



**ENCUENTRO  
NACIONAL**

Clima, Agua y Tierra

# **III Jornadas Nacionales de Hidrología, Meteorología y Climatología.**



CARACAS, 3 AL 6 DE NOVIEMBRE DE 1987.

III ENCUENTRO NACIONAL DE CLIMA AGUA Y TIERRA

II JORNADAS NACIONALES DE HIDROLOGIA,  
METEOROLOGIA Y CLIMATOLOGIA

ANALISIS DEL MODELO BALANCE MODIFICADO

GONZALEZ L., Reynaldo

ORTEGA H., L. Deyelen

U. C. V.

## Motivos que justifican la importancia de trabajo

La elaboración y utilización de modelo matemáticos para resolver problemas en Hidrología es cada vez mayor dada la preocupación de poseer una metodología capaz de manejar los datos hidrometeorológicos suministrados para la generación de más información.

Este trabajo contempla los siguientes puntos:

- Representación en un computador el comportamiento de un Sistema Natural.
- Obtención de datos de flujo en cauces naturales que pueden someterse a análisis probabilístico para determinar parámetros de diseño de obras hidráulicas.
- Análisis de hidrogramas de crecientes.
- Destacar la importancia de los factores más resaltantes para lograr una mejor simulación de los hechos reales.
- Análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo y algunas características presentes.

## I N D I C E

INTRODUCCION.....	Pág.	1
ESTRUCTURA DEL MODELO BALANCE PARA EVENTOS.....	Pág.	3
CALIBRACION DEL MODELO BALANCE MODIFICADO.....	Pág.	10
VALIDACION DEL MODELO BALANCE MODIFICADO.....	Pág.	11
ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PARAMETROS DEL MODELO BALANCE MODIFICADO.....	Pág.	12
ANALISIS DE RESULTADO.....	Pág.	16
CONCLUSIONES.....	Pág.	19
RECOMENDACIONES.....	Pág.	21
BIBLIOGRAFIA.....	Pág.	22
ANEXOS.....	Pág.	23

INTRODUCCION

Los Modelos Matemáticos Hidrológicos se han convertido en herramientas muy útiles para el estudio del comportamiento de cauces fluviales, los cuales requieren de información exacta y precisa de los eventos ocurrientes.

La escasa disponibilidad en ciertas zonas de dicha información según métodos tradicionales, dado su costo y complejidad, conllevan al mayor y mejor desarrollo de éstos modelos, donde algunos por su concepción, realizan una simplificación de los datos que se le suministran.

Este es el caso del Modelo Balance Modificado, modelo utilizado en éste trabajo, (Capítulo 1), el cual presenta dos variables de entrada para su calibración: precipitación horaria y caudal medio horario, utiliza tre parámetros que se obtienen por medio de tanteos sucesivos y características propias de la tormenta y de la cuenca utilizada.

El estudio se realizó sobre la cuenca del río Cuira perteneciente al Municipio Rivas del Dtto. Acevedo del Edo. Miranda, entre las latitudes de 9 55 y 10 12 Norte y longitudes 66 06 y 66 24 Oeste, ubicada en la unidad fisiográfica de los "Valles del Tuy-Aragua".

En la calibración se tomó la tormenta ocurrida el día 29-11-64, para un almacenamiento inicial  $AS(0)=50mm$ , un

número de curva CN=70, obteniéndose los siguientes parámetros: P2=5.10, P6=1.02 y P7=1.35. (Capítulo 2).

Para el proceso de validación (Capítulo 3), se le suministró el mismo juego de parámetros obtenido en la calibración para la tormenta del 29-11-64, a una nueva tormenta del día 20-07-63, con las características propias de esa tormenta AS(0) y CN, no lográndose la culminación satisfactoria de este proceso, por tanto el modelo no valida.

En el capítulo 4 se realiza un análisis de sensibilidad de los parámetros, utilizando la tormenta del 20-07-63, calibrándola con valores para P2=2.21, P6=1.015 y P7=1.42, generando los resultados que se muestran en el capítulo 5 de análisis de resultados, donde también se muestra los obtenidos de la calibración y la validación.

El Capítulo 6., concluye sobre los resultados de los pasos ejecutados anteriormente e indica la observación que se realiza al Modelo Balance Modificado.

Las recomendaciones que los autores de;1 presente trabajo sugieren para la continuación del estudio de este modelo se encuentran en el Capítulo 7.

## 1. ESTRUCTURA DEL MODELO BALANCE PARA EVENTOS.

### 1.1 Modificaciones al modelo Balance original.

El modelo Balance modificado representa el proceso del Ciclo hidrológico que se inicia a partir de la lluvia que entra al modelo como dato. La respuesta final del modelo es la ecorrentia en la salida de la cuenca.

Se estudió el balance hidrológico de agua en el suelo y se notó que debían incluirse modelos que simularan cada uno los procesos que intervienen en el fenómeno natural que ocurre, bien sea intercepción por vegetación, infiltración y almacenamiento de agua en el suelo, evaporación y además incluir en el balance la cantidad de agua que cae directamente sobre el canal. Estos modelos deben comportarse como tanques de almacenamiento conectados entre sí, en donde ocurre que al completarse la máxima capacidad de almacenamiento de uno contribuye al almacenamiento del siguiente según el orden del proceso precipitación - escurrimiento.

#### 1.1.1 Intercepción por vegetación.

La intercepción por vegetación se incluyó dentro de las pérdidas iniciales que considera el modelo de infiltración del Método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos.

1.1.2 Infiltración.

Se utiliza el Método del Número de Curva, en donde se emplea la ecuación propuesta por Hawkins (1980).

$$F = I(P/S + 0.8)^{-2} \dots 4.2$$

donde:

F = Infiltración instantánea para P/S > 0.2.

I = Intensidad de lluvia para un intervalo de tiempo.

P = Precipitación acumulada al tiempo en consideración.

S = Infiltración potencial al comienzo del evento.

1.1.3. Evaporación.

Este proceso no se incluye en la modificación hecha al balance de agua porque se realiza hora a hora y para este intervalo de tiempo el valor de la evaporación está muy cercano a cero.

1.1.4 Parámetros en el balance de agua.

Esta modificación utiliza en el balance de agua tres parámetros, P2, P6 y P7.

1.1.4.1. Parámetro P2.

Es el parámetro que determina la parte del

escurrimiento superficial que sale de la cuenca en el intervalo de tiempo  $i$ , la porción restante forma la retroalimentación que se unirá a la porción  $W/P_1$  del intervalo  $i+1$ . Siendo  $W$ , la Humedad disponible (mm), y  $P_1$ , el parámetro que divide el incremento de la disponibilidad de agua para escurrimiento en dos partes, escurrimiento superficial y subterráneo. (1,2).

#### 1.1.4.2. Parámetro $P_6$ .

Se utiliza para estimar la cantidad de lluvia que cae directamente sobre el canal,  $W_1$  en el intervalo de tiempo  $I$ .

$$W_1(I) = P(I)/P_6 \quad \dots 1.1$$

#### 1.1.4.3 Parámetro $P_7$ .

Se utiliza para estimar la cantidad de agua que se infiltra antes de que sea válida la ecuación de infiltración utilizada en el modelo, antes de que  $PA/S > 0.2$ .

$$F(I) = P(I)/P_7 \quad \dots 1.2$$

#### 1.1.5 Formulaciones.

La Formulación del modelo se reduce a las siguientes expresiones:

$$G(I) = (W(I) + D(I-1))/P2 * C9 \quad \dots 1.3$$

$$D(I) = (W(I) + D(i-1)) * (1-i/P2) \quad \dots 1.4$$

donde:

G = Flujo superficial de salida en mm.

