

Medellín, 21 de febrero del 2023

Señores

CONSORCIO VIAS ANTIOQUIA 2022

Ing MARLON ANDRES DE LOS RIOS DIEZ

Director de interventoría

Carrera 22#20 - 06

Granada (Antioquia)

Referencia: Contrato N° 4600013641, MEJORAMIENTO DE LA VIA SOBRE EL CORREDOR AUTOPISTA - EL RAMAL – GRANADA CODIGO (60AN16)- GRANADA - EL CHOCO – SAN CARLOS CODIGO (60AN16- 1) EN LA SUBREGION ORIENTE DEL DEPARTAMENTO DE ANTIOQUIA. VISITA DE OBRA ESPECIALIDAD HIDROLOGÍA, HIDRÁULICA Y SOCAVACIÓN.

Ingeniero Marlon Andrés De Los Ríos Diez, reciba un cordial saludo.

A continuación, se presenta el concepto sobre la implementación de los sistemas escalonados en concreto reforzado a la salida de las tuberías de 0.90m de diámetro que se proyectan para el drenaje transversal del proyecto vial.

1. Detalle típico de estructura escalonada para la disipación de energía.

En las siguientes figuras se presenta un perfil típico de una obra de drenaje con estructura de disipación de energía en el descole. Para este tipo de estructuras se debió a la diversidad de pendientes que se tienen en la zona, se recomienda ajustarlas a las condiciones de campo con valores de la contrahuella en el rango entre 0.30 – 0.50m, y que la longitud de la huella siempre sea mayor o igual a la contrahuella establecida. Es importante que se manejen tramos uniformes en los descoles escalonados.

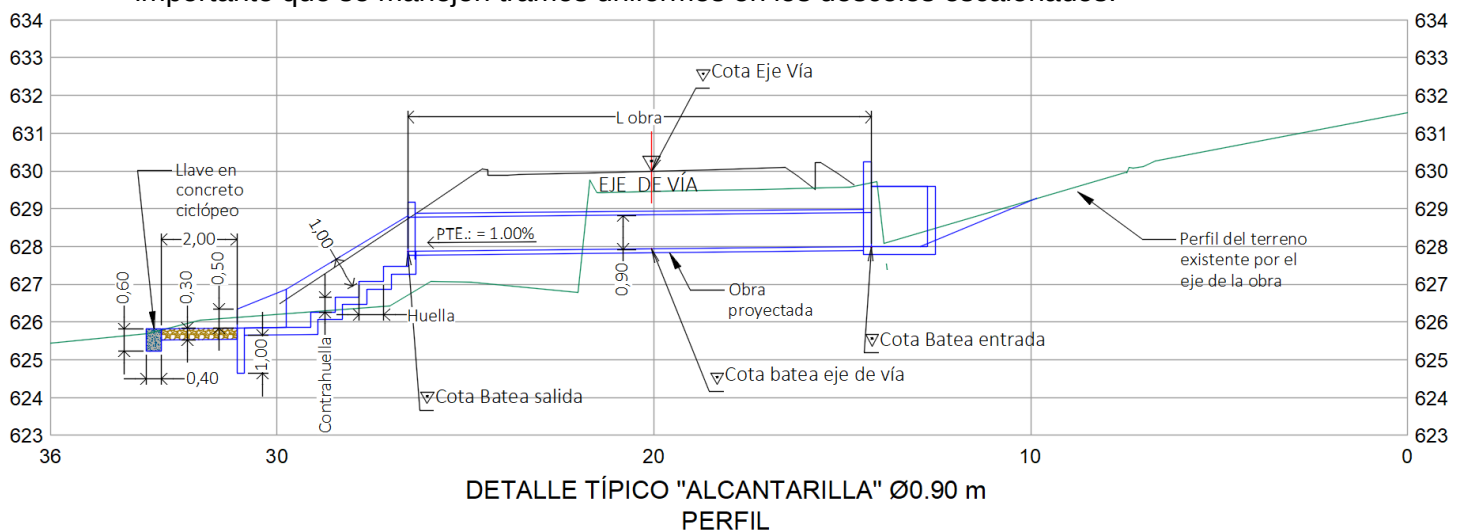


Figura 1. Perfil típico de estructura escalonada en el descole.

