



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

**TÍTULO:
“DERIVACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD -DURACIÓN -
FRECUENCIA (I.D.F.) para la CIUDAD DE GUAYAQUIL”**

**AUTOR:
VICTOR MANUEL ACOSTA ARCOS**

**TRABAJO DE GRADO:
PREVIA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
INGENIERO CIVIL**

**TUTOR:
PLAZA VERA FERNANDO JAVIER**

**Guayaquil, Ecuador
2013**



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CERTIFICACIÓN

**Certificamos que el presente trabajo fue realizado en su totalidad por
VICTOR MANUEL ACOSTA ARCOS, como requerimiento parcial para la
obtención del Título de INGENIERO CIVIL.**

TUTOR:

ING. FERNANDO JAVIER PLAZA VERA

REVISOR(ES)

ING. MIGUEL CABRERA SANTOS

ING. PEDRO CASTRO VILLALBA

DIRECTOR DE LA CARRERA

ING. MARIO DUEÑAS ROSSI

Guayaquil, a los 15 del mes de Mayo del año 2013



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Víctor Manuel Acosta Arcos

DECLARO QUE:

El Trabajo de Titulación “DERIVACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD - DURACIÓN - FRECUENCIA (I.D.F.) para la CIUDAD DE GUAYAQUIL”, previa a la obtención del Título de Ingeniero Civil, ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del Trabajo de Titulación referido.

Guayaquil, a los 15 del mes de Mayo del año 2013

EL AUTOR:

Victor Manuel Acosta Arcos



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Víctor Manuel Acosta Arcos

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación en la biblioteca de la institución del Trabajo de Titulación: “DERIVACIÓN DE LAS CURVAS INTENSIDAD -DURACIÓN - FRECUENCIA (I.D.F.) para la CIUDAD DE GUAYAQUIL”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, a los 15 del mes de Mayo del año 2013

EL AUTOR:

Victor Manuel Acosta Arcos



AGRADECIMIENTOS

A mi madre, por su amor, por su valiente y desinteresada decisión, la cual me permitió tener la oportunidad de un futuro mejor.

Al Ingeniero Paul Acosta Andrade, por mostrarme el camino e incentivarme a seguirlo, por apoyarme en los momentos difíciles, por creer y confiar en mí.

Al Ingeniero Francisco Peña, por brindarme la oportunidad de ser parte de su sueño, de ser parte de Ripconciv Cia. Ltda.

A Xiomara por su amor incondicional, por su cariño y comprensión.

Victor Manuel Acosta Arcos



A mi familia....

Victor Manuel Acosta Arcos



TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

Ing. Fernando Javier Plaza Vera

PROFESOR GUÍA Ó TUTOR

Ing. Miguel Cabrera Santos

PROFESOR DELEGADO



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CALIFICACIÓN

Ing. Fernando Javier Plaza Vera



ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	V
DEDICATORIA	VI
RESUMEN	XX
<i>CAPÍTULO I</i>	1
1.1. INTRODUCCIÓN	1
1.1.1. JUSTIFICACIÓN	1
1.1.2. ANTECEDENTES	2
1.1.3. OBJETIVO	3
1.1.4. ALCANCE	3
<i>CAPÍTULO II</i>	4
2.1. BASE TEÓRICA	4
❖ CONCEPTOS BÁSICOS	4
2.1.1. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA	4
2.1.2. PRECIPITACIÓN PLUVIAL	8
2.1.3. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN	8
2.1.4. DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN	9
2.1.5. FRECUENCIA	9
2.1.6. PERIODO DE RETORNO (T_r)	9
2.1.7. ESTADÍSTICA APLICADA A LA HIDROLOGÍA	10
2.1.8. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD	10
2.1.9. TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS	11
2.1.10. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS	11



CAPÍTULO III.....	12
3.1. METODOLOGÍA: ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS	12
3.1.1. METODOLOGÍA PROPUESTA	12
3.1.2. ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA.....	14
3.1.3. REGISTRO DE DATOS HISTÓRICOS	16
3.1.4. SELECCIÓN DE LAS MÁXIMAS PRECIPITACIONES DE CADA AÑO..	18
3.1.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO.....	19
CAPÍTULO IV	28
4.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS	28
❖ <i>Duraciones de 10 min</i>	<i>28</i>
• <i>Error estándar:.....</i>	<i>28</i>
• <i>Calculo de Error cuadrático:</i>	<i>29</i>
• <i>Extrapolación de datos:</i>	<i>30</i>
• <i>Grafico:.....</i>	<i>30</i>
❖ <i>Duraciones de 20 min</i>	<i>31</i>
• <i>Error estándar:.....</i>	<i>31</i>
• <i>Calculo de Error cuadrático:</i>	<i>31</i>
• <i>Extrapolación de datos:</i>	<i>32</i>
• <i>Grafico:.....</i>	<i>33</i>
❖ <i>Duraciones de 30 min</i>	<i>33</i>
• <i>Error estándar:.....</i>	<i>33</i>
• <i>Calculo de Error cuadrático:</i>	<i>34</i>
• <i>Extrapolación de datos:</i>	<i>35</i>
• <i>Grafico:.....</i>	<i>35</i>
❖ <i>Duraciones de 40 min</i>	<i>36</i>
• <i>Error estándar:.....</i>	<i>36</i>
• <i>Calculo de Error cuadrático:</i>	<i>36</i>
• <i>Extrapolación de datos:</i>	<i>37</i>
• <i>Grafico:.....</i>	<i>38</i>



❖ Duraciones de 50 min	38
• Error estándar:.....	38
• Calculo de Error cuadrático:	39
• Extrapolación de datos:	40
• Grafico:.....	40
❖ Duraciones de 60 min	41
• Error estándar:.....	41
• Calculo de Error cuadrático:	41
• Extrapolación de datos:	42
• Grafico:.....	43
❖ Duraciones de 120 min	43
• Error estándar:.....	43
• Calculo de Error cuadrático:	44
• Extrapolación de datos:	45
• Grafico:.....	45
❖ Duraciones de 360 min	46
• Error estándar:.....	46
• Calculo de Error cuadrático:	46
• Extrapolación de datos:	47
• Grafico:.....	48
❖ INTENSIDADES MÁXIMAS ESTIMADAS.....	49
Datos Calculados para Duraciones de 10 a 60 minutos:	50
Datos Calculados para Duraciones de 60 a 360 minutos:	50
❖ CURVAS IDF	51
❖ ECUACIONES IDF GUAYAQUIL.....	53
4.2. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES OBTENIDAS VS. ECUACIONES DEL INAMHI (1999)	55
CONCLUSIONES	60
RECOMENDACIONES.....	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS.....	63



ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 3.1	REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS.....	17
TABLA 3.2	INTENSIDADES MÁXIMAS.....	18
TABLA 3.3	ERROR ESTÁNDAR 10 MIN.....	28
TABLA 3.4	ERROR CUADRÁTICO 10 MIN.....	29
TABLA 3.5	EXTRAPOLACIÓN 10 MIN.....	30
TABLA 3.6	ERROR ESTÁNDAR 20 MIN.....	31
TABLA 3.7	ERROR CUADRÁTICO 20 MIN.....	31
TABLA 3.8	EXTRAPOLACIÓN 20 MIN.....	32
TABLA 3.9	ERROR ESTÁNDAR 30 MIN.....	33
TABLA 3.10	ERROR CUADRÁTICO 30 MIN.....	34
TABLA 3.11	EXTRAPOLACIÓN 30 MIN.....	35
TABLA 3.12	ERROR ESTÁNDAR 40 MIN.....	36
TABLA 3.13	ERROR CUADRÁTICO 40 MIN.....	36
TABLA 3.14	EXTRAPOLACIÓN 40 MIN.....	37
TABLA 3.15	ERROR ESTÁNDAR 50 MIN.....	38
TABLA 3.16	ERROR CUADRÁTICO 50 MIN.....	39
TABLA 3.17	EXTRAPOLACIÓN 50 MIN.....	40
TABLA 3.18	ERROR ESTÁNDAR 60 MIN.....	41
TABLA 3.19	ERROR CUADRÁTICO 60 MIN.....	41
TABLA 3.20	EXTRAPOLACIÓN 60 MIN.....	42
TABLA 3.21	ERROR ESTÁNDAR 120 MIN.....	43



TABLA 3.22	ERROR CUADRÁTICO 120 MIN.....	44
TABLA 3.23	EXTRAPOLACIÓN 120 MIN.....	45
TABLA 3.24	ERROR ESTÁNDAR 360 MIN.....	46
TABLA 3.25	ERROR CUADRÁTICO 360 MIN.....	46
TABLA 3.26	EXTRAPOLACIÓN 360 MIN.....	47
TABLA 3.27	INTENSIDADES MÁXIMAS ESTIMADAS.....	49
TABLA 3.28	Datos Calculados para Duraciones de 10 a 60 minutos.....	50
TABLA 3.29	Datos Calculados para Duraciones de 60 a 360 minuto.....	50
TABLA 3.30	ECUACIONES IDF GUAYAQUIL TENDENCIA DE 10 MIN A 60 MIN....	53
TABLA 3.31	ECUACIONES IDF GUAYAQUIL TENDENCIA DE 60 MIN A 360 MIN...54	
TABLA 3.32	ECUACIONES DEL INAMHI (1999).....	55
TABLA 3.33	COMPARATIVO DE ECUACIONES.....	56



ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 2.1	ESQUEMA DE LAS CURVAS I.D.F.....	7
FIGURA 3.1	UBICACIÓN SATELITAL ESTACIÓN MA2V.....	15
FIGURA 3.2	UBICACIÓN SATELITAL ESTACIÓN M056.....	15
FIGURA 3.3	FAJA PLUVIOGRÁFICA.....	16
FIGURA 3.4	FAJA PLUVIOGRÁFICA.....	16
FIGURA 3.5	FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN PROGRAMA AX.....	20
FIGURA 3.6	PROGRAMA AX. PASO 1.....	21
FIGURA 3.7	PROGRAMA AX. PASO 2.....	21
FIGURA 3.8	PROGRAMA AX. PASO 2.....	22
FIGURA 3.9	PROGRAMA AX. PASO 3.....	22
FIGURA 3.10	PROGRAMA AX. PASO 4.....	23
FIGURA 3.11	PROGRAMA AX. PASO 4.....	23
FIGURA 3.12	PROGRAMA AX. PASO 4.....	24
FIGURA 3.13	PROGRAMA AX. PASO 5.....	24
FIGURA 3.14	PROGRAMA AX. PASO 6.....	25
FIGURA 3.15	PROGRAMA AX. PASO 7.....	25
FIGURA 3.16	PROGRAMA AX. PASO 8.....	26
FIGURA 3.17	PROGRAMA AX. PASO 9.....	27
FIGURA 3.18	PROGRAMA AX. PASO 10.....	27
FIGURA 3.19	GRAFICA DURACIÓN 10 MIN.....	30
FIGURA 3.20	GRAFICA DURACIÓN 20 MIN.....	33
FIGURA 3.21	GRAFICA DURACIÓN 30 MIN.....	35



FIGURA 3.22	GRAFICA DURACIÓN 40 MIN.....	38
FIGURA 3.23	GRAFICA DURACIÓN 50 MIN.....	40
FIGURA 3.24	GRAFICA DURACIÓN 60 MIN.....	43
FIGURA 3.25	GRAFICA DURACIÓN 120 MIN.....	45
FIGURA 3.26	GRAFICA DURACIÓN 3600 MIN.....	48
FIGURA 3.27	CURVA LOGARÍTMICA.....	49
FIGURA 3.28	CURVA (I.D.F.) DE 10 A 60 MIN.....	51
FIGURA 3.29	CURVA (I.D.F.) DE 60 A 360 MIN.....	52
FIGURA 3.30	CURVA (I.D.F.) DEL INAMHI.....	55
FIGURA 3.31	CURVA COMPARATIVA $T_r= 100$ AÑOS.....	57
FIGURA 3.32	CURVA COMPARATIVA $T_r= 50$ AÑOS.....	58
FIGURA 3.33	CURVA COMPARATIVA $T_r= 10$ AÑOS.....	58
FIGURA 3.34	CURVA COMPARATIVA $T_r= 5$ AÑOS.....	59



RESUMEN

Las curvas I.D.F. (Intensidad – Duración – Frecuencia) son de gran utilidad dentro del diseño hidráulico, estructuras para drenaje pluvial, fundamentalmente para el drenaje urbano.

El presente trabajo presenta la derivación de estas curvas para la ciudad de Guayaquil a partir de los registros pluviográficos de las distintas estaciones que mantiene el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en esta ciudad.

Para el desarrollo de las curvas para varios periodos de retorno se utilizo el programa AX (Ajuste de función de probabilidad) Versión 1.05 elaborado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Los resultados de la intensidad de lluvia obtenidas con las ecuaciones desarrolladas para cada una de las curvas se las comparo con los que se resultan aplicando las ecuaciones publicadas por el INAMHI en el documento “Estudio de Lluvias Intensas”, observándose que para tiempos menores a 150 minutos las intensidades calculadas con las ecuaciones del INAMHI son mayores que las obtenidas en este trabajo, y todo lo contrario para tiempos superiores, no habiendo una diferencia en promedio mayor al 10%.



Las ecuaciones obtenidas son:

TENDENCIA DE 10 MIN A 60 MIN	
PERIODO DE RETORNO	ECUACIÓN
2 AÑOS	$i = 124,65t^{-0,269}$ $R^2 = 0,9726$
5 AÑOS	$i = 163,48t^{-0,265}$ $R^2 = 0,9816$
10 AÑOS	$i = 182,91t^{-0,254}$ $R^2 = 0,9776$
20 AÑOS	$i = 197,99t^{-0,242}$ $R^2 = 0,9673$
50 AÑOS	$i = 213,45t^{-0,225}$ $R^2 = 0,9437$
100 AÑOS	$i = 222,91t^{-0,211}$ $R^2 = 0,9179$



TENDENCIA DE 60 MIN A 360 MIN	
PERIODO DE RETORNO	ECUACIÓN
2 AÑOS	$i = 1023,3t^{-0,783}$ $R^2 = 0,9941$
5 AÑOS	$i = 1011,9t^{-0,703}$ $R^2 = 0,9868$
10 AÑOS	$i = 996,41t^{-0,66}$ $R^2 = 0,9827$
20 AÑOS	$i = 977,36t^{-0,623}$ $R^2 = 0,9802$
50 AÑOS	$i = 949,61t^{-0,581}$ $R^2 = 0,9795$
100 AÑOS	$i = 925,5t^{-0,552}$ $R^2 = 0,981$

Donde:

i = Intensidad de lluvia para cualquier periodo de retorno en mm/h

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos

R^2 = Coeficiente de correlación



CAPÍTULO I

1.1. INTRODUCCIÓN

La mayoría de las obras de ingeniería civil son afectadas principalmente por factores climáticos, siendo las precipitaciones pluviales las más destacadas entre estos factores. La lluvia dentro del balance hidrológico no es más que uno de sus componentes, pero es innegable que es el factor principal dentro del mismo.

Un correcto dimensionamiento del drenaje garantizará la vida útil de una carretera, una vía férrea, un aeropuerto, etc. Además de la seguridad de las poblaciones y demás estructuras que se sitúan aguas abajo de las mismas, ya que una obra subdimensionada, podría traer consecuencias funestas (pérdidas humanas, pérdidas económicas, etc.), y por el contrario, una obra sobredimensionada, podría llegar a ser tan costosa, que su ejecución sería inviable.

1.1.1. JUSTIFICACIÓN

La derivación de las curvas I.D.F. para la ciudad de Guayaquil será un aporte importante no solo para los estudiantes que deseen profundizar sus estudios en busca de una metodología práctica para la obtención de las mismas, sino para todo profesional, empresa pública o privada que se dedique al diseño de sistemas de drenaje pluvial urbano.



1.1.2. ANTECEDENTES

El registro de las lluvias intensas de corta duración, es indispensable para dimensionar el drenaje de las obras ingenieriles. Por lo que es necesario determinar un valor asociado a la frecuencia de ocurrencia. Al tratarse de un fenómeno aleatorio, los aspectos relacionados con la lluvia se analizan mediante leyes de probabilidad, y para el efecto se han desarrollado modelos estadísticos para su estudio.

La calidad de los resultados dependerá directamente de la calidad de los datos y del tamaño de la muestra. Una muestra muy pequeña o con datos incompletos no reflejara la realidad de la población, usualmente se considera que una muestra aceptable no debe ser menor a treinta datos.

Para el dimensionamiento de las estructuras de drenaje urbano de la ciudad, los proyectistas disponen de curvas desarrolladas por Interagua, el INAMHI y la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, para cuyo efecto utilizaron la información pluviográfica de la estación climatológica localizada en el aeropuerto, que registra datos desde 1915 y por lo tanto de aceptable extensión de registros de lluvias, pero estas curvas no se han actualizado con los datos de los últimos años. Como ejemplo se puede mencionar que en el año de 1999 el INAMHI publicó el Estudio de Lluvias Intensas, el cual contiene las curvas I.D.F. (Intensidad – Duración – Frecuencia) para las diversas estaciones pluviográficas y pluviométricas del país, las mismas que están elaboradas con registros tomados hasta el año 1997, por lo cual se justifica realizar una actualización de las curvas incluyendo los registros obtenidos a partir de esa fecha.



