

20-0201	Pampe, San Lorenzo	14° 02'	89° 55'	Datos desde 1960
---------	--------------------	---------	---------	------------------

De las tres estaciones anteriores, se cuenta con el registro limnigráfico para la tormenta del Huracán FIFI, pero solamente se efectuará la calibración en la Estación la Hachadura, por ser la más cercana al área de estudio.

En la Tabla No. 1, se presentan los valores de caudales máximos instantáneos, según fueron medidos en la estación la Hachadura, con los que se realizará la regulación estadística para determinar períodos de retorno de dichos caudales máximos instantáneos anuales.

Las tormentas que no tienen un registro de crecida, se simularán para obtener dicho caudal: Año 1969/1979 (Esta medición es errónea, pues el limnógrafo tuvo desperfectos, por lo cual se simulará para obtener su valor real), 1982/1983 y Huracán MITCH 1998.

Tabla No. 1
CAUDALES MAXIMOS INSTANTANEOS
ESTACION HIDROMETRICA LA HACHADURA

AÑO HIDROLOGICO	FECHA	CAUDAL MAXIMO INSTANTANEO (m3/s)	OBSERVACIONES
1962/1963	30.06.92	168	
1963/1964	22.09.63	271	
1964/1965	11.09.64	378	
1965/1966	20.09.65	940	
1966/1967	27.06.66	2,468	
1967/1968	05.10.67	1,108	
1968/1969	25.10.68	682	
1969/1970	04.09.69	1,014	Desperfectos del equipo. Medición errónea
1970/1971	15.09.70	817	
1971/1972	19.10.71	1,790	
1972/1973	24.06.72	2,856	
1973/1974	01.09.73	2,575	
1974/1975	20.09.74	2,331	Huracán FIFI
1975/1976	22.09.75	728	
1976/1977	07.10.76	2,170	
1977/1978	21.06.77	2,113	
1978/1979	29.10.78	511	
1979/1980	03.09.79	978	
1980/1981	28.10.80	650	
1981/1982	12.09.81	727	
1982/1983	19.09.82	---	No hay dato
1994/1995	10.08.94	1,056	
1995/1996	21.09.95	156	
1996/1997	28.09.96	73	
1998/1999	31.10.98	—	HURACAN MITCH No existe medición

FUENTE: SERVICIO HIDROLOGICO NACIONAL. SNET. EL SALVADOR

b) Datos de precipitación.

Para los efectos de los diferentes análisis realizados en el presente estudio, se agruparon los datos de lluvia en 4 tormentas que produjeron un gran caudal, a veces excepcional: la tormenta del 4 de septiembre de 1969, la tormenta del 20 de septiembre de 1974 (Huracán FIFI), la tormenta del 19 de septiembre de 1982 y la del 31 de octubre de 1998 (Huracán MITCH).

En la Tabla No. 2 se presenta la red de estaciones meteorológicas guatemalteca y salvadoreña, de la que se obtuvo información diaria y horaria para la simulación de las tormentas antes mencionadas.

En lo relativo al Evento MITCH, se ha obtenido una distribución de la lluvia en la estación meteorológica La Hachadura, ya que no existe precipitación horaria de dicho evento en otras estaciones.

Tabla No.2
Estaciones meteorológicas con datos de lluvia
Para tormentas indicadas

CODIGO	LUGAR	PAIS	TIPO DATO
A6	Santa Ana, Santa Lucía	ES	D
A10	Finca Novi	ES	D
A18	Finca Los Andes	ES	H
A24	Finca Oliveira	ES	D
A26	Finca Plan del Hoyo	ES	D
A27	Candelaria de la Frontera	ES	H
H2	Atiquizaya, FENADESAL	ES	D
H6	Puente El Jobo	GUA	D
H8	Ahuachapán	ES	H
H9	Cantón Goascota, Bomba	ES	D
H10	Caserío El Junquillo	ES	D
H11	Refugio, Finca El Rosario	ES	D
H13	Apaneca, Santa Leticia	ES	H
H14	La Hachadura	ES	H
H15	San Francisco Menéndez	ES	D
H16	Cantón El Nispero	ES	D
H19	Los Tamarindos, El Obraje	ES	D
H21	Beneficio Buena Vista	ES	D
T16	La Majada, San Antonio	ES	D
S/C	Jalpatagua	GUA	H
S/C	Quezada	GUA	H

FUENTE: SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL. SNET. EL SALVADOR

3. DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS HIDROLÓGICOS EN LA CUENCA

El comportamiento de cualquier cuenca hidrográfica en respuesta a una lluvia, no es del tipo lineal y estacionario, el hidrograma está siempre influenciado por las características morfológicas y físicas del terreno, así como características estacionales, como saturación del terreno, filtración subterránea, etc.