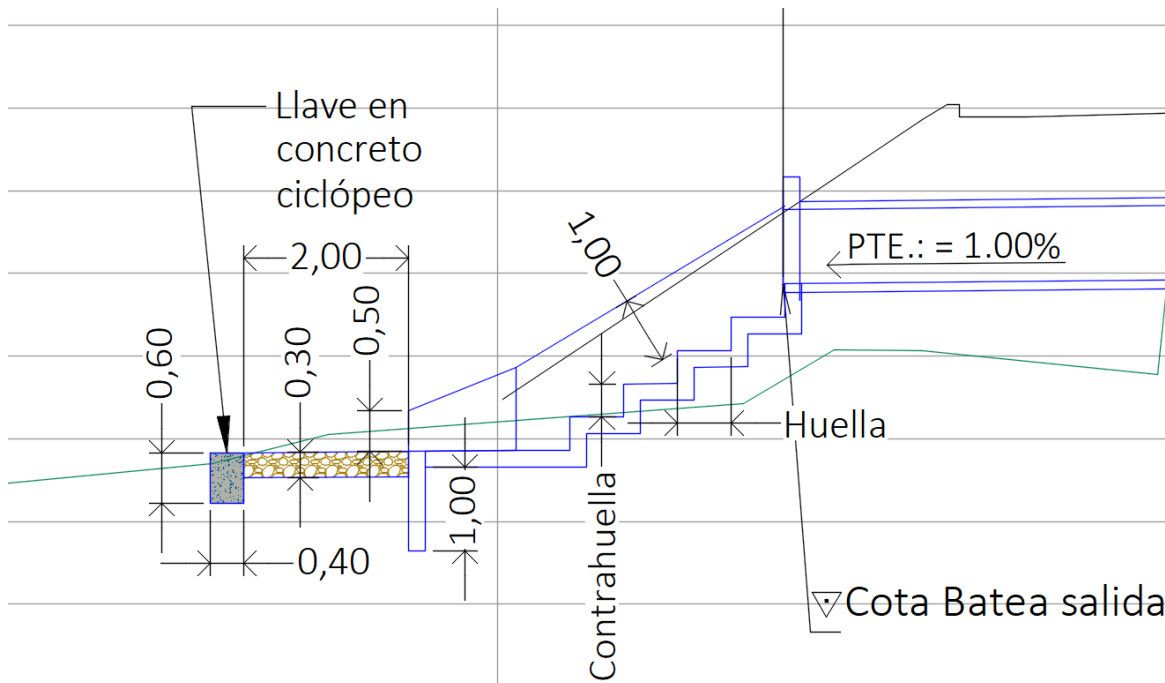


Figura 2. Zoom del Perfil típico de estructura escalonada en el descole.

2. Periodo de retorno de evaluación

La evaluación hidráulica se realizó para conocer cuál es caudal máximo que la tubería de 0.90m está en capacidad de transportar, flujo que será el mismo que discurrirá por los sistemas escalonados. Para determinar el período de retorno a implementar se utiliza la recomendación brindada en el Manual de Drenaje para Carreteras (INVIAS, 2009) debido a la importancia de la vía.

El caudal a evacuar a través de la estructura para este caso corresponde a 10 años para alcantarillas de 0.90 m de diámetro (**Tabla 1**).

Tabla 1. Tabla 2.8 - Periodos de retorno para el diseño de obras hidráulicas¹

Tipo de obra	periodo de retorno (años)
Cunetas	5
Zanjas de Coronación	10
Estructuras de Caída	10
Alcantarillas de 0.90 m de diámetro	10
Alcantarillas mayores a 0.90 m de diámetro	20
Puentes menores (Luz menor a 10 m)	25
Puentes de luz mayor o igual a 10 m y menor de 50 m	50
Puentes de luz mayor o igual a 50 m	100
Drenaje Subsuperficial	2

¹ INVIAS. (2009). Manual de Drenaje de Carreteras, Bogotá.

3. Modelación hidráulica para la obra proyectada.

Para realizar la evaluación hidráulica de la obra de drenaje tipo tubería, se utilizó el modelo HY-8 desarrollado por la Federal Highway Administration del U.S. Department of Transportation (2019).

A continuación, se describe el modelo:

- **Evaluación con el HY-8**

Este modelo realiza la evaluación considerando el control tanto en la entrada como en la salida y hace una selección de acuerdo con las condiciones del sitio, las características de la alcantarilla y el caudal.

