

# ESTUDIO HIDROLÓGICO DE RIO GRANDE, COCLÉ

## Indice

1. Localización y descripción del área del proyecto.
2. Localización y características generales de la cuenca de Río Grande.
3. Esquema de la red de drenaje del Río Grande
4. Cobertura boscosa y uso de suelo de Río Grande
5. Clima de la región
6. Distribución de la precipitación
7. Información básica
8. Lista de estaciones Hidrológicas de la cuenca 134 de Rio Grande
9. Levantamiento topográfico de rio grande
10. Modelación hidrológica
  - 10.1 Descripción del modelo HEC-HMS
  - 10.2 Requerimientos del modelo HEC-HMS
11. Metodología
12. Análisis de la Precipitación
13. Método del bloque alterno
14. Caudal de diseño para periodo de retorno de 100 años
15. Corrida del modelo HEC-HMS
16. Cálculo de caudal máximo
17. Intensidad de la lluvia
18. Modelación hidráulica
19. Análisis de los resultados
20. Conclusión

## **1. DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DEL PROYECTO**

El presente Estudio, corresponde al proyecto denominado EXTRACCIÓN DE MATERIAL TIPO TOSCA, sobre un área de 12.94 hectáreas propiedad de Daniel Abad Stanziola Tuñón identificada con Código de ubicación N°2507 y Folio Real 28490, ubicada en Río Grande, Distrito de Penonomé, provincia de Coclé.

La actividad se trata de la extracción de minerales no metálicos (tosca) de aproximadamente 75,000 m<sup>3</sup>, sobre una superficie de 4.77 hectáreas en yacimientos cercanos a la superficie, que fueron intervenidas anteriormente, ubicada dentro del polígono en estudio.

## **2. LOCALIZACIÓN Y CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA CUENCA No. 134.**

La cuenca del río, Río Grande, se encuentra localizada en la vertiente del pacífico, provincia de Coclé, entre las coordenadas 8° 11 y 8° 43 de latitud norte y 80° 53 de longitud oeste.

El área de drenaje total de la cuenca es de 2515 km<sup>2</sup> hasta la desembocadura al mar y la longitud del río principal es de 94 km. La elevación media de la cuenca es de 150 msnm, y el punto más alto de la cuenca se encuentra en la cordillera central con una elevación máxima de 1448 msnm.

La cuenca registra una precipitación media anual de 2046 mm. Las lluvias se distribuyen gradualmente desde el centro de la cuenca con un aproximado de 3000 mm/año, hacia el litoral con 1500 mm/año. El 92 % de las lluvias ocurren entre los meses de mayo a noviembre y el 7 % restante se registra entre los meses de diciembre a abril.

## **ESTACIONES HIDROMÉTRICAS EN LA CUENCA DEL RÍO GRANDE.**

**134 – 01 – 01**

**ESTACIÓN: RÍO GRANDE, RÍO GRANDE**

**LOCALIZACIÓN:** Aproximadamente 4.6 km aguas arriba de la carretera Interamericana, en el miembro principal del Río Grande, siendo esta la más cercana al área del proyecto, propiedad de Daniel Stanziola. La estación está equipada con un limnógrafo tipo Stevens A – 35.

**134 – 02 -01**

**ESTACIÓN: COCLÉ DEL SUR, CAÑAVERAL**

**LOCALIZACIÓN:** En la población del Cortezo, aproximadamente 100 metros aguas arriba del cambio que va al río, en el miembro principal del río Chico.

**134 – 03 -01**

**ESTACIÓN: COCLÉ DEL SUR, CARNAVERAL**

**LOCALIZACIÓN:** En la margen izquierda del río, aproximadamente 500 metros aguas arriba del cruce del camino que va de Cañaveral a la población de Cermeño.

La estación está equipada con un limnógrafo tipo Stevens A – 35.

