

INFORME DE AVANCE N°3 (95%)

ESTUDIOS DE INGENIERIA DE DETALLE Y EVALUACION TECNICA, ECONOMICA, AMBIENTAL Y RIESGO DE LOS TRAMOS:

- **Las Cruces - Puesto Fronterizo
Bethel, Petén.**

6. INFORME DE GEOLOGIA Y GEOTECNIA.

ÍNDICE

I	
1.	INTRODUCCION..... 2
2.	UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS 5
3.	ACTIVIDADES REALIZADAS 6
4.	CONCLUSIÓN..... 14

Los ANEXOS se presentan en formato digital, contienen la colección completa de resultados

TABLAS

TABLA N° 1:	TRAMOS DE PROYECTO..... 2
TABLA N° 2:	CUADROS DE RESULTADOS DE LABORATORIO DE LAS MUESTRAS DEL TRAMO 4 10

FIGURAS

FIGURA N° 1:	UBICACIÓN TRAMOS DEL PROYECTO. FUENTE PROPIA. 5
FIGURA N° 2:	UBICACIÓN TRAMO 4 LAS CRUCES – BETHEL (PUESTO FRONTERIZO CON MEXICO). FUENTE: CARTOGRAFIA NACIONAL..... 6
FIGURA N° 3:	BANNCO DE MATERIALES 1 LOS AMANTES (POZO O CALICATA 116)..... 8
FIGURA N° 4:	BANNCO DE MATERIALES 2 VISTA HERMOSA (POZO O CALICATA 115)..... 9

1. INTRODUCCION.

EL MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDAS, por medio de la DIRECCION GENERAL DE CAMINOS (DGC) en la responsabilidad de la administración de la red vial del país, realizo la Licitación Publica No.DGC-09-2.016-E para la CONTRATACIÓN DE LOS ESTUDIO DE INGENIERIA DE DETALLE Y EVALUACION TECNICA, ECONOMICA, AMBIENTAL Y RIESGO DE LOS TRAMOS:

Tabla nº 1: *Tramos de Proyecto*

Número	Tramo	Longitud aprox. (km)
1	Rancho de Teja - Momostenango	9
2	Aldea Chinchila - San Luis, Peten.	5
3	Tecpan Guatemala - Patzun	12
4	Las Cruces - Puesto Fronterizo Bethel, Peten.	63
5	Estacion 16+740 (Entrada a Paquip) A La Estacion 29+440 (Rio Motagua).	12,7

La empresa HIDRAES INGENIEROS CONSULTORES, SOCIEDAD ANONIMA, ha sido designada consultor responsable de acuerdo en lo indicado en el contrato No.004-2017-DGC-E de la elaboración de los estudios en conformidad de las bases de licitación y oferta presentada para el proyecto en los tramos descritos anteriormente. El estudio consiste en la ejecución de actividades y productos de entrega para distintas disciplinas que componen la Ingeniería de Detalle según el Anexo A de las bases de contratación. Contempla un análisis de costos y beneficios en la zona de influencia del proyecto, evaluación económica calculando indicadores

de rentabilidad y análisis de sensibilidad, todo dentro de la evaluación técnica aplicando las normas Nacionales, internacionales y especificaciones exigidas por el Departamento Técnico de Ingeniería (DTI) de la División de Planificación y Estudios (DPE) de la Dirección General de Caminos (DGC).

La etapa inicial comprende un diagnóstico detallado, bajo una inspección, descripción e inventario, de cada uno de los tramos. Donde se define la profundidad de los estudios técnicos de ingeniería para la propuesta de los diseños definitivos. En la etapa de operación se ubican los levantamientos topográficos de detalle, cumpliendo con la monumentación georeferenciada según especificaciones, diseños geométricos horizontal y vertical adaptados en lo más posible a lo existente, con la propuesta de una sección de calzada según resultados de los conteos de tránsito. Además, se realizan estudios de suelos y ubicación de bancos de materiales, que servirán para el uso y diseño de la estructura de pavimento según metodologías y normas empleadas a nivel internacional. Apoyado en el inventario inicial se procede al diseño de obras de drenaje realizando todo un estudio hidrológico e hidráulico de capacidad de las estructuras existentes y propuestas a lo largo de la longitud de cada tramo. El estudio comprende el diseño de señalización, demarcación y seguridad vial con el uso del Manual Centroamericano de Señales Uniformes.

Dentro de la evaluación técnica se encuentra también la etapa de la entrega de las cantidades estimadas de trabajo conjuntamente con sus costos unitarios, presentando especificaciones técnicas y documentos de bases de licitación de la obra y un análisis de riesgo de las estructuras diseñadas en conformidad con el Manual Centroamericano de Gestión en Puentes, acompañado con el Estudio de Impacto Ambiental, cumpliendo así con los requerimientos establecidos por el MARN.

Durante el periodo de realización del proyecto se presentarán informes periódicos de avance del 35%, 65%, 95% y un informe final sujeto aprobación por parte del DTI con 100% de avance del programa de trabajo aprobado.

Este documento es parte del informe de avance N°3 correspondiente al 95% de la disciplina de estudio de suelos del tramo Las Cruces - Puesto Fronterizo Bethel, Peten., habiéndose realizado muestreos por medio de pozos o calicatas a cada quinientos metros (500m) como máxima distancia entre cada exploración y con una profundidad mínima de uno punto cincuenta metros (1.50m). Las calicatas ya han sido tomadas de todos los tramos en la sub-rasante y bancos de materiales.

Al mismo tiempo se presenta un plano con la localización de los pozos o calicatas del tramo, ubicación de bancos de materiales y botaderos seleccionados. En los anexos también se ubicarán los ensayos de laboratorio. Se han ubicado los bancos de préstamo que se presentan su ubicación y ensayos.

2. UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS

Los tramos en estudio se ubican en las diferentes regiones departamentales de la red vial del país. A continuación, se muestra en la siguiente Figura nº 1 la ubicación general de cada uno de los tramos.

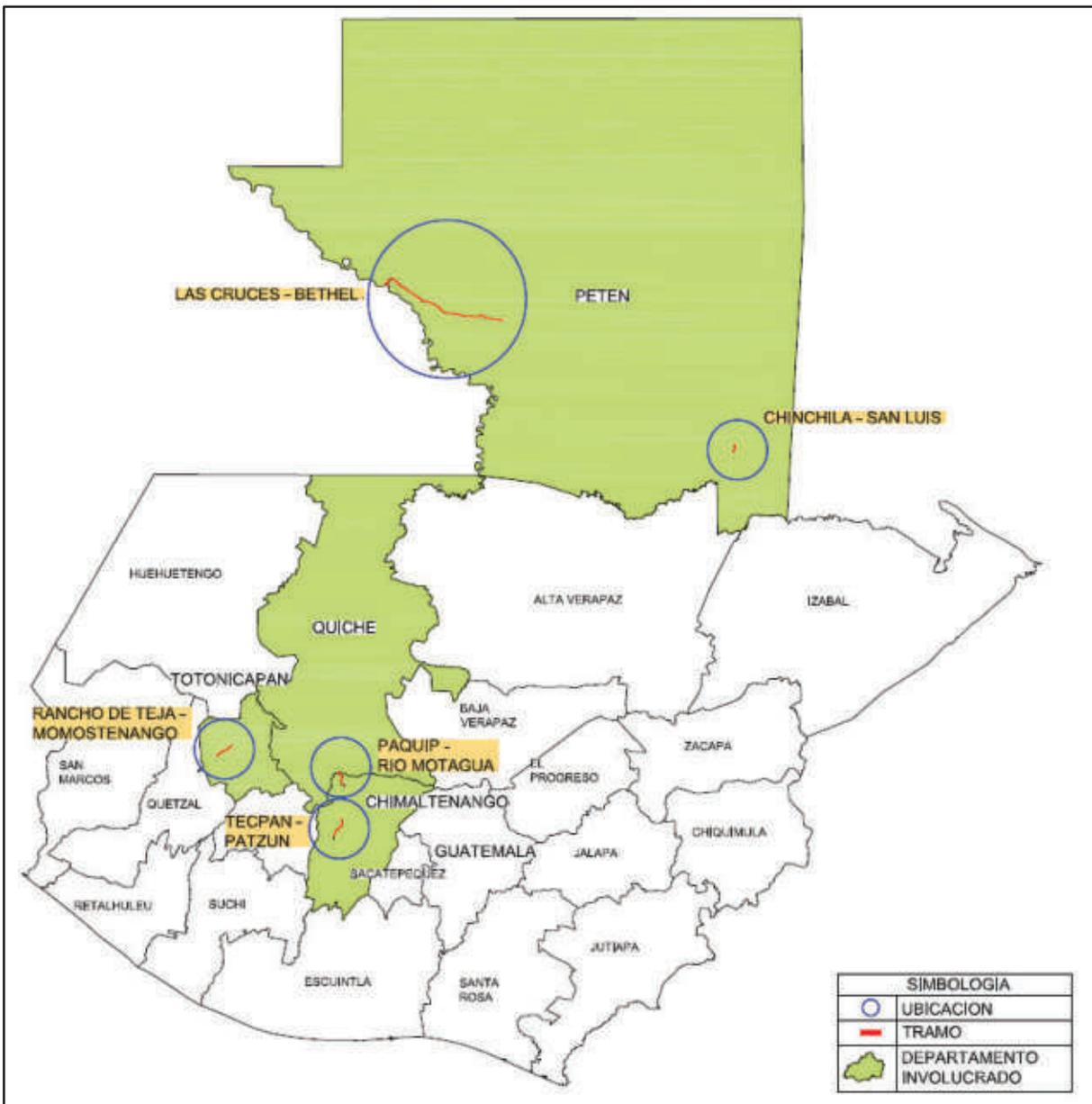
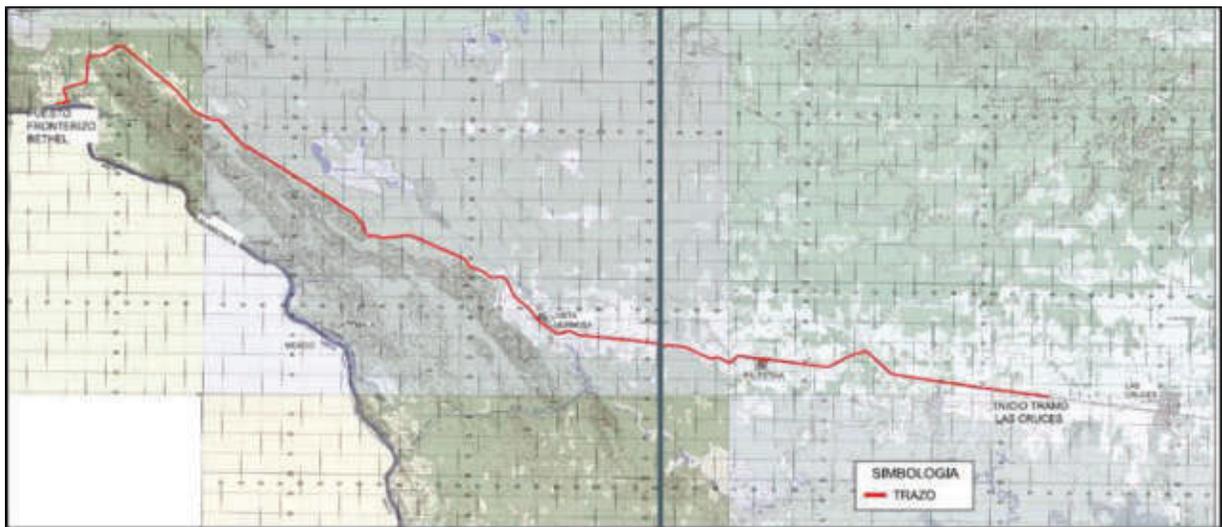


Figura nº 1: Ubicación tramos del proyecto. Fuente propia.

El tramo Las Cruces - Puesto fronterizo Bethel ubicado en la Región Noroccidente, en el Departamento de Peten. Inicia a 6 km de la población de Las Cruces del Municipio La Libertad, comunicando a las aldeas Nuevo Porvenir, Palestina y Vista Hermosa. Con aproximada de 60 km, hasta la llegada al puesto fronterizo Bethel, el cual colinda en el puesto fronterizo Corozal (México), al cruzar el Rio Usumacinta:



*Figura n° 2: Ubicación tramo 4 Las Cruces – Bethel (puesto fronterizo con Mexico).
Fuente: Cartografía Nacional*

3. ACTIVIDADES REALIZADAS

En el **Anexo 4** se adjunta la información correspondiente a este tramo en el siguiente orden:

1. Toma de Muestras

Este documento corresponde a un avance de la disciplina de estudio de suelos, habiéndose realizado muestreos por medio de calicatas a cada quinientos

metros (500m) como máxima distancia entre cada exploración y con una profundidad mínima de uno punto cincuenta metros (1.50m). Las calicatas ya han sido tomadas de todos los tramos en la sub-rasante, todavía se encuentra pendiente la toma de muestras en los bancos de materiales.

En cada pozo o calicata para la sub rasante se recolectaron dos muestras, una a 0.75m y otra a 1.50m (cada una muestra de 80lb) se mandaron a analizar al laboratorio de suelos las muestras a 1.50m y si había otro material representativo a 0.75m también se analizó.

En cada uno de los pozos o calicatas seleccionadas se le colocaron las coordenadas UTM WGS84 (y en GTM en el plano inciso 2), se colocaron fotos de cada excavación, estacionamiento aproximado de la excavación y coordenadas de terreno natural y rasante.

En el caso de los bancos de materiales se recolectaron las muestras en talud o en suelo como corresponde.

En el caso del proyecto Las Cruces – Bethel se propuso inicialmente utilizar tres bancos: los amantes, mirador (pozo o calicata 114 descartada) y vista hermosa, descartándose por el reconocimiento geológico y geotécnico el banco el Mirador.



Figura nº 3: Bannco de materiales 1 Los Amantes (pozo o calicata 116)



Figura n° 4: Bannco de materiales 2 Vista Hermosa (pozo o calicata 115)

2. Plano de ubicación de pozos, bancos de Materiales y botaderos

En el plano se localizan en coordenadas GTM cada una de los pozos o calicatas, bancos de materiales y botaderos.

3. Análisis de laboratorio

Se adjuntan en digital los ensayos de laboratorio de la sub-rasante (ensayos de Humedad natural, granulometría, límites de consistencia y peso específico, clasificación de suelos por los métodos AASHTO, dibujo de perfiles de sub rasante a lo largo del proyecto - avance), esto servirá para definir las propiedades mecánicas de los suelos y sub-rasante, así se incluyen los ensayos de proctor modificado y CBR de cada muestra.

En el caso de los bancos de materiales se realizará adicionalmente a los ensayos anteriores el ensayo de abrasión y el equivalente de arena.

Tabla nº 2: Cuadros de resultados de laboratorio de las muestras del tramo 4

POZO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18A	18B
MUESTRA																			
3/4"	100	100	---	100	---	100	---	---	---	100	100	100	100	100	---	---	---	100.00	---
3/8"	97.53	99.26	100.00	99.685	100	99.828	100	100	100.00	99.22	99.04	99.00	97.52	99.345	100	100	100	99.75	100.00
No. 4	96.62	98.21	99.74	99.32	99.94	98.711	99.66	99.49	98.67	98.67	98.53	98.16	96.09	99.23	99.95	99.80	99.92	99.70	99.97
No. 10	95.43	96.71	99.10	98.02	99.25	95.50	97.86	97.48	95.87	94.72	97.48	97.13	93.38	98.81	99.77	98.24	99.11	98.85	99.57
No. 40	72.69	83.29	85.99	89.00	84.88	79.82	68.94	79.52	78.31	55.01	89.34	86.15	76.94	60.05	86.03	90.35	90.57	75.77	64.33
No. 100	54.33	70.77	77.39	80.20	68.51	70.23	49.56	63.11	63.16	35.36	79.01	75.28	68.07	46.21	70.42	83.19	82.00	58.38	45.44
No. 200	48.76	66.01	73.95	75.38	60.60	65.95	38.61	56.37	56.43	30.52	73.60	70.41	63.95	42.30	66.22	77.85	77.12	54.18	40.09
LIM LIQUIDO	49.25	43.25	47.90	49.82	60.60	49.10	47.83	46.70	47.15	45.90	55.05	42.50	42.50	46.10	46.00	53.02	49.20	45.60	47.06
LIM PLASTICO	32.76	31.11	34.63	30.87	30.88	32.20	32.81	31.42	32.65	31.42	31.10	30.45	30.53	31.52	31.45	30.88	32.94	31.06	31.17
I.P.	16.49	12.14	13.27	18.95	29.72	16.90	15.02	15.28	14.50	14.48	23.95	12.05	11.97	14.58	14.55	22.14	16.26	14.54	15.89
HUM NATURAL	25.09	26.17	29.95	26.11	27.03	25.40	28.24	24.18	26.98	25.40	25.82	20.79	28.54	27.37	30.06	24.81	29.22	25.56	27.69
CLASIFICACIÓN	A-7-5	A-2-7	A-7-5																
	ARCILLA	ARE ARC	ARCILLA																
P.U.HUM SUELTO	1068	1111	1051	1119	1052	1036	1075	1076	1051	1087	956	1110	1087	1047	975	1134	1031	1033	1035
P.U.HUM VARILLADO	1108	1164	1163	1216	1129	1111	1147	1185	1145	1171	1055	1214	1220	1152	1078	1232	1083	1128	1139
P.U. SECO SUELTO	1039	987	914	1023	931	991	948	910	955	943	923	999	969	943	926	1043	882	974	966
P.U. SECO VARILLADO	1078	1068	988	1129	991	1091	1051	1006	1063	1009	1003	1078	1051	1011	995	1142	967	1063	1067
% HUMEDAS OPT	33.6	30.8	32.6	31.1	33.6	31.5	30.2	30.9	31.1	30.3	28.4	28.2	31.2	29.2	32.1	29.6	31.7	30.1	32.4
P.U.S. (PROCTOR) Lb/pie3	90.13	93.01	90.03	92.36	90.45	90.51	94.30	93.05	92.23	92.30	90.71	90.08	90.95	93.20	90.15	95.20	92.20	93.90	91.03
P.U.S. (PROCTOR) Kg/m3	1,443	1,490	1,442	1,479	1,449	1,450	1,510	1,490	1,477	1,478	1,453	1,443	1,457	1,493	1,444	1,525	1,477	1,504	1,458
C.B.R.	6.30	14.10	7.20	8.45	5.13	12.73	11.35	13.60	10.30	11.80	9.80	7.95	9.35	11.25	11.85	15.60	12.57	9.14	12.39
Grav Esp Bruta BULK	1.64	1.62	1.80	1.80	1.57	1.56	1.59	1.58	1.56	1.56	1.60	1.61	1.56	1.57	1.56	1.64	1.54	1.64	1.55
Grav Esp Efectiva (s.s.s.)	2.02	2.02	1.96	1.96	1.99	2.00	2.03	2.01	1.98	2.00	2.03	2.03	1.99	2.01	1.99	2.04	1.99	2.05	1.99
Grav Espe Aparente	2.67	2.69	2.14	2.15	2.71	2.77	2.82	2.78	2.69	2.80	2.81	2.80	2.75	2.78	2.71	2.73	2.80	2.79	2.74
ABSORCIÓN	23.56	24.48	8.81	9.05	26.74	27.93	27.39	27.39	27.01	28.21	26.90	26.42	27.88	27.66	27.01	24.38	29.31	25.00	27.88

POZO	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	
MUESTRA																				
3"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	42.791
2 1/2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	42.791
2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100	---	---	---	---	---	---	---	---	---	35.041
1 1/2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	72.69	---	---	---	---	---	---	---	---	---	26.797
1"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	60.75	---	---	---	---	---	---	---	---	---	18.749
3/4"	---	---	100.00	---	---	---	---	---	---	60.75	100	100	---	---	---	---	---	---	---	17.80
3/8"	100.00	100.00	99.75	100	---	100	---	100	---	60.75	99.268	98.94	100	100	---	---	100	---	100	16.31
No. 4	99.92	99.93	99.75	99.51	100.00	99.96	100.00	98.88	100.00	59.98	98.98	97.98	99.66	99.64	100	100	99.60	100.00	100.00	15.60
No. 10	98.92	99.09	95.80	98.87	99.06	99.49	98.99	97.61	99.27	59.54	96.77	93.93	94.54	93.08	99.78	98.19	98.80	98.91	98.80	13.71
No. 40	76.62	74.78	54.85	70.84	94.32	60.98	95.94	92.67	97.67	58.39	89.82	88.37	77.98	84.39	98.52	91.20	94.78	96.21	96.21	8.03
No. 100	61.17	52.02	41.48	55.78	90.63	34.25	94.07	89.79	96.26	56.73	86.66	87.02	66.97	82.81	94.76	87.34	92.21	93.97	93.97	6.40
No. 200	55.95	43.93	36.97	51.25	87.98	24.45	92.62	87.71	93.88	55.07	85.22	86.08	59.68	81.64	91.85	84.21	90.45	91.82	91.82	6.13
LIM LIQUIDO	48.10	48.35	47.03	48.40	47.55	47.10	47.45	46.15	50.40	52.25	50.40	48.05	49.20	48.75	44.50	47.40	47.20	63.40	47.55	
LIM PLASTICO	33.89	31.82	34.48	35.75	31.35	31.08	30.87	30.28	31.65	29.30	32.58	31.76	32.73	30.48	28.35	31.94	31.06	35.47	29.55	
I.P.	14.21	16.53	12.55	12.65	16.20	16.02	16.58	15.87	18.75	22.95	17.82	16.29	16.47	18.27	16.15	15.46	16.14	27.93	18.00	
HUM NATURAL	27.35	29.40	30.14	29.19	24.96	27.71	24.84	32.29	27.76	32.82	34.48	28.47	28.32	23.30	29.76	24.50	31.03	28.45	23.40	
CLASIFICACIÓN	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-2.7	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.6	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.6	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-2.7	
	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARE ARCI	ARCILLA	ARE ARCI												
P.U.HUM SUELTO	1025	855	1055	913	1028	939	1049	1063	850	950	926	963	1142	1070	998	1063	1028	999	991	
P.U.HUM VARILLADO	1119	988	1185	1039	1163	1081	1172	1142	1057	1119	1137	1136	1267	1216	1139	1086	1131	1134	1079	
P.U. SECO SUELTO	1011	988	1060	923	1099	940	1014	1031	1066	1111	934	1135	1089	1105	1082	1090	1037	1160	1218	
P.U. SECO VARILLADO	1113	1084	1152	1019	1240	1049	1182	1234	1156	1233	1084	1233	1192	1326	1164	1234	1140	1294	1348	
% HUMEDAS OPT	26.8	29.9	28.9	31.6	27.6	29.2	26.6	24.9	28.5	22.2	27.8	26.5	27.2	25.6	28.7	26.2	24.4	26.1	27.8	
P.U.S. (PROCTOR) Lb/piel3	96.75	92.20	93.51	90.36	94.40	92.76	94.45	96.72	93.05	97.85	92.60	95.53	99.70	99.02	94.55	96.25	96.20	93.86	92.30	
P.U.S. (PROCTOR) Kg/m3	1,550	1,477	1,498	1,447	1,512	1,486	1,513	1,549	1,490	1,567	1,483	1,530	1,597	1,586	1,514	1,542	1,541	1,503	1,478	
C.B.R.	11.32	10.50	10.85	7.23	11.33	7.30	7.56	6.50	14.80	6.00	6.05	5.80	22.30	6.50	17.20	9.10	7.47	3.65	3.90	
Grav Esp Bruta BULK	1.55	1.49	1.56	1.55	1.59	1.58	1.60	1.60	1.53	1.73	1.51	1.62	1.71	1.65	1.62	1.65	1.61	1.64	1.65	
Grav Esp Efectiva (s.s.s.)	2.01	1.94	2.02	2.00	1.99	2.02	1.99	2.01	1.98	2.07	1.95	2.03	2.13	2.05	2.04	2.06	2.03	2.04	2.05	
Grav Esp Aparente	2.84	2.74	2.91	2.81	2.66	2.84	2.64	2.73	2.80	2.62	2.70	2.76	2.96	2.77	2.80	2.77	2.79	2.72	2.76	
ABSORCIÓN	29.31	30.78	29.65	28.76	25.22	28.21	24.60	25.75	29.77	19.59	29.30	25.66	24.69	24.60	26.17	24.53	26.36	24.10	24.53	

POZO	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56
MUESTRA																			
3/4"	---	---	---	100.00	---	---	---	100.00	---	100.00	100.00	100.00	---	---	100.00	---	---	---	100.00
3/8"	100.00	100.00	100.00	96.90	---	100.00	100.00	87.07	---	85.64	98.89	97.55	100.00	100.00	98.92	100.00	100.00	100.00	99.64
No. 4	97.45	96.66	99.05	92.23	100.00	99.15	99.56	77.36	100.00	83.09	94.89	93.35	99.79	99.70	97.92	99.96	99.93	99.54	99.30
No. 10	92.98	91.84	98.24	88.18	99.90	95.42	98.37	66.10	99.69	80.14	90.32	88.29	97.63	98.00	95.12	99.31	99.28	98.06	97.47
No. 40	89.60	80.41	97.19	82.21	99.58	85.04	94.24	54.88	92.50	73.09	81.15	80.66	89.35	90.87	86.50	93.28	93.22	91.01	88.29
No. 100	87.34	74.52	96.13	78.86	98.39	75.33	92.56	50.16	85.20	67.85	73.81	75.10	84.01	85.69	79.02	85.34	86.94	85.27	80.39
No. 200	84.52	70.54	94.74	75.87	94.75	70.43	91.23	47.06	81.00	64.08	67.14	69.88	80.31	82.98	75.15	79.02	82.19	81.06	74.75
LIM LIQUIDO	50.40	47.47	46.55	27.80	NL	59.75	53.25	39.90	56.30	37.50	27.90	29.50	47.40	46.70	44.03	46.40	41.10	55.50	60.75
LIM PLASTICO	30.21	29.23	28.42	25.72	NP	38.54	33.65	24.89	39.69	24.70	20.82	17.94	34.63	31.00	31.46	31.02	32.06	33.07	31.68
I.P.	20.19	18.24	18.13	2.08	---	21.21	19.60	15.01	16.61	12.80	7.08	11.56	12.77	15.70	12.57	15.38	9.04	22.43	29.07
HUM NATURAL	25.66	26.44	23.74	20.76	26.75	28.06	28.3	21.26	25.27	7.25	11.42	12.04	26.43	27.90	41.58	27.50	29.30	30.28	28.85
CLASIFICACIÓN	A-7.5	A-7.6	A-7.6	A-4	A-4	A-7.5	A-7.5	A-6	A-7.5	A-6	A-4	A-6	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-5	A-7.5	A-7.5
	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	LIMO	ARE LIM	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	LIMO	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	LIM ARC	ARCILLA	ARCILLA
P.U.HUM SUELTO	996	911	1041	1059	1025	1009	911	1094	1070	1089	1155	1246	1041	1046	770	1060	1006	1023	999
P.U.HUM VARILLADO	1150	1124	1153	1313	1224	1136	1100	1179	1185	1163	1297	1369	1110	1123	1055	1150	1076	1084	1065
P.U. SECO SUELTO	987	984	1127	1131	954	918	1033	1137	914	1039	1084	1166	983	1020	932	991	929	932	865
P.U. SECO VARILLADO	1112	1111	1251	1303	1043	983	1126	1188	963	1132	1185	1341	1039	1137	982	1079	988	1019	943
% HUMEDAS OPT	26.00	26.10	24.60	16.10	18.80	31.00	29.60	22.90	32.70	27.75	20.70	19.00	34.80	30.20	29.77	30.60	34.80	33.20	31.30
P.U.S. (PROCTOR) Lb/piel3	96.05	94.10	96.50	108.15	96.74	93.57	92.57	105.73	90.50	97.30	109.40	111.07	88.23	92.27	93.16	93.66	89.73	90.15	90.93
P.U.S. (PROCTOR) Kg/m3	1,538	1,507	1,546	1,732	1,549	1,499	1,483	1,693	1,449	1,558	1,752	1,779	1,413	1,478	1,492	1,500	1,437	1,444	1,456
C.B.R.	6.60	9.40	4.80	21.90	5.70	11.90	4.87	4.73	4.92	5.96	12.00	6.72	10.55	7.98	14.00	14.15	11.95	14.10	12.10
Grav Esp Bruta BULK	1.66	1.70	1.61	2.10	2.60	1.57	1.58	1.90	1.58	1.68	1.89	1.93	1.55	1.63	1.60	1.57	1.60	1.46	1.54
Grav Esp Efectiva (s.s.s.)	2.05	2.06	2.00	2.30	2.61	2.00	2.02	2.23	2.01	2.10	2.20	2.22	1.98	2.07	2.03	2.01	2.04	1.88	1.97
Grav Esp Aparente	2.70	2.68	2.63	2.64	2.64	2.74	2.81	2.85	2.79	2.88	2.75	2.72	2.70	2.91	2.81	2.82	2.87	2.52	2.72
ABSORCIÓN	23.06	21.60	23.98	9.77	0.58	27.01	27.62	17.55	27.55	24.69	16.64	14.94	27.33	27.01	26.69	28.21	27.55	28.87	28.31

POZO	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	
MUESTRA																				
3"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2 1/2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	100.00	100.00	100.00	---	---	---
2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4"	---	100.00	100.00	---	---	100.00	---	---	100.00	100.00	100.00	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/8"	100.00	99.89	99.79	100.00	100.00	99.89	100.00	100.00	99.21	98.70	99.79	99.88	99.33	98.90	48.60	45.50	13.83	48.04	100.00	
No. 4	99.15	98.85	98.67	98.39	97.23	94.66	99.89	99.74	98.86	98.60	99.49	99.67	99.19	98.78	47.99	42.38	10.95	39.54	99.89	
No. 10	94.73	95.83	95.28	94.03	91.37	87.74	97.08	98.69	96.86	96.89	98.56	98.74	98.08	98.05	47.58	40.57	9.64	33.52	99.54	
No. 40	84.71	84.59	81.41	83.33	80.69	78.06	91.98	90.16	87.71	89.18	91.17	94.10	92.51	92.31	46.17	37.85	8.66	29.35	94.65	
No. 100	77.57	76.63	71.75	70.39	69.88	68.26	88.66	81.33	80.95	83.02	84.21	89.34	85.84	83.94	45.27	36.83	8.00	27.27	91.08	
No. 200	71.29	72.89	67.22	63.02	63.99	63.31	85.41	77.24	76.97	78.34	76.95	84.96	80.38	77.37	44.54	36.35	7.74	22.47	89.39	
LIM LIQUIDO	56.90	56.00	53.10	47.03	58.70	43.10	54.90	49.20	47.70	36.50	37.25	48.50	48.50	47.50	52.85	52.80	50.10	32.65	53.20	
LIM PLASTICO	33.14	33.62	34.03	35.70	35.60	33.98	30.39	34.73	34.70	32.45	32.03	31.44	33.44	33.70	32.93	31.52	30.40	17.78	35.61	
I.P.	23.76	22.38	19.07	11.33	23.10	9.12	24.51	14.47	13.00	4.05	5.22	17.06	15.06	13.80	19.92	21.28	19.70	14.87	17.59	
HUM NATURAL	26.25	28.06	31.49	26.72	29.92	27.68	28.32	35.51	31.68	26.17	28.28	34.12	43.84	31.77	30.2	26.1	24.8	31.20	29.9	
CLASIFICACIÓN	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-4	A-4	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-7.5	A-2.7	A-2.6	A-7.5	
	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	LIMO	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	LIMO	LIMO	ARCILLA								
P.U.HUM SUELTO	1062	977	983	1075	1139	1015	878	977	841	1033	1110	913	898	839	1014	1014	1337	1164	874	
P.U.HUM VARILLADO	1171	1062	1076	1182	1208	1121	996	1019	947	1153	1200	995	1001	980	1150	1318	1542	1488	1105	
P.U. SECO SUELTO	947	903	953	993	999	932	939	953	882	953	958	1044	1043	999	955	1007	1339	1073	870	
P.U. SECO VARILLADO	1027	999	1003	1035	1091	1017	1007	1039	935	998	1027	1136	1132	1057	1115	1203	1510	1328	969	
% HUMEDAS OPT	30.40	33.7	33.5	31.1	35.3	31.8	33.4	34.1	35.9	36.1	33.15	30.1	33.35	30.5	27.5	24.5	22.9	12.5	27.4	
P.U.S. (PROCTOR) Lb/pie3	93.33	88.31	88.35	91.75	88.15	91.00	89.76	88.25	86.20	87.30	88.80	91.60	88.97	92.45	90.05	98.18	106.17	123.32	91.50	
P.U.S. (PROCTOR) Kg/m3	1.495	1.414	1.415	1.469	1.412	1.457	1.438	1.413	1.381	1.398	1.422	1.467	1.425	1.481	1.442	1.572	1.700	1.975	1.465	
C.B.R.	20.40	19.30	13.40	14.60	13.75	16.75	7.38	9.95	6.60	12.65	14.55	16.60	17.30	12.60	4.30	6.10	59.70	35.60	9.10	
Grav Esp Bruta BULK	1.61	1.49	1.52	1.54	1.54	1.55	1.58	1.51	1.51	1.56	1.59	1.51	1.53	1.55	1.59	1.57	1.68	2.21	1.54	
Grav Esp Efectiva (s.s.s.)	2.05	1.96	1.99	1.99	2.00	1.99	2.02	1.99	1.98	1.99	2.05	1.97	1.99	1.99	2.02	2.00	2.05	2.37	1.98	
Grav Esp Aparente	2.85	2.83	2.89	2.79	2.87	2.78	2.82	2.89	2.84	2.72	2.97	2.79	2.86	2.79	2.77	2.74	2.65	2.62	2.73	
ABSORCIÓN	26.90	31.81	31.35	29.09	30.21	28.31	27.99	31.46	31.00	27.23	29.42	30.32	30.55	28.76	26.65	27.13	21.77	6.95	28.30	

POZO	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	
MUESTRA																				
3"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2 1/2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1 1/2"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
1"	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
3/4"	---	---	100.00	---	---	---	---	---	---	100.00	---	100.00	100.00	---	---	---	---	---	---	---
3/8"	100.00	---	99.46	100.00	100.00	---	100.00	100.00	100.00	98.37	100.00	96.14	91.05	78.91	100.00	100.00	99.05	99.23	99.79	
No. 4	99.55	100.00	99.31	99.90	99.93	100.00	98.56	96.76	99.86	98.37	99.80	95.77	90.01	74.00	99.85	99.98	98.48	95.58	99.48	
No. 10	99.21	99.77	99.13	99.42	99.37	99.91	96.97	97.18	99.18	97.89	99.53	95.23	89.18	70.99	99.43	99.78	97.87	91.08	98.47	
No. 40	97.97	98.20	98.09	90.94	96.27	98.88	93.00	92.98	97.00	93.19	97.12	89.35	84.77	66.58	94.05	96.81	93.42	86.37	93.67	
No. 100	96.42	96.53	96.88	86.37	94.02	97.36	89.92	90.65	95.59	89.59	93.58	85.05	80.86	59.90	89.64	92.64	88.34	82.52	89.58	
No. 200	94.82	94.68	95.82	83.37	91.80	95.99	86.75	88.83	94.07	86.49	91.05	82.04	77.95	56.06	85.74	89.77	84.75	77.96	86.09	
LIM LIQUIDO	52.80	52.20	53.80	58.90	55.85	56.50	51.00	49.10	58.00	49.70	52.20	51.60	52.00	43.60	53.41	47.00	41.80	51.59	51.65	
LIM PLASTICO	33.99	36.19	33.94	37.24	31.52	34.53	31.93	31.19	37.33	33.76	35.90	33.40	33.51	18.96	33.67	32.99	32.89	36.08	33.63	
I.P.	18.81	16.01	19.86	21.66	24.33	21.97	19.07	17.91	20.67	15.94	16.30	18.20	18.49	24.64	19.74	14.01	8.91	15.51	18.02	
HUM NATURAL	30.5	27.4	30.2	27.9	26.3	32.3	33.6	29.7	26.4	29.8	31.6	34.36	32.37	23.92	28.72	33.01	24.16	24.10	31.7	
CLASIFICACIÓN	A-7.5	A-7.6	A-7.5	A-7.5	A-5	A-7.5	A-7.5													
	ARCILLA	LIMO	ARCILLA	ARCILLA																
P.U.HUM SUELTO	950	1137	963	985	846	842	1063	1137	1015	939	871	834	874	1257	913	990	897	993	830	
P.U.HUM VARILLADO	1174	1206	1224	1147	1099	1049	1140	1270	1115	1107	1160	934	998	1270	975	1075	993	1044	953	
P.U. SECO SUELTO	964	908	924	934	874	873	956	963	867	903	889	929	1003	1164	882	947	937	924	881	
P.U. SECO VARILLADO	1124	1031	1070	1039	1004	983	1075	1047	966	1019	991	979	1087	1264	969	1009	1025	983	985	
% HUMEDAS OPT	27.00	29.6	29.4	27.2	27.9	28.8	26.2	29.7	29.3	26.9	28.3	34.1	35	32.3	32.22	31.5	30.45	33.3	32.2	
P.U.S. (PROCTOR) Lb/pie3	91.70	89.60	91.20	90.95	92.20	91.33	93.00	90.41	88.60	95.45	93.31	88.18	88.58	94.80	88.76	89.78	91.30	88.02	90.53	
P.U.S. (PROCTOR) Kg/m3	1.469	1.435	1.461	1.457	1.477	1.463	1.489	1.448	1.419	1.529	1.494	1.412	1.419	1.518	1.422	1.438	1.462	1.410	1.450	
C.B.R.	7.20	18.10	12.70	6.35	5.20	5.80	2.60	5.20	6.27	15.50	6.20	7.25	8.20	14.10	6.90	13.70	12.30	17.10	12.25	
Grav Esp Bruta BULK	1.58	1.46	1.52	1.55	1.59	1.54	1.58	1.59	1.47	1.65	1.55	1.53	1.56	1.63	1.54	1.51	1.57	1.51	1.50	
Grav Esp Efectiva (s.s.s.)	2.01	1.95	1.96	1.96	2.01	1.97	2.01	2.00	1.92	2.07	1.98	2.00	2.01	2.03	2.00	1.96	2.01	1.97	1.95	
Grav Esp Aparente	2.76	2.83	2.72	2.64	2.73	2.73	2.79	2.70	2.70	2.81	2.71	2.88	2.84	2.73	2.87	2.74	2.81	2.76	2.72	
ABSORCIÓN	27.13	33.08	28.87	26.71	26.23	28.30	27.55	25.63	31.06	24.94	27.71	30.61	28.76	24.69	30.21	29.65	27.99	29.87	29.98	

