

REPÚBLICA DE PANAMÁ

PROVINCIA DE COLÓN



One Planet. One Chance. **One Solution.**

DISEÑO
HIDRAULICO

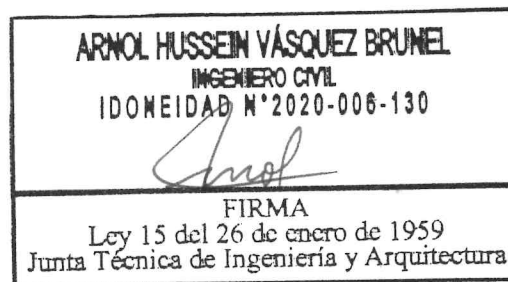
15 DE FEBRERO

2023

SGPBE-PBC-MC-DH-01-04

PROMOTOR: SGP BIOREFINERIA (PANAMÁ), SRL

PROYECTO: "NIVELACIÓN DE TERRENO PARA FUTURO DESARROLLO"



**Ingenieros
Geotécnicos, S.A.**

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2. LOCALIZACIÓN	1
3. OBJETIVO	2
4. NORMAS Y CÓDIGOS DE DISEÑO.....	2
5. TERRACERIA	2
6. METODOLOGÍA DE DISEÑO	4
6.1. CARACTERISTICAS FISICAS	4
6.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	4
6.2.1. MÉTODO DE KIRPICH.....	5
6.2.2. MÉTODO DE CARTER.....	5
6.2.3. MÉTODO BRANSBY-WILLIAMS	6
6.3. DATOS DE LA ZONA	7
6.3.1. PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTIA.....	7
6.3.2. CLIMA.....	9
6.4. INTENSIDAD	10
6.5. CRECIDA DE DISEÑO	12
6.5.1. MÉTODO RACIONAL	12
6.6. ESTUDIO HIDRAULICO	13
6.6.1. DISEÑO DE CANALES.....	13
7. CONCLUSIONES	17
8. ANEXOS	18

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización del Proyecto	1
Ilustración 2. Fases del Desarrollo del Proyecto	3
Ilustración 3. Mapas de Isoyetas.....	7
Ilustración 4. Mapa de Escorrentía	8
Ilustración 5. Mapa de Clima	9
Ilustración 6. Relación Intensidad Duración Frecuencia Cuenca 117 entre rio Chagres y Mandinga	10
Ilustración 7. Diseño de Canales Temporales en la Terracería	14
Ilustración 8. Diseño de Vado Temporales en la Terracería (3 Ø 1.05m)	14
Ilustración 9. Diseño de Canales Perimetrales	15

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características Físicas.....	4
Tabla 2. Tiempo de Concentración	6
Tabla 3. Intensidad Duración Frecuencia Cuenca 117	11
Tabla 4. Intensidad de diseño	11
Tabla 5. Caudal de Diseño	13

1. INTRODUCCIÓN

El propósito de este estudio es determinar las características físicas del terreno, además de algunos elementos o variables necesarios para el cálculo del caudal de diseño, de manera que se pueda diseñar los drenajes de manera que sean capaces de captar las aguas de modo confiable. La estructura propuesta consiste en la primera fase de aproximadamente 60Ha. para el desarrollo de instalaciones para producción de biocombustible. El proyecto se encuentra ubicado en Cocosolo, provincia de Colón.

2. LOCALIZACIÓN

El proyecto se encuentra ubicado al norte del país en la provincia de Colon, el distrito de Colon, el corregimiento de Cristóbal Este, esta zona pertenece a la cuenca 117 de Panamá la cual descarga sus aguas en el mar Caribe y se encuentra entre los ríos Chagres y Mandinga.