1.1.3. OBJETIVO

Derivar las curvas I.D.F. a partir de registros pluviográficos de la ciudad de Guayaquil para diversos periodos de retorno 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años y duraciones de hasta 6 horas, para ser empleadas en el diseño de obras de drenaje urbano.

1.1.4. ALCANCE

Para lograr el objetivo del trabajo se hace necesario en primer lugar la obtención de la información pluviográfica de la ciudad, estos registros son tomados directamente de las lecturas de las fajas pluviográficas proporcionada por el INAMHI, mismas que se digitalizaron y se adjuntan en los anexos.

Se seleccionara una duración específica de la tormenta, desde 10 minutos hasta 6 horas y se determinara, para cada año, la máxima precipitación para cada duración, procediendo luego a calcular las intensidades para dichas duraciones de precipitación.

Mediante la aplicación de un método estadístico y de acuerdo a la función de probabilidad de mejor ajuste para cada duración, se estimaran los eventos máximos para cada periodo de retorno señalado.

Posteriormente, se graficaran las curvas con los datos obtenidos y así mediante un programa adecuado para esta actividad, obtener las ecuaciones para cada curva. Finalmente se realizara una comparación con las curvas existentes publicadas por el INAMHI, para establecer si existe una variación considerable entre estas.



CAPÍTULO II

2.1. BASE TEÓRICA

❖ CONCEPTOS BÁSICOS

Para una mejor comprensión de lo expuesto en el presente trabajo, a continuación se definen algunos conceptos básicos pero fundamentales del tema planteado.

2.1.1. CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

Según (Témez, 1978) Las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (I.D.F.) son curvas que resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno.

Para Benítez (2002) las curvas I.D.F. son la representación gráfica de la relación existente entre la intensidad, la duración y la frecuencia o período de retorno de la precipitación.



De acuerdo a (Chow et al., 1994). Las curvas de intensidad-duración-frecuencia también pueden expresarse como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de la lluvia de diseño, en una gráfica.

Por otra parte, según Mintegui *et al* (1990), se denominan Curvas Intensidad- Duración-Frecuencia (IDF) a aquellas que representan duraciones en abscisas y alturas de precipitación en las ordenadas, en la cual, cada curva representada corresponde a una frecuencia (o período de retorno), de tal forma que las gráficas de las curvas IDF representan la intensidad media en intervalos de diferente duración, correspondiendo todos los de una misma curva, a un idéntico período de retorno.

Para la construcción de las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF), varios autores, presentan distintas alternativas. Para Aparicio (1997) existen dos métodos; el primero, llamado de intensidad - período de retorno, relaciona estas dos variables para cada duración por separado, mediante alguna de las funciones de distribución de probabilidad usadas en hidrología.

El segundo método relaciona simultáneamente la intensidad, la duración y el período de retorno en una familia de curvas, cuya ecuación (1) es:

$$i = \frac{k \cdot T^m}{(d+c)^n} \quad (1)$$

Donde k, m, n y c son constantes que se calculan mediante un análisis de correlación lineal múltiple, y en tanto que i y d corresponden a la intensidad de precipitación y la duración, respectivamente.



Así mismo, Chow *et al* (1994), presenta dos formas de trabajar con las curvas I.D.F. La primera, utiliza un análisis de frecuencia de la lluvia, considerando para ello una función de distribución de probabilidad de valor extremo como la función Gumbel.

El segundo método, expresa las curvas I.D.F. como ecuaciones, con el fin de evitar la lectura de la intensidad de lluvia de diseño en una gráfica. Un ejemplo de esta ecuación (2) se da de la forma:

$$i = \frac{c}{(Td^e + f)} \quad (2)$$

Donde i es la intensidad de lluvia de diseño, y Td la duración, en tanto c , e y f son coeficientes que varían con el lugar y el período de retorno.

Por otro lado, Varas y Sánchez, citado por EULA (1993), han propuesto otra metodología para el diseño de las curvas IDF. Dicho procedimiento plantea la siguiente expresión (3) para estimar las intensidades máximas, para distintos períodos de retorno y duraciones:

$$P_{t,T} = K * P_{10,D} * C_{d,t} * C_{f,t} \quad (3)$$

Donde:

- $P_{t,T}$ = Lluvia con período de retorno de T años y duración t horas en (mm).
- K = Coeficiente para obtener la lluvia máxima absoluta en 24 horas en función del valor máximo diario ($k= 1,1$).
- $P_{10,D}$ = Lluvia Máxima diaria con 10 años de período de retorno.
- $C_{d,t}$ = Coeficiente de duración para t horas.
- $C_{f,T}$ = Coeficiente de frecuencia para T años de período de retorno.

Entonces, la intensidad máxima (4) de precipitación queda dada por:

$$i_{t,T}(mm/hr) = \frac{P_{t,T}}{d} \quad (4)$$

Donde:

- d = Duración en hr.

Utilizando estas ecuaciones, se pueden diseñar las curvas IDF en aquellas ciudades o zonas en que sólo existe información pluviométrica, para lo cual se deberán seleccionar los coeficientes de duración y frecuencia de la estación pluviográfica más cercana.

Otra forma o método para determinar las curvas IDF, es el que se presenta en este documento, el cual relaciona las intensidades de precipitación para distintos períodos de retorno, con el propósito de graficar la relación entre las tres variables (Intensidad- Duración –Frecuencia), y cuyo esquema de la curva IDF es el siguiente:

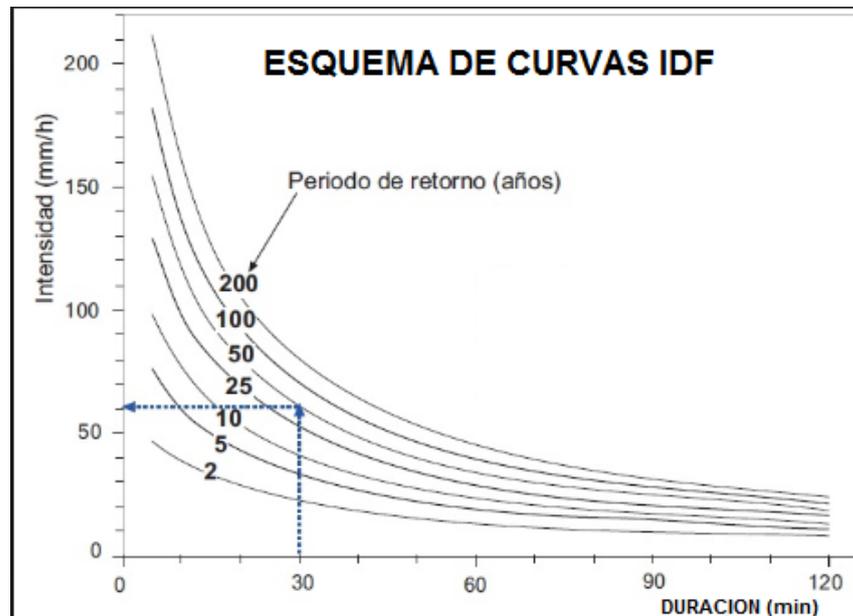


FIGURA 2.1 Esquema de las Curvas IDF



2.1.2. PRECIPITACIÓN PLUVIAL

La precipitación pluvial, se la define como a cualquier forma de agua proveniente del vapor de agua de la atmosfera que llega a la superficie terrestre como lluvia, granizo y nieve.

La lluvia se mide por la altura de agua caída y acumulada sobre una superficie plana. La cantidad de lluvia es medida por medio de instrumentos llamados pluviómetros y pluviógrafos.

2.1.3. INTENSIDAD DE PRECIPITACIÓN

Según Chow et al (1994), la Intensidad se define como la tasa temporal de precipitación, o sea, la profundidad por unidad de tiempo (mm/hr ó pulg/hr), y ésta se expresa como:

$$i = P / T_d \quad (5)$$

Donde P es la profundidad de lluvia en mm o pulg, y T_d es la duración, dada usualmente en hr.

Se puede definir a la Intensidad de lluvia como la cantidad de agua que cae en un punto, por un determinado tiempo, por ello y, entre otras, la unidad de medida a utilizar serán mm/h.



2.1.4. DURACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN

La duración de una precipitación está determinada como el tiempo desde que cae la primera gota de la lluvia hasta que esta cesa, expresado generalmente en minutos.

2.1.5. FRECUENCIA

Para (Chow et al, 1994) la frecuencia, se expresa en función del período de retorno (Tr), que es el intervalo de tiempo promedio (expresado en años) entre eventos de precipitación que igualan o exceden la magnitud de diseño.

2.1.6. PERIODO DE RETORNO (Tr)

Es el tiempo promedio en el que un evento hidrológico es igualado o superado en magnitud. El conocimiento de este evento, permite el diseño y la planificación óptima de las obras, depende de la extrapolación a una secuencia de observaciones máximas.

El periodo de retorno está íntimamente ligado a la importancia de la obra, por ende el Tr debe ser elegido para efectos de diseño bajo estándares o por lo que estimen los expertos.



2.1.7. ESTADÍSTICA APLICADA A LA HIDROLOGÍA

Debido a la cantidad de datos y la vasta cantidad de información que la Hidrología requiere procesar, organizar y analizar de forma adecuada, esta se apoya en conceptos de probabilidad y estadística, ya que la información hidrometeorológica es de carácter aleatorio es decir regida por leyes del azar o de la probabilidad.

En consecuencia es posible mediante la utilización de modelos matemáticos describir la variación aleatoria de un grupo de datos u observaciones, como en este caso las precipitaciones más intensas.

2.1.8. DISTRIBUCIONES DE PROBABILIDAD

Para ESCALANTE SANDOVAL, Carlos Agustín y Lilia Reyes Chávez (2008). En estadística una distribución de probabilidad indica toda la gama de valores que pueden presentarse como resultado de un experimento, y describe que tan probable es un evento futuro. No es más que una función continua que representa la frecuencia de éxito por medio de una variable que toma los valores posibles de los eventos.

Por esto, mediante el ajuste de la distribución de un conjunto de datos hidrológicos, una gran cantidad de información probabilística contenida en la muestra puede resumirse en forma compacta en la función y en sus parámetros asociados.

Para el ajuste de distribuciones de probabilidad existen varias técnicas de estimación de parámetros y varios criterios de selección de la mejor distribución como lo son:



- **Distribución Gumbel**
- **Distribución Normal**
- **Distribución Log Normal con dos parámetros**
- **Distribución Log Normal con tres parámetros**
- **Distribución Gamma con dos parámetros**
- **Distribución Gamma con tres parámetros**

2.1.9. TÉCNICAS DE ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

Son técnicas para determinar parámetros que se usan en las funciones de distribución y que hay que determinarlos adecuadamente de manera que las distribuciones se ajusten a los datos reales.

2.1.10. ANÁLISIS DE FRECUENCIAS DE EVENTOS EXTREMOS

El análisis de frecuencias de los eventos hidrológicos máximos anuales (escurrimiento, lluvia, etc.) se emplea para proveer la magnitud de un evento de cierto período de retorno T_r , para el diseño de obras hidráulicas y otros aspectos de gran importancia en la planeación y manejo de recursos hidráulicos.



CAPÍTULO III

3.1. METODOLOGÍA: ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE DATOS

3.1.1. METODOLOGÍA PROPUESTA

Para la derivación de las curvas I.D.F. se realizara el siguiente procedimiento basado en el MANUAL DE DRENAJE PARA CARRETERAS del INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, DE LA REPUBLICA DE COLOMBIA, (2009).

- Ubicar una estación provista de Pluviógrafo, representativa de la ciudad donde se realizará el análisis.
- Para cada año de registros históricos, seleccionar las tormentas más intensas.
- Se selecciona una duración específica de la tormenta, desde 10 minutos hasta 6 horas y se determina, para cada año, la máxima precipitación para cada duración, procediendo luego a calcular las intensidades para dichas duraciones de precipitación.



- Una vez obtenidas las máximas intensidades de precipitación para cada duración y de cada año de registro, se hace un análisis de distribución de probabilidad para ajustar los datos de intensidad a la función con el menor error estándar de ajuste. La herramienta de cálculo que se utilizará para hacer los ajustes a las distribuciones de probabilidad será el programa AX (Ajuste de función de probabilidad) Versión 1.05 elaborado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).
- De acuerdo a la función de probabilidad de mejor ajuste, para cada duración se estiman los eventos máximos para 2, 5, 10, 20, 50 y 100 años de retorno.
- Finalmente, se grafican los valores estimados, se trazan las curvas IDF y finalmente, mediante un análisis de regresión simple, se determinan las ecuaciones para cada período de retorno. Estas ecuaciones de intensidad estarán en función del tiempo y podrán ser de tipo logarítmico o potencial, según el mejor ajuste.
- Adicionalmente, se hará un análisis comparativo entre las ecuaciones obtenidas y las existentes (Estudio de Lluvias Intensas del INAMHI).



3.1.2. ESTACIÓN PLUVIOGRÁFICA

Las Estaciones pluviográficas son estaciones climatológicas dotadas de Pluviógrafos, los cuales registran valores continuos de la precipitación y duración del fenómeno, además de la medición de la lluvia recogida en 24 horas.

Para la realización del presente trabajo se procesaron los datos de la estación pluviográfica manejada por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (**INAMHI**) en la ciudad de Guayaquil, la cual estuvo inicialmente ubicada en la ciudadela la FAE, cerca del aeropuerto de la ciudad, en Octubre del 2001, fue reubicada en la Universidad Estatal de Guayaquil hasta la actualidad.

Los registros de las lluvias registradas a partir de Octubre del 2001 se los puede utilizar conjuntamente con los del periodo anterior, ya que la reubicación de esta estación no fue a más de 3 Km de su ubicación original, por lo que se los considera como parte representativa del universo de muestras de la zona.

1.

- **Cantón:** Guayaquil
- **Elevación:** 6 msnm
- **Fecha de Instalación:** 22-oct-2001
- **Latitud:** 021200
- **Longitud:** 795300
- **Código:** MA2V
- **Nombre:** Guayaquil (U. de Guayaquil)

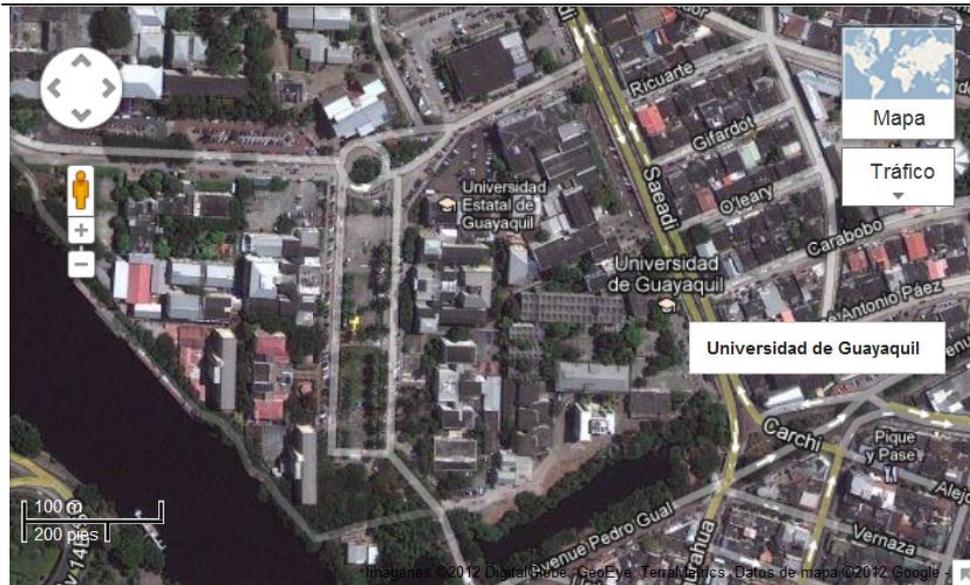


FIGURA 3.1 UBICACIÓN SATELITAL ESTACIÓN MA2V

2.

- **Cantón:** Guayaquil
- **Elevación:** 4 msnm
- **Fecha de Instalación:** Nov.- 1950
- **Fecha de reubicación:** Oct.- 2001
- **Latitud:** 022669
- **Longitud:** 799008
- **Código:** M056
- **Nombre:** Guayaquil (AEROPUERTO)



FIGURA 3.2 UBICACIÓN SATELITAL ESTACIÓN M056

3.1.3. REGISTRO DE DATOS HISTÓRICOS

Siguiendo con la metodología descrita anteriormente, se procedió a levantar los datos de altura de precipitación en milímetros cada 10 min, por lapsos de 6 horas de las lluvias más representativas de cada año, de los que hubiere registro, directamente de las fajas pluviográficas.

