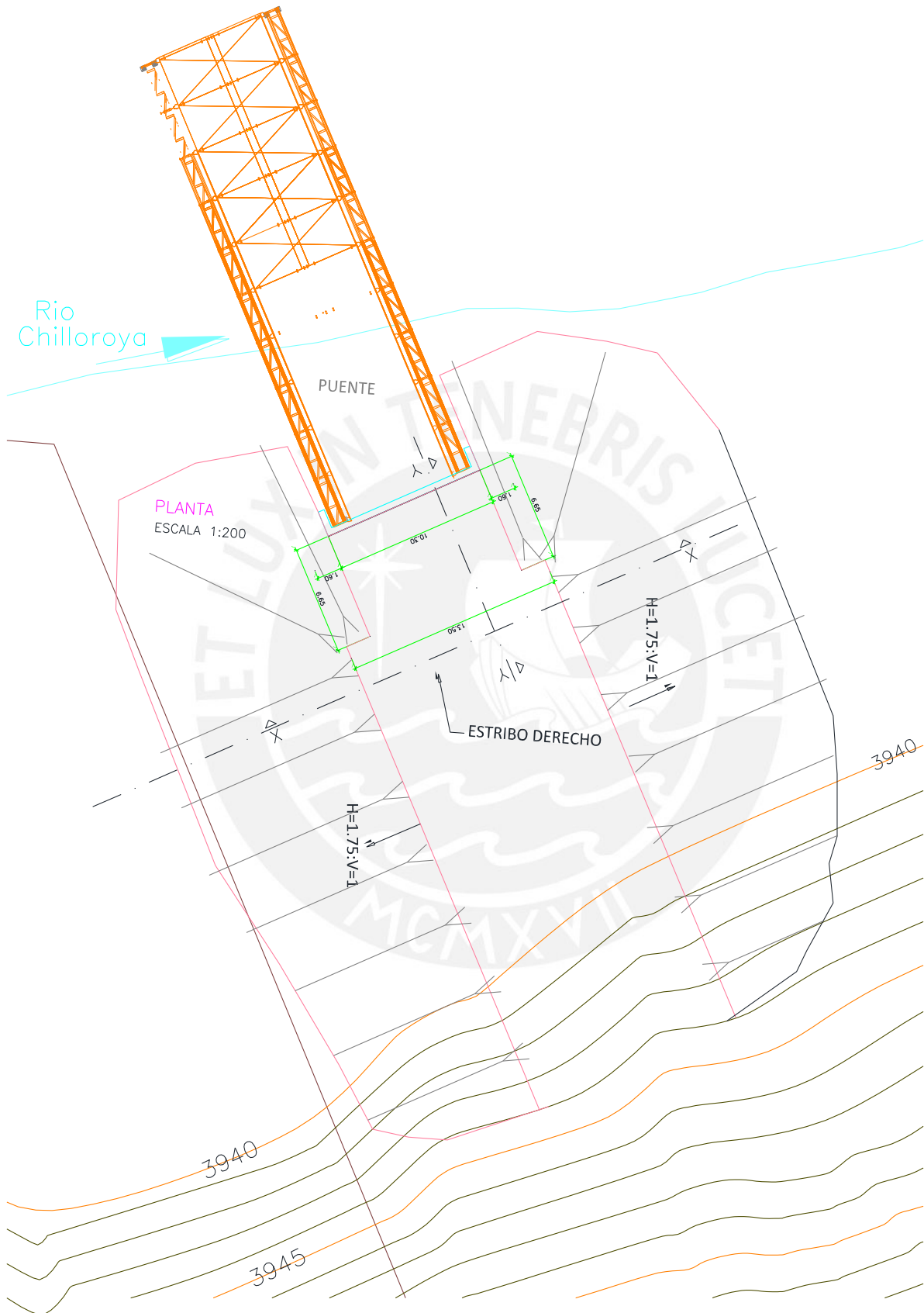
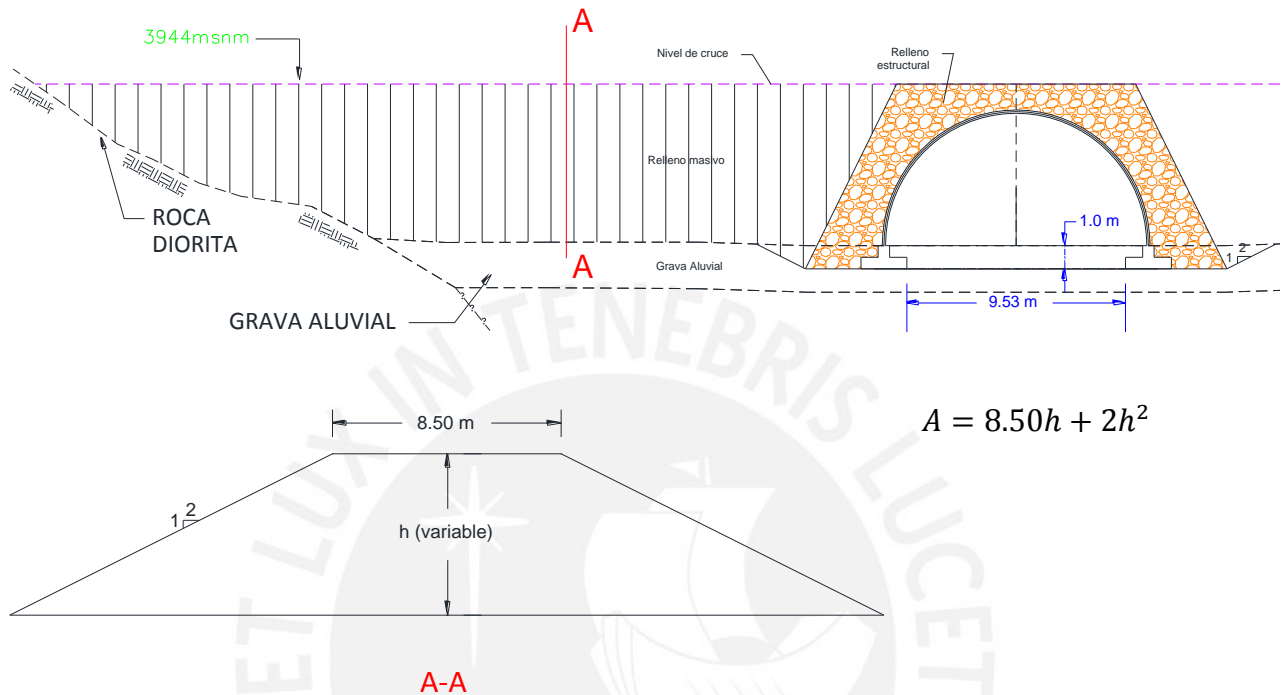