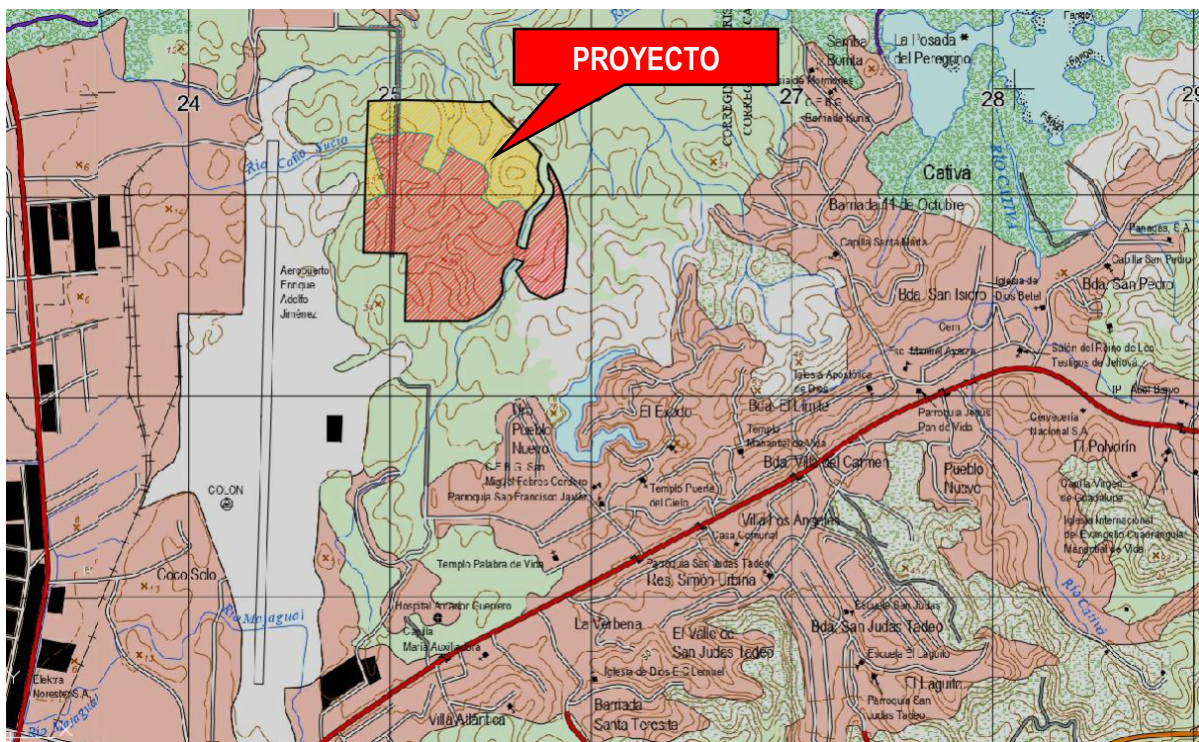


Ilustración 1. Localización del Proyecto.

3. OBJETIVO

La finalidad del presente documento es presentar los criterios del estudio hidrológico y las estimaciones de los escurrimientos de las cuencas de aporte que influyen en el proyecto, a partir de dicho estudio y la ubicación de las obras de drenaje proyectadas se determinan las estructuras derivadas que permiten la vida útil del proyecto

4. NORMAS Y CÓDIGOS DE DISEÑO

- Manual de Requisitos para la Revisión de Planos 3ra Edición (Manual del MOP).

5. TERRACERIA

La adecuación del terreno tendrá como finalidad una terracería con una elevación promedio de 18.58 msnm aproximadamente, para lo cual se tendrán que realizar cortes y rellenos que alcanzan unos volúmenes aproximados de 2.3 millones de metros cúbicos en corte y 2.1 millones de metros cúbicos en relleno. El tipo de roca predominante en el área es de la Formación Gatún, la cual tiene valores de rendimiento de la excavación de aproximadamente 1.0 al ser colocada como relleno.

Se deberá desechar aproximadamente 30 cm de espesor de material orgánico en toda el área del proyecto. No se espera encontrar lama por lo que no será necesario consolidar la misma durante el proceso constructivo. La conformación de la terracería se ejecutará con una pendiente 2% con el fin de garantizar el adecuado drenaje de todas las zonas. Para la terracería con más área se plantea realizar terrazas internas con pendiente de 2% y drenajes longitudinales a la distancia suficiente para garantizar un drenaje rápido. Para la terracería de menor área se plantea una sola pendiente de 2% en dirección hacia el río Coco Solo. Todos los taludes de relleno se ejecutarán considerando un pendiente de 1.5:1 con altura máxima de 7.5 m y banquetas de 3 m de ancho. Para los taludes en corte se considera pendientes de 1:1 con altura máxima de 5 m y banquetas de 3 m de ancho, todas las banquetas drenarán hacia el talud con pendiente de 2%. Todas las zonas de drenaje se encauzarán adecuadamente hasta llegar a puntos de descarga en el río Coco Solo o zonas de drenaje natural.