POZO	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113
MUESTRA																			
3/4"	100.00	---	---	---	---	---	100.00	100.00	---	100.00	---	100.00	---	100.00	100.00	100.00	100.00	---	---
3/8"	99.86	---	100.00	100.00	100.00	100.00	99.45	98.68	100.00	87.98	100.00	86.53	100.00	95.64	98.02	92.87	99.46	100.00	100.00
No. 4	99.86	100.00	99.93	99.74	99.93	99.87	99.13	98.46	99.70	87.30	99.21	68.55	99.27	87.50	97.52	87.20	98.06	99.69	99.69
No. 10	99.52	99.67	98.36	98.87	98.64	98.48	97.13	97.09	97.62	85.33	97.42	51.98	98.02	80.47	96.36	82.52	95.81	98.95	99.01
No. 40	96.07	96.63	92.36	95.77	89.60	89.25	85.13	91.00	86.17	73.29	85.02	36.75	93.50	71.65	94.35	74.46	89.94	95.99	95.61
No. 100	92.18	92.08	86.80	92.22	82.63	81.89	77.23	84.20	78.38	67.02	76.16	28.53	87.13	61.18	92.36	68.89	88.10	93.61	91.84
No. 200	89.76	89.26	83.22	89.17	78.24	77.86	73.51	79.85	73.50	64.90	73.77	18.08	83.78	55.53	90.44	65.29	83.50	91.46	88.77
LIM LIQUIDO	52.60	58.55	51.40	57.00	53.05	55.60	58.40	58.80	47.40	57.05	51.50	NL	56.05	28.95	88.35	49.85	85.05	84.30	42.25
LIM PLASTICO	37.95	34.77	35.81	35.64	33.09	35.90	36.28	35.87	29.74	33.17	35.20	NP	34.25	18.75	42.84	26.87	40.55	35.91	26.20
I.P.	14.65	23.78	15.59	21.36	19.96	19.70	22.12	22.93	17.66	23.88	16.30	---	21.80	10.20	45.51	22.98	44.50	48.39	16.05
HUM NATURAL	33.33	26.68	28.11	30.47	28.16	33.18	40.34	32.80	36.50	30.40	33.60	9.37	26.01	17.77	29.16	25.67	39.92	30.06	27.87
CLASIFICACIÓN	A-7-5	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-2-4	A-7-5	A-4	A-7-5	A-7-6	A-7-5	A-7-5	A-7-6							
	ARCILLA	POMEZ	ARCILLA	LIM ARE	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA	ARCILLA										
P.U.HUM SUELTO	833	947	955	890	908	894	937	879	862	1001	923	1451	975	1139	854	948	737	814	1039
P.U.HUM VARILLADO	999	1038	1049	995	974	1030	993	940	1035	1099	1017	1608	1067	1227	956	1095	918	993	1119
P.U. SECO SUELTO	1014	956	931	884	847	890	934	969	966	1039	993	1461	996	1182	972	1023	911	1036	948
P.U. SECO VARILLADO	1115	1055	1028	977	913	974	987	1017	999	1075	1065	1574	1065	1265	1078	1078	998	1118	1035
% HUMEDAS OPT	36.30	32.3	32.4	34.5	34.4	34.5	31.7	31.2	34.2	33.9	35.8	13.7	31	18.5	30.4	21.9	23.7	25.4	27.2
P.U.S. (PROCTOR) Lb/pie3	86.27	90.93	89.70	87.90	87.98	87.75	93.35	91.07	89.20	88.90	86.57	119.65	92.26	109.45	89.25	104.63	96.57	95.46	95.93
P.U.S. (PROCTOR) Kg/m3	1,382	1,456	1,437	1,408	1,409	1,405	1,495	1,459	1,429	1,424	1,386	1,916	1,478	1,753	1,429	1,676	1,547	1,529	1,536
C.B.R.	11.00	6.57	10.50																
Grav Esp Bruta BULK	1.46	1.53	1.51	1.44	1.52	1.47	1.55	1.62	1.60	1.49	1.44	2.54	1.62	1.80	1.71	2.03	1.85	1.74	1.69
Grav Esp Efectiva (s.s.s.)	1.93	1.98	1.97	1.93	1.99	1.93	1.99	2.06	2.04	1.96	1.93	2.56	2.04	2.14	2.10	2.29	2.21	2.14	2.08
Grav Espe Aparente	2.76	2.76	2.78	2.80	2.84	2.70	2.77	2.90	2.85	2.83	2.79	2.61	2.81	2.74	2.79	2.76	2.89	2.89	2.76
ABSORCIÓN	32.16	28.98	30.21	33.45	30.43	30.78	28.31	27.23	27.33	31.69	33.45	1.08	26.26	18.95	22.65	13.04	19.43	22.75	22.85

POZO	114A	114B	115	116	0
MUESTRA	BANCO	BANCO	BANCO	BANCO	POZO
3"					---
2 1/2"				100.00	---
2"				88.77	---
1 1/2"				75.98	---
1"				66.15	---
3/4"				62.40	---
3/8"				50.40	100.00
No. 4				39.96	99.98
No. 10				33.40	99.77
No. 40				26.36	94.98
No. 100				16.83	87.76
No. 200				6.08	82.48
LIM LIQUIDO	34.70	28.85	NL	NL	47.60
LIM PLASTICO	18.52	16.78	NP	NP	30.87
I.P.	16.18	12.07	---	---	16.73
HUM NATURAL	10.69	9.63	6.46	0.88	27.97
CLASIFICACIÓN	A-6	A-6	A-1-b	A-2-4	
	ARC AREN CON GRAVA	ARC AREN CON GRAVA	ARENA Y GRAVA	POMEZ Y GRAVA	
P.U.HUM SUELTO	1188	1326	1363	1504	1001
P.U.HUM VARILLADO	1305	1406	1480	1645	1068
P.U. SECO SUELTO	1244	1283	1406	1578	895
P.U. SECO VARILLADO	1304	1365	1489	1747	961
% HUMEDAS OPT	11.80	11.1	11.3	11.3	31
P.U.S. (PROCTOR) Lb/pie3	127.17	127.44	119.20	119.83	91.74
P.U.S. (PROCTOR) Kg/m3	2,037	2,041	1,909	1,919	1,469
C.B.R.					
Grav Esp Bruta BULK	2.14	2.20	2.48	2.65	1.58
Grav Esp Efectiva (s.s.s.)	2.35	2.40	2.53	2.68	2.05
Grav Espe Aparente	2.70	2.73	2.61	2.72	2.97
ABSORCIÓN	9.81	8.85	1.97	0.94	29.53

4. Geología y Geotecnia

Se realizó un reconocimiento geológico del tramo, se realizan recomendaciones geotécnicas relacionadas a los taludes, bancos de materiales, drenaje y pavimento. A continuación, se presenta el estudio geológico y recomendaciones geotécnica

ESTUDIO GEOLÓGICO

Proyecto Pavimento Carretera,

LAS CRUCES – BETHEL,

Departamento de El Petén.



Abril 2,017

INDICE

1. Resumen.....	4
2. Introducción.....	5
2.1. Descripción Del Proyecto.....	5
2.2. Objetivos.....	6
2.3. Metodología De Trabajo.....	6
3. Información General.....	7
3.1. Datos Generales.....	7
3.2. Acceso.....	7
4. Geología.....	10
4.1. Geología Regional.....	10
4.2. Geología Local.....	11
4.2.1. Unidad De Suelo Residual.....	11
4.2.2. Unidad De Relieve Ondulado.....	13
4.2.3. Unidad De Rocas Plegadas.....	15
5. Geotécnia.....	18
5.1. Interpretación De Resultados De Laboratorio.....	18
5.1.1. Unidad De Suelo Residual.....	18
5.1.2. Rocas Plegadas.....	19
5.2. Bancos De Materiales.....	21
5.2.1. Antecedentes Técnicos.....	21
5.2.2. Banco Los Amantes.....	21
5.2.3. Banco El Mirador.....	22
5.2.4. Nuevos Bancos.....	22
5.3. Recomendaciones Geotécnicas.....	23
5.4. Taludes.....	23
5.5. Estructuras De Drenaje Mayor Y Menor.....	23
5.6. Pavimento.....	24
6. Conclusiones.....	25
6.1. Geológicas.....	25
6.2. Geotécnicas.....	25
7. Referencias.....	26
8. Anexos.....	27

Figuras

Figura 1. Trazo de la ruta las Cruces – Bethel.....	8
Figura 2. Trazo de la ruta las Cruces – Bethel, sobre mapa de red Vial	9
Figura 3. Mapa Geomorfológico de Guatemala	10
Figura 4. Mapa Geológico del trazo de la ruta	17
Figura 5. Columna estratigráfica	20
Figura 2. Columna estratigráfica levantada en corte de finca San Agustín.....	14
Figura 2. Columna estratigráfica levantada en corte de finca San Agustín.....	14

Fotografías

Fotografía 1. Afloramiento en el Rios los Encuentros	11
Fotografía 2. Afloramiento de Basalto en carcava de camino	12
Fotografía 3. Vista panorámica de la planicie de Peten.....	12
Fotografía 4. Vista de monticuloes en forma de campana, unidad relieve ondulado.....	13
Fotografía 5. Vista relieve ondulado, peniplanicie.....	14
Fotografía 6 Afloramiento unidad de rocas plegadas.....	15
Fotografía 7. Vista de las serranias de Bethel	16
Fotografía 8. Fracturas de la unidad de calizas plegadas	19
Fotografía 9. Intensidad de las fracturas de la unidad de caliza plegada	22

1. RESUMEN

El presente informe corresponde al estudio Geológico solicitado por la empresa HIDRAES, para la planificación, diseño y de la pavimentación de la carretera que une la cabecera del municipio de Las Cruces con la población fronteriza con México de Bethel, en el departamento de El Petén. Actualmente la ruta es una carretera de terracería de 53 kilómetros y el proyecto comprende la pavimentación del mismo. Para llegar al proyecto se deben de recorrer aproximadamente 500 km desde la ciudad de Guatemala.

El sustrato de la ruta está formado por tres unidades geotécnicas, la primera es un suelo fino, de color rojizo, plástico, que se estima que corresponde con el 80 % de la longitud de la ruta; La segunda unidad es la unidad de Relieve Ondulado, que es una mezcla suelo-roca, corresponde con el horizonte C del suelo y es una mezcla de partículas de roca inmersas en una matriz de suelo limoso; se estima que esta unidad se encuentra en un 15 % de la longitud del tramo. Por último se encuentra la unidad de Rocas Plegadas, que es la roca madre, y consiste de calizas dolomíticas, que es una roca competente, pero el cuerpo de roca generalmente se encuentra muy fracturado, debido a esfuerzos que sufrieron durante el proceso de plegamiento; esta unidad puede encontrarse en un 5 % de la longitud del tramo. Las rocas se formaron en un ambiente de plataforma continental y luego al emerger estuvieron sujetas a procesos de abrasión y disolución, originando una peniplanicie.

La unidad de Suelo Residual, corresponde con el horizonte B del perfil de desarrollo del suelo y se clasifica como A 7 6 (según AASHTO). Los suelos que se agrupan en esta categoría, presentan pobres propiedades geotécnicas para el propósito de carreteras. La unidad de rocas plegadas, como calidad de roca se considera competente, sin embargo, como cuerpo de roca se encuentra intensamente fracturado. Esta unidad como soporte se considera muy buena y si hubiera necesidad de hacer cortes, es importante tomar en cuenta la influencia de los bloques caídos. La unidad de Relieve Ondulado por ser una mezcla de suelo-roca, su comportamiento va a estar determinado por el material dominante, de acuerdo a esto, se puede comportar como cualquiera de las unidades anteriores.

Con relación a los bancos de materiales, se hizo una reseña de los antecedentes técnicos de los bancos del área de El Petén, para que sean tomados en cuenta para la planificación del proyecto. Considerando la longitud del trazo, es conveniente desarrollar uno o dos bancos de materiales, para reducir los costos del acarreo. El material de la unidad de Rocas Plegadas es un buen material para el cimiento de la carretera (sub base y base). El material para el pavimento se debe de estudiar a profundidad, para evitar los problemas anteriormente indicados.

Considerando los antecedentes del registro histórico, es importante poner especial atención en los temas de hidrología e hidráulica del proyecto, ya que la población y el trazo se encuentran en una zona con amenazas de inundación. La amenaza sísmica no es factor importante para este proyecto.

2. INTRODUCCIÓN.

2.1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

El proyecto consiste en planificar la pavimentación de un tramo de carretera, que el estado planea construir, en el departamento de El Petén, para completar el pavimento hasta la zona fronteriza con México. Este tramo inicia 5 km después de la cabecera del municipio de Las Cruces y camino hasta llegar a la población de Bethel en la zona fronteriza con México, en la ribera del río Usumancinta. Para llegar al proyecto se recorre una distancia de 500 kilómetros.

La carretera tiene una longitud de 63 kilómetros y es una pista de 2 carriles (1 en cada sentido), que va a comunicar el municipio de Las Cruces varias poblaciones intermedias, hasta llega a la zona fronteriza en Bethel. El proyecto se encuentra en una zona plana y corre paralelo a una serranía de la localidad.

A lo largo de este tramo, la densidad poblacional es baja y el derecho de ya está establecido por la ruta de tercerera por lo que el terreno se encuentra preparado para los trabajos.

2.2. OBJETIVOS.

- a. Delimitar las unidades geológicas por las que atraviesa el proyecto, y que se van a afectar por los trabajos de construcción.
- b. Describir las características físicas de las unidades geológicas, para facilitar el reconocimiento en el campo durante la etapa de construcción.
- c. Prever la forma en que se van a comportar las unidades geológicas durante la intervención y en la etapa de funcionamiento de la carretera.

2.3. METODOLOGÍA DE TRABAJO.

Para llevar a cabo el estudio geológico se realizaron las siguientes actividades:

- i. Estudio de planos, mapas topográficos y geológicos, e imágenes de satélite para reconocer la extensión de las unidades.
- ii. Recorridos de campo a lo largo del trazo de la ruta ubicando, analizando y describiendo los afloramientos para determinar las características de los materiales que conforman el sustrato.
- iii. Confirmar en el campo el grado de amenaza que los principales fenómenos naturales pueden afectar al proyecto, a lo largo del trazo.

3. INFORMACIÓN GENERAL.

3.1. DATOS GENERALES

El proyecto se ha denominado “Estudio geológico del proyecto de pavimentación de la carretera entre las poblaciones Las Cruces - Bethel, en el departamento de El Petén”. Actualmente la carretera es de terracería, y el proyecto consiste de la planificación del pavimento de 63 km de carretera. Esta carretera comunica el municipio de Las Cruces, con el puesto fronterizo con México Bethel. Para el presente proyecto, se estima que se requiere como mínimo de un derecho de vía de 25 m de ancho, de los cuales, se utilizan 14.5 m de ancho de carretera pavimentada, ancho restante incluir, hombros, cunetas, taludes del relleno y/o ancho para desarrollo de talud de corte. En la figura No. 1 se presenta una copia del mapa topográfico de Guatemala, escala 1:50,000, en donde se resalta el trazo del proyecto.

3.2. ACCESO

Para llegar al Proyecto desde la ciudad de Guatemala, vía Río Dulce, se toma la carretera CA – 9 Norte hasta la población de La Ruidosa (aproximadamente 240 km), luego se continúa por la carretera CA – 13 hasta la población de Santa Ana, El Petén, en este punto se toma la ruta Nacional No. 11 que pasa por las poblaciones de San Francisco, La Libertad, El Subín y finalmente Las Cruces; se estima que desde la ciudad de Guatemala a la cabecera del municipio hay una distancia de 500 km. En la figura No. 2 se presenta una parte del mapa de la red vial de Guatemala, donde se delinea el trazo de la ruta. De Las Cruces a Bethel, actualmente existe una carretera de terracería en condiciones de regular a mala.

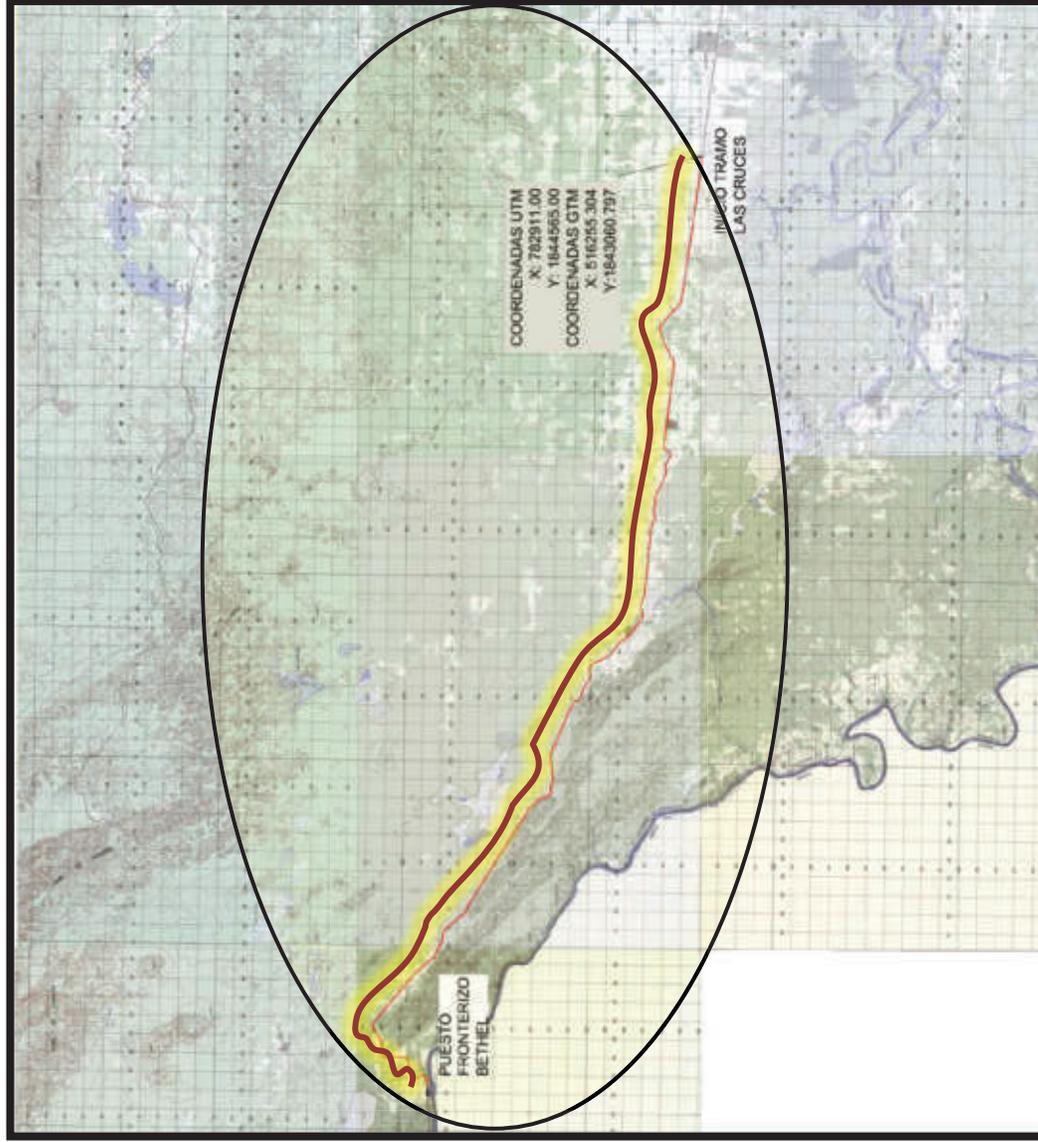


Figura No. 1. Trazo de la ruta Las Cruces - Bethel, sobre copia de mapa topográfico de Guatemala, escala 1:50,000.

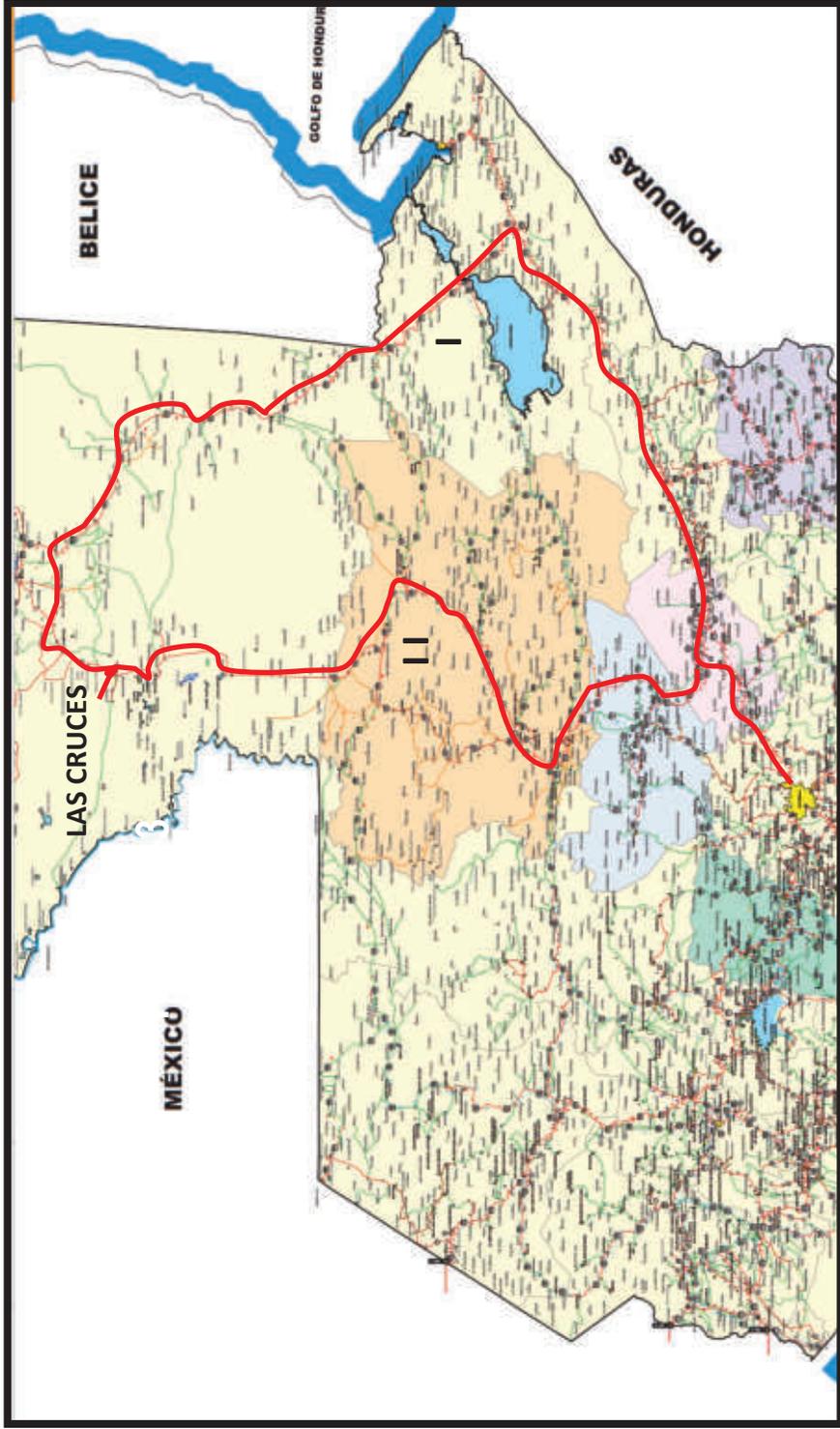


Figura No. 2. Trazo de la ruta hacia Las Cruces, sobre copia de mapa de la red vial de Guatemala.
I) Vía Río Dulce, II) Vía Cobán.

4. GEOLOGÍA.

4.1. GEOLOGÍA REGIONAL.

El territorio nacional se ha dividido en cuatro provincias fisiográficas por las características de su relieve, en la figura (Fig. No. 3) se presenta el mapa de estas provincias fisiográficas de Guatemala. El proyecto de carretera de Las Cruces – Bethel, se ubica en la provincia de las Tierras Bajas de El Petén, que es una plataforma carbonatada asociada a la península de Yucatán, donde por precipitación y sedimentación se depositó la formación Santa Amelia, en un ambiente de plataforma continental, de edad Paleoceno – Eoceno Inferior. Esta plataforma al emergió del ambiente marino, y quedando expuesta desde el Mioceno, donde ha sufrido procesos de disolución y abrasión originando una peniplanicie.

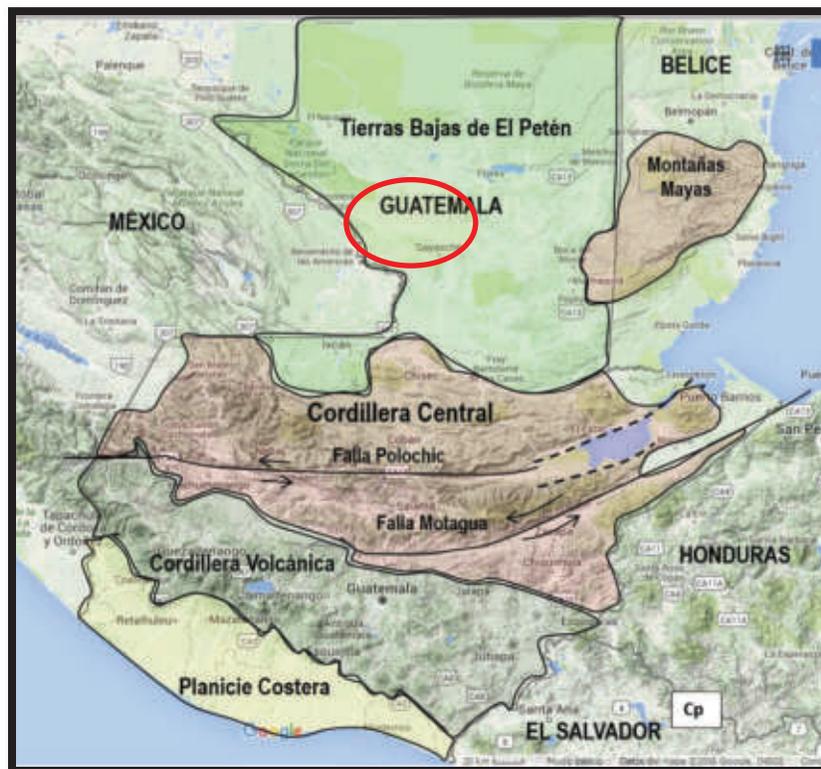


Figura No. 3. Mapa geomorfológico de Guatemala.

4.2. GEOLOGÍA LOCAL.

4.2.1. Unidad de Suelo Residual.

Este es un suelo residual, producto de la meteorización y disolución de calizas y algunas capas evaporíticas con arcilla color rojo, que se encuentran intercaladas. Estas capas afloran en superficie son de espesor variable, que pueden ser de unos centímetros a varios metros dependiendo de la profundidad que haya alcanzado la meteorización, en las fotografías No. 1 y No. 2 se presentan vistas donde se observa el suelo en superficie. De acuerdo a los resultados de los ensayos de laboratorio, el suelo es muy uniforme a lo largo del trazo del proyecto, el cual se clasifica como un limo arenoso, algo plástico (ML), a veces con un incremento de plasticidad (MH) o del contenido de arena (SM) [ASTM D- 2487]. Según AASHTO, se clasifica como A 7 6. La unidad es una peniplanicie madura correspondiente a la antigua superficie de erosión. (ver fotografía No. 3).



Fotografía No. 1. Afloramiento en el río Los Encuentros.



Fotografía No. 2. Afloramiento de basalto en cárcava del camino.



Fotografía No. 3. Vista panorámica de la planicie de El Petén.

4.2.2. Unidad de Relieve Ondulado.

Esta unidad se encuentra en un proceso intermedio de abrasión, el cual se caracteriza por la presencia de montículos adyacentes o aislados, que tienen forma de campana de bajo relieve (poca altura) y con laderas redondas, que sobresale de la planicie, como se muestra en la fotografía No. 4. La unidad aparece en varios sitios del trazo y algunas veces se reconoce debido a que en estos lugares los planificadores debieron de cambiar el trazo de la ruta para evitar cortar estas estructuras. Entre los montículos se encuentran en la planicie, presentan un suelo residual que tiene un horizonte B muy poco desarrollado, encontrándose inmediatamente el horizonte C y la Roca.



Fotografía No 4. Vista de los montículos con forma de campana de bajo perfil de la unidad de relieve ondulado.



Fotografía No 5. Vista panorámica al fondo se muestra el paisaje de relieve ondulado que se desarrolla en el proceso intermedio de peniplanicie.

4.2.3. Unidad de rocas Plegadas.

Esta unidad es una sierra formada por el plegamiento de las capas de caliza de la formación Santa Amelia, la cual está formada por capas de caliza dolomíticas y calizas, de color crema grisáceo a blanco amarillento y de textura brechosa. El trazo de la ruta cruza el flanco Nor - Este, en donde las capas de caliza dolomítica presentan una dirección de inclinación de $038^\circ / 56^\circ$; en este sitio se puede observar también una falla de estratificación. En la fotografía No. 6 se muestra una vista del flanco E del pliegue.



Fotografía No. 6. Afloramiento del flanco Norte de la estructura de la unidad de Rocas Plegadas.



Fotografía No. 7. Vista de la Serranía de Bethel.

El cuerpo de roca que se formó por el plegamiento de esta formación, se presenta intensamente fracturado, con fracturas que forman partículas aisladas, tamaño cantos y grava, y los planos de estratificación que tienen una orientación definida ($038^\circ / 56^\circ$).

En la Figura número 4, se presenta la ubicación de las unidades geológicas en el mapa geológico general del trazo del proyecto, y en el apéndice I se presenta el mapa geológico a una mayor escala.

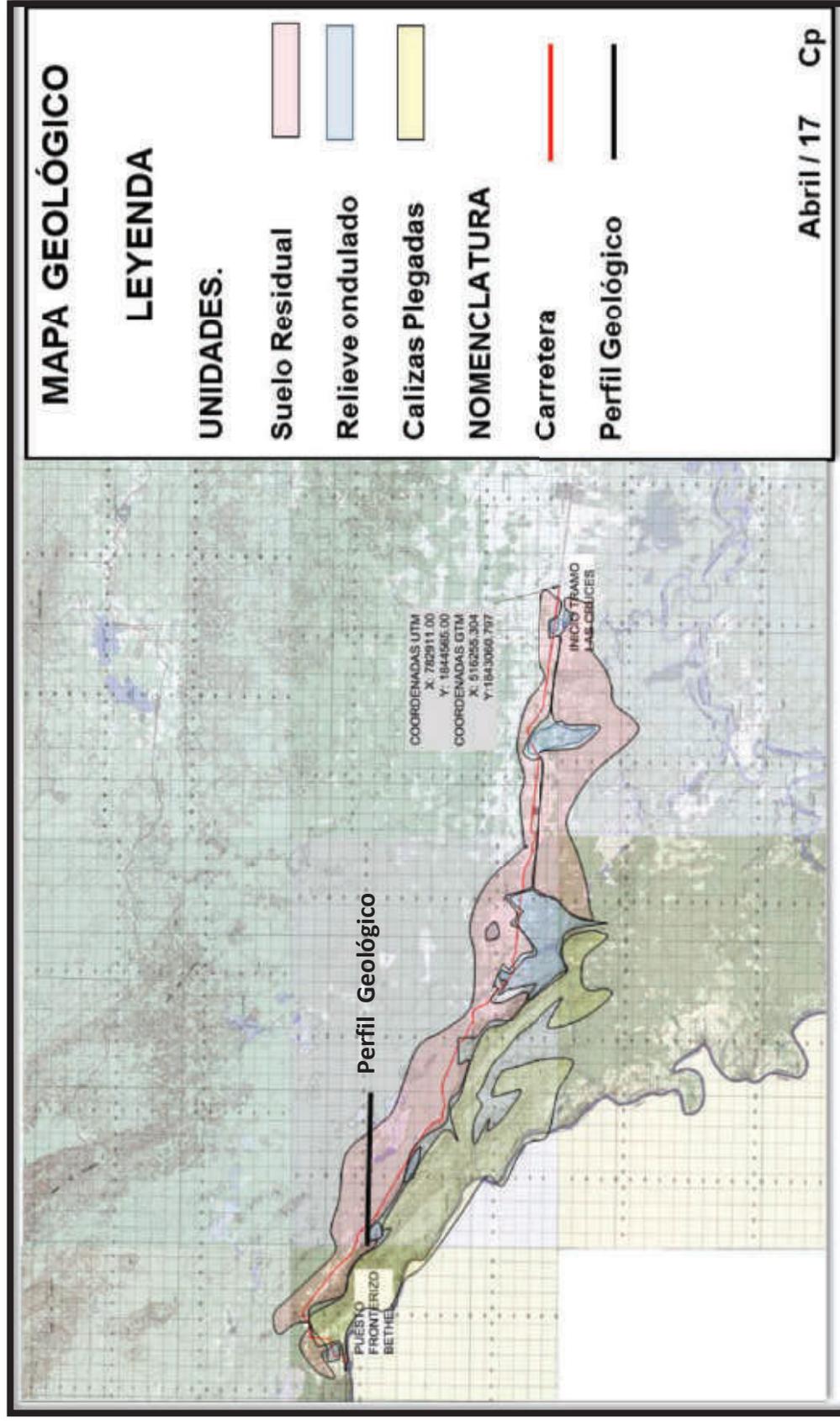


Figura No. 4. Mapa geológico del trazo de la ruta Las Cruces – Bethel, departamento de El Petén.

5. GEOTÉCNIA.

A continuación, se hace un análisis del comportamiento esperado de las unidades geológicas con relación a la intervención de la carretera mediante un enfoque geológico – geotécnico. En los Anexos se presenta un plano geológico de detalle de la carretera.

5.1. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS DE LABORATORIO.

5.1.1. Unidad de suelo residual.

Como se describió en el apartado correspondiente, la unidad está formada por un suelo residual; se estima que el 80 % del trazo corre sobre esta unidad. Este suelo suele tener un espesor mayor de 1 m, es de color rojizo, limo arenoso, de plasticidad media (SM) según norma ASTM (D – 2487), con algunas variantes en el contenido de arena y de plasticidad; El suelo representa el horizonte B de un perfil del desarrollo del suelo. Según la clasificación de suelos para carreteras de AASTHO el suelo se clasifica como A – 7 – 6, esta categoría de la clasificación, identifica a los suelos considerados como sustrato de mala calidad para la ruta, debido a que es inestable en presencia de humedad.

Una de las características de este suelo es que en presencia de humedad cambia sus propiedades mecánicas, por lo que el diseño debe mejorar estas propiedades para desarrollar un diseño acorde a una condición mejorada y obtener un sustrato estable. Debido a esta característica con relación a la humedad es recomendable poner énfasis en las condiciones de drenaje del trazo para lograr una evacuación rápida de la escorrentía.

5.1.2. Rocas Plegadas.

Esta unidad está formada por cuerpos de roca que han sufrido deformaciones estructurales que provocaron el plegamiento de las capas. Como roca se considera que es competente, sin embargo, como cuerpo de roca presenta una elevada intensidad de fracturamiento por lo que si existen coretes de talud, se debe de hacer una revisión Geotécnica específica.

Para los cortes se considera que esta roca se encuentra en una condición límite para ser escarificada (Ripabilidad) con un tractor D – 10 (Bull Dozer), y está en el límite, pues pueden existir algunos núcleos de roca aislados, que se le dificulte extraerlos con este equipo.



Fotografía No. 8. En esta foto se muestra la intensidad de fracturas de la unidad de Calizas Plegadas.

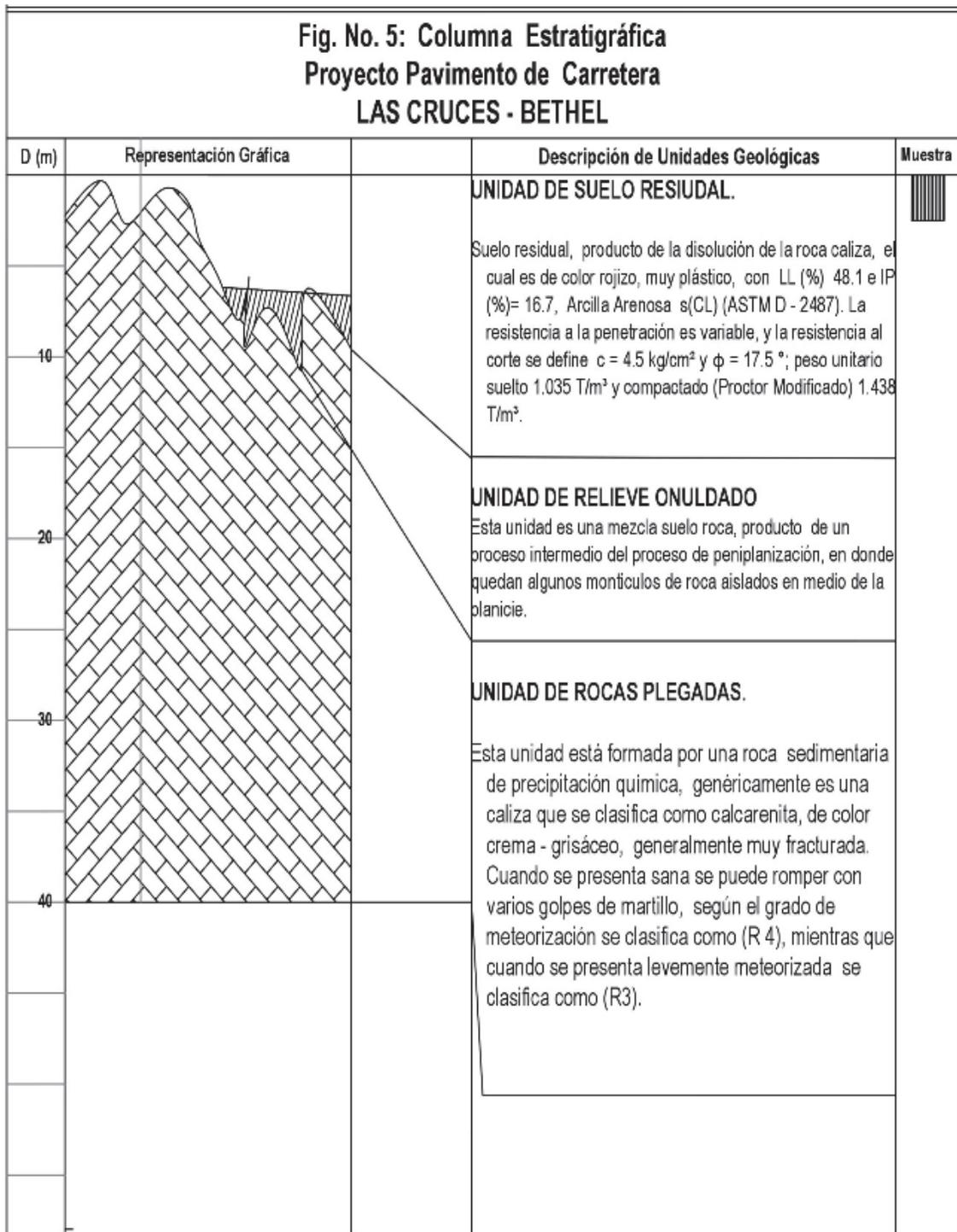


Figura No. 5. Columna estratigráfica.

5.2. BANCOS DE MATERIALES.

En este apartado, se discuten las características de los bancos de materiales que se ubicaron en el entorno del proyecto.

5.2.1. Antecedentes Técnicos.

Es bien conocido entre los profesionales de la ingeniería de caminos un antecedente crítico de los bancos de materiales que existen en el departamento de El Petén. La carretera Río Dulce – Flores originalmente fue construida con materiales de la localidad y en sus primeros años de desempeño se observó una considerable cantidad de accidentes en las curvas. Mediante un análisis de las condiciones del pavimento se determinó que la grava utilizada en el pavimento al estar en contacto con humedad, liberaba algunas partículas de arcilla que reducían la fricción; para eliminar este fenómeno, se decidió colocar una capa de mayor rugosidad sobre el pavimento para mejorar la fricción, los materiales para esta sobre capa fueron acarreados desde Río Dulce.