Anexo 1: Detalles del puente existente



Anexo 2: Estimación de volumen de relleno masivo

El volumen para relleno masivo se calculó sumando volúmenes diferenciales. Cada volumen diferencial es un trapecio con espesor de 1m. El área se obtiene en base a la altura desde la superficie a rellenar hasta el nivel de la vía de cruce. La altura de cada diferencial de volumen se halló trazando líneas verticales con el software AutoCAD, como se muestra en la siguiente figura:



Luego se procesan los datos como se muestra en la siguiente tabla:

Altura	Sub-volumen		
0.3424 m	3.145 m ³	6.8049 m	150.455 m ³
1.0466 m	11.087 m ³	6.8022 m	150.359 m ³
1.7789 m	21.450 m ³	6.8000 m	150.280 m ³
2.5111 m	33.956 m ³	6.8000 m	150.280 m ³
2.9617 m	42.718 m ³	6.8000 m	150.280 m ³
3.4159 m	52.372 m ³	6.8000 m	150.280 m ³
3.9233 m	64.133 m ³	6.8000 m	150.280 m ³
4.3658 m	75.230 m ³	6.8000 m	150.280 m ³
4.6745 m	83.435 m ³	6.8000 m	150.280 m ³
4.8995 m	89.656 m ³	6.8165 m	150.870 m ³
5.0406 m	93.660 m ³	6.8484 m	152.013 m ³
5.1817 m	97.744 m ³	6.9040 m	154.014 m ³
5.4853 m	106.802 m ³	7.4040 m	172.572 m ³
5.9948 m	122.831 m ³	7.9040 m	192.130 m ³
6.5043 m	139.898 m ³	6.1301 m	127.262 m ³
6.6799 m	146.021 m ³	4.1301 m	69.221 m ³
6.7340 m	147.933 m ³	2.1301 m	27.181 m ³
6.7880 m	149.852 m ³	0.1301 m	1.140 m ³
6.8104 m	150.651 m ³		4182.305 m ³
6.8077 m	150.555 m ³	x 2 lados =	8365 m³

Anexo 3: Estimación de longitud de soldadura necesaria para alternativa en acero

En primer lugar se calcula la longitud total de vigas de la estructura.