Estos trabajos de adecuación de la terracería se harán en 2 fases las cuales se ilustran su desarrollo en la siguiente imagen



Ilustración 2. Fases del Desarrollo del Proyecto

6. METODOLOGÍA DE DISEÑO

6.1. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS

Para realizar estudios hidráulicos se necesita conocer las características físicas del terreno, la cual ha sido obtenida mediante levantamientos topográficos, inspecciones de campo y mosaicos topográficos elaborados por el Instituto Geográfico Nacional Tommy Guardia (IGNTG).

Algunas características físicas son utilizadas para obtener parámetros necesarios para el cálculo del caudal de diseño y las cuales se listan a continuación.

DRENAJE	AREA	HMAX	HMIN	LC	S
CANAL EN TERRACERIA	0.086	18.58	16.52	0.1	0.0206
TUBERIA EXISTENTE 1	0.174	34	5.88	0.627	0.0449
TUBERIA EXISTENTE 2	0.163	20	0.74	0.529	0.0364

Tabla 1. Características Físicas.

La tabla anterior muestra el área de drenaje en kilómetros cuadrados (Área), la altura máxima (Hmax) y mínima en la trayectoria del cauce principal (Hmin) en metros, la longitud de la trayectoria del curso de agua principal (Lc) en kilómetros y la pendiente de la trayectoria del curso principal de agua (S).

En el caso de los canales de la terracería se tomó el caso cuyas características dieran un caudal mas crítico para un diseño óptimo.

6.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Un parámetro hidrológico necesario para el análisis de las crecidas de diseño es el tiempo de concentración (Tc) que representa el tiempo que toma la precipitación que cae en la parte más lejana de la cuenca para que llegue al punto de observación. En este análisis vamos a evaluar tres métodos para la estimación del tiempo de concentración.

6.2.1. MÉTODO DE KIRPICH

El método de Kirpich (1940) se basa en estudios que relacionan el tiempo de concentración con las características de captación, comenzando con el enfoque de regresión para pequeñas cuencas dominadas por el flujo de canales. Este consiste en una relación matemática entre el tiempo de concentración, la longitud del curso de agua y la pendiente promedio de la cuenca en la siguiente forma:

$$T_c = 0.0195 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

6.2.2. MÉTODO DE CARTER

El método de Carter (1961) fue desarrollado sobre estudios en cuencas urbanas de los EE. UU. generalmente con pendientes uniformes y similarmente dependientes de la longitud del cauce principal al igual que de la pendiente media. La estimación del tiempo de concentración se basa en la siguiente fórmula:

$$T_c = 0.0977 \frac{L^{0.6}}{S^{0.2}}$$

6.2.3. MÉTODO BRANSBY-WILLIAMS

El método de Bransby-Williams (1922) fue desarrollado especialmente para cuencas rurales y la estimación del tiempo de concentración se basa en la siguiente fórmula:

$$T_c = 0.605 \frac{L}{(50S)^{0.2} A^{0.1}}$$

de donde

T_c = Tiempo de concentración (minutos)

L = Longitud del curso de agua (metros)

S = Pendiente promedio de la cuenca (m/m)

A = Área de la cuenca (km²)

DRENAJE	LC	S	Tc B-W	Tc Carter	Tc K
CANAL EN TERRACERIA	100	0.0206	4.06	3.37	3.13
TUBERIA EXISTENTE 1	626.653	0.0449	12.79	8.66	9.18
TUBERIA EXISTENTE 2	528.489	0.0364	11.32	8.16	8.73

Tabla 2. Tiempo de Concentración

En la tabla anterior se muestra los tiempos de concentración por cada uno de los métodos explicados, Bransby-Williams (T_c B-W), Carter (T_c Carter) y Kirpich (T_c k). En lo que concierne a este estudio utilizaremos el método de Kirpich ya que es de uso común en nuestro país y muestra resultados consistentes y razonables.