Cuando el control ocurre en la entrada, el modelo HY-8 emplea las siguientes expresiones para analizar la capacidad de la alcantarilla:

En condiciones no sumergidas:

$$\frac{HW}{D} = K \left[\frac{1.811Q}{AD^{0.5}} \right]^M$$

En condiciones sumergidas:

$$\frac{HW}{D} = c \left[\frac{1.811Q}{AD^{0.5}} \right]^2 + Y - 0.5S^2$$

En donde:

HW: Profundidad en la entrada (m).

D: Altura interior de la alcantarilla (m).

Q: Caudal (m³/s).

A: Área de la sección de la alcantarilla (m²).

S: Pendiente de la alcantarilla (m/m).

K,M,c,Y: Constantes de acuerdo con las condiciones y geometría de la estructura de entrada.

El área hidráulica es sensiblemente significativa en el cálculo de la capacidad de las obras, corresponde a una relación proporcional que indica que a mayor área mayor capacidad de transporte bajo las mismas condiciones de pendiente y material.

Para el diseño, la condición ideal de flujo corresponde al caso A, con control a la entrada, en el cual no existe sumergencia ni a la entrada ni a la salida; la altura crítica se encuentra en la entrada, siendo el flujo a superficie libre de tipo supercrítico, aproximándose a la altura normal en la salida de la alcantarilla (**Figura 4**).

CONSORCIO

Vías de Antioquia

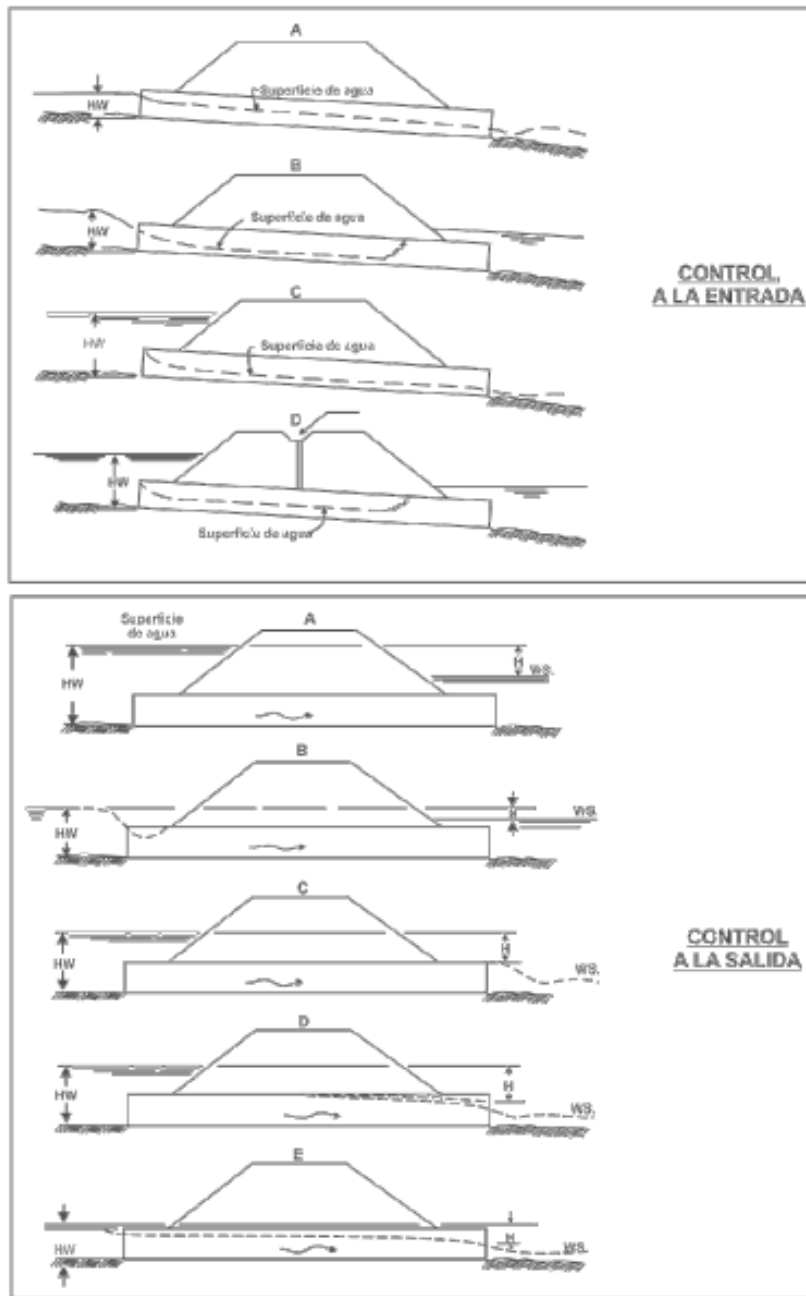


Figura 3. Condiciones de flujo en alcantarillas. Fuente: INVÍAS (2009)