Así, a cada lado de la estructura se tiene:

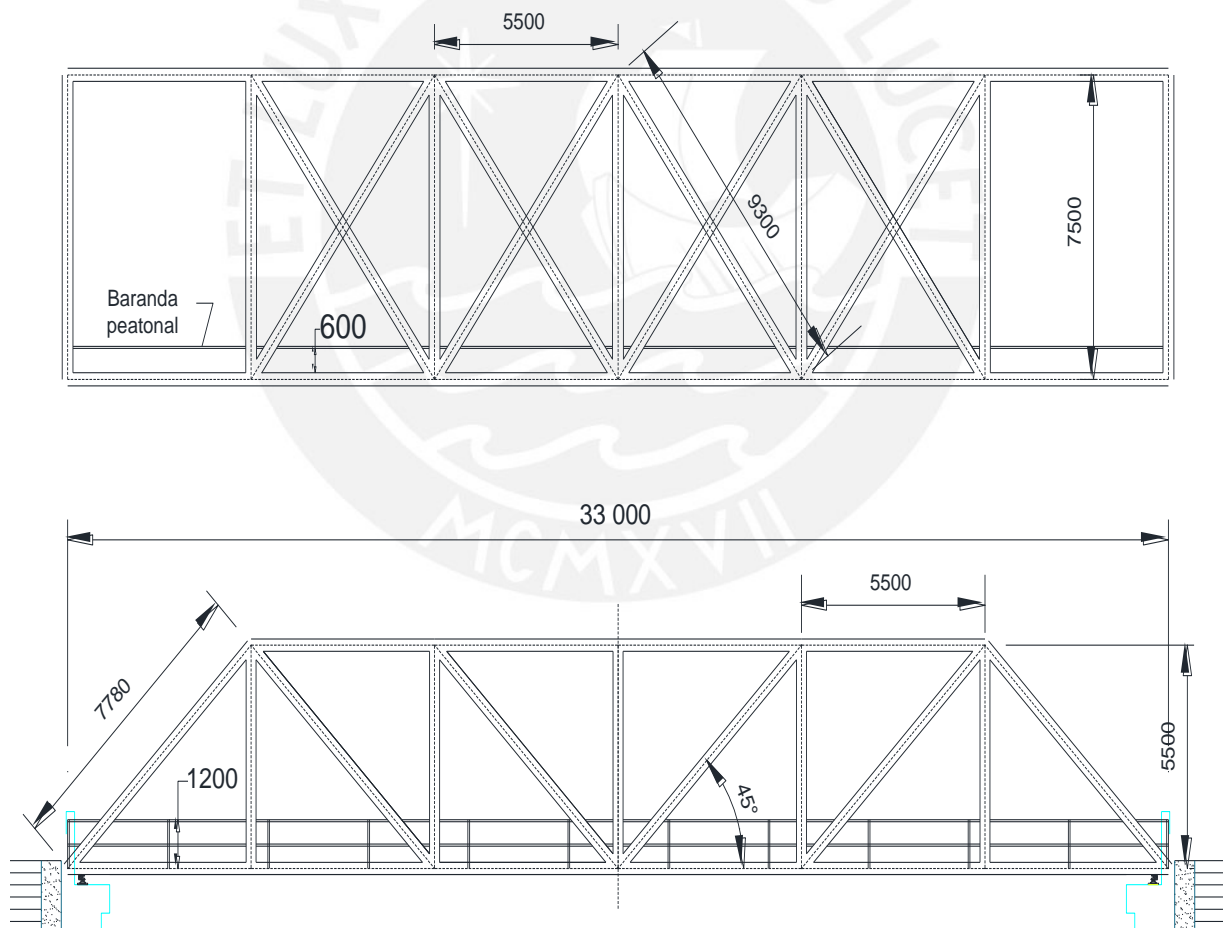
- 6 cordones inferiores de 5.5 m cada uno, que hacen 33 m
- 4 cordones superiores de 5.5 m cada uno, que hacen 22 m
- 5 montantes de 5.5 m cada uno, que hacen 27.5 m
- 6 diagonales de 7.78 m cada una, que hacen 46.70 m

Los arrostros superiores e inferiores comprenden:

- 12 elementos perpendiculares de 7.50 m cada uno, que hacen 90 m
- 20 elementos diagonales de 9.30 m cada uno, que hacen 186 m

Sumando dos veces las longitudes de vigas de los lados más una vez la de los arrostros laterales, se obtiene 534.4 m de vigas.

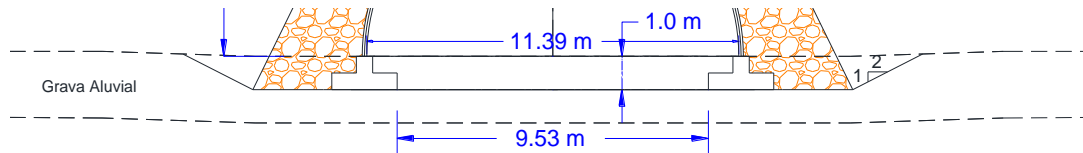
Finalmente, considerando que cada viga tiene 4 líneas de soldadura, la longitud total a soldar para la armadura de acero es de 2138 m.