5.2.2. Banco Los Amantes.

Este banco se ubica a 2.5 km antes de llegar a la población de Bethel, las coordenadas UTM 1, 861,128 N – 734,740 E. Este es un banco donde existe el desarrollo de un frente, pues ya se han realizado actividades de extracción. Este es un banco formado por un cuerpo de roca, que es una caliza dolomítica brechosa, intensamente fracturada. Este banco ha sido utilizado para el mantenimiento de la actual de la terracería de la carretera.

En muestra de este banco procesada en el laboratorio de INGEOTECNIA S. A. (trituration), se determinó que con un proceso de trituración y clasificación, es factible utilizar el material de este banco, obteniéndose un buen producto (triturado es un material no plástico), para la construcción de la sub base y base, sin embargo para uso en la capa de rodadura se requiere profundizar en el conocimiento de las propiedades de las rocas.

5.2.3. Banco El Mirador.

En el área de Las Cruces, se visitó un banco de balastre que se puede ubicar en las coordenadas UTM: 779.292 E – 1, 849,075. Este banco, presenta un contenido de finos, que tienen una plasticidad elevada para la aplicación propuesta en el pavimento de la carretera (LL = 44.4 %, e IP = 21.96\%). De acuerdo a estos resultados, no se recomienda utilizar el material de este banco.



Fotografía No. 9. En esta foto se muestra la intensidad de fracturas de la unidad de Calizas Plegadas.

5.2.4. Nuevos Bancos.

Considerando la longitud del proyecto a pavimentar, que es de 63 km, es recomendable considerar el desarrollo de un banco nuevo de los materiales específicamente para la construcción de esta carretera. Para este se recomienda investigar a los propietarios de las fincas que se encuentran cercanas a un punto medio de la ruta, y negociar para que autoricen la extracción e instalación de una planta de trituración y clasificación, de preferencia que el sitio se encuentre en un punto intermedio que minimice el acarreo.

5.3. RECOMENDACIONES GEOTÉCNICAS.

5.4. TALUDES.

Considerando las condiciones topográficas del trazo, la probabilidad de hacer cortes para la carretera es muy baja, ya que la condición dominante es la de una planicie muy amplia. En caso que se requiera hacer algún corte, es probable que sea en la unidad de Rocas Plegadas y por la topografía estos taludes no serán muy altos, probablemente de altura menor de 6 m, en este caso y como primera aproximación, se recomienda lo siguiente:

- i. En cortes en roca se recomienda hacer un pre - corte de talud en proporción 4: 1 (V: H).
- ii. Por la seguridad de los usuarios, es recomendable que el ancho de las bermas sea de 2 m, para retener los bloques que caigan.

5.5. ESTRUCTURAS DE DRENAJE MAYOR Y MENOR.

En el presente trazo, existen dos condiciones que se consideran adversas con relación al drenaje. En primer lugar, el sustrato natural del proyecto presenta una elevada susceptibilidad a absorber humedad, que provoca cambios drásticos en su comportamiento mecánico. En segundo lugar, se han registrado varios eventos de inundaciones en la población (2008, 2009, 2011), que advierten la necesidad de hacer un análisis detallado de las condiciones hidrológicas e hidráulicas del proyecto.

El proyecto se encuentra en medio de la serranía de Bethel, y el principal drenaje natural que existe en el entorno del proyecto, que es el río El Chorro. La escorrentía que desciende de la serranía de Bethel, pasa por el camino antes de llegar al cauce del río, el cual corre paralelo al proyecto. Camino, serranía y río, corren paralelos por aproximadamente 20 km.

De acuerdo a estas condiciones, el diseño del drenaje mayor y menor, y la cota del pavimento del proyecto es un factor fundamental para garantizar el funcionamiento y la durabilidad.

5.6. PAVIMENTO.

Con relación al pavimento se recomienda tomar en cuenta los antecedentes técnicos relacionados a los materiales para pavimento presentes en la localidad específicamente lo sucedido en el pavimento de Río Dulce - Flores, para evitar problemas de accidentes y que la ruta brinde seguridad a los usuarios.

6. CONCLUSIONES.

6.1. GEOLÓGICAS.

1. En el sustrato del entorno del proyecto se identificaron tres unidades geológicas, que son: la unidad de Suelo Residual, la unidad de Relieve ondulado que es una mezcla suelo-roca y la Unidad de Rocas Plegadas.

6.2. GEOTÉCNICAS.

1. De acuerdo a la exploración geotécnica, la unidad de Suelo Residual que se estima que comprende el 80 % de la longitud de la ruta, se clasifica A 7 - 6 (según AASHTO) SM (según ASTM). En este grupo se clasifican los materiales que presentan pobres propiedades geotécnicas para el soporte de la estructura del pavimento.
2. En el trazo del proyecto se encuentran otras dos unidades que son la Unidad de Relieve Ondulado y la unidad de Rocas Plegadas. La primera es una mezcla de suelo-roca y la segunda es una unidad de roca, estas unidades se estima que comprenden el 20 % de la longitud del trazo.
3. El registro histórico, demuestra que el trazo de la ruta puede eventualmente estar sujeto a inundaciones por lo que se considera de especial importancia en el diseño atender aspectos del nivel del pavimento y específicamente de drenaje.

7. REFERENCIAS.

AGIES (2,010): Normas para la seguridad estructural de edificaciones y obras de infraestructura para la república de Guatemala.

Dirección General de Caminos Ed. (2001): Especificaciones generales para la construcción de carreteras y puentes. Guatemala, 724 p.

Finn, W. (1994): Effect of foundation soils on seismic damage potential. Earthquake Engineering, Tenth Conference, Rotterdam, 6493-6506, 14 pp.

Holmes A. & Holmes D. (1980): Geología Física, Ediciones Omega S. A. Barcelona, España.

INSIVUMEH; Atlas hidrológico de Guatemala, Guatemala, portal electrónico, <https://www.insivumen.gob.gt>.

Instituto Geográfico Nacional de Guatemala (1995): Mapa topográfico de Guatemala, varias hojas, escala 1:50,000.

Instituto Geográfico Nacional de Guatemala; (1995): Mapa geológico, hoja Guatemala, Guatemala, escala 1 : 250,000.

Juárez Badillo. Mecánica de Suelos (1,970). Tomo 2. Teoría y aplicaciones de la mecánica de suelos. Ed. Limusa, México. 2009

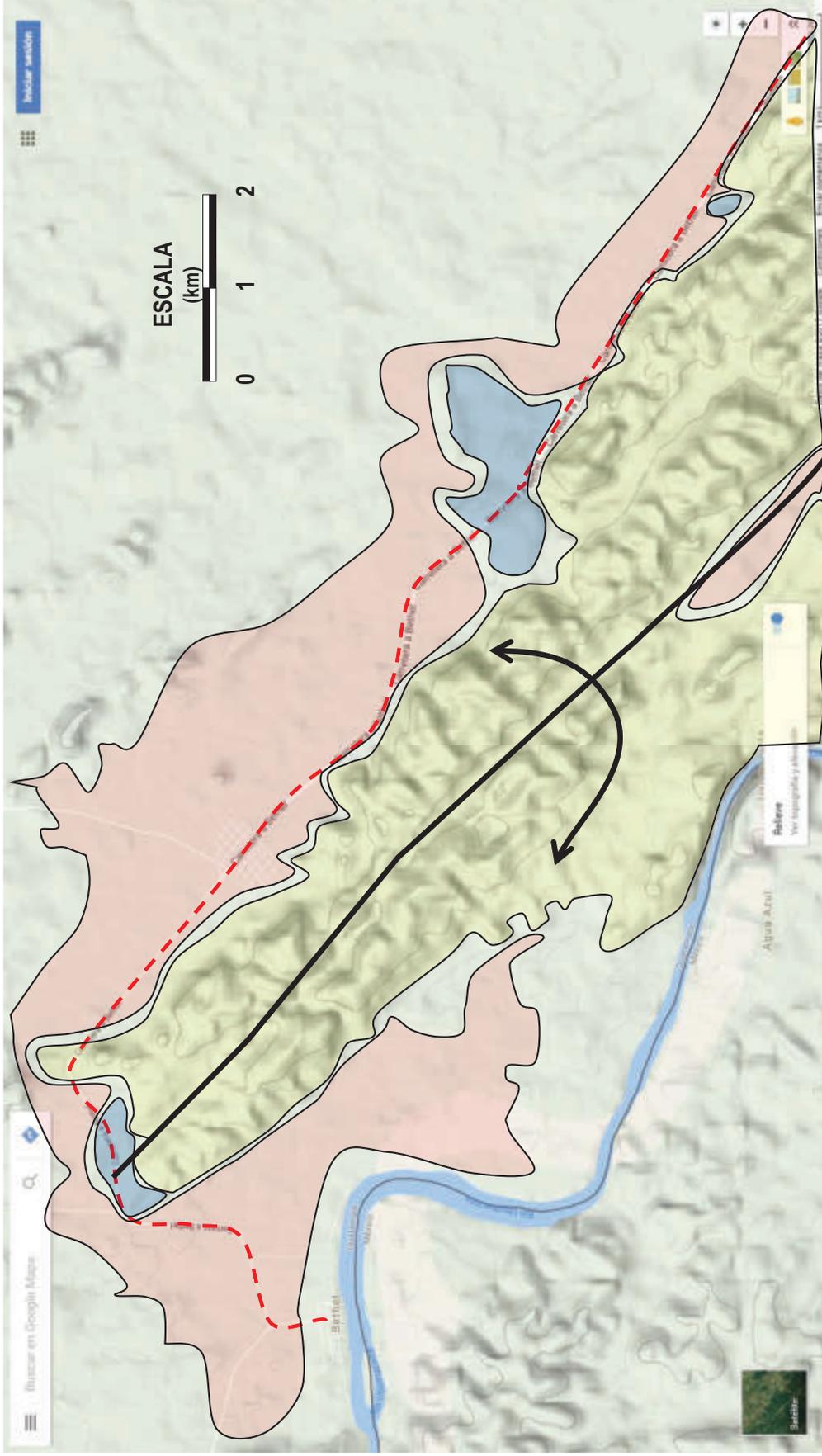
Koch, A. & Mclean H. (1970): . Stratigraphy Petrology and Distribution of Quaternary Pumice Deposits of the San Cristobal Group, Guatemala. University of Texas. USA. 1970.

Ministerio de Comunicaciones y Obras Públicas (INSIVUMEH) (1978): Estudio de Aguas subterráneas en el Valle de la Ciudad de Guatemala. Guatemala.

Williams, H. (1960): Volcanic History of the Guatemalan Highlands, University of California, 1960.

8. ANEXOS.

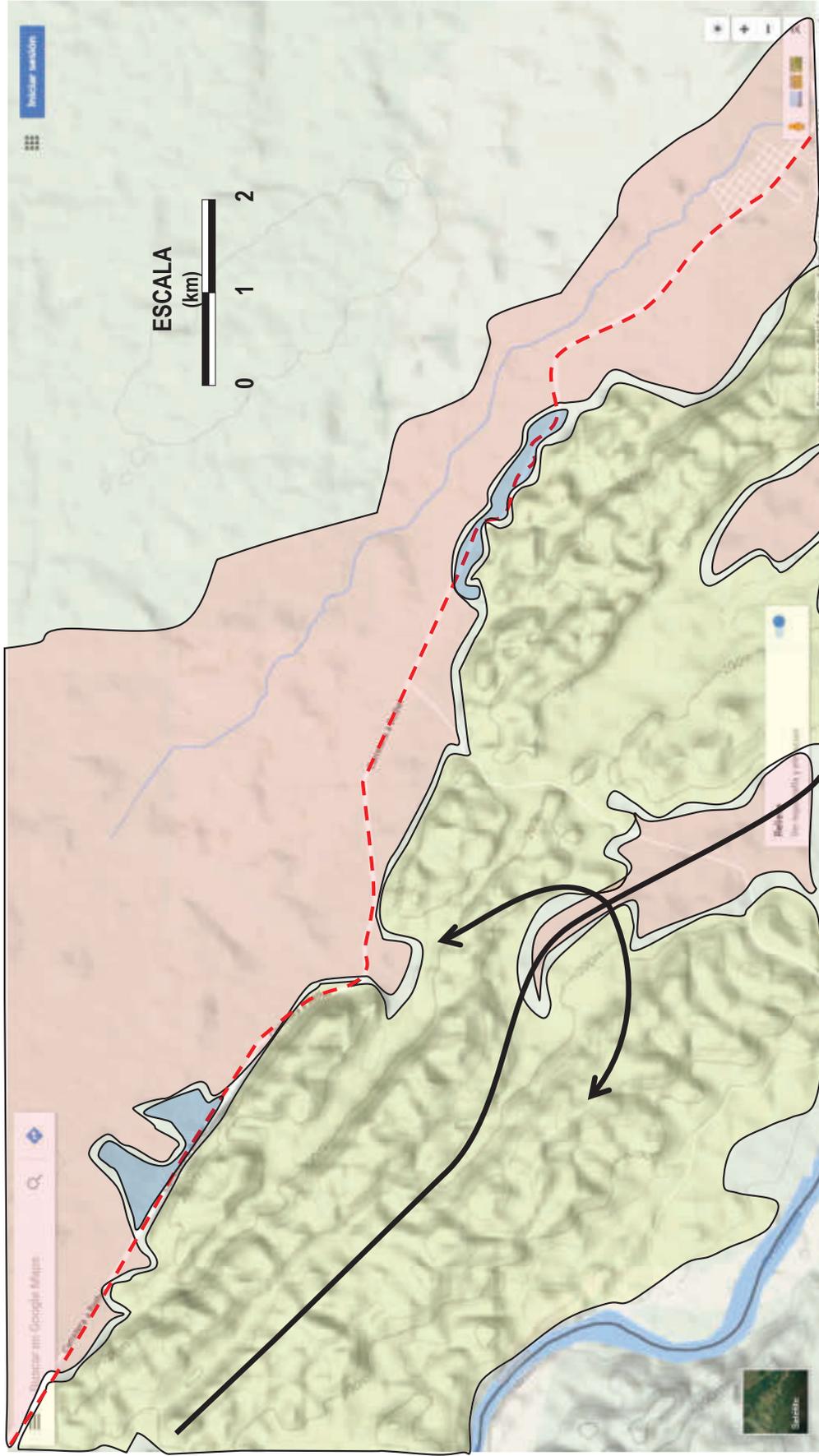
I. Mapas Geológicos



LEYENDA

- UNIDAD DE SUELO RESIDUAL
- UNIDAD DE RELIEVE ONDULADO
- UNIDAD DE CALIZAS PLEGADAS.
- CARRETERA
- PLIEGUE ↖↗

INGEOTECNIA S. A.	
PROYECTO DE PAVIMENTO LAS CRUCES - BETHEL	
GEOLOGÍA DE LA RUTA	
CAMPO: Cp	ESCALA: INDICADA
DIBUJO: Cp -FUb	FECHA: Abril/ 2017
1	6



LEYENDA

UNIDAD DE SUELO RESIDUAL		CARRETERA	
UNIDAD DE RELIEVE ONDULADO		PLIEGUE	
UNIDAD DE CALIZAS PLEGADAS.			

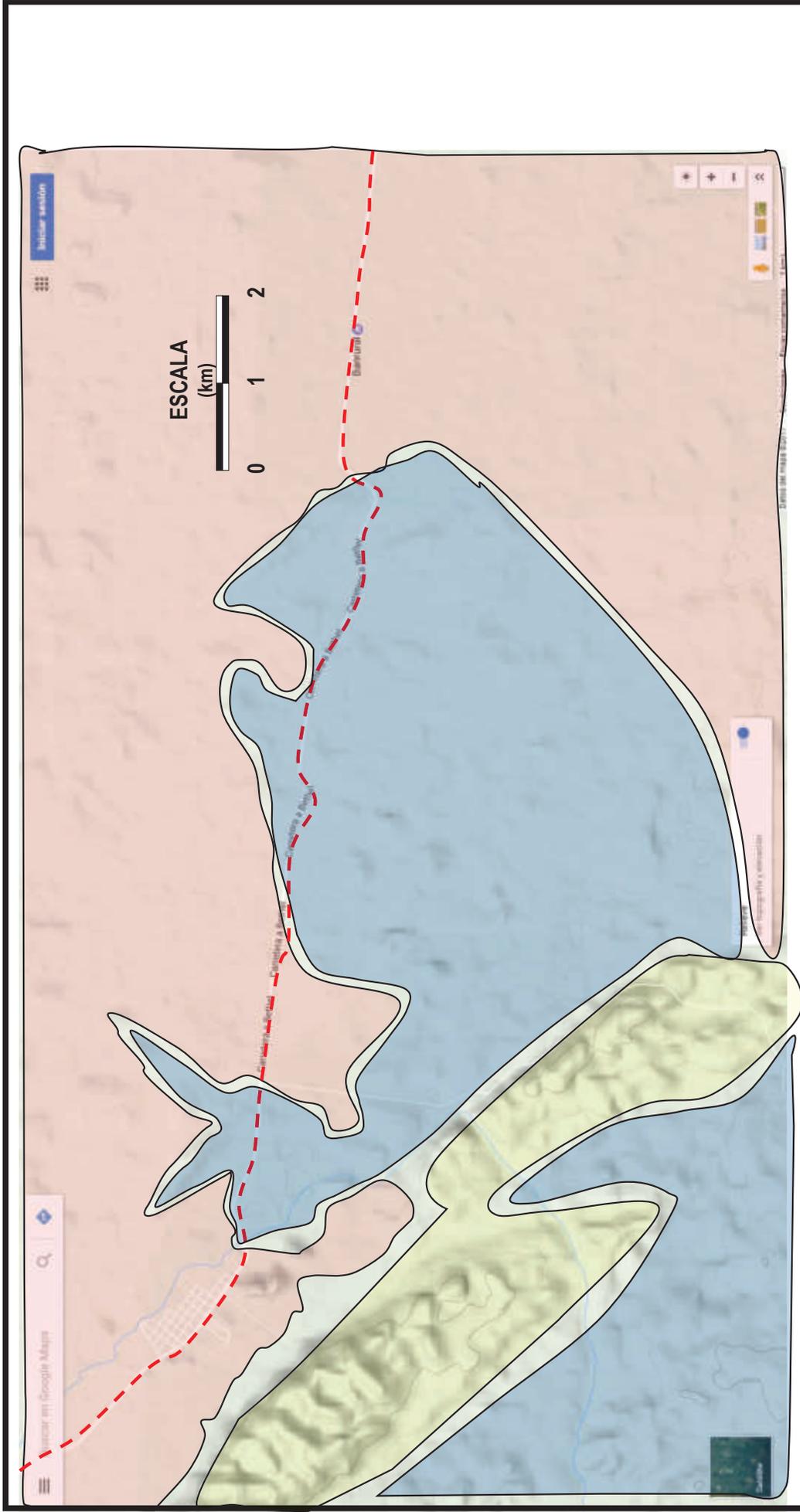
INGEOTECNIA S. A.

PROYECTO DE PAVIMENTO
LAS CRUCES – BETHEL

GEOLOGÍA DE LA RUTA

CAMPO: Cp
DIBUJO: Cp –FUb

ESCALA: INDICADA
FECHA: Abril/ 2017



LEYENDA

- UNIDAD DE SUELO RESIDUAL
- UNIDAD DE RELIEVE ONDULADO
- UNIDAD DE CALIZAS PLEGADAS.
- CARRETERA
- PLIEGUE

INGEOTECNIA S. A.

PROYECTO DE PAVIMENTO
LAS CRUCES – BETHEL

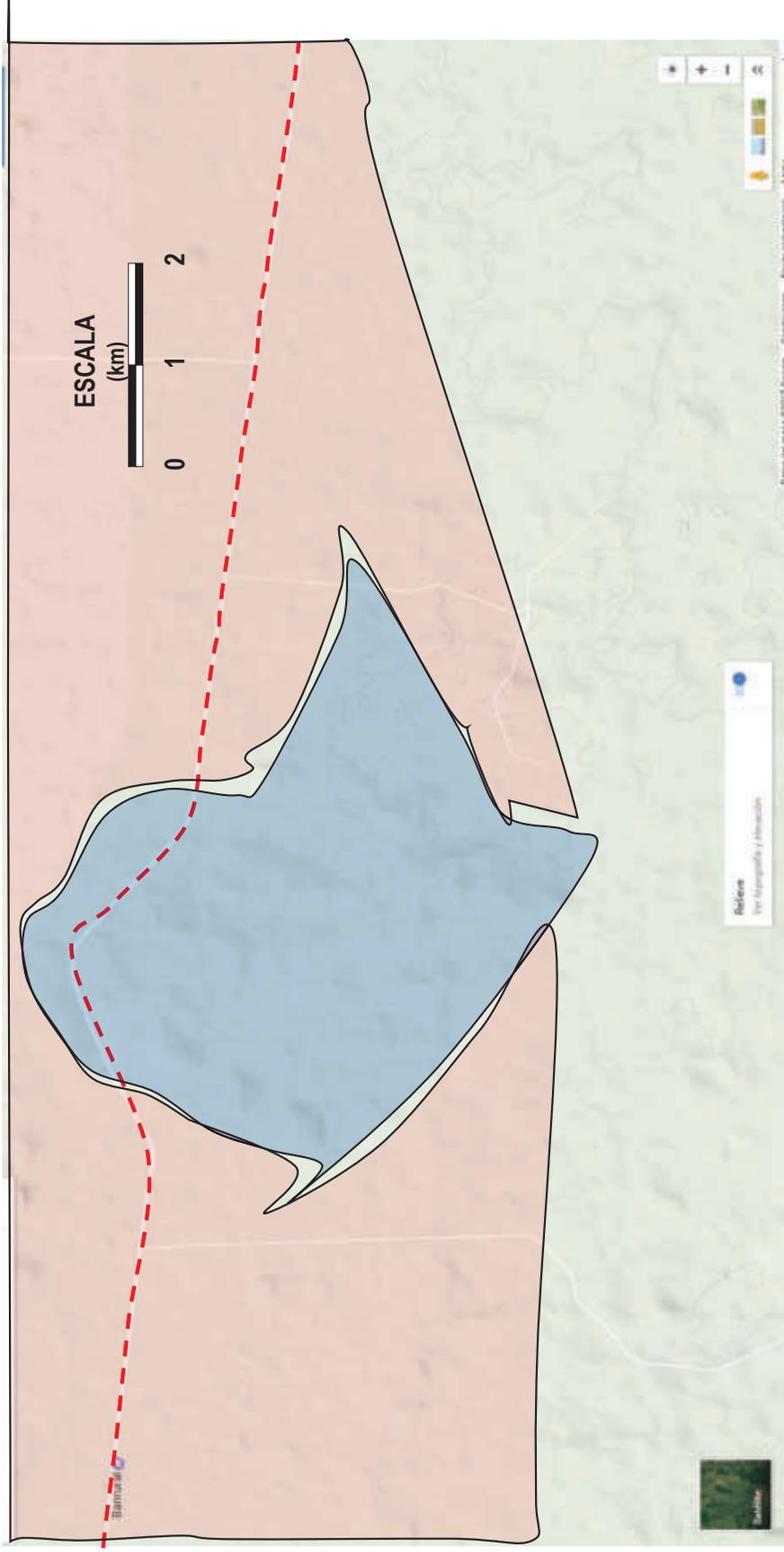
GEOLOGÍA DE LA RUTA

CAMPO: Cp
DIBUJO: Cp –FUb

ESCALA: INDICADA
FECHA: Abril/ 2017

3

6



LEYENDA

- UNIDAD DE SUELO RESIDUAL
- UNIDAD DE RELIEVE ONDULADO
- UNIDAD DE CALIZAS PLEGADAS.
- CARRETERA
- PLIEGUE

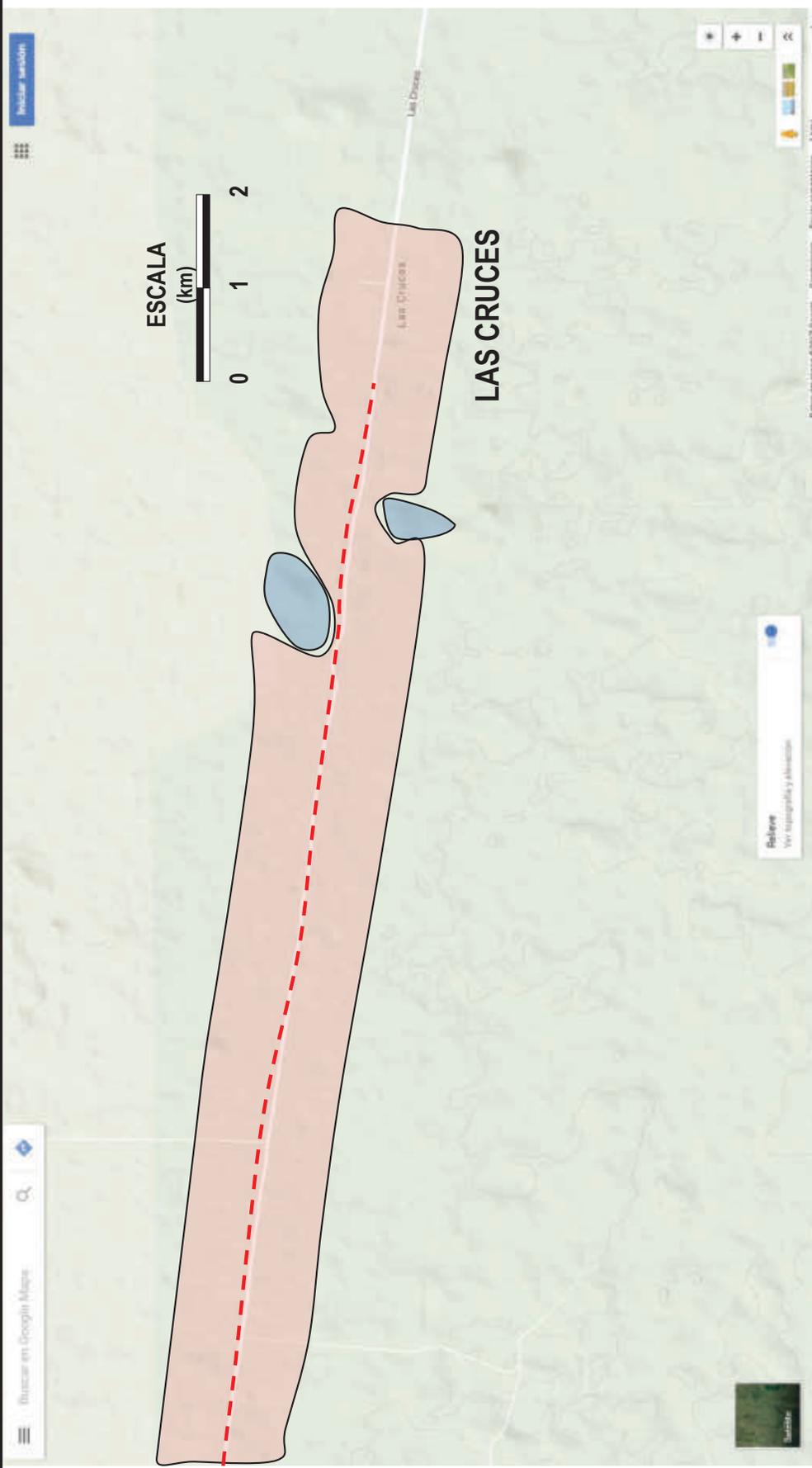
INGEOTECNIA S. A.

PROYECTO DE PAVIMENTO
LAS CRUCES – BETHEL

GEOLOGÍA DE LA RUTA

CAMPO: Cp
DIBUJO: Cp –FUb

ESCALA: INDICADA
FECHA: Abril/ 2017



LEYENDA

UNIDAD DE SUELO RESIDUAL		CARRETERA	
UNIDAD DE RELIEVE ONDULADO		PLIEGUE	
UNIDAD DE CALIZAS PLEGADAS.			

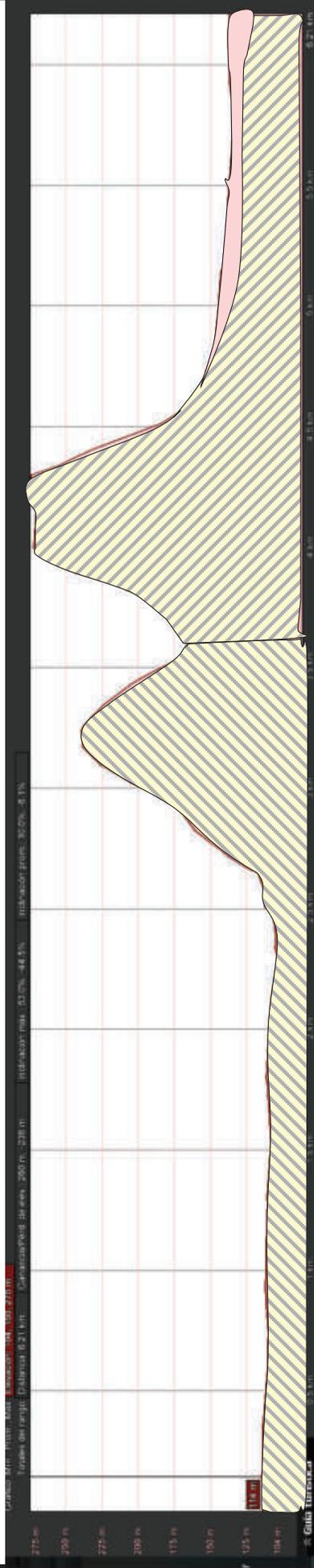
INGEOTECNIA S. A.

PROYECTO DE PAVIMENTO
LAS CRUCES – BETHEL

GEOLOGÍA DE LA RUTA

CAMPO: Cp
 DIBUJO: Cp –FUB

ESCALA: INDICADA
 FECHA: Abril/ 2017



ESCALA (km)



LEYENDA

- UNIDAD DE SUELO RESIDUAL CARRETERA
- UNIDAD DE RELIEVE ONDULADO PLIEGUE
- UNIDAD DE CALIZAS PLEGADAS.

INGEOTECNIA S. A.
 PROYECTO DE PAVIMENTO
LAS CRUCES – BETHEL
PERFIL GEOLÓGICO

CAMPO: Cp	ESCALA: INDICADA
DIBUJO: Cp –FUb	FECHA: Abril/ 2017
6	6

4 CONCLUSIÓN

Se considera que en el presente Informe se definen con suficiente detalle las características y avances del contrato No.004-2017-DGC-E (CINCO TRAMOS).

GUATEMALA, 13 junio de 2017.

Coordinador del Proyecto

Fdo. Efraín Antonio de León Mendoza

Ingeniero Civil

ANEXO 4: Estudio de Hidrología e Hidráulica

INFORME DE AVANCE N°3 (95%)

ESTUDIOS DE INGENIERIA DE DETALLE Y EVALUACION TECNICA, ECONOMICA, AMBIENTAL Y RIESGO DE LOS TRAMOS:

Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Petén.

3. INFORME DE HIDROLOGÍA

ÍNDICE GENERAL

1	ENFOQUE GENERAL Y BIBLIOGRAFÍA.....	1
2	METODOLOGÍA CUENCAS <1 KM ²	2
2.1	Coeficiente de escorrentía.....	3
2.2	Tiempo de concentración.....	5
2.3	Intensidad de lluvia.....	6
2.4	Área de la cuenca	8
3	METODOLOGÍA CUENCAS >1 KM ²	8
3.1	Cuencas medianas (<25 km ²): método del hidrograma unitario SCS	8
3.2	Cuencas grandes (>25 km ²): método del Análisis Regional de Crecidas.....	11
4	APLICACIÓN DE METODOLOGÍA POR CUENCA.....	15
5	FICHAS DE HIDROLOGÍA PARA DRENAJE TRANSVERSAL.....	15
5.1	Cuenca Arroyo El Chorro.....	16
5.2	Cuenca Río Bethel.....	17
6	DRENAJE LONGITUDINAL	18

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla nº 1: Valores de número de curva NC(II).....	4
Tabla nº 2: Estaciones pluviométricas de referencia.....	7
Tabla nº 3: Valores A, B y n en estación de referencia 11.11.02.	7
Tabla nº 4: Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas.....	13
Tabla nº 5: Cuantiles de caudales modulares regionales (K), de acuerdo a distribución Gumbel y log-Normal.	13
Tabla nº 6: Cuantiles de caudales modulares regionales (K), de acuerdo a envolvente superior....	14
Tabla nº 7: Cuencas en tramo Cruces – Bethel.....	15
Tabla nº 8: Valores de Coeficientes de escorrentía para un periodo de retorno (Chow, 2004).....	19

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura nº 1: Categorización de grupo hidrológico de suelo según texturas	5
Figura nº 2: Hidrograma Unitario Adimensional	10
Figura nº 3: Regiones hidrológicas para la estimación de crecidas	12
Figura nº 4: Caudales de aporte al caudal específico.....	18

1 ENFOQUE GENERAL Y BIBLIOGRAFÍA

Los trabajos de caracterización hidrológica de cada una de las cuencas que intersecta la alineación de carretera Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Petén se recopilan en el presente apartado de Hidrología, que ofrece como producto fundamental los caudales de punta para los periodos de retorno seleccionados. Como complemento a los trabajos de hidrología, el apartado de Hidráulica dará la solución óptima para el drenaje en cada uno de los puntos.

Se ha empleado como referencia fundamental el *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*, publicado por la Secretaría de Integración Económica Centroamericana (SIECA) en 2016, particularmente en lo relativo al apartado 4. Consideraciones hidrológicas. Para algunos aspectos de cálculo se ha usado como soporte el manual *Hidrología aplicada* de Ven Te Chow, David R Maidment y Larry W Mays. Se ha encontrado también apoyo técnico en el *Drainage Manual* editado por la *Association of State Highway and Transportation Official* (AASHTO), así como en la Especificaciones Generales para la Construcción de Carreteras y Puentes (Libro Azul) en su edición del 2001.

Los datos de partida han sido tomados de los datos de topografía propios (trabajos que se han descrito en el *Anexo 1. Topografía*), del Mapa de cobertura vegetal y uso de la tierra a escala 1:50,000 editado por el Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación (MAGA), los datos de cartografía del Instituto Geográfico Nacional (IGN), así como de la base de datos pluviométricos y de aforo de ríos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). Igualmente se han consultado mapas de zonas inundables y de deslizamiento de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED).

Para cuencas pequeñas (menos de 1 km² de área o 100 Hectáreas) se ha empleado el método racional, de acuerdo a las recomendaciones del *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*. Para cuencas mayores se ha empleado el método del hidrograma unitario siguiendo las recomendaciones del INSIVUMEH, que son diferentes de

acuerdo a la cuenca vertiente en que se encuentre la obra de drenaje.

Para los drenajes menores (tubería hasta 72 pulgadas de diámetro) se ha empleado un periodo de retorno de 30 años. Para los drenajes mayores (marcos y bóvedas) se ha empleado un periodo de retorno de 100 años. Estas recomendaciones parten también del *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*

Este *Anexo 3. Hidrología* describe primero las metodologías empleadas y después las particulariza para cada una de las cuencas, presentando de manera cómoda y visual cada cuenca mediante una ficha que recoge todas sus características.

Los caudales circulantes por las cunetas se han calculado siguiendo una adaptación del método racional que se describirá separadamente.

2 METODOLOGÍA CUENCAS <1 km²

Para el cálculo del caudal generado por cada una de las cuencas, la formulación de referencia será la del método racional:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{K}$$

donde:

Q: Caudal (l/s)

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I: intensidad (mm/hora)

A: Superficie (m²)

K: Coeficiente en función del tipo de unidades (3.000 para este caso)

2.1 Coeficiente de escorrentía

El método propuesto en este estudio para determinar la escorrentía de la lluvia total es el establecido en la Instrucción Española de Carreteras 5.2-IC "Drenaje superficial", según la cual el coeficiente de escorrentía se calcula como:

$$C = \frac{\left[\left(\frac{P_d}{P_0} \right) - 1 \right] \cdot \left[\left(\frac{P_d}{P_0} \right) + 23 \right]}{\left[\left(\frac{P_d}{P_0} \right) + 11 \right]^2}$$

donde:

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

P_d : Precipitación máxima esperada en un día (mm). Se obtendrá según el apartado 2.3.

P_0 : Umbral de escorrentía propio del terreno (mm)

Para el cálculo del umbral de escorrentía se ha empleado el método del "número de curva" del **Natural Resources Conservation Service (NRCS)** antes **U.S. Soil Conservation Service**. De acuerdo a este método el umbral de escorrentía P_0 se calculará en base a la media ponderada según los usos del suelo. Para cada uso del suelo se considera su "número de curva", que se vincula con el umbral de escorrentía mediante la siguiente expresión (convertida de pulgadas a mm):

$$P_0 = 0.2 \cdot S = 0.2 \cdot 25.4 \cdot \left(\frac{1000}{CN(II)} - 10 \right)$$

Los valores CN(II) proceden de la siguiente tabla:

Tabla nº 1: *Valores de número de curva NC(II)*

		Grupo hidrológico de suelo			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de río		30	58	71	78
Bosques		25	55	70	77
Áreas abiertas (parques, cementerios)		39	61	74	80
Residencial / Industrial / Comercial		61	75	83	87
Calles y carreteras	Pavimentado. Con alcantarillado	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	91
	Tierra	72	82	87	89

Para la evaluación del grupo hidrológico del suelo se estará a lo dispuesto en el Anexo 6. Geología y geotecnia, así como en el diagrama triangular de texturas:

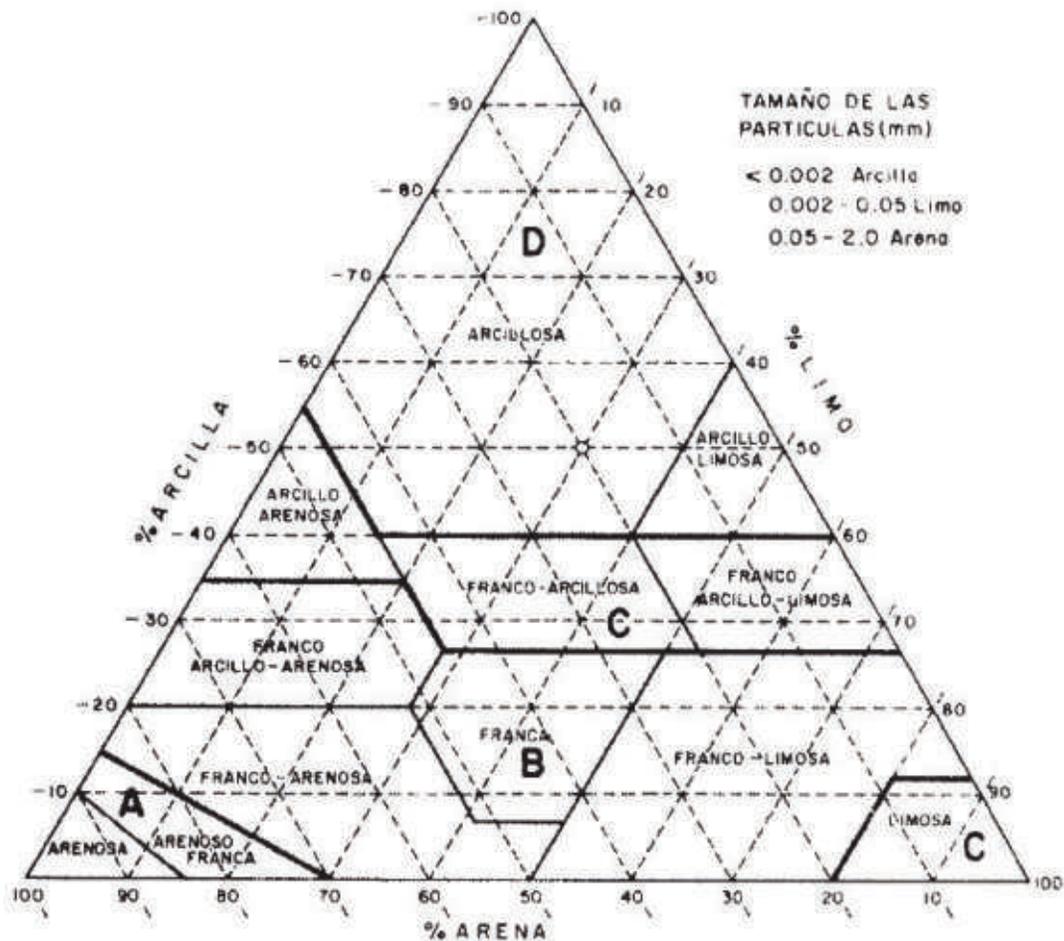


Figura nº 1: Categorización de grupo hidrológico de suelo según texturas

2.2 Tiempo de concentración

Se define como tiempo de concentración al tiempo que precisa una porción de precipitación caída en la zona más lejana de la cuenca en llegar por flujo libre hasta la sección de control.

