J.a.m. INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE

Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

CO-1793-JAM-CALAMAR

Bogotá, 26 de octubre de 2022

Respetada:
Paola Andrea Mahecha Quintero
Subdirección de Planificación de Infraestructura
INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS – INVIAS
Calle 25G # 73B-90
Bogotá.

Ref.: Contrato 2751 de 2019 "ESTUDIOS Y DISEÑOS DE LA CONEXIÓN INTERMODAL SAN JOSÉ DEL GUAVIARE – EL RETORNO – CALAMAR – MITÚ MODULO 1 TRAMO CARRETERO EL RETORNO - CALAMAR".

Asunto: RESPUESTA A MEMORANDO TÉCNICO MT-438-166-21

Cordial Saludo,

Por medio de la presente se da respuesta a la comunicación emitida en el MEMORANDO TÉCNICO MT-438-166-21 mediante el cual la empresa APC INGENIERÍA presenta la "revisión documental de los estudios y diseños de Fundaciones para la Troncal de la Orinoquia (San José – El Retorno – Calamar) en el Departamento del Guaviare. Módulo 5."

Inicialmente hacemos claridad en que los datos citados en dicho memorando técnico no corresponden a la última versión del VOLUMEN IV - ESTUDIO DE SUELOS PARA DISEÑOS DE FUNDACIONES DE PUENTES Y OTRAS ESTRUCTURAS elaborado por esta consultoría, por lo cual se recomienda verificar la versión que se está utilizando para la respectiva revisión.

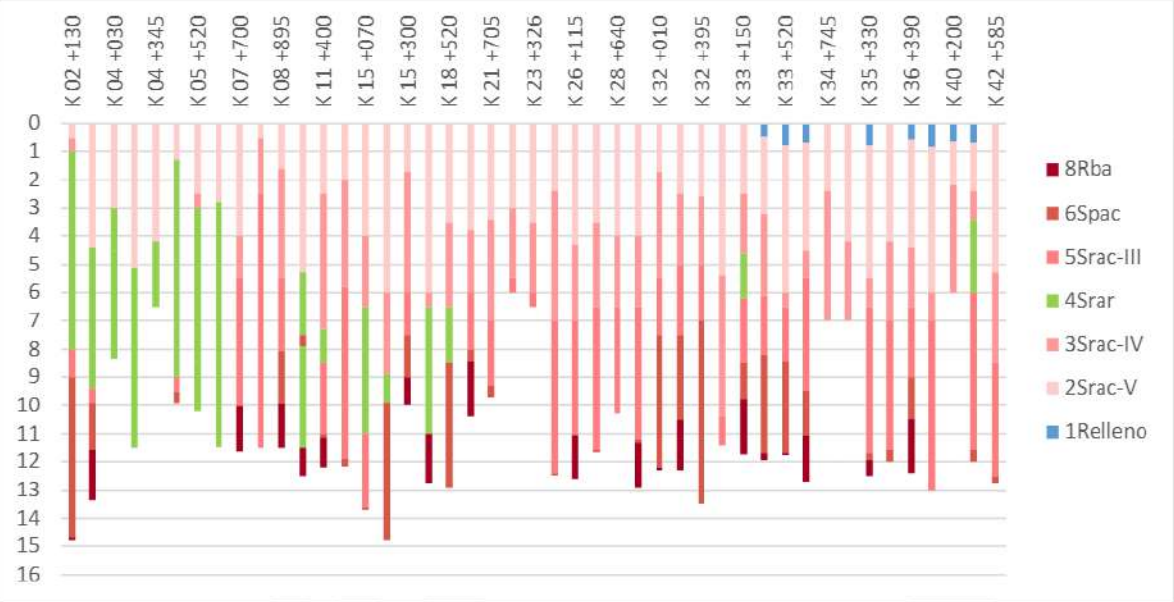
La respuesta al memorando se presenta inicialmente enunciando los criterios de diseños utilizados para el predimensionamiento de los puentes y en una segunda instancia la validación del predimensionamiento definido en los documentos técnicos y una propuesta para su ajuste en la etapa de obra.

Se presenta a continuación el procedimiento metodológico que se siguió para el diseño de los puentes.

