

Consultores de Transporte, S.A. (Cotrans)

Urbanización Nuevos Altos del Golf

Análisis Hidrológico e Hidráulico para el

Río Gran Diablo

1. Introducción

Como parte de los trabajos a desarrollar para el diseño y posterior construcción del Proyecto Residencial “Nuevos Altos del Golf”, en la provincia de Panamá, se debe llevar a cabo el estudio hidrológico e hidráulico del Río Gran Diablo.

El principal objetivo de este estudio hidrológico e hidráulico es el de determinar los caudales máximos desarrollados por el Río Gran Diablo para un periodo de retorno de 1 en 20 años y así poder determinar cuáles serían las secciones hidráulicas mínimas requeridas y el nivel de aguas máximas esperado para este evento, de modo que se puedan establecer los niveles de terracería seguros para la urbanización. Adicional, se hace la evaluación para un período de retorno de 1 en 50 años, en el evento de que fuese necesario el entubamiento o canalización de partes del cauce del río.

Este documento presenta los aspectos más relevantes correspondientes al análisis hidrológico e hidráulico del referido río, el cual atraviesa el sitio del proyecto a desarrollar.

2. Metodología

El desarrollo de este estudio comprende la determinación de los caudales máximos para Río Gran Diablo, y la evaluación de la capacidad hidráulica del cauce existente para el paso de las aguas a través del proyecto.

Para la determinación del área de drenaje de la cuenca del Río Gran Diablo se utilizaron los Mosaicos Cartográficos de la Ciudad de Panamá en escala 1:12,500 obtenidos en el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG). El análisis hidrológico del Río Gran Diablo fue desarrollado utilizando las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia para la vertiente del Pacífico del Ministerio de Obras Públicas y el cálculo de la esorrentía de la cuenca se estimó mediante el Método Racional.

La información topográfica del cuerpo de agua en el área de estudio fue levantada con equipos de alta precisión y al detalle, lo que permitió desarrollar un modelo digital de elevación del terreno, el cual se utilizó para generar secciones transversales para el análisis hidráulico.

3. Descripción de la cuenca del Río Gran Diablo

El Río Gran Diablo nace en las proximidades del Club de Golf de Panamá, en el Corregimiento José Domingo Espinar, Distrito de San Miguelito, Provincia de Panamá.

Específicamente, inicia su recorrido en el sector conocido como Cerro Viento Rural, en dirección sur hacia el Océano Pacífico, recogiendo el agua de diversas subcuencas y ramales, y abarcando un área de drenaje hasta su punto de entrada al proyecto de aproximadamente 38.65 hectáreas. Ya hacia su salida del mismo, el área tributaria es de unas 128.68 hectáreas. La delimitación de la divisoria de aguas se hizo utilizando las curvas de nivel espaciadas 10 metros entre sí, plasmadas en los mosaicos del IGNTG.

En la Figura #1, se muestra la ubicación del proyecto y la delimitación del área tributaria del Río Gran Diablo en su influencia sobre el área a desarrollar.

En la actualidad, la cuenca del Río Gran Diablo, inicialmente bastante virgen, se está empezando a desarrollar, principalmente por su proximidad al Corredor Norte, lo que ha valorizado el área y ha motivado a los inversionistas a planificar proyectos inmobiliarios en el sector. Dada esta condición, se asumirá un coeficiente de escorrentía $C = 0.90$ lo que indica que el 90% del agua que cae se escurre superficialmente. Este valor toma en consideración el grado de desarrollo urbano actual y futuro de la cuenca en estudio.