Ejemplo 1:

- Lluvia del 18 de Abril de 1998

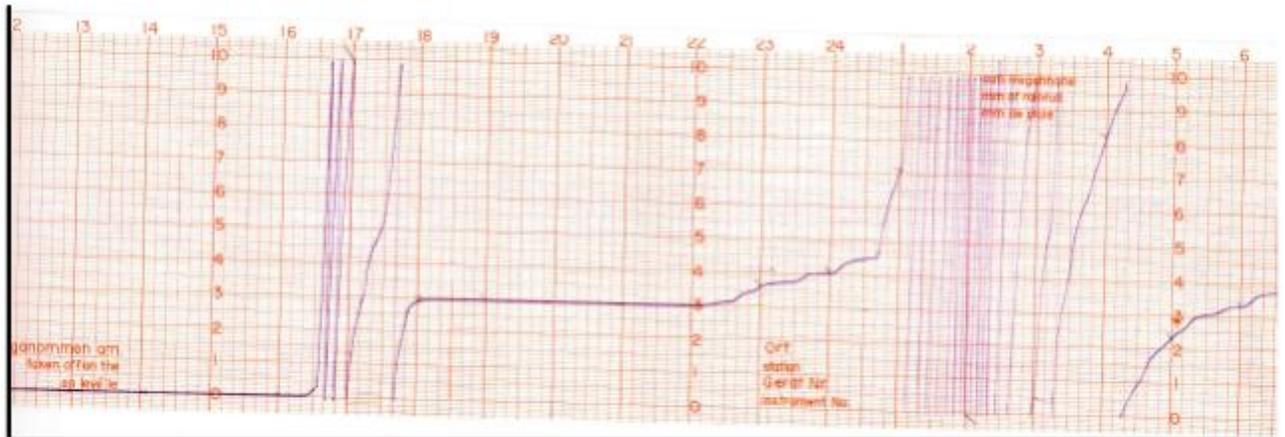


FIGURA 3.3 FAJA PLUVIOGRÁFICA ESTACIÓN INAMHI

Obteniendo los siguientes resultados por cada una de ellas:

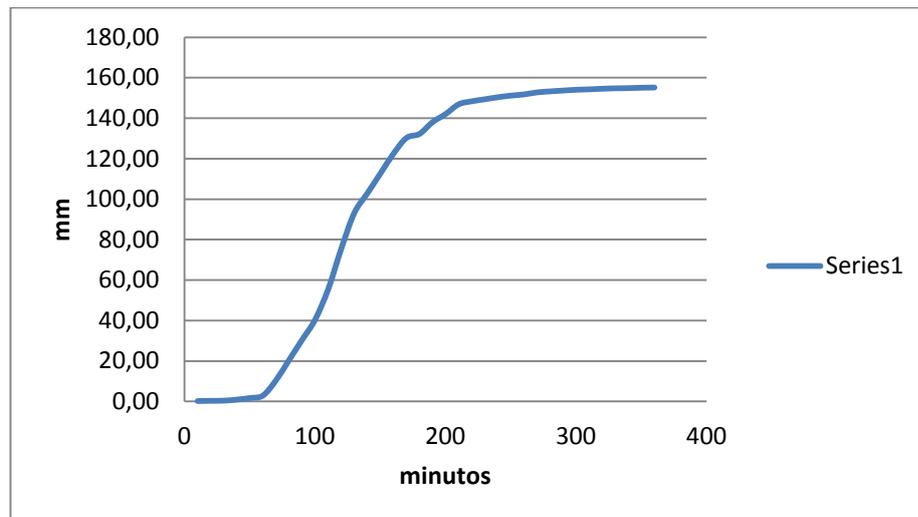


FIGURA 3.4 FAJA PLUVIOGRÁFICA



T (min)	Lluvia acumulada (mm)	Δh_p (mm)	Duración (min)										
			$\Delta 10$	$\Delta 20$	$\Delta 30$	$\Delta 40$	$\Delta 50$	$\Delta 60$	$\Delta 120$	$\Delta 180$	$\Delta 240$	$\Delta 300$	$\Delta 360$
0	0,0	0,0											
10	0,2	0,20	0,20	0,30	0,40	0,90	1,70	2,90	75,40	132,20	150,30	154,00	155,10
20	0,3	0,10	0,10	0,20	0,70	1,50	2,70	10,20	92,90	137,80	150,90	154,00	
30	0,4	0,10	0,10	0,60	1,40	2,60	10,10	20,10	102,50	141,70	151,40	154,20	
40	0,9	0,50	0,50	1,30	2,50	10,00	20,00	30,00	112,20	146,40	152,30	154,30	
50	1,7	0,80	0,80	2,00	9,50	19,50	29,50	39,50	121,50	147,40	152,30	153,90	
60	2,9	1,20	1,20	8,70	18,70	28,70	38,70	53,70	128,50	147,60	151,90	153,30	
70	10,4	7,50	7,50	17,50	27,50	37,50	52,50	72,50	129,30	147,40	151,10	152,20	
80	20,4	10,00	10,00	20,00	30,00	45,00	65,00	82,70	127,60	140,70	143,80		
90	30,4	10,00	10,00	20,00	35,00	55,00	72,70	82,40	121,60	131,30	134,10		
100	40,4	10,00	10,00	25,00	45,00	62,70	72,40	82,20	116,40	122,30	124,30		
110	55,4	15,00	15,00	35,00	52,70	62,40	72,20	82,00	107,90	112,80	114,40		
120	75,4	20,00	20,00	37,70	47,40	57,20	67,00	74,80	93,90	98,20	99,60		
130	93,1	17,70	17,70	27,40	37,20	47,00	54,80	56,80	74,90	78,60	79,70		
140	102,8	9,70	9,70	19,50	29,30	37,10	39,10	44,90	58,00	61,10			
150	112,6	9,80	9,80	19,60	27,40	29,40	35,20	39,20	48,90	51,70			
160	122,4	9,80	9,80	17,60	19,60	25,40	29,40	34,20	40,10	42,10			
170	130,2	7,80	7,80	9,80	15,60	19,60	24,40	25,90	30,80	32,40			
180	132,2	2,00	2,00	7,80	11,80	16,60	18,10	19,10	23,40	24,80			
190	138,0	5,80	5,80	9,80	14,60	16,10	17,10	18,10	21,80	22,90			
200	142,0	4,00	4,00	8,80	10,30	11,30	12,30	13,10	16,20				
210	146,8	4,80	4,80	6,30	7,30	8,30	9,10	9,70	12,50				
220	148,3	1,50	1,50	2,50	3,50	4,30	4,90	5,90	7,90				
230	149,3	1,00	1,00	2,00	2,80	3,40	4,40	4,90	6,50				
240	150,3	1,00	1,00	1,80	2,40	3,40	3,90	4,30	5,70				
250	151,1	0,80	0,80	1,40	2,40	2,90	3,30	3,70	4,80				
260	151,7	0,60	0,60	1,60	2,10	2,50	2,90	3,10					
270	152,7	1,00	1,00	1,50	1,90	2,30	2,50	2,80					
280	153,2	0,50	0,50	0,90	1,30	1,50	1,80	2,00					
290	153,6	0,40	0,40	0,80	1,00	1,30	1,50	1,60					
300	154,0	0,40	0,40	0,60	0,90	1,10	1,20	1,40					
310	154,2	0,20	0,20	0,50	0,70	0,80	1,00	1,10					
320	154,5	0,30	0,30	0,50	0,60	0,80	0,90						
330	154,7	0,20	0,20	0,30	0,50	0,60							
340	154,8	0,10	0,10	0,30	0,40								
350	155,0	0,20	0,20	0,30									
360	155,1	0,10	0,10										
Lectura máxima			20,00	37,70	52,70	62,70	72,70	82,70	129,30	147,60	152,30	154,30	155,10

TABLA 3.1 REGISTROS PLUVIOGRÁFICOS

❖ Todas las fajas pluviográficas con el análisis similar al del ejemplo se incluyen en los anexos.



3.1.4. SELECCIÓN DE LAS MÁXIMAS PRECIPITACIONES DE CADA AÑO

Una vez digitalizadas las fajas e ingresados los registros en la tabla anterior se procedió a tabular y a seleccionar los máximos registros de precipitaciones para duraciones de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 120 y 360 min de cada año para obtener los siguientes datos:

INTENSIDADES MÁXIMAS DE PRECIPITACIÓN (mm/h)

AÑO	10 min	20 min	30 min	40 min	50 min	60 min	120 min	360 min
1	54,00	43,50	40,00	33,68	30,49	26,50	13,60	5,33
2	75,60	60,30	50,40	44,72	40,27	31,60	15,95	7,82
3	93,00	78,00	75,00	64,68	59,74	60,00	37,50	14,95
4	45,00	44,40	40,20	36,15	33,72	29,10	15,50	6,27
5	56,40	56,40	52,60	52,05	49,44	43,70	26,05	10,18
6	57,00	52,50	54,00	48,75	45,00	45,00	31,55	11,85
7	74,40	53,70	44,00	40,05	35,64	34,20	19,50	7,60
8	61,80	52,50	45,00	39,60	34,68	31,20	16,45	5,62
9	58,20	57,90	52,80	41,10	33,00	27,50	17,20	7,38
10	72,00	65,40	60,00	53,91	50,60	50,00	35,00	21,35
11	66,00	46,50	34,40	38,44	35,16	32,20	23,30	8,40
12	36,00	25,80	18,60	19,76	17,58	15,80	11,00	2,60
13	12,00	21,80	28,60	31,32	34,24	39,90	43,00	11,30
14	85,20	84,60	75,40	70,80	68,88	65,40	39,95	14,23
15	59,40	59,10	58,40	58,35	55,08	52,70	36,45	14,85
16	42,00	37,20	33,20	30,75	28,56	26,30	19,00	7,63
17	60,00	49,50	42,00	39,00	35,04	35,00	26,30	11,33
18	87,00	81,90	66,60	57,15	51,60	55,80	35,30	14,42
19	98,40	85,20	87,60	79,95	76,56	71,30	43,50	22,03
20	69,00	63,00	63,60	54,90	49,92	44,40	38,75	13,98
21	88,80	72,30	56,40	55,50	55,32	55,10	37,60	16,27
22	84,00	71,70	66,80	59,85	53,28	48,60	30,10	10,03
23	57,00	49,20	44,00	40,20	34,80	32,50	17,70	6,72
24	60,00	59,70	59,60	53,70	47,64	43,50	27,20	9,85



25	108,00	88,50	80,80	75,60	72,12	69,90	63,35	30,07
26	120,00	113,10	105,40	94,05	87,24	82,70	64,65	25,85
27	57,00	55,50	52,00	45,00	41,04	36,60	24,55	8,60
28	72,00	66,90	61,60	59,55	53,88	47,90	41,35	14,33
29	63,00	58,50	51,00	51,00	44,40	38,00	29,70	18,83
30	63,00	56,10	50,40	51,30	51,84	48,20	29,75	12,60
31	45,60	39,30	37,40	36,00	33,48	30,40	23,75	9,65
32	70,80	65,40	60,20	53,85	46,08	40,90	24,25	11,22
33	108,00	85,50	73,00	60,75	51,00	43,80	23,00	10,53
34	72,00	61,50	53,40	46,80	43,32	40,10	22,75	8,45
35	45,00	33,00	29,00	27,00	23,16	20,00	11,80	4,00

TABLA 3.2 INTENSIDADES MAXIMAS

3.1.5. APLICACIÓN DEL MÉTODO ESTADÍSTICO

Para resolver la parte estadística y determinar la función de distribución de probabilidad que mejor se ajuste a la muestra (de acuerdo al criterio del menor error estándar de ajuste), se decidió utilizar el programa AX (Ajuste de función de probabilidad) Versión 1.05 elaborado por el Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

El programa AX ajusta distintas funciones de probabilidad a muestras de datos y calcula el error estándar de cada una de ellas respecto de la muestra. Las funciones de probabilidad que contempla el programa son las siguientes: Normal, Log-normal, Gumbel, Exponencial, Gamma y Doble Gumbel.

Los métodos para calcular los parámetros de las funciones de probabilidad son: por momentos y por máxima verosimilitud; además, las funciones Log-normal y Gamma pueden calcularse para dos o tres parámetros. En la siguiente tabla se muestran las combinaciones de solución posible que da el programa.

**Funciones de distribución de probabilidad analizadas y métodos de solución**

Función	Métodos			
	Momentos		Máx. veros.	
	3 par.	2 par.	3 par.	2 par.
Normal	----	√	----	√
Log-normal	√	√	√	√
Gumbel	----	√	----	√
Exponencial	----	√	----	√
Gamma	√	√	√	√
Doble Gumbel	√			

FIGURA 3.5 FUNCIONES DE DISTRIBUCIÓN PROGRAMA AX. VERSIÓN 1.05 (AYUDA CONTENIDO)

Se puede usar cada uno de los ajustes por separado, o bien seleccionar la opción de cálculo global, que calcula los errores estándar de todas las funciones y los muestra en una tabla como la anterior.

Si se elige el cálculo de los ajustes por separado, se pueden extrapolar valores para cualquier periodo de retorno deseado.

También se despliega en pantalla una representación gráfica de la función de distribución ajustada y de los valores de la muestra, en una escala doble logarítmica del periodo de retorno, en el eje horizontal (abscisas) y en el eje vertical (ordenadas) a la escala en que se manejan los datos de la muestra.

Para tener una mejor idea del manejo del programa, se procede a describir cada uno de los pasos realizados para obtener los datos necesarios para cada periodo de retorno.

Ejemplo 2:

- **Paso 1:** Inicio del programa

Una vez instalado el programa, al ejecutarlo se abre una pantalla como esta.

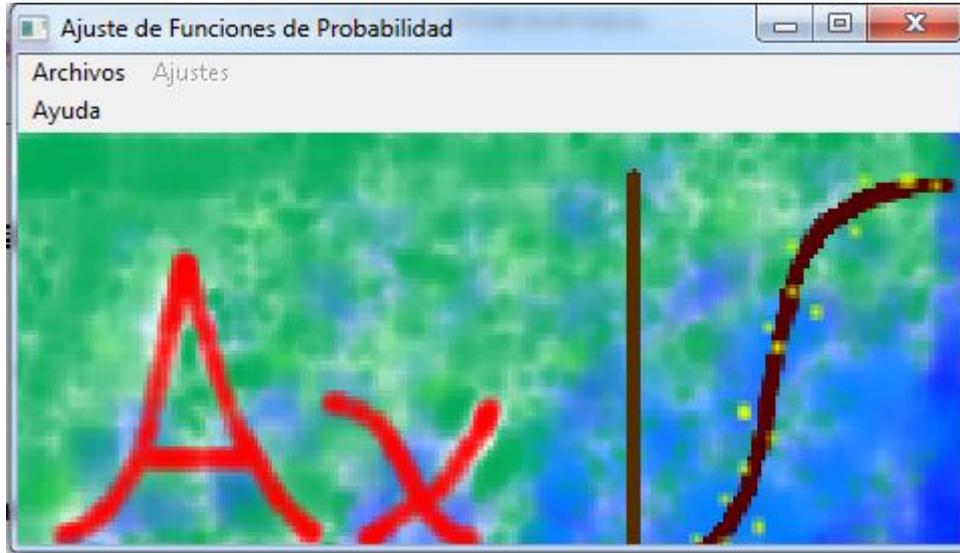


FIGURA 3.6 PROGRAMA AX. PASO 1

- **Paso 2:** Crear archivo

Para crear un nuevo archivo con los datos de las muestras se da click en Archivos – Crear, elije un nombre para el archivo y click en Ok.

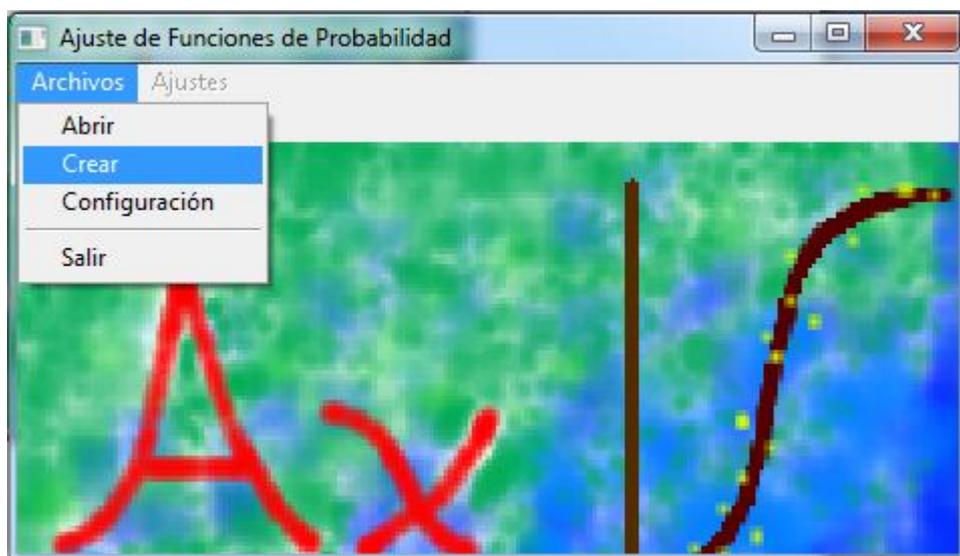


FIGURA 3.7 PROGRAMA AX. PASO 2

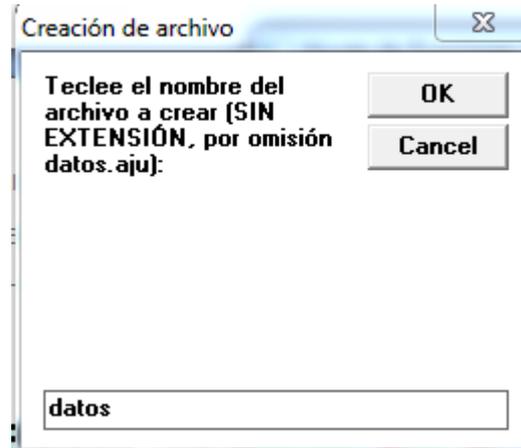


FIGURA 3.8 PROGRAMA AX. PASO 2

- **Paso 3: Ingresar datos de la muestra**

En la tabla siguiente se deben llenar los datos de la muestra dando Agregar para cada dato, una vez completos poner Salvar.