Anexo 4: Estimación del volumen de excavación para preparación del cauce de puente enterrado

El volumen de excavación se estima sumando el volumen para el arco y el volumen para los enrocados de protección:

El volumen de excavación para el arco comprende una sección de 1 m de profundidad para todo el ancho del arco más las pendientes laterales, con un largo igual al del puente enterrado.



El volumen de excavación para los enrocados comprende la entrada y las salidas del puente: 2 volúmenes de 20 m de ancho, 5 m de largo y 0.5 m de profundidad.



Anexo 5: Matrices de criterios para cada personaje.

Cada matriz de criterios compara los 4 criterios de comparación mediante pares para todas las combinaciones posibles. Usando la escala de preferencias de la tabla 7.2, se generan las matrices de criterios para los 4 personajes, mostradas a continuación:

Poblador 1

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento
Costo de construcción	1	0.5	0	0
Duración	2	1	0.142857143	0.142857143
Impacto ambiental	9	7	1	2
Mantenimiento	9	7	0.5	1
	21	15.5	1.642857143	3.142857143

Poblador 2

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento
Costo de construcción	1	0.5	0	0
Duración	2	1	0.142857143	0.142857143
Impacto ambiental	9	7	1	0.5
Mantenimiento	9	7	2	1
	21	15.5	3.142857143	1.642857143

Inversionista

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento
Costo de construcción	1	5	5	5
Duración	0.2	1	5	5
Impacto ambiental	0.2	0.2	1	1
Mantenimiento	0.2	0.2	1	1
Suma	1.6	6.4	12	12

Cliente

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento
Costo de construcción	1	0.2	3	3
Duración	5	1	3	4
Impacto ambiental	0.33	0.33	1	1
Mantenimiento	0.33	0.25	1	1
Suma	6.66	1.78	8	9

Constructor

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento
Costo de construcción	1	1	2	2
Duración	1	1	2	5
Impacto ambiental	0.5	0.5	1	1
Mantenimiento	0.5	0.2	1	1
Suma	3	2.7	6	9

La última fila es la suma de los valores en cada columna. Para estimar las prioridades, cada número de la matriz se divide por la suma de su columna. Finalmente, la prioridad de cada criterio se estima promediando los valores para cada fila, que se puede expresar en porcentaje. Éste proceso se muestra a continuación.

Poblador 1

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento	Prioridad	
Costo de construcción	0.047619048	0.032258065	0	0	0.01996928	2%
Duración	0.095238095	0.064516129	0.086956522	0.045454545	0.07304132	7%
Impacto ambiental	0.428571429	0.451612903	0.608695652	0.636363636	0.53131091	53%
Mantenimiento	0.428571429	0.451612903	0.304347826	0.318181818	0.37567849	38%

Poblador 2

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento	Prioridad	
Costo de construcción	0.047619048	0.032258065	0	0	0.01996928	2%
Duración	0.095238095	0.064516129	0.045454545	0.086956522	0.07304132	7%
Impacto ambiental	0.428571429	0.451612903	0.318181818	0.304347826	0.37567849	38%
Mantenimiento	0.428571429	0.451612903	0.636363636	0.608695652	0.53131091	53%

Inversionista

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento	Prioridad	
Costo de construcción	0.625	0.78125	0.416666667	0.416666667	0.55989583	56%
Duración	0.125	0.15625	0.416666667	0.416666667	0.27864583	28%
Impacto ambiental	0.125	0.03125	0.083333333	0.083333333	0.08072917	8%
Mantenimiento	0.125	0.03125	0.083333333	0.083333333	0.08072917	8%

Cliente

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento	Prioridad	
Costo de construcción	0.15015015	0.112359551	0.375	0.333333333	0.24271076	24%
Duración	0.750750751	0.561797753	0.375	0.444444444	0.53299824	53%
Impacto ambiental	0.04954955	0.185393258	0.125	0.111111111	0.11776348	12%
Mantenimiento	0.04954955	0.140449438	0.125	0.111111111	0.10652752	11%

Constructor

Criterio	Costo de construcción	Duración	Impacto ambiental	Mantenimiento	Prioridad	
Costo de construcción	0.333333333	0.37037037	0.333333333	0.222222222	0.31481481	31%
Duración	0.333333333	0.37037037	0.333333333	0.555555556	0.39814815	40%
Impacto ambiental	0.166666667	0.185185185	0.166666667	0.111111111	0.15740741	16%
Mantenimiento	0.166666667	0.074074074	0.166666667	0.111111111	0.12962963	13%

Anexo 6: Matrices de comparación por criterios.