Existen numerosos autores que han propuesto expresiones sintéticas para el periodo de retorno en cuencas pequeñas. Para las condiciones de Guatemala se han encontrado buenas correlaciones empleando la fórmula de Kirpich, que es la expresión recomendada por el INSIVUMEH y que se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$T_c = \left(\frac{3 \times L^{1.15}}{154 \times H^{0.38}} \right)$$

donde:

T_c : en minutos.

L : Longitud del cauce principal en metros.

H : Diferencia de elevación entre el inicio del cauce más largo y el punto donde se desea estimar el T_c , en metros.

2.3 Intensidad de lluvia

Una vez conocido el periodo de retorno interesa encontrar la máxima intensidad de lluvia esperada para el periodo de retorno seleccionado durante el tiempo de concentración de esa cuenca.

Esto puede calcularse con alta precisión gracias a las curvas IDF que el INSIVUMEH ha ajustado mediante expresiones del tipo:

$$I_T = \frac{A}{(B + t)^n}$$

siendo:

I_T (mm/h): Intensidad de la lluvia asociada a una frecuencia de ocurrencia, representada por el período de retorno T .

T (min): Duración en minutos.

A , B , y n : Parámetros de ajuste que se obtienen mediante una regresión no lineal.

INSIVUMEH publica para las estaciones de referencia los parámetros de ajuste no lineal. En particular existen 23 estaciones de referencia repartidas por el país de tal forma que resultan representativas de una determinada zona:

Tabla nº 2: Estaciones pluviométricas de referencia

CODIGO	NOMBRE	CUENCA	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ELEVACIÓN (msnm)	LATITUD	LONGTUD	REGISTRO	AÑOS CONSIDERADOS	TORMENTAS CONSIDERADAS
01.01.08	COBAN	CAHABON	Alta Verapaz	Cobán	1329	152803	902423	1989-2002	9	67
02.06.04	SAN JERONIMO	SALINAS	Baja Verapaz	S.Jeronimo	1020	150340	901405	1989-2001	8	40
03.01.01	ALAMEDA ICTA	MOTAGUA	Chimaltenango	Chimaltenango	1793	143936	904910	1995-2002	8	61
04.04.02	ESQUIPULAS	OLOPA	Chiquimula	Esquipulas	1000	143332	892031	1990-2001	10	63
05.01.14	SABANA GRANDE	ACHIGUATE	Escuintla	Escuintla	740	142203	904802	1990-2002	8	72
05.08.01	PUERTO SAN JOSE	MARIA LINDA	Escuintla	S.Jose	2	135504	904910	1973-2002	10	39
05.10.08	CAMANTULUL	COYOLATE	Escuintla	Sta.Lucia Cotz.	280	141928	910327	1973-2002	11	65
06.01.00	INSIVUMEH	MARIA LINDA	Guatemala	Guatemala	1502	143511	903158	1940-2002	44	98
07.01.03	HUEHUETENANGO	SELEGUA	Huehuetenango	Huehuetenango	1902	151928	912805	1986-2002	13	58
08.01.04	PUERTO BARRIOS	MOTAGUA	Izabal	Puerto Barrios	15	154416	883530	1994-2002	8	68
09.01.02	POTRERO CARRILLO	MOTAGUA	Jalapa	Jalapa	1800	144550	895600	1990-2002	13	75
09.03.03	LA CEBITA PHC	OSTUA-GUIJA	Jalapa	Monjas	961	142907	895310	1990-2001	12	77
10.03.01	ASUNCION MITA	OSTUA-GUIJA	Jutiapa	Asuncion Mita	478	142000	894200	1990-2001	12	67
10.11.02	MONTUFAR	PAZ	Jutiapa	Moyuta	10	134819	900811	1989-2002	11	86
11.01.05	FLORES	S.PEDRO	Petén	Flores	115	165544	895329	1999-2002	4	45
11.11.02	EL PORVENIR	PASION	Petén	Sayaxche	125	163129	902822	1981-1989	8	98
12.03.01	MORAZAN	MOTAGUA	Progreso	Morazán	360	145574	900907	1990-2001	12	67
13.14.03	LABOR OVALLE	SAMALA	Quezaltenango	Olintepeque	2400	145212	913109	1955-2002	35	98
15.01.01	RETALHULEU	OCOSITO	Retalhuleu	Retalhuleu	239	143207	914040	1984-2002	15	84
18.01.04	LOS ESCLAVOS	LOS ESCLAVOS	Santa Rosa	Cuilapa	737	141510	901642	1990-2002	13	90
19.19.04	SANTIAGO ATITLAN	ATITLAN	Sololá	Santiago Atitlán	1592	143756	911353	1993-2002	9	64
22.03.02	LA FRAGUA	GRANDE DE ZACAPA	Zacapa	Estanzuela	210	145751	893504	1990-2002	10	62
22.06.02	LA UNION	MOTAGUA	Zacapa	La Unión	1100	145800	891739	1991-2001	11	94

Para el presente caso, las estaciones cercanas más representativas en cuanto a precipitaciones, altura y orografía son 11.01.05.FLORES y 11.11.02. EL PORVENIR. Ambas se consideran completamente representativas. Se preferirá la segunda por contar con un periodo de observación más largo (FLORES sólo cuenta con 4 años) y un número de tormentas observadas sustancialmente mayor.

Los valores para la construcción de las tablas IDF en el caso de la estación 11.11.02. son:

Tabla nº 3: Valores A, B y n en estación de referencia 11.11.02.

Estación: El Porvenir

Tr	2	5	10	20	25	30	50	100
A	8,045	4,890	1,500	1,093	1,083	1,075	1,065	1,060
B	25	20	8	5	5	5	5	5
n	1.132	0.997	0.742	0.673	0.668	0.664	0.659	0.655

2.4 Área de la cuenca

El área de la cuenca se expresará en metros cuadrados (m^2) y se calculará mediante medición directa de cuencas en la topografía de proyecto (esto para cuencas muy pequeñas) o bien en la cartografía 1:50,000 del IGN.

Junto con el cálculo del área, mediante visitas de campo y consulta de mapas de uso del suelo se asignará el uso del suelo en % sobre el total de superficie.

Los tamaños de cuenca encontrados en Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Petén no justifican el uso del método Racional.

3 METODOLOGÍA CUENCAS $>1 km^2$

3.1 Cuencas medianas ($<25 km^2$): método del hidrograma unitario SCS

La transformación de las láminas de escorrentía a los hidrogramas de crecidas en los cauces de recolección se realizará mediante el método del Hidrograma Unitario Adimensional del NRCS antes U.S Soil Conservation Service (SCS UH).

De acuerdo a el manual *Hidrología aplicada* de Ven Te Chow, David R Maidment y Larry W Mays, este método es de aplicación preferente a cuencas de hasta $25 km^2$ (página 221) Para cuencas de tamaño superior se emplearán las recomendaciones de INSIVUMEH y se aplicará el Método Regional de Crecidas.

El hidrograma se basa en los siguientes postulados:

Postulado I. La distribución espacial de la escorrentía es uniforme y de intensidad constante a través de un intervalo de tiempo.

Postulado II Los hidrogramas generados por las tormentas de lluvias de la misma duración tienen el mismo tiempo de base, independiente de la intensidad de la lluvia.

Postulado III. En una cuenca dada los caudales son proporcionales a la altura de la precipitación efectiva para todas las lluvias de la misma duración.

Postulado IV. Los caudales producidos por las lluvias sucesivas pueden ser encontrados por la adición sucesiva de los caudales producidos por las lluvias individuales, tomando en cuenta los tiempos de ocurrencia.

La obtención de la crecida máxima requiere la estimación previa de la tormenta máxima probable para el período de retorno considerado, incluyendo no sólo la cantidad total de lluvia sino también su distribución espacial y temporal. Para el cálculo de la intensidad de la lluvia para el periodo de retorno considerado se han empleado las curvas IDF descritas en el apartado 2.3. En cuanto a la distribución de la lluvia se ha empleado el "Método del bloque alterno" descrito en el manual *Hidrología aplicada* de Ven Te Chow, David R Maidment y Larry W Mays, (pag 477).

Al mismo tiempo la lluvia que cae durante la tormenta en parte es absorbida por el suelo y únicamente en la medida que este se satura permite que se produzca la escorrentía. Por ello es preciso determinar el umbral de escorrentía P_0 , para lo cual se empleará el método del "número de curva" indicado en el apartado 2.1.

En esencia el SCS UH es un modelo adimensional con un solo pico. El hidrograma adimensional mostrado en la figura expresa el caudal del Hidrograma Unitario Q_t , como una relación del caudal pico (Q_p), para cualquier tiempo (t) como una fracción del tiempo de punta T_p .

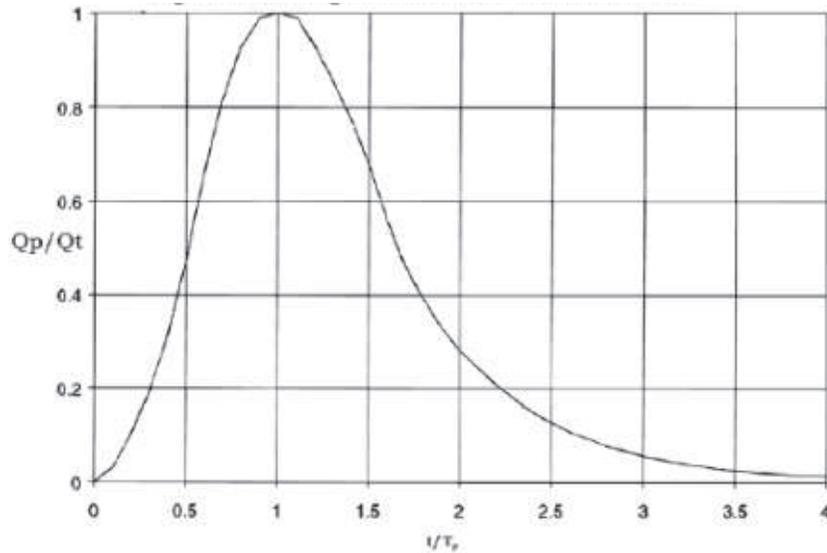


Figura n° 2: Hidrograma Unitario Adimensional

Investigaciones del SCS proponen que el caudal pico y el tiempo de punta del hidrograma están dados por las siguientes relaciones:

$$T_p = 0.5 \times D + 0.6 \times T_c \qquad T_r = 0.6 \times T_c$$

$$T_b = 2.67 \times T_p \qquad Q_p = 0.208 \times E \times \frac{A}{T_p}$$

Se debe cumplir que: $D \leq T_t/3$,donde:

T_p : Tiempo de punta del hidrograma en horas;

T_c : Tiempo de Concentración de la cuenca en horas;

T_b : Tiempo de base del hidrograma en horas;

T_r : Tiempo de Retardo de la cuenca en horas,

D : Duración del intervalo en horas;

Q_p : Caudal pico del intervalo en m^3/s ;

E : Escorrentía efectiva del Intervalo en mm;

A : Área de drenaje de la cuenca en Km^2 .

Con Q_p y T_p conocido, el caudal el hidrograma unitario en cada tiempo Q_t puede ser encontrado por multiplicación.

Los tamaños de cuenca encontrados en Cruces-Bethel no justifican el uso del método del Hidrograma unitario.

3.2 Cuencas grandes (>25 km²): método del Análisis Regional de Crecidas

Para cuencas de tamaño mayor a 25 km² no es posible emplear el método racional (inaplicable para tamaños grandes) o del hidrograma unitario (que pierde exactitud a medida que aumentan las cuencas al no verificarse los postulados en que se apoya).

El INSIVUMEH presentó en 2004 el documento "Análisis Regional de Crecidas en la República de Guatemala", en el cual se recopilan datos de 86 estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país, a partir de las cuales, utilizando funciones probabilísticas, se establecen ecuaciones y factores ligados a una probabilidad de ocurrencia, cuyo resultado es precisamente la crecida máxima a determinados períodos de retorno.

El estudio divide el país en ocho regiones hidrológicas, esto es, regiones con niveles de escurrimiento superficial muy similares.

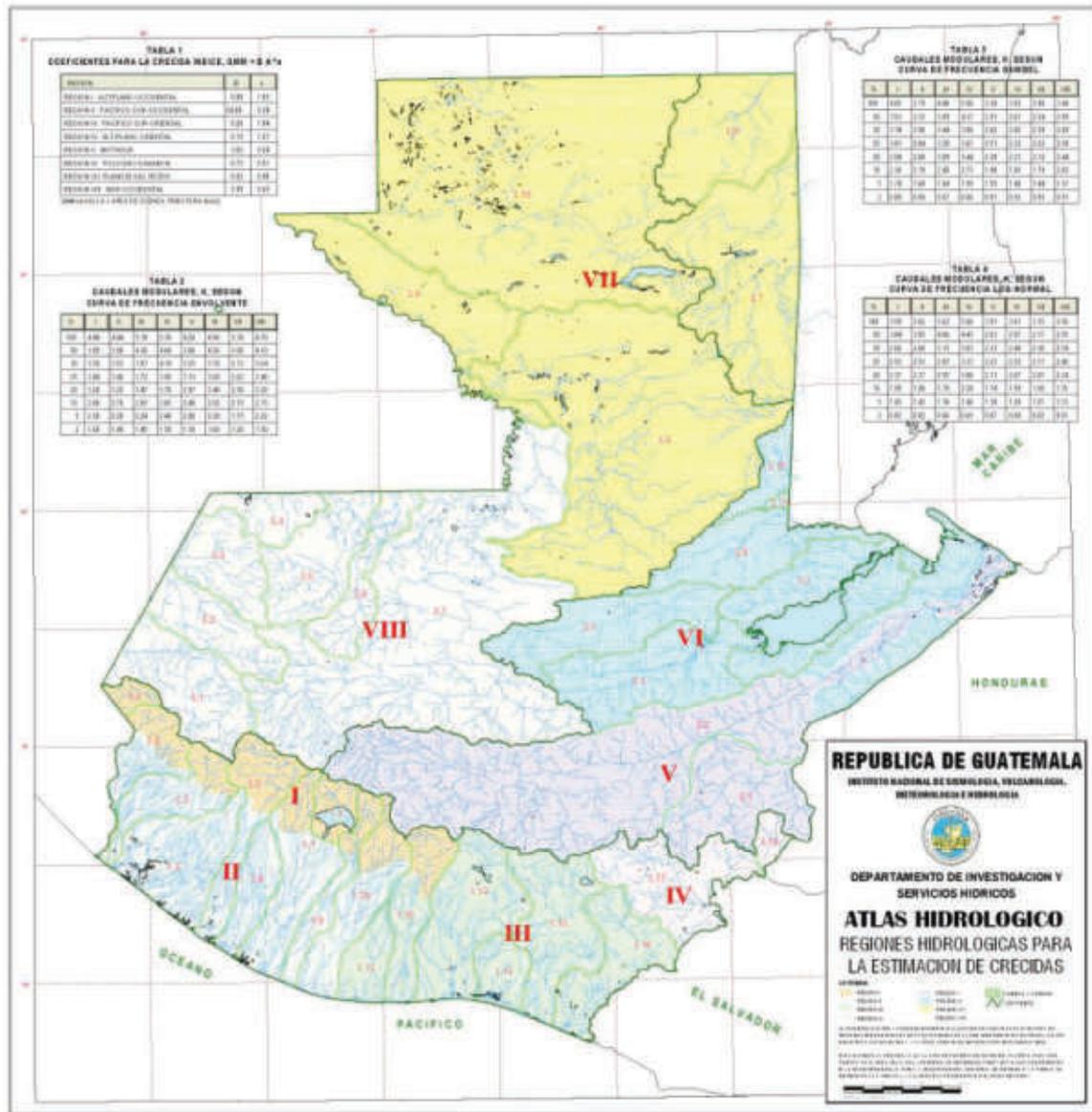


Figura n° 3: Regiones hidrológicas para la estimación de crecidas

Para cada región se establecen relaciones entre la crecida índice y el área de cuenca tributaria. Luego, para cada región se hace un análisis de frecuencia regional con las series estandarizadas, en base a la crecida índice. Se ajustan siete distribuciones teóricas de frecuencia, cuyos parámetros se estiman mediante el método de momentos convencionales y el método de momentos lineales ponderados probabilísticamente.

En base a la evaluación de la bondad de ajuste se seleccionan las distribuciones que mejor se ajustan a los datos, en cada región. Si bien no existe una distribución única que se ajuste mejor a las ocho regiones, se estima sin embargo, que las que mejor se ajustan a la mayoría de regiones es la Log-Normal y la Gumbel. Además, se obtienen curvas de frecuencia regionales envolventes las cuales representan los mayores caudales resultantes del estudio.

Tabla nº 4: *Regiones hidrológicas para el análisis regional de crecidas*

REGIONES	N	B	n
REGION I: ALTIPLANO OCCIDENTAL	11	0.08	1.03
REGION II: PACIFICO SUR-OCCIDENTAL	10	84	0.24
REGION III: PACIFICO SUR-ORIENTAL	10	0.26	1.04
REGION IV: ALTIPLANO ORIENTAL	4	0.15	1.21
REGION V: MOTAGUA	12	3.62	0.64
REGION VI: POLOCHIC-CAHABON Y BAJO MOTAGUA	17	0.75	0.91
REGION VII: PLANICIE DEL PETEN	5	0.22	0.9
REGION VIII: NOR-OCCIDENTAL	17	2.99	0.65

Para interpretar la tabla nº4 N es el número de estaciones utilizadas, que señala la bondad del ajuste, B y n son parámetros de ajuste de la ecuación $Q_{MM}=B \cdot A^n$, donde A es el área de la cuenca expresado en km².

Tabla nº 5: *Cuantiles de caudales modulares regionales (K), de acuerdo a distribución Gumbel y log-Normal.*

Tr	REGIÓN								REGIÓN							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
	GUMBEL								LOG-NORMAL							
1000	5.78	5.37	6.45	7.35	4.60	4.16	3.91	4.76	5.69	5.79	14.54	11.18	4.45	7.18	6.28	6.10
500	5.26	4.90	5.86	6.66	4.21	3.82	3.60	4.36	5.01	5.09	11.12	9.26	3.99	5.90	5.25	5.25
100	4.05	3.79	4.48	5.06	3.30	3.02	2.86	3.40	3.59	3.62	5.62	5.66	3.01	3.61	3.35	3.56
50	3.53	3.32	3.89	4.37	2.91	2.67	2.54	2.99	3.04	3.05	4.06	4.43	2.61	2.87	2.71	2.95
30	3.14	2.96	3.44	3.86	2.62	2.42	2.30	2.69	2.66	2.66	3.15	3.63	2.33	2.40	2.30	2.54
25	3.01	2.84	3.29	3.67	2.51	2.32	2.22	2.58	2.53	2.53	2.87	3.37	2.23	2.25	2.17	2.40
20	2.84	2.68	3.09	3.44	2.38	2.21	2.12	2.44	2.37	2.37	2.55	3.06	2.11	2.07	2.01	2.24
10	2.30	2.19	2.48	2.73	1.98	1.85	1.79	2.02	1.89	1.88	1.75	2.20	1.74	1.59	1.58	1.76
5	1.74	1.68	1.84	1.99	1.55	1.48	1.44	1.57	1.43	1.42	1.16	1.46	1.38	1.20	1.21	1.33
2	0.89	0.90	0.87	0.86	0.91	0.92	0.93	0.91	0.82	0.82	0.66	0.65	0.87	0.80	0.82	0.81

Tabla nº 6: *Cuantiles de caudales modulares regionales (K), de acuerdo a envolvente superior*

Tr	REGIÓN							
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII
1000	6.30	6.70	7.60	7.60	6.30	7.20	4.70	7.00
500	5.73	6.00	6.80	6.85	5.66	6.45	4.30	6.30
100	4.44	4.44	5.10	5.30	4.20	4.90	3.38	4.70
50	3.95	3.90	4.36	4.60	3.66	4.26	3.00	4.10
30	3.58	3.53	3.87	4.10	3.25	3.78	2.72	3.64
25	3.44	3.40	3.72	3.90	3.13	3.60	2.62	3.48
20	3.28	3.22	3.47	3.70	2.97	3.40	2.50	3.28
10	2.80	2.70	2.85	3.05	2.48	2.82	2.10	2.75
5	2.30	2.20	2.24	2.40	2.00	2.28	1.75	2.22
2	1.60	1.49	1.45	1.50	1.38	1.60	1.28	1.50

Para la estimación de los caudales máximos asociados a diferentes períodos de retorno, en cualquier sitio de interés, en cualquier región del país, se usa la siguiente ecuación:

$$Q_{Tr} = Q_{MM} \cdot K_{Tr} \quad , \text{ donde:}$$

Q_{Tr} es el caudal para el período de retorno Tr ,

Q_{MM} es la crecida índice

K_{Tr} es la crecida modular (o estandarizada).

Q_{MM} se obtiene a partir de la ecuación $Q_{MM}=B \cdot A^n$ y su tabla de referencia, válida para la región a la que pertenece la cuenca de interés. K_{Tr} se obtiene de acuerdo a la región y a la curva de frecuencia que se estime conveniente, por ejemplo, la curva regional de frecuencia Gumbel o Log-Normal (tabla de referencia), o la curva regional envolvente (tabla de referencia).

La zona se encuentra encuadrada en la Región VII "Planicie del Petén", siendo los valores fundamentales $B=0.22$, $n=0.90$.

Los valores K de referencia para periodo de retorno 30 años son 2.30, 2.30 [no es errata, el valor K coincide en Gumbel y log-Normal] y 2.72 respectivamente para las distribuciones Gumbel, log-Normal y envolvente.

Los valores K de referencia para periodo de retorno 100 años son 2.86, 3.35y 3.38 respectivamente para las distribuciones Gumbel, log-Normal y envolvente.

4 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA POR CUENCA

Las cuencas que cruzan transversalmente la carretera Cruces – Bethel son las siguientes:

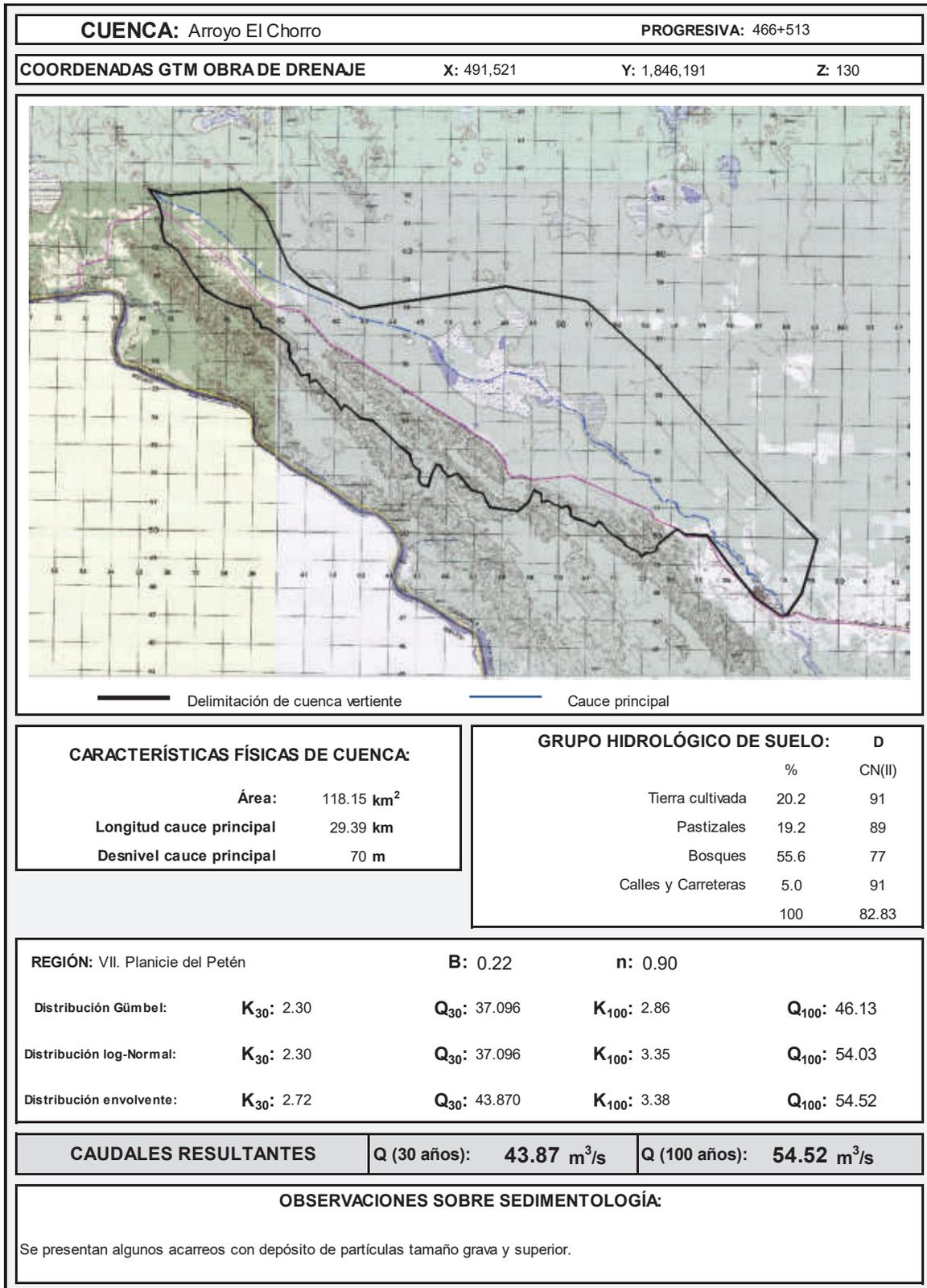
Tabla nº 7: *Cuencas en tramo Cruces – Bethel.*

CUENCA	PROGRESIVA	COORDENADAS GTM			CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE CUENCA			MÉTODO
		X	Y	Z	ÁREA (m ²)	LONG. CAUCE PRINCIPAL (m)	DESNIVEL CAUCE PRINCIPAL (m)	
Arroyo El Chorro	466+513	491,521	1,846,191	130	118,146,278	29,391	70	Regional
Río Bethel	498+295	466,552	1,858,670	105	82,221,166	14,836	225	Regional

5 FICHAS DE HIDROLOGÍA PARA DRENAJE TRANSVERSAL

Se incluye una ficha completa para cada cuenca en las páginas siguientes:

5.1 Cuenca Arroyo El Chorro



5.2 Cuenca Río Bethel

CUENCA: Río Bethel		PROGRESIVA: 498+295	
COORDENADAS GTM OBRA DE DRENAJE		X: 466,552	Y: 1,858,670
		Z: 105	
			
 Delimitación de cuenca vertiente		 Cauce principal	
CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE CUENCA:		GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO:	
Área:	82.22 km ²	Tierra cultivada	5.7
Longitud cauce principal	14.84 km	Pastizales	31.3
Desnivel cauce principal	225 m	Bosques	61.2
		Pavimentado en grava	1.8
		100	81.81
REGIÓN: VII. Planicie del Petén		B: 0.22	n: 0.90
Distribución Gúmbel:	K₃₀: 2.30	Q₃₀: 26.769	K₁₀₀: 2.86
		Q₁₀₀: 33.29	
Distribución log-Normal:	K₃₀: 2.30	Q₃₀: 26.769	K₁₀₀: 3.35
			Q₁₀₀: 38.99
Distribución envolvente:	K₃₀: 2.72	Q₃₀: 31.658	K₁₀₀: 3.38
			Q₁₀₀: 39.34
CAUDALES RESULTANTES		Q (30 años): 31.66 m ³ /s	Q (100 años): 39.34 m ³ /s
OBSERVACIONES SOBRE SEDIMENTOLOGÍA:			
Se presentan algunos acarrees con depósito de partículas tamaño grava y superior.			

6 DRENAJE LONGITUDINAL

Las cunetas son estructuras de drenaje que captan las aguas de escorrentía superficial proveniente de la plataforma de la vía y de los taludes de corte, conduciéndolas longitudinalmente hasta asegurar su adecuada disposición (Instituto Nacional de Vías, 2009).

Para el cálculo del caudal total a drenar se debe de considerar el caudal generado por precipitación pluviométrica durante una tormenta más el caudal que escurre por la calzada durante dicha tormenta.

La expresión para el cálculo del caudal específico está dada por:

$$Q_e = Q_{cuenca} + Q_{calzada} + Q_{talud}$$

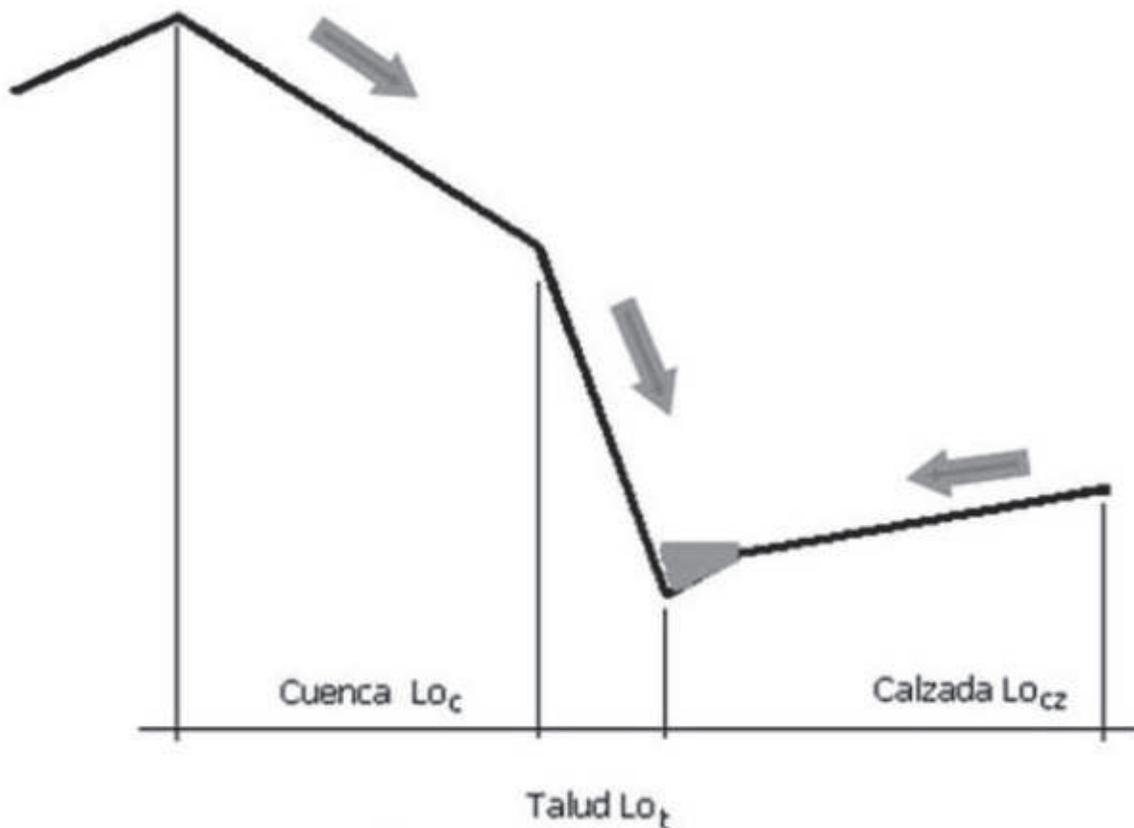


Figura n° 4: Caudales de aporte al caudal específico.

Para calcular dichos caudales se ha empleado el método racional descrito en el apartado 2. La formulación de referencia será la siguiente:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{K}$$

donde:

Q: Caudal (m³/s)

C: Coeficiente de escorrentía (adimensional)

I: intensidad (mm/hora)

A: Superficie (m²)

K: Coeficiente en función del tipo de unidades

Tabla nº 8: Valores de Coeficientes de escorrentía para un periodo de retorno (Chow, 2004)

Tipo de superficie	Periodo de retorno (años)						
	2	5	10	25	50	100	500
Zonas urbanas							
Asfalto	0,73	0,77	0,81	0,86	0,90	0,95	1,00
Cemento, tejados	0,75	0,80	0,83	0,88	0,92	0,97	1,00
Zonas verdes (céspedes, parques, etc.)							
<i>Condición pobre (cobertura vegetal inferior al 50% de la superficie)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,32	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,58
Pendiente media (2-7%)	0,37	0,40	0,43	0,46	0,49	0,53	0,61
Pendiente alta (> 7%)	0,40	0,43	0,45	0,49	0,52	0,55	0,62
<i>Condición media (cobertura vegetal entre el 50% y el 75% del área)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
<i>Condición buena (cobertura vegetal superior al 75%)</i>							
Pendiente baja (0-2%)	0,21	0,23	0,25	0,29	0,32	0,36	0,49
Pendiente media (2-7%)	0,29	0,32	0,35	0,39	0,42	0,46	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,51	0,58
Zonas rurales							
Campos de cultivo							
Pendiente baja (0-2%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,57
Pendiente media (2-7%)	0,35	0,38	0,41	0,44	0,48	0,51	0,60
Pendiente alta (> 7%)	0,39	0,42	0,44	0,48	0,51	0,54	0,61
Pastizales, prados, dehesas							
Pendiente baja (0-2%)	0,25	0,28	0,30	0,34	0,37	0,41	0,53
Pendiente media (2-7%)	0,33	0,36	0,38	0,42	0,45	0,49	0,58
Pendiente alta (> 7%)	0,37	0,40	0,42	0,46	0,49	0,53	0,60
Bosques, montes arbolados							
Pendiente baja (0-2%)	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,39	0,48
Pendiente media (2-7%)	0,31	0,34	0,36	0,40	0,43	0,47	0,56
Pendiente alta (> 7%)	0,35	0,39	0,41	0,45	0,48	0,52	0,58
Nota: Los valores de esta tabla son los utilizados en la ciudad de Austin (Texas, USA) para determinar caudales punta por el método racional en su término municipal.							

El uso del suelo se asignará como pastizales para el terreno del talud y cuenca y como asfalto para la calzada.

El área a drenar por el talud vendrá incluido en el área a drenar por la cuenca, y se expresará en metros cuadrados (m^2). El área de vía a drenar se calculará considerando el largo de la cuneta por la mitad del ancho de la vía.

La intensidad de lluvia se ha determinado utilizando la metodología descrita en el apartado 2.3 para un periodo de retorno de 30 años y un tiempo de concentración de 5 minutos (según el apartado 5.2.1 del documento "Manual de consideraciones técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamerica, SIECA).

Con los valores de intensidad obtenidos, según sea el caso, se procede a encontrar los respectivos valores de $Q_{\text{cuenca}} + Q_{\text{calzada}} + Q_{\text{talud}}$ y el respectivo Q_e .

Los resultados obtenidos se muestran en el Anexo 4 conjunto con los cálculos Hidráulicos.



Ciudad de Guatemala, 13 de Junio de 2017.

Fdo. Efraín Antonio de León Mendoza

Director del Proyecto

INFORME DE AVANCE N°3 (95%)

ESTUDIOS DE INGENIERIA DE DETALLE Y EVALUACION TECNICA, ECONOMICA, AMBIENTAL Y RIESGO DE LOS TRAMOS:

Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Peten

4. INFORME DE HIDRAULICA

ÍNDICE GENERAL

1	ENFOQUE GENERAL Y BIBLIOGRAFÍA.....	1
2	METODOLOGÍA Y SOFTWARE	2
3	TIPOS DE OBRAS DE DRENAJE A IMPLANTAR.....	8
4	APLICACIÓN DE METODOLOGÍA POR CUENCA.....	9
4.1	Cuenca Arroyo el Chorro.....	10
4.1.1	<i>Estado actual.</i>	10
4.1.2	<i>Capacidad Hidráulica de la obra de drenaje existente</i>	11
4.1.3	<i>Obra de drenaje proyectada (Puente)</i>	15
4.1.4	<i>Resumen para drenaje 466+513 Arroyo el Chorro.</i>	18
4.2	Cuenca Rio Bethel.....	19
4.2.1	<i>Estado actual.</i>	19
4.2.2	<i>Capacidad Hidráulica de la obra de drenaje existente</i>	20
4.2.3	<i>Obra de drenaje proyectada (Puente)</i>	24
4.2.4	<i>Resumen para drenaje 498+295 Rio Bethel</i>	27
5	NIVEL DE CRECIDA MÁXIMA EN LOS PUENTES	28
5.1	Metodología	28
5.2	Arroyo El Chorro PK 466+513	28
5.3	Rio Bethel PK 498+295	30
6	METODOLOGÍA DRENAJE LONGITUDINAL (MENORES).....	32
6.1	Listado de drenajes longitudinales menores.	34
6.2	Listado de drenajes transversales menores.	35

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla nº 1: Valores del coeficiente de rugosidad de Manning, "n".....	5
Tabla nº 2: Cuencas en tramo Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Petén.	9
Tabla nº 3: Características básicas del drenaje existente en estación 466+513.....	10
Tabla nº 4: Capacidad de puente existente	11
Tabla nº 5: Capacidad de drenaje de la sección.....	14
Tabla nº 6: Capacidad del puente proyectado	15
Tabla nº 7: Características básicas del puente en estación 498+295.....	19
Tabla nº 8: Capacidad del puente existente	20
Tabla nº 9: Capacidad de drenaje de la sección.....	23
Tabla nº 10: Capacidad del marco proyectado.....	24
Tabla nº 11: Resultados de la simulación de la crecida en el punto del puente.	29
Tabla nº 12: Curva de descarga resultado de la simulación en HY-8.	30
Tabla nº 13: Coeficiente de rugosidad de Manning (Chow, 2004)	32
Tabla nº 14: Capacidad hidráulica de cuneta triangular (MTI,2008)	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura nº 1: Ejemplo de Interfaz del ingreso de datos.....	3
Figura nº 2: Esquema de resultados del software	3
Figura nº 3: Ejemplo del perfil de la superficie del agua del drenaje.	7
Figura nº 4: Capacidad de puente existente	12
Figura nº 5: Flujo de diseño en estado actual	13
Figura nº 6: Capacidad de puente proyectado	16
Figura nº 7: Flujo de diseño en puente proyectado.....	17
Figura nº 8: Capacidad de tubería existente	21
Figura nº 9: Flujo de diseño en estado actual	22
Figura nº 10: Capacidad de tubería proyectada	25
Figura nº 11: Flujo de diseño en puente proyectado.	26
Figura nº 12: Nivel de crecida máxima en 466+513.....	28
Figura nº 13: Sección del cauce del río Bethel.	30
Figura nº 14: Curva de descarga aguas abajo del puente.....	31

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen nº 1. Fotografía del puente existente.....	10
Imagen nº 2. Entrada drenaje mayor 498+295.	19

1 ENFOQUE GENERAL Y BIBLIOGRAFÍA

Los trabajos de caracterización hidrológica de cada una de las cuencas que intersecta la alineación de carretera Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Petén se recopilan en *Anexo 3. Hidrología*, donde se establecieron los caudales de punta para los periodos de retorno seleccionados. En el presente apartado de Hidráulica se dará la solución óptima para el drenaje transversal en cada uno de los puntos y el drenaje longitudinal a lo largo del tramo de estudio.