FIGURA 3.9 PROGRAMA AX. PASO 3



- **Paso 4: Abrir archivo guardado**

Para abrir el archivo creado y trabajar en él, se procede de la siguiente forma.

Archivos-Abrir, y se elije el archivo con Aceptar, aparecerá el archivo que se había creado y poner O.k

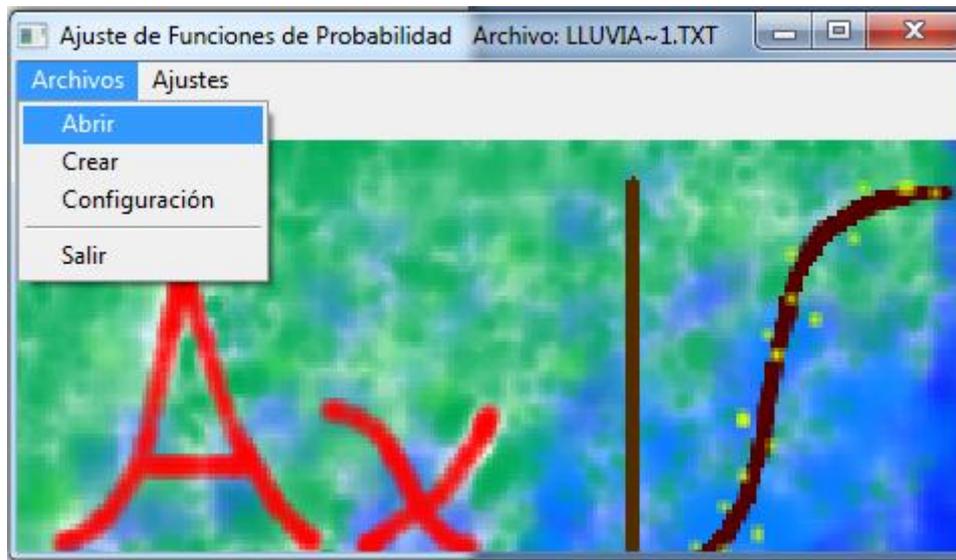


FIGURA 3.10 PROGRAMA AX. PASO 4

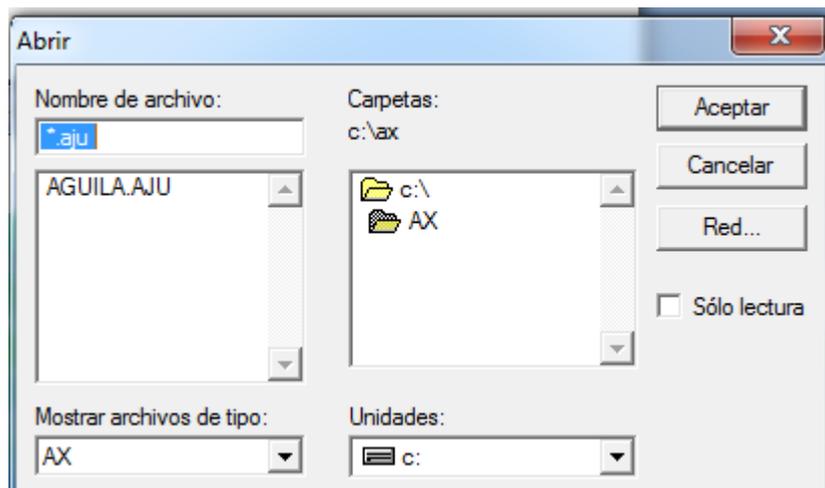


FIGURA 3.11 PROGRAMA AX. PASO 4

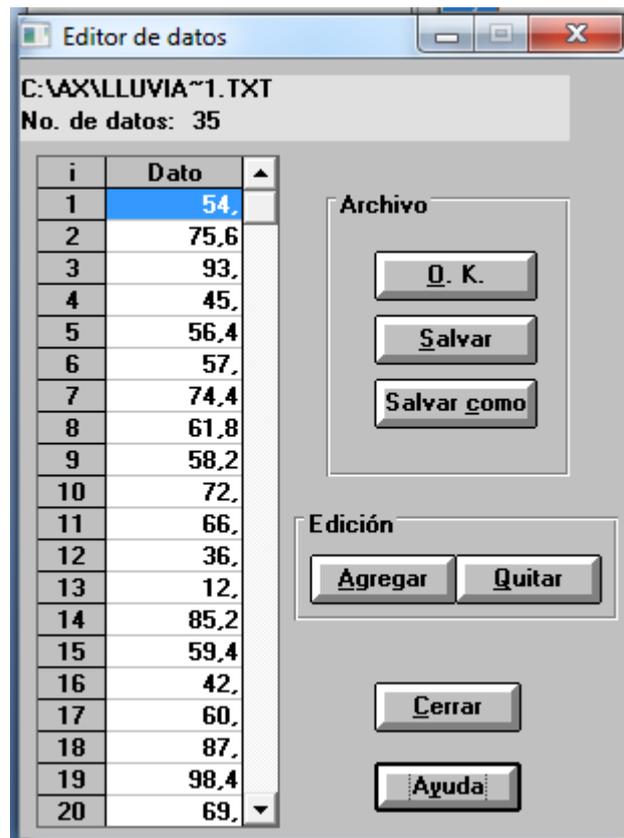


FIGURA 3.12 PROGRAMA AX. PASO 4

- **Paso 5: Ajustes**

En la pestaña de Ajustes se tendrá dos opciones, la una Global y la otra Ajustar a una función.

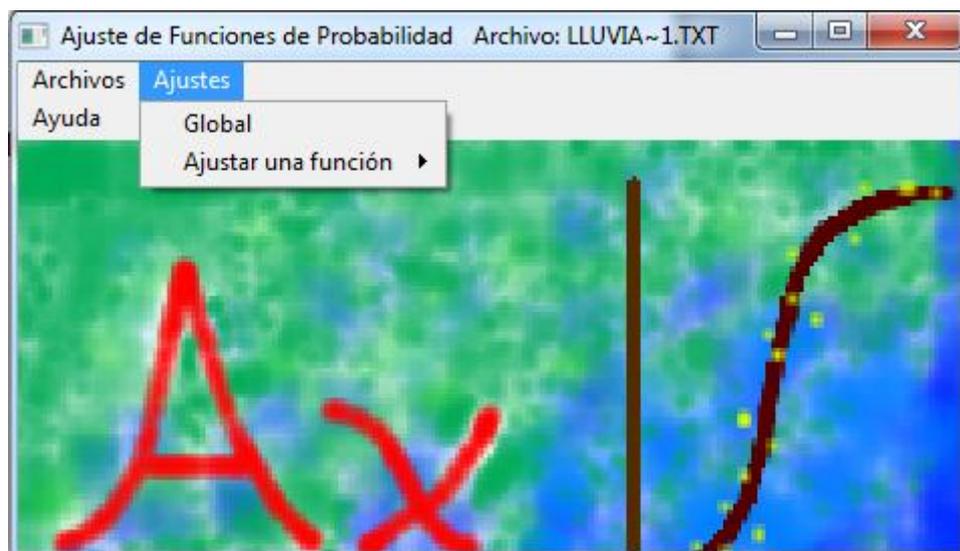


FIGURA 3.13 PROGRAMA AX. PASO 5



- **Paso 6: Ajuste Global**

Al dar click en Ajuste Global automáticamente aparece un cuadro que presenta los cálculos de los errores estándar de todas las funciones, e indica cual es la función que tienen menor error estándar, por lo que se puede asumir que esta la que mejor se ajusta.

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	4,720	-----	4,720	-----
Lognormal	4,993	4,595	6,331	8,486
Gumbel	5,065	-----	5,772	-----
Exponencial	7,589	-----	39,111	-----
Gamma	4,660	74,378	4,566	11111,000
Doble Gumbel	6,167			

Mínimo error estándar: 4,595
Calculado por la función: Lognormal (momentos) 3 p.

Aceptar Imprimir Ayuda

FIGURA 3.14 PROGRAMA AX. PASO 6

- **Paso 7: Ajustar una Función**

Al dar click en Ajustar una función se debe elegir la función con la que se quiere trabajar.

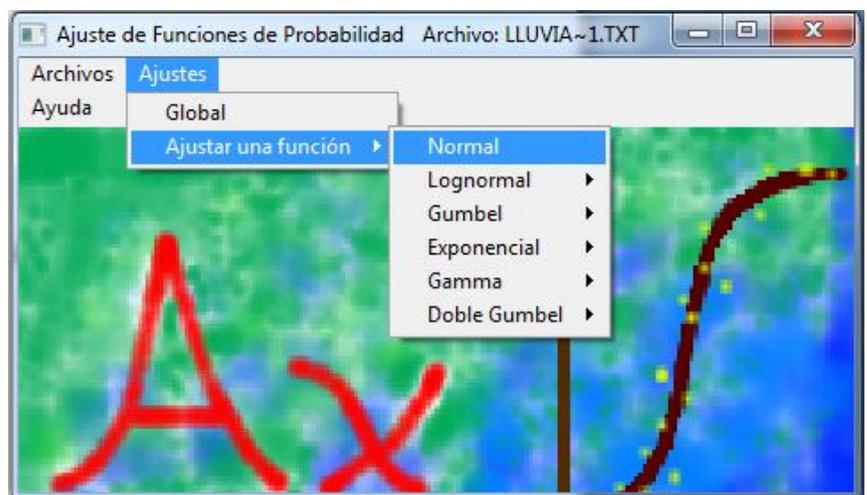


FIGURA 3.15 PROGRAMA AX. PASO 7



- **Paso 8: Error Estándar**

Una vez elegida la función se da click en ella y se abre una ventana que muestra el error estándar, el error cuadrático y los parámetros estadísticos de la muestra. Se muestran los valores reales (muestra) y los valores estimados.

Errores cuadráticos Archivo: LLUVIA~1.TXT

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36,	120,	109,81	103,85
2	18,	108,	102,73	27,75
3	12,	108,	98,1	98,01
4	9,	98,	94,52	12,09
5	7,2	93,	91,54	2,13
6	6,	88,	88,95	,89
7	5,14	87,	86,62	,15
8	4,5	85,	84,48	,27
9	4,	84,	82,5	2,25
10	3,6	75,	80,63	31,71
11	3,27	74,	78,85	23,55
12	3,	72,	77,15	26,49
13	2,77	72,	75,5	12,24
14	2,57	72,	73,89	3,59
15	2,4	70,	72,33	5,41
16	2,25	69,	70,78	3,18
17	2,12	66,	69,26	10,61
18	2,	63,	67,74	22,5
19	1,89	63,	66,23	10,42
20	1,8	61,	64,7	13,71
21	1,71	60,	63,16	9,99
22	1,64	60,	61,59	2,53
23	1,57	59,	59,99	,98
24	1,5	58,	58,34	,11
25	1,44	57,	56,63	,13
26	1,38	57,	54,85	4,6
27	1,33	57,	52,99	16,11
28	1,29	56,	51,	24,98

Parámetros estadísticos de la muestra:

$\mu = 67,743$ $\sigma = 21,968$ $\gamma = ,218$ $\kappa = 3,876$

Parámetros de la función: **Normal (momentos)**

Parámetro	Alfa	Beta
Valor	28571428	83500373

Error estándar = 4,72

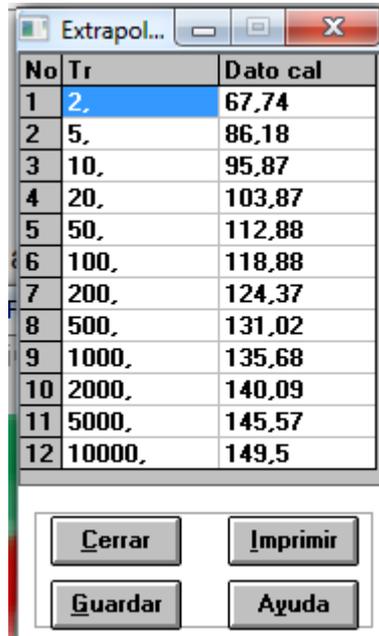
Cerrar Extrapolar Graficar Imprimir Ayuda

FIGURA 3.16 PROGRAMA AX. PASO 8



- **Paso 9: Extrapolar**

En esa misma ventana se da click en Extrapolar y se abre una nueva ventana que presenta los datos estimados para cada periodo de retorno deseado.



No	Tr	Dato cal
1	2,	67,74
2	5,	86,18
3	10,	95,87
4	20,	103,87
5	50,	112,88
6	100,	118,88
7	200,	124,37
8	500,	131,02
9	1000,	135,68
10	2000,	140,09
11	5000,	145,57
12	10000,	149,5

Buttons: Cerrar, Imprimir, Guardar, Ayuda

FIGURA 3.17 PROGRAMA AX. PASO 9

- **Paso 10: Graficar**

El programa da una opción que presenta los datos reales vs. la curva que representa la función de distribución de probabilidad.

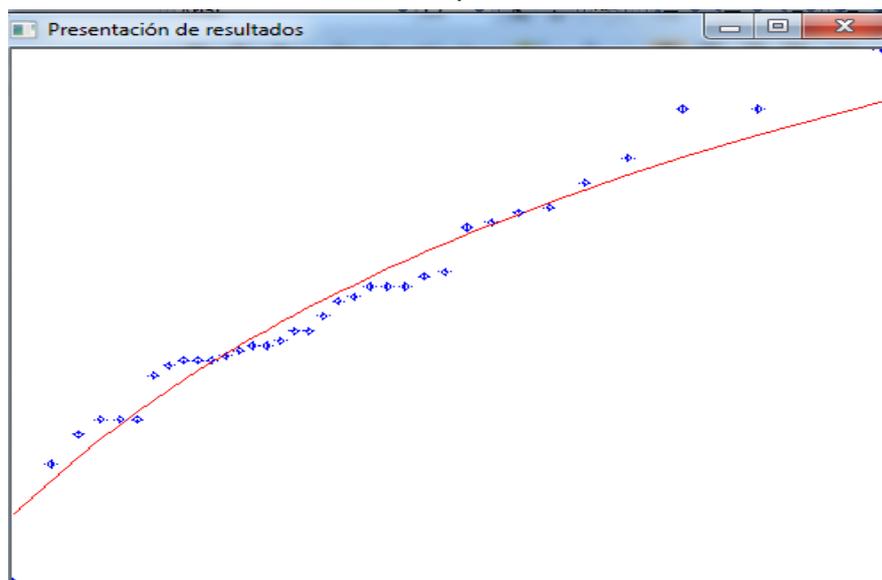


FIGURA 3.18 PROGRAMA AX. PASO 10



CAPÍTULO IV

4.1. ANÁLISIS Y RESULTADOS

Luego de aplicar el método estadístico los resultados obtenidos son los siguientes:

Duraciones de 10 min

- Error estándar:

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	4,720		4,720	
Lognormal	4,993	5,595	6,331	8,486
Gumbel	5,065		5,772	
Exponencial	7,589		39,111	
Gamma	4,660	74,378	4,566	