En el análisis de tiempo de concentración los tres cálculos dan tiempo muy bajos por recomendación del MOP se utilizará un T_c de 5 minutos

Para los canales perimetrales no se toma en consideración el cálculo de tiempo de concentración ya que será un cálculo de continuidad de tiempo, el tiempo inicial del canal 5min, más lo que demora su recorrido en el canal, para hacer un análisis más crítico se tomará en consideración el canal con un recorrido más corto para que su tiempo de concentración sea menor.

6.3. DATOS DE LA ZONA

Como se ha mencionado la ubicación del proyecto es en la provincia de Colon, distrito de Colon, Corregimiento de Cristóbal Este. Esta zona pertenece a la cuenca 117 la cual posee las siguientes características:

6.3.1. PRECIPITACIÓN Y ESCORRENTIA

La precipitación media anual en esta área varía entre 3000 y 3500 mm. Los meses de mayor precipitación son octubre y noviembre y los de menor precipitación febrero y marzo. La escorrentía media anual está entre 1600 y 2000 mm.

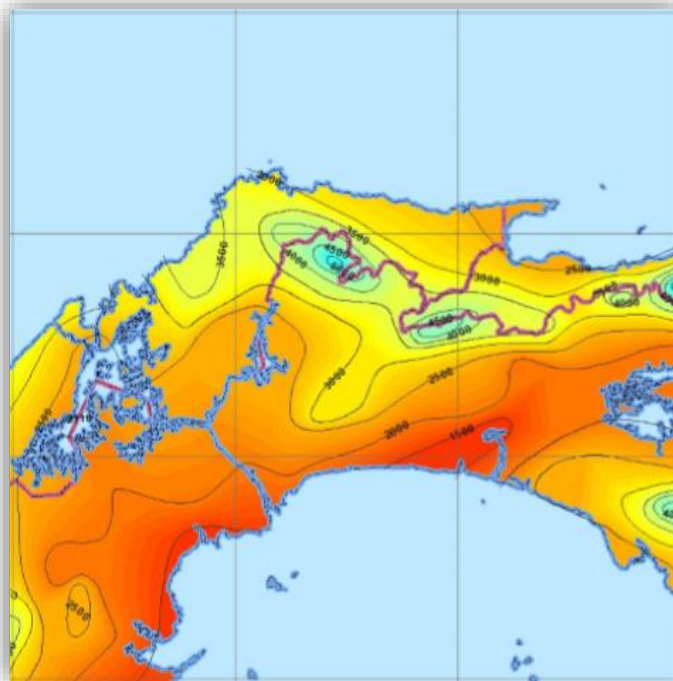


Ilustración 3. Mapas de Isoyetas

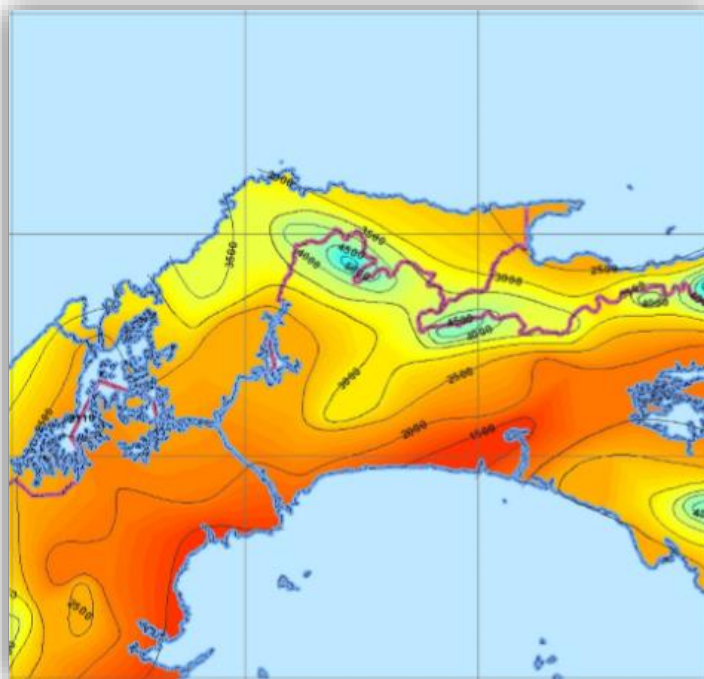


Ilustración 4. Mapa de Escorrentía

6.3.2. CLIMA

La zona tiene un clima tropical húmedo con influencia del monzón. Las áreas no pobladas están siendo usadas como cultivos, pastizales y rastrojos.