D = Retroalimentación superficial en mm.

C9 = Factor de conversión de mm a m<sup>3</sup>/seg.

W = Humedad disponible en mm.

P2 = Determina las partes del escurrimiento superficial que sale de la cuenca en el intervalo de tiempo I, la porción restante forma la retroalimentación que se unirá a la porción W del intervalo de tiempo I + 1.

Cuando la humedad disponible se hace cero, la retroalimentación superficial es la que influye en la determinación de la lámina escurrida; así, esta parte representa la simulación de la curva de recesión del hidrograma.

1.2.1 Programa Principal.

El programa principal (La Figura 4.5 muestra el Diagrama de flujo), ejecuta la lectura de todos los datos de entrada, definición de las opciones, balance de agua y cálculo de escorrentia. Existe una subrutina para la estadística de la simulación.

Este Diagrama de flujo indica en forma general la secuencia de operaciones que se realizan en el modelo, haciéndose con el objeto de detallar su estructura y su mejor conocimiento, lo cual será muy útil posteriormente para su mejoramiento. (Figura 1).

1.2.2 Principales variables del modelo.

- N = Número de términos de la serie de caudales.
- M = Valor para dimensionar los vectores.
- A = Area de la cuenca en Kilómetros cuadrados.
- T9 = Intervalo de tiempo en segundos.
- N\$ = Nombre del río y sitio de medición.
- FT\$ = Fecha en que ocurrió la tormenta.
- CN = Número de Curva.
- AS = Almacenamiento del suelo.
- D = Retroalimentación a nivel superficial.
- P = Precipitación media.
- O = Caudal Observado.
- S = Infiltración potencial.
- PA = Precipitación acumulada.
- F = Infiltración.
- WI = Precipitación que cae sobre el canal.
- W2 = Humedad disponible debida a que la intensidad de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del suelo.

- W3 = Humedad disponible debida a la saturación del suelo.
- G = Flujo superficial de salida.
- HR = Vector que contiene los caudales observados de mayor a menor.
- GOR = Vector que contiene los caudales simulados de mayor a menor.
- W = Humedad disponible total.
- C9 = Factor de conversión de mm a m<sup>3</sup>/seg.
- P2 = Parámetro que determina las partes del escurrimiento superficial que sale de la cuenca en el intervalo de tiempo I.  
P2 >= 1.
- P6 = Parámetro para estimar la cantidad de lluvia que cae directamente sobre el canal. P6 >= 1.
- P7 = Parámetro para estimar la cantidad de agua que se infiltra antes de que sea válida la ecuación de infiltración. P7 >= 1

### 1.2.3 Información suministrada al modelo.

El primer paso es la realización del Estudio Hidrológico, para lo cual es necesario la recopilación de la información básica existente. Esta información consiste en:

#### 1.2.3.1 Información cartográfica:

Es indispensable disponer de un plano de la cuenca en estudio donde aparezcan la ubicación del sitio

de interés con las coordenadas geográficas correspondientes y la hidrografía, para la estimación del área de la cuenca, y localización de las estaciones en ella.

#### 1.2.3.2 Precipitación.

Se requiere de la información pluviométrica horaria o a intervalos de media hora para la tormenta y de la lluvia ocurrida en los cinco días antes de la tormenta para estimar la humedad antecedente. Para la producción de escurrimiento por tormentas conocidas se ingresa toda la precipitación.

#### 1.2.3.3 Escorrentía.

Es necesario disponer de los datos del hidrograma calculado que produjo la tormenta para lograr la calibración del modelo.

#### 1.2.4 Unidades.

Los datos de entrada y salida al modelo se realizan expresados en unidades del sistema métrico decimal.

## 2. CALIBRACION DEL MODELO BALANCE MODIFICADO.

En todo modelo hidrológico, existen parámetros que se calculan en base a las condiciones y características de la cuenca y de los procesos que en ella ocurran, o bien se estiman estableciendo semejanzas con otras cuencas vecinas o similares.

Los parámetros restantes se calculan por calibración, es decir, mediante tanteos, en los cuales los caudales observados y los simulados se comparan iterativamente hasta que se encuentra un ajuste apropiado.

Esta calibración será más acertada, en la medida en que el modelo represente mejor al sistema, siendo un juego de parámetros único para diferentes tormentas de acuerdo a las restricciones de utilización.

En el Modelo Balance Modificado, la calibración consistió en encontrar los valores de los parámetros P2, P6 y P7, para la tormenta ocurrida el día 29-11-64 (Ver Anexo Tabla y Gráfico 1), en la cuenca del río Cuira.

3. VALIDACION DEL MODELO BALANCE MODIFICADO.

La validación del modelo consiste en tratar de comprobar o verificar que los parámetros calculados en el proceso de calibración, ajustan el hidrograma simulado de cualquiera otra tormenta ocurrida sobre la misma cuenca al hidrograma observado.

Teniendo calibrada la tormenta del 29-11-64, se introdujo los parámetros de ajuste a la tormenta del día 20-07-63, tomando la precaución de realizar los cambios en los valores propios de la nueva tormenta.

Estos valores son el Número de Curva (CN) del Método del Número de Curva del Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos, usado para la determinación de la precipitación efectiva, y el almacenamiento inicial de agua en el suelo (AS(0)).

#### 4. ANALISIS DE SENSIBILIDAD DE LOS PARAMETROS DEL MODELO BALANCE MODIFICADO.

El análisis de sensibilidad consiste en la determinación de la influencia que tiene la variación de algunos los parámetros en la salida del modelo, lo que vendría a representar la importancia relativa del parámetro como una aproximación a las entradas y relaciones que caracterizan al sistema cuenca.

Para ello se calibró la tormenta del día 20-07-63, obteniéndose parámetros  $P2=2.21$ ,  $P6=1.015$ ,  $P7=1.42$ , para el  $CN=85$  y  $AS(0)=25mm$ . (Anexo. Tabla y Gráfico 3). El análisis de sensibilidad se realizó variando cada uno de los parámetros utilizados en el modelo Balance modificado, los cuales son:  $P2$ ,  $P6$  y  $P7$ . Además, se varió el almacenamiento inicial del suelo y el número de curva, para ver su influencia e importancia dentro del modelo.

En la Tabla 4.1, se muestra el grupo de parámetros analizados y el rango de variación de ellos.

TABLA 4.1

PARAMETRO	VALOR DEL PARAMETRO	ELE (%)	EQP (%)
P2	2.14	0.92	1.99
	2.00	6.40	23.14
P6	1.000	2.57	0.32
	2.000	84.50	146.99
P7	1.10	2.06	0.03
	4.00	39.09	143.72
AS(O)	10	0.92	0.32
	50	262.73	623.46
CN	51	6.40	23.14
	85	262.81	695.78

Del análisis de la tabla 4.1, así como también del análisis de los hidrogramas observados y simulados, se desprenden las observaciones que se muestran en la Tabla 4.2.

TABLA 4.2

PARAMETRO	RANGO VARIACION	OBSERVACIONES
P2	2.14	Lamina escurrida es menor. No amortigua el caudal pico. Respuesta y recesión violentas. Buena calibración.
	2.00	Respuesta violenta. No corresponde el tiempo al Pico. Recesión violenta.
P6	1.000	Calibra tiempo pico. Lamina escurrida menor. Buena calibración.
	2.000	Lamina escurrida mucho mayor. Tiempo al pico no calibra. Respuesta y recesión violentas.
P7	1.10	Lamina escurrida menor. Tiempo y caudal pico buenos. Respuesta violenta.
	4.00	Lamina escurrida mayor. Recesión violenta con respuestas violentas.