La complejidad de los procesos hidrológicos, hidráulicos y meteorológicos, se debe por tanto simplificar y reducir a procesos más elementales:

- a) Precipitación (intensidad, distribución, duración)
- b) Intercepción e Infiltración
- c) Flujo Base
- d) Transformación de la lluvia eficaz en escorrentía
- e) Propagación de la onda de crecida hasta la sección de cierre.

El modelo HMS, permite el planteamiento de una serie de parámetros que representan las condiciones iniciales de la cuenca y la evolución de tales procesos a partir de las características de la cuenca.

a) Precipitación

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo solamente será calibrado con la tormenta correspondiente al 20 de septiembre de 1974. Posteriormente, se simularán las tormentas que se mencionan en el literal b del numeral 2.

b) Intercepción e Infiltración

Los fenómenos de intercepción e infiltración representan la cantidad de agua que del total de precipitación es sustraída por la cobertura vegetal, por las depresiones superficiales, por las fisuras, por las áreas urbanas y en general, por todas las áreas que no permiten el libre escurrimiento del agua como escorrentía superficial. En el modelo HEC-HMS, no se presentan algoritmos destinados a la simulación de tales fenómenos, de tal manera que no resulta adecuado para realizar previsiones de escorrentía en un período muy largo.

Tales procesos sustraen un porcentaje del agua precipitada, y tal porcentaje se considera como una pérdida del sistema, en cuanto no contribuye a la formación de escorrentía superficial, o no al menos en el intervalo de tiempo considerado.

c) Flujo base

El HMS tiene en cuenta los efectos del flujo base en el hidrograma de crecida a través de la determinación de tres variables y del método utilizado para reproducir el hidrograma:

- Flujo Base Inicial (Initial Q): representa el caudal base al inicio de la crecida, y por tanto es función de las condiciones precedentes al evento.

- Constante de Recesión (Recession Constant): Parámetro adimensional (<1) que puede ser definido como la relación del actual flujo base al flujo base de 1 día antes.
- Threshold Q: Especifica la relación adimensional entre el caudal de inicio de la rama de recesión de hidrograma (expresado en función exponencial) y el caudal al pico.

Para la cuenca del Río Paz, actualmente en estudio, se tomaron los valores iniciales que se muestran en la tabla No. 3, siendo el método adoptado para el cálculo el “Método de Recesión”. Esta información resultó de calibraciones previas del modelo en la cuenca.¹

Tabla No. 3
Valores iniciales de Parámetros Flujo Base

PARAMETRO	VALOR INICIAL
Caudal Flujo Base Inicial	18 m ³ /s
Constante de Recesión	1
Relación Caudal al Pico	85

d) Escorrentía superficial

La determinación de la escorrentía superficial se articula en dos fases:

- Determinación de la lluvia eficaz
- Transformación precipitación-escorrentía

El cálculo de la lluvia eficaz, es decir, la cantidad de precipitación que realizará un aporte efectivo a la escorrentía, puede realizarse en el Modelo HMS por varios métodos: Pérdida Inicial/Pérdida Constante, Pérdidas por el Método del SCS de la Curva Número, Déficit/Pérdida Constante.

En el presente trabajo, las pérdidas iniciales serán calculadas por el Método Inicial/Pérdida Constante, que consiste en permitir que toda la lluvia que cae se pierda hasta que un valor inicial de pérdidas es satisfecho. Después de esto, la lluvia se infiltra y se pierde a una tasa constante. El área de la subcuenca que se define como impermeable, no produce ninguna pérdida.

Los parámetros que definen estas relaciones son:

¹ Ministerio de Agricultura y Ganadería “Proyecto Control de Inundaciones en el Río Paz”. Informe Final, Estudios Básicos, Eurolatina, El Salvador 1997 y Ministerio de Agricultura y Ganadería “Proyecto de Diseños Finales de Ingeniería de las Obras de Control de Inundaciones en la Ribera Izquierda del Río Paz”. Diagnóstico del Problema. Informe de Avance No. 1, Tahal Consulting Engineers, El Salvador, Febrero de 1999.

- Pérdida Inicial (Initial Loss): Abstracción inicial en mm, que debe ser satisfecha antes que la escorrentía ocurra.
- Tasa de Pérdida Constante (Constant Loss Rate): Pérdida de lluvia uniforme (mm/h) que inicia después de que la pérdida inicial ha sido completamente satisfecha.
- Impermeabilidad (Impervious %): Porcentaje de la subcuenca para el cual no se calculan pérdidas.