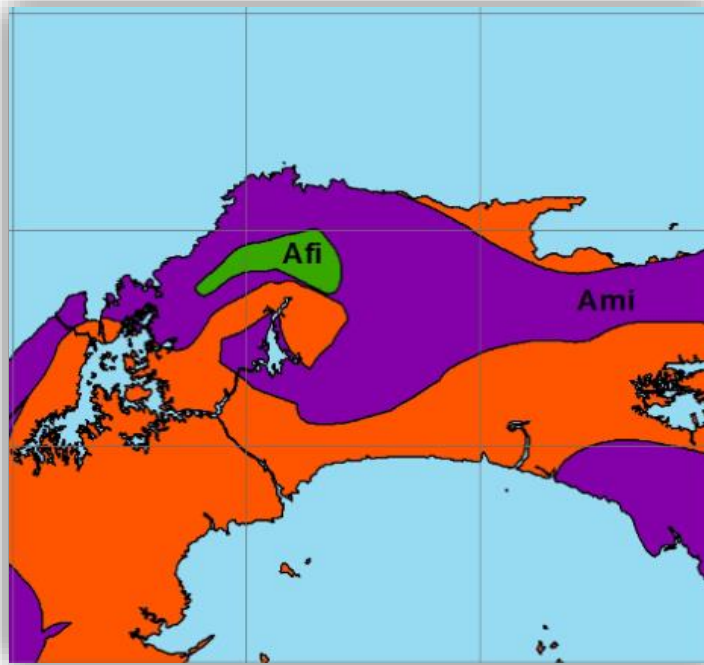


Ilustración 5. Mapa de Clima

6.4. INTENSIDAD

La data de lluvias recomendada por el MOP para este tipo de estudios consiste en precipitaciones máximas en milímetros por hora para varias duraciones y frecuencias que fueron presentadas en el Manual de Requisitos para la Revisión de Planos 3ra edición elaborado para el Ministerio de Obras Públicas en 2018. Este se basa en datos estadísticos sobre precipitaciones pluviales en un periodo de 23 años, entre 1957 y 1979, que provienen de la Estación Meteorológica de Cristóbal adyacente a la ciudad de Colón. Esta información se encuentra en fórmulas como se muestra a continuación:

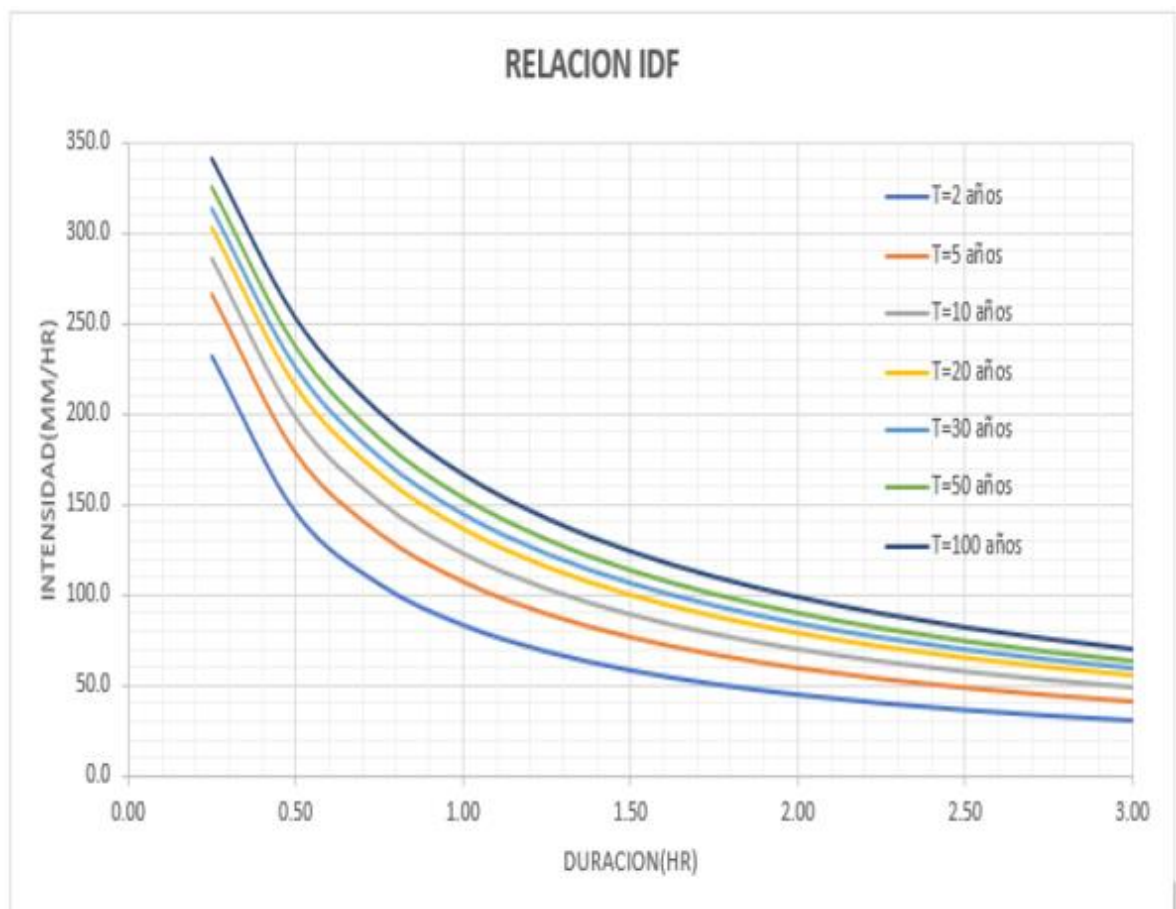


Ilustración 6. Relación Intensidad Duración Frecuencia Cuenca 117 entre rio Chagres y Mandinga

$$I = \frac{a}{d + b}$$

T(años)	2	5	10	20	30	50	100
a	141.7407	186.2481	217.8346	249.4269	268.1791	292.1257	325.4421
b	0.2674	0.414	0.5046	0.5873	0.6333	0.6892	0.7624
R2	99.87	99.54	99.23	98.87	98.64	98.33	97.88

Tabla 3. Intensidad Duración Frecuencia Cuenca 117

Se diseñarán canales de tierras para la cual el MOP solicita que su caudal de diseño se calcule con un periodo de retorno mínimo de 1 en 5 años.

$$I = \frac{186.2481}{d + 0.414}$$

Para la comprobación de la capacidad hidráulica de las tuberías existentes se utilizará un periodo de retorno de 1:30 años.

$$I = \frac{268.1791}{d + 0.6333}$$

de donde ambas ecuaciones:

I = Intensidad de precipitación para un periodo de retorno en 50 años(mm/h).

d = Tiempo de concentración (horas)

DRENAJE	Tc	I
CANAL EN TERRACERIA	5	374.493
CANALES PERIMETRALES	6.57	355.775
TUBERIA EXISTENTE 1	12.79	316.83
TUBERIA EXISTENTE 2	11.32	326.25

Tabla 4. Intensidad de diseño

La tabla anterior muestra el Tiempo de concentración en minutos (Tc) y la intensidad de la lluvia en un periodo de 5 años en mm/h (I).

6.5. CRECIDA DE DISEÑO

Utilizando la información de lluvias anterior se procedió a estimar las crecidas de diseño para periodo de retorno de 5 años. Estas crecidas de diseño fueron calculadas utilizando métodos y herramientas matemáticas ampliamente conocidas y validadas, las cuales se describen a continuación.

6.5.1. MÉTODO RACIONAL

El método racional es un método sencillo para determinar el pico de las crecidas de diseño para cuencas pequeñas. Este método fue desarrollado en 1889 por Kuching para cuencas urbanas. El límite para el uso de este método varia de acuerdo con el autor, aunque en Panamá el MOP recomienda su uso en cuencas de hasta 2.5 kilómetros cuadrados.

La aplicación del método se basa en una simple formula que relaciona, en forma proporcional, la escorrentía de la cuenca con el área de drenaje y la intensidad de la lluvia para una duración particular equivalente al tiempo de concentración. La fórmula es:

$$Q = \frac{CiA}{3.6}$$

de donde

Q = Descarga de diseño(m³/s).