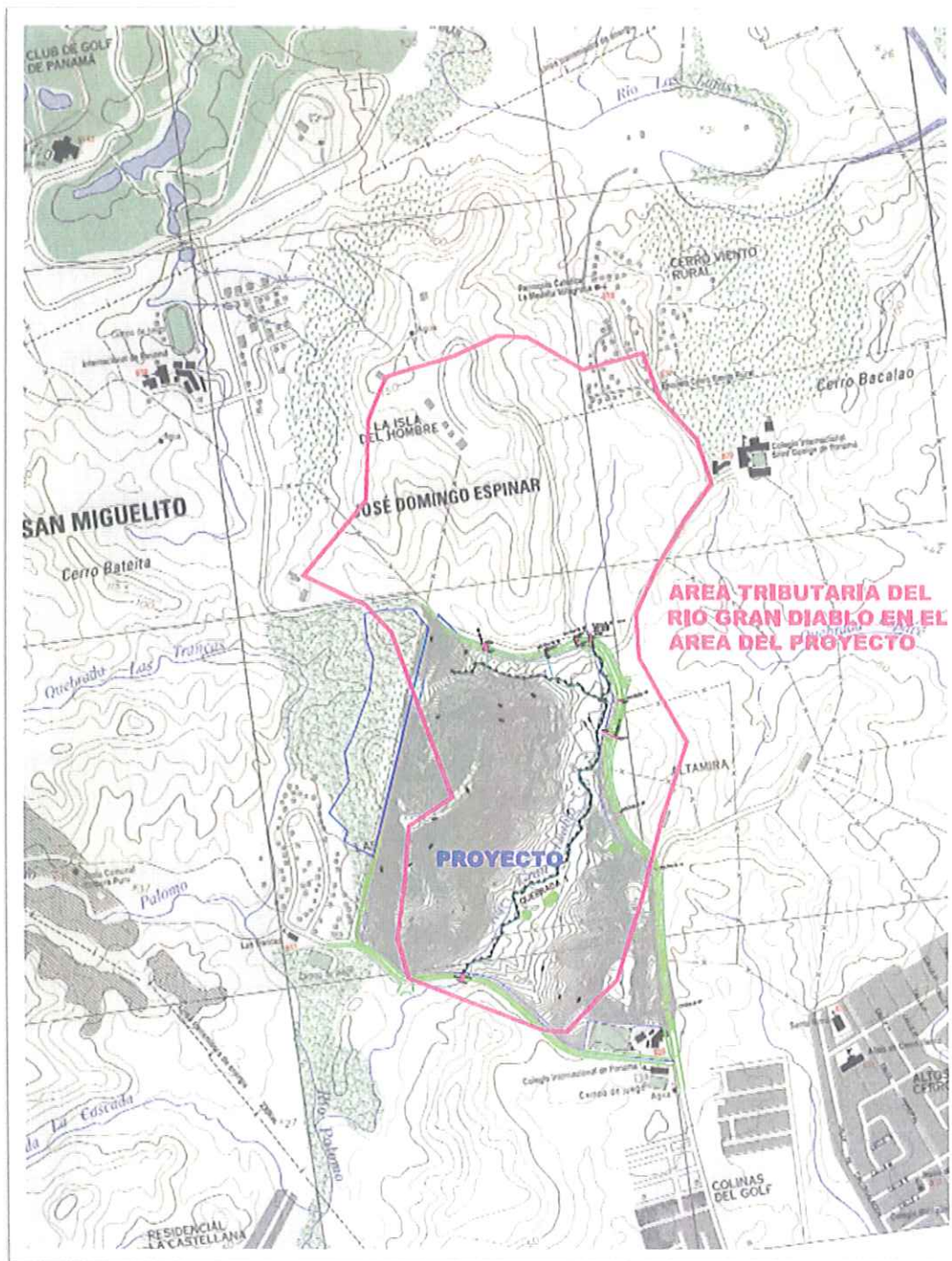


Figura #1: Ubicación del proyecto y delimitación del área tributaria del Río Gran Diablo

Para el Estudio Hidrológico e Hidráulico del Río Gran Diablo, se levantó un perfil por el centro del río y adicional se tomaron secciones transversales del cauce en el sector que atraviesa el proyecto en cuestión.