...continuación

Tabla No 4.2

AS(O)	10	Calibración de la lámina escurrida y caudal pico buena. Respuesta y recesión violentas.
	50	Respuesta violenta, aumenta lámina escurrida y caudal pico.
CN	51	Respuesta y recesión violentas. No calibra caudal pico, tiempo pico ni lámina escurrida.
	85	Respuesta y recesión violentas.

5. ANALISIS DE RESULTADOS.

5.1 Calibración del modelo Balance modificado.

El modelo Balance modificado, según la concepción del autor, calibra para la tormenta del día 29-11-64, (Anexo Tabla y Gráfico 1.) ,variando los parámetros hasta obtener los valores de  $P2=5.10$ ,  $P6=1.020$  y  $P7=1.35$ . Esto ocurrió para el número de curva estimado en dicha tormenta según las condiciones de humedad del suelo de los cinco días precedentes al comienzo de la misma,  $CN=70.$ , y para un almacenamiento inicial de 50 mm.

Los errores logrados en la simulación del caudal pico y en la simulación de la lámina escurrida fueron de 0.55% y 0.04% respectivamente, estos valores se consideraron buenos, incluyendo la forma de los hidrogramas observado y simulado.

5.2 Validación del Modelo Balance Modificado.

Con la tormenta ocurrida el 29-11-64 se calibró el modelo obteniéndose el juego de parámetros señalados en el punto anterior.(Tabla 1. Gráfico 1). Introduciendo los mismos parámetros  $P2=5.10$ ,  $P6=1.020$  y  $P7=1.35$ , a la tormenta del 20-07-63, con los cambios respectivos en el número de curva, ahora de  $CN=85$ , y un almacenamiento inicial  $AS(0)=25$  (Anexo. Tabla y Grafico 2), se observó errores bastante grandes en la simulación de la lámina escurrida 5.55 % y en

la simulación del caudal pico 36.70 %, además de la notable incongruencia en la forma de los hidrogramas simulado y observado, con mayores dimensiones del simulado.

Se analizó este problema y se considera que si el Modelo calibra bien, debería representar al sistema Cuenca en una forma general, pero las relaciones internas entre variables y parámetros, no representan exactamente el sistema porque al validar el Modelo, los resultados no fueron los esperados y se estima que el problema radica en la calibración, ya que el Modelo, una vez calibrado, mantiene una respuesta en "memoria" y al introducir la nueva entrada para generar estados futuros, la salida es contaminada por los valores originales de los parámetros.

### 5.3. Análisis de Sensibilidad.

Debido a los resultados obtenidos en la validación del modelo, se estimó necesario el análisis de sensibilidad de las variables y parámetros para obtener la base del problema.

#### 5.3.1 Variación del Parámetro P2.

Para variaciones pequeñas de P2, las respuestas son violentas, no se amortigua el caudal pico, pero existe una buena calibración del caudal pico y la lámina escurrida. (Anexo. Tablas y Gráficos 3,4).

### 5.3.2 Variación del Parámetro P6.

Al variar el parámetro P6, cambia el tiempo del caudal pico. Para valores menores de 2, éste calibra bien. La lámina escurrida se hace mayor al aumentar P6, al igual que el caudal pico. (Anexo. Tablas y Gráficos 5,6).

### 5.3.3. Variación del Parámetro P7.

Al aumentar P7, las respuestas del modelo son bruscas al comienzo de la precipitación. Con valores cercanos a la unidad, la calibración del caudal pico y la lámina escurrida es buena. (Anexo. Tablas y Gráficos 7,8).

### 5.3.4. Variación del Almacenamiento Inicial.

Los hidrogramas obtenidos al variar  $AS(0)=10,50$ , en su forma son muy parecidos. La diferencia se produce sobre la lámina escurrida, puesto que ésta aumenta cuando el valor de  $AS(0)$ . aumenta. (Anexo. Tablas y Gráficos 9,10).

### 5.3.5. Variación del Número de Curva (CN).

Se analizó la influencia de la variación en el modelo del CN, según varíe la condición antecedente, determinándose que el caudal pico simulado varía proporcionalmente, a mayor CN, mayor  $Q_p$ . Se generaron recesiones violentas, sin lograrse la calibración. (Anexo. Tablas y Gráficos 11,12).

6. CONCLUSIONES.

1. El modelo de infiltración es el elemento de mayor importancia en el proceso de simulación del fenómeno precipitación-escorrentía.
2. Es fundamental para la utilización del modelo Balance modificado para eventos, y obtener buenos resultados, el conocimiento de las condiciones de humedad antecedente a la creciente que se va a simular.
3. El modelo Balance modificado puede utilizarse a diferentes intervalos de tiempo.
4. En las cuencas utilizadas, con área menor de 1000 Km cuadrados, se encontró un buen ajuste sin necesidad de hacer un tránsito por el canal.
5. El Modelo Balance Modificado calibra bien, según el Análisis de Resultados realizado en el Capítulo 5, para la tormenta ocurrida el día 29-11-64, obteniéndose valores en los parámetros  $P2=5.10$ ,  $P6=1.020$  y  $P7=1.35$ .
6. El Modelo Balance no posee en su concepción ningún método de tránsito de caudales por lo que la curva

de recesión de los hidrogramas presenta caídas bruscas, además, no considera los efectos de Tiempo de Concentración del área de la cuenca; los valores generados dependerán exclusivamente de la intensidad de la precipitación.

7. A pesar de la calibración lograda de la tormenta del día 29-11-64, en su lámina escurrida, caudal pico, tiempo pico y forma del hidrograma (Anexo. Tabla y Gráfico 1), se nota que el método de calibración no es el más idóneo ya que al calibrar con el Caudal Pico y con la Lámina escurrida, no se garantiza que se mantenga la forma del hidrograma y el Tiempo pico, como ocurrió en la calibración de la tormenta del 20-07-63, utilizada para el análisis de sensibilidad. (anexo. Tabla y Gráfico 3). Se demuestra que aún cuando el caudal pico y la lámina escurrida generados son bastante iguales al observado, el Tiempo pico puede variar en varias horas y el hidrograma puede ser bastante diferente al observado y sin embargo, se considera el Modelo calibrado.

8. Dado que se obtuvo una caída brusca de la curva de recesión simulada en el análisis, no debe subestimarse el aporte sub-superficial y subterráneo.

## 7. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda profundizar el estudio sobre el parámetro utilizado para estimar la cantidad de lluvia que cae sobre el canal P6, para darle características que simulen mejor este proceso en el transcurso de la creciente; además se debe revisar el efecto que tienen sobre la salida el Tiempo de concentración, área de la cuenca en intensidad de precipitación, flujo sub-superficial y subterráneo.
2. Según el modeo utilizado para simular el proceso de infiltración, éste se detiene en el momento en que cesa la lluvia, lo cual, no ocurre realmente de esa manera, la infiltración continúa un tiempo más aunque la precipitación sea cero.
3. Se recomienda probar el modelo con un número mayor de tormentas pertenecientes a una misma cuenca, y en cuencas diferentes donde se intenten los procesos de calibración, validación y producción.

## BIBLIOGRAFIA

1. GONZALEZ, Reinaldo. " Utilización de Modelos Matemáticos de Hidrología de superficie para un sistema de pronóstico de crecientes ". Trabajo Especial de Grado. U.C.V. Caracas, Octubre 1986. Biblioteca Central, Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Biblioteca del Dpto. de Meteorología e Hidrología de la U.C.V.

