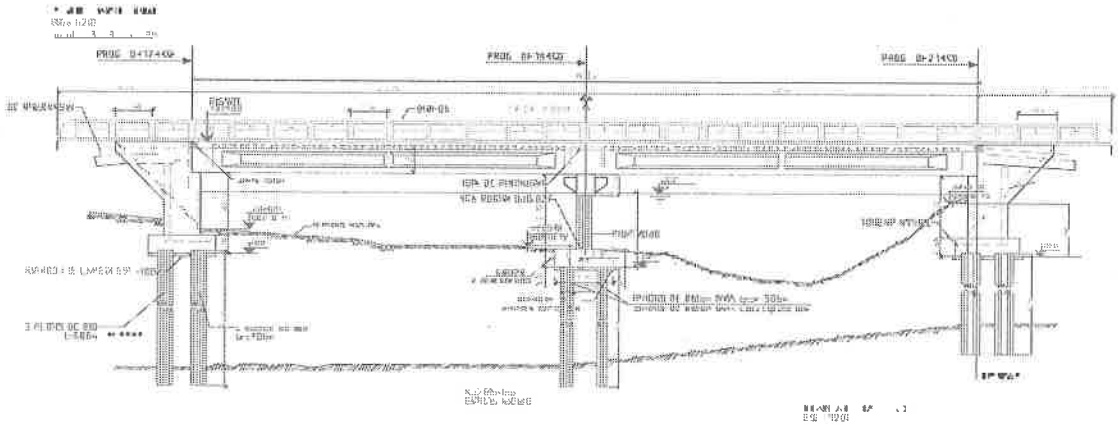
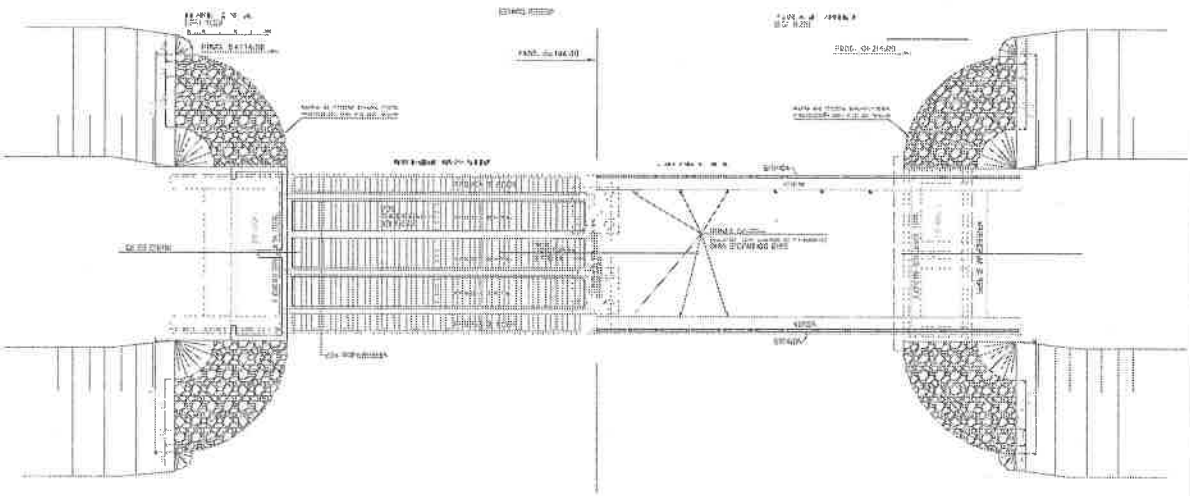