Mínimo error estándar:	4,566
------------------------	-------

TABLA 3.3 ERROR ESTÁNDAR 10 MIN



- **Calculo de Error cuadrático:**

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36	120	121,22	1,49
2	18	108	110,16	4,67
3	12	108	103,28	22,27
4	9	98	98,16	0,03
5	7,2	93	94,02	1,04
6	6	88	90,51	6,29
7	5,14	87	87,43	0,19
8	4,5	85	84,67	0,11
9	4	84	82,15	3,41
10	3,6	75	79,82	23,26
11	3,27	74	77,65	13,33
12	3	72	75,6	12,93
13	2,77	72	73,64	2,7
14	2,57	72	71,78	0,05
15	2,4	70	69,98	,
16	2,25	69	68,23	0,59
17	2,12	66	66,54	0,29
18	2	63	64,88	3,52
19	1,89	63	63,24	0,06
20	1,8	61	61,63	0,4
21	1,71	60	60,03	,
22	1,64	60	58,44	2,45
23	1,57	59	56,84	4,68
24	1,5	58	55,23	7,69
25	1,44	57	53,59	11,6
26	1,38	57	51,93	25,7
27	1,33	57	50,22	45,93
28	1,29	56	48,45	57
29	1,24	54	46,6	54,81
30	1,2	45	44,63	0,14
31	1,16	45	42,5	6,23
32	1,13	45	40,15	23,49
33	1,09	42	37,46	20,65
34	1,06	36	34,15	3,41
35	1,03	12	29,51	306,66

TABLA 3.4 ERROR CUADRÁTICO 10 MIN



- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	64,88
5	86,86
10	100,06
20	111,89
50	126,22
100	136,39

TABLA 3.5 EXTRAPOLACIÓN 10 MIN

- **Grafico:**

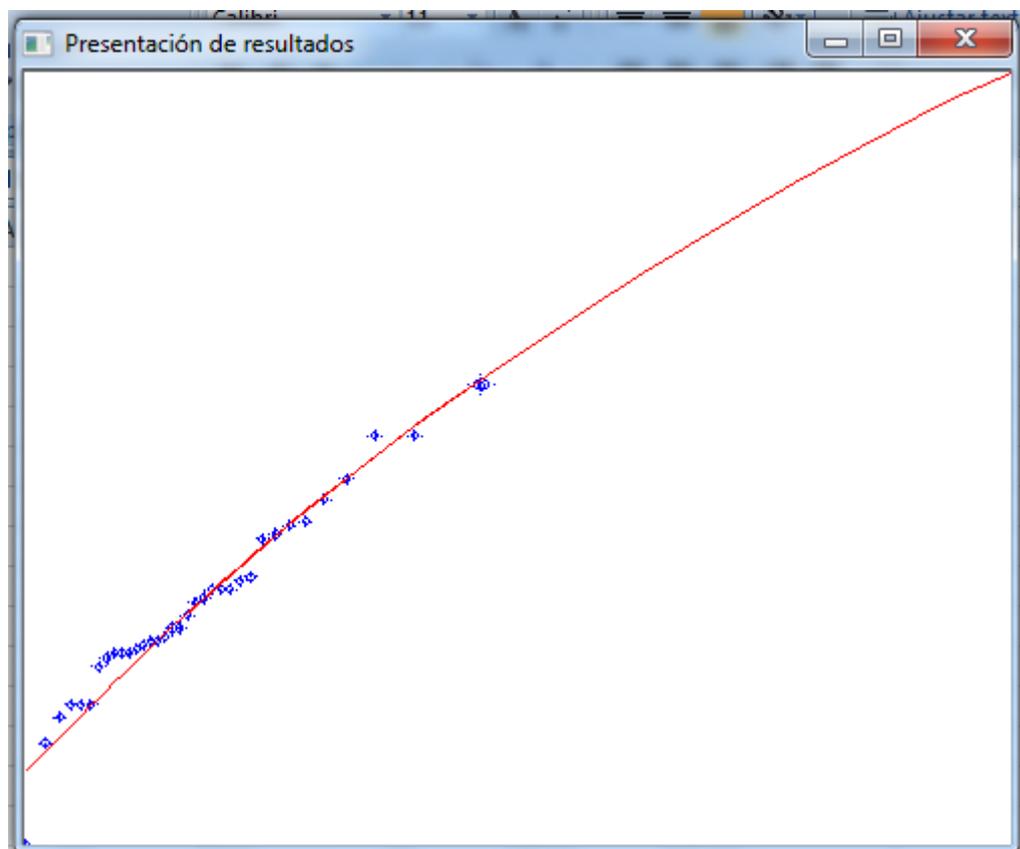


FIGURA 3.19 GRAFICA DURACIÓN 10 MIN



Duraciones de 20 min

- Error estándar:

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,813		3,813	
Lognormal	3,904	3,561	3,657	3,802
Gumbel	3,998		3,729	
Exponencial	6,285		34,440	
Gamma	3,641	3,577	3,523	

Mínimo error estándar:	3,523
------------------------	-------

TABLA 3.6 ERROR ESTÁNDAR 20 MIN

- Calculo de Error cuadrático:

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36	113	101,81	125,13
2	18	88	93,18	26,79
3	12	85	87,79	7,79
4	9	85	83,77	1,51
5	7,2	84	80,51	12,16
6	6	81	77,74	10,62
7	5,14	78	75,31	7,26
8	4,5	72	73,12	1,26
9	4	71	71,13	0,02
10	3,6	66	69,28	10,74
11	3,27	65	67,55	6,48
12	3	65	65,91	0,83
13	2,77	63	64,36	1,84
14	2,57	61	62,86	3,48
15	2,4	60	61,42	2,03



16	2,25	59	60,03	1,05
17	2,12	59	58,67	0,11
18	2	58	57,33	0,45
19	1,89	57	56,02	0,97
20	1,8	56	54,72	1,64
21	1,71	56	53,42	6,63
22	1,64	55	52,13	8,21
23	1,57	53	50,84	4,67
24	1,5	52	49,53	6,09
25	1,44	52	48,2	14,41
26	1,38	49	46,85	4,63
27	1,33	49	45,45	12,58
28	1,29	46	44	3,99
29	1,24	44	42,48	2,31
30	1,2	43	40,86	4,57
31	1,16	39	39,11	0,01
32	1,13	37	37,16	0,03
33	1,09	33	34,91	3,65
34	1,06	25	32,14	51,04
35	1,03	21	28,22	52,13

TABLA 3.7 ERROR CUADRÁTICO 20 MIN

- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	57,33
5	74,85
10	85,26
20	94,54
50	105,7
100	113,6

TABLA 3.8 EXTRAPOLACIÓN 20 MIN

- **Grafico:**

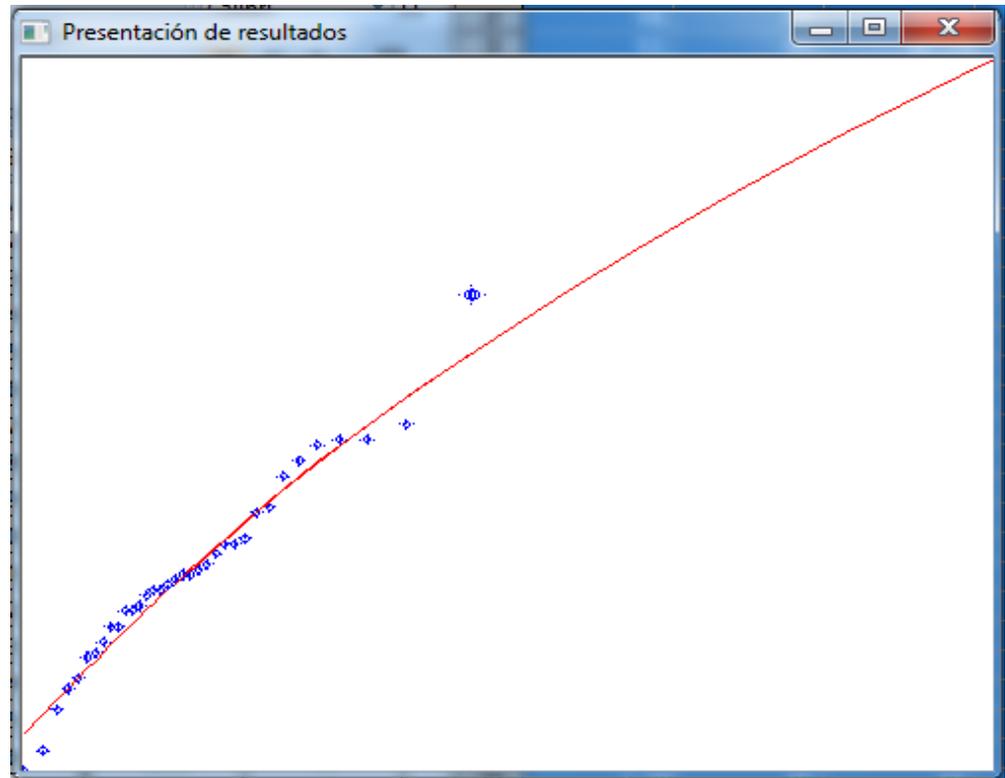


FIGURA 3.20 GRAFICA DURACIÓN 20 MIN

Duraciones de 30 min

- **Error estándar:**

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,512		3,512	
Lognormal	3,129	2,953	2,715	2,708
Gumbel	3,163		2,604	
Exponencial	5,274		30,506	
Gamma	2,976	2,975	2,880	

Mínimo error estándar:	2,604
------------------------	-------

TABLA 3.9 ERROR ESTÁNDAR 30 MIN



- **Calculo de Error cuadrático:**

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36	105	101,41	12,86
2	18	87	90,34	11,17
3	12	80	83,77	14,18
4	9	75	79,03	16,22
5	7,2	75	75,29	0,09
6	6	73	72,19	0,65
7	5,14	66	69,52	12,41
8	4,5	66	67,17	1,37
9	4	63	65,05	4,22
10	3,6	61	63,12	4,52
11	3,27	60	61,34	1,81
12	3	60	59,68	0,1
13	2,77	59	58,12	0,77
14	2,57	58	56,64	1,85
15	2,4	56	55,23	0,59
16	2,25	54	53,87	0,02
17	2,12	53	52,56	0,19
18	2	52	51,29	0,5
19	1,89	52	50,05	3,79
20	1,8	52	48,84	10
21	1,71	51	47,64	11,3
22	1,64	50	46,45	12,59
23	1,57	50	45,27	22,37
24	1,5	45	44,09	0,84
25	1,44	44	42,89	1,22
26	1,38	44	41,68	5,37
27	1,33	42	40,45	2,41
28	1,29	40	39,17	0,69
29	1,24	40	37,84	4,67
30	1,2	37	36,43	0,32
31	1,16	34	34,92	0,84
32	1,13	33	33,24	0,06
33	1,09	29	31,31	5,36
34	1,06	28	28,95	0,9
35	1,03	18	25,59	57,54

TABLA 3.10 ERROR CUADRÁTICO 30 MIN



- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	51,29
5	69,03
10	80,77
20	92,04
50	106,62
100	117,54

TABLA 3.11 EXTRAPOLACIÓN 30 MIN

- **Grafico:**

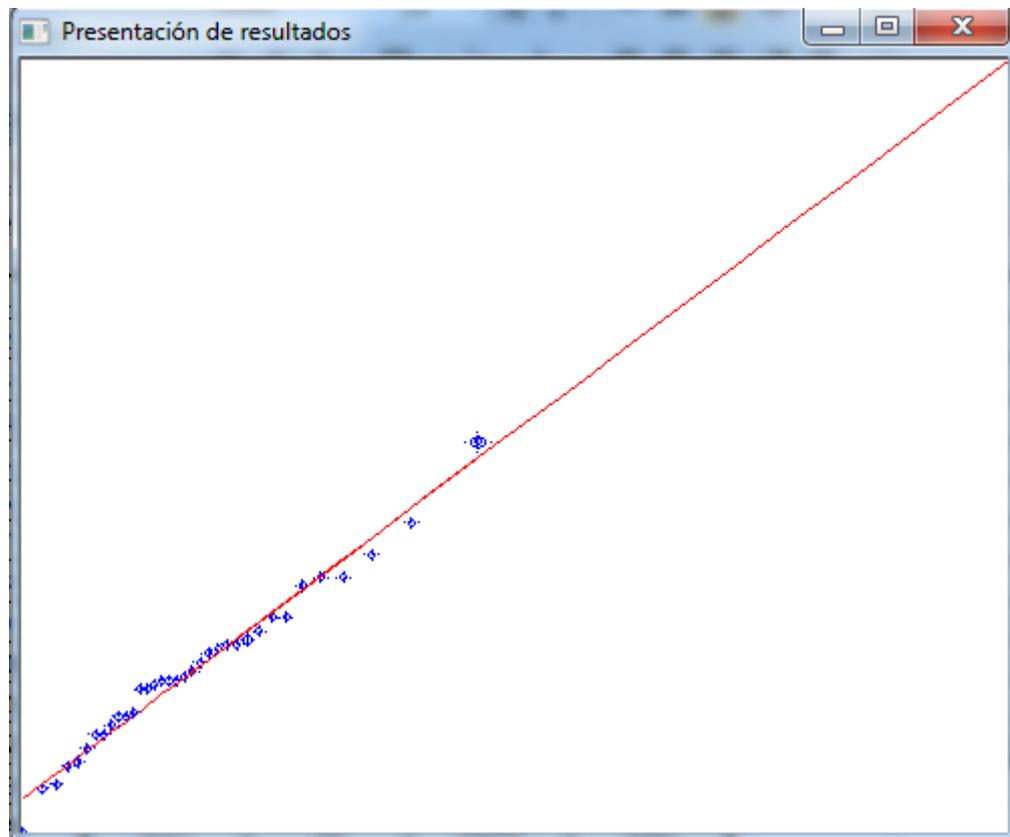


FIGURA 3.21 GRAFICA DURACIÓN 30 MIN



Duraciones de 40 min

- Error estándar:

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,355		3,355	
Lognormal	2,725	2,697	2,461	2,355
Gumbel	2,751		2,252	
Exponencial	4,398		28,515	
Gamma	2,727	2,716	2,826	

Mínimo error estándar:	2,252
------------------------	-------

TABLA 3.12 ERROR ESTÁNDAR 40 MIN

- Calculo de Error cuadrático:

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36	94	89,46	20,58
2	18	79	80,09	1,19
3	12	75	74,53	0,22
4	9	70	70,52	0,27
5	7,2	64	67,35	11,25
6	6	60	64,73	22,36
7	5,14	59	62,47	12,04
8	4,5	59	60,48	2,18
9	4	58	58,69	0,47
10	3,6	57	57,06	,
11	3,27	55	55,55	0,3
12	3	54	54,14	0,02
13	2,77	53	52,82	0,03
14	2,57	53	51,57	2,05
15	2,4	53	50,37	6,91
16	2,25	52	49,22	7,7
17	2,12	51	48,12	8,32
18	2	51	47,04	15,68



19	1,89	48	45,99	4,04
20	1,8	46	44,96	1,08
21	1,71	45	43,95	1,11
22	1,64	44	42,94	1,12
23	1,57	41	41,94	0,89
24	1,5	40	40,94	0,88
25	1,44	40	39,93	,
26	1,38	39	38,91	0,01
27	1,33	39	37,86	1,3
28	1,29	38	36,78	1,49
29	1,24	36	35,65	0,12
30	1,2	36	34,46	2,37
31	1,16	33	33,18	0,03
32	1,13	31	31,76	0,58
33	1,09	30	30,13	0,02
34	1,06	27	28,13	1,27
35	1,03	19	25,28	39,45

TABLA 3.13 ERROR CUADRÁTICO 40 MIN

- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	47,04
5	62,05
10	71,99
20	81,53
50	93,87
100	103,11

TABLA 3.14 EXTRAPOLACIÓN 40 MIN



- **Grafico:**

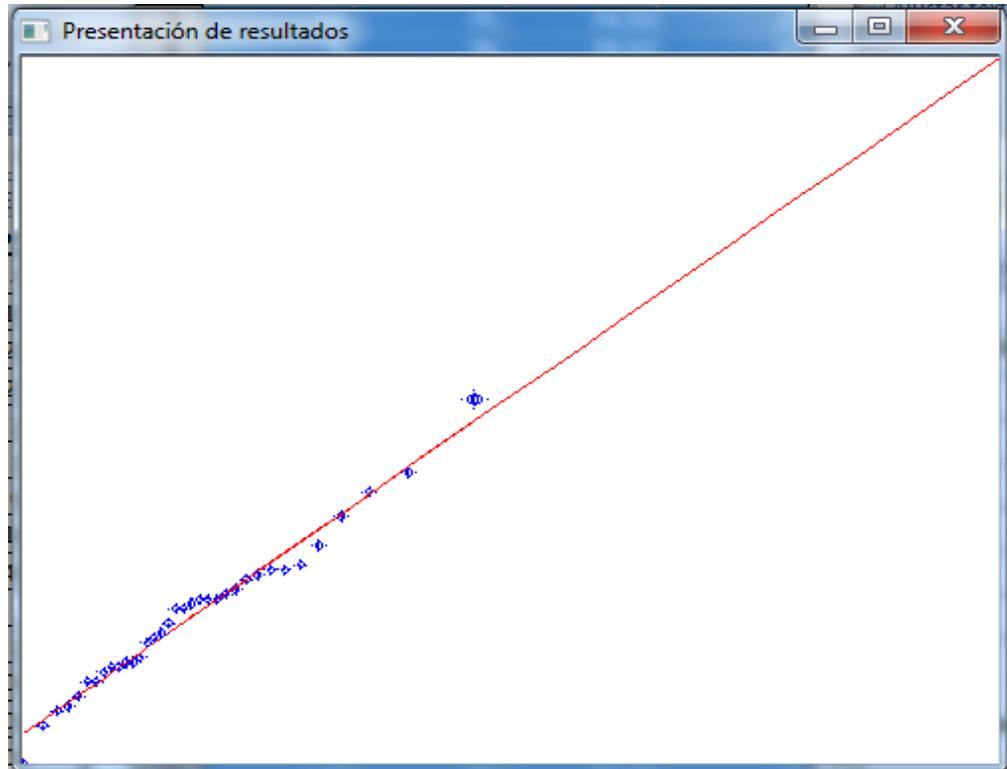


FIGURA 3.22 GRAFICA DURACIÓN 40 MIN

Duraciones de 50 min

- **Error estándar:**

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,684		3,684	
Lognormal	2,830	2,861	2,621	2,533
Gumbel	2,797		2,411	
Exponencial	4,077		25,424	
Gamma	2,908	2,865	2,952	