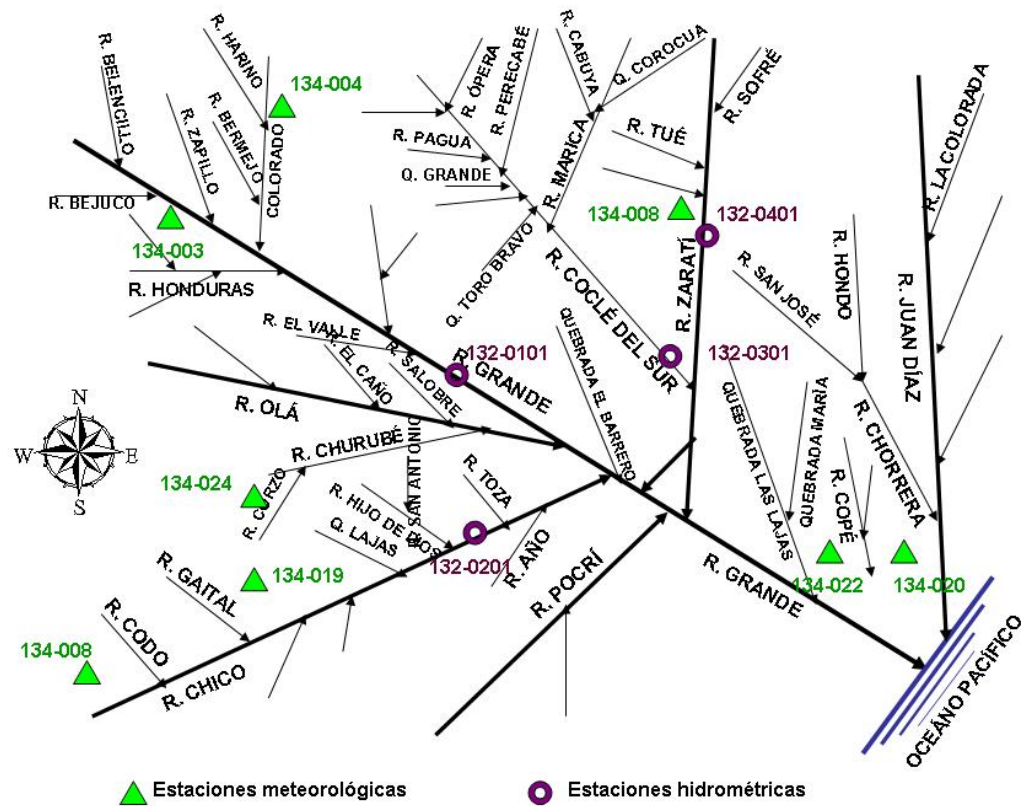
**134 – 04 -01**

**ESTACIÓN: ZARATÍ, MURCIELAGUERO**

**LOCALIZACIÓN:** En el camino que conduce a Sardinas, aproximadamente 800 metros de Penonomé, en la margen derecha del río, aguas abajo del puente Murcielaguero.

La estación está equipada con un limnógrafo tipo Stevens A – 35

### 3. ESQUEMA DE LA RED DE DRENAJE DEL RÍO RÍO GRANDE



#### 4. COBERTURA BOScosa Y USO DE SUELO DE RÍO GRANDE

La cobertura y uso del suelo tiene una relación directa con las variables elevación, clima y tipo de suelo.

Afloramiento rocoso y suelo desnudo	12.48	0.01%
Aguas	1,691.67	0.71%
Áreas Pobladas	5,967.61	2.51%
Arroz	6,910.15	2.90%
Bosque de Mangle	5,808.10	2.44%
Bosque Maduro	9,638.97	4.05%
Bosque Plantado de Coníferas	43.85	0.02%
Bosque Plantado Latifoliado	2,586.91	1.09%
Bosque Secundario	63,484.91	26.68%
Caña de Azúcar	10,152.09	4.27%
Cítrico	151.66	0.06%
Estanque de Acuicultura	3,729.90	1.57%
Infraestructuras	2,032.48	0.85%
Otros Cultivos Anuales	3,624.08	1.52%
Otros Cultivos Permanente	41.56	0.02%
Pasto	82,842.02	34.82%
Playas y arenal natural	637.25	0.27%
Rastrojo	36,737.20	15.44%
Salineras	687.14	0.29%
Vegetación Baja Inundable	1,157.01	0.49%

#### Área poblada

Área poblada urbana: partiendo de un núcleo central, presenta continuidad física en todas las direcciones, hasta ser interrumpida por terrenos no edificados. Reúne todas o la mayor parte de las siguientes características:

- Servicio de alumbrado eléctrico
- Acueducto público
- Sistema de alcantarillado

- Trazado de calles, varias de ellas pavimentadas y con aceras
- Uno o más colegios secundarios
- Establecimientos comerciales
- Centros sociales y recreativos

Área poblada rural: Lugar poblado con menos de 1500 habitantes que no cumpla con la mayoría de las características descritas para los poblados urbanos.

### **Bosque secundario**

Bosque en un estado sucesional anterior al bosque maduro, que se desarrolló después de que toda o la mayoría de la vegetación original fue eliminada por actividades humanas y/o fenómenos naturales. Corresponde a estados sucesionales que no presentan características de rastrojo ni de bosque maduro.

El bosque secundario se caracteriza por:

Mayor presencia de especies pioneras.

Poca presencia de árboles con copas grandes.

## **5. CLIMA DE LA REGIÓN**

Clima Subecuatorial con estación seca:

Su clima es tropical lluvioso, con precipitaciones del orden de los 2.500mm anuales, que en algunos puntos del norte de las provincias alcanza los 4.000 mm.