PILOTES DE PILA
Puente Ao. Ybycuí

MOPC



Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO
SETA

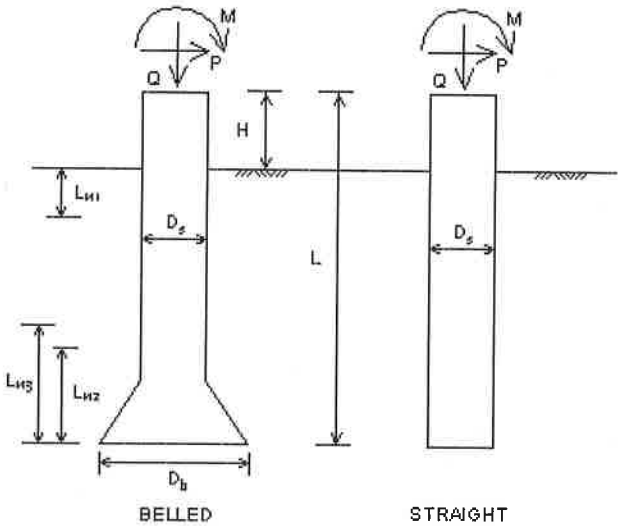
Asunción – Paraguay
2.020

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 713.0 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 6.5 -m
Top Height, H= 0 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0	6.7	0.0	12.0	7.5	2.32	2
1	1.5	0.0	1661.4	9.5	1.21	6
2	9.8	0.0	41.9	48.7	1.08	7
3	8.3	33.3	0.0	9.3	36.03	11
4	9.9	39.0	0.0	33.2	75.23	40
5	10.6	40.0	0.0	42.3	85.40	50
7	12.2	37.3	148.4	661.3	0.33	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	60	2827.4	188.5	636172.5	20683	6.673
6.5						

Vertical capacity:
Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 25.36-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 3336.976-kN Side Resistance (Up)= 3296.732-kN
Tip Resistance (Down)= 958.408-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 4295.384-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 3322.095-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 1431.795-kN Total Allowable Capacity (Up)= 1107.365-kN
OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:
At Q= 713.00-kN Settlement= 0.07365-cm
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 4196.95264-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

CivilTech Software

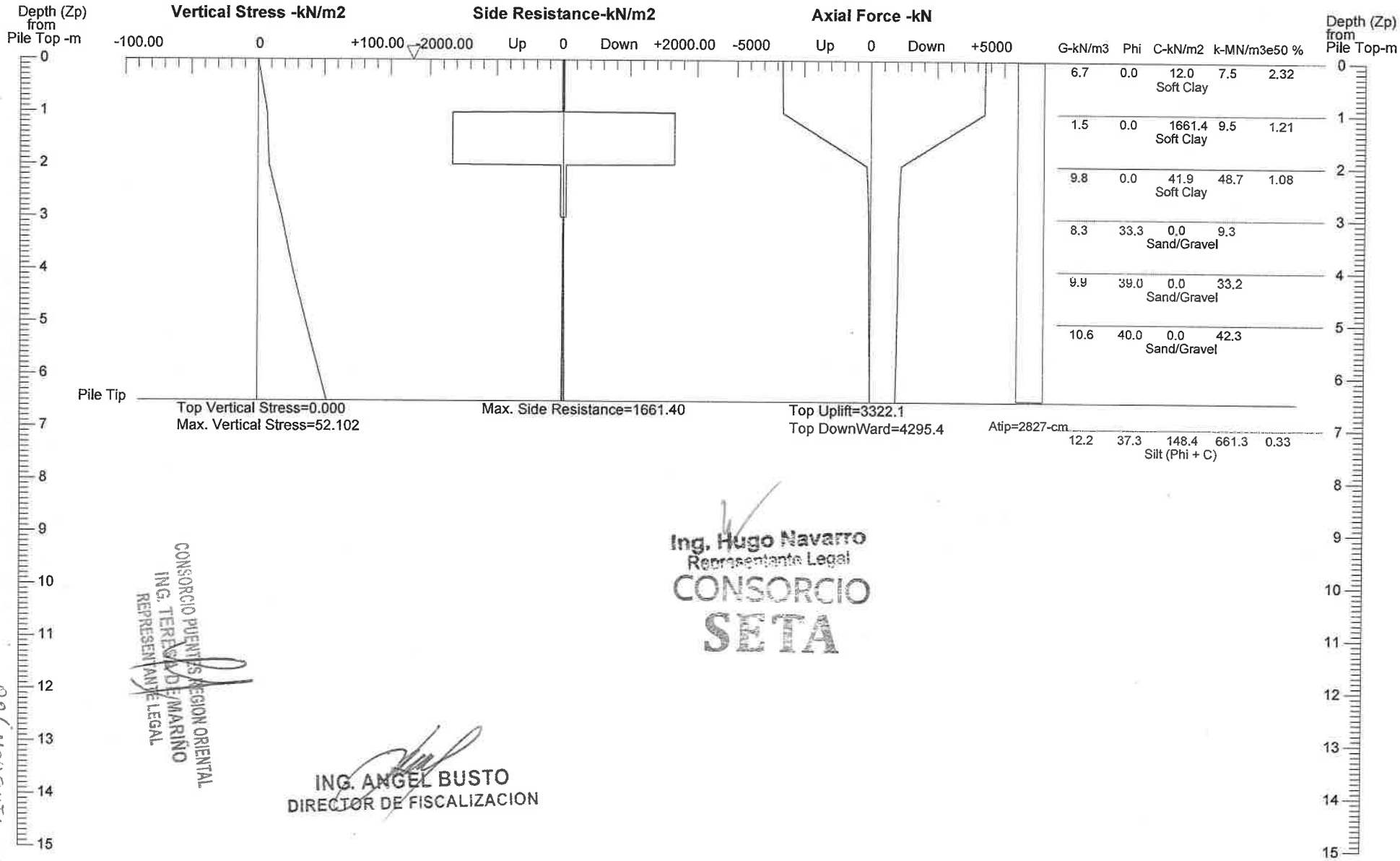
Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