LEONARDI, Jaime.
  
2. ALFONZO, Roraima. " Teoría de Sistemas y Modelaje matemático para simular escurrimiento en cuencas ". U.C.V. Caracas, Junio 1987. Biblioteca Central, Biblioteca de la Facultad de Ingeniería y Biblioteca del Dpto. de Meteorología e Hidrología de la U.C.V.

ORTEGA, Deyelen.

- ANEXOS -

Modelo Balance  
para  
Eventos

(Programa Principal)

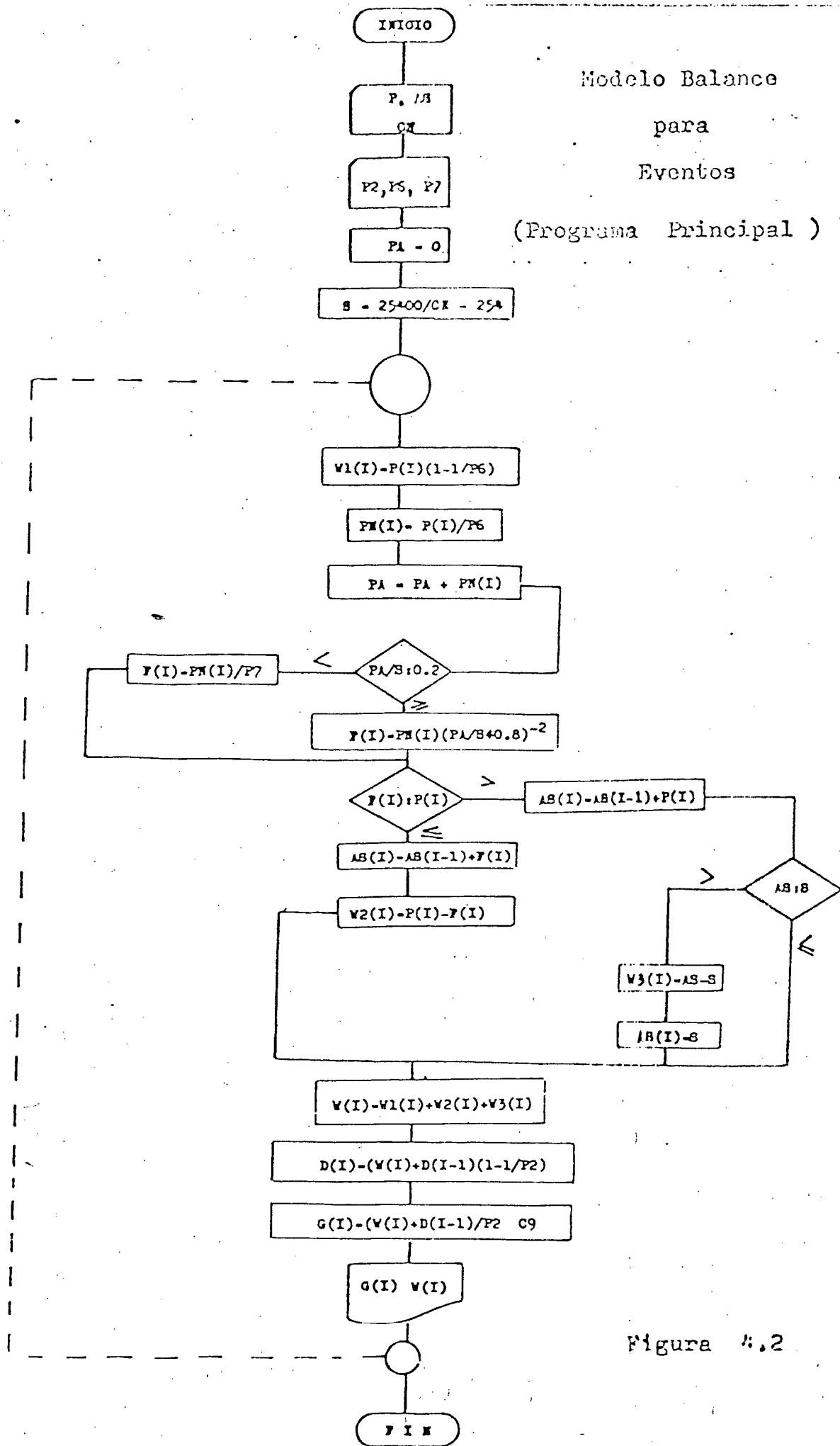


Figura 4.2

### Principales variables del modelo.

- N = Número de términos de la serie de caudales.
- M = Valor para dimensionar los vectores.
- A = Area de la cuenca en kilómetros cuadrados.
- T9 = Intervalo de tiempo en segundos.
- N\$ = Nombre del río y sitio de medición.
- FT\$ = Fecha cuando ocurrió la tormenta.
- CN = Número de curva.
- AS = Almacenamiento de suelo.
- D = Retroalimentación a nivel superficial.
- P = Precipitación media.
- O = Caudal observado.
- S = Infiltración potencial.
- PA = Precipitación acumulada.
- F = Infiltración.
- W1 = Precipitación que cae sobre el canal.
- W2 = Humedad disponible debida a que la intensidad - de la lluvia es mayor que la capacidad de infiltración del suelo.
- W3 = Humedad disponible debida a la saturación del suelo.
- G = Flujo superficial de salida.
- HR = Vector que contiene los caudales observados de mayor a menor.
- GOR = Vector que contiene los caudales simulados ordenados - de mayor a menor.
- W = Humedad disponible total.
- C9 = Factor de conversión de mm a m<sup>3</sup> / seg.

P2 = Parámetro que determina las partes del escurrimiento superficial que sale de la cuenca en el intervalo de tiempo I.  $P2 \geq 1$

P6 = Parámetro para estimar la cantidad de lluvia que cae directamente sobre el canal.  $P6 \geq 1$