Las alternativas se comparan entre si considerando un solo criterio (costo, tiempo de construcción, duración o impacto ambiental) a la vez, de acuerdo a la escala de preferencia (del 1 al 9) de la tabla 7.2. Por ejemplo, el número 7 de la primera tabla, entre “Concreto” y “Acero” significa que la opción de concreto se considera “muy fuertemente preferible” a la de acero en lo que respecta al costo total de los puentes. Al lado simétrico del mismo número (Acero vs concreto) corresponde el valor invertido, es decir 1/7 ó 0.143.

Costo de construcción					
	Concreto	Acero	Enterrado	Sección mixta	Puente actual
Concreto	1	7	2	4	5
Acero	0.143	1	0.167	0.2	0.3
Enterrado	0.5	6	1	3	4
Sección mixta	0.250	5	0.33333333	1	3
Puente actual	0.200	4	0.25	0.33333333	1
suma	2.092857143	23	4	8.533333333	13.25

Impacto ambiental					
	Concreto	Acero	Enterrado	Sección mixta	Puente actual
Concreto	1	4	8	1.5	0.666666667
Acero	0.25	1	3	0.333333333	0.25
Enterrado	0.125	0.3	1	0.125	0.125
Sección mixta	0.666666667	3	8	1	0.5
Puente actual	1.5	4	8	2	1
suma	3.541666667	12.33333333	28	4.958333333	2.541666667

Duración					
	Concreto	Acero	Enterrado	Sección mixta	Puente actual
Concreto	1	2	0.2	1	0.2
Acero	0.500	1	0.167	0.333	0.167
Enterrado	5	6	1	4	0.25
Sección mixta	1	3	0.25	1	0.2
Puente actual	5	6	4	5	1
suma	12.5	18	5.616666667	11.33333333	1.816666667

Mantenimiento					
	Concreto	Acero	Enterrado	Sección mixta	Puente actual
Concreto	1	5	0.2	3	1
Acero	0.2	1	0.143	0.5	0.2
Enterrado	5	7	1	6	5
Sección mixta	0.333	2	0.167	1	0.5
Puente actual	1	5	0.200	2	1
suma	7.533333333	20	1.70952381	12.5	7.7

Luego, cada cifra se divide entre la suma de la columna a la que pertenece. Finalmente, los puntajes de cada alternativa para cada criterio se obtienen promediando cada fila. Estos puntajes se resumen en una sola tabla, para luego ponderarse para cada personaje deseado, con lo que se obtiene el puntaje para cada alternativa según personaje.

Costo de construcción

						promedio
Concreto	0.4778157	0.304347826	0.533333333	0.46875	0.377358491	0.43232107
Acero	0.068259386	0.043478261	0.044444444	0.0234375	0.018867925	0.0396975
Enterrado	0.23890785	0.260869565	0.266666667	0.3515625	0.301886792	0.28397867
Sección mixta	0.119453925	0.217391304	0.088888889	0.1171875	0.226415094	0.15386734
Puente actual	0.09556314	0.173913043	0.066666667	0.0390625	0.075471698	0.09013541

Impacto ambiental

						promedio
Concreto	0.282352941	0.324324324	0.285714286	0.302521008	0.262295082	0.29144153
Acero	0.070588235	0.081081081	0.107142857	0.067226891	0.098360656	0.08150977
Enterrado	0.035294118	0.027027027	0.035714286	0.025210084	0.049180328	0.03081138
Sección mixta	0.188235294	0.243243243	0.285714286	0.201680672	0.196721311	0.22971837
Puente actual	0.423529412	0.324324324	0.285714286	0.403361345	0.393442623	0.3660744