91 (NOVENTA Y UNO)

SOIL STRESS, SIDE RESISTANCE, & AXIAL FORCE vs DEPTH

Based on Ultimate Load Condition



Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

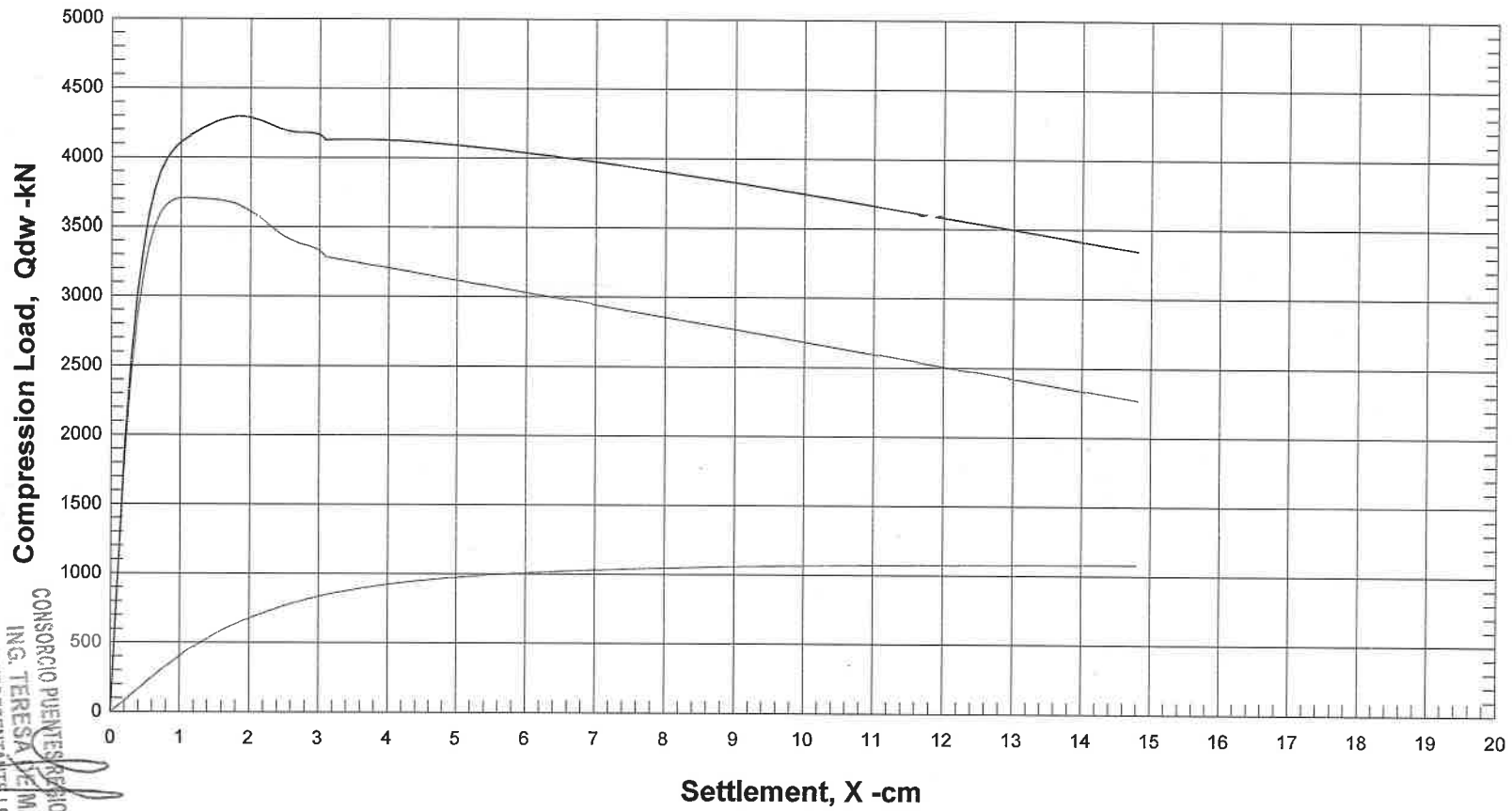
92 (NOVENTA Y DOS)