P7 = Parámetro para estimar la cantidad de agua que se infiltra antes de que sea válida la ecuación de infiltración.  $P7 \geq 1$

```

10 REM          MODELO BALANCE PARA EVENTOS
20 REM  PARA CALIBRACION O PRODUCCION DE CAUDALES CON TORMENTAS CONOCIDAS
30 REM    REALIZADO COMO TRABAJO ESPECIAL DE GRADO POR LOS BACHILLERES
40 REM          REINALDO GONZALEZ Y JAIME LEONARDI
50 REM    PARA OPTAR AL TITULO DE INGENIERO HIDROMETEOROLOGISTA
60 CLS
70 REM  LECTURA DE DATOS
80 READ N,M,A,T9,N$,FT$
90 REM  N:  NUMERO DE TERMINOS DE LA SERIE DE CAUDALES.....
100 REM  M:  NUMERO PARA DIMENSIONAR LOS VECTORES.....
110 REM  A:  AREA DE LA CUENCA EN KILOMETROS CUADRADOS.....
120 REM  T9: INTERVALO DE TIEMPO UTILIZADO EN SEGUNDOS.....
130 REM  N$:  NOMBRE DEL RIO EN EL SITIO DE MEDICION.....
140 REM  FT$: FECHA EN QUE OCURRIO LA TORMENTA.....
150 DATA 30,50,550,3600,RIO CUIRA EN SANTA ROSA,TORMENTA 29-11-64
160 PRINT :PRINT:PRINT TAB(26);"MODELO BALANCE PARA EVENTOS":PRINT CHR$(7)
170 PRINT TAB(28);N$:PRINT:PRINT TAB(31);FT$:PRINT
180 PRINT:PRINT:INPUT " INGRESAR: 1 CALIBRACION o 2 PRODUCCION ";X2:CLS
190 PRINT:PRINT:PRINT:PRINT TAB(28);N$:PRINT :PRINT:PRINT TAB(31);FT$:PRINT
200 DIM P(M),PN(M),W(M),D(M),W1(M),W2(M),W3(M),O(M)
210 REM P:  PRECIPITACION MEDIA.....
220 REM PN:  PRECIPITACION MEDIA MENOS LA PRECIPITACION EN EL CANAL.....
230 REM W:  HUMEDAD DISPONIBLE TOTAL.....
240 REM D:  RETROALIMENTACION SUPERFICIAL.....
250 REM W1:  PRECIPITACION QUE CAE SOBRE EL CANAL.....
260 REM W2:  HUMEDAD DISPONIBLE DEBIDA A QUE LA INTENSIDAD DE LLUVIA ES
270 REM    MAYOR QUE LA CAPACIDAD DE INFILTRACION.....
280 REM W3:  HUMEDAD DISPONIBLE DEBIDO A LA SATURACION DEL SUELO.....
290 REM O:  CAUDAL OBSERVADO.....
300 DIM F(M),G(M),AS(M),HR(M),GOR(M),Y(M),S(M)
310 REM F:  INFILTRACION.....
320 REM G:  FLUJO SUPERFICIAL DE SALIDA.....
330 REM AS:  ALMACENAMIENTO DE AGUA EN EL SUELO.....
340 REM HR:  VECTOR QUE CONTIENE LOS CAUDALES OBSERVADOS DE MAYOR A MENOR..
350 REM GOR: VECTOR QUE CONTIENE LOS CAUDALES SIMULADOS DE MAYOR A MENOR..
360 REM S:  INFILTRACION POTENCIAL.....
370 READ P2,P6,P7,D(O),AS(O),CN
380 REM P2:  PARAMETRO QUE CONTROLA LA VELOCIDAD DEL FLUJO DE SALIDA.....
390 REM P6:  PARAMETRO PARA ESTIMAR LA CANTIDAD DE LLUVIA QUE CAE SOBRE EL
400 REM    CANAL.....
410 REM P7:  PARAMETRO QUE CONTROLA LA INFILTRACION ANTES DE QUE PA/S<=0.2.
420 REM D(O): RETROALIMENTACION SUPERFICIAL INICIAL.....
430 REM AS(O):ALMACENAMIENTO INICIAL DEL SUELO.....
440 REM CN:  NUMERO DE CURVA(SCS).....
450 DATA 5.10,1.020,1.35,0,50,70
460 FOR I = 1 TO N: READ P(I): NEXT I
470 FOR I = 1 TO N:READ O(I): NEXT I
480 DATA 1.5,1.6,0,3.4,8.0,5.6,11.0,12.0,13.4,7.4,1.4,.6
490 DATA 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0
500 DATA 1.10,6,32.2,28.8,69,129,223.4,276.1,251.2,407.6,389.4,337.8,287.5
510 DATA 210.7,152.6,105.6,49.4,55.6,45.2,33.7,27.8,22.3,18.4,15.6,12.8,9.8
520 DATA 7,5.3,2.4,0
530 S=25400/CN-254:C9=1000*A/T9:PA=0
540 REM  CALCULO DE EXCESOS DE AGUA
550 FOR I= 1 TO N
560 W1(I)=P(I)*(1-1/P6)
570 PN(I)=P(I)/P6
580 PA=PA+PN(I)
590 IF PA/S>.2 THEN 600 ELSE 640
600 F(I)=PN(I)*(PA/S+.8)^(-2)

```

```

610 IF PN(I)<=F(I) THEN 620 ELSE 650
620 AS(I)=AS(I-1)+PN(I)
630 IF AS(I)<=S THEN 670 ELSE 660
640 F(I)=PN(I)/P7
650 AS(I)=AS(I-1)+F(I):W2(I)=PN(I)-F(I):GOTO 670
660 W3(I)=AS(I)-S:AS(I)=S
670 W(I)=W1(I)+W2(I)+W3(I)
680 REM " FORMULACION DEL MODELO"
690 D(I) = (W(I)+D(I-1))*(1-1/P2)
700 G(I) = (W(I)+D(I-1))/P2*C9
710 NEXT I
720 REM " ESTADISTICA DE LA SIMULACION "
730 ON X2 GOTO 740,890
740 SF=0:SO=0:SP=0
750 FOR I=1 TO N:HR(I)=O(I):GOR(I)=G(I):NEXT I
760 C=0
770 FOR I=1 TO N
780 IF HR(I) >=HR(I+1) THEN 800
790 BO=HR(I):HR(I)=HR(I+1):HR(I+1)=BO:C=1
800 NEXT I
810 IF C=1 THEN 760
820 C=0
830 FOR I=1 TO N
840 IF GOR(I)>=GOR(I+1) THEN 860
850 BR=GOR(I):GOR(I)=GOR(I+1):GOR(I+1)=BR:C=1
860 NEXT I
870 IF C=1 THEN 820
880 EQP=(ABS(GOR(1)-HR(1)))/HR(1)*100
890 REM " IMPRESION DE FLUJOS DE SALIDA "
900 ON X2 GOTO 910,1150
910 CLS:PRINT :PRINT TAB(34);"TABLA No. 1":PRINT
915 CLS:LPRINT :LPRINT TAB(34);"TABLA No. 1":LPRINT
920 PRINT :PRINT TAB(26);"MODELO BALANCE PARA EVENTOS":PRINT
925 LPRINT :LPRINT TAB(26);"MODELO BALANCE PARA EVENTOS":LPRINT
930 PRINT TAB(28);N$:PRINT :PRINT TAB(32);FT$:PRINT:PRINT CHR$(7)
935 LPRINT TAB(28);N$:LPRINT :LPRINT TAB(32);FT$:LPRINT:PRINT CHR$(7)
940 PRINT " T P SC IF AS HD RS QS QO"
945 LPRINT " T P SC IF AS HD RS QS QO"
950 PRINT " mm mm mm mm mm mm mm m^3/s m^3/s"
955 LPRINT " mm mm mm mm mm mm mm m^3/s m^3/s"
960 PRINT TAB(6);:PRINT STRING$(63,"-")
965 LPRINT TAB(6);:LPRINT STRING$(63,"-")
970 SF=0:SO=0:SP=0
980 FOR I=1 TO N
990 PRINT USING "#####";I:PRINT USING "####.# ";P(I),W1(I),F(I),AS(I),W(I),
D(I);
995 LPRINT USING "#####";I:LPRINT USING "####.# ";P(I),W1(I),F(I),AS(I),W(I),
D(I);
1000 PRINT USING "####.# ";G(I),O(I)
1005 LPRINT USING "####.# ";G(I),O(I)
1010 SF=SF+G(I):SO=SO+O(I):SP=SP+P(I)
1020 NEXT I
1030 PRINT:PRINT TAB(25);:PRINT STRING$(25,"-"):PRINT CHR$(7)
1035 LPRINT:LPRINT TAB(25);:LPRINT STRING$(25,"-"):LPRINT CHR$(7)
1040 LES=(SF*T9)/(A*1000):LEO=(SO*T9)/(A*1000)
1050 ELE=(ABS(LES-LEO))/LEO*100
1060 PRINT SPC(25);:PRINT USING "SQS =#####.## m^3/seg ";SF
1065 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "SQS =#####.## m^3/seg ";SF
1070 PRINT SPC(25);:PRINT USING "LES = ###.## mm ";LES
1075 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "LES = ###.## mm ";LES
1080 PRINT SPC(25);:PRINT USING "SQO =#####.## m^3/seg ";SO
1085 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "SQO =#####.## m^3/seg ";SO
1090 PRINT SPC(25);:PRINT USING "LEO = ###.## mm ";LEO
1095 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "LEO = ###.## mm ";LEO
1100 PRINT SPC(25);:PRINT USING "PT. = ###.## mm ";SP
1105 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "PT. = ###.## mm ";SP