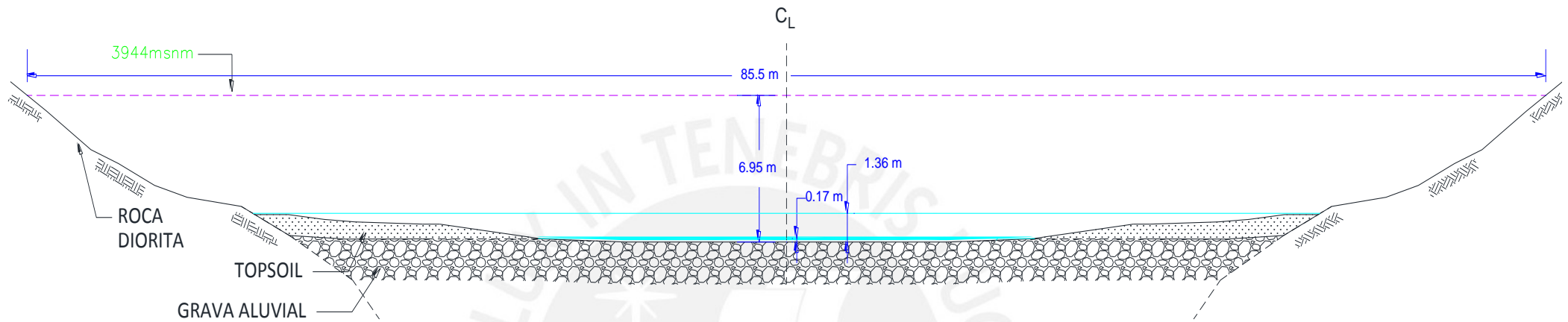
Duración

						promedio
Concreto	0.08	0.111111111	0.035608309	0.088235294	0.110091743	0.08500929
Acero	0.04	0.055555556	0.029673591	0.029411765	0.091743119	0.03866023
Enterrado	0.4	0.333333333	0.178041543	0.352941176	0.137614679	0.31607901
Sección mixta	0.08	0.166666667	0.044510386	0.088235294	0.110091743	0.09485309
Puente actual	0.4	0.333333333	0.712166172	0.441176471	0.550458716	0.48742694

Mantenimiento

						promedio
Concreto	0.132743363	0.25	0.116991643	0.24	0.12987013	0.17392103
Acero	0.026548673	0.05	0.08356546	0.04	0.025974026	0.05002853
Enterrado	0.663716814	0.35	0.584958217	0.48	0.649350649	0.51966876
Sección mixta	0.044247788	0.1	0.097493036	0.08	0.064935065	0.08043521
Puente actual	0.132743363	0.25	0.116991643	0.16	0.12987013	0.15792103

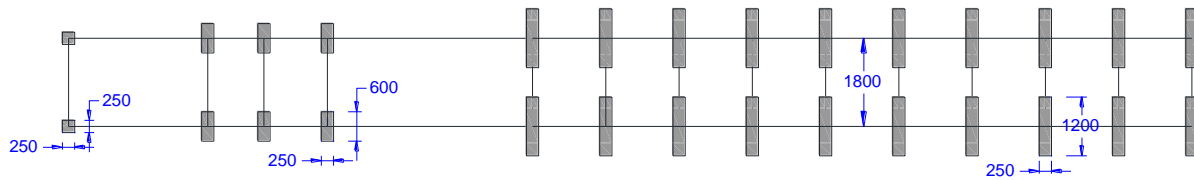
Anexo 7: Perfil del río



Se aprecian el tirante del río en época de lluvias, de 0.17 m, y el tirante estimado para lluvias con un periodo de retorno de 100 años, de 1.36 m. El tirante en época seca es despreciable, principalmente por el considerable ancho del cauce.

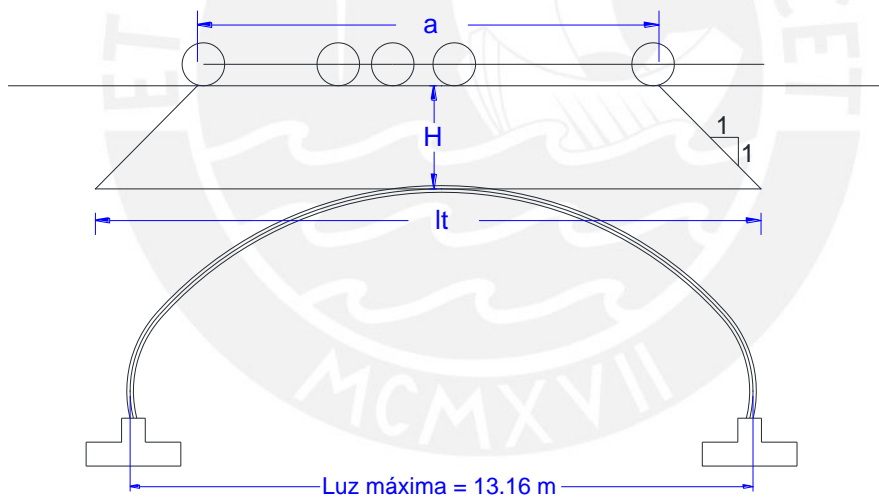
Anexo 8: Iteración de cargas vivas para hallar valor máximo de $\sigma_L \cdot m_f$

Para cada uno de los camiones se estima que las los neumáticos ocupan 250 mm a lo largo (dimensión paralela al eje), mientras que a lo ancho ocupan desde 250 mm (llantas simples, adelante) hasta 600 mm (duales) y 1200 mm (dos duales juntos). En la siguiente figura se aprecia las áreas equivalentes para las llantas del vehículo de diseño 154MT:



Para el cálculo de σ_L se toma un grupo de ejes (no más separados que la luz máxima del puente) y se divide su carga total (en kN) sobre un área rectangular $l_t \times w$.