Llevando a cabo un análisis de las mismas, podemos aproximar el cauce existente a una sección trapezoidal con las siguientes características, en tres puntos representativos:

Sección Estación 0+000 (Entrada):

- Ancho de Base = 7.50 m
- Talud Lateral (H:V) = 3 : 1
- Cota de fondo del cauce: 47.89m

Sección Estación 0+450 (Intermedia, área tributaria de 91.23 hectáreas):

- Ancho de Base = 9.60 m
- Talud Lateral (H:V) = 1.5 : 1
- Cota de fondo del cauce: 43.37m

Sección Estación 1+000 (Salida):

- Ancho de Base = 12.10 m
- Talud Lateral (H:V) = 1.5 : 1
- Cota de fondo del cauce: 38.58m

Para toda la longitud del cauce que atraviesa el proyecto, y basándonos en la información topográfica levantada, se ha considerado:

- Coeficiente de Rugosidad de Manning = 0.045 (corrientes naturales limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia)
- Pendiente promedio del Fondo del Canal = 0.0014

4. Determinación del Tiempo de Concentración

El tiempo de concentración es el tiempo que demora una gota de agua para viajar desde el punto más remoto de la cuenca hasta la salida de la misma, o hasta el punto, donde se está haciendo la evaluación hidráulica, si el mismo se encuentra aún dentro de la cuenca. Para este estudio se evaluaron las siguientes ecuaciones empíricas para determinar el tiempo de concentración.

- **Kirpich (1940):** Desarrollada a partir de información del Soil Conservation Service (SCS) en 7 cuencas rurales en Tennessee, Estados Unidos, 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 en cunetas.

$$t_c = 0.0078 L^{0.77} S^{-3.85}$$

t_c = Tiempo de concentración (minutos)

L = Longitud del canal desde aguas arribas hasta la salida (pies)

S = Pendiente promedio de la cuenca (pies/pie)

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

$$t_c = 60 [(11.9 L^3)/H]^{0.385}$$

t_c = Tiempo de concentración (minutos)

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

H = Diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y el punto donde se está evaluando (pies).

Dado que el área en estudio es de características montañosas, se utilizará la fórmula del California Culverts Practice, pues se ajusta más a la realidad del sitio del proyecto.

5. Aplicación del Método Racional

Para la determinación de los caudales máximos para diferentes períodos de retorno, se utilizó el Método Racional, el cual es recomendado por el MOP para cuencas de hasta 250 hectáreas, y que se puede expresar de la siguiente manera:

$$Q = C i A$$

Donde

Q = Caudal Máximo

C = Coeficiente de Escorrentía

i = Intensidad de Lluvia para un Período de Retorno Especificado

A = Área de Drenaje de la Cuenca

El Método Racional empezó a utilizarse alrededor de la mitad del siglo XIX, y es probablemente el método más ampliamente utilizado hoy en día para el diseño de Alcantarillado de Aguas Pluviales (Pilgrim, 1986; Linsley, 1986).

Con relación a la intensidad de lluvia, se adoptaron las ecuaciones de Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) para la Ciudad de Panamá, que son las más utilizadas por el Ministerio de Obras Públicas en sus diseños (Guardia, 1972).

Las ecuaciones IDF utilizadas y los cálculos de caudales máximos para diferentes períodos de retorno se presentan a continuación.

ECUACIONES DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA PARA LA CIUDAD DE PANAMÁ
MINISTERIO DE OBRAS PÚBLICAS – MANUAL DE REQUISITOS PARA APROBACIÓN DE
PLANOS 2002

| |
|---|
| i = Intensidad de lluvia (pulg/hora) t_c = Tiempo de Concentración (min) |
|---|

Período de Retorno $T = 2$ años

$$i = \frac{227}{29 + t_c}$$

Período de Retorno $T = 5$ años

$$i = \frac{294}{36 + t_c}$$

Período de Retorno $T = 10$ años

$$i = \frac{323}{36 + t_c}$$

Período de Retorno $T = 20$ años

$$i = \frac{357}{37 + t_c}$$

Período de Retorno $T = 25$ años

$$i = \frac{370}{37 + t_c}$$

Período de Retorno $T = 30$ años

$$i = \frac{370}{36 + t_c}$$

Período de Retorno $T = 50$ años

$$i = \frac{370}{33 + t_c}$$

❖ Resultados obtenidos

Mediante la aplicación del método racional se determinaron los caudales esperados para el Río Gran Diablo para lluvias de períodos de retorno de 1 en 20 años y de 1 en 50 años.