Inicialmente, tomando como base la exploración geotécnica (correspondiente a los sondeos, los apiques, las líneas de refracción sísmica y los sondeos eléctricos verticales) y los ensayos ejecutados (correspondientes a el SPT y los ensayos de laboratorio) se definió la zonificación geológico – geotécnica a lo largo del corredor vial, encontrando que la zona de estudio posee

Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

un perfil geológico geotécnico homogéneo correspondiente al perfil de meteorización de la Formación Caja, donde se presentó rechazo en el ensayo de SPT desde una profundidad aproximada de 7.5m. El modelo geológico geotécnico definido se presenta a continuación



Como se puede observar las perforaciones alcanzaron el nivel de roca blanda Rba, o Spac y/o los suelos residuales Srac III y Srar, lo que se verificó con las líneas de refracción sísmica y sondeos eléctricos verticales, los cuales se consideran materiales geomecánicamente aptos o competentes para la cimentación de los puentes.

El perfil general se puede describir de la siguiente manera:

RELLENO ANTRÓPICO (Qan)

Este material corresponde a un relleno antrópico compuesto por arcilla arenosa de tonos rojizos con presencia de gravas subangulares y se encuentra superficialmente en los últimos 10 kilómetros del corredor y tiene un espesor promedio de 0.50 m.

- Contenido de agua: 16.21 %
- Limite liquido: 43.10%
- Limite plástico: 22.66%
- Índice de plasticidad: 20.45
- Peso Unitario: 1.89 t/m3

Carrera 42 No. 22A 03 Bogotá D.C., Colombia

J.a.m. INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE
Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

SUELO RESIDUAL ARCILLOSO TOTALMENTE METEORIZADO (Srac-V)

Este material corresponde a un suelo residual arcilloso totalmente meteorizado (Grado de meteorización V) de baja plasticidad de color rojizo de la formación Caja, se encuentra en superficie con espesor aproximado de 4.00 metros.

- Contenido de agua: 28.81 %
- Limite liquido: 64.14%
- Limite plástico: 25.42%
- Índice de plasticidad: 38.74
- Peso Unitario: 1.88 t/m3
- Resistencia al corte Mohr Coulomb:
- Angulo de fricción: 20.03º
- Cohesión: 2.43 T/m2
- Módulo de Young: 18.7 MPa
- Cu: 4.3 T/m2

SUELO RESIDUAL ARENOSO (Srar)

Este material corresponde a un suelo residual de la formación Caja compuesto principalmente por arena algo arcillosa de color habano, amarillo y gris, se encuentra en los primeros 20 kilómetros del corredor vial, este material subyace el Srac-V en los 10 primeros kilómetros y a los materiales Srac-IV y Srac-III del km 10 hasta el km 20 del corredor. El material cuenta con espesores entre 2.00 y 7.00 metros.

- Contenido de agua: 19.59 %
- Limite liquido: 43.32%
- Limite plástico: 21.52%
- Índice de plasticidad: 21.79
- Peso Unitario: 1.85 t/m3
- Resistencia al corte Mohr Coulomb
- Angulo de fricción: 19.70 º
- Cohesión: 1.10 T/m2
- Módulo de Young: 24.2 MPa

SUELO RESIDUAL ARCILLOSO MUY METEORIZADO (Srac-IV)

Este material corresponde a un suelo residual arcilloso muy meteorizado (Grado de meteorización IV) de alta plasticidad de color rojizo, habano o grisáceo, este material subyace el Srac-V desde el kilómetro 10 y cuenta con un espesor promedio de 3.00 metros, ubicado aproximadamente de 4.00 a 7.00 m de profundidad.

- Contenido de agua: 33.05 %
- Limite liquido: 80.92%
- Limite plástico: 26.39%
- Índice de plasticidad: 54.52

J.a.m. INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE
Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

- Peso Unitario: 1.94 t/m3
- Resistencia al corte Mohr Coulomb
- Angulo de fricción: 22.27 °
- Cohesión: 2.73 T/m2
- Módulo de Young: 22.7 MPa
- Cu: 5.88 T/m2

SUELO RESIDUAL ARCILLOSO MODERADAMENTE METEORIZADO (Srac-III)

Este material corresponde a un suelo residual arcilloso moderadamente meteorizado (Grado de meteorización III), este material subyace el Srac-IV y cuenta con un espesor promedio de 2.00 metros, ubicado aproximadamente de 6.00 a 8.00 m de profundidad.