Para la cuenca del Río Paz y el evento Huracán FIFI, los parámetros iniciales de pérdidas se presentan en la Tabla No. 4.²

Tabla No. 4
Valores iniciales de Parámetros Pérdidas de Precipitación

PARAMETRO	VALOR INICIAL
Pérdidas Iniciales	40 mm
Tasa de pérdida constante	2.5 mm/h
Impermeabilidad	0%

Para el cálculo de la transformación precipitación-escorrentía, se utilizó el Método del Hidrograma Unitario Instantáneo de Clark, que consiste en un Hidrograma Unitario (HUI) teórico, resultante de una lluvia unitaria efectiva en un tiempo infinitésimo de corta duración. Esto significa que un HUI de lluvia unitaria efectiva es aplicado a la cuenca de drenaje en un tiempo cero. El HUI es entonces empleado para calcular un hidrograma unitario para cualquier duración deseada igual o mayor que el intervalo de tiempo utilizado para el cálculo de HUI.

La determinación del HUI incluye el cálculo de dos parámetros y un diagrama de la cuenca tiempo-área. El primer parámetro es el Tiempo de Concentración (T_c) definido como el tiempo de viaje de las partículas de agua desde el punto hidráulicamente más remoto de la cuenca hasta el punto de interés. El segundo parámetro es la Constante de Atenuación o Constante de Almacenamiento (R), el cual tiene dimensiones de tiempo. Este parámetro es utilizado para cuantificar los efectos del almacenamiento en el canal del río y en el sistema de drenaje y tiene la magnitud y la forma de un hidrograma de escorrentía directa.

Cálculo del Tiempo de Concentración.

² Ministerio de Agricultura y Ganadería “Proyecto Control de Inundaciones en el Río Paz”. Informe Final, Estudios Básicos, Eurolatina, El Salvador 1997 y Ministerio de Agricultura y Ganadería “Proyecto de Diseños Finales de Ingeniería de las Obras de Control de Inundaciones en la Ribera Izquierda del Río Paz”. Diagnóstico del Problema. Informe de Avance No. 1, Tahal Consulting Engineers, El Salvador, Febrero de 1999.

Para el cálculo del tiempo de Concentración T_c , se utilizará la fórmula de Giandotti:

$$T_c = \frac{4\sqrt{A} + 1.5 L}{0.8\sqrt{h_{mr}}}$$

Donde: L = Longitud del canal principal del río hasta el punto de análisis (km)
 A = Área de la subcuenca hasta la estación de análisis (km²)
 h_{mr} = Elevación media respecto a la elevación de la sección de análisis (msnm)

En la cuenca del río Paz, los parámetros antes mencionados son presentados en la Tabla No. 5. Estos valores fueron determinados en calibraciones previas del modelo.³

Tabla No. 5
Parámetros para el calculo del Tiempo de Concentración

PARAMETRO	VALOR
L (km)	86.4
A (km ²)	1991
h_{mr}	2319
T_c (h)	8

4. CALIBRACIÓN DEL MODELO

La creación del modelo de la cuenca, requiere de una serie de parámetros en base a los cuales el modelo interpreta el comportamiento de la cuenca y su respuesta (caudal) ante una precipitación determinada. Estos parámetros estarán sujetos a un procedimiento de optimización durante la simulación de los eventos singulares.

En base a la descripción de los procesos hidrológicos precedentes, se resumen a continuación el set de parámetros iniciales, manteniendo la subdivisión en secciones utilizadas en la descripción del modelo:

³ Ministerio de Agricultura y Ganadería “Proyecto Control de Inundaciones en el Río Paz”. Informe Final, Estudios Básicos, Eurolatina, El Salvador 1997 y Ministerio de Agricultura y Ganadería “Proyecto de Diseños Finales de Ingeniería de las Obras de Control de Inundaciones en la Ribera Izquierda del Río Paz”. Diagnóstico del Problema. Informe de Avance No. 1, Tahal Consulting Engineers, El Salvador, Febrero de 1999.