Los datos de partida han sido tomados de los datos de topografía propios (trabajos que se han descrito en *Anexo 1. Topografía*) y de los datos Hidrológicos descritos en *Anexo 3. Hidrología*. Igualmente se han consultado tablas del “Open-Channel Hydraulics” (Chow, 1958) para determinar el número de Manning del terreno y materiales.

Para los drenajes transversales o drenajes mayores se han evaluado la capacidad de descarga del drenaje existente. Si el drenaje es capaz de evacuar los caudales de punta para el periodo de retorno seleccionado (30 ó 100 años), a la vez que cumple ciertas condiciones de geometría y su estado estructural es satisfactorio, se recomendará el mantenimiento de la estructura. Para las obras de drenaje existentes a mantener, se describirá el estado estructural, indicando en su caso si se precisan intervenciones correctoras. En caso de insuficiencia geométrica, estructural o hidráulica de la sección se proyectará un drenaje capaz de evacuar el caudal. Para los cálculos y diseño se ha utilizado el programa HY-8, desarrollado por la FHWA (Federal Highway Administration del U.S. Department of Transportation).

Para los drenajes menores (tubería hasta 72 pulgadas de diámetro) se ha empleado un periodo de retorno de 30 años. Para los drenajes mayores (marcos y bóvedas) se ha empleado un periodo de retorno de 100 años. Estas recomendaciones parten también del *Manual de Consideraciones Técnicas Hidrológicas e Hidráulicas para la Infraestructura Vial en Centroamérica*.

Se ha generado, para cada estructura de drenaje, un conjunto de planos y cálculos (*Anexo 5. Estructuras*). En lo posible, para obras de drenaje mayor se ha acudido a estructuras unicelulares o bicelulares de marcos de concreto reforzado,

con dimensiones estandarizadas, que son susceptibles tanto de construirse in-situ mediante métodos tradicionales de construcción como de prefabricarse y transportarse para su colocación.

Este Anexo 4. Hidráulica describe primero las metodologías empleadas y después las particulariza para cada drenaje, presentando de manera cómoda y visual cada solución mediante un reporte que recoge todas sus características.

2 METODOLOGÍA Y SOFTWARE

Para el cálculo y diseño de obras de drenaje transversal se ha empleado como referencia el software *HY-8 7.50* desarrollado por la FHWA (Highway Administration del U.S. Department of Transportation) en Julio de 2016.

Las variables fundamentales que intervienen en el cálculo son las siguientes:

- Datos de descarga (caudal de diseño)
- Datos del cauce existente (sección transversal con posibilidad de definir secciones irregulares, materiales y coeficiente de Manning, pendiente)
- Datos de la carretera (anchura, pavimentación, cota de la rasante)
- Datos de la alcantarilla (geometría, materiales, cota de la invertida y número de estructuras, con lo que pueden ser multi-tubería o marcos multicelulares)
- Datos del sitio (otros datos relevantes respecto a la posición de la obra de drenaje respecto a la rasante)

Los datos se introducen mediante una interfaz cómoda que cuenta con subrutinas que verifican la calidad de los datos, señalando los posibles errores introducidos por el ingeniero al cargo. Simultáneamente ofrece información parcial, tal como la curva de descarga de cada cauce.

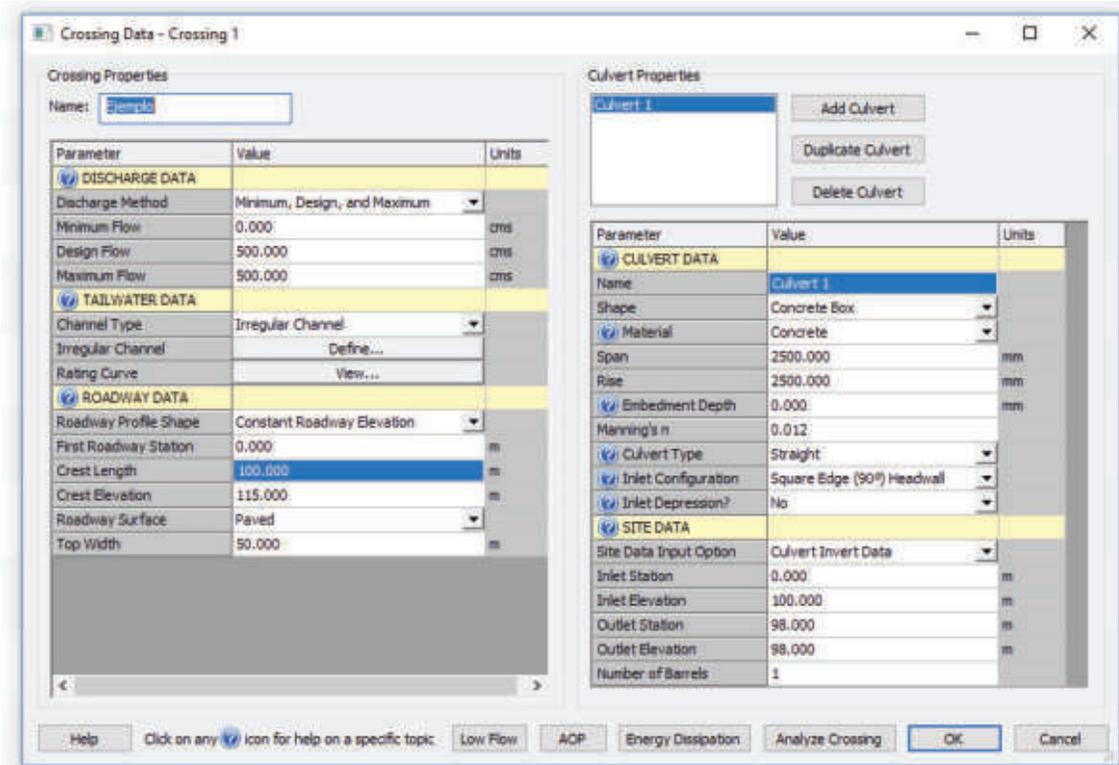


Figura nº 1: Ejemplo de Interfaz del ingreso de datos.

Tras la introducción de los datos, el programa se ejecuta devolviendo el detalle de los cálculos para el caudal de diseño.

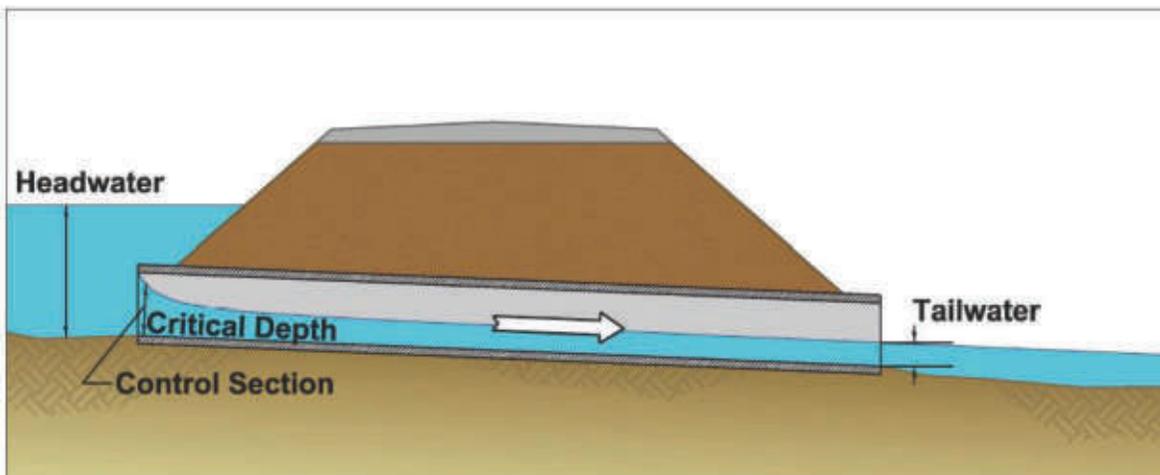


Figura nº 2: Esquema de resultados del software

En particular el software devuelve los siguientes datos:

- Tirante hidráulico en la entrada (*headwater*)

- Tirante hidráulico a lo largo de la obra de drenaje
- Tirante hidráulico en la salida (*tailwater*)
- En caso de desbordamiento, caudales fluyendo por la alcantarilla y por la carretera.

En el cuadro de "Discharge Data" se ingresan los datos del caudal total que se desea hacer cruz por la carretera, el cual está en unidades de [m³/s]

En el cuadro de "Tailwater data" se introducen todos los datos necesarios del cauce aguas abajo. Empezamos seleccionando en el cuadro de "Channel Type" escogemos el tipo de sección del río aguas abajo. Existe la opción de entrar cauces simplificados mediante opciones rectangulares, trapezoidales, triangulares etcétera, o la opción más genérica de "cauce irregular" que puede ser definido por el usuario. En general se ha preferido la opción de una definición completa del cauce para mayor precisión.

En el cuadro de "Roadway Data" se introducen los siguientes parámetros:

- "Crest Length", la longitud del drenaje medido por el eje de carretera en [m].
- "Crest Elevation", cota de plataforma, en [m]. Se emplean elevaciones en msnm.
- "Top Width", el ancho de la plataforma, en [m].

En el cuadro "CULVERT DATA" se introducen los datos necesarios para definir la obra de drenaje. Para cada obra de drenaje se han trabajado distintas soluciones hasta dar con la más adecuada.

- En "Shape", se introduce el tipo de obra de drenaje. Existen numerosas opciones que cubran todos los tipos existentes de drenaje. Para las proyectadas se han escogido tan solo "Circular" para tubería o "Concrete box" para los marcos de carretera.
- En "Material", se introduce el tipo de material de la obra de drenaje, lo que hace que el software seleccione el parámetro n más adecuado.
- En "Diameter", "Span" o "Rise" (según el caso) se introducen las

dimensiones del drenaje existente o proyectado.

- En "Manning's n" se introduce el coeficiente de rugosidad del material del conducto, en caso de que el propuesto por el software se desee modificar.

Para una mejor aproximación a los valores de "n" de Manning se ha consultado la publicación "Open-Channel Hydraulics" de Chow, 1958, que recomienda los siguientes valores:

Tabla nº 1: *Valores del coeficiente de rugosidad de Manning, "n".*

Type of Channel and Description	Minimum	Normal	Maximum
<i>A. Natural Streams</i>			
1. Main Channels			
a. Clean, straight, full, no rifts or deep pools			
b. Same as above, but more stones and weeds	0.025	0.030	0.033
c. Clean, winding, some pools and shoals	0.030	0.035	0.040
d. Same as above, but some weeds and stones	0.033	0.040	0.045
e. Same as above, lower stages, more ineffective slopes and sections	0.035	0.045	0.050
f. Same as "d" but more stones	0.040	0.048	0.055
g. Sluggish reaches, weedy, deep pools	0.045	0.050	0.060
h. Very weedy reaches, deep pools, or floodways with heavy stands of timber and brush	0.050	0.070	0.080
	0.070	0.100	0.150

B. Lined or Built-Up Channels
1. Concrete

a. Trowel finish	0.011	0.013	0.015
b. Float Finish	0.013	0.015	0.016
c. Finished, with gravel bottom	0.015	0.017	0.020
d. Unfinished	0.014	0.017	0.020
e. Gunite, good section	0.016	0.019	0.023
f. Gunite, wavy section	0.018	0.022	0.025
g. On good excavated rock	0.017	0.020	
h. On irregular excavated rock	0.022	0.027	

2. Concrete bottom float finished with sides of:

a. Dressed stone in mortar	0.015	0.017	0.020
b. Random stone in mortar	0.017	0.020	0.024
c. Cement rubble masonry, plastered	0.016	0.020	0.024
d. Cement rubble masonry	0.020	0.025	0.030
e. Dry rubble on riprap	0.020	0.030	0.035

3. Gravel bottom with sides of:

a. Formed concrete	0.017	0.020	0.025
b. Random stone in mortar	0.020	0.023	0.026
c. Dry rubble or riprap	0.023	0.033	0.036

4. Brick

a. Glazed	0.011	0.013	0.015
b. In cement mortar	0.012	0.015	0.018

5. Metal

a. Smooth steel surfaces	0.011	0.012	0.014
b. Corrugated metal	0.021	0.025	0.030

6. Asphalt

a. Smooth	0.013	0.013	
b. Rough	0.016	0.016	

En el cuadro "SITE DATA" se introducen los siguientes parámetros:

- "Inlet Elevation", se introduce la cota de terreno (cauce) en la entrada de la obra de drenaje transversal en [m].
- "Outlet Station", se introduce la longitud de la obra de drenaje en [m].
- "Outlet Elevation", se introduce la cota de salida de la obra de drenaje transversal.
- "Number of Barrels", se introduce el número de conductos. Si bien la solución habitual es tan solo 1, se emplea esporádicamente en el cálculo de pasos de agua con varias tuberías o mediante marcos multi-celulares.

El resultado fundamental del cálculo entrega como resultado un esquema similar al que se muestra a continuación:

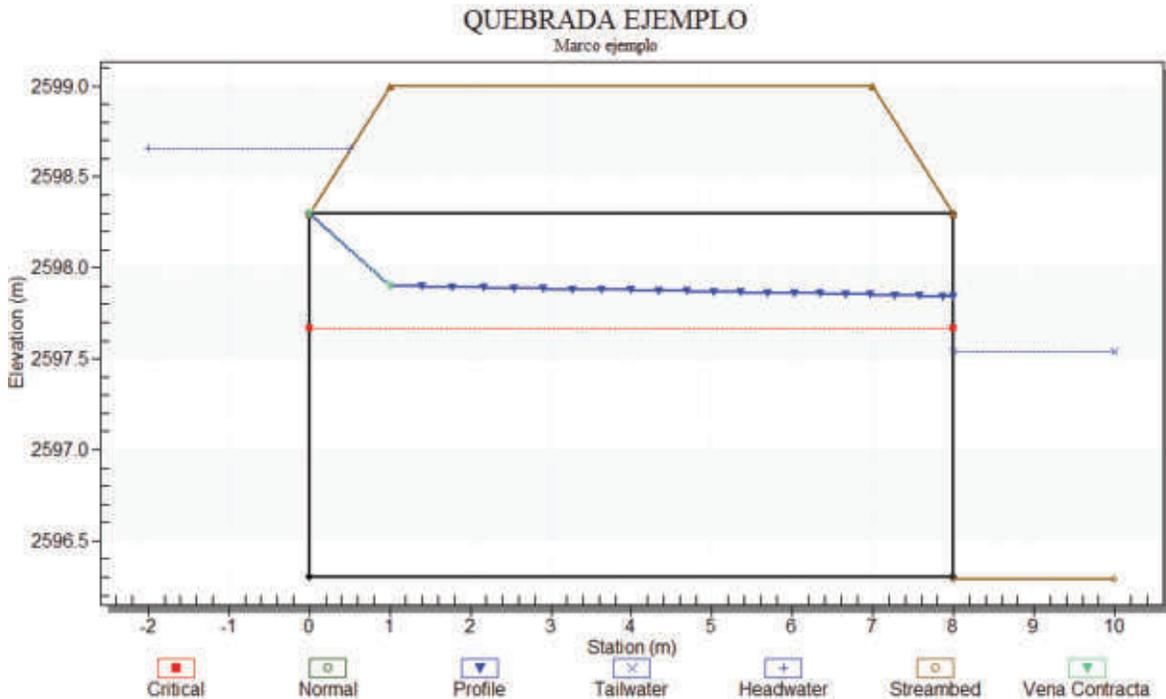


Figura n° 3: Ejemplo del perfil de la superficie del agua del drenaje.

El software calcula la elevación de la lámina de agua en los puntos de entrada y salida y en los puntos intermedios de la obra de drenaje (color azul), mostrando a su vez como ayuda al diseño el nivel crítico del agua (color rojo). Todo esto queda enmarcado en una sección transversal (no a escala) donde se grafía también la obra de drenaje (color negro) y la carretera y terreno natural (color café)

Iterando este trabajo para distintas soluciones, el diseñador ha escogido la mejor solución para cada caso, dentro de una deseable estandarización.

3 TIPOS DE OBRAS DE DRENAJE A IMPLANTAR

Tubería circular de acero corrugado de diámetros 36", 42", 48", 60" y 72".

Marcos de drenaje prefabricados o contruidos in-situ, de concreto reforzado, cuadrados. De ancho-luz 2.00 metros, 2.50 metros, 3.00 metros, 3.50 metros y 4.00 metros. En función de la forma del canal natural a rebasar se emplearán de una única célula o multicelulares.

El cálculo de estructuras de cada solución se encuentra en el Anejo 6.

4 APLICACIÓN DE METODOLOGÍA POR CUENCA

Las cuencas que cruzan transversalmente la carretera Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Petén son las siguientes:

NOTA: Para cuencas de ríos sin nombre, se han empleado toponimia local.

Tabla n° 2: *Cuencas en tramo Las Cruces – Puesto Fronterizo Bethel, Petén.*

CUENCA	PROGRESIVA	CAUDAL DE DISEÑO		TIPO DE DREN EXISTENTE
		Q30	Q100	
Arroyo el Chorro	466+513	43.87	54.52	Puente
Rio Bethel	498+295	31.66	39.34	Puente

En las siguientes páginas se incluye un reporte del estado actual, su capacidad hidráulica y las actuaciones propuestas para cada drenaje transversal.

4.1 Cuenca Arroyo el Chorro.

4.1.1 Estado actual.

Tabla n° 3: *Características básicas del drenaje existente en estación 466+513.*

Tipo de estructura	Puente
Estación	466+513
Q100 (m³/s)	54.52
Ancho camino (m)	3.50



Imagen n° 1. Fotografía del puente existente.

4.1.2 Capacidad Hidráulica de la obra de drenaje existente

La máxima de capacidad del puente en su estado actual es de 74.76 m³/s, de acuerdo a la siguiente tabla y gráfica:

Tabla nº 4: *Capacidad de puente existente*

Elevación de lámina de agua (msnm)	Caudal total (m ³ /s)	Caudal que atraviesa la obra de drenaje (m ³ /s)	Caudal que discurre sobre el pavimento (m ³ /s)	Iteraciones de cálculo
114.13	0.00	0.00	0.00	1
114.71	5.45	5.45	0.00	1
115.02	10.90	10.90	0.00	1
115.27	16.36	16.36	0.00	1
115.49	21.81	21.81	0.00	1
115.70	27.26	27.26	0.00	1
115.92	32.71	32.71	0.00	1
115.75	38.16	38.16	0.00	1
115.91	43.62	43.62	0.00	1
116.06	49.07	49.07	0.00	1
116.20	54.52	54.52	0.00	1
116.88	74.76	74.76	0.00	Overtopping

Total Rating Curve

Crossing: Arroyo El Chorro Existente

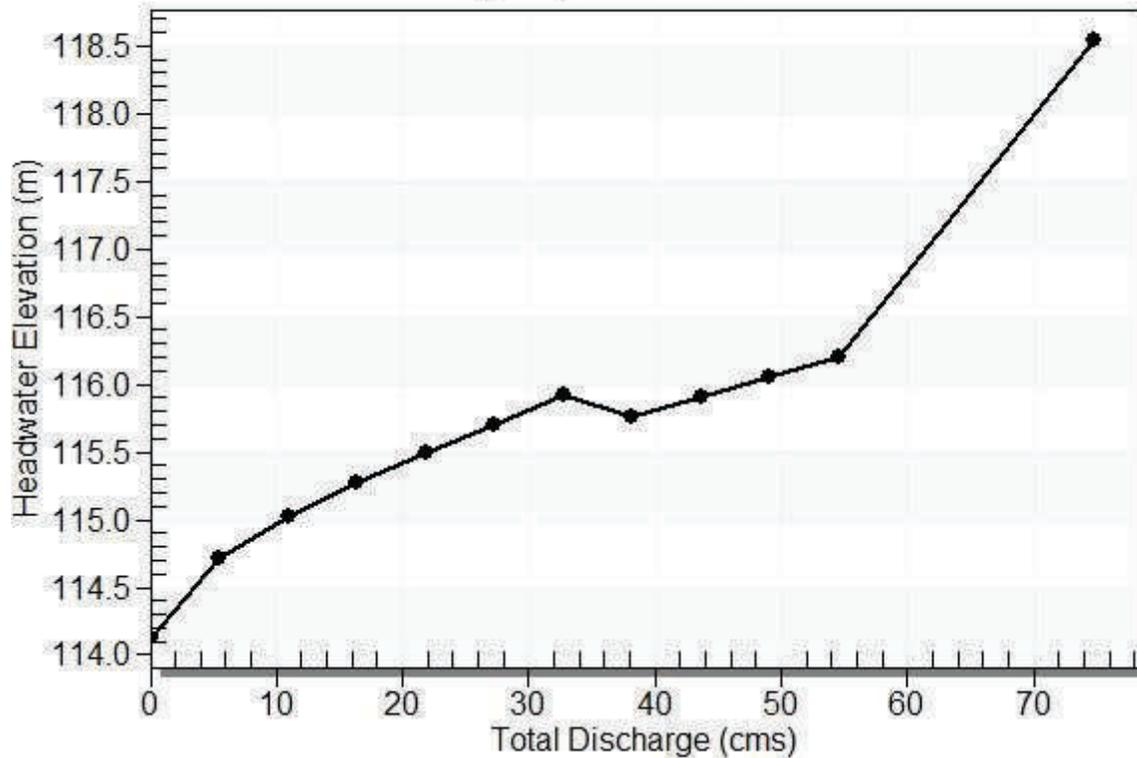


Figura n° 4: Capacidad de puente existente

La obra de drenaje construida es suficiente para desaguar caudales para un periodo de retorno de 100 años. Para el caudal de diseño la rasante queda 0.68 metros sobre la cota de carga, de acuerdo a la siguiente simulación:

Crossing - Arroyo El Chorro Existente, Design Discharge - 54.52 cms
 Culvert - Puente, Culvert Discharge - 54.52 cms

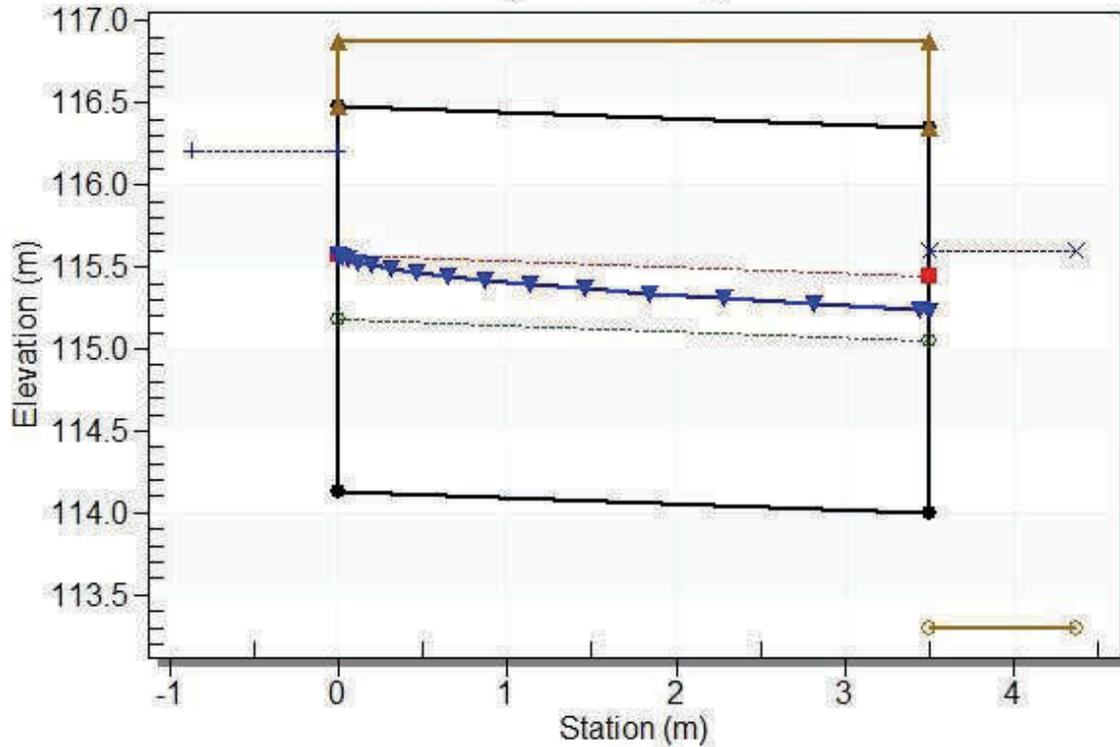


Figura n° 5: Flujo de diseño en estado actual

La capacidad de drenaje del propio canal natural es satisfactoria aguas debajo de la obra de drenaje, según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla nº 5: *Capacidad de drenaje de la sección*

Caudal total (m ³ /s)	Elevación de lámina de agua (msnm)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Número de Froude
0.00	113.30	0.00	0.00	0
5.45	114.63	1.33	0.51	0.26
10.90	114.86	1.56	0.57	0.27
16.36	115.02	1.72	0.61	0.27
21.81	115.16	1.86	0.62	0.28
27.26	115.26	1.96	0.64	0.28
32.71	115.35	2.05	0.66	0.28
38.16	115.42	2.12	0.68	0.28
43.62	115.48	2.18	0.69	0.28
49.07	115.54	2.24	0.71	0.29
54.52	115.60	2.30	0.73	0.29

Aunque el drenaje tenga la capacidad hidráulica, el puente no cumple con el requerimiento de ancho mínimo de la carretera. La solución que ha de adoptarse por tanto es el remplazo de la sección de drenaje por otra de mayor ancho y misma capacidad hidráulica.

4.1.3 Obra de drenaje proyectada (Puente)

Se ha encontrado que una solución adecuada para esta obra de drenaje es puente de mayor ancho, según se muestra a continuación:

Tabla nº 6: *Capacidad del puente proyectado*

Elevación de lámina de agua (msnm)	Caudal total (m ³ /s)	Caudal que atraviesa la obra de drenaje (m ³ /s)	Caudal que discurre sobre el pavimento (m ³ /s)	Iteraciones de cálculo
114.13	0.00	0.00	0.00	1
114.73	5.45	5.45	0.00	1
115.06	10.90	10.90	0.00	1
115.34	16.36	16.36	0.00	1
115.59	21.81	21.81	0.00	1
115.87	27.26	27.26	0.00	1
115.73	32.71	32.71	0.00	1
115.95	38.16	38.16	0.00	1
116.15	43.62	43.62	0.00	1
116.34	49.07	49.07	0.00	1
116.53	54.52	54.52	0.00	1
116.80	61.98	61.98	0.00	Overtopping

Performance Curve

Culvert: Puente

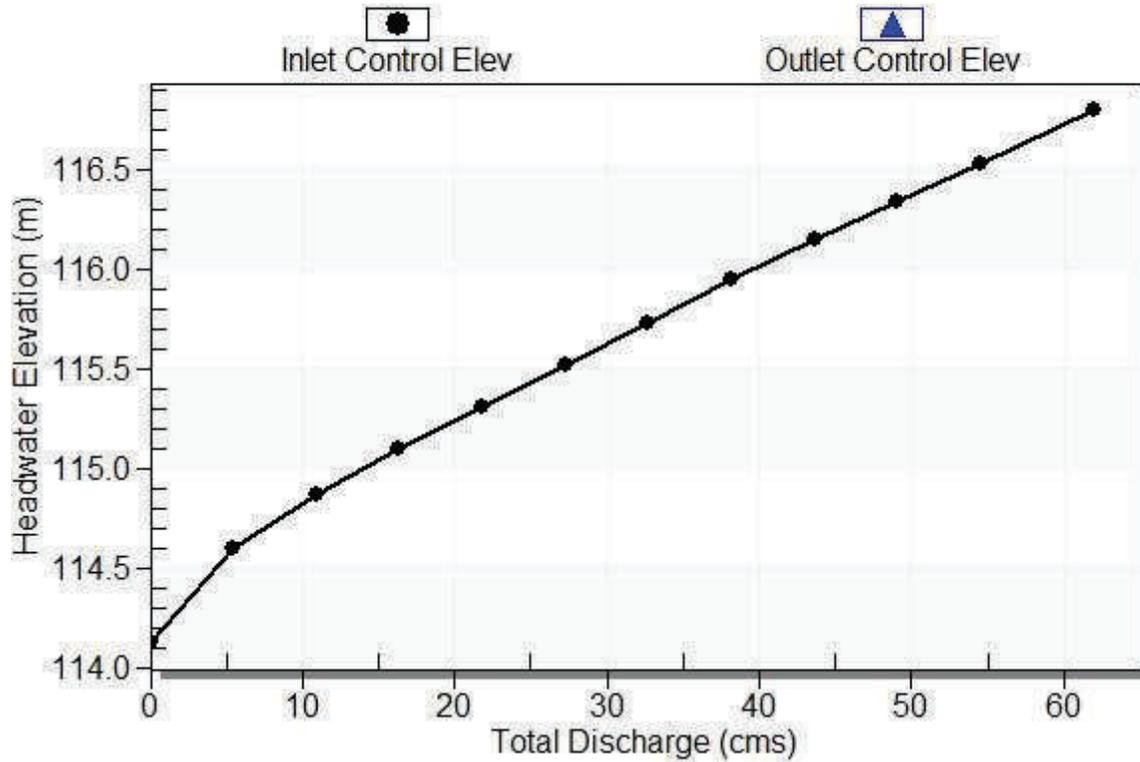


Figura n° 6: Capacidad de puente proyectado

La obra de drenaje proyectada es suficiente para desaguar caudales superiores a los 54.52 m³/s (que es el caudal de diseño).

Para el caudal de diseño y el elemento proyectado se ha obtenido la siguiente simulación:

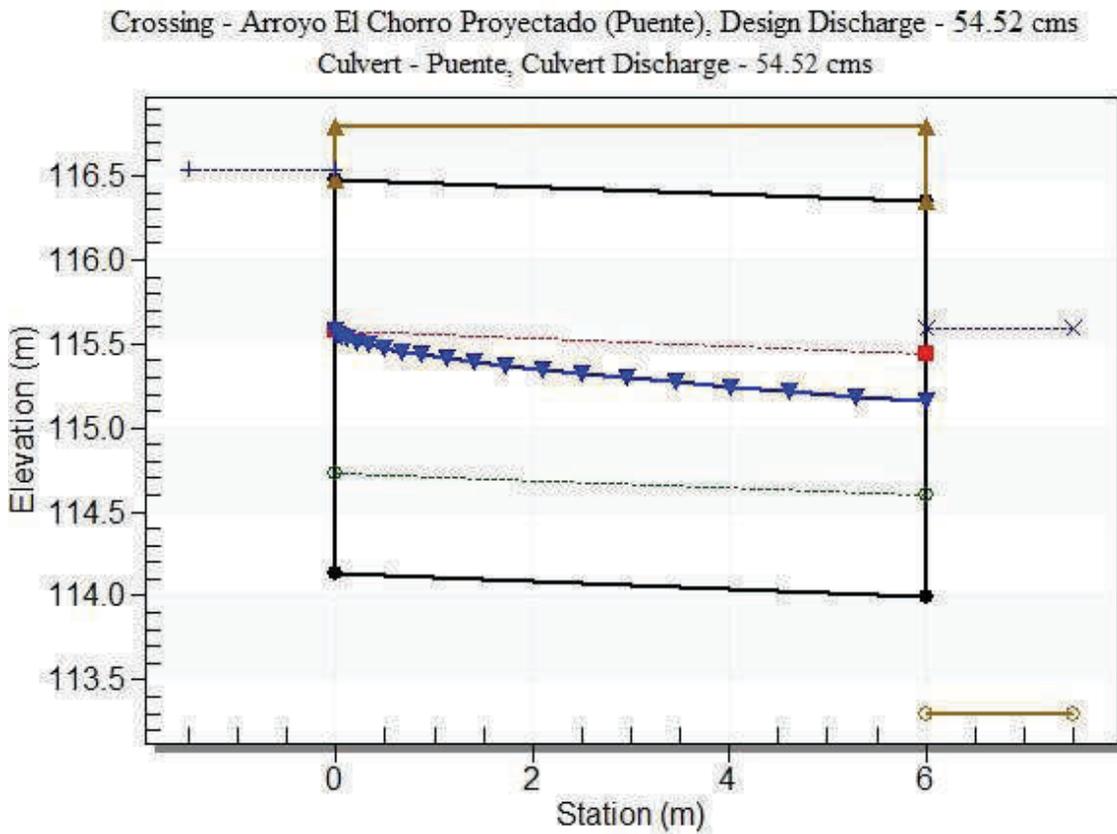


Figura n° 7: Flujo de diseño en puente proyectado.

4.1.4 Resumen para drenaje 466+513 Arroyo el Chorro.

Estación 466+513

Puente sustituir por puente de 7.2 de ancho

Longitud = 10.9 metros

Construir cabezal Recto en entrada y salida

Cota Invert = 114.132 msnm

Esta información quedará incorporada a planos.

4.2 Cuenca Rio Bethel

4.2.1 Estado actual.

Tabla n° 7: *Características básicas del puente en estación 498+295.*

Tipo de estructura	Puente
Estación	498+295
Q100 (m³/s)	39.34
Ancho camino (m)	3.50



Imagen n° 2. Entrada drenaje mayor 498+295.

4.2.2 Capacidad Hidráulica de la obra de drenaje existente.

El máximo de capacidad del puente en su estado actual es de 73.19 m³/s, de acuerdo a la siguiente tabla y gráfica:

Tabla nº 8: *Capacidad del puente existente*

Elevación de lámina de agua (msnm)	Caudal total (m ³ /s)	Caudal que atraviesa la obra de drenaje (m ³ /s)	Caudal que discurre sobre el pavimento (m ³ /s)	Iteraciones de cálculo
107.27	25.00	25.00	0.00	1
107.33	26.43	26.43	0.00	1
107.39	27.87	27.87	0.00	1
107.44	29.30	29.30	0.00	1
107.50	30.74	30.74	0.00	1
107.56	32.17	32.17	0.00	1
107.61	33.60	33.60	0.00	1
107.67	35.04	35.04	0.00	1
107.73	36.47	36.47	0.00	1
107.78	37.91	37.91	0.00	1
107.84	39.34	39.34	0.00	1
109.00	73.19	73.19	0.00	Overtopping

Total Rating Curve

Crossing: Rio Bethel Existente

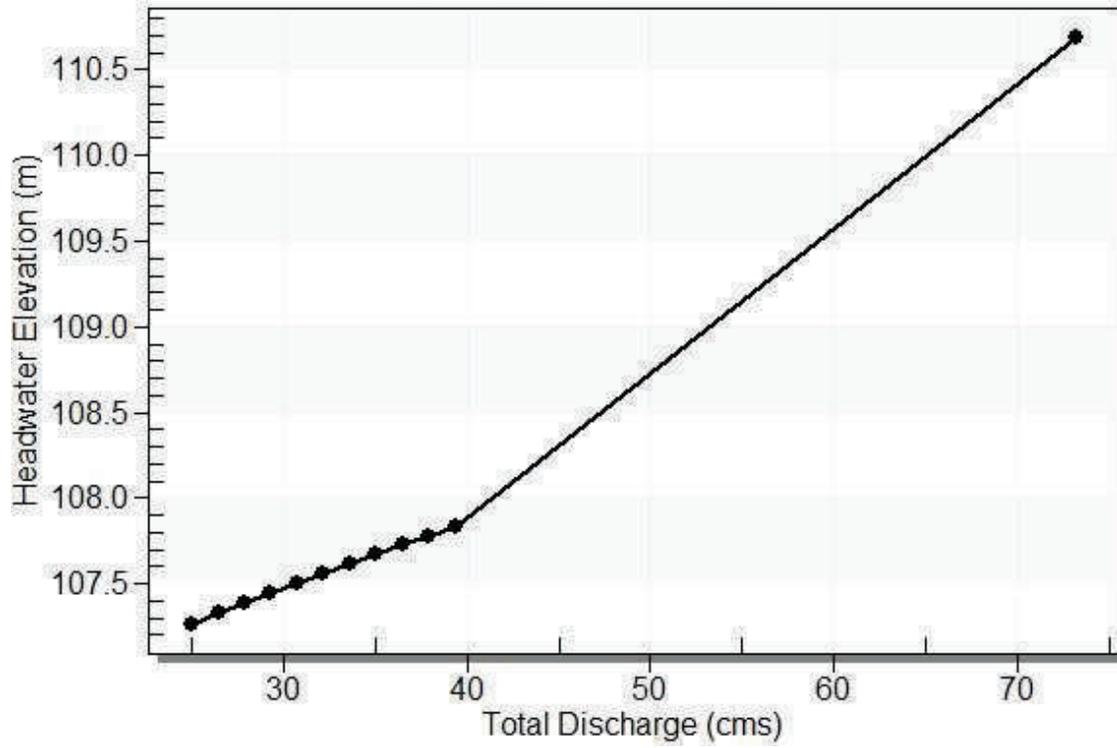


Figura n° 8: Capacidad de tubería existente

La obra de drenaje construida es suficiente para desaguar caudales para un periodo de retorno de 100 años. Para el caudal de diseño la rasante queda 1.16 metros sobre la cota de carga, de acuerdo a la siguiente simulación:

Crossing - Rio Bethel Existente, Design Discharge - 39.34 cms
 Culvert - Puente, Culvert Discharge - 39.34 cms

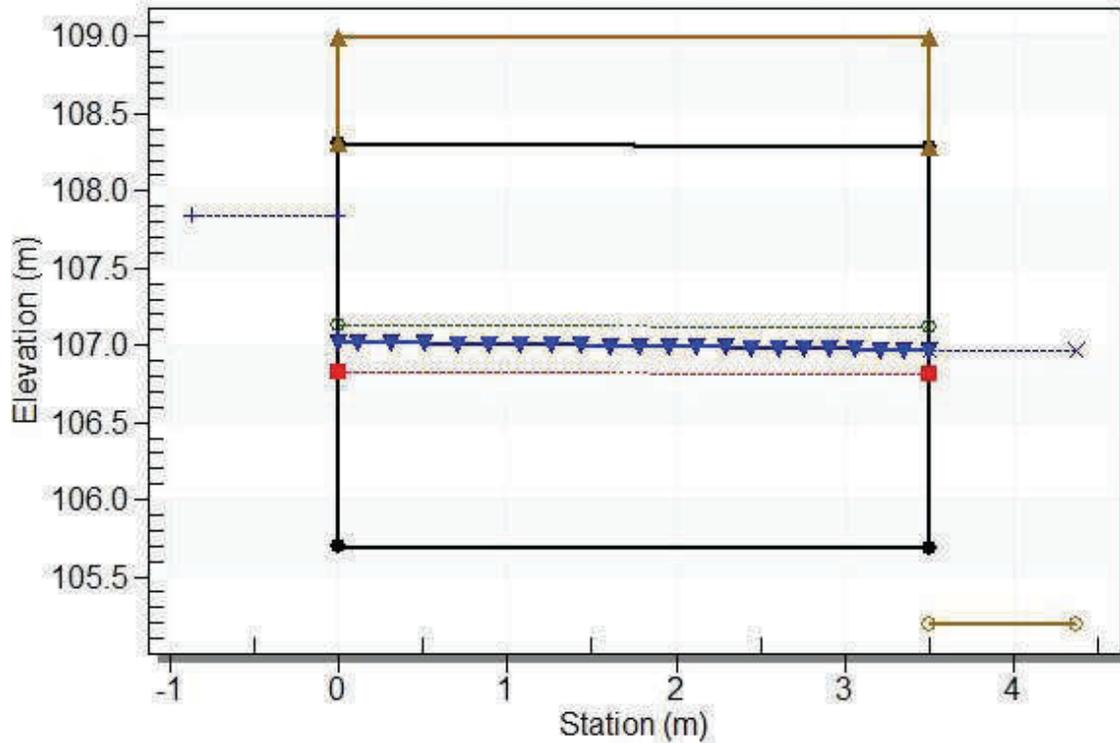


Figura n° 9: Flujo de diseño en estado actual

La capacidad de drenaje del propio canal natural es satisfactoria aguas debajo de la obra de drenaje, según se muestra en la siguiente tabla:

Tabla nº 9: *Capacidad de drenaje de la sección.*

Caudal total (m ³ /s)	Elevación de lámina de agua (msnm)	Profundidad (m)	Velocidad (m/s)	Número de Froude
25.00	106.78	1.58	1.08	0.5
26.43	106.80	1.60	1.09	0.51
27.87	106.82	1.63	1.10	0.51
29.30	106.84	1.65	1.11	0.51
30.74	106.86	1.67	1.12	0.51
32.17	106.88	1.68	1.13	0.51
33.60	106.90	1.70	1.13	0.51
35.04	106.92	1.72	1.14	0.51
36.47	106.93	1.74	1.15	0.51
37.91	106.95	1.75	1.16	0.51
39.34	106.96	1.77	1.17	0.51

Aunque el drenaje tenga la capacidad hidráulica, el puente no cumple con el requerimiento de ancho mínimo de la carretera. La solución que ha de adoptarse por tanto es el remplazo de la sección de drenaje por otra de mayor ancho y misma capacidad hidráulica.