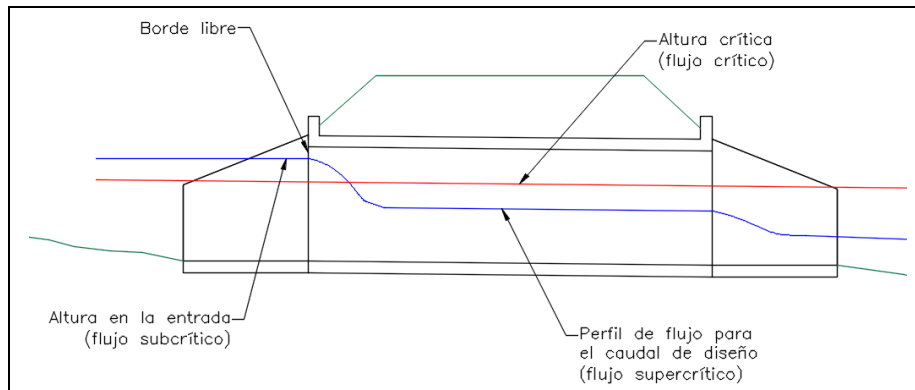


Figura 4. Condición óptima de funcionamiento de una alcantarilla

4. Evaluación hidráulica para la obra.

El caudal de diseño de la obra menor proyectada corresponde a la creciente asociada al periodo de retorno de 10 años para alcantarillas de 0.90m.

La obra fue evaluada con un coeficiente de rugosidad de 0,013.

Para determinar la capacidad hidráulica de la obra se tiene en cuenta que el caudal de diseño no debe exceder la carga máxima a la entrada (H_w), acorde a lo especificado en el INVIAS (2009), el valor de H_w deberá ser igual o inferior a 1,20 veces la altura de la alcantarilla, valor máximo hasta el cual el conducto funciona a flujo libre.

En la **Tabla 2**, se presenta el resultado de la evaluación hidráulica de la obra menor proyectada mediante el programa HY-8.

Tabla 2. Evaluación hidráulica de la alcantarilla tipo tubería

Tipo	Diámetro	Q diseño	Hw	Hw/d	Velocidad a la salida	Pendiente de la obra
	(m)	(m³/s)	(m)		(m/s)	(%)
Tubería	0.90	1.22	1.08	1.20 Ok	2.87	1.00%

De la tabla anterior se concluye que una tubería de 0.90m, tiene la capacidad de drenar un caudal de 1.22 m³/s para la creciente de 10 años de período de retorno cumpliendo con la recomendación dada por el Manual de drenaje del INVIAS

En la **Tabla 3** y **Figura 5**, se presenta la evaluación obtenida mediante el programa HY-8 de la obra típica a implementar de 0.90m.