Mínimo error estándar:	2,411
------------------------	-------

TABLA 3.15 ERROR ESTÁNDAR 50 MIN



- **Calculo de Error cuadrático:**

i	Tr	Dato	Calculado	Error²
1	36	87	83,03	15,79
2	18	76	74,2	3,24
3	12	72	68,96	9,25
4	9	68	65,18	7,95
5	7,2	59	62,2	10,26
6	6	55	59,73	22,37
7	5,14	55	57,6	6,77
8	4,5	53	55,73	7,43
9	4	53	54,04	1,08
10	3,6	51	52,5	2,26
11	3,27	51	51,08	0,01
12	3	51	49,76	1,54
13	2,77	50	48,51	2,21
14	2,57	49	47,33	2,78
15	2,4	49	46,21	7,8
16	2,25	47	45,13	3,51
17	2,12	46	44,08	3,68
18	2	45	43,07	3,73
19	1,89	44	42,08	3,68
20	1,8	43	41,11	3,57
21	1,71	41	40,16	0,71
22	1,64	40	39,21	0,62
23	1,57	35	38,27	10,68
24	1,5	35	37,32	5,4
25	1,44	35	36,37	1,89
26	1,38	34	35,41	1,98
27	1,33	34	34,42	0,18
28	1,29	34	33,41	0,35
29	1,24	33	32,34	0,43
30	1,2	33	31,22	3,16
31	1,16	33	30,01	8,92
32	1,13	30	28,68	1,75
33	1,09	28	27,14	0,74
34	1,06	23	25,26	5,09
35	1,03	17	22,57	31,08

TABLA 3.16 ERROR CUADRÁTICO 50 MIN



- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	43,07
5	57,21
10	66,57
20	75,55
50	87,17
100	95,88

TABLA 3.17 EXTRAPOLACIÓN 50 MIN

- **Grafico:**

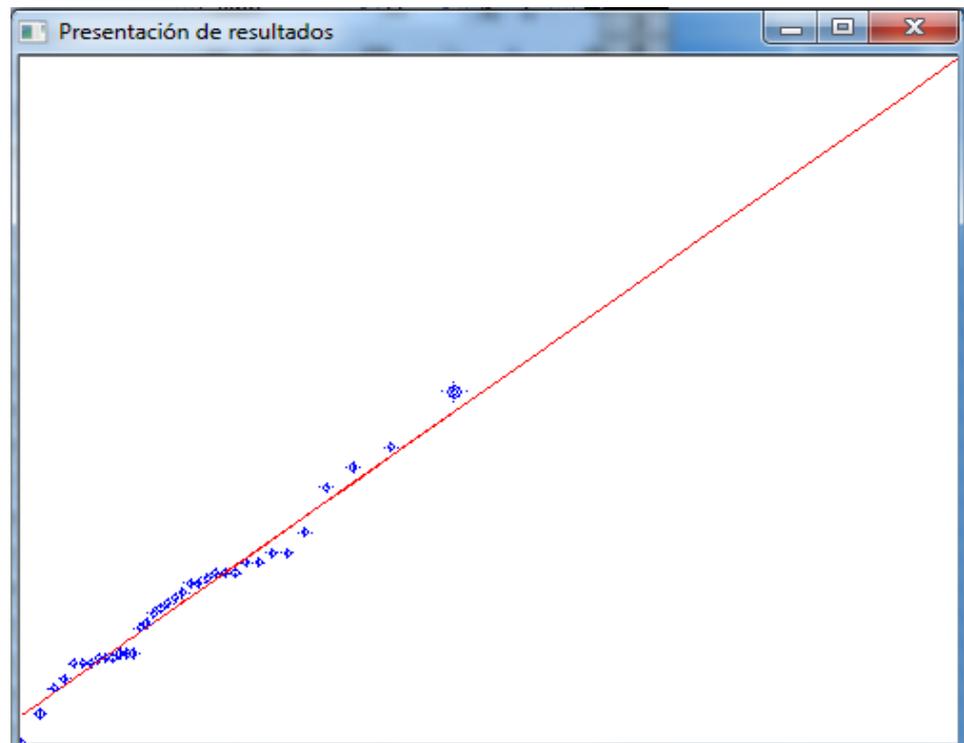


FIGURA 3.23 GRAFICA DURACIÓN 50 MIN



Duraciones de 60 min

- Error estándar:

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,111		3,111	
Lognormal	2,118	2,110	1,715	1,563
Gumbel	2,105		1,563	
Exponencial	3,658		22,622	
Gamma	2,083	2,085	2,139	

Mínimo error estándar:	1,563
------------------------	-------

TABLA 3.18 ERROR ESTÁNDAR 60 MIN

- Calculo de Error cuadrático:

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36	82	79,31	7,21
2	18	71	70,76	0,06
3	12	69	65,65	11,24
4	9	65	61,95	9,29
5	7,2	60	59,03	0,95
6	6	55	56,59	2,52
7	5,14	55	54,48	0,27
8	4,5	52	52,62	0,39
9	4	50	50,94	0,89
10	3,6	48	49,41	1,98
11	3,27	48	47,99	,
12	3	47	46,66	0,11
13	2,77	45	45,41	0,17
14	2,57	44	44,23	0,05
15	2,4	43	43,09	0,01
16	2,25	43	42	0,99
17	2,12	43	40,95	4,19



18	2	40	39,93	,
19	1,89	40	38,93	1,14
20	1,8	39	37,95	1,09
21	1,71	38	36,99	1,02
22	1,64	36	36,03	,
23	1,57	35	35,08	0,01
24	1,5	34	34,13	0,02
25	1,44	32	33,17	1,38
26	1,38	32	32,2	0,04
27	1,33	31	31,22	0,05
28	1,29	31	30,2	0,65
29	1,24	30	29,14	0,74
30	1,2	29	28,02	0,96
31	1,16	27	26,82	0,03
32	1,13	26	25,51	0,24
33	1,09	26	24,01	3,95
34	1,06	20	22,19	4,81
35	1,03	15	19,66	21,69

TABLA 3.19 ERROR CUADRÁTICO 60 MIN

- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	39,93
5	54,09
10	63,31
20	72,06
50	83,34
100	91,79

TABLA 3.20 EXTRAPOLACIÓN 60 MIN

- **Grafico:**

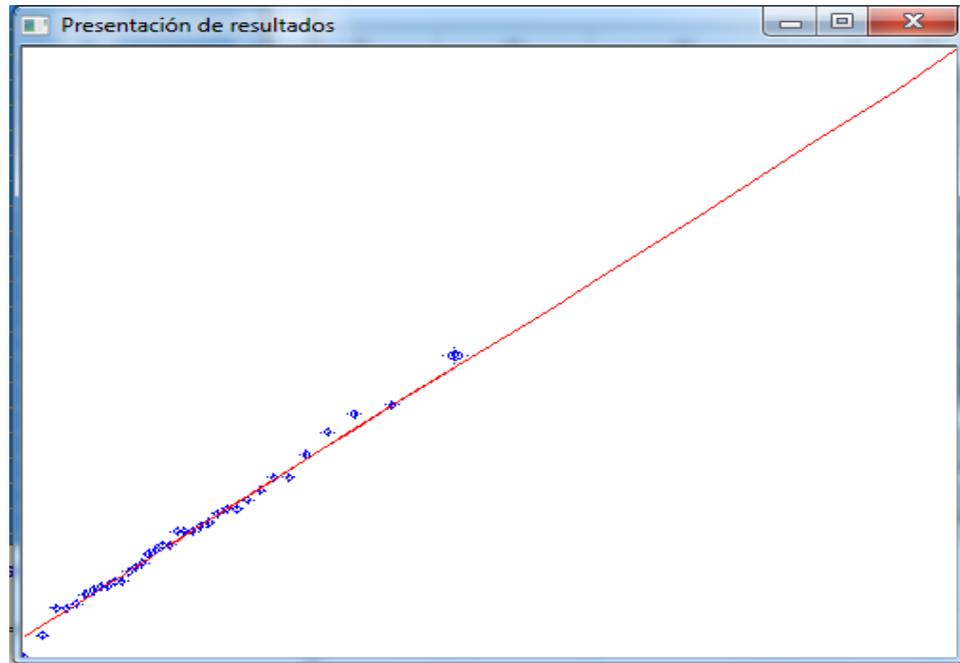


FIGURA 3.24 GRAFICA DURACIÓN 60 MIN

Duraciones de 120 min

- **Error estándar:**

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	3,742		3,742	
Lognormal	2,687	2,670	2,534	2,595
Gumbel	2,615		2,823	
Exponencial	3,249		12,830	
Gamma	2,686	2,627	2,905	2,487

Mínimo error estándar:	2,487
------------------------	-------

TABLA 3.21 ERROR ESTÁNDAR 120 MIN



- **Calculo de Error cuadrático:**

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36	64	60,63	11,33
2	18	63	53,07	98,57
3	12	43	48,49	30,09
4	9	43	45,15	4,61
5	7,2	41	42,5	2,26
6	6	39	40,3	1,7
7	5,14	38	38,41	0,16
8	4,5	37	36,74	0,07
9	4	37	35,23	3,12
10	3,6	36	33,87	4,55
11	3,27	35	32,61	5,7
12	3	35	31,45	12,63
13	2,77	31	30,35	0,42
14	2,57	30	29,32	0,46
15	2,4	29	28,35	0,43
16	2,25	29	27,42	2,51
17	2,12	27	26,52	0,23
18	2	26	25,67	0,11
19	1,89	26	24,84	1,36
20	1,8	24	24,03	,
21	1,71	24	23,25	0,57
22	1,64	23	22,48	0,27
23	1,57	23	21,73	1,62
24	1,5	23	20,98	4,07
25	1,44	22	20,25	3,07
26	1,38	19	19,52	0,27
27	1,33	19	18,78	0,05
28	1,29	17	18,05	1,1
29	1,24	17	17,3	0,09
30	1,2	16	16,54	0,29
31	1,16	15	15,75	0,56
32	1,13	15	14,92	0,01
33	1,09	13	14,02	1,04
34	1,06	11	13,02	4,06
35	1,03	11	11,78	0,61

TABLA 3.22 ERROR CUADRÁTICO 120 MIN



- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	25,67
5	38,06
10	46,38
20	54,24
50	64,1
100	71,16

TABLA 3.23 EXTRAPOLACIÓN 120 MIN

- **Grafico:**

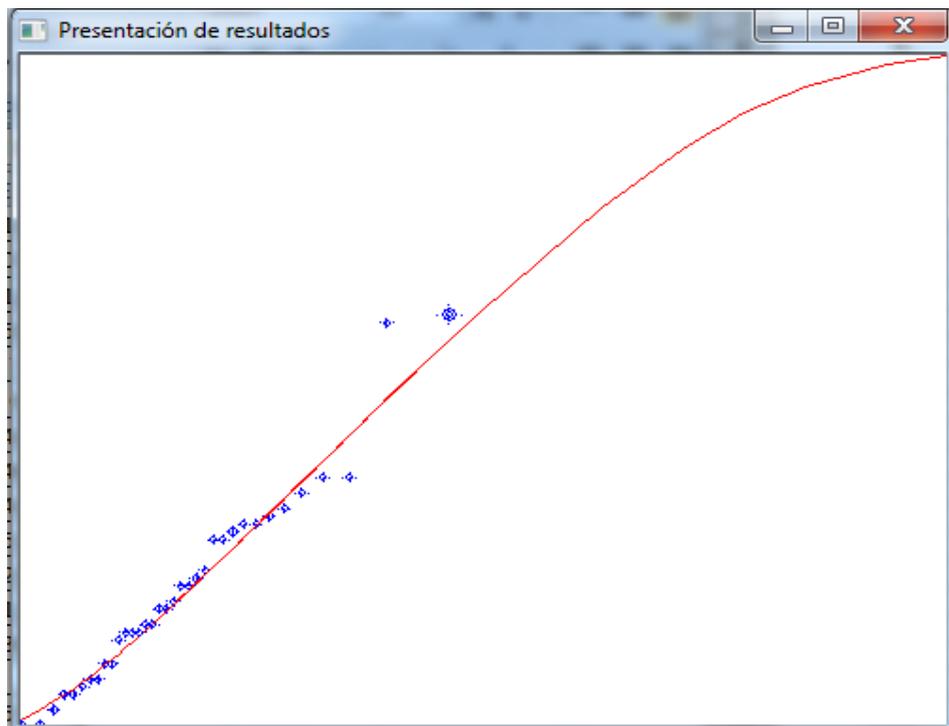


FIGURA 3.25 GRAFICA DURACIÓN 120 MIN



Duraciones de 360 min

- Error estándar:

Función	Momentos		Máxima Verosimilitud	
	2 parámetros	3 parámetros	2 parámetros	3 parámetros
Normal	1,970		1,970	
Lognormal	1,157	1,186	0,854	0,947
Gumbel	1,188		1,417	
Exponencial	1,232		4,050	
Gamma	1,214	1,155	1,366	

Mínimo error estándar:	0,854
------------------------	-------

TABLA 3.24 ERROR ESTÁNDAR 360 MIN

- Calculo de Error cuadrático:

i	Tr	Dato	Calculado	Error ²
1	36	30	27,84	4,67
2	18	25	23,43	2,46
3	12	22	20,93	1,15
4	9	21	19,18	3,3
5	7,2	18	17,84	0,03
6	6	16	16,75	0,56
7	5,14	14	15,82	3,32
8	4,5	14	15,02	1,04
9	4	14	14,31	0,1
10	3,6	14	13,67	0,11
11	3,27	14	13,09	0,83
12	3	13	12,55	0,2
13	2,77	12	12,06	,
14	2,57	11	11,59	0,35
15	2,4	11	11,15	0,02
16	2,25	11	10,74	0,07



17	2,12	11	10,34	0,43
18	2	10	9,96	,
19	1,89	10	9,6	0,16
20	1,8	10	9,24	0,57
21	1,71	9	8,9	0,01
22	1,64	9	8,56	0,19
23	1,57	8	8,23	0,05
24	1,5	8	7,91	0,01
25	1,44	8	7,58	0,17
26	1,38	7	7,26	0,07
27	1,33	7	6,94	,
28	1,29	7	6,61	0,15
29	1,24	7	6,27	0,53
30	1,2	6	5,93	0,01
31	1,16	6	5,56	0,19
32	1,13	5	5,17	0,03
33	1,09	5	4,74	0,07
34	1,06	4	4,24	0,06
35	1,03	2	3,57	2,45

TABLA 3.25 ERROR CUADRÁTICO 360 MIN

- **Extrapolación de datos:**

Tr	Dato Calculado
2	9,96
5	15,65
10	19,82
20	24,09
50	30
100	34,73

TABLA 3.26 EXTRAPOLACIÓN 360 MIN

- **Grafico:**

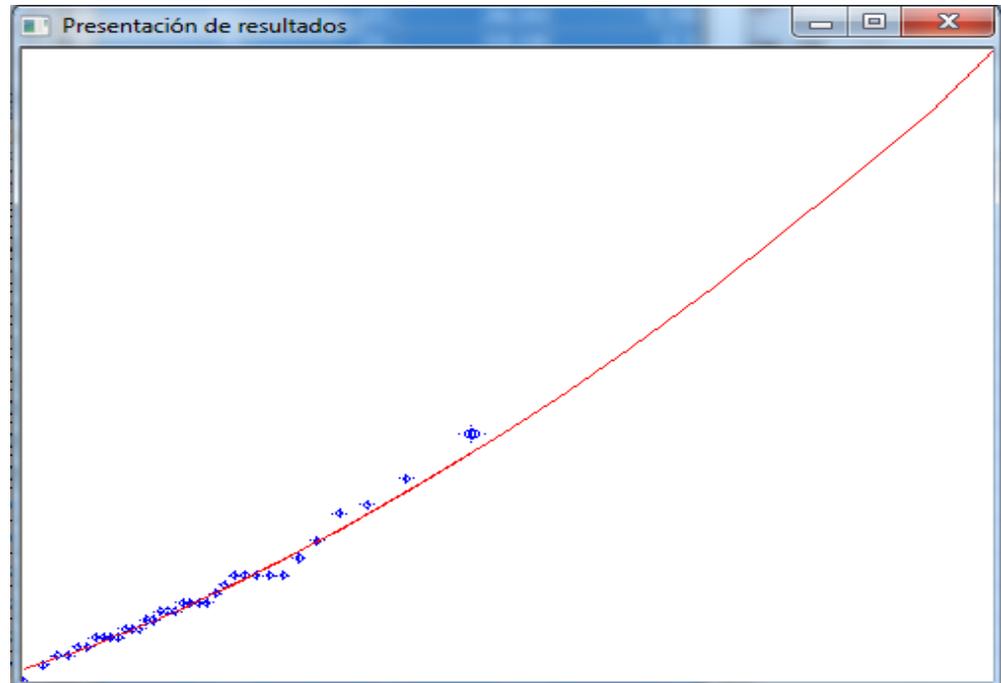


FIGURA 3.26 GRAFICA DURACIÓN 3600 MIN

Se puede observar que las funciones Gamma y Gumbel son las que en la mayoría de los casos presentan menor error estándar, y por lo tanto son las que mejor describen el comportamiento de las precipitaciones extremas en Guayaquil.