- Contenido de agua: 30.58 %
- Limite liquido: 75.48%
- Limite plástico: 25.03%
- Índice de plasticidad: 50.45
- Peso Unitario: 1.85 t/m3
- Resistencia al corte Mohr Coulomb
- Angulo de fricción: 24.66 °
- Cohesión: 6.76 T/m2
- Módulo de Young: 38.8 MPa
- Cu: 6.53 T/m2

ARCILLOLITA LIGERAMENTE METEORIZADA (Spac)

Este material corresponde a arcillolita ligeramente meteorizada de la formación Caja, este material subyace el Srac-III y cuenta con un espesor promedio de 2.00 metros, ubicado aproximadamente de 8.00 a 10.00 m de profundidad.

- Contenido de agua: 29.19 %
- Limite liquido: 49.33%
- Limite plástico: 23.17%
- Índice de plasticidad: 26.16
- Peso Unitario: 1.90 t/m3
- Resistencia al corte Mohr Coulomb
- Angulo de fricción: 24.75 °
- Cohesión: 8.38 T/m2
- Módulo de Young: 61.7 MPa
- Cu: 18.54 T/m2

ARCILLOLITA (Rba)

Este material corresponde a la arcillolita de la formación Caja. Este material se encuentra después de la capa de Spac, este material se identificó a lo largo de los 40 kilómetros del

J.a.m. INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE
Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

corredor vial, identificado aproximadamente desde los 10.00 m de profundidad hasta el final de la exploración.

- Contenido de agua: 23.32 %
- Peso Unitario: 1.95 t/m3
- Resistencia al corte Mohr Coulomb
- Angulo de fricción: 28.15 °
- Cohesión: 8.45 T/m2
- Módulo de Young: 85.9 MPa
- Cu: 45.00 T/m2
- Hoek & Brown
- m: 1.333
- s: 0.0551

Teniendo en cuenta la zonificación geotécnica se definieron los modelos geológico - geotécnicos para cada sector objeto de estudio (11 puentes)

Los criterios de diseño utilizados para los puentes se presentan a continuación:

- Se realizó una unificación de luces y sistema constructivo buscando optimizar recursos y tiempos de ejecución, especialmente minimizando la utilización de concreto en obra.
- La longitud de los puentes se definió con base en los modelos de capilaridad realizados para cada drenaje a manejar, y con criterios ecológicos que permitieran el paso de la fauna de la zona, dando como resultado que los apoyos siempre se localizan por fuera de la mancha de inundación para un periodo de retorno de 100 años, obteniendo una luz unificada de 20 m, la cual en todos los casos cumple con el criterio de capilaridad y el criterio ecológico.
- Buscando que el sistema de cimentación fuese constructivamente ágil, se unificaron los diámetros de los pilotes, para facilitar su ejecución con un solo tipo de equipo. Se definió inicialmente un diámetro estándar de 1.0 m, sin embargo, se modelaron pilotes de 0.6, 0.8, 1.0 y 1.2 m, (ver ábacos de diseño y memorias de cálculo).
- Para la elección de la profundidad de los pilotes se tuvo en cuenta la carga de diseño del estado límite de resistencia y la capacidad de los mismos en el estado límite de resistencia, condición de carga más crítica (de las establecidas en la norma) en la zona en estudio, la cual presenta una amenaza sísmica baja.

De acuerdo a lo anterior y dando respuesta a las inquietudes del constructor:

Para el caso de la longitud de los pilotes, se presenta una tabla resumen de la implantación de la cimentación de acuerdo a los criterios descritos. Para cada puente se presenta el diámetro y la cantidad de pilotes, la longitud real o efectiva y las cotas del nivel de apoyo de los mismos; adicionalmente se presenta la cota alcanzada con la exploración directa y el Δ L que corresponde a la diferencia de cota de la exploración y la cota final de los pilotes, también se presenta la verificación de la capacidad instalada por pilote y la carga de diseño en el estado límite de resistencia.