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 1

Vertical Load vs. Settlement



Total _____ Side _____ Tip _____

CONSORCIO PUENTES DE ASUNCION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

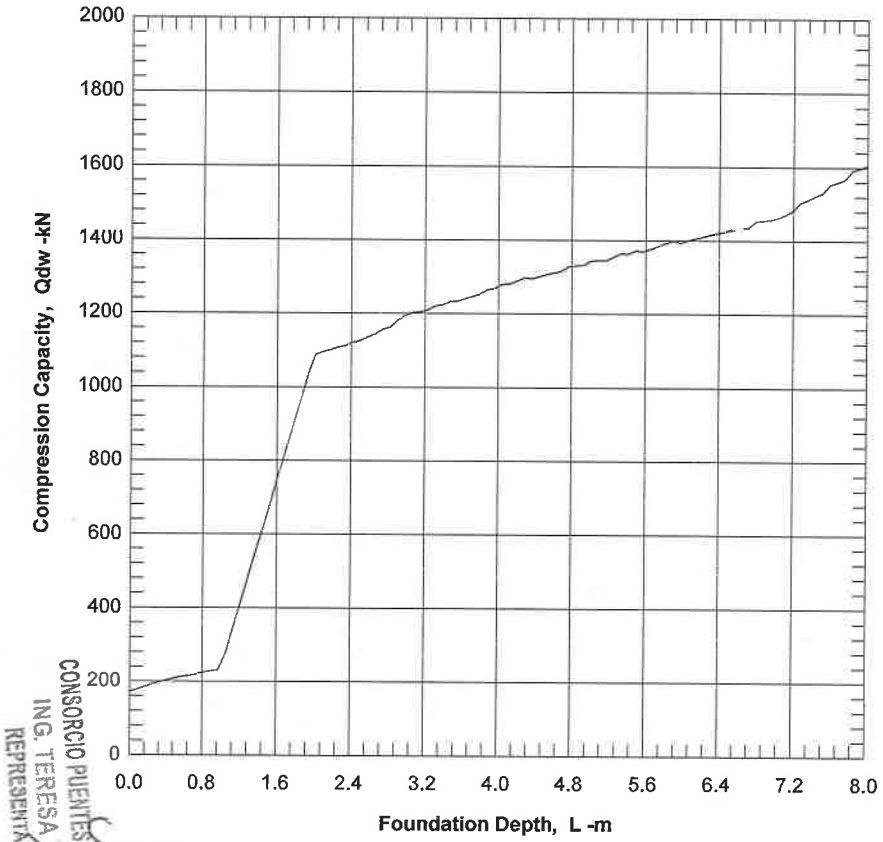
93 (NOVENTA Y TRES)