Los resultados de la aplicación del método estadístico se ordenaron en los siguientes cuadros para facilitar su posterior graficación.



INTENSIDADES MÁXIMAS ESTIMADAS

Tr	Duración en Minutos							
	10	20	30	40	50	60	120	360
	Datos Calculado							
2	64,88	57,33	51,29	47,04	43,07	39,93	25,67	9,96
5	86,86	74,85	69,03	62,05	57,21	54,09	38,06	15,65
10	100,06	85,26	80,77	71,99	66,57	63,31	46,38	19,82
20	111,89	94,54	92,04	81,53	75,55	72,06	54,24	24,09
50	126,22	105,7	106,62	93,87	87,17	83,34	64,1	30
100	136,39	113,6	117,54	103,11	95,88	91,79	71,16	34,73

TABLA 3.27 INTENSIDADES MÁXIMAS ESTIMADAS

Ejemplo 3:

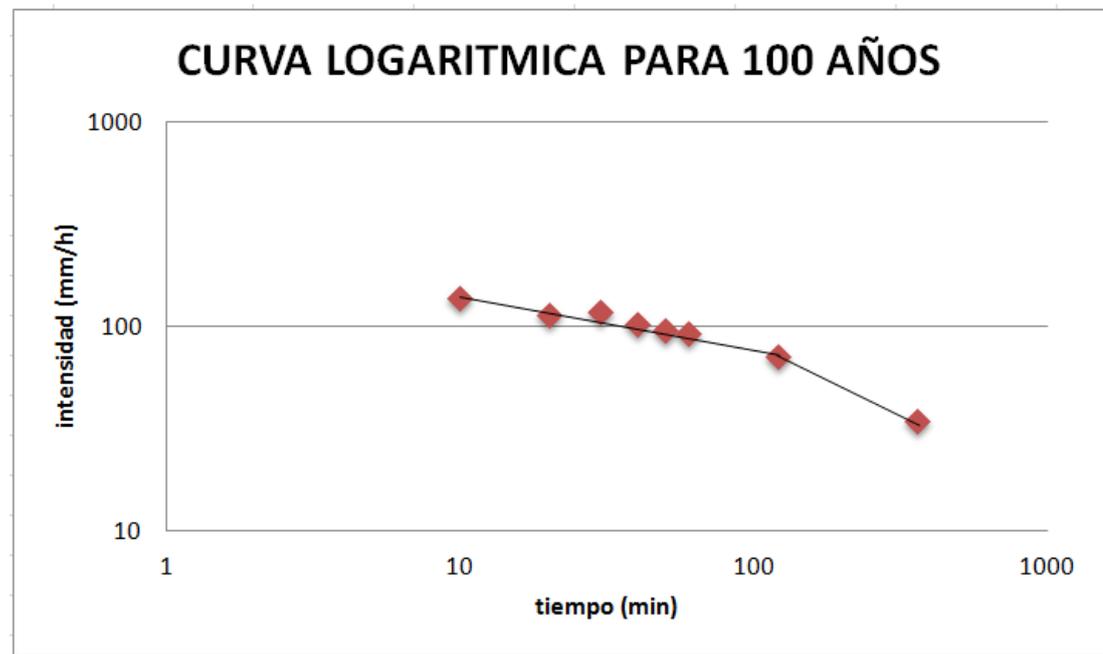


FIGURA 3.27 CURVA LOGARÍTMICA

Al analizar la grafica logarítmica de los datos resultantes, se pudo identificar que las curvas tenían dos tendencias, por lo que se procedió a separarlas en dos rangos de duraciones, uno de 10 min a 60 min y la siguientes de 60 min a 360 min tal como se muestra.

**Datos Calculados para Duraciones de 10 a 60 minutos:**

Tr	Duración en Minutos					
	10	20	30	40	50	60
	Datos Calculado					
2	64,88	57,33	51,29	47,04	43,07	39,93
5	86,86	74,85	69,03	62,05	57,21	54,09
10	100,06	85,26	80,77	71,99	66,57	63,31
20	111,89	94,54	92,04	81,53	75,55	72,06
50	126,22	105,7	106,62	93,87	87,17	83,34
100	136,39	113,6	117,54	103,11	95,88	91,79

TABLA 3.28

Datos Calculados para Duraciones de 60 a 360 minutos:

Tr	Duración en Minutos		
	60	120	360
	Datos Calculado		
2	39,93	25,67	9,96
5	54,09	38,06	15,65
10	63,31	46,38	19,82
20	72,06	54,24	24,09
50	83,34	64,1	30
100	91,79	71,16	34,73

TABLA 3.29



CURVAS IDF

CURVAS CON TENDENCIA DE 10 MIN A 60 MIN

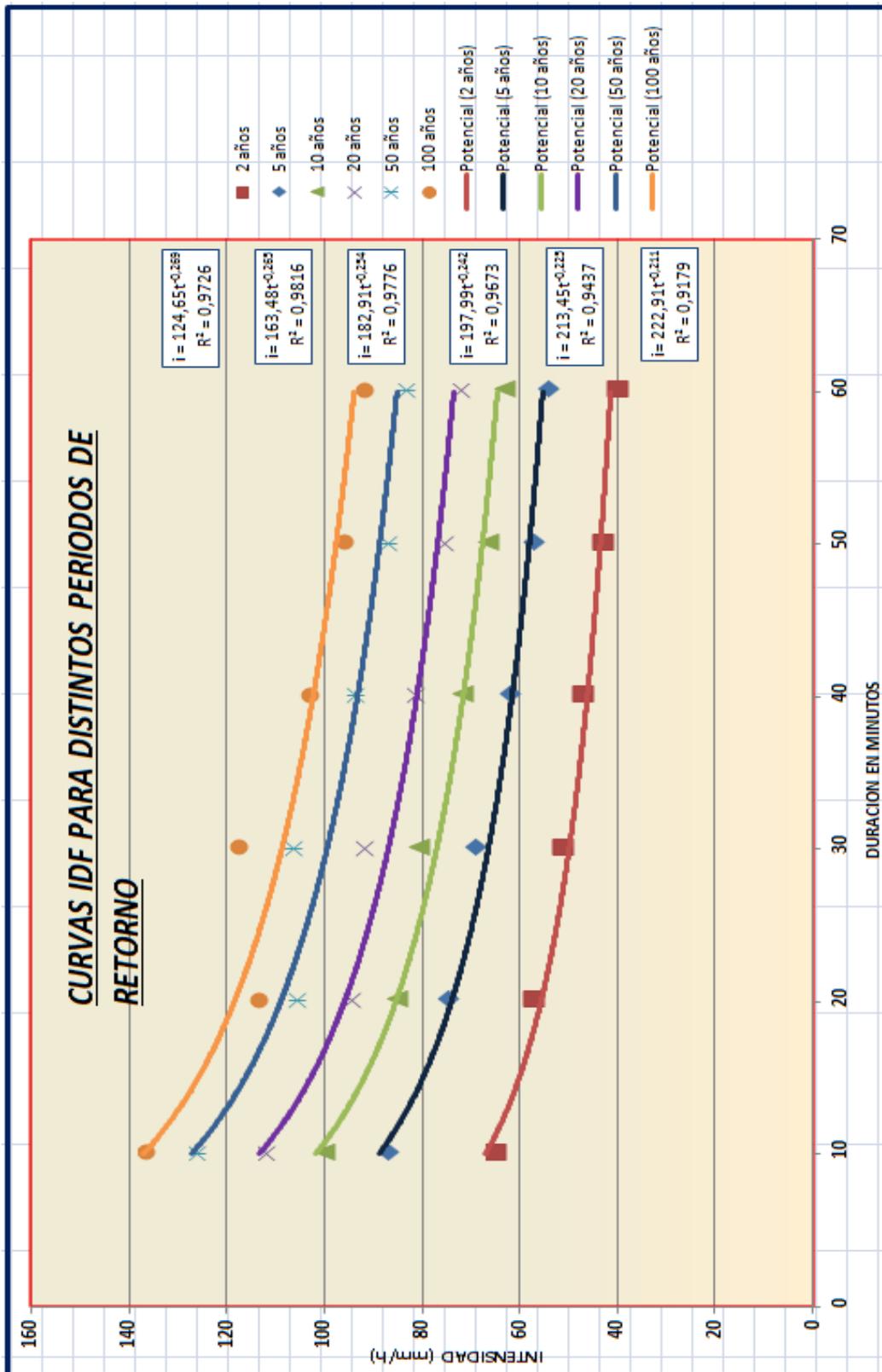


FIGURA 3.28 CURVA (IDF) DE 10 A 60 MIN



CURVAS TENDENCIA DE 60 MIN A 360 MIN

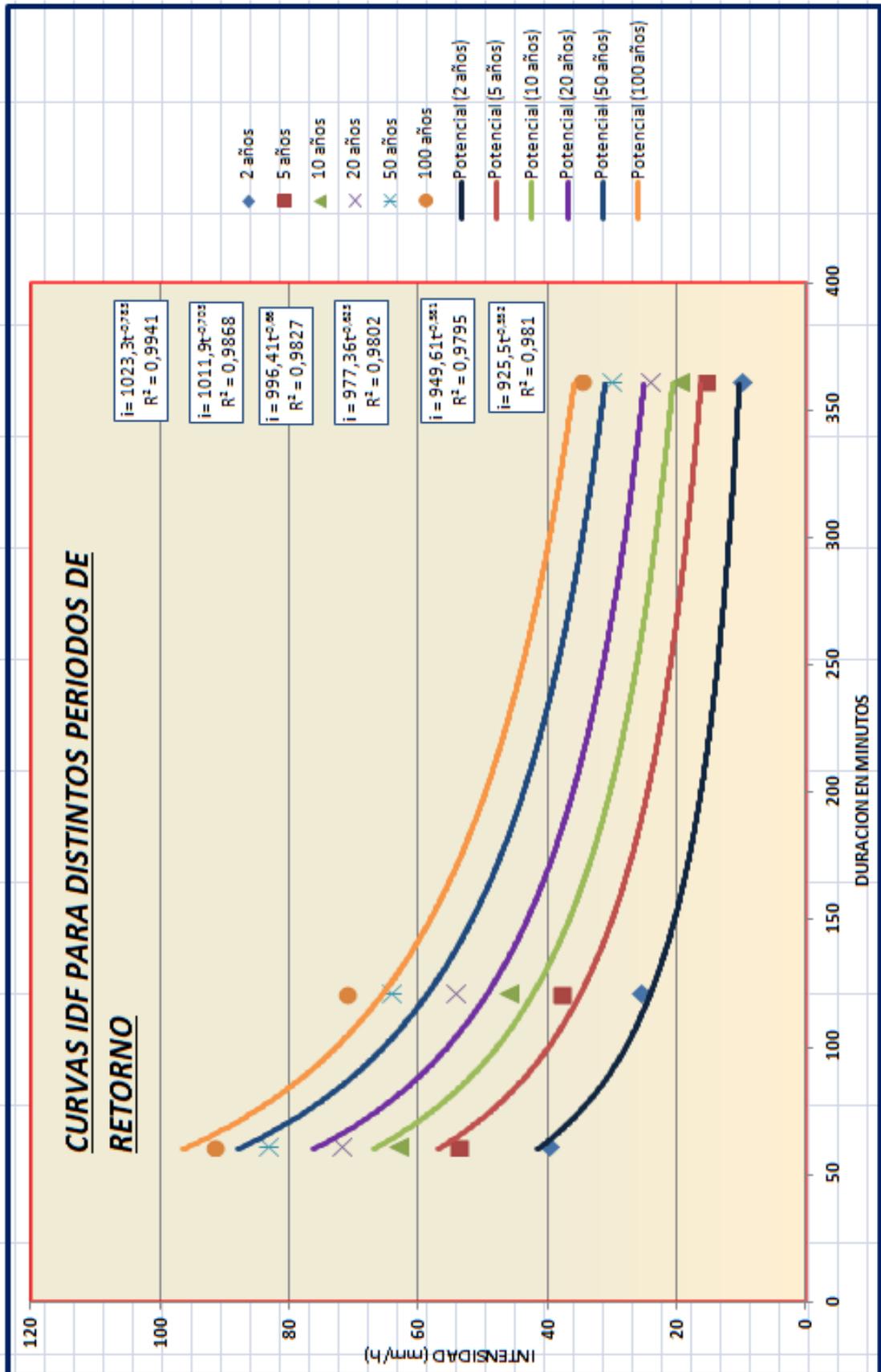


FIGURA 3.29 CURVA (IDF) DE 60 A 360 MIN



ECUACIONES IDF GUAYAQUIL

Las ecuaciones se las obtiene mediante la graficación de las curvas en el programa del Excel

TENDENCIA DE 10 MIN A 60 MIN	
PERIODO DE RETORNO	ECUACIÓN
2 AÑOS	$i = 124,65t^{-0,269}$ $R^2 = 0,9726$
5 AÑOS	$i = 163,48t^{-0,265}$ $R^2 = 0,9816$
10 AÑOS	$i = 182,91t^{-0,254}$ $R^2 = 0,9776$
20 AÑOS	$i = 197,99t^{-0,242}$ $R^2 = 0,9673$
50 AÑOS	$i = 213,45t^{-0,225}$ $R^2 = 0,9437$
100 AÑOS	$i = 222,91t^{-0,211}$ $R^2 = 0,9179$

TABLA 3.30

Donde:

i = Intensidad de lluvia para cualquier periodo de retorno en mm/h

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos

R^2 = Coeficiente de correlación



TENDENCIA DE 60 MIN A 360 MIN	
PERIODO DE RETORNO	ECUACIÓN
2 AÑOS	$i = 1023,3t^{-0,783}$ $R^2 = 0,9941$
5 AÑOS	$i = 1011,9t^{-0,703}$ $R^2 = 0,9868$
10 AÑOS	$i = 996,41t^{-0,66}$ $R^2 = 0,9827$
20 AÑOS	$i = 977,36t^{-0,623}$ $R^2 = 0,9802$
50 AÑOS	$i = 949,61t^{-0,581}$ $R^2 = 0,9795$
100 AÑOS	$i = 925,5t^{-0,552}$ $R^2 = 0,981$

TABLA 3.31

Donde:

i = Intensidad de lluvia para cualquier periodo de retorno en mm/h

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos

R^2 = Coeficiente de correlación



4.2. COMPARACIÓN DE LAS ECUACIONES OBTENIDAS VS. ECUACIONES DEL INAMHI (1999)

Una vez obtenidos las curvas IDF con sus respectivas ecuaciones para la ciudad de Guayaquil, se hará un análisis comparativo con las ecuaciones del Estudio de Lluvia Intensas del INAMHI, que son:

CÓDIGO	ESTACIÓN	DURACIÓN	ECUACIÓN
M056	GUAYAQUIL	5 min < 85 min	$I_{TR} = 35.17 t^{-0.3063} Id_{TR}$
M056	GUAYAQUIL	85 min < 1440 min	$I_{TR} = 288.42 t^{-0.7779} Id_{TR}$

TABLA 3.32 ECUACIONES DEL INAMHI (1999)