Este clima se presenta como el clima de mayor extensión en Panamá. Es cálido, con promedios anuales de temperatura de 26.5 a 27.5 °C en las tierras bajas (< 20 msnm), en tanto que para tierras altas (aprox. 1000 m) la temperatura puede llegar a 20°C. Se encuentra en las tierras bajas y montañosas hasta 1000 metros de altura en la vertiente del pacífico en Chiriquí, Veraguas, en sectores montañosos de Azuero y Coclé y en las

montañas de Panamá, San Blas y Darién. Los niveles de precipitación son elevados, cercanos o superiores a los 2500 mm, alcanza los 3519 en Remedios. El clima es de estación seca corta y acentuada con tres o cuatro meses de duración.

## **6. DISTRIBUCIÓN DE LA PRECIPITACION:**

En la cuenca hidrográfica I34 del Río Grande, se identifican dos temporadas bien definidas: la temporada seca que va de mediados de diciembre a mediados de mayo y la lluviosa que va desde mediados de mayo a mediados de diciembre.

La cuenca registra una precipitación media anual de 2046 mm. Se presentan dos (2) núcleos de precipitación: el primero, de baja precipitación (entre 1800 y 2000 mm) ubicado en la parte nororiental de la cuenca; el segundo, de *alta* precipitación (entre 2200 y 2600 mm) ubicado en la parte media de la cuenca. El 90 % de la lluvia, ocurre entre los meses de mayo a noviembre y el 10 % restante se registra entre los meses de diciembre a abril; en la parte nororiental donde llueve menos, la distribución es más homogénea, con un 15 % de la lluvia en el periodo seco.

La temporada lluviosa se caracteriza por lluvias abundantes, de intensidad entre moderada a fuerte, acompañadas de actividad eléctrica que ocurre especialmente en horas de la tarde y que son por lo general de origen convectivo. Dentro de esta temporada se presenta frecuentemente un periodo seco conocido como Canícula o Veranillo de San Juan, entre julio y agosto. El periodo entre diciembre y abril corresponde a la temporada seca.

Las máximas precipitaciones en esta región, están asociadas generalmente a sistemas atmosféricos bien organizados, como las ondas y ciclones tropicales, y la distribución estacional está asociada a la Zona de Convergencia intertropical (ZCIT).

## **7. INFORMACION BASICA**

La información básica para el desarrollo del estudio hidrológico se obtuvo de tres fuentes principales:

Información cartográfica existente

Información hidrológica y meteorológica

Levantamiento topográfico

Información cartográfica existente:

La información cartográfica se obtuvo de los mosaicos topográficos a escala 1:25000 generados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia de la República de Panamá, con proyección UTM (Universal Transversal de Mercator), curvas de nivel a intervalos de 10 m y curvas suplementarias de 5 m, elipsoide WGS84 y generadas con imágenes de radar aerotransportado de la zona, tomadas en el año 2012.

La finalidad fue trazar y definir la superficie de drenaje, longitud del cauce y otras características morfométricas de la cuenca. Las hojas cartográficas que contienen a la cuenca del Río Grande se encuentran en las hojas de Progreso con nomenclatura 3641 II NE y 3641 IV SE de la República de Panamá.

#### 8. Lista de estaciones Hidrológicas de la cuenca 134 de Río Grande

Número	Río	Lugar	Provincia	Tipo de Estación	Elevación m	Latitud	Longitud
134-01-01	Río Grande	Río Grande	Coclé	At	15	8°26'00"	80°30'00"
134-02-01	Chico	El Cortez	Coclé	Cv	30	8°21'00"	80°36'00"
134-03-01	Coclé del Sur	Cañaveral	Coclé	Mx	18	8°30'00"	80°26'00"
134-04-01	Zaratí	Murciela guero	Coclé	At	53	8°32'00"	80°22'00"



## 9. LEVANTAMIENTO TOPOGRAFICO DE RIO GRANDE

El levantamiento topográfico del Río Grande fue realizado entre el Lunes 5 y jueves 8 de junio de 2021. Se levantaron 41 secciones transversales

Sección	Nomenclatura HEC-RAS
41	Ok+000
40	Ok+020
39	Ok+040
38	Ok+045
37	Ok+050
36	Ok+055
35	Ok+060
34	Ok+065
33	Ok+070
32	Ok+075
31	Ok+080
30	Ok+100
29	Ok+120
28	Ok+140
27	Ok+160
26	Ok+180
25	Ok+200
24	Ok+220
23	Ok+240
22	Ok+260
21	Ok+280
20	Ok+300
19	Ok+320
18	Ok+340
17	Ok+360
16	Ok+380
15	Ok+400

14	Ok+420
13	Ok+440
12	Ok+460
11	Ok+480
10	Ok+500
9	Ok+520
8	Ok+540
7	Ok+560
6	Ok+580
5	Ok+600
4	Ok+620
3	Ok+640

2	Ok+660
1	Ok+680

El levantamiento topográfico de las secciones transversales fue amarrado y referenciado con coordenadas UTM y datum wgs 84.