Se hicieron las evaluaciones respectivas en tres puntos representativos, a saber:

- En la estación 0+000, que representa las condiciones a la entrada del río en el proyecto
- En una sección intermedia del curso dentro del proyecto (estación 0+450)
- En las inmediaciones de la salida del río del área del proyecto (estación 1+000)

Los resultados de la evaluación de los caudales para los mencionados períodos de retorno en cada una de estas estaciones se muestran a continuación en la Tabla #1.

| Estación | Caudal 20 años (m3/s) | Caudal 50 años (m3/s) |
|----------|-----------------------|-----------------------|
| 0+000 | 23.56 | 27.37 |
| 0+450 | 55.50 | 64.43 |
| 1+000 | 77.98 | 90.49 |

Tabla #1: Caudales máximos para períodos de retorno de 20 y 50 años – Río Gran Diablo

En cada una de estas estaciones representativas, se determinó la profundidad del agua (tirante) en la sección del cauce, obteniéndose los resultados que se presentan en la Tabla #2.

| Estación | Tirante - Lluvia de 20 años (m) | Tirante – Lluvia de 50 años (m) |
|----------|---------------------------------|---------------------------------|
| 0+000 | 1.90 | 2.05 |
| 0+450 | 3.00 | 3.25 |
| 1+000 | 3.20 | 3.50 |

Tabla #2: Profundidad de agua (tirante) en el cauce para períodos de retorno de 20 y 50 años

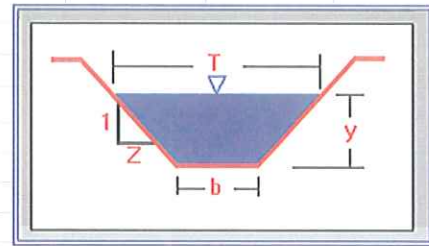
Los resultados detallados de los cálculos hidráulicos realizados para el río Gran Diablo se presentan en las figuras a continuación.

CALCULO HIDRAULICO

CAUCE RIO GRAN DIABLO
SAN MIGUELITO, CIUDAD DE PANAMA

ENTRADA AL PROYECTO

Est. 0+000



DATOS DEL CAUCE :

| | | |
|--------------------------------------|---------|---------------------------|
| • AREA DE DRENAJE | AD= | 38.65 Ha |
| • DIFERENCIA DE ELEV. | H= | 105 mts |
| • LONG. DE LA CUENCA..... | L_c = | 1.12 kms |
| • TIEMPO DE CONCENTRACION | T_c = | 0.18 Min |
| • INTENSIDAD DE LLUVIA 20 AÑOS | I= | 9.60 plg/hor |
| • COEFICIENTE DE ESCORRENTIA | C= | 0.9 |
| • CAUDAL REQUERIDO | Q_R = | 23.56 m ³ /seg |

SECCION DE CAUCE :

| | | |
|-----------------------------|---------|---------------------------|
| • PROYECCION Z | Z= | 3.00 mts |
| • PROYECCION X | X= | 5.70 mts |
| • BASE DEL CANAL | b= | 7.50 mts |
| • PROFUNDIDAD. | y= | 1.9 mts |
| • ESPEJO | T= | 18.90 mts |
| • RUGOSIDAD | n= | 0.045 |
| • PERIMETRO MOJADO | P_m = | 19.52 m |
| • RADIO HIDRAULICO | R_h = | 1.2851 m |
| • SECCION HIDRAULICA | SH= | 25.08 m ² |
| • PENDIENTE | s= | 0.0014 m/m |
| • CAPACIDAD DE DISEÑO | Q_R = | 24.65 m ³ /seg |

CONCLUSION:

LA CAPACIDAD DE LA SECCION EXISTENTE ES MAYOR QUE EL CAUDAL REQUERIDO y CUMPLE.