4.2.3 Obra de drenaje proyectada (Puente)

Se ha encontrado que la solución adecuada para esta obra de drenaje es un puente de 6m de ancho, según se muestra a continuación:

Tabla nº 10: *Capacidad del marco proyectado*

Elevación de lámina de agua (msnm)	Caudal total (m ³ /s)	Caudal que atraviesa la obra de drenaje (m ³ /s)	Caudal que discurre sobre el pavimento (m ³ /s)	Iteraciones de cálculo
107.16	25.00	25.00	0.00	1
107.21	26.43	26.43	0.00	1
107.26	27.87	27.87	0.00	1
107.31	29.30	29.30	0.00	1
107.37	30.74	30.74	0.00	1
107.42	32.17	32.17	0.00	1
107.47	33.60	33.60	0.00	1
107.52	35.04	35.04	0.00	1
107.57	36.47	36.47	0.00	1
107.62	37.91	37.91	0.00	1
107.67	39.34	39.34	0.00	1
109.00	84.70	84.70	0.00	Overtopping

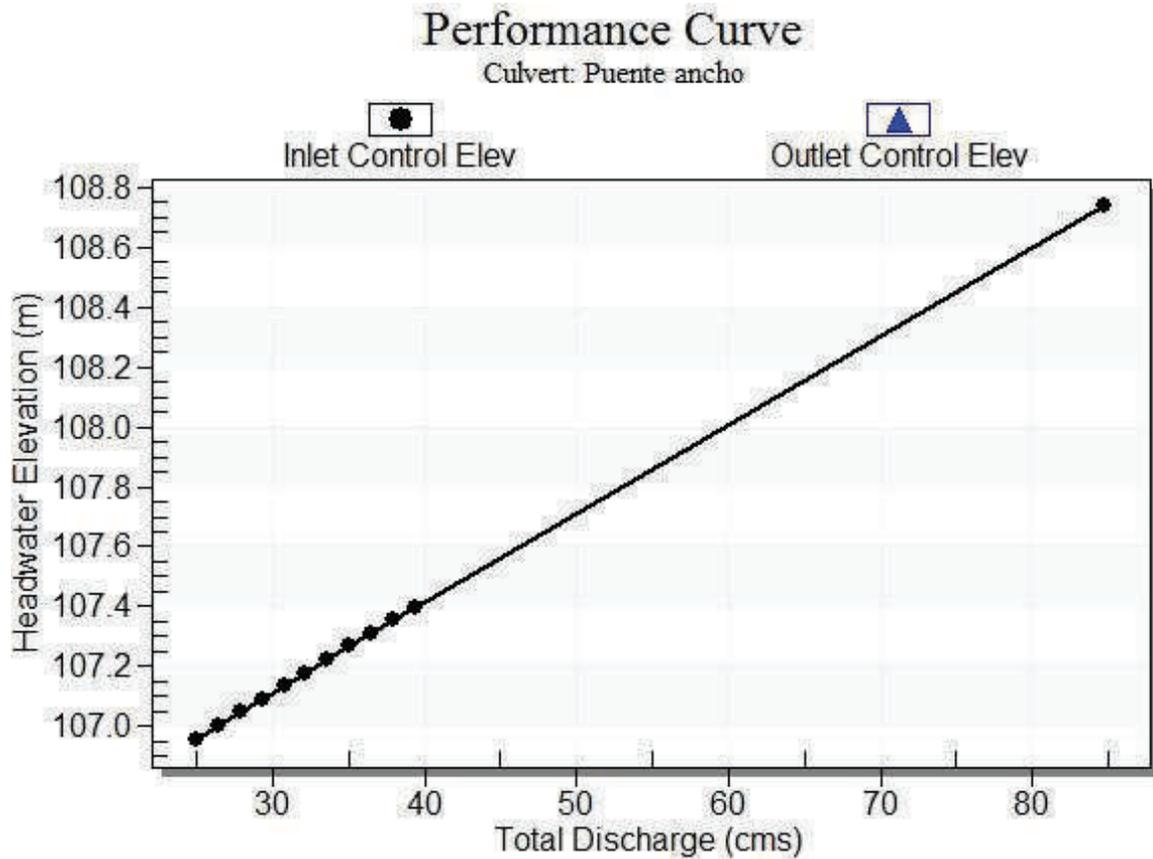


Figura n° 10: Capacidad de tubería proyectada

La obra de drenaje proyectada es suficiente para desaguar caudales superiores a los 39.34 m³/s (que es el caudal de diseño).

Para el caudal de diseño y el elemento proyectado se ha obtenido la siguiente simulación:

Crossing - Rio Bethel proyectado (puente), Design Discharge - 39.34 cms
 Culvert - Puente ancho, Culvert Discharge - 39.34 cms

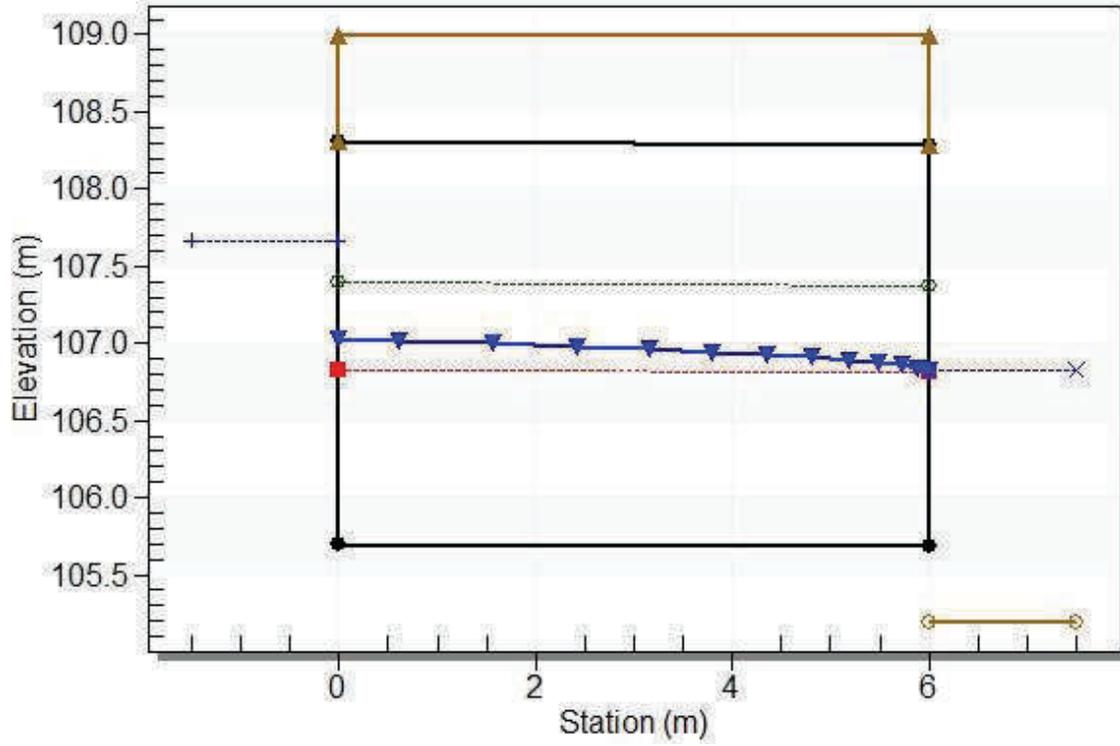


Figura n° 11: Flujo de diseño en puente proyectado.

4.2.4 Resumen para drenaje 498+295 Rio Bethel.

Estación 498+295

Puente sustituir por puente de 7.2m de ancho

Longitud = 10.90 metros

Construir cabezal Recto en entrada y salida

Cota Invert = 98.70 msnm

Esta información quedará incorporada a planos.

5 NIVEL DE CRECIDA MÁXIMA EN LOS PUENTES

5.1 Metodología

Los efectos de la crecida han sido evaluados mediante la modelización del comportamiento del río durante un caudal permanente con valor igual al de la crecida máxima. Básicamente se trata de calcular los niveles que alcanzará el agua a su paso por los puentes.

El modelo a utilizar será el HEC-RAS (Hydrological Engineering Center-River Analysis System) y se usará la topografía de detalle para introducir la morfología del río.

5.2 Arroyo El Chorro PK 466+513

La siguiente figura muestra el efecto de las avenidas en la sección donde se ubicará el puente. Esta simulación representa el desarrollo de la crecida en el cauce del Arroyo El Chorro, sin la construcción del puente.

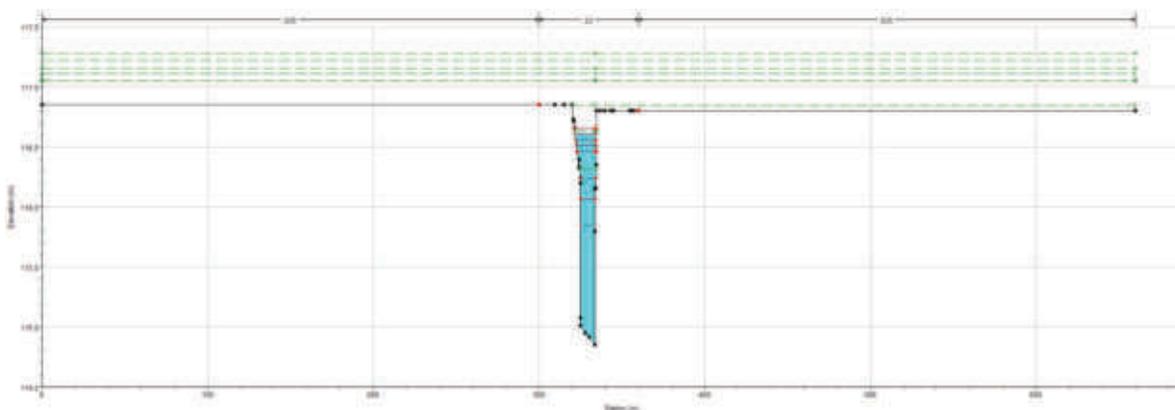


Figura nº 12: Nivel de crecida máxima en 466+513.

En la siguiente tabla se indican los niveles de crecida a lo largo del río. La sección donde se ubica el puente es la 190.

Tabla nº 11: Resultados de la simulación de la crecida en el punto del puente.

HEC-RAS Plan: 1-3 River: El CHORRON Reach: EJE DEL RIO inve Profile: Q100												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Ch
EJE DEL RIO inve	380	Q100	54.52	114.42	117.28	115.48	117.28	0.000001	0.05	1262.64	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	370	Q100	54.52	114.43	117.28		117.28	0.000001	0.05	1268.38	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	360	Q100	54.52	114.41	117.28		117.28	0.000001	0.05	1263.82	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	350	Q100	54.52	114.38	117.28		117.28	0.000001	0.05	1238.62	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	340	Q100	54.52	114.35	117.28		117.28	0.000001	0.06	1209.31	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	330	Q100	54.52	114.39	117.28		117.28	0.000001	0.06	1215.90	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	320	Q100	54.52	114.43	117.28		117.28	0.000001	0.06	1226.19	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	310	Q100	54.52	114.43	117.28		117.28	0.000001	0.05	1293.46	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	300	Q100	54.52	114.38	117.28		117.28	0.000001	0.04	1438.00	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	290	Q100	54.52	114.40	117.28		117.28	0.000001	0.04	1485.39	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	280	Q100	54.52	114.44	117.28		117.28	0.000001	0.04	1469.58	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	270	Q100	54.52	114.43	117.28		117.28	0.000001	0.04	1456.05	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	260	Q100	54.52	114.45	117.28		117.28	0.000001	0.05	1421.23	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	250	Q100	54.52	114.45	117.28		117.28	0.000001	0.05	1372.45	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	240	Q100	54.52	114.36	117.28		117.28	0.000001	0.05	1314.33	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	230	Q100	54.52	114.32	117.28		117.28	0.000001	0.05	1346.90	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	220	Q100	54.52	114.30	117.28		117.28	0.000001	0.05	1336.60	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	210	Q100	54.52	114.30	117.28		117.28	0.000001	0.05	1277.69	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	200	Q100	54.52	114.06	117.28		117.28	0.000001	0.06	1063.41	660.00	0.01
EJE DEL RIO inve	190	Q100	54.52	114.85	116.61	116.61	117.22	0.010721	3.46	15.76	12.95	1.00
EJE DEL RIO inve	180	Q100	54.52	114.43	115.00	115.11	116.80	0.289660	7.21	15.92	319.41	4.53
EJE DEL RIO inve	170	Q100	54.52	114.32	115.31	115.09	115.32	0.000654	0.57	133.57	349.17	0.25
EJE DEL RIO inve	160	Q100	54.52	114.28	115.30		115.31	0.000755	0.61	127.40	353.79	0.26
EJE DEL RIO inve	150	Q100	54.52	114.26	115.30		115.31	0.000678	0.58	146.02	660.00	0.25
EJE DEL RIO inve	140	Q100	54.52	114.26	115.29		115.30	0.000354	0.44	162.37	350.06	0.18
EJE DEL RIO inve	130	Q100	54.52	114.27	115.29		115.30	0.000620	0.51	137.56	348.54	0.23
EJE DEL RIO inve	120	Q100	54.52	114.30	115.28		115.29	0.000839	0.53	126.62	353.15	0.26
EJE DEL RIO inve	110	Q100	54.52	114.30	115.28		115.28	0.000111	0.23	234.07	354.33	0.10
EJE DEL RIO inve	90	Q100	54.52	114.32	115.28		115.28	0.000242	0.27	237.04	660.00	0.14
EJE DEL RIO inve	80	Q100	54.52	114.30	115.27		115.28	0.000698	0.41	149.65	660.00	0.23
EJE DEL RIO inve	70	Q100	54.52	114.15	115.20	115.20	115.26	0.005388	1.31	72.01	655.09	0.67
EJE DEL RIO inve	50	Q100	54.52	114.29	115.16	115.02	115.17	0.000909	0.46	158.59	656.57	0.26
EJE DEL RIO inve	40	Q100	54.52	114.27	115.07	115.07	115.14	0.009686	1.60	56.39	339.31	0.87
EJE DEL RIO inve	30	Q100	54.52	114.26	114.94	114.84	114.96	0.003011	0.77	92.28	644.79	0.47
EJE DEL RIO inve	20	Q100	54.52	114.26	114.94		114.95	0.000838	0.44	141.25	655.62	0.25
EJE DEL RIO inve	10	Q100	54.52	114.19	114.94	114.64	114.94	0.000250	0.28	231.41	660.00	0.14

El nivel alcanzado según el método de estimación de la crecida es el siguiente:

- Q100 años 116.61 m.s.n.m.

5.3 Rio Bethel PK 498+295

La siguiente figura muestra la sección tipo del cauce del río. En este apartado se evaluará la capacidad de descarga del cauce y el efecto de la crecida máxima. Para ambos cálculos se ha utilizado el programa HY-8, de acuerdo a la metodología descrita en el apartado 2.

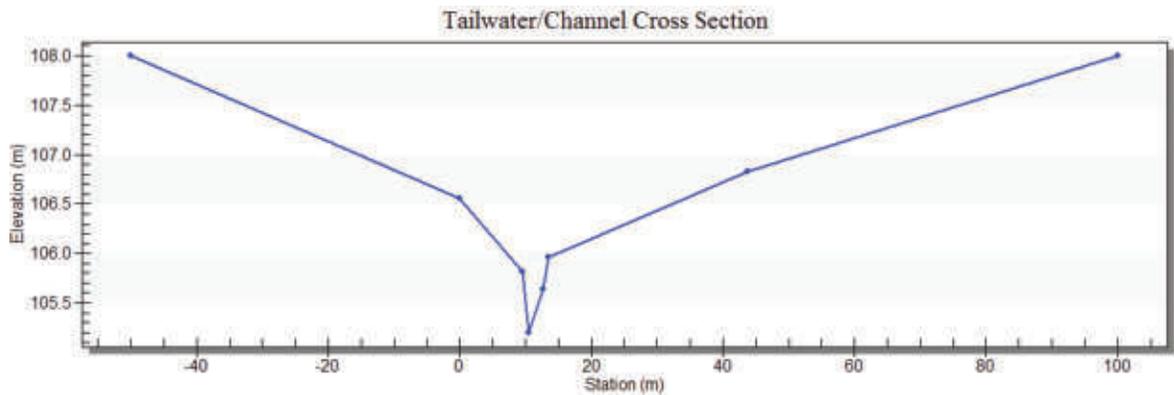
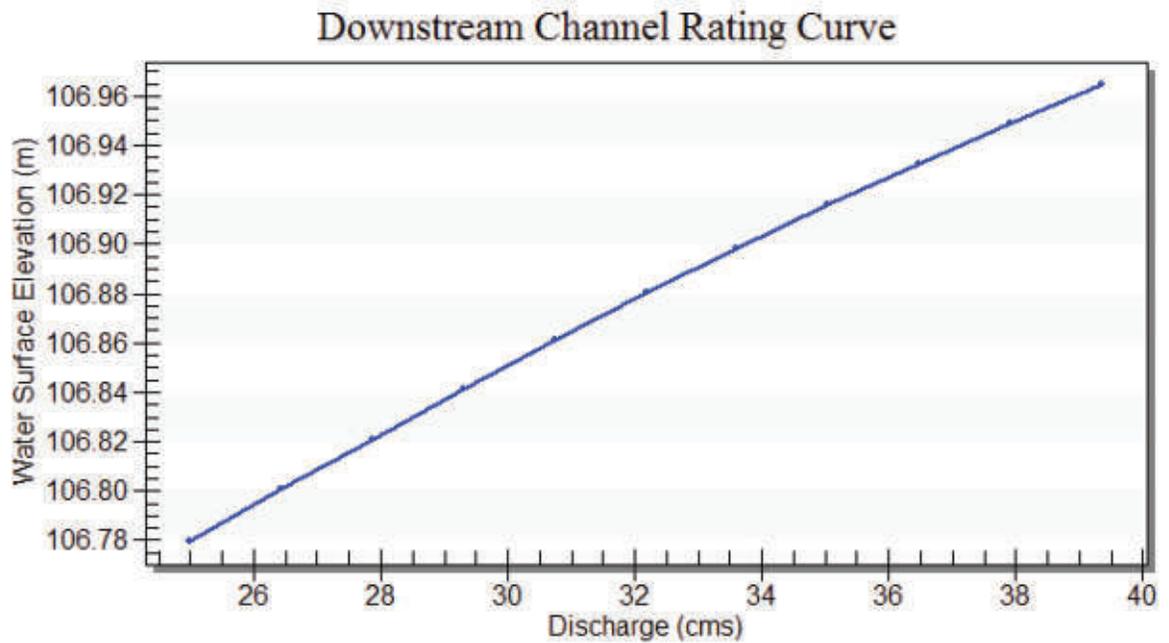


Figura nº 13: Sección del cauce del río Bethel.

Tabla nº 12: Curva de descarga resultado de la simulación en HY-8.

Flow (cms)	Elevation (m)	Depth (m)	Velocity (m/s)	Shear (Pa)
25.000	106.780	1.584	1.077	80.721
26.434	106.801	1.605	1.089	81.799
27.868	106.821	1.625	1.100	82.832
29.302	106.842	1.646	1.109	83.874
30.736	106.861	1.665	1.117	84.878
32.170	106.880	1.684	1.125	85.841
33.604	106.898	1.702	1.134	86.765
35.038	106.916	1.720	1.142	87.656
36.472	106.933	1.737	1.150	88.515
37.906	106.949	1.753	1.158	89.347
39.340	106.965	1.769	1.165	90.152

Figura n° 14: Curva de descarga aguas abajo del puente.



El nivel alcanzado según el método de estimación de la crecida para un caudal con periodo de retorno de 100 años es el siguiente: 106.965 msnm.

6 METODOLOGÍA DRENAJE LONGITUDINAL (MENORES)

La capacidad hidráulica de una cuneta depende de su forma, pendiente y rugosidad. Ya que se conocen las pendientes transversal y longitudinal de la calle, la cuneta puede representarse como un canal abierto de sección triangular y su capacidad hidráulica puede estimarse con la fórmula de Manning de flujo uniforme.

$$Q = \frac{A * R_h^{2/3} * \sqrt{S}}{n}$$

Donde:

Q: Capacidad Hidráulica (m³/s)

A: Area (m²)

Rh: Radio Hidráulico (m)

S: Pendiente (m/m)

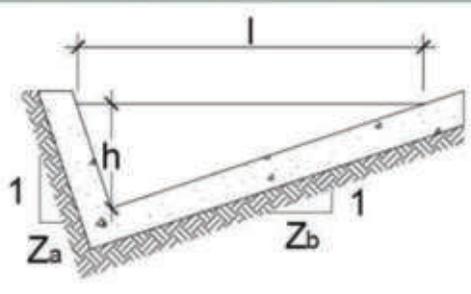
n: Coeficiente de rugosidad de Manning (adimensional)

Los valores de n se deben tomar según las características del material de la cuneta, por lo que en la siguiente tabla se presentan algunos valores característicos de n .

Tabla nº 13: *Coeficiente de rugosidad de Manning (Chow, 2004)*

TIPO DE SUPERFICIE	"n"
Cuneta de hormigón con buen acabado	0.012
Revestimiento de asfalto con textura lisa	0.013
Revestimiento de asfalto con textura áspera	0.016
Revestimiento con lechada de cemento	
a) Acabado con frotachado	0.014
b) Acabado manual alisado	0.016
c) Acabado manual áspero	0.020
Revestimiento con adoquines	0.020
Cunetas con pequeñas pendientes longitudinales (hasta 2 %) sujetas a la acumulación de sedimentos, los valores "n" indicados deben ser incrementados en + 0.002 a 0.005	n

Tabla nº 14: *Capacidad hidráulica de cuneta triangular (MTI,2008)*

CANAL TRIANGULAR SIMPLE	
	
Ancho superficial (l)	$(z_a + z_b)h$
Área (A)	$\frac{(z_a + z_b)h^2}{2}$
Perímetro mojado (P _m)	$\left(\sqrt{1 + z_a^2} + \sqrt{1 + z_b^2}\right)h$
Radio Hidráulico (R _h)	$\frac{(z_a + z_b)h}{2\left(\sqrt{1 + z_a^2} + \sqrt{1 + z_b^2}\right)}$

Al tratarse de la planicie Petenera, el área de la cuenca vertiente hacia la cuneta es mínima, siendo el caudal a desaguar igual al caudal que cae dentro de la propia calzada.

6.1 Listado de drenajes longitudinales menores.

DE ESTACION	A ESTACION	LADO	LONG. (m)	CAUDAL A DESAGUAR
447+160	447+200	IZQUIERDO	40	0.006
453+400	453+420	IZQUIERDO	20	0.003
453+420	453+460	AMBOS	40	0.006
457+440	457+480	AMBOS	40	0.006
460+520	460+600	AMBOS	80	0.012
461+080	461+140	AMBOS	60	0.009
463+200	463+300	AMBOS	100	0.015
464+920	465+140	AMBOS	220	0.034
477+460	477+540	IZQUIERDO	80	0.012
478+080	478+120	AMBOS	40	0.006
478+160	478+200	IZQUIERDO	40	0.006
478+900	478+920	IZQUIERDO	20	0.003
479+800	479+840	IZQUIERDO	40	0.006
480+620	480+660	IZQUIERDO	40	0.006
480+940	481+000	IZQUIERDO	60	0.009
481+080	481+140	IZQUIERDO	60	0.009
485+180	485+220	IZQUIERDO	40	0.006
485+280	485+300	DERECHO	20	0.003
486+180	486+200	IZQUIERDO	20	0.003
486+440	486+480	AMBOS	40	0.006
486+640	486+660	DERECHO	20	0.003
489+320	489+400	IZQUIERDO	80	0.012
493+820	493+960	AMBOS	140	0.021
494+380	494+540	AMBOS	160	0.024
494+740	494+780	AMBOS	40	0.006
496+660	496+680	AMBOS	20	0.003
496+840	496+860	AMBOS	20	0.003
498+400	498+460	IZQUIERDO	60	0.009
498+480	498+540	DERECHO	60	0.009
499+280	499+360	AMBOS	80	0.012
499+360	499+460	IZQUIERDO	100	0.015
499+460	499+540	AMBOS	80	0.012
499+540	499+560	IZQUIERDO	20	0.003
499+560	499+640	AMBOS	80	0.012
499+720	499+751	IZQUIERDO	31	0.005

6.2 Listado de drenajes transversales menores.

En el caso que nos ocupa, la mayor parte del tramo Cruces-Bethel, la rasante se encuentra a una altura mayor del terreno natural (en relleno). Cuando ocurra una tormenta, la propia carretera actuará como un dique, evitando el paso natural del agua. Para evitar que el agua se estanque y eventualmente entre dentro de la estructura de pavimento, se colocará un total de 146 tuberías transversales de 36" y 11m de longitud a lo largo del tramo Cruces-Bethel.

ESTACION	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO DE LA TUBERIA "Ø"	MATERIAL DE LA TUBERIA	LONGITUD DE LA TUBERIA	CAJA O CABEZAL EN ENTRADA	CAJA O CABEZAL EN SALIDA	COTA INVERT
440+710	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.06
441+060	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	126.17
441+510	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.76
441+810	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.73
442+130	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.84
442+560	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.98
443+120	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.15
443+860	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.08
443+940	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.22
444+340	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.73
444+570	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	126.91
444+590	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	126.22
445+040	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	128.36
445+390	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	128.69
445+920	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	127.13
446+130	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	126.79
446+520	NUEVA	NUEVA 36"	METAL	11	CABEZAL	CABEZAL	129.26

ESTACION	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO DE LA TUBERIA "Ø"	MATERIAL DE LA TUBERIA	LONGITUD DE LA TUBERIA	CAJA O CABEZAL EN ENTRADA	CAJA O CABEZAL EN SALIDA	COTA INVERT
			CORRUGADO				
447+310	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	129.42
447+500	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	1226.77
447+990	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.59
448+230	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	121.86
448+420	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.000
448+700	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.57
449+330	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	126.86
449+925	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	128.89
450+350	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	132.48
450+970	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	135.05
451+350	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	131.37
451+590	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	130.01
451+860	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	129.22
452+200	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	129.14
452+980	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	130.67
453+570	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	130.84
453+700	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	128.99
454+000	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	127.45
454+310	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	126.89
454+820	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	126.1
455+240	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.61
455+470	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.51
455+850	NUEVA	NUEVA 36"	METAL	11	CABEZAL	CABEZAL	123.72

ESTACION	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO DE LA TUBERIA "Ø"	MATERIAL DE LA TUBERIA	LONGITUD DE LA TUBERIA	CAJA O CABEZAL EN ENTRADA	CAJA O CABEZAL EN SALIDA	COTA INVERT
			CORRUGADO				
456+150	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.21
456+410	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.65
457+000	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.03
457+275	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.31
457+660	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	121.95
457+960	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	121.94
458+260	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.12
458+725	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	121.76
458+990	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.32
459+300	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.72
459+480	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.6
459+840	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.15
460+370	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.39
460+760	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.41
460+980	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	116.76
461+330	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.01
461+630	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.19
462+205	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.9
462+720	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	119.14
463+025	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.24
463+480	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	119.95
463+800	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.28
464+120	NUEVA	NUEVA 36"	METAL	11	CABEZAL	CABEZAL	116.91

ESTACION	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO DE LA TUBERIA "Ø"	MATERIAL DE LA TUBERIA	LONGITUD DE LA TUBERIA	CAJA O CABEZAL EN ENTRADA	CAJA O CABEZAL EN SALIDA	COTA INVERT
			CORRUGADO				
464+400	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	116.91
464+660	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.65
465+320	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	119.57
465+770	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.05
466+140	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	116.11
466+590	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	115.92
466+920	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.56
467+400	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.29
467+870	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	121.37
468+470	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	119.64
468+680	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.06
469+320	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.45
469+570	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.06
469+940	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	119.24
470+230	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.69
470+700	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.06
471+000	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.43
471+300	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.81
471+600	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	119.17
471+900	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	119.54
472+390	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.43
473+024	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.94
473+325	NUEVA	NUEVA 36"	METAL	11	CABEZAL	CABEZAL	122.89

ESTACION	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO DE LA TUBERIA "Ø"	MATERIAL DE LA TUBERIA	LONGITUD DE LA TUBERIA	CAJA O CABEZAL EN ENTRADA	CAJA O CABEZAL EN SALIDA	COTA INVERT
			CORRUGADO				
473+630	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.91
474+060	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123
474+330	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.62
474+720	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.67
475+030	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.46
475+320	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	123.22
475+620	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.83
476+125	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.79
476+570	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	127.3
476+780	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	131.1
477+220	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	139.92
477+370	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	141.34
478+100	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	135.96
478+300	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	139.88
478+600	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	137.8
478+810	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	130.15
478+990	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.72
479+300	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.63
479+460	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	121.16
479+955	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	120.48
480+270	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	121.66
480+810	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	118.87
481+705	NUEVA	NUEVA 36"	METAL	11	CABEZAL	CABEZAL	120.27

ESTACION	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO DE LA TUBERIA "Ø"	MATERIAL DE LA TUBERIA	LONGITUD DE LA TUBERIA	CAJA O CABEZAL EN ENTRADA	CAJA O CABEZAL EN SALIDA	COTA INVERT
			CORRUGADO				
481+990	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	122.29
482+580	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.66
483+110	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	128.31
483+610	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	127.32
483+930	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.98
484+580	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.97
484+750	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	124.68
485+020	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	128
485+430	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	139.6
485+800	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	139.45
486+450	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	138.29
487+010	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	134.16
487+250	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	129.66
487+640	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	127.75
488+450	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	129.36
489+150	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	125.99
489+990	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	128.87
490+490	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	127.78
491+280	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	130.37
492+040	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	130.06
492+280	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	131.31
492+970	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	134.96
493+640	NUEVA	NUEVA 36"	METAL	11	CABEZAL	CABEZAL	136.64

ESTACION	TIPO DE TUBERIA	DIAMETRO DE LA TUBERIA "Ø"	MATERIAL DE LA TUBERIA	LONGITUD DE LA TUBERIA	CAJA O CABEZAL EN ENTRADA	CAJA O CABEZAL EN SALIDA	COTA INVERT
			CORRUGADO				
494+100	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	140.26
494+400	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	144.23
494+660	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	151.71
495+150	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	154.45
495+485	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	134.51
495+930	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	117.55
496+260	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	112.58
496+670	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	111.24
497+190	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	107.8
497+890	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	102.26
498+750	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	103.56
499+000	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	103.45
499+310	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	100.84
499+500	NUEVA	NUEVA 36"	METAL CORRUGADO	11	CABEZAL	CABEZAL	101.5

Ciudad de Guatemala, 13 de Junio de 2017.

Fdo. Efraín Antonio de León Mendoza
Director del Proyecto

ANEXO 5: Informe de Estructuras

INFORME DE AVANCE N°3 (95%)

ESTUDIOS DE INGENIERIA DE DETALLE Y EVALUACION TECNICA, ECONOMICA, AMBIENTAL Y RIESGO DEL TRAMO:

- **Las Cruces - Puesto Fronterizo Bethel, Peten.**

5. INFORME DE ESTRUCTURAS.

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCION.....	1
1.	UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS	3
2	DESCRIPCION GENERAL	6
3	CALCULOS ESTRUCTURALES.....	8
4	CONCLUSIÓN.....	9

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla nº 1:	Tramos de Proyecto	1
-------------	--------------------------	---

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura nº 1:	Ubicación tramos del proyecto. Fuente propia.....	4
Figura nº 2:	Ubicación tramo 4 Las Cruces – Bethel (puesto fronterizo con Mexico).	5

ÍNDICE DE IMÁGENES

Imagen nº 1.	Inicio de proyecto, Estación. 440+500.	6
Imagen nº 2.	Puente Est. 466+513.	7
Imagen nº 3.	Puente Est. 498+295.	7

1 INTRODUCCION.

El MINISTERIO DE COMUNICACIONES, INFRAESTRUCTURA Y VIVIENDAS, por medio de la DIRECCION GENERAL DE CAMINOS (DGC) en la responsabilidad de la administración de la red vial del país, realizó la Licitación Pública No.DGC-09-2.016-E para la CONTRATACIÓN DE LOS ESTUDIO DE INGENIERIA DE DETALLE Y EVALUACION TECNICA, ECONOMICA, AMBIENTAL Y RIESGO DE LOS TRAMOS:

Tabla nº 1: *Tramos de Proyecto*

Número	Tramo	Longitud aprox. (km)
1	Rancho de Teja - Momostenango	9
2	Aldea Chinchila - San Luis, Peten.	5
3	Tecpan Guatemala - Patzun	12
4	Las Cruces - Puesto Fronterizo Bethel, Peten.	63
5	Estacion 16+740 (Entrada a Paquip) A La Estacion 29+440 (Rio Motagua).	12,7

La empresa HIDRAES INGENIEROS CONSULTORES, SOCIEDAD ANONIMA, ha sido designada consultor responsable de acuerdo en lo indicado en el contrato No.004-2017-DGC-E de la elaboración de los estudios en conformidad de las bases de licitación y oferta presentada para el proyecto en los tramos descritos anteriormente. El estudio consiste en la ejecución de actividades y productos de entrega para distintas disciplinas que componen la Ingeniería de Detalle según el Anexo A de las bases de contratación. Contempla un análisis de costos y beneficios

en la zona de influencia del proyecto, evaluación económica calculando indicadores de rentabilidad y análisis de sensibilidad, todo dentro de la evaluación técnica aplicando las normas Nacionales, internacionales y especificaciones exigidas por el Departamento Técnico de Ingeniería (DTI) de la División de Planificación y Estudios (DPE) de la Dirección General de Caminos (DGC).

La etapa inicial comprende un diagnóstico detallado, bajo una inspección, descripción e inventario, de cada uno de los tramos. Donde se define la profundidad de los estudios técnicos de ingeniería para la propuesta de los diseños definitivos. En la etapa de operación se ubican los levantamientos topográficos de detalle, cumpliendo con la monumentación georeferenciada según especificaciones, diseños geométricos horizontal y vertical adaptados en lo más posible a lo existente, con la propuesta de una sección de calzada según resultados de los conteos de tránsito. Además, se realizan estudios de suelos y ubicación de bancos de materiales, que servirán para el uso y diseño de la estructura de pavimento según metodologías y normas empleadas a nivel internacional. Apoyado en el inventario inicial se procede al diseño de obras de drenaje realizando todo un estudio hidrológico e hidráulico de capacidad de las estructuras existentes y propuestas a lo largo de la longitud de cada tramo. El estudio comprende el diseño de señalización, demarcación y seguridad vial con el uso del Manual Centroamericano de Señales Uniformes.

Dentro de la evaluación técnica se encuentra también la etapa de la entrega de las cantidades estimadas de trabajo conjuntamente con sus costos unitarios, presentando especificaciones técnicas y documentos de bases de licitación de la obra y un análisis de riesgo de las estructuras diseñadas en conformidad con el Manual Centroamericano de Gestión en Puentes, acompañado con el Estudio de Impacto Ambiental, cumpliendo así con los requerimientos establecidos por el MARN.

Durante el periodo de realización del proyecto se presentarán informes periódicos de avance del 35%, 65%, 95% y un informe final sujeto aprobación por parte del DTI con 100% de avance del programa de trabajo aprobado.

Este documento corresponde a la disciplina de estructuras dentro del tercer informe de avance del proyecto correspondiente al 95% del tramo Las Cruces - Puesto Fronterizo Bethel, Peten, contiene la ubicación del tramo y los cálculos correspondientes a los dos puentes del proyecto, ubicados en las estaciones 466+513 (El Chorro) y 498+295 (Bethel).

La información se complementa en los informes de hidrología e hidráulica, además de la presentación de los planos correspondientes a la planta, perfil, secciones y detalles de los puentes.

1. UBICACIÓN DE LOS PROYECTOS

Los tramos en estudio se ubican en las diferentes regiones departamentales de la red vial del país. A continuación, se muestra en la siguiente Figura nº 1 la ubicación general del tramo.