Modelo de la Cuenca (Basin Model)

TASA DE PERDIDAS (Loss Rate)		TRANSFORMACION PRECIPIT-ESCORRENTIA		DETERMINACION DE FLUJO BASE	
Método	Pérdida Inicial/Tasa constante	Método	Recesión	Método	HUI Clark
Pérdidas Iniciales	40 mm	Flujo Base Inicial	18 m3/s	Tiempo de concentración	8 h
Tasa de pérdida constante	2.5 mm/h	Constante de Recesión	1	Constante de Almacenamiento R	7 h
Impermeabilidad	0 %	Relación Q al Pico	85	Diagrama Tiempo/Area	No disponible

Modelo de Precipitación

ESTACION	TIPO DE ESTACION	PESO PRECIPITACION DIARIA	PESO PRECIPITACION HORARIA
Quezalapa	H	0.252	0.246
Jalpatagua	H	0.069	0.071
El Jobo	H	0.154	0.238
A6	D	0.025	
A10	D	0.026	
A18	H	0.008	0.104
A24	D	0.006	
A27	H	0.043	0.113
H2	D	0.023	
H8	H	0.039	0.141
H9	D	0.088	
H10	D	0.024	
H11	D	0.052	
H13	H	0.014	0.042
H14	H	0.010	0.045
H15	D	0.010	
H16	D	0.029	
H19	D	0.082	
H21	D	0.026	
T16	D	0.006	

Especificaciones de Control

Evento Analizado	Fecha
Septiembre 1974 Huracán FIFI	19 Septiembre 07:00 23 septiembre 07:00

5. PRESENTACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

El Hidrograma correspondiente a la Calibración de la Cuenca del Río Paz, hasta la Estación la Hachadura para el Evento de Septiembre de 1974 (Huracán FIFI), se muestra en la Figura No. 1.

Se observa que la onda calculada en el evento analizado, en comparación con la onda aforada, señala un buen ajuste.

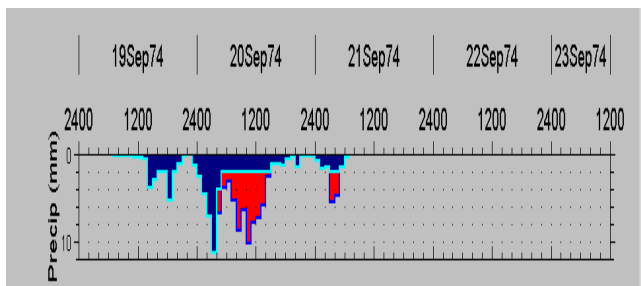
Los parámetros obtenidos como resultado del proceso de calibración son los siguientes:

TASA DE PERDIDAS (Loss Rate)		TRANSFORMACION PRECIPIT-ESCORRENTIA		DETERMINACION DE FLUJO BASE	
Pérdidas Iniciales	50 mm	Flujo Base Inicial	18 m3/s	Tiempo de concentración	8 h
Tasa de pérdida constante	2.0 mm/h	Constante de Recesión	0.9	Constante de Almacenamiento R	3.4 h
Impermeabilidad	0	Relación Q al Pico	100 m3/s	Diagrama Tiempo/Area	No disponible

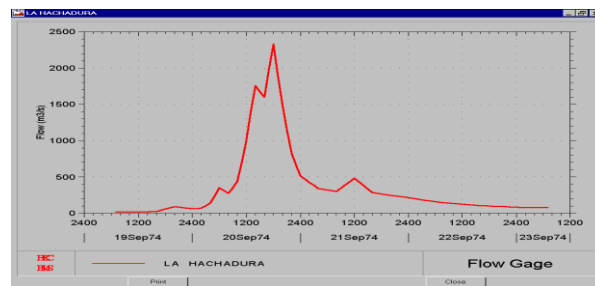
En la Tabla No. 6 , se presenta la cuantificación de los errores en la simulación. Tales errores se expresan en diferencias porcentuales entre los valores observados y simulados de los principales parámetros del hidrograma: volumen total escurrido en el sitio de observación (V), Valor del caudal al pico (Qpico) y Tiempo al Pico (Tpico)

Tabla No. 6
Comparación entre Valores Simulados y Obtenidos (Errores)

	VOLUMEN (mm)	Q PICO (m3/s)	TIEMPO AL PICO (horas)
OBSERVADO	60.4	2331	17:00
SIMULADO	56.7	2328.3	18:00
DIFERENCIA	-3.7	-2.7	-1
DIFERENCIA (%)	- 6.12	0.11	



PLUVIOGRAMA HURACAN FIFI (19.SEPT.74)