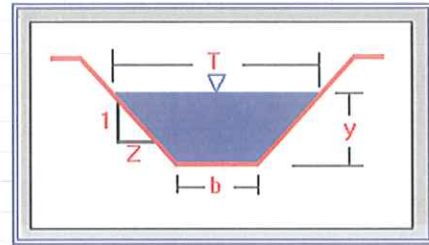
Figura #2: Cálculo de capacidad y tirante de sección para lluvia de 20 años – Est. 0+000

CALCULO HIDRAULICO

CAUCE RIO GRAN DIABLO SAN MIGUELITO, CIUDAD DE PANAMA

ENTRADA AL PROYECTO

Est. 0+000



DATOS DEL CAUCE :

| | | |
|--------------------------------------|---------|---------------|
| • AREA DE DRENAJE | AD= | 38.65 Ha |
| • DIFERENCIA DE ELEV. | H= | 105 mts |
| • LONG. DE LA CUENCA..... | L_c = | 1.12 kms |
| • TIEMPO DE CONCENTRACION | T_c = | 0.18 Min |
| • INTENSIDAD DE LLUVIA 50 AÑOS | I= | 11.15 plg/hor |
| • COEFICIENTE DE ESCORRENTIA | C= | 0.9 |
| • CAUDAL REQUERIDO | Q_R = | 27.37 m3/seg |

SECCION DE CAUCE :

| | | |
|-----------------------------|---------|--------------|
| • PROYECCION Z | Z= | 3.00 mts |
| • PROYECCION X | X= | 6.15 mts |
| • BASE DEL CANAL. | b= | 7.50 mts |
| • PROFUNDIDAD. | y= | 2.05 mts |
| • ESPEJO | T= | 19.80 mts |
| • RUGOSIDAD | n= | 0.045 |
| • PERIMETRO MOJADO | P_m = | 20.47 m |
| • RADIO HIDRAULICO | R_h = | 1.3673 m |
| • SECCION HIDRAULICA | SH= | 27.98 m2 |
| • PENDIENTE | s= | 0.0014 m/m |
| • CAPACIDAD DE DISEÑO | Q_R = | 28.66 m3/seg |

CONCLUSION:

LA CAPACIDAD DE LA SECCION EXISTENTE ES MAYOR QUE EL CAUDAL REQUERIDO y CUMPLE.

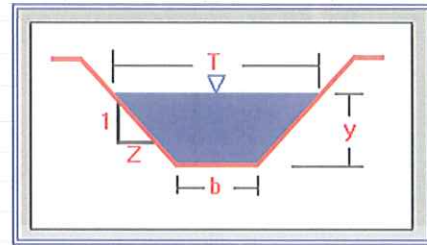
Figura #3: Cálculo de capacidad y tirante de sección para lluvia de 50 años – Est. 0+000

CALCULO HIDRAULICO

CAUCE RIO GRAN DIABLO SAN MIGUELITO, CIUDAD DE PANAMA

SECCION EXISTENTE

Est. 0+450



DATOS DEL CAUCE :

| | | |
|--------------------------------------|---------|--------------|
| • AREA DE DRENAJE | AD= | 91.23 Ha |
| • DIFERENCIA DE ELEV. | H= | 107 mts |
| • LONG. DE LA CUENCA..... | L_c = | 1.57 kms |
| • TIEMPO DE CONCENTRACION | T_c = | 0.27 Min |
| • INTENSIDAD DE LLUVIA 20 AÑOS | I= | 9.58 plg/hor |
| • COEFICIENTE DE ESCORRENTIA | C= | 0.9 |
| • CAUDAL REQUERIDO | Q_R = | 55.50 m3/seg |

SECCION DE CAUCE :

| | | |
|-----------------------------|---------|--------------|
| • PROYECCION Z | Z= | 1.50 mts |
| • PROYECCION X | X= | 4.50 mts |
| • BASE DEL CANAL. | b= | 9.60 mts |
| • PROFUNDIDAD. | y= | 3 mts |
| • ESPEJO | T= | 18.60 mts |
| • RUGOSIDAD | n= | 0.045 |
| • PERIMETRO MOJADO | P_m = | 20.42 m |
| • RADIO HIDRAULICO | R_h = | 2.0718 m |
| • SECCION HIDRAULICA | SH= | 42.30 m2 |
| • PENDIENTE | s= | 0.0014 m/m |
| • CAPACIDAD DE DISEÑO | Q_R = | 57.16 m3/seg |

CONCLUSION:

LA CAPACIDAD DE LA SECCION EXISTENTE ES MAYOR QUE EL CAUDAL REQUERIDO y CUMPLE.