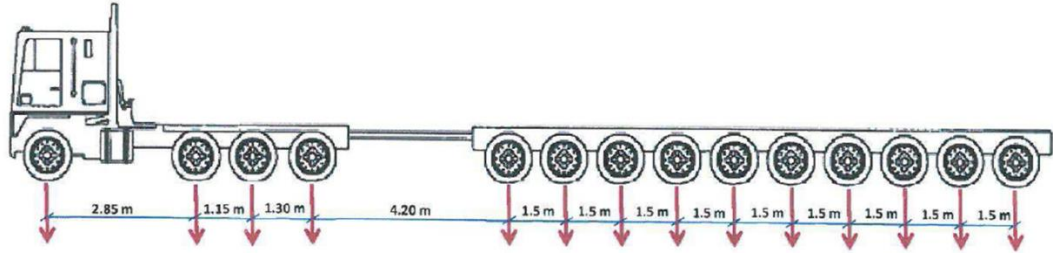
Se obtiene l_t hallando a (la distancia entre ejes incluyendo las llantas) y sumándole $2H$ (por la distribución trapezoidal de presiones). De la misma manera se halla w , pero considerando b (la distancia entre llantas, considerando su ancho) y agregándole H (ya que se estima una pendiente de 1:2 en el trapecio de presiones).



Éste proceso se hace para varios grupos de ejes (numerados como “cargas”) que se combinan para tratar de hallar el máximo valor de σ_L , con la restricción de que “ a ” sea menor a la luz máxima del puente (13.16 m). m_f (ya explicado en la sección de diseño) vale 1 para casos de 1 vía cargada y 0.9 para dos vías cargadas.

Así, se realizó el mismo proceso para tres camiones de diseño: 154MT, SA152 y HL93. Por condiciones de diseño en la mina, se obliga a que los camiones largos pasen de uno en uno, por lo que para éstos m_f vale 1, mientras que para el camión HL93 se calculó el caso de 1 y 2 vías cargadas ($m_f = 1$ y 0.9 respectivamente). El procedimiento completo se aprecia a continuación:

Camión 154MT



Eje N°	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Distancia (m) =		2.85	1.15	1.30	4.20	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Carga (ton) =	7.00	7.33	7.33	7.33	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5	12.5
Carga (kN) =	69.75	73.04	73.04	73.04	124.55	124.55	124.55	124.55	124.55	124.55	124.55	124.55	124.55	124.55

Carga 1

Ejes	1	2	3	4
Carga total (kN) =		288.86		
a (m) =		5.55		
lt (m) =		9.87		
σL mf (kN/m2) =		5.67		

Carga 2

Ejes	1	2	3	4	5
Carga total (kN) =			413.41		
a (m) =			9.75		
lt (m) =			14.07		
σL mf (kN/m2) =			5.69		

Carga 3

Ejes	1	2	3	4	5	6	7
Carga total (kN) =				662.51			
a (m) =				12.75			
lt (m) =				17.07			
σL mf (kN/m2) =				7.52			

Carga 4

Ejes	2	3	4
Carga total (kN) =		219.11	
a (m) =		2.70	
lt (m) =		7.02	
σL mf (kN/m2) =		6.05	

Carga 5

Ejes	2	3	4	5
Carga total (kN) =			343.66	
a (m) =			6.90	
lt (m) =			11.22	
σL mf (kN/m2) =			5.94	

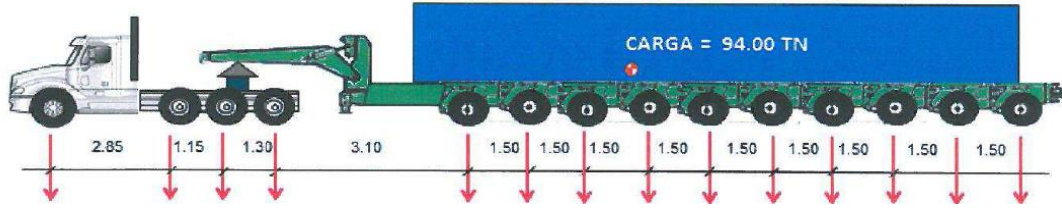
Carga 6

Ejes	2	3	4	5	6	7	8	9
Carga total (kN) =				841.86				
a (m) =				12.90				
lt (m) =				17.22				
σL mf (kN/m2) =				9.47				

Carga 7

Ejes	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Carga total (kN) =					1120.95				
a (m) =					12.25				
lt (m) =					16.57				
σL mf (kN/m2) =					13.11				

Camión SA152



Eje N°	1		2	3	4		5	6	7	8	9	10	11	12	13
Distancia (m) =			2.85	1.15	1.30		3.10	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
Carga (ton) =	7.00		8.33	8.33	8.33		12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Carga (kN) =	69.75		83.03	83.03	83.03		119.57	119.57	119.57	119.57	119.57	119.57	119.57	119.57	119.57

Carga 8

Ejes	1	2	3	4
Carga total (kN) =	318.84			
a (m) =	5.55			
lt (m) =	9.87			
$\sigma_{L.mf}$ (kN/m ²) =	6.26			