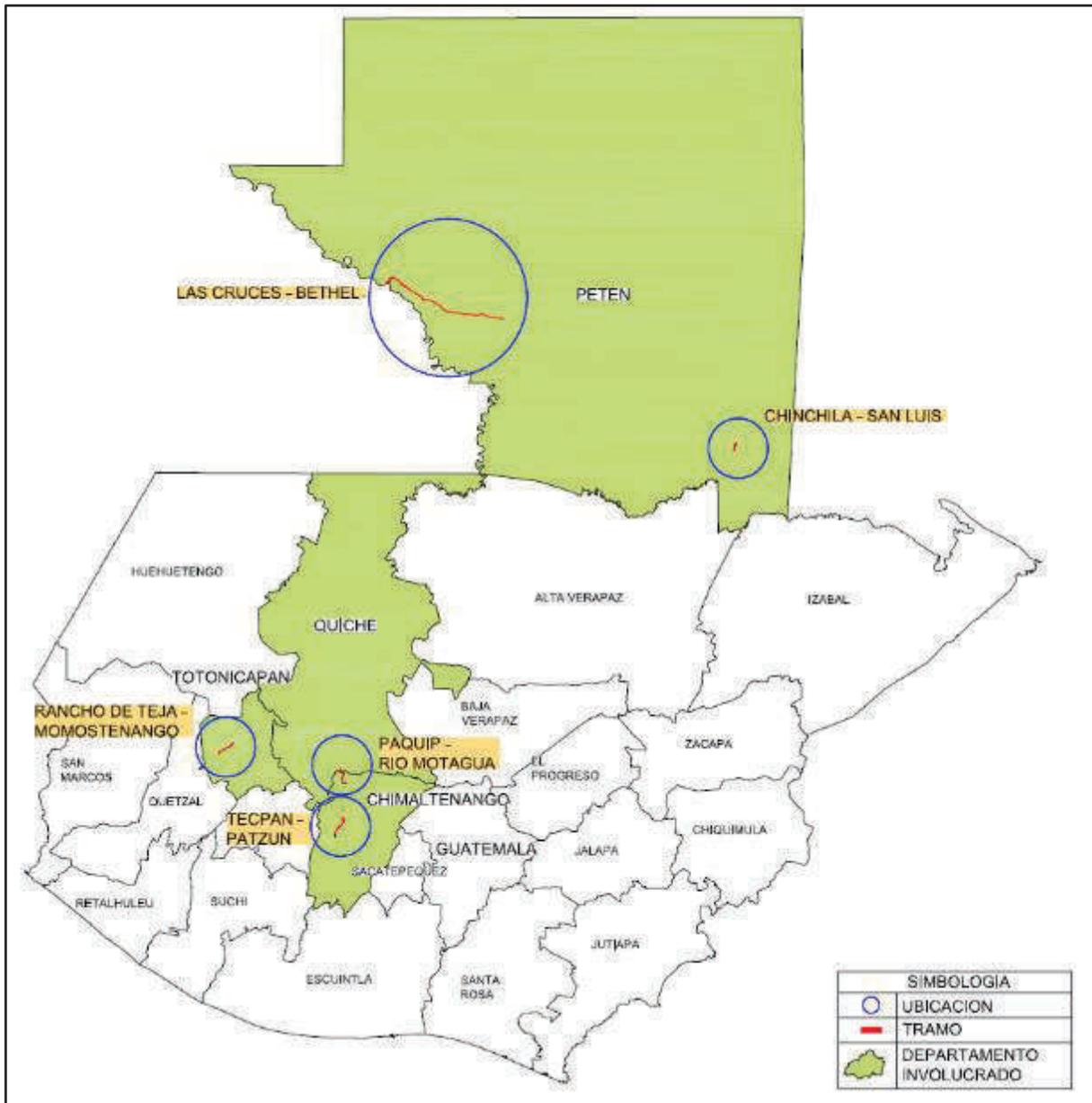


Figura n° 1: Ubicación tramos del proyecto. Fuente propia.

Continuamos con el tramo Las Cruces - Puesto fronterizo Bethel ubicado en la Región Noroccidente, en el Departamento de Peten. Inicia a 6 km de la población de Las Cruces del Municipio La Libertad, comunicando a las aldeas Nuevo Porvenir, Palestina y Vista Hermosa. Con aproximada de 60 km, hasta la llegada al puesto fronterizo Bethel, el cual colinda en el puesto fronterizo Corozal (México), al cruzar el Rio Usumacinta:

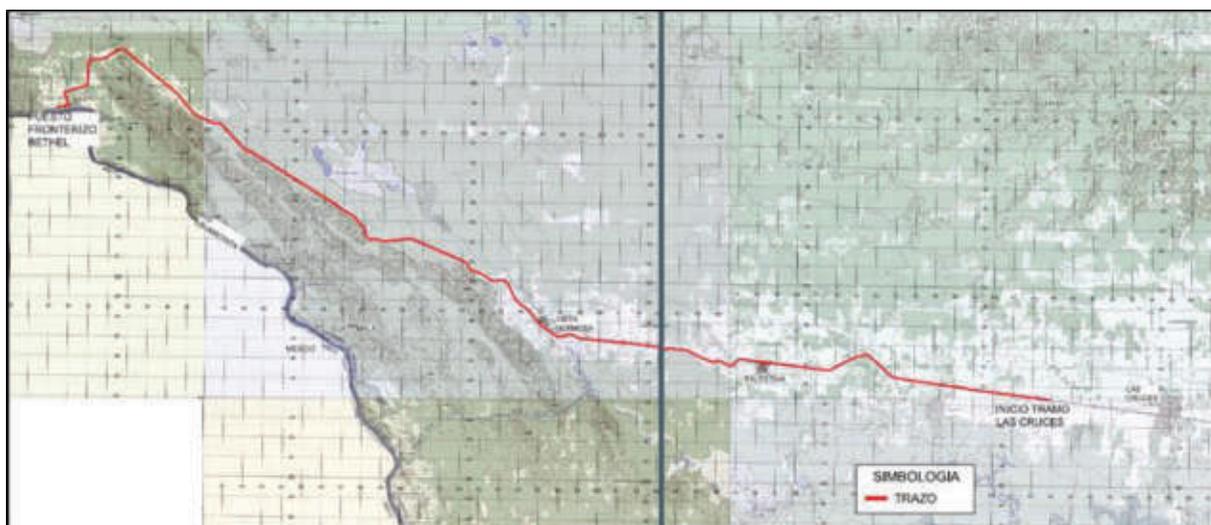


Figura n° 2: Ubicación tramo 4 Las Cruces – Bethel (puesto fronterizo con Mexico).

2 DESCRIPCION GENERAL

El proyecto da inicio en la estación 440+500, justamente donde termina el asfalto que viene de Las Cruces y empieza la terracería que va al puesto fronterizo BETHEL, tiene una longitud de 59.3 kilómetros

La geometría del tramo es bastante plana y el ancho del camino de terracería en su mayor porcentaje tiene un ancho promedio de 7.50 metros. Se hace necesario el subir la rasante existente, dado a que, en época de invierno estas áreas tienden a inundarse.

La carretera asfaltada que viene de las Cruces tiene un ancho de rodadura de 3.00 metros y un hombro de 1.00 metros por canal, se ajusta a una sección típica "D", por consiguiente, se tratara de adaptar en el diseño la misma sección, y en el paso de las zonas urbanas se cambiara la sección, tratando de ajustarse a lo existente.



Imagen n° 1. Inicio de proyecto, Estación. 440+500.

A lo largo del proyecto de terracería se observa poco drenaje transversal, sin embargo se hace la localización de 2 puentes existentes, uno ubicado a la altura de la Estación. 466+513 y el otro a la altura de la Estación 498+295.



Imagen n° 2. Puente Est. 466+513.



Imagen n° 3. Puente Est. 498+295.

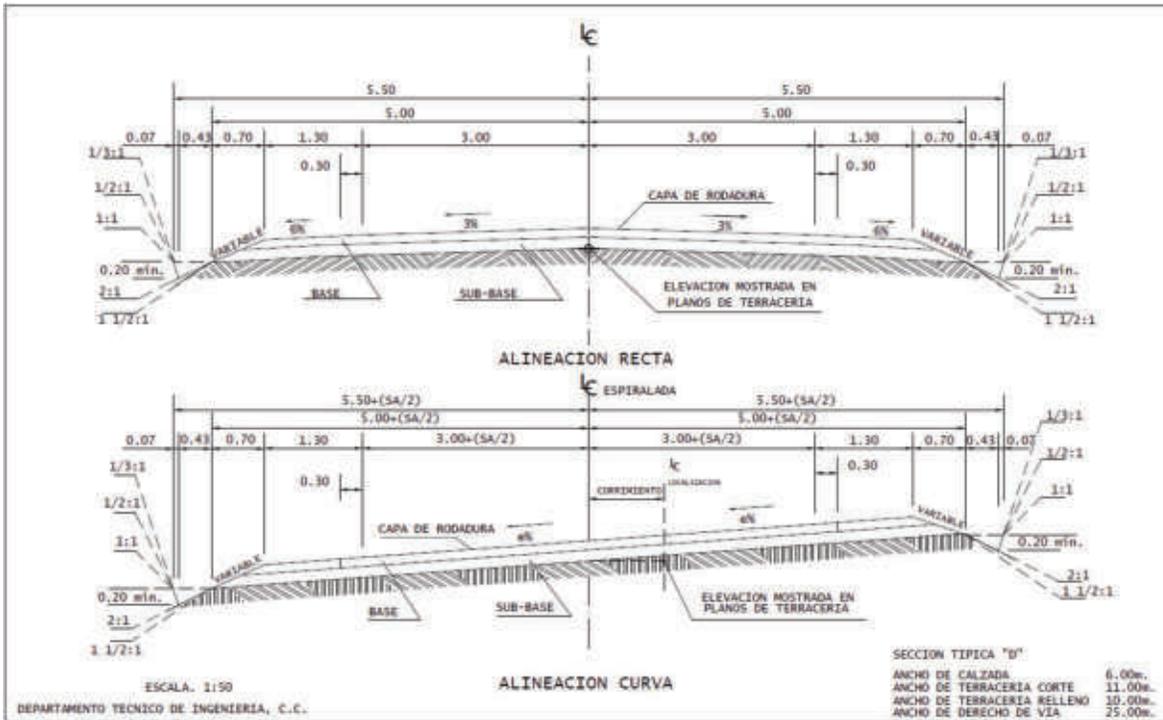


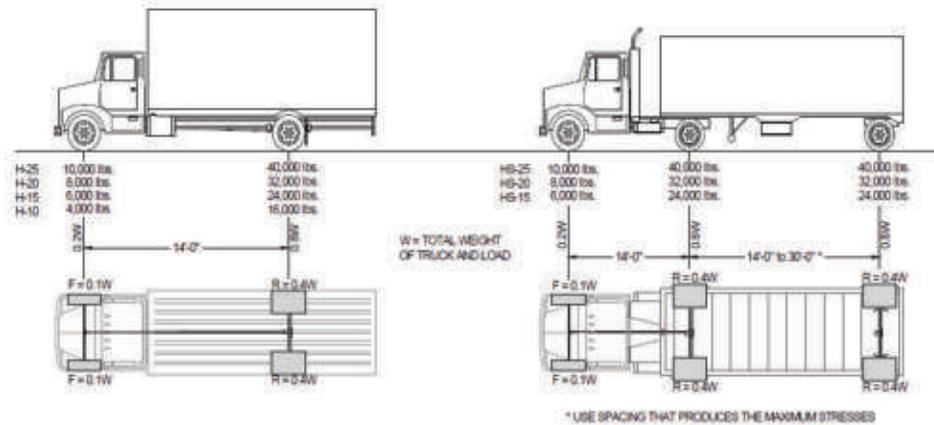
Figura n° 3: Sección Típica "D" propuesta para el diseño.

3 CALCULOS ESTRUCTURALES

A continuación se presenta los cálculos correspondientes a los puentes del tramo Las Cruces – Bethel.

ING. LUIS CORDOVA MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG	Proyecto: PUENTE BETHEL PETEN HIDRAES	Ing. O Arq. Córdova Fecha: 06/06/17	Proyecto #
	Miembro VIGA CONCRETO ARMADO DE 10.90 MT DE LUZ	Responsable: LC Revisión	Página #

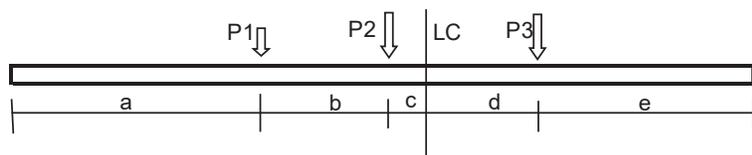
CARGA VEHICULAR EN VIGA CONCRETO REFORZADO



Source: AASHTO Standard Specifications for Highway Bridges

CAMION ESTANDAR A USAR: **AASHTO HS 20 - AGIES HL 93**

kips



P1: 8
P2: 32
P3: 32

LUZ DEL PUENTE: 10.5 mts

PUNTOS DE APLICACIÓN DE CARGAS EN EL PUENTE EN PIES

a= 0.89 pie, d= 11.67 pie
b= 14.000 pie, e= 5.55 pie
c= 2.330 pie, luz= 34.440 10.5 mts

FACTOR DE DISTRIBUCIÓN DE CARGA VIVA (VIGA CONCRETO REFORZADO):

Para una línea de trafico: $S/6.5$ donde $S_{max}=6$ pies

Para dos o mas líneas de traf.: $S/6.0$ donde $S_{max}=10$ pies

en nuestro caso tenemos: 2 líneas de trafico

S: 1.52 mt

$S / 6$ 0.831 = fact. Dist.
2 wheel lines

FACTOR DE IMPACTO DE CARGA VIVA: $I = 50 / (L+125)$:

I : 0.314 mayor de 0.30 max

I : 1.300

LA CARGA A APLICAR DEBERA MULTIPLICARSE POR EL SIGUIENTE FACTOR:

(fact. Dist./wheel lines)*I = 0.540

CARGAS A APLICAR EN VIGA PARA EL DISEÑO AASHTO HS 20 - AGIES HL 93

P1: 4.32 KIPS

P2: 17.28 KIPS

P3: 17.28 KIPS

FACTORES DE CARGA (GRUPO I AASHTO): $\dot{Y} (\beta_d CM + \beta_I (CV+IMP))$

$\dot{Y} = 1.3$

$\beta_d = 1$

$\beta_I = 1.67$

SINGLE-SPAN BEAM ANALYSIS

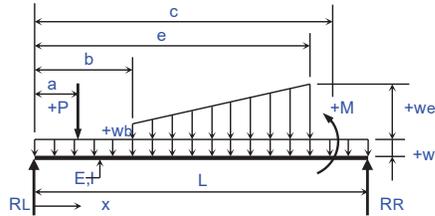
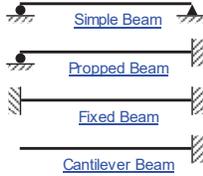
For Simple, Propped, Fixed, or Cantilever Beams

Job Name: PUENTE BETHEL, PETEN	Subject: VIGA FUNDIDA IN SITU
Job Number: 1 HIDRAES	Originator: LC Checker: LC

Input Data:

Beam Data:

Span Type?	Simple
Span, L =	34.4400 ft.
Modulus, E =	3650 ksi
Inertia, I =	46447.20 in. ⁴



Nomenclature

Beam Loadings:

Full Uniform:

w = 2.1632 kips/ft.

	Start		End	
	b (ft.)	wb (kips/ft.)	e (ft.)	we (kips/ft.)
#1:				
#2:				
#3:				
#4:				
#5:				
#6:				
#7:				
#8:				

Results:

Reactions:

RL = 73.71 k	RR = 85.16 k
ML = N.A.	MR = N.A.

Maximum Moments:

+M(max) = 726.51 ft-k	@ x = 14.89 ft.
-M(max) = 0.00 ft-k	@ x = 0.00 ft.

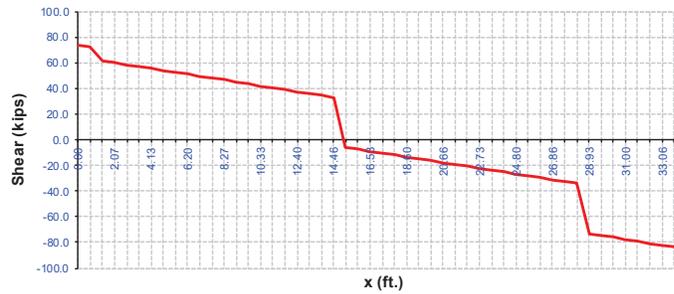
Maximum Deflections:

-Δ(max) = -0.879 in.	@ x = 17.30 ft.
+Δ(max) = 0.000 in.	@ x = 0.00 ft.
Δ(ratio) = L/470	

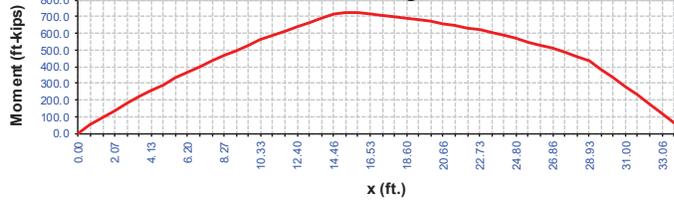
Point Loads:

	a (ft.)	P (kips)
#1:	0.8900	9.37
#2:	14.8900	37.50
#3:	28.8900	37.50
#4:		
#5:		
#6:		
#7:		
#8:		
#9:		
#10:		
#11:		
#12:		
#13:		
#14:		
#15:		

Shear Diagram



Moment Diagram



Moments:

	c (ft.)	M (ft-kips)
#1:		
#2:		
#3:		
#4:		

INGENIERO LUIS CORDOVA MEJIA - MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG
ANALISIS DE VIGA CON MOMENTO EN EXTREMOS
CARGA DISTRIBUIDA Y HASTA CUATRO CARGAS PUNTALES

FECHA: 06/06/17

Proyecto: **PUNTE BETHEL, PETEN - PARA HIDRAES**
 Descripción de viga: VIGAS DE CONCRETO ARMADO
 TREN DE CARGA HS20 - AGIES HL-93
 DOS VIAS - CARGA MUERTA + CARGA VIVA - MOMENTO MAXIMO
 Luz de viga = 34.44 pie

Momentos en extremos : Adoptamos positivo (+) en el sentido de las agujas del reloj.

Momento izquierdo:	cm=	0 k-pie	Momento derecho:	cm=	0 k-pie
	cv=	0 k-pie		cv=	0 k-pie
	sismo=	0 k-pie		sismo=	0 k-pie

Carga distribuida: Positivo (+) carga hacia abajo
 W cm= 1.664 k/pie
 W cv= 0.000 k/pie

4 Cargas puntuales a cualquier distancia: Positivo (+) hacia abajo

P1 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P1 cv=	8 kip	a	0.89 pie	(desde lado izq)
P2 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P2 cv=	32 kip	a	14.89 pie	(desde lado izq)
P3 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P3 cv=	32 kip	a	28.89 pie	(desde lado izq)
P4 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P4 cv=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)

Factores de trabajo para diseño :

Combinación grupo I AASHTO:	$\gamma = 1.3 \text{ CM} + 2.17(\text{CV} + \text{I})$
cm:	1.30 S= 4.99 pies
cv + I :	2.17 S/6 = 0.831
cargas por llanta (ejes) :	2.00 I= 50/(L+125)= 0.314
	maximo factor a usar= 0.300
	factor= 0.540

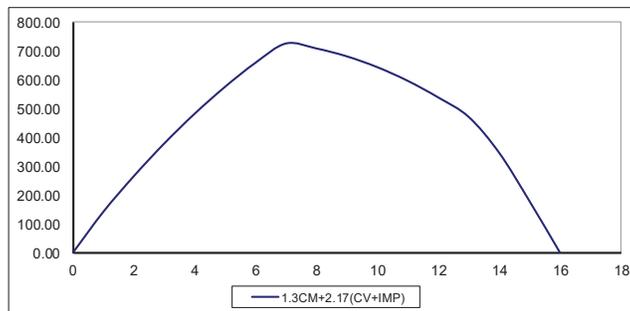
Se dividirá la viga en 16 segmentos:

SEGMENTO	X	MOMENTOS			CORTANTES		
		CM	CV	sismo	CM	CV	sismo
0	0	0.00	0.00	0.00	28.65	31.11	0.00
1	2.15	57.81	56.88	0.00	25.07	23.11	0.00
2	4.31	107.91	106.63	0.00	21.48	23.11	0.00
3	6.46	150.30	156.39	0.00	17.90	23.11	0.00
4	8.61	184.98	206.14	0.00	14.32	23.11	0.00
5	10.76	211.96	255.90	0.00	10.74	23.11	0.00
6	12.92	231.23	305.65	0.00	7.16	23.11	0.00
7	15.07	242.79	349.73	0.00	3.58	-8.89	0.00
8	17.22	246.64	330.60	0.00	0.00	-8.89	0.00
9	19.37	242.79	311.48	0.00	-3.58	-8.89	0.00
10	21.53	231.23	292.35	0.00	-7.16	-8.89	0.00
11	23.68	211.96	273.23	0.00	-10.74	-8.89	0.00
12	25.83	184.98	254.10	0.00	-14.32	-8.89	0.00
13	27.98	150.30	234.98	0.00	-17.90	-8.89	0.00
14	30.14	107.91	176.01	0.00	-21.48	-40.89	0.00
15	32.29	57.81	88.01	0.00	-25.07	-40.89	0.00
16	34.44	0.00	0.00	0.00	-28.65	-40.89	0.00

COMBINACIONES DE CARGA GRUPO I AASHTO

FU= 1.67

SEGMENTO	MOMENTOS (KIP-PIE)	CORTANTES (KIP)
	2.17(CV+I)	2.17(CV+I)
	mpc)	mpc)
0	0.00	73.71
1	141.81	59.68
2	265.25	55.02
3	378.67	50.37
4	482.08	45.71
5	575.46	41.06
6	658.82	36.40
7	725.51	-5.76
8	708.11	-10.41
9	680.68	-15.07
10	643.24	-19.72
11	595.77	-24.38
12	538.29	-29.03
13	470.78	-33.69
14	346.57	-75.85
15	178.29	-80.50
16	0.00	-85.16



**INGENIERO LUIS CORDOVA MEJIA - MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG
ANALISIS DE VIGA CON MOMENTO EN EXTREMOS
CARGA DISTRIBUIDA Y HASTA CUATRO CARGAS PUNTALES**

FECHA: 06/06/17

Proyecto: **PUENTE BETHEL, PETEN - PARA HIDRAES**
 Descripción de viga: VIGAS DE CONCRETO ARMADO
 TREN DE CARGA HS20 - AGIES HL-93
 DOS VIAS - CARGA MUERTA + CARGA VIVA - CORTE MAXIMO
 Luz de viga = 34.44 pie

Momentos en extremos : Adoptamos positivo (+) en el sentido de las agujas del reloj.

Momento izquierdo:	cm=	0 k-pie	Momento derecho:	cm=	0 k-pie
	cv=	0 k-pie		cv=	0 k-pie
	sismo=	0 k-pie		sismo=	0 k-pie

Carga distribuida: Positivo (+) carga hacia abajo
 W cm= 1.664 k/pie
 W cv= 0.000 k/pie

4 Cargas puntuales a cualquier distancia: Positivo (+) hacia abajo

P1 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P1 cv=	8 kip	a	6.34 pie	(desde lado izq)
P2 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P2 cv=	32 kip	a	20.34 pie	(desde lado izq)
P3 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P3 cv=	32 kip	a	34.34 pie	(desde lado izq)
P4 cm=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)
P4 cv=	0 kip	a	0 pie	(desde lado izq)

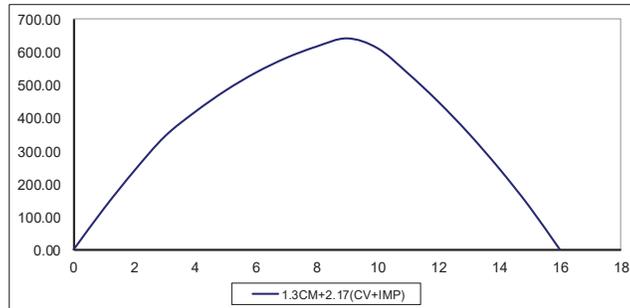
Factores de trabajo para diseño :
 Combinación grupo I AASHTO: $\gamma = 1.3 \text{ CM} + 2.17(\text{CV} + \text{I})$
 cm: 1.30 S= 4.99 pies
 cv + I : 2.17 S/6 = 0.83
 cargas por llanta (ejes) : 2.00 I= 50/(L+125)= 0.314
 maximo factor a usar= 0.300
 factor= 0.540

Se dividirá la viga en 16 segmentos:

SEGMENTO	X	MOMENTOS			CORTANTES		
		CM	CV	sismo	CM	CV	sismo
0	0	0.00	0.00	0.00	28.65	19.72	0.00
1	2.15	57.81	42.45	0.00	25.07	19.72	0.00
2	4.31	107.91	84.90	0.00	21.48	19.72	0.00
3	6.46	150.30	126.41	0.00	17.90	11.72	0.00
4	8.61	184.98	151.64	0.00	14.32	11.72	0.00
5	10.76	211.96	176.87	0.00	10.74	11.72	0.00
6	12.92	231.23	202.10	0.00	7.16	11.72	0.00
7	15.07	242.79	227.33	0.00	3.58	11.72	0.00
8	17.22	246.64	252.56	0.00	0.00	11.72	0.00
9	19.37	242.79	277.79	0.00	-3.58	11.72	0.00
10	21.53	231.23	265.10	0.00	-7.16	-20.28	0.00
11	23.68	211.96	221.45	0.00	-10.74	-20.28	0.00
12	25.83	184.98	177.80	0.00	-14.32	-20.28	0.00
13	27.98	150.30	134.15	0.00	-17.90	-20.28	0.00
14	30.14	107.91	90.50	0.00	-21.48	-20.28	0.00
15	32.29	57.81	46.85	0.00	-25.07	-20.28	0.00
16	34.44	0.00	0.00	0.00	-28.65	-52.28	0.00

COMBINACIONES DE CARGA GRUPO I AASHTO

SEGMENTO	MOMENTOS (KIP-PIE)	CORTANTES (KIP)
	2.17(CV+I)	2.17(CV+I)
	mpc	mpc
0	0.00	60.35
1	124.90	55.70
2	239.78	51.04
3	343.54	37.01
4	418.20	32.36
5	482.84	27.70
6	537.46	23.05
7	582.06	18.39
8	616.64	13.74
9	641.20	9.08
10	611.30	-33.08
11	535.09	-37.73
12	448.86	-42.39
13	352.61	-47.04
14	246.35	-51.70
15	130.06	-56.35
16	0.00	-98.51



INGENIEROS ESTRUCTURALES

INGENIERO LUIS CORDOVA - MAESTRIA DE ESTRUCTURAS UVG

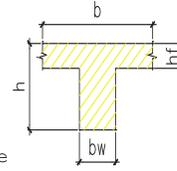
PROYECTO: PUENTE BETHEL PETEN - HIDRAES

FECHA: 06/06/2017

VIGA 55X75

CALCULO DE AREA DE ACERO EN MIEMBROS DE CONCRETO REFORZADO

f'c=	4000.000 psi	Fy=	60000.000 psi
b=	21.654 pul	t=	29.528 pul
d'=	3.500 pul	β=	0.85
Asmin=	1.879 pl2	As 0.5b=	8.033 pl2
Mmin=	213.561 k-pie	M 0.5b=	822.536 k-pie
Asmax=	9.393 pl2	Vc=	60.596 kip
Mmax=	938.375 k-pie		



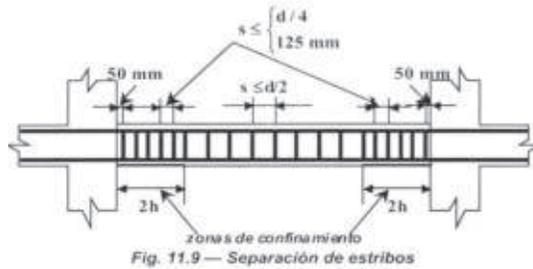
MOMENTOS DE DISEÑO PARA LA SECCION:

Md1=	725.51 k-pie	=> Asd=	6.951	pul2, CL 5No.8+3No.9
Md2=	708.11 k-pie	=> Asd=	6.762	pul2
Md3=	680.68 k-pie	=> Asd=	6.466	pul2
Md4=	k-pie	=> Asd=	0.000	pul2
Md5=	k-pie	=> Asd=	0.000	pul2

REFUERZO A USAR: USAR 3 No. 8 CORRIDOS

REFUERZO A CORTE:

Vu=	98.51 kip	fyh=	60000 psi
Sh=	45.351 cms	Avh=	0.51 pul2
		d/2=	33.1 cm
		d/4=	16.5 cm
		2h=	150.0 cm
		cant est=	9.1 est



REFUERZO Y ESPACIAMIENTO A USAR: 1No.4+1No.3, 10@17, resto @ 30

DATOS PARA EL DISEÑO DEL MIEMBRO - BLOQUE A COMPRESION: PARA Md1

a = $As \cdot Fy / (0.85 \cdot f'c \cdot b) = 5.665 \text{ pul}$

REFUERZO BALANCEADO Rho:

Rb = $B(87000 / (87000 + Fy)) \cdot 0.85 \cdot f'c / Fy =$

Rb =	0.0285	
0.5 Rb=	0.0143	Zona sísmica
0.75 Rb=	0.0214	Zona no sísmica

R min = $200 / Fy = 0.333 \%$
 R max = $0.5 Rb = 1.425 \%$ en zona sísmica

CON REFUERZO Y DIMENSIONES DISPONIBLE CALCULAR LA CAPACIDAD:

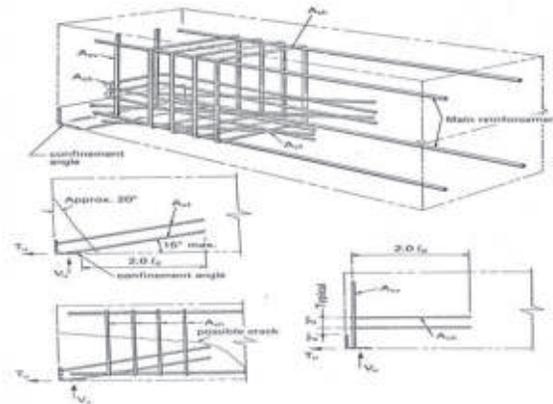
Si As = 3.95 pl2
 Ø Mn = 434.030 k-pie

REFUERZO POR TEMPERATURA Y AGRIETAMIENTO

Fy= 60000.000 psi
 R temp= 0.002
 As temp= 1.014 pl2

ING. LUIS CORDOVA MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG	Proyecto: PUENTE BETHEL, PETEN HIDRAES	Ing. O Arq. Córdoba	Proyecto #
	Miembro VIGA DE CONCRETO ARMADO 10.90 MT	Fecha: 06/06/17 Responsable: LC Revisión	Página #

VIGAS DE PUENTES - REFUERZO APOYO - ANCLAJE MECANICO



DATOS DE DISEÑO

$f'c = 4000.00$ psi
 $fy = 60000.00$ psi
 $bw = 21.65$ pul
 $d = 26.03$ pul
 $h = 29.53$ pul
 $Lv = 12.00$ pul
 $Vu = 98511.83$ lbs.
 $Tu = 39404.73$ lbs.
 es concreto ligero = 0.00, condición 0=no, 1=si.
 $Lv/d = 0.461$ cambiar la relación Lv

Procedimiento de diseño:

$Lv / d = 0.461 < 1.00$ considerarla como ménsula

$Vn = Vu / .85 = 115896.27$ lbs. $Tn = Tu / .85 = 46358.51$ lbs

$0.2 * f'c * b * d$, ó $(0.2 - .07a/d) f'c * b * d = 450871.10$ lbs
 ó $800 * b * d$, $(800 - 280a/d) b * d = 450871.10$ lbs
 gobierna el menor = 450871.10 lbs
 en este caso: Bien, posible reforzar

Escogemos factor de tipo de concreto a utilizar:

$\beta = \begin{cases} 1 \text{ concreto peso normal} \\ 0.75 \text{ concreto arena de peso ligero} \\ 0.85 \text{ concreto ligero} \end{cases}$

se escoge $\beta = 1$

escogemos coeficiente de fricción, dependiendo de la superficie de contacto:

$\mu = \begin{cases} 1.4 * \beta \text{ concreto monolitico} \\ 1 * \beta \text{ concreto en superficie aspera} \\ 0.6 * \beta \text{ concreto en superficie lisa} \\ 0.7 * \beta \text{ concreto anclado a acero} \\ \text{estructural.} \end{cases}$

se escoge $\mu = 1.4$

$Avf = [Vn / (fy\mu\beta)] + [Tn / fy] = 2.152$ pul 2

colocar: 3 No. 8, es OK

$fy Avf \phi / (b d) = 194.77$ psi. < que 600psi ok

fuerza horizontal externa $Nuc = 39404.73$ lbs. > 0.2Vu
adoptamos $Nuc = 39404.73$ lbs

$Af = \frac{+Nuc(h-d)}{0.9fyjd} = 1.105$ pul 2 donde: $Jd = 0.85 * d$

$An = \frac{Nuc}{0.85fy} = 0.773$ pul 2

$Ash = Avf (fy) / (fy \mu) = 1.537$ pul 2, estribo vertical

colocar: 5 estribos No. 4

El estribo de confinamiento debera ser de:

$Ach = Vu / (fy * 8) = 0.205$ pul 2

colocar: 2 No. 4

$Avh = Avf / 2 = 1.076$ pul 2

colocar: _____

Placa de apoyo necesaria: El esfuerzo de aplastamiento no debe exceder

$\phi(0.85 * f'c * A1)$

el área de apoyo es $A1 = 41.392$ pul 2

colocar placa de apoyo de: Anular 4x4x3/8, es ok

INGENIEROS ESTRUCTURALES

INGENIERO LUIS CORDOVA - MAESTRIA DE ESTRUCTURAS UVG
VIGA DIAFRAGMA DE PUENTES (CROSS BEAM - DIAPHRAGMS)

PROYECTO: PUENTE BETHEL, PETEN

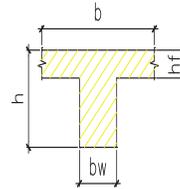
FECHA: 07/06/2017

CALCULO DE VIGA DIAFRAGMA DE 30X45

Este tipo de viga se usa para rigidizar lateralmente las vigas principales y para controlar la torsión de vigas exteriores de la superestructura. Estas son obligadas al final de la superestructura AASHTO recomienda un diafragma intermedio en el punto de máximo momento positivo para luces de más de 40 pies. El refuerzo inferior de esta viga no debe ser menor que un 0.4 por ciento de la sección efectiva del miembro.

CALCULO DE AREA DE ACERO EN VIGA DIAFRAGMA

$F'c=$	4000.000 psi	$f_y=$	60000.000 psi
$b=$	11.811 pul	$t=$	17.717 pul
$d'=$	2.875 pul	$\beta=$	0.85
$A_{smin}=$	0.584 pl2	A_s	0.5b= 2.499 pl2
$M_{min}=$	37.877 k-pie	M	0.5b= 145.883 k-pie
$A_{smax}=$	2.922 pl2	$V_c=$	18.847 kip
$M_{max}=$	166.428 k-pie		



Refuerzo mínimo recomendado: A_s 0.4 = 0.701 pul²
M resistente= 45.177 k-pie

MOMENTOS DE DISEÑO PARA LA SECCION:

$M_{d1}= 70$ k-pie \Rightarrow $A_{sd}= 1.110$ pul²

REFUERZO A USAR: Armar con refuerzo minimo 2 # 6 + 1 # 4

REFUERZO A CORTE: varilla a corte: #3 **NOTA:**
 $V_u= 45$ kip $f_{yh}= 60000$ psi
 $Sh= 16.173$ cms $A_{vh}= 0.22$ pul²

REFUERZO Y ESPACIAMIENTO A USAR:

DATOS PARA EL DISEÑO DEL MIEMBRO - BLOQUE A COMPRESION: PARA M_{d1}

$a = A_s \cdot f_y / (0.85 \cdot f'c \cdot b) = 1.659$ pul

REFUERZO BALANCEADO Rho :

$R_b = B(87000 / (87000 + f_y)) \cdot 0.85 \cdot f'c / f_y =$

$R_b = 0.0285$

0.5 $R_b = 0.0143$ Zona sísmica

0.75 $R_b = 0.0214$ Zona no sísmica

$R_{min} = 200 / f_y = 0.333$ %

$R_{max} = 0.5 R_b = 1.425$ % en zona sísmica

REFUERZO POR TEMPERATURA Y AGRIETAMIENTO

$f_y = 60000.000$ psi

$R_{temp} = 0.002$

$A_{s temp} = 0.316$ pl2

ING. LUIS CORDOVA MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG	Proyecto: PUENTE BETHEL PETEN HIDRAES	Ing. O Arq. Córdova Fecha: 07/06/17	Proyecto #
	Miembro REFUERZO LOSA DE SUPERESTRUCTURA	Responsable: LC Revisión	Página #

DISEÑO DE LOSA DE RODADURA

CALCULO DE AREA DE ACERO EN LOSA RODADURA DE CONCRETO REFORZADO

$F_c =$	4000.000 psi	$f_y =$	60000.000 psi
$b =$	12.000 pul	$t =$	7.087 pul
$d' =$	2.000 pul	$\beta =$	0.85
$A_{smin} =$	0.203 pl2	$A_s 0.5b =$	0.870 pl2
$M_{min} =$	4.520 k-pie	$M 0.5b =$	17.410 k-pie
$A_{smax} =$	1.017 pl2	$V_c =$	6.563 kip
$M_{max} =$	19.862 k-pie		

REFUERZO A CORTE:

$V_u =$	6 kip	$f_{yh} =$	60000 psi
$Sh =$	-117.080 cms	$A_{vh} =$	0.1 pul2

REFUERZO A CORTE Y ESPACIAMIENTO A USAR:

CARGA MUERTA:	119.416 lb/pie2		
TIPO DE TRAFICO AASHTO:	HS20 = HL93	$P_{cv} =$	16.000 kips
luz libre entre vigas (s):	7.626 pies		
Estimación espesor de losa: $t \geq (s+10)/30 =$	ó		7.5 pulg
$t =$	7.500 pulg		19.05 cms.
t adoptado =	18 cms		

CASO DE LOSA CENTRAL PERPENDICULAR AL TRAFICO:

$M_{cm} = W s^2/10 =$	694.47 lb-pie/pie
$M_{cv+I} = 0.8(s+2/32)1.3P =$	5005.52 lb-pie/pie
Nota: el factor de impacto para luces entre 2 y 24pies es 30%	
$M_{ult} = 1.3 CM + 2.17(CV + I)$	11.765 kip-pie/pie

MOMENTO DE DISEÑO PARA LA SECCION CENTRAL:

$M_d =$	11.765 k-pie	\Rightarrow	$As_d =$	0.559	pul2	<u>No. 5 @ 17</u>
---------	--------------	---------------	----------	-------	------	--------------------------

CASO DE LOSA EN VOLADIZO:

LUZ =	1.000 mt =	3.28 pies
PUNTO DE APLICACIÓN DE P, (L) =	0.740 mt =	2.43 pies
carga de pasamanos =	60.000 lb/pie	
factor de distribución carga viva =	0.540 \Rightarrow	$P_{cv} =$ 8.64 kip
$M_{cm} = (W s^2/2) + P_p * L =$	0.839 k - pie/pie	
Franja de aplicación de P =	$E = 0.8X + 3.75 =$	5.692 pies
$M_{cv+I} = 1.3P L /$ franja =	4.791 k - pie/pie	
$M_{ult} = 1.3 CM + 2.17(CV + I)$	11.487 k - pie/pie	

MOMENTO DE DISEÑO PARA LA SECCION EN CANTILEVER:

$M_d =$	11.487 k-pie	\Rightarrow	$As_d =$	0.545	pul2	<u>No. 5 @ 17</u>
---------	--------------	---------------	----------	-------	------	--------------------------

DISTRIBUCIÓN DE REFUERZO EN LOSA DE RODADURA (AASHTO 3.24.10)

Refuerzo principal, paralelo al tráfico:

La intensidad de este refuerzo es asegurar la distribución lateral de carga viva concentrada.

$$100/\sqrt{S} = 36.21 \% \quad (\text{máximo de } 50\%)$$

$$\text{adoptamos} = 36.21 \%$$

$$\mathbf{As = 0.20 \text{ pulg}^2 \quad \underline{\text{No. 4 @ 30cm}}}$$

Refuerzo principal, perpendicular al tráfico:

a colocar en la parte inferior de la losa

$$220/\sqrt{S} = 79.67 \% \quad (\text{máximo de } 67\%)$$

$$\text{adoptamos} = 67.00 \%$$

$$\mathbf{As = 0.37 \text{ pulg}^2 \quad \underline{\text{No. 5 @ 30cm ver arriba}}}$$

DATOS PARA EL DISEÑO DEL MIEMBRO - BLOQUE A COMPRESION:

$$a = As \cdot Fy / (0.85 \cdot f'c \cdot b) = 0.822 \text{ pul}$$

REFUERZO BALANCEADO Rho:

$$Rb = B(87000 / (87000 + Fy)) \cdot 0.85 \cdot f'c / Fy =$$

$$Rb = 0.0285$$

$$0.5 Rb = 0.0143 \quad \text{Zona sísmica}$$

$$0.75 Rb = 0.0214 \quad \text{Zona no sísmica}$$

$$R \text{ min} = 200 / Fy = 0.333 \%$$

$$R \text{ max} = 0.5 Rb = 1.425 \% \text{ en zona sísmica}$$

REFUERZO POR TEMPERATURA Y AGRIETAMIENTO

$$Fy = 60000.000 \text{ psi}$$

$$R \text{ temp} = 0.002$$

$$As \text{ temp} = 0.110 \text{ pl}^2 \quad \underline{\hspace{10em}}$$

ING. LUIS CORDOVA MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG	Proyecto:	PUENTE BETHEL, PETEN HIDRAES	Ing. O Arq.	Córdova	Proyecto #
			Fecha:	07/06/2017	
	Miembro	ESTRIBO DE ENTRADA Y SALIDA	Responsable:	LC	Página #
			Revisión		

DISEÑO SISMICO DE PUENTES (AASHTO SD)

ANCHO MINIMO DE SOPORTE EN APOYOS (AASHTOSD 4.3)

Datos geometría del puente: L= 10.9 mt = 35.75 pies
H= 3 mt = 9.84 pies

coeficiente de aceleración adoptada
A = 0.4 g's
excede 0.29 g's

Coeficiente de Aceleración	Puentes esenciales:	Otros puentes:
$A \leq 0.09$	A	A
$0.09 < A \leq 0.19$	B	B
$0.19 < A \leq 0.29$	C	C
$0.29 < A$	D	C

Para categoría A y B:
1- $N = 8 + 0.02L + 0.08H$
Para categoría C y D:
2- $N = 12 + 0.03L + 0.12H$
fórmula adoptada según categoría: 2
Valor de N = 14.25 pul
N = 36.20 cm

DE RENDIMIENTO SISMICO (CRS)	Puentes con dos o mas vanos	
	Regular	Irregular
A	N/D	N/D
B	1	1
C	1	2
D	1	2

N/D= no disponible

Coeficiente de respuesta sísmico elástico (AASHTOSD 5.1)

$$C_s = 1.2 AS/T^{2/3} \leq 2.5A$$

Tipo de suelo adoptado para diseño, S= 1

Perfil de Suelo Tipo I: Formado de roca o roca con una excesiva capa de suelo rígido menos de 200 pies de profundidad S = 1.0
Perfil de Suelo Tipo II: Formado por una capa rígida de barro, excediendo los 200 pies de profundidad S = 1.2
Perfil de Suelo Tipo III: Formado de una suave a media capa de barro, a por lo menos 30 pies de profundidad S = 1.5

Período de vibración de la pila :

$$\text{Rigidez de la columna } K_c = 12 E(I + I)/H^3$$

$$f'c = 3000 \text{ psi}$$

$$E = 3122018.6 \text{ psi} = 449570.68 \text{ ksf}$$

$$\text{pilote columna redonda, } d = 0.9 \text{ mt}$$

$$I = 3.73 \text{ pie}^4$$

$$\# \text{ de columnas en pila} = 3$$

$$\text{altura asumida de columnas} = 11.375 \text{ pies} \quad (\text{ver Wayne Teng})$$

$$K_c = 40990.34 \text{ k/pie} = 3415.86 \text{ K/pulg}$$

peso de la superestructura y la franja tributaria de la subestructura;

$$W = 128 \text{ kips} \quad \text{CABEZAL: } 28583 \text{ LBS}$$

$$T = 2\sqrt{(m/k)^{1/2}} \quad \text{VIGAS: } 85937 \text{ LBS}$$

$$T = 0.062 \text{ seg} \quad \text{COLUM: } 13398 \text{ LBS}$$

$$127918 \text{ LBS}$$

$$\text{coeficiente sísmico: } 1.2 AS/T^{2/3} = 3.068$$

$$\text{max } 2.5 A = 1$$

$$\text{gobierna } C_s = 1$$

$$\text{cortate basal sísmico elástico: } V = W * C_s = 128 \text{ kips}$$

Factor de modificacion de respuesta R (AASHTOSD 3.6)

Elementos	R-factor
Pared tipo estribo:	
Eje fuerte	2
Eje débil	3
Pila de pilotes de concreto armado:	
Solamente pilote vertical	3
Uno o más pilotes inclinados	2
Única columna	3
Pila de pilotes de acero o sección compuesta:	
Solamente pilote vertical	5
Uno o más pilotes inclinados	3
Múltiples columnas de concreto	5

Factor R adoptado: 2

$$V_{dis} = W * C_{s/R} = 64 \text{ kips}$$

$$\text{Momento de volteo reducido en base de columna: } M_r = M_e / R = V (h/2) / (R * \#col)$$

$$M_r = 121.33 \text{ kip-pie}$$

$$\text{Momento ultimo de diseño grupo VII (EQ=1): } M_u = 121.33 \text{ kip-pie}$$

COMBINACIONES POSIBLES DE CARGA: LOAD FACTOR DESIGN (AASHTO)

GRUPO I = 1.3 CM + 2.17 CV+imp.