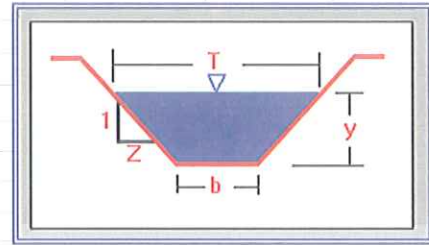
Figura #4: Cálculo de capacidad y tirante de sección para lluvia de 20 años – Est. 0+450

CALCULO HIDRAULICO

CAUCE RIO GRAN DIABLO SAN MIGUELITO, CIUDAD DE PANAMA

SECCION EXISTENTE

Est. 0+450



DATOS DEL CAUCE :

| | | |
|--------------------------------------|---------|---------------------------|
| • AREA DE DRENAJE | AD= | 91.23 Ha |
| • DIFERENCIA DE ELEV. | H= | 107 mts |
| • LONG. DE LA CUENCA..... | L_c = | 1.57 kms |
| • TIEMPO DE CONCENTRACION | T_c = | 0.27 Min |
| • INTENSIDAD DE LLUVIA 50 AÑOS | I= | 11.12 plg/hor |
| • COEFICIENTE DE ESCORRENTIA | C= | 0.9 |
| • CAUDAL REQUERIDO | Q_R = | 64.43 m ³ /seg |

SECCION DE CAUCE :

| | | |
|-----------------------------|---------|---------------------------|
| • PROYECCION Z | Z= | 1.50 mts |
| • PROYECCION X | X= | 4.88 mts |
| • BASE DEL CANAL. | b= | 9.60 mts |
| • PROFUNDIDAD. | y= | 3.25 mts |
| • ESPEJO | T= | 19.35 mts |
| • RUGOSIDAD | n= | 0.045 |
| • PERIMETRO MOJADO | P_m = | 21.32 m |
| • RADIO HIDRAULICO | R_h = | 2.2068 m |
| • SECCION HIDRAULICA | SH= | 47.04 m ² |
| • PENDIENTE | s= | 0.0014 m/m |
| • CAPACIDAD DE DISEÑO | Q_R = | 66.30 m ³ /seg |

CONCLUSION:

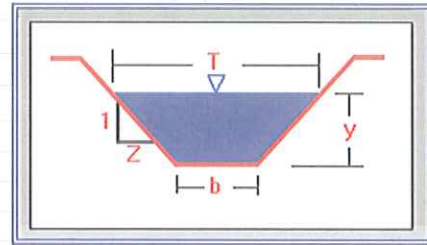
LA CAPACIDAD DE LA SECCION EXISTENTE ES MAYOR QUE EL CAUDAL REQUERIDO y CUMPLE.

Figura #5: Cálculo de capacidad y tirante de sección para lluvia de 50 años – Est. 0+450

CALCULO HIDRAULICO

CAUCE RIO GRAN DIABLO SAN MIGUELITO, CIUDAD DE PANAMA

SALIDA DEL PROYECTO



DATOS DEL CAUCE :

| | | |
|--------------------------------------|---------|--------------|
| • AREA DE DRENAJE | AD= | 128.68 Ha |
| • DIFERENCIA DE ELEV. | H= | 113 mts |
| • LONG. DE LA CUENCA..... | L_c = | 2.32 kms |
| • TIEMPO DE CONCENTRACION | T_c = | 0.41 Min |
| • INTENSIDAD DE LLUVIA 20 AÑOS | I= | 9.54 plg/hor |
| • COEFICIENTE DE ESCORRENTIA | C= | 0.9 |
| • CAUDAL REQUERIDO | Q_R = | 77.98 m3/seg |

SECCION DE CAUCE :

| | | |
|-----------------------------|---------|--------------|
| • PROYECCION Z | Z= | 1.50 mts |
| • PROYECCION X | X= | 4.80 mts |
| • BASE DEL CANAL. | b= | 12.10 mts |
| • PROFUNDIDAD. | y= | 3.2 mts |
| • ESPEJO | T= | 21.70 mts |
| • RUGOSIDAD | n= | 0.045 |
| • PERIMETRO MOJADO | P_m = | 23.64 m |
| • RADIO HIDRAULICO | R_h = | 2.2879 m |
| • SECCION HIDRAULICA | SH= | 54.08 m2 |
| • PENDIENTE | s= | 0.0014 m/m |
| • CAPACIDAD DE DISEÑO | Q_R = | 78.07 m3/seg |