Carga 9

Ejes	1	2	3	4	5
Carga total (kN) =	438.41				
a (m) =	8.65				
lt (m) =	12.97				
$\sigma_{L.mf}$ (kN/m ²) =	6.55				

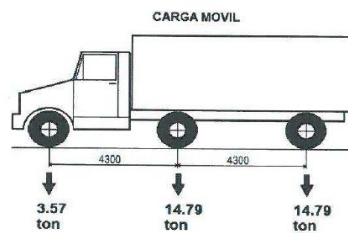
Carga 10

Ejes	1	2	3	4	5	6	7	8
Carga total (kN) =	797.11							
a (m) =	13.15							
lt (m) =	17.47							
$\sigma_{L.mf}$ (kN/m ²) =	8.84							

Carga 11

Ejes	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Carga total (kN) =	1076.112								
a (m) =	12.25								
lt (m) =	16.57								
$\sigma_{L.mf}$ (kN/m ²) =	12.59								

Camión HL93



Eje N°	1		2		3
Distancia (m) =			4.30		4.30
Carga (ton) =	3.57		14.79		14.79
Carga (kN) =	35.57		147.37		147.368

Carga 12 (1 carril cargado)

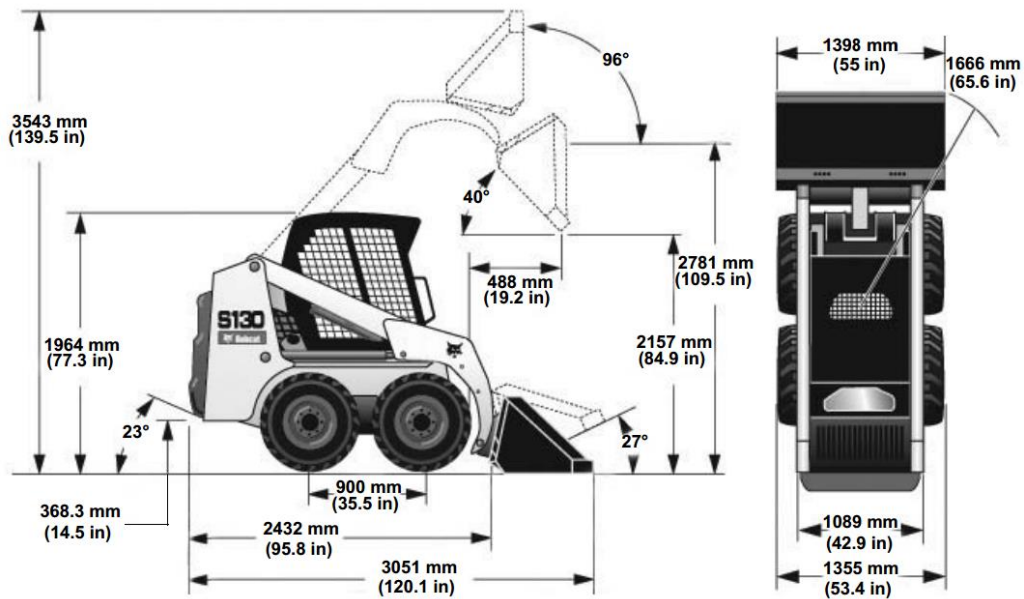
Carga total (kN) =	330.31
a (m) =	8.85
lt (m) =	13.17
w (m) =	4.56
mf =	1
$\sigma_{L.mf}$ (kN/m ²) =	5.50

Carga 13 (2 carriles cargados)

Carga total (kN) =	660.61
a (m) =	8.85
lt (m) =	13.17
w (m) =	7.56
mf =	0.9
$\sigma_{L.mf}$ (kN/m ²) =	5.97

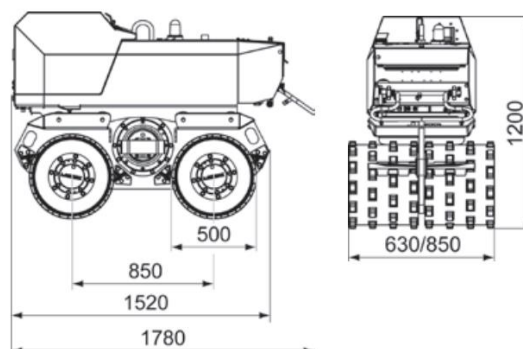
Anexo 9: Detalle de equipos usados durante construcción de puente enterrado

- Mini-cargador BOBCAT S130. (Bobcat Company, 2010).



Peso total en operación: 2375 kg = 23.30 kN.

- Compactador Rammax RW 1515-MI, medidas en milímetros (Ammann Group, 2010).



Peso total en operación: 1480 kg = 14.52 kN.