```

```

1110 PRINT SPC(25);:PRINT USING "ELE = ###.## % ";ELE
1115 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "ELE = ###.## % ";ELE
1120 PRINT SPC(25);:PRINT USING "EQP = ###.## % ";EQP
1125 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "EQP = ###.## % ";EQP
1126 PRINT SPC(25);:PRINT USING "P2 = ###.## ";P2
1127 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "P2 = ###.## ";P2
1128 PRINT SPC(25);:PRINT USING "P6 = ###.## ";P6
1129 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "P6 = ###.## ";P6
1130 PRINT SPC(25);:PRINT USING "P7 = ###.## ";P7
1131 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "P7 = ###.## ";P7
1132 PRINT SPC(25);:PRINT USING "S = ###.## ";S
1133 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "S = ### ";S
1134 PRINT SPC(25);:PRINT USING "CN = ##.";CN
1135 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "CN = ##.";CN
1136 PRINT SPC(25);:PRINT USING "AS = ###.##";AS(0)
1137 LPRINT SPC(25);:LPRINT USING "AS = ###.##";AS(0)
1138 PRINT :PRINT TAB(25);:PRINT STRING$(25,"-");PRINT:PRINT CHR$(7)
1139 LPRINT :LPRINT TAB(25);:LPRINT STRING$(25,"-");LPRINT:LPRINT CHR$(7)
1140 GOTO 1310
1150 SQ=0:SP=0:FOR I=1 TO N:SQ=SQ+G(I):SP=SP+P(I):NEXT I
1160 LEQ=(SQ*T9)/(A*1000)
1170 CLS:PRINT :PRINT TAB(26);"MODELO BALANCE PARA EVENTOS":PRINT
1180 PRINT TAB(28);N$:PRINT:PRINT TAB(32);FT$:PRINT:PRINT CHR$(7)
1190 PRINT TAB(23)"          T          P          Q"
1200 PRINT TAB(23)"          H          mm          m^3/s"
1210 PRINT TAB(31);:PRINT STRING$(19,"-");PRINT
1220 FOR I=1 TO N
1230 PRINT TAB(31);:PRINT USING "## ";I;:PRINT USING "###.## ";P(I);
1240 PRINT USING "#####.##";G(I)
1250 NEXT I:PRINT CHR$(7)
1260 PRINT :PRINT TAB(32);:PRINT STRING$(18,"-");PRINT TAB(32);
1270 PRINT USING "SQ= #####.## m^3/s";SQ;:PRINT TAB(32);
1280 PRINT USING "LE= ###.## mm";LEQ;:PRINT TAB(32);
1290 PRINT USING "PT= ###.## mm";SP
1300 PRINT :PRINT TAB(32);:PRINT STRING$(18,"-");PRINT CHR$(7)
1310 END

```

TABLA No. 1

MODELO BALANCE PARA EVENTOS

RIO CUIRA EN SANTA ROSA

TORMENTA 29-11-64

T	P mm	SC mm	IF mm	AS mm	HD mm	RS mm	QS m <sup>3</sup> /s	QO m <sup>3</sup> /s
1	1.5	0.0	1.1	51.1	0.4	0.3	12.30	1.10
2	1.6	0.0	1.2	52.3	0.4	0.6	23.01	6.00
3	0.0	0.0	0.0	52.3	0.0	0.5	18.50	32.20
4	3.4	0.1	2.5	54.7	0.9	1.1	42.76	28.80
5	8.0	0.2	5.8	60.5	2.2	2.7	99.99	69.00
6	5.6	0.1	4.1	64.6	1.5	3.4	126.31	129.00
7	11.0	0.2	9.2	73.8	1.8	4.1	154.14	223.40
8	12.0	0.2	8.3	82.2	3.7	6.3	233.75	276.10
9	13.4	0.3	7.7	89.8	5.7	9.7	359.61	251.20
10	7.4	0.1	3.8	93.7	3.6	10.6	395.91	407.60
11	1.4	0.0	0.7	94.4	0.7	9.1	338.88	389.40
12	0.6	0.0	0.3	94.7	0.3	7.5	281.33	337.80
13	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	6.1	226.17	287.50
14	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	4.9	181.82	210.70
15	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	3.9	146.17	152.60
16	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	3.2	117.51	105.60
17	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	2.5	94.47	49.40
18	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	2.0	75.94	55.60
19	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	1.6	61.05	45.20
20	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	1.3	49.08	33.70
21	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	1.1	39.46	27.80
22	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.9	31.72	22.30
23	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.7	25.50	18.40
24	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.6	20.50	15.60
25	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.4	16.48	12.80
26	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.4	13.25	9.80
27	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.3	10.65	7.00
28	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.2	8.56	5.30
29	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.2	6.88	2.40
30	0.0	0.0	0.0	94.7	0.0	0.1	5.53	0.00

SQS = 3217.25 m<sup>3</sup>/seg  
 LES = 21.06 mm  
 SQO = 3213.30 m<sup>3</sup>/seg  
 LEO = 21.03 mm  
 PT. = 65.90 mm  
 ELE = 0.12 %  
 EQP = 2.87 %  
 P2 = 5.10  
 P6 = 1.02  
 P7 = 1.35  
 S = 109  
 CN = 70  
 AS = 50.00

—+— 00

—□— 05

500

400

300

200

100

0

CAUDAL M<sup>3</sup>/S

TIEMPO (HORAS)