J.a.m. INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE
Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

Tabla 1. Características de la cimentación propuesta para los puentes

Puente	ABSCISA	Apoyo	Diámetro [m]	# Pilotes	Long. Real[m]	Long. Efect. [m]	Cota inicial pilotes	Cota final pilotes	Sondeo	Long. Expl. [m]	Cota expl.	Δ L [m]	CAPACIDAD INSTALADA X PILOTE [T] (ELR)	CARGA DE DISEÑO X PILOTE [T] (ELR)
P1_11	K2+244	1	1.0	4	10	10	188.39	178.39	SP1-1	14.8	173.19	4.54	127.65	111.30
		2	1.0	4	10	10	187.73	177.73	SP1-2	13.4				
P2_10	K4+187	1	1.0	4	11	11	192.37	181.37	SP2-3	8.34	180.68	0.29	111.96	109.79
		2	1.0	4	11	11	191.97	180.97	SP2-4	11.5				
P3_9	K7+860	1	1.0	4	11	10	193.04	182.04	SP3-5	11.65	180.29	1.37	113.58	103.31
		2	1.0	4	11	10	192.66	181.66	SP3-6	10.8				
P4_5	K9+123	1	1.0	4	13	10	189.15	176.15	SP4-7	11.5	175.50	0.53	134.15	127.08
		2	1.0	4	13	10	189.03	176.03	SP4-8	12.5			136.19	117.30
P5_12	K11+561	1	1.0	4	11	11	189.81	178.81	SP5-9	12.2	177.35	1.39	128.44	117.18
		2	1.0	4	11	11	189.74	178.74	SP5-10	12.2				
P6_8	K15+212	1	1.0	4	11	10	187.70	176.70	SP6-11	13.7	171.74	4.96	128.53	114.64
		2	1.0	4	11	10	187.89	176.89	SP6-12	14.8				
P7_3	K18+588	1	1.0	4	10	10	188.38	178.38	SP7-14	12.9	176.97	1.41	131.13	109.01
		2	1.0	4	10	10	188.48	178.48	SP7-13	12.75				
P8_4	K26+028	1	1.0	4	12	11	237.35	225.35	SP8-15	12.5	224.88	0.31	152.00	123.48
		2	1.0	4	12	11	237.19	225.19	SP8-16	12.6				
P9_1	K28+582	1	1.0	4	12	11	234.03	222.03	SP9-17	11.7	221.73	-0.33	136.63	125.27
		2	1.0	4	13	11	234.40	221.40	SP9-18	10.3				
P10_7	K33+496	1	1.0	4	11	11	229.69	218.69	SP13-25	11.8	218.19	0.40	127.50	116.52
		2	1.0	4	11	11	229.59	218.59	SP13-26	12.7				
P11_6	K42+542	1	1.0	4	11	11	214.74	203.74	SA-03	3.1	202.70	0.94	124.57	123.67
		2	1.0	4	11	11	214.64	203.64	SE6-53	12				

Como se observa en la tabla, teniendo en cuenta las profundidades determinadas para la cimentación, las pilas se encuentran apoyadas principalmente en los materiales Srar, Srac-III y Spac, los cuales cuentan con propiedades geomecánicas suficientes para soportar las solicitaciones de las estructuras de los puentes propuestos tal como se observa en las últimas dos columnas de la tabla, donde se tienen capacidades instaladas superiores a las cargas de diseño estimadas desde el componente estructural.

Ahora bien, ante la inquietud del constructor de que la punta de los pilotes debe quedar por encima de la profundidad de exploración directa hecha en cada sitio de puente, se considera a criterio del Ing. de Geotecnia, responsable de los estudios, que en este caso la exploración efectuada en la zona no representa ningún tipo de incertidumbre al diseño, dado que el modelo geológico geotécnico muestra un perfil homogéneo del subsuelo, correspondiente a perfiles de meteorización de la formación Caja, donde su comportamiento define que a mayor profundidad se presenta una menor meteorización y por lo tanto un incremento en los parámetros de resistencia (las líneas de refracción sísmica y los sondeos eléctricos verticales muestran y evidencian este comportamiento, este tipo de exploración alcanzó profundidades entre 20 y 30 m), además en las perforaciones realizadas se registra rechazo desde una profundidad media de 7.5 m lo que valida los resultados obtenidos mediante métodos

J.a.m. INGENIERIA Y MEDIO AMBIENTE
Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

indirectos. Por lo tanto, se considera que la exploración geotécnica ejecutada es suficiente para la validación de la homogeneidad geotécnica de la zona y por lo tanto para su caracterización tal como lo requiere el numeral C10.4.2 del CCP-14.