## **10.MODELACION HIDROLOGICA DE LA QUEBRADA GRANDE UTILIZANDO MODELO HEC-HMS**

La cuenca del Río Grande tiene una superficie de drenaje de 920 y debido a que es mayor a 250 hectáreas, el Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, parranetos recomendados en el diseño del sistema de calles, y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas recomienda para la obtención del caudal máximo el uso de una modelación hidrológica.

### **10.1 Descripción del modelo HEC-HMS**

El modelo HEC-HMS fue desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos en los años 60 y es un modelo de precipitación esorrentía cuyo precursor se conoce con el nombre de HEC-1. El HEC-HMS, es uno de los programas de simulación de eventos de mayor difusión y que se puede utilizar de manera gratuita. Se utilizó la versión 3.5 para el análisis de los caudales de diseño.

### **10.2 Requerimientos del modelo HEC-HMS**

Debido a que se necesita validar el caudal de diseño para un periodo de retorno de 100 años y estos se pueden considerar eventos, los requerimientos del modelo dependen de la información hidrometeorológica disponible y del método seleccionado para determinarlos. Para nuestro caso, se requiere como elementos de entrada para simular el evento, la precipitación.

Los requerimientos para este método se refieren a características físicas como superficie de drenaje, el tiempo de concentración de la cuenca del Río Grande, longitud y pendiente del cauce, pendiente de las laderas y

estimación del número de curvas los cuales fueron obtenidos usando el Sistema de Información Geográfica (SIG).

Toda esta información se determina por medio de imágenes de satélite, mosaicos topográficos, fotografías aéreas y principalmente la inspección de campo.

## **11. METODOLOGIA**

El modelo HEC-HMS, está diseñado para simular la escorrentía superficial que resulta de una lluvia, mediante la representación de una cuenca como un sistema de componentes interconectados. Cada componente puede simular de manera individual un aspecto del proceso lluvia-escorrentía dentro de un área o cuenca; los componentes incluyen la escorrentía superficial de la subárea, los canales y los embalses. Cada componente se representa por un conjunto de parámetros que especifica las características particulares del componente y las relaciones matemáticas que describen sus procesos físicos. Los resultados finales del proceso de modelación son los hidrogramas de salida o escorrentía superficial directa para cada subárea previamente especificada.

El componente de escorrentía superficial para una subárea, se utiliza para presentar el movimiento del agua sobre la superficie del terreno para los cauces de los ríos y quebradas. La entrada de este componente es un hietograma de precipitación, el cual fue diseñado por el método de los bloques alternos. El exceso de lluvia se calcula restando la infiltración y las pérdidas por detención, y en nuestro caso se seleccionó el método del número de curva de Soil Conservation Services (SCS) y alternativamente se utilizó el modelo del hidrograma unitario de Clark para calcular los hidrogramas de escorrentía en la cuenca.

El componente de transito de avenidas representa el movimiento de las ondas de crecidas en los canales. La entrada de este componente es el hidrograma obtenido aguas arriba, que resultó de las combinaciones individuales o combinadas de la escorrentía de las subáreas, el tránsito de caudales o las derivaciones.

## 12. ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN:

Para obtener el hietograma de diseño de la cuenca de Río Grande, se analizaron los datos de las estaciones meteorológicas que se encuentran en la cuenca hidrográfica del Río Grande. se analizaron los datos de las estaciones más representativas del comportamiento tanto temporal como espacial de la lluvia.

Se revisaron y analizaron los datos de intensidades máximas de precipitación de las estaciones meteorológicas Tipo A de Río Grande, Cañaveral, El cortezo y el Murcielaguero.

**Tabla de Intensidades para diferentes periodos de retorno de la Cuenca del Rio Grande (mm/hr) por el método de Talbot.**

Duración [Hr]	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	20	30	50	100
0.25	148.200	249.188	320.567	392.916	435.983	491.107	567.442
0.50	103.477	152.041	183.706	214.679	232.719	255.467	286.453
0.75	83.069	118.357	140.715	162.287	174.742	190.352	211.467
1.00	66.413	93.708	110.823	127.252	136.707	148.529	164.477
1.50	46.876	65.440	76.939	87.911	94.200	102.041	112.585
2.00	38.963	51.798	59.207	66.016	69.821	74.477	80.603
2.50	33.505	45.457	52.587	59.256	63.030	67.690	73.887
3.00	29.161	39.881	46.350	52.438	55.896	60.181	65.898

El paso siguiente fue diseñar la lluvia para un periodo de retorno de 100 años.