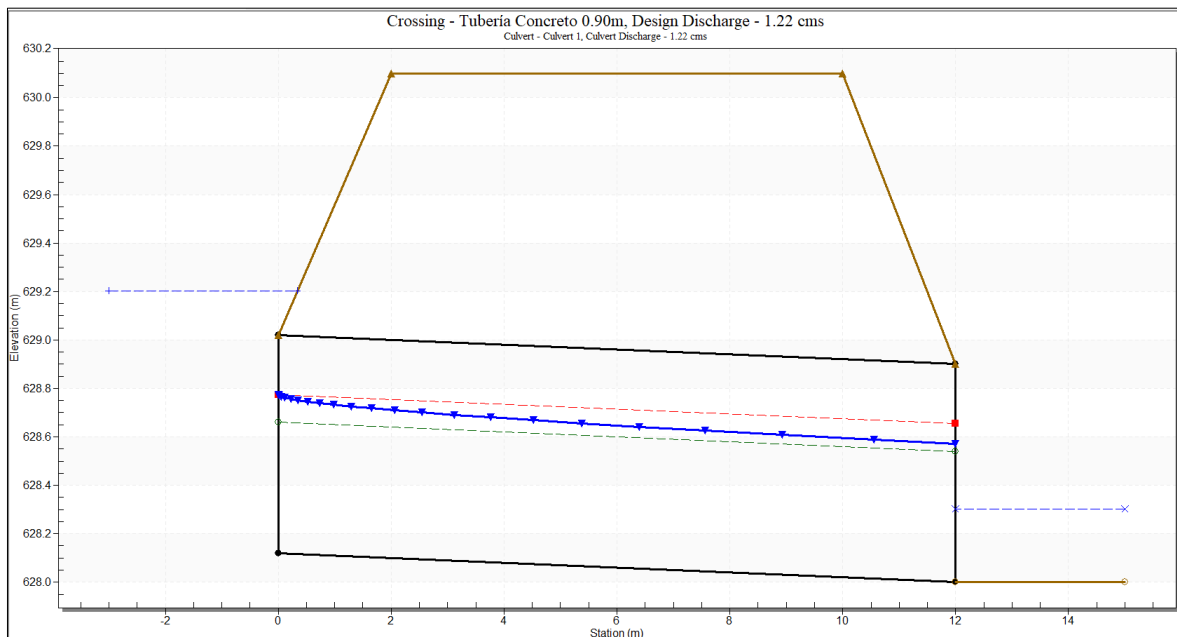


Figura 5. Sección de tubería típica de 0.90m

Tabla 3. Resultados evaluación hidráulica mediante HY-8, tubería típica de 0.90m

Total Discharge (cms)	Culvert Discharge (cms)	Headwater Elevation (m)	Inlet Control Depth(m)	Outlet Control Depth(m)	Flow Type	Normal Depth (m)	Critical Depth (m)	Outlet Depth (m)	Tailwater Depth (m)	Outlet Velocity (m/s)	Tailwater Velocity (m/s)
0.80	0.80	628.92	0.80	0.55	1-S2n	0.42	0.53	0.44	0.23	2.57	3.21
0.86	0.86	628.95	0.83	0.59	1-S2n	0.44	0.55	0.46	0.24	2.62	3.29
0.92	0.92	628.99	0.87	0.64	1-S2n	0.45	0.57	0.48	0.25	2.66	3.36
0.98	0.98	629.03	0.91	0.68	5-S2n	0.47	0.59	0.50	0.26	2.71	3.42
1.04	1.04	629.07	0.95	0.73	5-S2n	0.49	0.60	0.52	0.27	2.75	3.49
1.10	1.10	629.11	0.99	0.77	5-S2n	0.51	0.62	0.53	0.28	2.79	3.55
1.16	1.16	629.16	1.04	0.82	5-S2n	0.52	0.64	0.55	0.29	2.83	3.61
1.22	1.22	629.20	1.08	0.87	5-S2n	0.54	0.65	0.57	0.30	2.87	3.66
1.28	1.28	629.25	1.13	0.92	5-S2n	0.56	0.67	0.59	0.31	2.91	3.72
1.34	1.34	629.30	1.18	1.08	5-S2n	0.58	0.69	0.60	0.32	2.95	3.77
1.40	1.40	629.35	1.23	1.12	5-S2n	0.59	0.70	0.62	0.33	2.99	3.81

5. Evaluación de descoles escalonados.

La obra hidráulica propuesta se verifica para un caudal de diseño de 10 años de periodo de retorno, y se resumen en la **Tabla 4**.

El cálculo de los sistemas escalonados se hizo con base en lo propuesto por Llano (2003) en su tesis de grado en el Institute for Water Education, UNESCO-IHE.

En un canal escalonado, el incremento significativo del porcentaje de disipación de energía hace que los canales no necesiten estructuras de disipación tan grandes en la entrega del canal o al final de dicha estructura. Estas estructuras son recomendadas en terrenos o superficies con pendientes fuertes como es el caso de la zona donde se requiere la

implementación. La verificación se realiza para cuatro pendientes con el fin de tener una tipificación de las condiciones que se pueden presentar en la zona, con el objetivo de tener conocimiento del comportamiento de perfil de flujo ante diferentes condiciones de terreno que se pueden presentar durante la ejecución del proyecto.