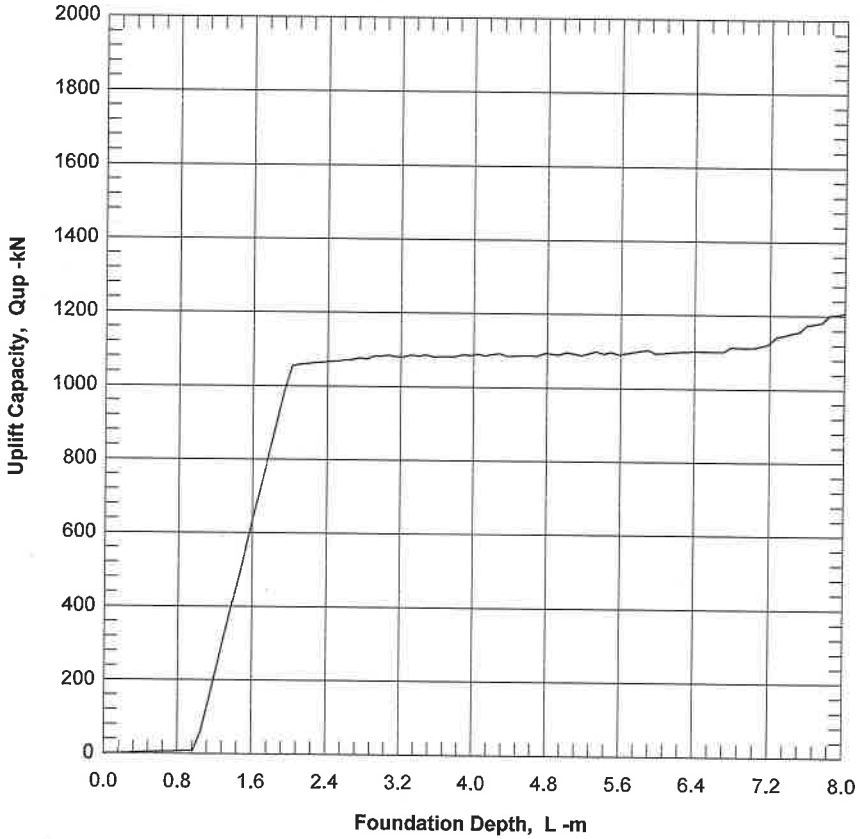
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 1

ALLOWABLE CAPACITY vs FOUNDATION DEPTH





CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

94 (NOVENTA Y CUATRO)