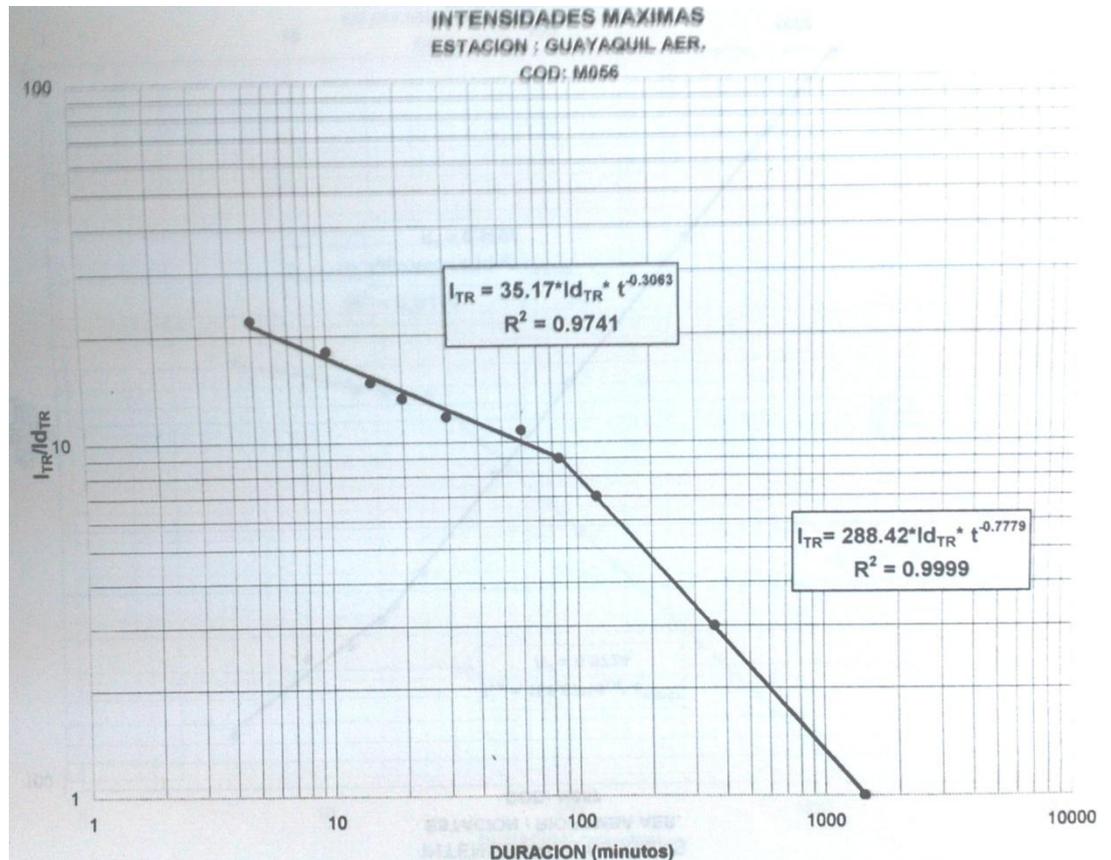


FIGURA 3.30 CURVA (IDF) DEL INAMHI



**ECUACIÓN INAMHI ESTUDIO DE LLUVIAS INTENSAS
ESTACIÓN M056 GUAYAQUIL**

T	IDTR
100	10,20
50	9,10
10	6,50
5	5,30

Donde:

I_{TR} = Intensidad de precipitación para cualquier periodo de retorno en mm/h

Id_{TR} = Intensidad diaria para un periodo de retorno dado en mm/h

t = Tiempo de duración de la lluvia en minutos

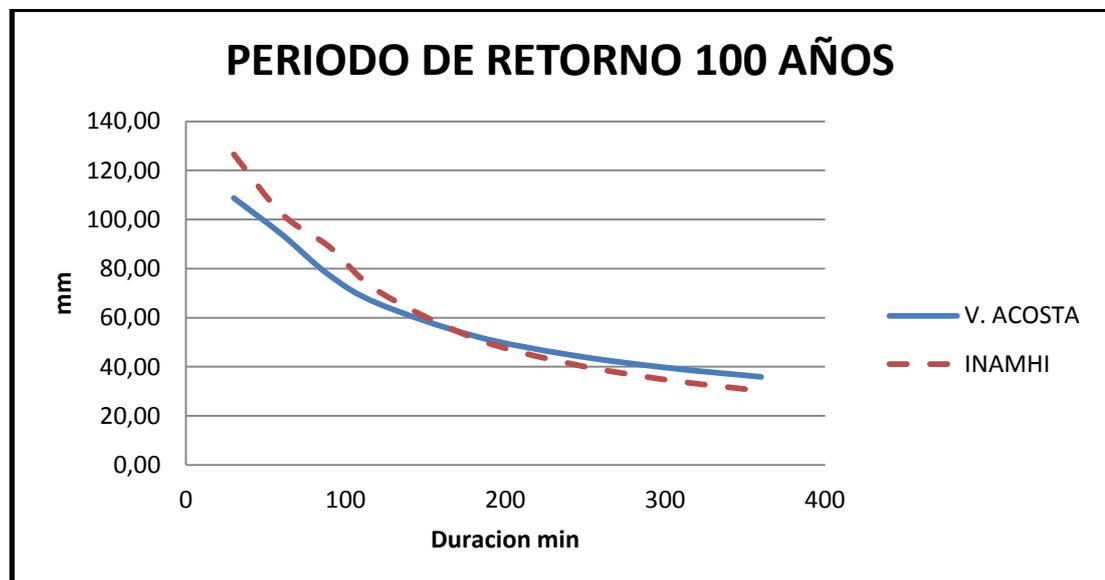
A continuación se presenta un cuadro resumen con los resultados obtenidos con las nuevas ecuaciones y con las existentes del INAMHI, así como la comparación de las ecuaciones obtenidas ya sea mayor o menor respecto a las del INAMHI.

COMPARATIVO CURVAS I.D.F. PARA GUAYAQUIL				
PERIODO DE RETORNO	TIEMPO (min)	ECUACIONES V. ACOSTA	ECUACIONES INAMHI	DIFERENCIA (%)
100 AÑOS	30	108,76	126,57	14,07% MENOR
	60	93,96	102,36	8,21% MENOR
	90	77,20	88,80	13,06% MENOR
	120	65,87	71,00	7,22% MENOR
	180	52,66	51,79	1,68% MAYOR
	240	44,93	41,41	8,50% MAYOR
	300	39,72	34,81	14,11% MAYOR
	360	35,92	30,20	18,91% MAYOR
50 AÑOS	30	99,30	112,92	12,06% MENOR
	60	84,96	91,32	6,97% MENOR
	90	69,52	79,22	12,25% MENOR
	120	58,82	63,34	7,13% MENOR
	180	46,48	46,21	0,59% MAYOR
	240	39,32	36,94	6,45% MAYOR
	300	34,54	31,05	11,23% MAYOR
	360	31,07	26,95	15,30% MAYOR



10 AÑOS	30	77,10	80,66	4,41%	MENOR
	60	64,65	65,23	0,88%	MENOR
	90	51,13	56,59	9,65%	MENOR
	120	42,28	45,24	6,54%	MENOR
	180	32,36	33,00	1,96%	MENOR
	240	26,76	26,39	1,42%	MAYOR
	300	23,10	22,18	4,12%	MAYOR
	360	20,48	19,25	6,39%	MAYOR
5 AÑOS	30	66,38	65,77	0,93%	MAYOR
	60	55,24	53,19	3,86%	MAYOR
	90	42,79	46,14	7,27%	MENOR
	120	34,95	36,89	5,25%	MENOR
	180	26,28	26,91	2,33%	MENOR
	240	21,47	21,51	0,20%	MENOR
	300	18,35	18,09	1,48%	MAYOR
	360	16,15	15,69	2,87%	MAYOR

TABLA 3.33 COMPARATIVO DE ECUACIONES

FIGURA 3.31 CURVA COMPARATIVA $T_r=100$ AÑOS

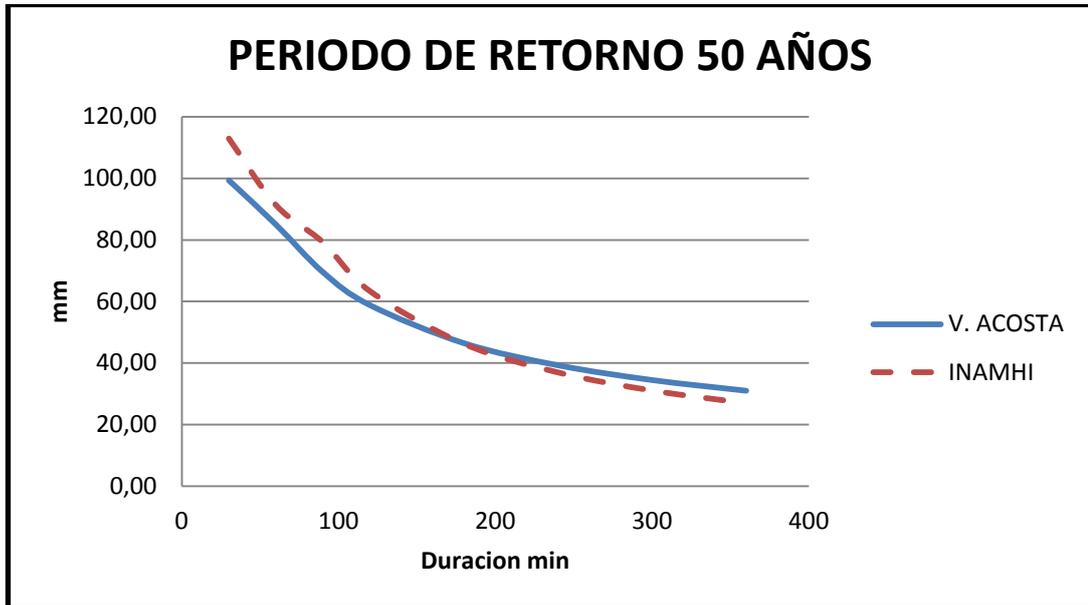


FIGURA 3.32 CURVA COMPARATIVA Tr=50 AÑOS

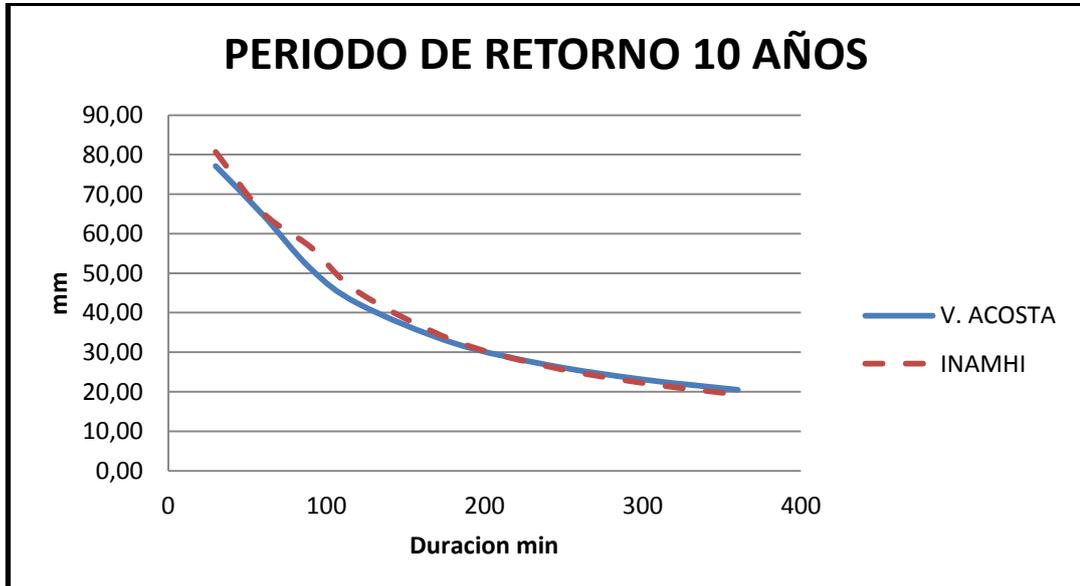
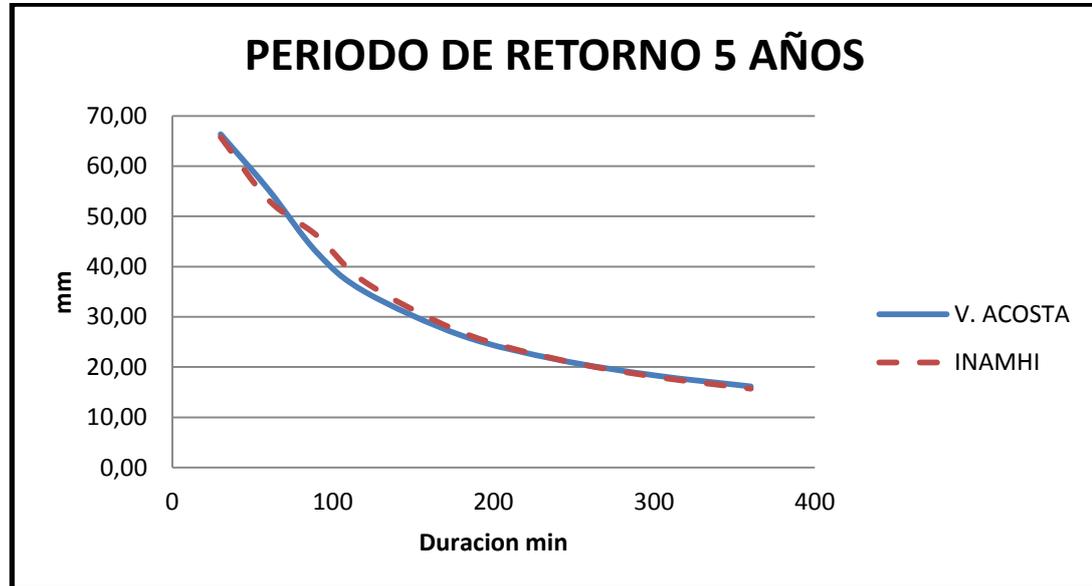


FIGURA 3.33 CURVA COMPARATIVA Tr=10 AÑOS

FIGURA 3.34 CURVA COMPARATIVA $Tr=5$ AÑOS

Al analizar los resultados obtenidos, luego de comparar las ecuaciones, se observa que en promedio para duraciones de lluvia menores a 150 minutos las intensidades calculadas con las ecuaciones del INAMHI son mayores que las obtenidas en este trabajo, y sucede todo lo contrario para duraciones mayores.



CONCLUSIONES

Una vez realizada la comparación entre las ecuaciones obtenidas en el presente trabajo, contra las ecuaciones existentes elaboradas por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), se observa que al aplicarlas para un mismo periodo de retorno, existe una diferencia entre ellas ya que las ecuaciones actualizadas presentan un incremento en la intensidad de las lluvias para tiempos superiores a 150 minutos, lo cual es consistente con los últimos datos y boletines proporcionados por el propio INAMHI en su página web <http://www.inamhi.gob.ec>, específicamente en su publicación del 4 de Agosto del 2011 “ 50 Años Ecuador NUESTRA HISTORIA. METEOROLOGÍA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO EN EL ECUADOR” en donde se indica que las precipitaciones en los últimos años han ido en incremento y se espera se mantenga dicha tendencia.

Pero para tiempos menores a los 150 minutos, las intensidades obtenidas con las curvas derivadas en este trabajo son menores, lo que es atribuido a que la bondad del modelo estadístico aplicado depende del tamaño de la muestra utilizada y la metodología empleada, así como a la cantidad de distribuciones de probabilidad y métodos de estimación de parámetros, los cuales por ser este trabajo una actualización contiene mayor cantidad de registros y se emplearon mas distribuciones de probabilidad que en las elaboradas por el INAMHI.

Si bien la diferencia entre las curvas obtenidas vs. las existentes, en promedio, no supera el 10%, se puede concluir que las ecuaciones calculadas en el presente trabajo reducen la incertidumbre del diseño, ya que se cuenta con mayor cantidad de datos.

El presente documento se espera sea de utilidad para empresas públicas, consultoras privadas y en general para cualquier ingeniero involucrado en la planeación y diseño de obras de drenaje urbano.



RECOMENDACIONES

Es recomendable que las curvas I.D.F. sean actualizadas por lo menos cada cinco años.



BIBLIOGRAFÍA

- VENTE CHOW and MAIDMENT, David and MAYS, Larry (1994). **Hidrología Aplicada**. McGraw-Hill Interamericana S.A., Bogotá, Colombia.
- APARICIO (1992), **Fundamentos de Hidrología de Superficie** Limusa S.A. México.
- ESCALANTE SANDOVAL, Carlos Agustín y Lilia Reyes Chávez (2008). **Técnicas Estadísticas en Hidrología**. México, UNAM, Facultad de Ingeniería.
- United States Department of Agriculture, National Resources Conservation Service – Hydrology National Engineering Handbook.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS, (2009). **Manual de Drenajes para Carreteras** – Republica de Colombia.
- INAMHI, Registros pluviográficos de las estaciones ma2v y m056 de la ciudad de Guayaquil
- INAMHI, (1999). **Estudio de Lluvias Intensas para el Ecuador**
- INAMHI, (2011). **50 Años Ecuador NUESTRA HISTORIA. METEOROLOGÍA: PASADO, PRESENTE Y FUTURO EN EL ECUADOR**
- **<http://www.inamhi.gob.ec>**
- GOOGLE, **Google Earth**



ANEXOS

Los anexos se encuentran en el CD adjunto