## 13. MÉTODO DEL BLOQUE ALTERNO

Se requiere de una metodología para distribuir la lluvia y en nuestro caso usamos el método del bloque alterno. El método del bloque alterno es generalmente utilizado también para desarrollar el hietograma de diseño si no se conoce la lluvia del evento. Conocido el tiempo de concentración y las curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) de la estación más

cercana al proyecto en estudio se puede diseñar la lluvia. El hietograma de diseño generado por este método determina la profundidad de precipitación que ocurre en  $n$  intervalos de tiempos sucesivos de duración  $\Delta t$  sobre una duración de  $T_d = Mt$ . Después de seleccionar el periodo de retorno de diseño y el intervalo de tiempo  $\Delta t$ , la intensidad se lee de la curva IDF o en su defecto se aplica la ecuación generada para la curva, para cada una de las duraciones para cada  $\Delta t$ ,  $2\Delta t$ ,  $3\Delta t$ ..., y la profundidad de precipitación correspondiente se encuentra al multiplicar la intensidad y la duración. Determinando la diferencia entre los valores sucesivos de profundidad de la lluvia, se encuentra la cantidad total de precipitación que debe añadirse por cada unidad de tiempo  $\Delta t$ . Estos incrementos o bloques se reordenan en una secuencia temporal de manera que la intensidad máxima ocurra en el centro de la duración requerida  $T_d$  y que los bloques queden en orden descendente alternativamente hacia la derecha y hacia la izquierda del bloque central de manera de conformar el hietograma de diseño del proyecto.

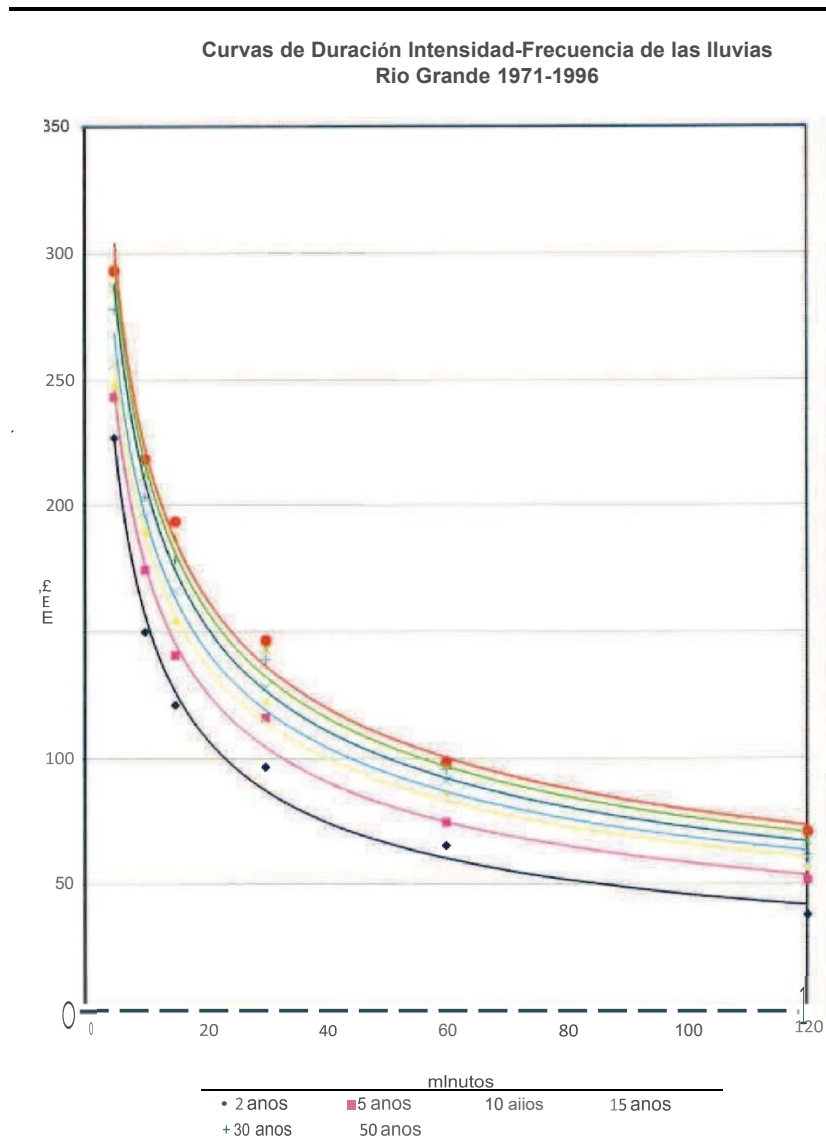
Se presenta el resumen de la intensidad para determinar la curva IDF de la estación de Río Grande. *Fuente: ETESA, 1971-1996. Revisión y validación por consultor junio 2021*). Los datos de intensidades de precipitación, se usaron para elaborar el hietograma de la tormenta de diseño en el método de los bloques alternos con la finalidad de estimar la crecida de diseño para un periodo de retorno de 100 años y se presentan los valores del hietograma de la lluvia de diseño del Río Grande.