GRUPO VII = 1.3 CM + 1 SISMO

GRUPO VIII : 1.3 CM + 1.3 CV+imp. + 1.3 Imp. Escombros

INGENIEROS ESTRUCTURALES - ING. LUIS CORDOVA

DATOS PARA DISEÑO DE COLUMNAS RECTANGULARES

Proyecto: PUENTE BETHEL, PETEN - HIDRAES

Ubicación: COLUMNA EN ESTRIBO CICLOPEO

fecha: 07-jun-17

f'c= 4000 psi Fy= 60000 psi
 ancho de columna cuad: 70 cms
 recubrimiento del refuerzo: 2 pul
 est #= 4 long #= 9
 h= 27.56 pul
 δh= 21.43
 δ= 0.78 escoger grafico de publicacion ACI SP-17A
 Ag= 759.50 pul²
 Ac= 459.42 pul²

0.1*S*f'c*Ag= 303.80 kip

=====

Datos de diseño obtenidos del analisis:

COLUMNA INTERIOR:

Pn (kip)	Mn (kip-pie)	ΦPn/Ag	ΦMn/Ag*h	ρg
98.51	40.33	0.13	0.02	0.01

COLUMNA EXTERIOR:

Pn (kip)	Mn (kip-pie)	ΦPn/Ag	ΦMn/Ag*h	ρg

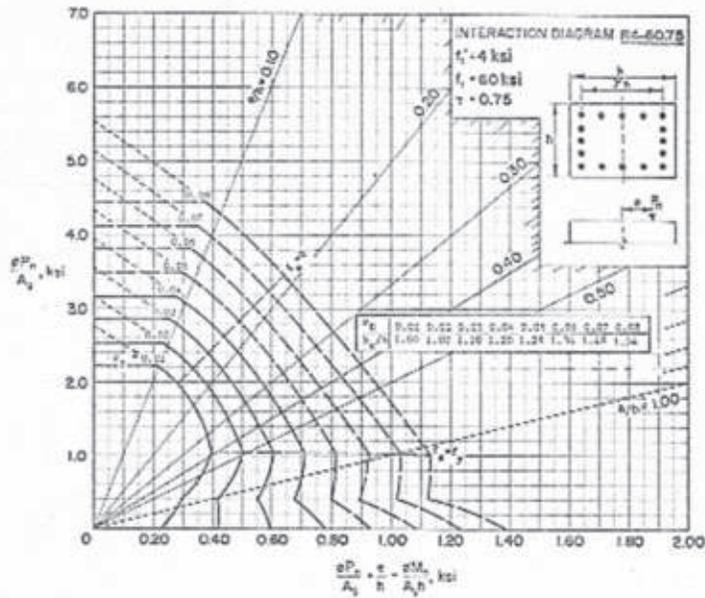
=====

ARMADO FINAL:

8 No 9, est No3 @15cm

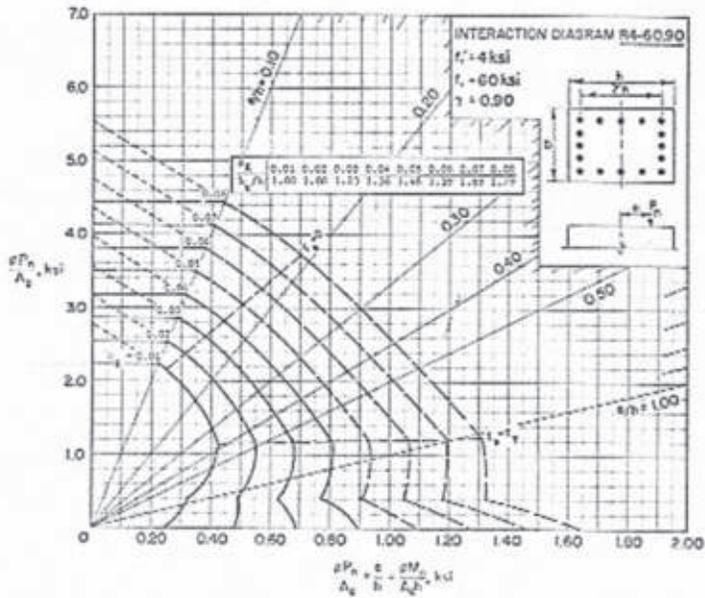
COLUMNS 7.4.3—Load-moment strength interaction diagram for R4-60.75 columns

C
O
L
U
M
N
S
7.4.3



COLUMNS 7.4.4—Load-moment strength interaction diagram for R4-60.90 columns

C
O
L
U
M
N
S
7.4.4



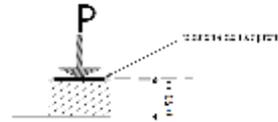
For use of these Design Aids, see Columns Examples 1-9 and 12-17.

ING. LUIS CORDOVA MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG	Proyecto: PUENTE BETHEL, PETEN HIDRAES	Ing. O Arq. Córdova Fecha: 07/06/17	Proyecto #
	Miembro VIGA DE CONCRETO ARMADO 10.90 MT	Responsable: LC Revisión	Página #

ALMOHADILLA DE APOYO DE VIGAS DE CONCRETO (elastomeric bearing pads)

DESCRIPCION DE ESFUERZOS Y MATERIALES A USAR:

fy= 60000 psi
Carga muerta máxima= 37.24 kip
Carga viva máxima= 61.272 kip
luz del puente, L= 34.44 pies



CARGA POR FRENADO DE VEHICULO:

Peso del vehiculo = 72000 lbs => HS 20 - HL 93

AASHTO especifica el 5% de peso del vehiculo concentrado a una altura de 6 pies
carga frenado $.05 W * 6/L = 627.18$ lbs

CALCULO DE ALMOHADILLA DE NEOPRENO:

longitud del apoyo, max ancho viga= 16.00 pulg
espesor del apoyo, $0.012L$ o $1/2$ pulg. 0.5 pulg
espesor a usar= 0.875 Pulg. no menor de $3/8$ "

ancho del apoyo requerido:

1-. $P_{tot}/(800*La) = 7.75$ pulg

2-. $5*espesor\ apoyo = 2.5$ pulg

Adoptamos no menor del mayor de arriba, W= 16.00 pulg

Dureza del apoyo:

f compresión= $P_{tot}/(La*W) = 384.812$ psi debe ser < 1000 psi

factor de forma= $(La*W)/\{2(La+w)\}t = 4.571$

Si usamos gráfico de almohadilla dureza: 60 su deformación

unitaria en compresión sera: 4 ; % debe ser menor del 15%

Verificación del deslizamiento:

Movimiento de viga que el apoyo puede absorber sin delizarse

$\Delta s = P_{cm} * t * fact.Temp. / (5*La*W) * G$

factor de temperatura= 1.9

factor G de dureza= 176 si la dureza es 60

$\Delta S = 0.275$ pulg

movimiento que ocurrirá en viga de concreto adoptamos $C_{temp} = 0.000004^{\circ}F$

Δ temp expansión= 100 70 °F

Δ temp contracción= 30 70 °F

Δ exp= 0.0248 pulg

Δ contrac= -0.0331 pulg]

Δ shrink= -0.1033 pulg] -0.1984 pulg

Δ creep= -0.0620 pulg]

$\Delta S = 0.275$ pulg OK el movimiento que puede absorber

DIMENSIÓN FINAL DE LA ALMOHADILLA DE DUREZA 60

Longitud L = 16.00 pulg

Ancho W = 16 pulg

espesor t = 0.875 pulg

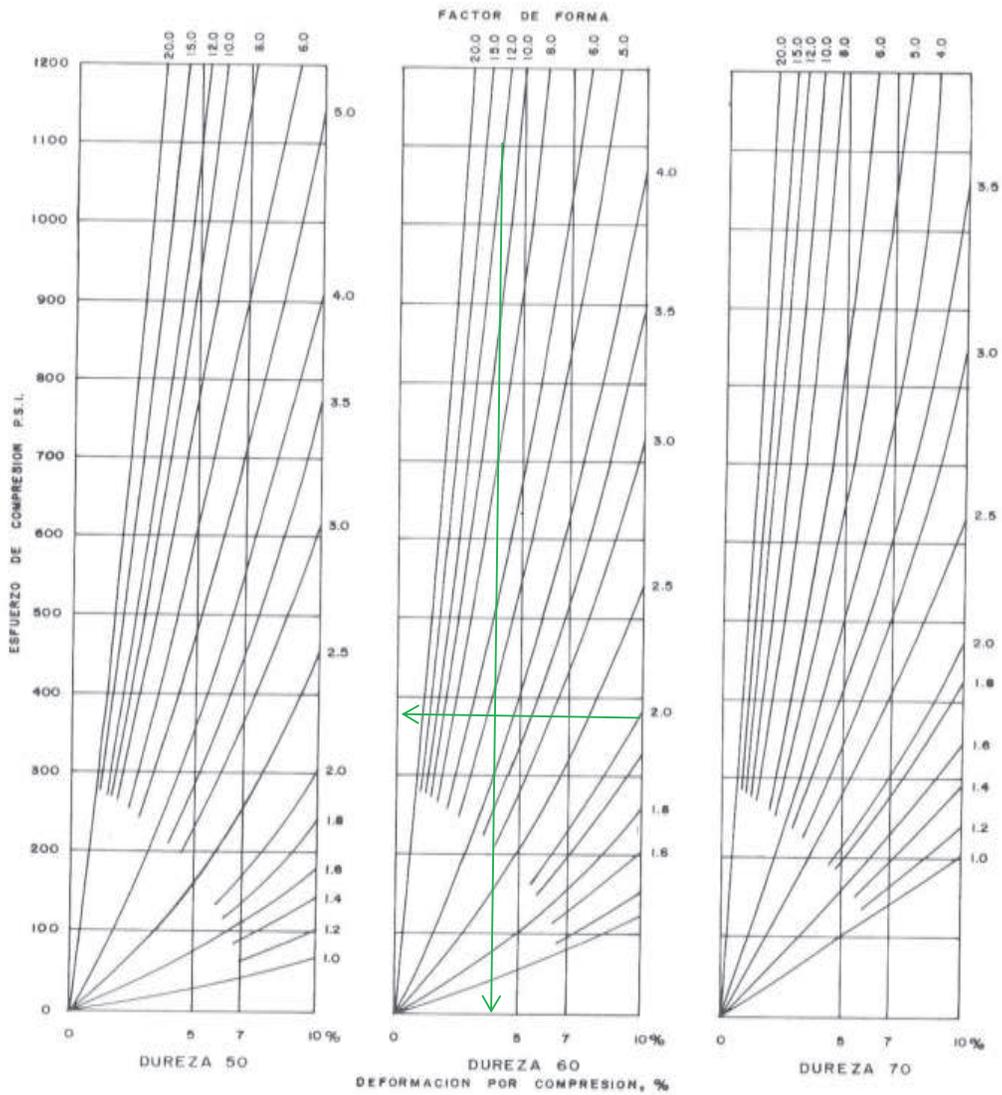


FIGURA Nº 50 ESFUERZO DE COMPRESION VERSUS DEFORMACION POR COMPRESION
 GRAFICAS DE: HEINS, CONRAD P, LAURIE, RICHARD A. DESIGN OF MODERN CONCRETE HIGHWAY BRIDGES.
 NEW YORK EDITORIAL JOHN WILEY SONS, 1984

DATOS PARA VERIFICACION DE DESLIZAMIENTO DE ALMOHADILLA:

- 1.9 Si la temperatura mas baja es 20°F
- 1.8 Si la temperatura mas baja es 0°F
- 1.5 Si la temperatura mas baja es -20°F

DIVIDIR ENTRE: (valor de G)

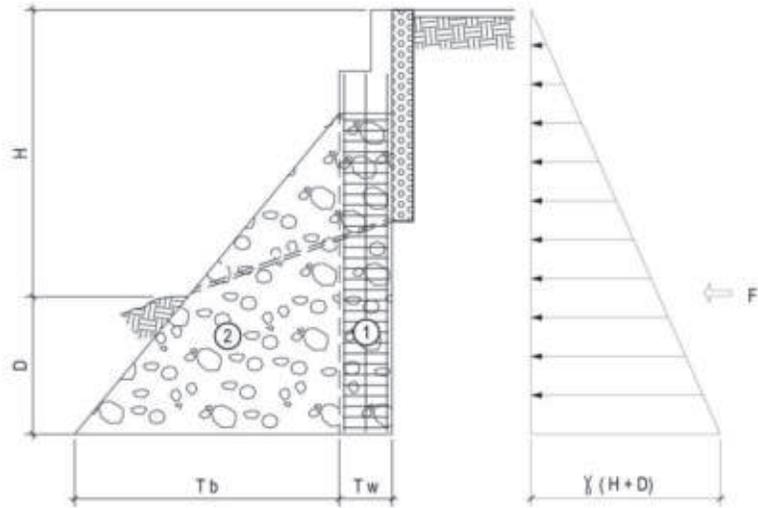
- 110 Si la dureza es 50
- 160 Si la dureza es 60
- 215 Si la dureza es 70

CONVERSIONES DE TEMPERATURA

- 70 °F = (5/9) (F-32) 21.1111 °C
- 100 °F = (5/9) (F-32) 37.7778 °C
- 30 °F = (5/9) (F-32) -1.1111 °C

ING. LUIS CORDOVA MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG	Proyecto:	PUENTE BETHEL PETEN HIDRAES	Ing. O Arq. Córdoba	Proyecto #
	Miembro	MURO ESTRIBO CONCRETO CICLOPEO H=3.0MT	Fecha: 07/06/17	Página #
		Responsable: LC	Revisión	

DISEÑO DE MURO ABUTMENT DE GRAVEDAD



Datos de materiales del muro:

$F'c = 2,500$ psi
 $fy = 60,000$ psi
 Peso específico concreto = 145 pcf, concreto ciclopeo

Datos del agua:

sobre carga = - psf
 Peso específico agua = 62.4 pcf
 Relación de aceleración de terremoto $k = 0.09$ 'g
 Presión de sismo = 376 psf

Datos del suelo:

sobre carga vehicular = 180 psf
 Peso específico suelo = 90 pcf
 ángulo reposo = 32 °
 valor soporte = 3,500 psf, ==> 17.12 Ton/m2
 factor sismo para valor soporte = 1.50 VER ESTUDIO GEOTECNICO
 ang. incl (β) = 0 ° (valor siempre < ang. reposo)

$Ka = 0.3073$
 $Kp = 3.2546$
 $Ko = 0.4701$
 $\mu = \text{tg}(\text{ang. rep.}) = 0.6249$

carga de superestructura vehicular en cabezal del estribo: 5.32 k/pie
 (CM + 20%CV) $P = 104.61$ kip

DIMENSIONES ADOPTADAS DEL MURO:

$H = 2.87$ mt $tw = 0.85$ mt
 $D = 2.00$ mt $B = 1.75$ mt OK
 $tb = 0.90$ mt

TIPO DE PRESION A ANALIZAR

SUELO = 1 OK
 AGUA = 0

A- CALCULO DE VOLTEO Y DESLIZAMIENTO DEL MURO:

I) CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES:

Producida por	F (lb/pie)	brazo (pie)	M activo (lb-pie/pie)
Suelo ($P_a \cdot \cos(\beta)$)	3,527.95	5.3245	18,784.67
sobrecarga	1,351.60	7.9868	10,794.95
Sismo 10% suelo	352.79	7.9868	2,817.70
presion pasiva	(6,302.55)	2.1867	(13,781.57)
		SUMA:	18,615.75 lb-pie/pie

II) CALCULO DE MOMENTOS ESTABILIZADORES:

Porcion #	peso (lb)	brazo (pie)	M estab. (lb-pie/pie)
cortina 1	6,457.49	4.3460	28,064.24
cortina 2	3,418.67	1.9680	6,727.94
superestructura	5,315.36	4.3460	23,100.55
		SUMA:	57,892.74 lb-pie/pie

FACTOR DE SEGURIDAD AL VOLTEO: $F.S. = M_{act.} / M_{est.}$
 $F.S. = 3.110$ OK

FACTOR DE SEGURIDAD AL DESLIZAMIENTO:
 $F.S. = (\mu \cdot \sum(\text{peso}) + P_{pasiva}) / \text{Fact.} + F_{sobrecarga} + \text{Sismo}$
 $F.S. = 3.019$ OK

B- CALCULO DE VALOR SOPORTE EN BASE DE MURO:
 PARA FRANJA DE DISEÑO DE 1 PIE.

	SIN SISMO	CON SISMO
$a = (M_{est.} - M_{act.}) / W_{tot} =$	2.7709	2.5855 pie
$\Rightarrow 3a =$	8.3128	7.7564 pie > B

ALTERNATIVA CASO DE PRESIONES SIN SISMO

CASO 1:
 si $3a < B$
 entonces: $K_{max} =$ NO GOBIERNA psf NO APLICA
 $K_{min} =$ NO GOBIERNA psf NO APLICA

CASO 2:
 si $3a > B$
 entonces: $K_{1max} = 2,920.67$ psf SI CHEQUEA
 $K_{2min} = 2,372.54$ psf ACEPTABLE

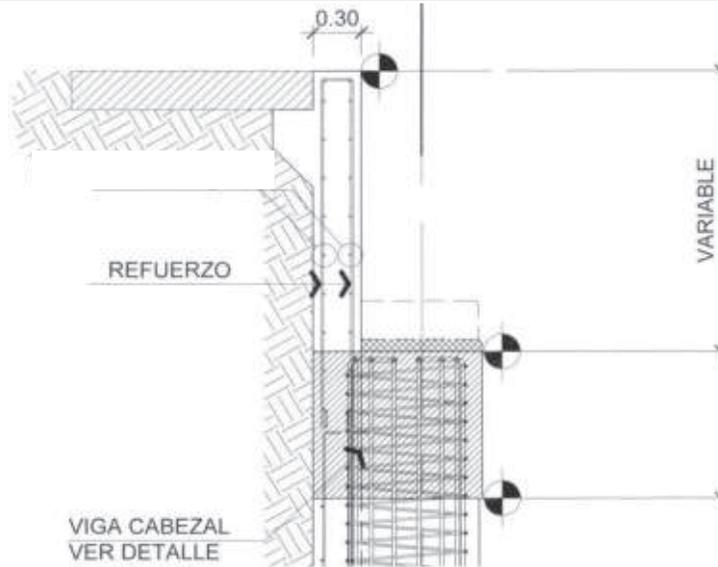
ALTERNATIVA CASO DE PRESIONES CON SISMO

CASO 1:
 si $3a < B$
 entonces: $K_{max} =$ NO GOBIERNA psf NO APLICA
 $K_{min} =$ NO GOBIERNA psf NO APLICA

CASO 2:
 si $3a > B$
 entonces: $K_{1max} = 3,433.79$ psf SI CHEQUEA
 $K_{2min} = 1,859.42$ psf SI CHEQUEA

ING. LUIS CORDOVA MAESTRIA ESTRUCTURAS UVG	Proyecto:	PUENTE BETHEL, PETEN HIDRAES	Ing. O Arq.	Córdova	Proyecto #
	Miembro	PANTALLA EN APROACH	Fecha:	07/06/17	
			Responsable:	LC	Página #
			Revisión		

DISEÑO DE PANTALLA DE CONCRETO REFORZADO



Datos de materiales:
 $F'c = 4000$ psi
 $f_y = 60000$ psi
 Peso espec. concreto = 150 pcf

Datos del suelo:
 sobre carga = 180 psf, presión de 2 pies de tierra AASHTO 3.20, 3.8, 5.5.2)
 Peso espec. suelo = 90 pcf
 ang. Fricción suelo (ϕ) = 32 °
 ang. incl (β) = 0 ° (este valor siempre < ang. reposo)
 $K_a = 0.3073$
 $K_p = 3.2546$
 $K_o = 0.4701$
 $\mu = \text{tg}(\text{ang. rep.}) = 0.6249$

DATOS SISMICOS - METODO MONONOBE-OKABE:

Puente esencial (AASHTO 3.3 I-A)
 $IC = 1$ Clasificación de importancia
 Factor de categoría de respuesta = B
 considerado como puente = regular (AASHTO 4.2 I-A)
 Se puede usar análisis espectral de un modo de vibración (metodo 1)
 Coeficiente del perfil del suelo = 1.2
 Factor de modificación de respuesta para pantalla R = 2
 Factor de modificación de respuesta para zapata R = 1
 coeficiente de aceleración sísmica según geografía A = 0.19
 coeficiente de aceleración horizontal sísmica $k_h = 0.2850$ (1.5 el coef. Acele. A)
 coeficiente de aceleración vertical sísmica $k_v = 0.1$ (0.3 $k_h < k_v < 0.5 k_h$)
 $teta = \text{Atan}(k_h / (1 - k_v)) = 18.0000$

$$Y = \{1 + \sqrt{(\text{sen } \phi * \text{sen } \phi - teta - \beta) / (\text{cos } teta * \text{cos } \beta)}\}^2$$

$Y = 1.8691$

$$K_{ae} = \{\text{cos}^2(\phi - teta) / (Y * \text{cos } teta * \text{cos } teta)\}$$

$k_{ae} = 0.5569$

Presión sísmica ecuación de Mononobe-Okabe:

$$P_{ae} = 0.5 * \text{peso espe. suelo} * H^2 * (1 - k_v) * k_{ae}$$

$P_{ae} = 155.2917$ lb/pie
 actúa a una altura $0.6 * H = 1.5744$ pies

DIMENSIONES ADOPTADAS DE LA PANTALLA:

$H = 0.800$ mt
 $D = 0.000$ mt
 $t_z = 0.000$ mt
 $t_c = 0.000$ mt
 recub. ref. en muro: 2.000 pulg

$tw = 0.300$ mt
 $T = 0.000$ mt
 ref. asumido = 0.500 pulg

I) CALCULO DE MOMENTOS ACTUANTES EN LA PANTALLA:

producida por	F (lb/pie)	brazo (pie)	M act. (lb-pie /pie)
suelo (Pa*cos(B))	145.6507	0.8747	127.3958
sobrecarga	222.0285	1.3120	291.3014
sismo Mononobe-Okabe Pae=	155.2917	1.5744	244.4912
SUMA:			663.1885 lb-pie/pie

II) CALCULO DE REFUERZO EN CORTINA DE MURO:

PARA FRANJA DE DISEÑO DE 1 PIE, CON FACTORES ULTIMOS DISEÑO EN CONCRETO AASHTO:

Factores ultimos: tierra= 1.3
sobre carga= 1.3
sismo= 1.3

fuerzas actuantes	P (lb/pie)	brazo (pie)	Mact. de trabajo	Mult.
suelo (Pa*cos(B))	145.6507	0.8747	127.3958	165.6146
sobrecarga	222.0285	1.3120	291.3014	378.6919
sismo Mononobe-0	155.2917	1.5744	244.4912	317.8386

MOMENTO DE DISEÑO: 862.145 lb-pie
d: 9.5580 pul

AREA DE ACERO POR PIE (As): 0.020 pul²
AREA DE ACERO MINIMA POR FLEX.: 0.382 pul³

Vu: 679.8622 lb

Av: seccion OK, no necesita ref. a corte

Refuerzo a colocar: No. 4 @ 15cm

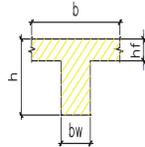
III) CALCULO DE AREA DE ACERO EN MIEMBROS DE CONCRETO REFORZADO

AREA DE ACERO PARA CORTINA:

F'c= 4000.000 psi
b= 12.000 pul
d'= 2.250 pul

Asmin= 0.382 pl²
Mmin= 15.960 k-pie

Asmax= 1.912 pl²
Mmax= 70.129 k-pie



fy= 60000.000 psi
t= 11.808 pul
B= 0.850

As0.5b= 1.635 pl²
M0.5b= 61.472 k-pie

Vc= 12.332 kip

MOMENTO DE DISEÑO PARA LA SECCION:

Md= 0.862 k-pie ==> Asd= 0.020 pul²

REFUERZO A CORTE:

Vu= 0.680 kip fyh= 60000.000 psi
Sh= -23.377 cms Avh= 0.220 pul²

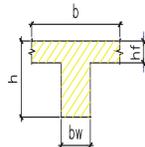
IV) CALCULO DE AREA DE ACERO EN MIEMBROS DE CONCRETO REFORZADO

AREA DE ACERO PARA VIGA CABEZAL DE 85X75:

F'c= 4000.000 psi
b= 33.465 pul
d'= 3.000 pul

Asmin= 2.959 pl²
Mmin= 342.852 k-pie

Asmax= 14.796 pl²
Mmax= 1506.469 k-pie



fy= 60000.000 psi
t= 29.528 pul
B= 0.850

As0.5b= 12.653 pl²
M0.5b= 1320.501 k-pie

Vc= 95.447 kip

MOMENTO DE DISEÑO PARA LA SECCION:

Md= 350.000 k-pie ==> Asd= 3.023 pul²

REFUERZO A CORTE:

Vu= 97.000 kip fyh= 60000.000 psi
Sh= 486.742 cms Avh= 0.220 pul²

Refuerzo a colocar: 4 No.8 corridos

FUENTE BIBLIOGRAFICA

1. AASHTO, Interim Revisions. (1999) **Standard Specifications for Highway Bridges**. Estados Unidos de América: American Association of State Highway and Transportation Officials, 16th Edition.
2. Gómez, Consuelo; Sergio Oller y Alex Barbat (2002) «**Evaluación del daño sísmico en puentes de hormigón armado**» Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería. Universidad Politécnica de Cataluña, España 18(2): 309-329.
3. Kim, Robert H. y Jai B. Kim (2001) **Bridge Design for the Civil and Structural Professional Engineering Exams**. Estados Unidos de América: Professional Publications, Inc.
4. Melli Piralla, Roberto (2000) **Diseño Estructural**. México: Editorial Limusa, Grupo Noriega Editores.
5. Taylor, Frederick; Sanford Thompson y Edward Smulski. (1955). **Reinforced Concrete Bridges**. Estados Unidos de América: John Wiley & Sons, Inc.
6. Tonias, Demetrios E. (1995) **Bridge Engineering**. Estados Unidos de América: McGraw-Hill, Inc.
7. Xanthakos, Petros P.. (1995) **Theory and Design of Bridges**. John Wiley & Sons, Inc.
8. Trujillo Orozco, José Eusebio. (1993) **Diseño de Puentes**. Colombia: Ediciones UIS.
9. Williams, Alan (1995) **Seismic Design of Buildings and Bridges**. Estados Unidos de América: Engineering Press, Inc.
10. PCI DESIGN HANDBOOK, Precast and Prestressed Concrete. Prestressed Concrete Institute. Estados Unidos de América.

4 CONCLUSIÓN

Se considera que en el presente Informe se definen con suficiente detalle las características y avances del contrato No.004-2017-DGC-E (CINCO TRAMOS).

GUATEMALA, 13 junio de 2017.

Coordinador del Proyecto

Fdo. Efraín Antonio de León Mendoza

Ingeniero Civil

ANEXO 6: Participación Pública



dichos departamentos. **SEGUNDO:** Intervención del Arquitecto Javier Barros quien da los detalles del proyecto, como también los señalo que se manifiestan si al momento de ejecutar el proyecto no se dañaría los recursos naturales, la flora y fauna, para lo cual los presentes manifestaron no se dañarían ya que actualmente ya no se cuenta con los recursos de fauna y flora también señalo que se manifestaron si están totalmente de acuerdo y su disposición de buena fe a colaborar y aceptar el desarrollo y ejecución del tramo concreto de asfalto en lo que concierne a los kilómetros de longitud lo cual los representantes manifestaron que si están totalmente de acuerdo a contribuir en todo lo que sea necesario en el transcurso del desarrollo del proyecto de asfalto de la Fabrica de las Cruces, Perten hacia el caserío Bahía Amalcentro en día a conocer los planos y explicar a los asistentes cual será el trazo y forma de construcción del proyecto. **TERCERO:** El Arquitecto Javier Barros consulta a los participantes si consideran que el proyecto tiene carácter benéfico para su comunidad, a lo que responden las comunidades que están satisfechos con la ejecución y llegada del proyecto a sus comunidades, ya que la falta de este tipo de infraestructura no permite el desarrollo ni acceso a buenas condiciones de vida, por lo que exhortan al Gobierno de Guatemala a continuar con este tipo de proyectos en las regiones más pobres del país. **CUARTO:** No habiendo más que hacer constar se da por terminada la presente en el mismo lugar y



Acta No. 0011-2017 Reunidos en la
Cabecera Municipal del Municipio de
Cruces, del Departamento de Peten, siendo las
once horas en punto del día jueves once de
mayo del año dos mil diecisiete, reunidos en
las instalaciones del edificio municipal los
Señores; René Gilberto Reyesa Alegria, Alcalde
Municipal; Miembros que integran el Consejo
Municipal, Integrantes del Comité Pro Asfalto y
representantes de las 11 comunidades del Municipio
de las Cruces, Peten, se reunieron presntes la
Licenciada: Nanda Luján, Arquitecta, Jovani Benes,
en representación de Ministerio de Construcción,
y Vivienda, de encargada de realizar los estudios
de Impacto Ambiental del proyecto de desarrollo
de la Cabecera Municipal de Las Cruces, Peten,
hacia el Caserío Belhel, Las Cruces, Peten con
la asistencia del Licenciado Santos Antonio
Lopez Lacón, Secretario Municipal, que
certificó y deja constancia de lo siguiente:
PRIMERO: El Sr. René Gilberto Reyesa Alegria,
Alcalde Municipal; dirigiéndose a los presentes,
les dio la cordial bienvenida y aprovecho para
agradecerles por su participación en beneficio del
desarrollo del municipio; también les informó
sobre los procesos que se tienen que realizar
para llegar hacer una realidad el proyecto
tan esperado por todos los habitantes del
Municipio de las Cruces, Peten, hizo énfasis
sobre el acuerdo Gubernativo No. 149-96 en donde
el Estado de Guatemala asumió el compromiso
de contribuir al fomento y desarrollo de los
departamentos de Peten, y Alta Verapaz,
conjuntamente han acordado ejecutar las
obras de mantenimiento e impermeabilización
asfáltica de varios tramos carreteros en



fecha una hora despues de su inicio.



Marta Adilia C.

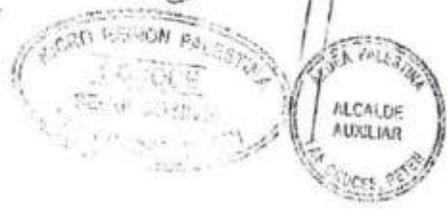


Carlos Andrés Jacint

Jaime Ernesto R.



[Handwritten signatures]

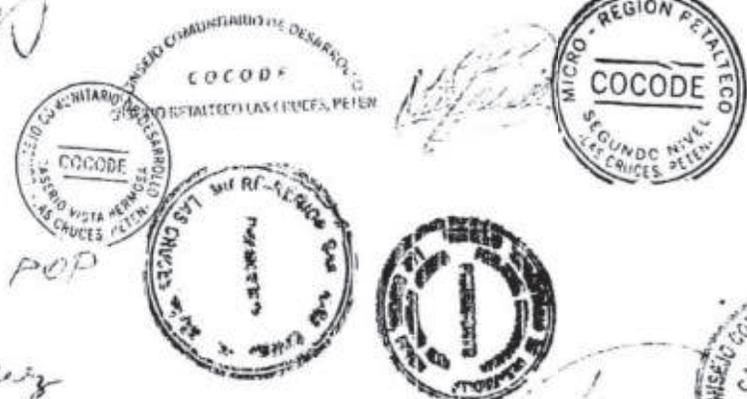


[Handwritten signature]

[Handwritten signature]

Ricardo POP

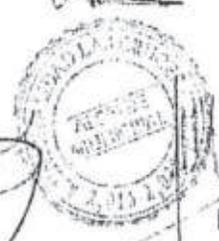
GEhanzy



Adrián L. Solares

CONSEJO COMUNITARIO DE DESARROLLO COCODE SEGUNDO NIVEL MICRO REGION CENTRAL LAS CRUCES, PETEN

[Handwritten signatures]



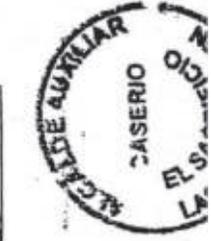


**LISTADO DE ASISTENCIA COMITÉ PRO-ASFALTO
MUNICIPIO DE LAS CRUCES, PETÉN**

11/05/2017

MUNICIPIO LAS CRUCES
PETÉN

No.	NOMBRE	CARGO	TELEFONO	CORREO	FIRMA
1	Frene Reynosa	Alcalde	30792002		<i>[Signature]</i>
2	Marcos Jemi	Consejal 3	851771451		<i>[Signature]</i>
3	Francisco Lopez	Presidente	53500257		<i>[Signature]</i>
4	Picardo Lopez	Presidente comite	78729011		<i>[Signature]</i>
5	Mario Tubay Perez	Miembro comite	31912806		<i>[Signature]</i>
6	Carlos Pop Maguin	Presidente comite	46531060		<i>[Signature]</i>
7	Genivino Escobedo Chabaz	Miembro comite	46294562		<i>[Signature]</i>
8	Marta Cecilia C	Presidente comite	57729006		<i>[Signature]</i>
9	Sebastián Cruz	Miembro comite	30298149		<i>[Signature]</i>
10	Cesar Agusto Garcia	Vocal comite	49350005		<i>[Signature]</i>
11	Jaimé Paastor R.	Presidente comite	55523437		<i>[Signature]</i>
12	van Jose ortiz M.	Vicepresidente	483660794		<i>[Signature]</i>
13	Julia Antonia Martinez	Miembro comite	46336757		<i>[Signature]</i>
14	Santos Lopez Matul		53890771		<i>[Signature]</i>
15	Mario E. Frey	Pres. comite	31397453		<i>[Signature]</i>





MUNICIPIO DE LAS CRUCES
PETÉN

LISTADO DE ASISTENCIA COMITÉ PRO-ASFALTO
MUNICIPIO DE LAS CRUCES, PETÉN
11/05/2017

No.	NOMBRE	CARGO	TELEFONO	CORREO	FIRMA
1	Samir Antonio López Lucio	Secretario	57062778	secretario@las-cruces.gub.gw	
2	Odilio Galicia Monterroso	Presidente Comité	59911198		
3	Mathy J. Salas				
4	Marta Cuyun	Asistente legal	53309883	comite@las-cruces.gub.gw	
5	Javier Carríos	Arquitecto	53309883	comite@las-cruces.gub.gw	
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					