C = Coeficiente de escorrentía (adimensional)

i = Intensidad de lluvia de diseño (mm/hr)

A = Área de drenaje (km²)

DRENAJE	C	I	Área	Q
CANAL EN TERRACERIA	0.85	374.493	0.086	7.604
CANALES PERIMETRALES	0.85	355.775	0.172	14.448
TUBERIA EXISTENTE 1	0.50	316.83	0.175	7.68
TUBERIA EXISTENTE 2	0.50	326.25	0.163	7.37

Tabla 5. Caudal de Diseño

La tabla anterior muestra el Coeficiente de Escorrentía adimensional (C), la intensidad de la lluvia en un periodo de 5 años en mm/h (I), el área de la cuenca medida de Km² (Área) y el caudal (Q) en m³/s.

6.6. ESTUDIO HIDRAULICO

Para los canales utilizaremos la ecuación de Manning, con un coeficiente n de 0.03 para canales de tierra (o el correspondiente al material utilizado) y una pendiente S en m/m. Los canales trabajaran a una capacidad de 80%, la cual estará definida por la relación h/H (tirante / altura). La velocidad mínima recomendada para canales de tierra es de 0.60 m/s.

El sistema pluvial se deberá diseñar para la peor lluvia en un periodo de recurrencia de 1:5 años, asumiendo 85% de la escorrentía para el área indicada.

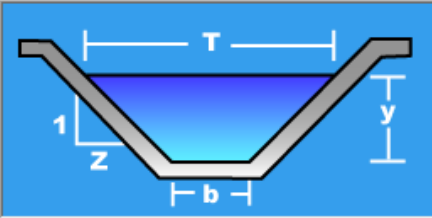
En el caso de las tuberías existentes, se les realizó el análisis hidráulico y ninguna posee capacidad hidráulica, dado esto se procederá a diseñar 2 tuberías para estos cruces del camino existente con una capacidad hidráulica de 80%.

6.6.1. DISEÑO DE CANALES

A continuación, se presenta los diseños de los canales utilizando el software HCanales cuya función es el análisis de sistema por gravedad como es el caso de los canales utilizando la ecuación de Manning. Además de los canales se utilizarán vados como solución en la movilización de equipos y personal en la terracería

Lugar: COLON, COCO SOLO Tramo: TERRACERIA	Proyecto: PLANTA BIOCOMBUSTIBLE Revestimiento: TIERRA
--	--

Datos:	
Caudal (Q):	7.604 m ³ /s
Ancho de solera (b):	3 m
Talud (Z):	1
Rugosidad (n):	0.03
Pendiente (S):	0.005 m/m



Resultados:	
Tirante normal (y):	1.0206 m
Area hidráulica (A):	4.1035 m ²
Espejo de agua (T):	5.0412 m
Número de Froude (F):	0.6558
Tipo de flujo:	Subcrítico
Perímetro (p):	5.8868 m
Radio hidráulico (R):	0.6971 m
Velocidad (v):	1.8530 m/s
Energía específica (E):	1.1956 m-Kg/Kg

Cuidado velocidad erosiva

Ilustración 7. Diseño de Canales Temporales en la Terracería

Lugar: COLON, COCO SOLO Tramo: TERRACERIA	Proyecto: PLANTA BIOCOMBUSTIBLE Revestimiento: TIERRA
--	--

Datos:	
Caudal (Q):	2.535 m ³ /s
Diámetro (d):	1.05 m
Rugosidad (n):	0.013
Pendiente (S):	0.0075 m/m



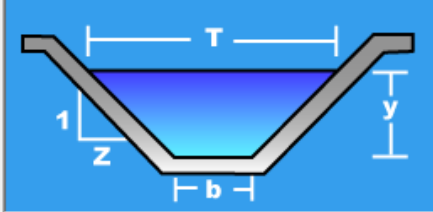
Resultados:	
Tirante normal (y):	0.9611 m
Area hidráulica (A):	0.8306 m ²
Espejo de agua (T):	0.5847 m
Número de Froude (F):	0.8175
Tipo de flujo:	Subcrítico
Perímetro mojado (p):	2.6786 m
Radio hidráulico (R):	0.3101 m
Velocidad (v):	3.0520 m/s
Energía específica (E):	1.4358 m-Kg/Kg

