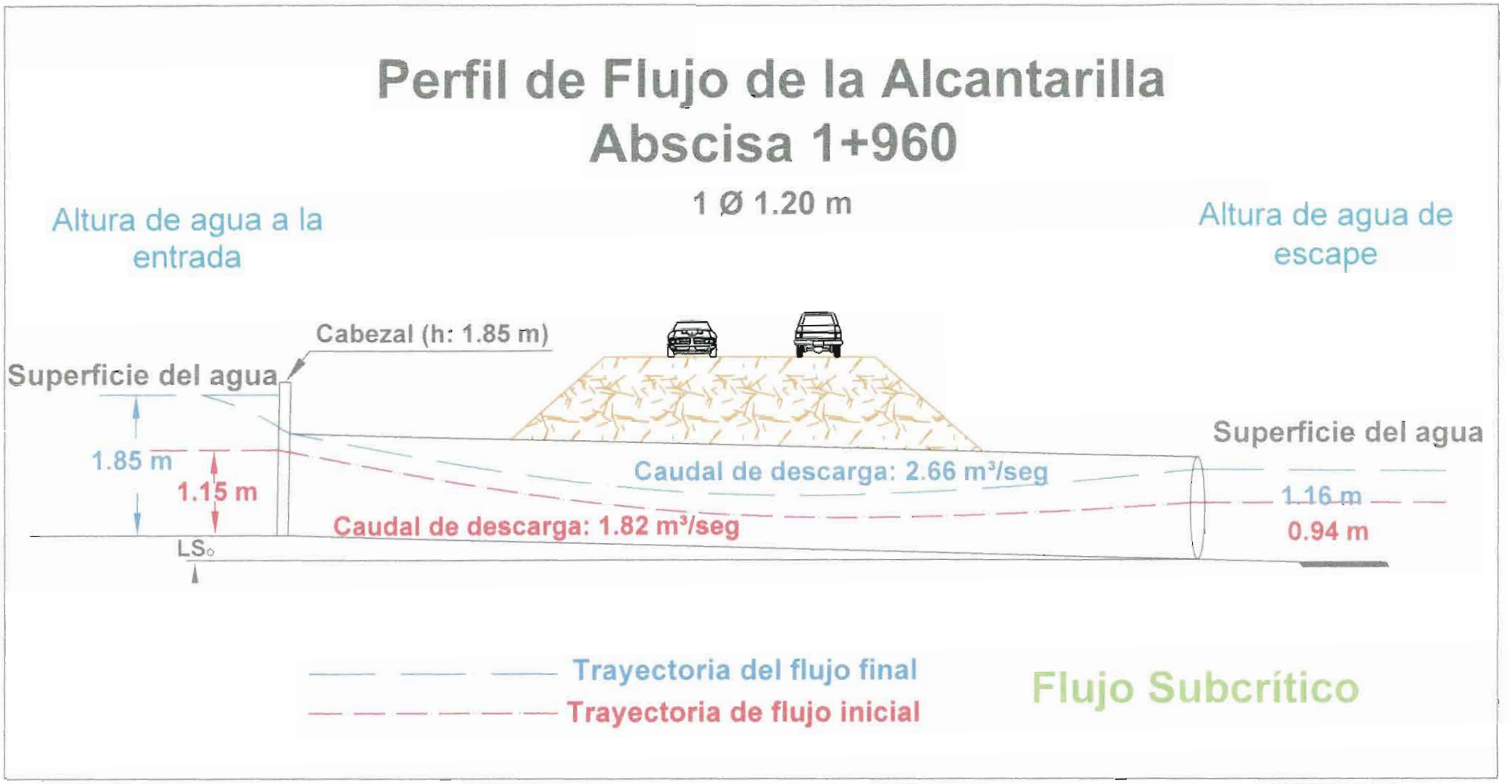
Perfil de flujo de la alcantarilla ubicada en la abscisa 0+820 cuya seccion de control se encuentra en la entrada