Para determinar la lluvia de diseño, se analizaron y compararon los datos de las curvas IDF de las estaciones de lluvia más cercanas, las cuales fueron Río Grande, Cortezo y Cañaveral. Según la revisión de los registros de precipitación realizada por el consultor, se identificó que la estación de Río Grande, es la que representa las características de la parte baja de la cuenca, por lo que se seleccionó como la adecuada para el desarrollo del hietograma de diseño de la zona bajo estudio. Esta estación fue operada por el antiguo IRHE (actualmente Dirección Hidrometeorológica de ETESA).

Tabla de Resumen de Intensidad para determinar la curva IDF para la Estación de Lluvia de Río Grande.						
tc (min)	Periodos de retorno en años					
	2	5	10	15	50	100
5	227.1	243.3	248.8	256.7	278.3	287.0
10	150.0	174.4	190.0	195.4	203.3	212.0
15	121.2	140.8	155.0	165.8	178.3	187.0
30	96.9	116.1	123.3	128.3	139.2	143.5
60	65.8	74.8	87.0	91.3	95.7	97.4
120	37.9	51.6	56.8	58.5	62.0	67.2

**Tabla de Hietograma de lluvia de diseño desarrollado en incrementos de 10 minutos para una tormenta de 100 años y duración de 120 minutos para la cuenca del Río Grande usando el método de bloques alternos.**

Tc ( min )	t (hr)	Intensidad (mm/hr)	Precipitación neta (mm)	Int para cada 10 minutos	Hietograma (mm)
10	0.17	223.29	37.21	37.21	7.23
20	0.33	163.91	54.64	17.42	7.94
30	0.50	136.79	68.40	13.76	8.95
40	0.67	120.32	80.21	11.82	10.56
50	0.83	108.92	90.77	10.56	13.76
60	1.00	100.42	100.42	9.65	37.21
70	1.17	93.75	109.37	8.95	17.42
80	1.33	88.33	117.77	8.40	11.82
90	1.50	83.81	125.71	7.94	9.65
100	1.67	79.96	133.26	7.56	8.40
110	1.83	76.63	140.49	7.23	7.56
120	2.00	73.71	147.43	6.94	6.94



#### **14. CAUDAL DE DISEÑO PARA PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS**

Determinado el hietograma de diseño de la lluvia desarrollado en incrementos de 10 minutos para una tormenta con periodo de retorno de 100 años, el siguiente paso fue el diseño del hidrograma de crecida. Para el diseño se utilizó el programa hidrológico HEC- HMS3 desarrollado por el cuerpo de ingenieros del Centro de Ingeniería Hidrológica de los Estados Unidos y que es de licencia gratuita.

El objetivo de aplicar el modelo HEC-HMS es establecer el hidrograma de entrada para el tránsito de la crecida con un periodo de retomo de 100 años.

Los parámetros del modelo fueron obtenidos de las imágenes de satélite, aplicando diferentes herramientas del Sistema de Información Geográfica.

## **15. CORRIDA DEL MODELO HEC-HMS PARA EL RIO GRANDE**

Obtenidos todos los parámetros físicos y el hietograma de lluvia requeridos por el modelo HEC-HMS, se procedió a ensamblar el modelo.

El trazado y medición de la cuenca de Río Grande se obtuvieron mediante medición SIG digital de los mosaicos 1:25000 del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. De los mosaicos también se obtuvieron las características físicas de la cuenca como la superficie de drenaje, longitud de los cauces, pendiente media de los cauces y de las laderas perpendiculares al cauce del río.

Con estos parámetros se procedió a determinar el tiempo de concentración para la cuenca, adoptando el método de Kirpich.

El modelo se ensambló de la siguiente manera:

Se declaró la superficie de drenaje de Río Grande y se alimentó el modelo con los parámetros requeridos.

Se asumió que la lluvia de diseño es homogénea en toda la cuenca.

Se introdujo el hietograma para la tormenta de diseño de 100 años de periodo de retorno.

Se seleccionó el método del SCS (Soil Conservation Service de Estados Unidos) para calcular las perdidas por infiltración y el método Hidrograma Unitario de Clark para determinar los hidrogramas de crecidas.