Ilustración 8. Diseño de Vado Temporales en la Terracería (3 Ø 1.05m)

Lugar: COLON, COCO SOLO Tramo: PERIMETRO	Proyecto: PLANTA BIOCOMBUSTIBLE Revestimiento: TIERRA
---	--

Datos:

Caudal (Q):	14.448	m ³ /s
Ancho de solera (b):	4.5	m
Talud (Z):	1	
Rugosidad (n):	0.03	
Pendiente (S):	0.01	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	0.9730	m
Area hidráulica (A):	5.3253	m ²
Espejo de agua (T):	6.4460	m
Número de Froude (F):	0.9530	
Tipo de flujo:	Subcrítico	

Perímetro (p):	7.2521	m
Radio hidráulico (R):	0.7343	m
Velocidad (v):	2.7131	m/s
Energía específica (E):	1.3482	m-Kg/Kg

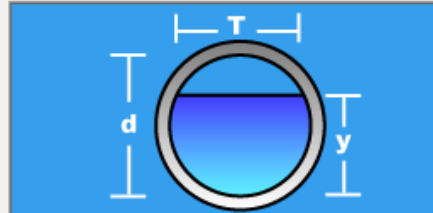
Cuidado velocidad erosiva

Ilustración 9. Diseño de Canales Perimetrales

Lugar: COLON, COCO SOLO Tramo: REEMP. TUBO EXIST. 1	Proyecto: PLANTA BIOCOMBUSTIBLE Revestimiento: HORMIGON
--	--

Datos:

Caudal (Q):	7.68	m ³ /s
Diámetro (d):	1.50	m
Rugosidad (n):	0.013	
Pendiente (S):	0.012	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	1.2184	m
Area hidráulica (A):	1.5374	m ²
Espejo de agua (T):	1.1715	m
Número de Froude (F):	1.3923	
Tipo de flujo:	Supercrítico	

Perímetro mojado (p):	3.3680	m
Radio hidráulico (R):	0.4565	m
Velocidad (v):	4.9956	m/s
Energía específica (E):	2.4903	m-Kg/Kg

Ilustración 10. Diseño de reemplazo de tubería existente 1

Lugar:	COLON, COCO SOLO	Proyecto:	PLANTA BIOCOMBUSTIBLE
Tramo:	REEMP. TUBO EXIST. 1	Revestimiento:	HORMIGON

Datos:

Caudal (Q):	7.37	m ³ /s
Diámetro (d):	1.50	m
Rugosidad (n):	0.013	
Pendiente (S):	0.012	m/m



Resultados:

Tirante normal (y):	1.1691	m	Perímetro mojado (p):	3.2456	m
Área hidráulica (A):	1.4778	m ²	Radio hidráulico (R):	0.4553	m
Espejo de agua (T):	1.2439	m	Velocidad (v):	4.9872	m/s
Número de Froude (F):	1.4609		Energía específica (E):	2.4368	m-Kg/Kg
Tipo de flujo:	Supercrítico				

Ilustración 11. Diseño de reemplazo de tubería existente 2

7. CONCLUSIONES

La solución propuesta para manejar las aguas pluviales en la terracería son una serie de canales de base de 3m, altura mínima de 1.40m, sus paredes con taludes de 1:1 y una pendiente de 0.5%.

Para facilitar el tránsito en la terracería se recomienda utilizar vados temporales en lugares estratégicos, los cuales según el diseño deben ser 3 tubos de 1.05m con una pendiente de 0.75%.

La función de los canales perimetrales es conducir las aguas que drenan desde la terracería, hacia cauces existente o puntos de drenaje natura. Su diseño será de base de 4.50m, altura mínima de 1.30m, sus paredes con taludes de 1:1 y una pendiente de 1%.

Se detecto que las tuberías existentes que cruzaban el camino existente no poseen capacidad hidráulica, trabajando en forma de vado (el agua podría pasar sobre el camino existente). Se procedió a calcular 2 tuberías de 1.50m de diámetro y ambos con pendiente de 1.20% para cumplir con capacidad hidráulica y velocidad.

8. ANEXOS

Ver planos de detalles constructivos de drenajes.