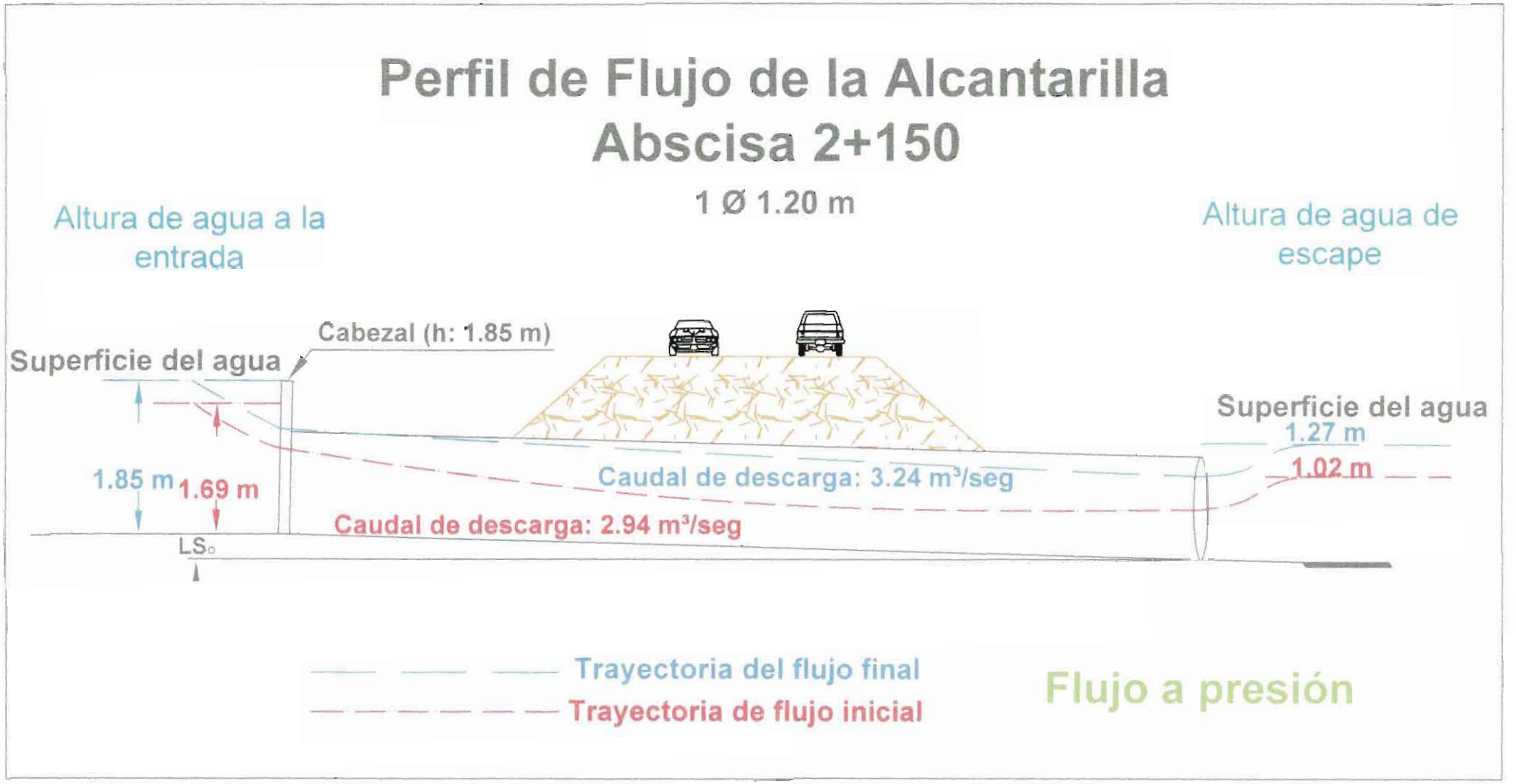
Perfil de flujo de la alcantarilla ubicada en la abscisa 1+420 cuya seccion de control se encuentra en la salida-caudal deficiente



Perfil de flujo de la alcantarilla ubicada en la abscisa 1+700 cuya seccion de control se encuentra en la entrada



Perfil de flujo de la alcantarilla ubicada en la abscisa 1+960 cuya seccion de control se encuentra en la salida



Perfil de flujo de la alcantarilla ubicada en la abscisa 2+150 cuya seccion de control se encuentra en la salida