HIDROGRAMA OBSERVADO HACHADURA

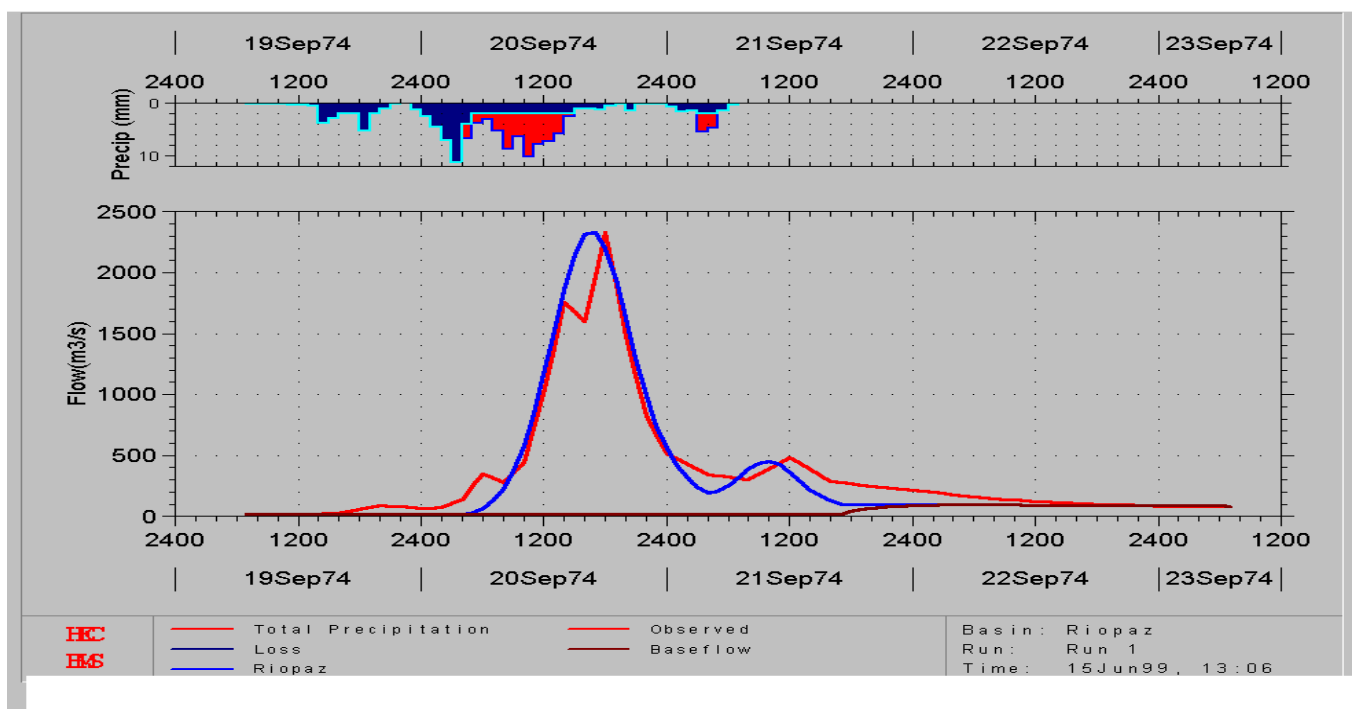


FIGURA No. 1 COMPARACION ENTRE HIDROGRAMA OBSERVADO Y SIMULADO

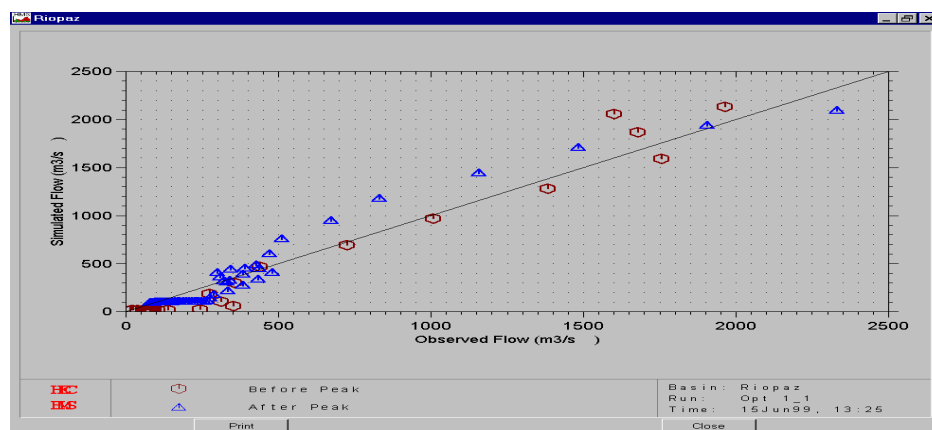


FIG. NO. 2 DIFERENCIAS ENTRE HIDROGRAMA OBSERVADO Y CALCULADO