Sin embargo, con el fin de aumentar la diferencia entre la cota de exploración y la cota de apoyo de los pilotes se puede aumentar el diámetro de los mismos a 1,2 m o más, y disminuir su profundidad. Se realizó el ejercicio asumiendo un diámetro de 1,2 m, dicho ejercicio se presenta en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de la cimentación con la modificación propuesta para los puentes

Puente	ABSCISA	Apoyo	Diámetro [m]	# Pilotes	Long. Real[m]	Long. Efect. [m]	Cota inicial pilotes	Cota final pilotes	Sondeo	Long. Expl. [m]	Cota expl.	Δ L [m]	CAPACIDAD INSTALADA X PILOTE [T]	CARGA DE DISEÑO X PILOTE [T] (ELR)
P1_11	K2+244	1	1.2	4	7.4	7.4	188.39	180.99	SP1-1	14.8	173.19	7.14	111.30	111.30
		2	1.2	4	7.4	7.4	187.73	180.33	SP1-2	13.4				
P2_10	K4+187	1	1.2	4	9.4	9.4	192.37	182.97	SP2-3	8.34	180.68	1.89	109.79	109.79
		2	1.2	4	9.4	9.4	191.97	182.57	SP2-4	11.5				
P3_9	K7+860	1	1.2	4	9.6	8.6	193.04	183.44	SP3-5	11.65	180.29	2.77	103.31	103.31
		2	1.2	4	9.6	8.6	192.66	183.06	SP3-6	10.8				
P4_5	K9+123	1	1.2	4	10.2	7.2	189.15	178.95	SP4-7	11.5	175.50	3.45	127.08	127.08
		2	1.2	4	9.8	6.8	189.03	179.23	SP4-8	12.5			117.30	117.30
P5_12	K11+561	1	1.2	4	8.8	8.8	189.81	181.01	SP5-9	12.2	177.35	3.59	117.18	117.18
		2	1.2	4	8.8	8.8	189.74	180.94	SP5-10	12.2				
P6_8	K15+212	1	1.2	4	10.4	9.4	187.70	177.30	SP6-11	13.7	171.74	5.56	114.64	114.64
		2	1.2	4	10.4	9.4	187.89	177.49	SP6-12	14.8				
P7_3	K18+588	1	1.2	4	7.4	7.4	188.38	180.98	SP7-14	12.9	176.97	4.01	109.01	109.01
		2	1.2	4	7.4	7.4	188.48	181.08	SP7-13	12.75				
P8_4	K26+028	1	1.2	4	10.8	9.8	237.35	226.55	SP8-15	12.5	224.88	1.51	123.48	123.48
		2	1.2	4	10.8	9.8	237.19	226.39	SP8-16	12.6				
P9_1	K28+582	1	1.2	4	9.8	8.8	234.03	224.23	SP9-17	11.7	221.73	1.87	125.27	125.27
		2	1.2	4	10.8	8.8	234.40	223.60	SP9-18	10.3				
P10_7	K33+496	1	1.2	4	8.8	8.8	229.69	220.89	SP13-25	11.8	218.19	2.60	116.52	116.52
		2	1.2	4	8.8	8.8	229.59	220.79	SP13-26	12.7				
P11_6	K42+542	1	1.2	4	10.5	10.5	214.74	204.24	SA-03	3.1	202.70	1.44	123.67	123.67
		2	1.2	4	10.5	10.5	214.64	204.14	SE6-53	12				

Como se puede observar, en la implantación final de los puentes (obra), el pre dimensionamiento realizado en los estudios puede ser ajustada de acuerdo al criterio de