CONCLUSION:

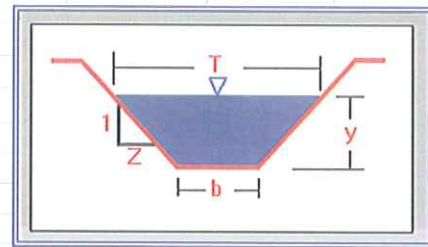
LA CAPACIDAD DE LA SECCION EXISTENTE ES MAYOR QUE EL CAUDAL REQUERIDO y CUMPLE.

Figura #6: Cálculo de capacidad y tirante de sección para lluvia de 20 años – Est. 1+000

CALCULO HIDRAULICO

CAUCE RIO GRAN DIABLO SAN MIGUELITO, CIUDAD DE PANAMA

SALIDA DEL PROYECTO



DATOS DEL CAUCE :

| | | |
|--------------------------------------|---------|---------------|
| • AREA DE DRENAJE | AD= | 128.68 Ha |
| • DIFERENCIA DE ELEV. | H= | 113 mts |
| • LONG. DE LA CUENCA..... | L_c = | 2.32 kms |
| • TIEMPO DE CONCENTRACION | T_c = | 0.41 Min |
| • INTENSIDAD DE LLUVIA 50 AÑOS | I= | 11.07 plg/hor |
| • COEFICIENTE DE ESCORRENTIA | C= | 0.9 |
| • CAUDAL REQUERIDO | Q_R = | 90.49 m3/seg |

SECCION DE CAUCE :

| | | |
|-----------------------------|---------|--------------|
| • PROYECCION Z | Z= | 1.50 mts |
| • PROYECCION X | X= | 5.25 mts |
| • BASE DEL CANAL. | b= | 12.10 mts |
| • PROFUNDIDAD. | y= | 3.5 mts |
| • ESPEJO | T= | 22.60 mts |
| • RUGOSIDAD | n= | 0.045 |
| • PERIMETRO MOJADO | P_m = | 24.72 m |
| • RADIO HIDRAULICO | R_h = | 2.4566 m |
| • SECCION HIDRAULICA | SH= | 60.73 m2 |
| • PENDIENTE | s= | 0.0014 m/m |
| • CAPACIDAD DE DISEÑO | Q_R = | 91.93 m3/seg |

CONCLUSION:

LA CAPACIDAD DE LA SECCION EXISTENTE ES MAYOR QUE EL CAUDAL REQUERIDO y CUMPLE.

Figura #7: Cálculo de capacidad y tirante de sección para lluvia de 50 años – Est. 1+000

6. Conclusiones y Recomendaciones

A partir de los resultados obtenidos en el desarrollo de este estudio podemos llegar a las siguientes conclusiones y recomendaciones:

1. Se ha estimado que la profundidad del agua normal para la lluvia de un período de retorno de 1 en 50 años en el punto más crítico del cauce (identificado en nuestro análisis en la estación 1+000) dentro del proyecto es de 3.50 metros. Considerando que la cota de fondo del cauce en este punto es 38.58 metros, entonces obtenemos que el nivel de inundación con aguas máximas extraordinarias sería a una elevación de 42.08 metros sobre el nivel del mar (msnm). En la entrada del proyecto (Est. 0+000), este nivel de inundación se daría a una elevación de 49.94 msnm, mientras que a la mitad del curso del Río Gran Diablo dentro del proyecto (Est. 0+450), el nivel de inundación sería a la elevación 46.62 msnm.
2. Para efectos del establecimiento de los niveles de terracería seguros, y permitiendo que los drenajes pluviales de la urbanización descarguen por encima de los niveles máximos de crecida, es recomendable que las áreas colindantes con el cauce del Río Gran Diablo estén por lo menos 1.50 metros por encima de los niveles de inundación indicados en el punto anterior.