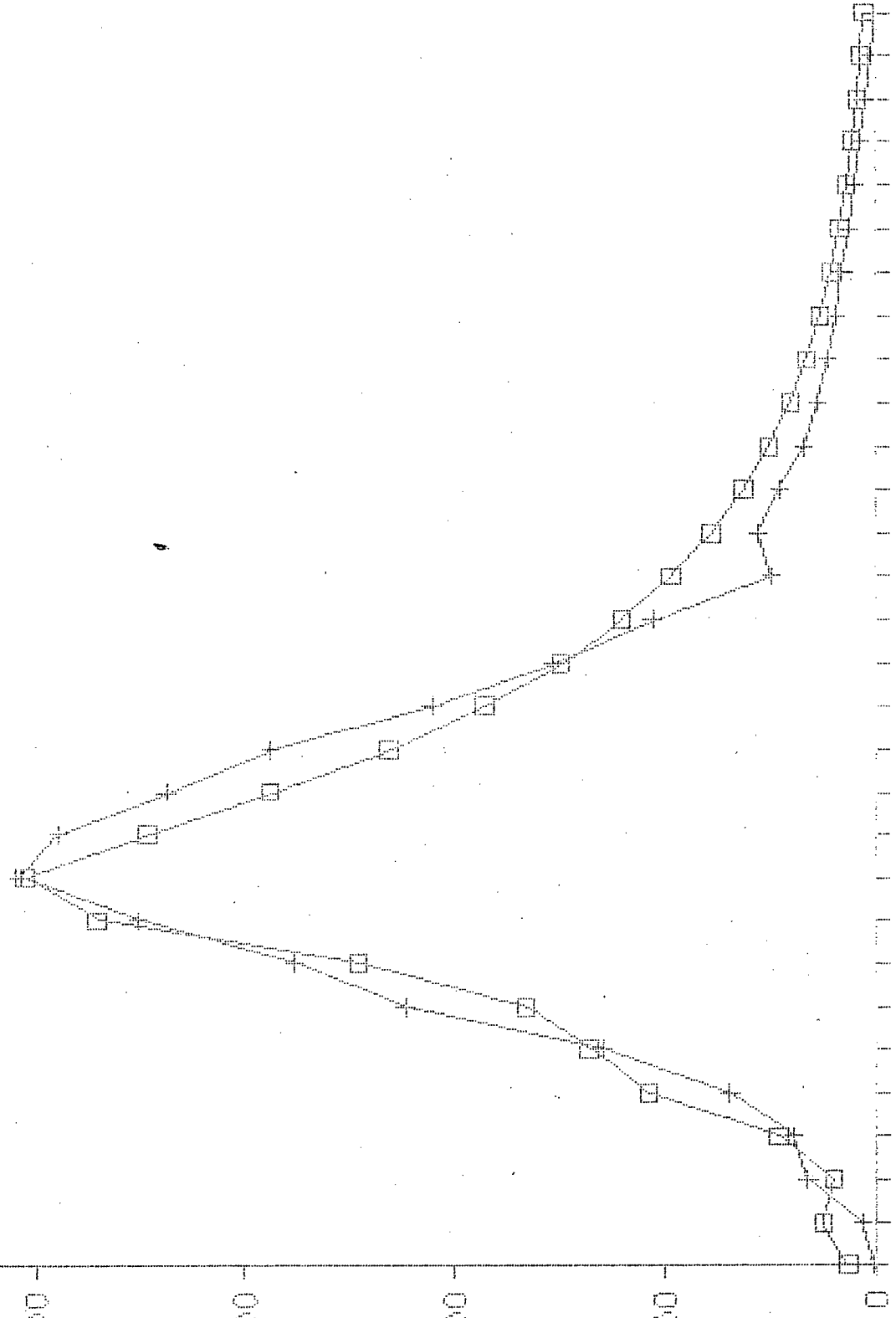


TABLA No.

MODELO BALANCE PARA EVENTOS

RIO CUIRA EN SANTA ROSA

TORMENTA 20-07-63

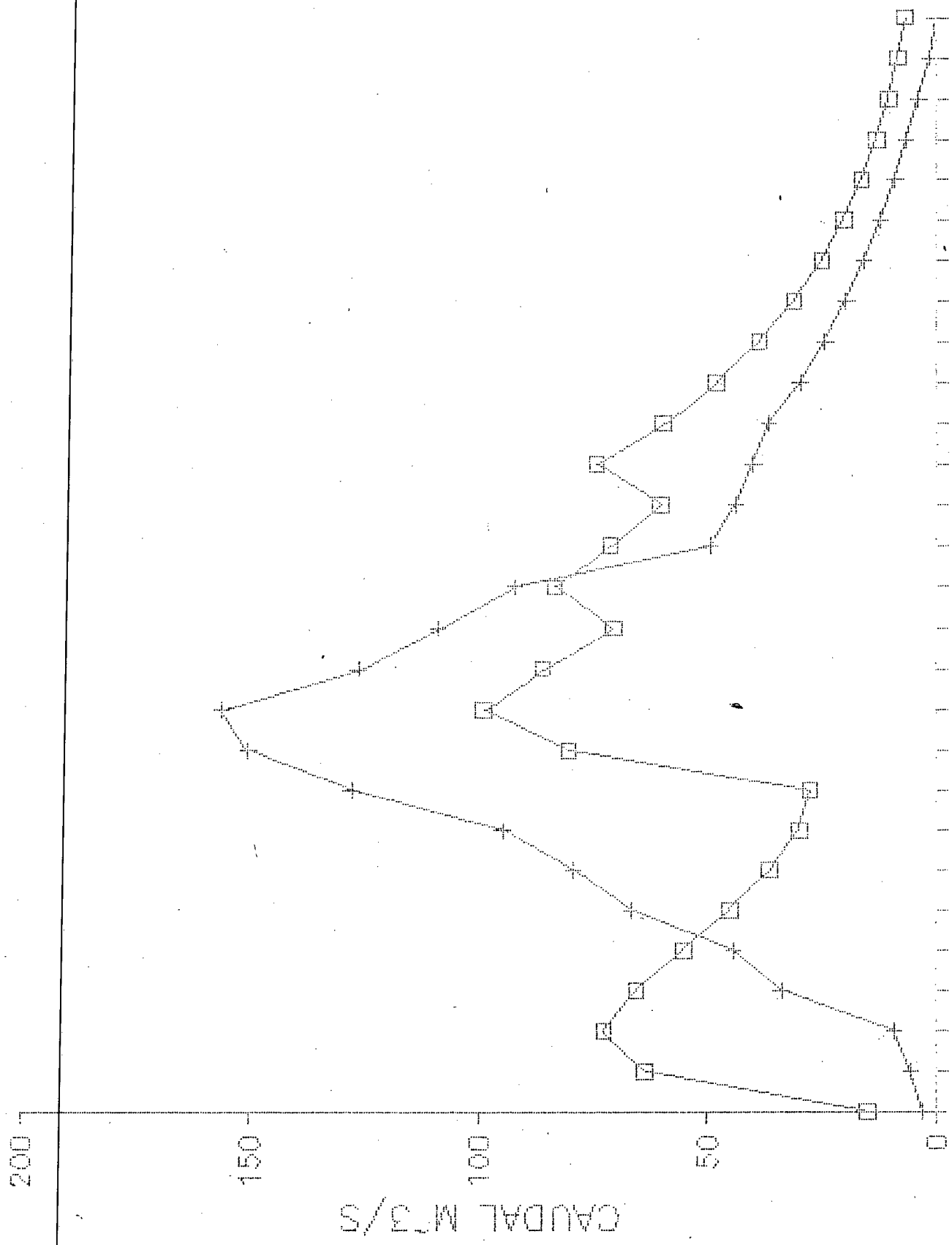
T	P mm	SC mm	IF mm	AS mm	HD mm	RS mm	QS m <sup>3</sup> /s	QO m <sup>3</sup> /s
1	1.8	0.0	1.3	26.3	0.5	0.4	14.76	3.00
2	6.3	0.1	4.6	30.9	1.7	1.7	63.54	5.50
3	4.6	0.1	3.9	34.8	0.7	1.9	72.58	9.00
4	1.2	0.0	1.0	35.7	0.2	1.8	65.38	33.50
5	0.4	0.0	0.3	36.0	0.1	1.5	55.06	44.00
6	0.1	0.0	0.1	36.1	0.0	1.2	44.89	66.50
7	0.0	0.0	0.0	36.1	0.0	1.0	36.09	79.00
8	0.1	0.0	0.1	36.2	0.0	0.8	29.66	94.50
9	0.5	0.0	0.4	36.6	0.1	0.7	27.28	127.50
10	5.3	0.1	3.4	39.9	1.9	2.2	80.12	150.00
11	2.7	0.1	1.6	41.5	1.1	2.6	98.59	155.75
12	0.5	0.0	0.3	41.8	0.2	2.3	85.73	126.00
13	0.1	0.0	0.1	41.8	0.0	1.9	70.22	108.50
14	1.9	0.0	1.0	42.9	0.9	2.2	83.10	91.75
15	0.3	0.0	0.2	43.0	0.1	1.9	71.06	49.00
16	0.2	0.0	0.1	43.1	0.1	1.6	59.98	43.50
17	1.7	0.0	0.8	44.0	0.9	2.0	73.89	39.75
18	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	1.6	59.40	36.50
19	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	1.3	47.75	29.50
20	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	1.0	38.39	24.00
21	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.8	30.86	19.50
22	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.7	24.81	15.50
23	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.5	19.95	12.00
24	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.4	16.03	8.75
25	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.3	12.89	6.50
26	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.3	10.36	3.75
27	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.2	8.33	1.50
28	0.0	0.0	0.0	44.0	0.0	0.2	6.70	0.00