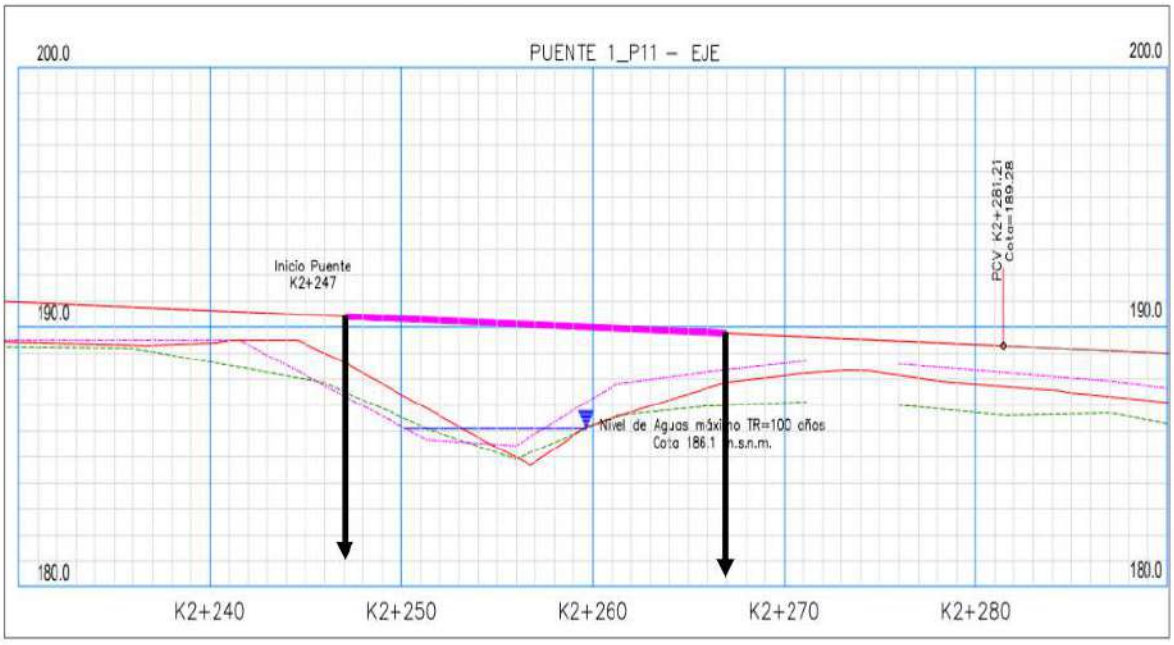
Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

ingeniero geotécnico, aumentando el diámetro de los pilotes y disminuyendo su longitud efectiva. Consideramos que la decisión final del diámetro y longitud de los pilotes debe realizarse en función del sistema y tipo de equipo de perforación a utilizar para la construcción de los pilotes; y para validar el modelo geológico – geotécnico generado en los estudios, en cada sitio de puente, se puede realizar mediante la ejecución de una línea de refracción sísmica.

Con respecto a la socavación, mencionada en el memorando técnico allegado, se aclara que la estimación de la socavación presentada en el informe hidráulico se realiza para las condiciones actuales de los puentes existentes. La socavación general corresponde a la ubicada en el centro del cauce donde se encuentra la mayor altura de la lámina de agua y la socavación local corresponde a la socavación presentada en las pilas actuales de los puentes para una lámina de agua correspondiente al periodo de retorno de 100 años.

Teniendo en cuenta los criterios de diseño enumerados y la definición de la luz de 20 m, la localización de los apoyos en todos los casos queda por fuera de la mancha de inundación de los 100 años. Por tanto, en los diseños de las pilas propuestas no se contempla ninguna socavación ya que estas quedan fuera del cauce tal como se esquematiza en la Figura 1, ejemplo del puente P1_11.

Figura 1. Esquema ubicación pilas y lámina de agua Tr100 años



Carrera 42 No. 22A 03 Bogotá D.C., Colombia

Tel/Fax +571 2440222
Cel +57 3118538700
info@jam.com.co
www.jam.com.co

Esperamos que la atención al memorando dé respuesta a las inquietudes del equipo de obra, con gusto estaremos atentos a cualquier otra inquietud frente al predimensionamiento de los puentes del proyecto o de cualquier otro tema del proyecto que consideren necesario aclarar.

Cordialmente,

JAVIER ANTONIO MILLÁN LÓPEZ
C.C. No.79.345.746 de Bogotá
Representante Legal
JAM INGENIERÍA Y MEDIO AMBIENTE SAS

Carrera 42 No. 22A 03 Bogotá D.C., Colombia