Se realizaron las corridas para el periodo de retorno seleccionado.

Obtenidos los resultados de las corridas con el HEC-HMS, se comparó con los caudales máximos del análisis de Frecuencia de Caudales Máximos (ETESA).

### **Resultados de la modelación HMS de la cuenca de la Río Grande**

El caudal de diseño obtenido, para un periodo de retomo de 100 años para el Río Grande es de 113.6 m<sup>3</sup>/s, según los resultados de la modelación hidrológica del HEC-HMS.

## **21. CALCULO DE CAUDAL MAXIMO DE RIO GRANDE USANDO EL METODO RACIONAL**

La cuenca del Río Grande tiene una superficie de 920 hectáreas, y el Manual de Requisitos y Normas Generales actualizadas para la Revisión de Planos, permite dentro de sus parámetros recomendados para el diseño del sistema de calles y drenajes pluviales de acuerdo a lo exigido en el Ministerio de Obras Públicas, usar la formula Racional hasta una superficie de drenaje mayor de 250 has.

Descripción del modelo

Para la determinación del caudal máximo, se utilizó el Método Racional.

$$Q = 0.278 "C * i * A$$

Donde:

Q = Caudal Máximo Instantáneo en m<sup>3</sup>/s.

C = Coeficiente de Escorrentía de la superficie de la cuenca bajo estudio.

I = Intensidad de la Lluvia en mm/h

A == Superficie de Drenaje de la Cuenca en km<sup>2</sup>.

Superficie de drenaje y coeficiente de escorrentía.

Para la determinación de la superficie de drenaje de la microcuenca, se utilizó una imagen georreferenciada de los mapas topográficos del área de Río Grande en escala 1:25000 obtenido de la página web del Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia. Se determinó que la superficie de drenaje de la cuenca del Río Grande 2515 km<sup>2</sup>. De la inspección de campo y del análisis de las imágenes satelitales, se asumió un coeficiente de escorrentía  $C = 0.70$  lo que indica que el 70% del agua que cae escurre superficialmente.

## 17. INTENSIDAD DE LA LLUVIA

Para calcular la intensidad de la lluvia, primero se determinó el tiempo de concentración  $T_c$ . El tiempo de concentración se define como, el tiempo que demora una gota de agua para fluir del punto más remoto de la cuenca, hasta la salida. Para este estudio se evaluaron las siguientes ecuaciones empíricas para determinar el tiempo de concentración:

**Kirpich (1940):** Desarrollada a partir de información del SCS en 7 cuencas rurales en Tennessee con caudales bien definidos y pendientes empinadas (3%-10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar  $t_c$  por 0.40; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.20; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo de cunetas.

$$T_c = 0.0078 * L^{0.77} * S^{0.385}$$

**Donde:**

$T_c$  = Tiempo de Concentración (minutos)

$L$  = Longitud del Canal desde aguas arriba hasta la salida (pies)

$S$  = Pendiente promedio de la Cuenca (pies/pie)

**Datos:**

$$L = 9799.46 \text{ pies}$$

$$s = 2.56\%$$

$$T_c = (0.0078) * (9799.46)^{0.77} * (0.0256)^{-0.385}$$

$$T_c = 37.93 = 37.9 \text{ min}$$

**California Culverts Practice (1942):** Esencialmente es la ecuación de Kirpich desarrollada para cuencas montañosas en California (US Bureau of Reclamation 1973).

$$T_c = 60 * [11.9 * L^3 / H]^{0.385}$$

**T<sub>c</sub>**= Tiempo de concentración (minutos)

**L**= Longitud del curso de agua más largo (millas)

**H**= Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida (pies)

Datos

$$L = 1.86 \text{ mi}$$

$$H = 250.40 \text{ pies}$$

$$T_c = 60 * [(11.9 * 1.86^3 / 250.40)]^{0.385}$$

$$T_c = 37.88 \text{ min} \approx 37.9 \text{ min}$$

$$T_{c \text{ prom}} = 37.9 \text{ min}$$

Con  $T_c = 37.9 \text{ min}$  y la curva IDF de la estación David 108-023, obtenemos la siguiente ecuación de intensidad:

$$i = -68.88 \ln(x) + 387.36$$

$$i = -68.88 \ln(37.9) + 387.36$$

$$i=136.97 \text{ mm/h } 137 \text{ mm/h}$$

$$Q = 0.278 * C * I * A = 0.278 * 0.70 * 137 * 2515$$

$Q = 67,050.40 \text{ m}^3/\text{seg}$  caudal para el periodo de retorno de 100 años.

## **18. MODELACION HIDRAULICA PARA DETERMINAR LAS PLANICIES DE INUNDACION DE RIO GRANDE**

Para determinar las planicies de inundación a lo largo del área de estudio, para el periodo de retomo de 1 en 100 años, se utilizó el programa de modelación hidráulica HEC-RAS.