Tabla 4. Sistemas escalonados típicos

Pendiente	Altura escalón (h) (m)	Huella escalón (l) (m)	Ancho del canal (m)	h/l (Adim)	Caudal (m³/s)
100 %	0.40	0.40	1.00	1.00	1.22
50 %	0.40	0.80	1.00	0.50	1.22
25 %	0.40	1.60	1.00	0.25	1.22
12.5 %	0.40	3.20	1.00	0.125	1.22

En la **Tabla 5**, se muestran los resultados hidráulicos para los tramos escalonados partiendo de las consideraciones presentadas en párrafos anteriores para el manejo de las aguas de escorrentía en la zona bajo estudio.

Tabla 5. Resultados del canal escalonado.

Pendiente	Yc (m)	Yc/h (Adim)	Régimen de Flujo	Ce (m)	d (Adim)	Y ₉₀ (m)	H muro (m)	v (m/s)
100 %	0.53	1.33	Flujo Rasante	0.64	0.14	0.39	0.57	3.12
50 %	0.53	1.33	Flujo Rasante	0.40	0.17	0.28	0.40	4.42
25 %	0.53	1.33	Flujo Rasante	0.22	0.20	0.28	0.40	4.39
12.5 %	0.53	1.33	Flujo Rasante	0.11	0.25	0.28	0.41	4.33

Finalmente, con el objetivo de evaluar la capacidad de disipación de las estructuras hidráulicas proyectadas se estima la rugosidad equivalente por medio de la ecuación de Manning al despejar el n (rugosidad) con base en la geometría del canal, suponiendo una pendiente constante por la plantilla teórica, es decir la línea imaginaria que une los vértices de cada escalón, la velocidad y altura de flujo igual a Y₉₀ Calculado.

Cabe aclarar que es posible estimar la rugosidad equivalente presentados en la **Tabla 6** debido a que los flujos resultantes son rasantes.

Tabla 6. Resultados n equivalente en estructuras escalonadas

Pendiente	b (m)	y (m)	A (m²)	Pm (m)	Rh (m)	T (m)	P (m/m)	V (m/s)	Q (m³/s)	n Equivalente (Adim)	Froude (Adim)
100 %	1.00	0.39	0.39	1.78	0.22	1.00	1.0000	3.12	1.22	0.1167	1.59
50 %	1.00	0.28	0.28	1.55	0.18	1.00	0.5000	4.42	1.22	0.0507	2.68
25 %	1.00	0.28	0.28	1.56	0.18	1.00	0.2500	4.39	1.22	0.0361	2.66
12.5 %	1.00	0.28	0.28	1.56	0.18	1.00	0.1250	4.33	1.22	0.0261	2.60

De los resultados anteriores se tiene que los sistemas escalonados presentan la sección hidráulica suficiente para transportar el caudal de diseño, cumpliendo con la función de aumentar la resistencia del perfil de flujo ayudando a la disipación de energía, y poseen un borde libre suficiente que genera confianza en la capacidad hidráulica proyectada además de que protegen ante posibles salpicaduras que se puedan generar en el sector.

Una vez calculada la velocidad, su valor se compara con las velocidades máximas permisibles en canales revestidos que aparecen en la **Tabla 7**, con el fin de no rebasarlas.

Tabla 7. Velocidades máximas permisibles en canales de CRTC - CPD

Material	Velocidad máxima (m/s)
Ladrillo común	3
Ladrillo vitrificado	5
Arcilla vitrificada	4
Concreto 175 kg/cm ² (17.2 MPa)	6
Concreto 210 kg/cm ² (20.6 MPa)	10
Concreto 280 kg/cm ² (27.5 MPa)	15
Concreto 350 kg/cm ² (34.3 MPa)	20

Partiendo que la resistencia proyectada para los descoles escalonados es de 280 kg/cm², se tiene que la velocidad desarrollada por el perfil de flujo para el caudal de diseño es inferior a la permisible para el material, por lo cual la estructura proyectada presenta un comportamiento adecuado. Además, se acompaña de un enrocado de protección para realizar una transición más gradual entre la obra y el terreno natural.

No siendo más el motivo de la presente informe, muy cordialmente.

CONSORCIO VIAS DE ANTIOQUIA

WILMAR ANDREY BUITRAGO

Ingeniero Civil
Especialista en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos
Universidad Nacional de Colombia
Facultad de Minas
MP 05202-128642 Antioquia.
C.C. Ingeniero Eduardo Herrera
Supervisor del proyecto