-----

SQS = 1307.40 m<sup>3</sup>/seg  
 LES = 8.56 mm  
 SQO = 1384.25 m<sup>3</sup>/seg  
 LEO = 9.06 mm  
 PT. = 27.70 mm  
 ELE = 5.55 %  
 EQP = 36.70 %  
 P2 = 5.10  
 P6 = 1.020  
 P7 = 1.35  
 S = 44.82  
 CN = 85.0  
 AS = 25.00

-----

---+--- 00  
---□--- 05



TIEMPO (HORAS)

TABLA No. 1

MODELO BALANCE PARA EVENTOS

RIO CUIRA EN SANTA ROSA

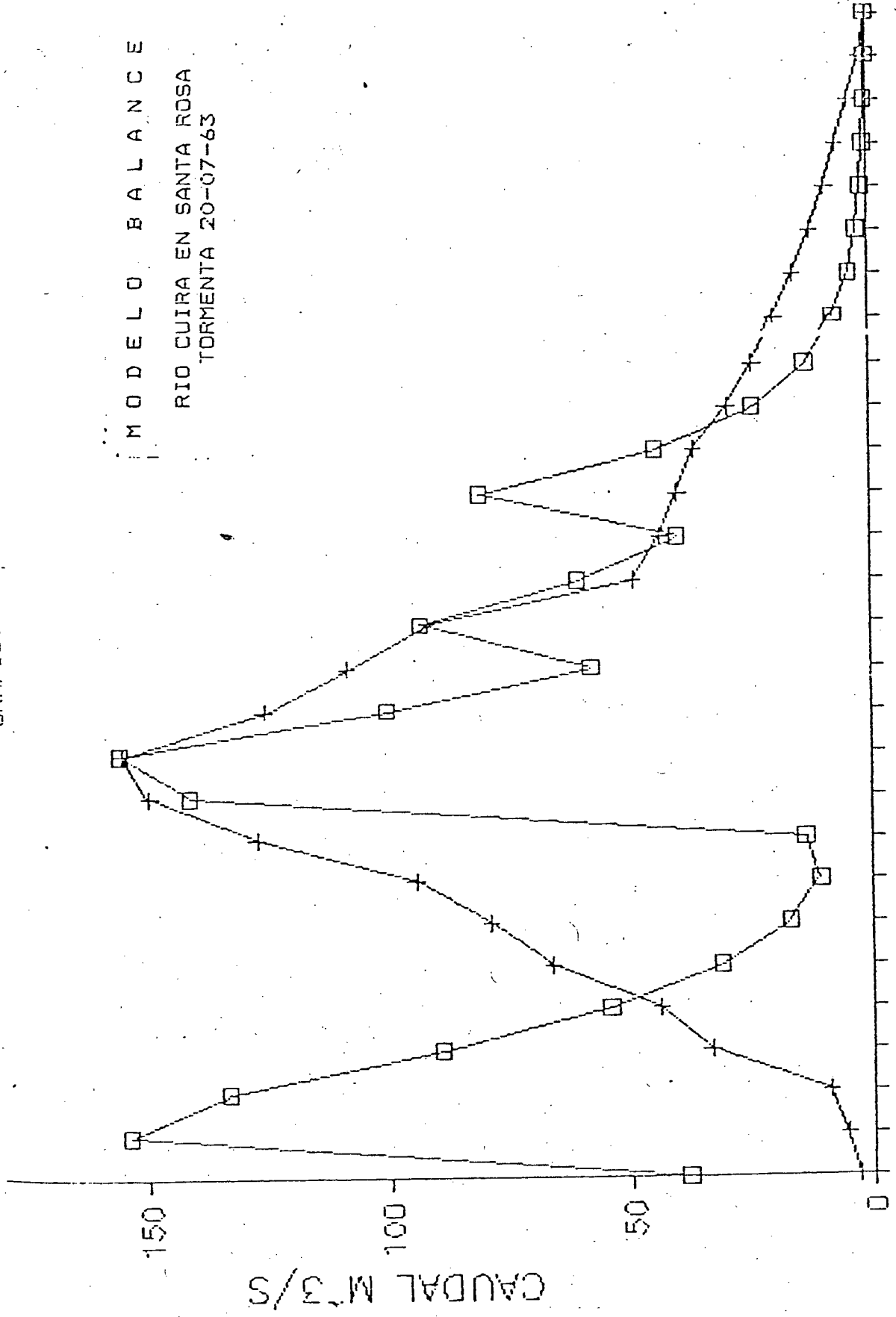
TORMENTA 20-07-63

T	P mm	SC mm	IF mm	AS mm	HD mm	RS mm	QS m <sup>3</sup> /s	QO m <sup>3</sup> /s
1	1.8	0.0	1.2	26.2	0.6	0.3	37.41	3.00
2	6.3	0.1	4.4	30.6	1.9	1.2	151.40	5.50
3	4.6	0.1	3.9	34.5	0.7	1.1	130.98	9.00
4	1.2	0.0	1.0	35.5	0.2	0.7	87.50	33.50
5	0.4	0.0	0.3	35.8	0.1	0.4	53.52	44.00
6	0.1	0.0	0.1	35.9	0.0	0.2	30.72	66.50
7	0.0	0.0	0.0	35.9	0.0	0.1	16.82	79.00
8	0.1	0.0	0.1	36.0	0.0	0.1	10.65	94.50
9	0.5	0.0	0.4	36.3	0.1	0.1	13.57	127.50
10	5.3	0.1	3.4	39.7	1.9	1.1	138.95	150.00
11	2.7	0.0	1.6	41.3	1.1	1.2	153.40	155.75
12	0.5	0.0	0.3	41.5	0.2	0.8	98.64	126.00
13	0.1	0.0	0.1	41.6	0.0	0.5	56.95	108.50
14	1.9	0.0	1.0	42.6	0.9	0.7	91.50	91.75
15	0.3	0.0	0.2	42.8	0.1	0.5	59.72	49.00
16	0.2	0.0	0.1	42.9	0.1	0.3	39.16	43.50
17	1.7	0.0	0.8	43.7	0.9	0.6	79.55	39.75
18	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.4	43.56	36.50
19	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.2	23.85	29.50
20	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.1	13.06	24.00
21	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.1	7.15	19.50
22	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	3.91	15.50
23	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	2.14	12.00
24	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	1.17	8.75
25	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	0.64	6.50
26	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	0.35	3.75
27	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	0.19	1.50
28	0.0	0.0	0.0	43.7	0.0	0.0	0.11	0.00

SQS = 1346.58 m<sup>3</sup>/seg  
 LES = 8.98 mm  
 SQO = 1384.25 m<sup>3</sup>/seg  
 LEO = 9.23 mm  
 PT. = 27.70 mm  
 ELE = 2.72 %  
 EQP = 1.51 %  
 P2 = 2.21  
 P6 = 1.02  
 P7 = 1.42  
 S = 45  
 CN = 85  
 AS = 25.00

GRAFICO No. 1

MODELO BALANCE  
RIO CUIRA EN SANTA ROSA  
TORMENTA 20-07-63



TIEMPO (HORAS)

CAUDAL M³/S