Una vez obtenido el caudal máximo instantáneo para un periodo de retorno de 1 en 100 años se procedió a introducir los caudales determinados, en el modelo HEC- RAS.

### **Descripción del Modelo HEC-RAS**

HEC-RAS, fue desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros militares de los Estados Unidos (US Army Corps), el cual tiene como su predecesor el HEC-2 y ha sido actualizado desde su aparición a los inicios de los años 60.

### **Resultados de la Modelacion Hidraulica en HEC-RAS:**

Luego de alimentado el modelo HEC-Ras con los datos requeridos, se procedió a la modelación de los cuerpos de agua. Río Grande, que pasa lateral al terreno bajo estudio, para el proyecto propuesto, se modeló a flujo permanente.

Salida de HEC-RAS de Río Grande para un periodo de retorno de  
100 años.

Seccion	Q total (m <sup>3</sup> /s)	Min Ch El {m}	Ele v , Agu a(m)	E.G. Ele v(m)	E.G. S lope(m/m)	Vel Chnl( m/s)	# Froude C hl
41	113.60	66.00	70.87	70.97	0.000332	1.46	0.26
40	113.60	66.36	70.86	70.97	0.000268	1.60	0.26
39	113.60	65.76	70.85	70.96	0.000242	1.68	0.25
38	113.60	65.82	70.86	70.95	0.000194	1.57	0.23
37	113.60	65.66	70.92	70.93	0.000017	0.47	0.07
36	113.60	65.25	70.86	70.92	0.000092	1.17	0.16
35	113.60	64.46	70.84	70.92	0.000119	1.30	0.18
34	113.60	65.41	70.85	70.91	0.00011	1.13	0.17
33	113.60	65.28	70.87	70.90	0.000071	0.94	0.14
32	113.60	64.71	70.88	70.90	0.000031	0.71	0.09
31	113.60	64.21	70.88	70.89	0.000032	0.75	0.10
30	113.60	64.16	70.86	70.89	0.000083	1.05	0.15
29	113.60	68.48	70.23	70.83	0.010671	4.00	1.29
28	113.60	63.33	65.28	70.02	0.047278	9.85	2.78
27	113.60	63.72	64.78	68.80	0.053712	9.05	2.94
26	113.60	63.87	65.67	67.60	0.017699	6.38	1.76
25	113.60	63.37	66.47	66.81	0.001174	2.78	0.52
24	113.60	63.05	66.18	66.76	0.002516	3.75	0.74
23	113.60	63.02	66.28	66.67	0.001345	3.10	0.56
22	113.60	62.65	65.68	66.58	0.004796	4.64	0.96
21	113.60	61.71	65.75	66.13	0.00125	2.85	0.53
20	113.60	61.55	65.64	66.09	0.001366	3.53	0.58
19	113.60	61.50	65.64	66.05	0.001041	3.12	0.51

## 19. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA DE RÍO GRANDE

Los resultados de la modelación hidráulica de Río Grande para el caudal máximo extraordinario de 113.6 m<sup>3</sup>/s, que representa un periodo de retomo de 1 en 100 años se presentan en la tabla de Planicies de inundación del Río Grande.

Los terrenos y propiedades localizadas en la ribera oeste de cauce de la quebrada son áreas inundables.

Los terrenos propuestos para el desarrollo del proyecto, no se inundan para el periodo de retorno analizado.

## **20. CONCLUSIONES**

La superficie de drenaje de la cuenca de Río Grande hasta el sitio del proyecto es de 920 ha, su tiempo de concentración es 76 minutos y el coeficiente de escorrentía según observaciones de campo y satelitales asumido es de 0.70.

El caudal máximo instantáneo del Río Grande, hasta el punto de interés para un periodo de retorno de 1 en 100 años es 113.6 m<sup>3</sup>/s.

La salida de la simulación hidráulica de Río Grande, indica que el Nivel de Agua Máxima Extraordinaria (NAME) para el periodo de retorno de 1 en 100 años es 70.92 msnm.

La salida de la simulación hidráulica del Río Grande para un periodo de retorno de 1 en 100 años, indica que el terreno ubicado en el área del proyecto no se inunda.

*ESTUDIO HIDROLOGICO E HIDRAULICO DEL RIO GRANDE*



PROYECTO:

*EXTRACCION DE MATERIAL TIPO TOSCA*

LUGAR: *CORREGIMIENTO DE RIO GRANDE, DISTRITO DE PENONOME, PROVINCIA DE COCLE.*

PROPIETARIO DEL PROYECTO:

*DANIEL STANZIOLA*

INGENIERO:

*LUIS GÓMEZ*