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

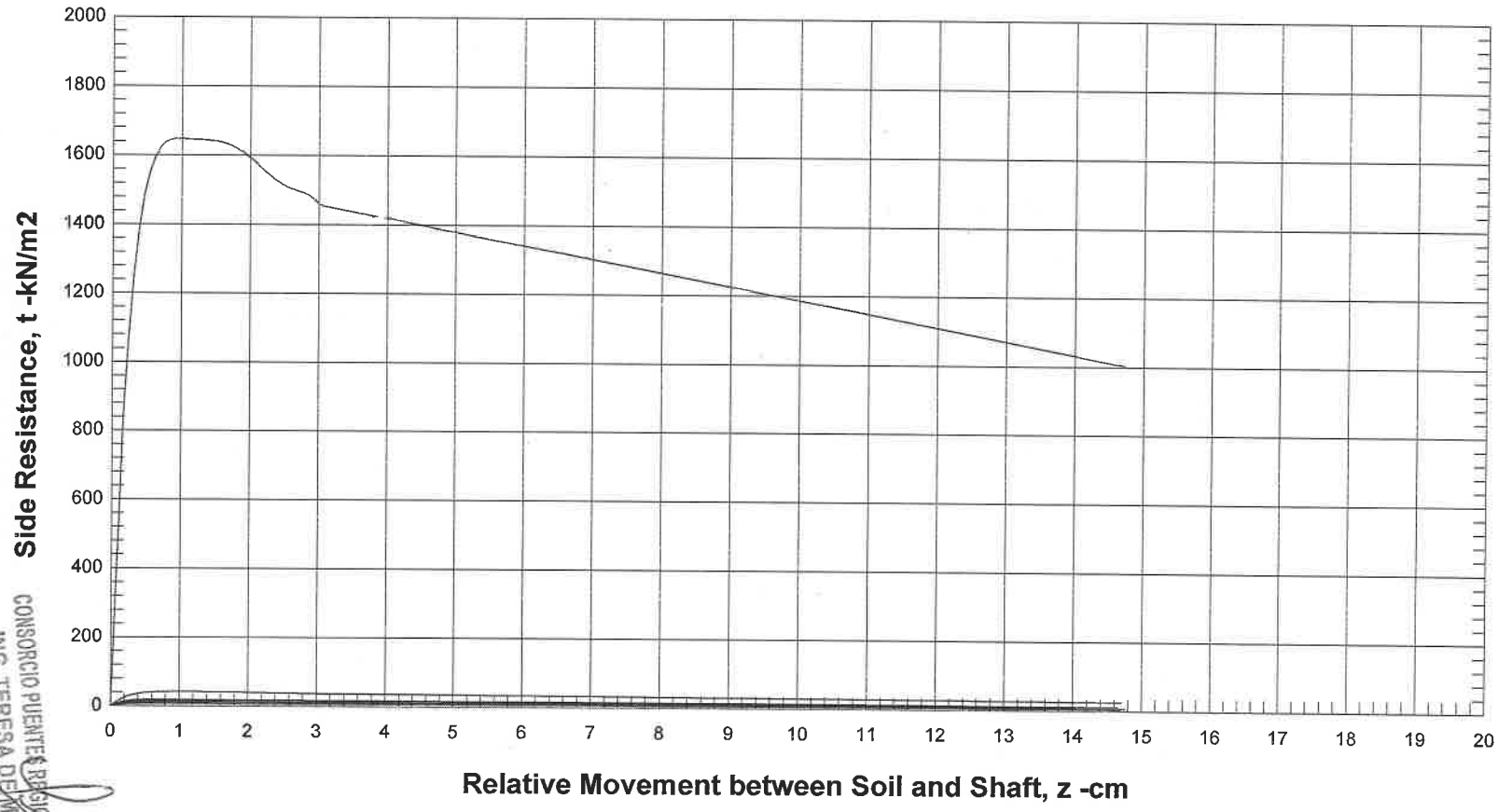
CONSORCIO SETA

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 4

Side Resistance vs. Relative Movement between Soil and Shaft (t-z)



Depth: 0.8, 1.6, 2.4, 3.3, 4.1, 4.9, 5.7 -m

CONSORCIO PUENTE REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO
SETA

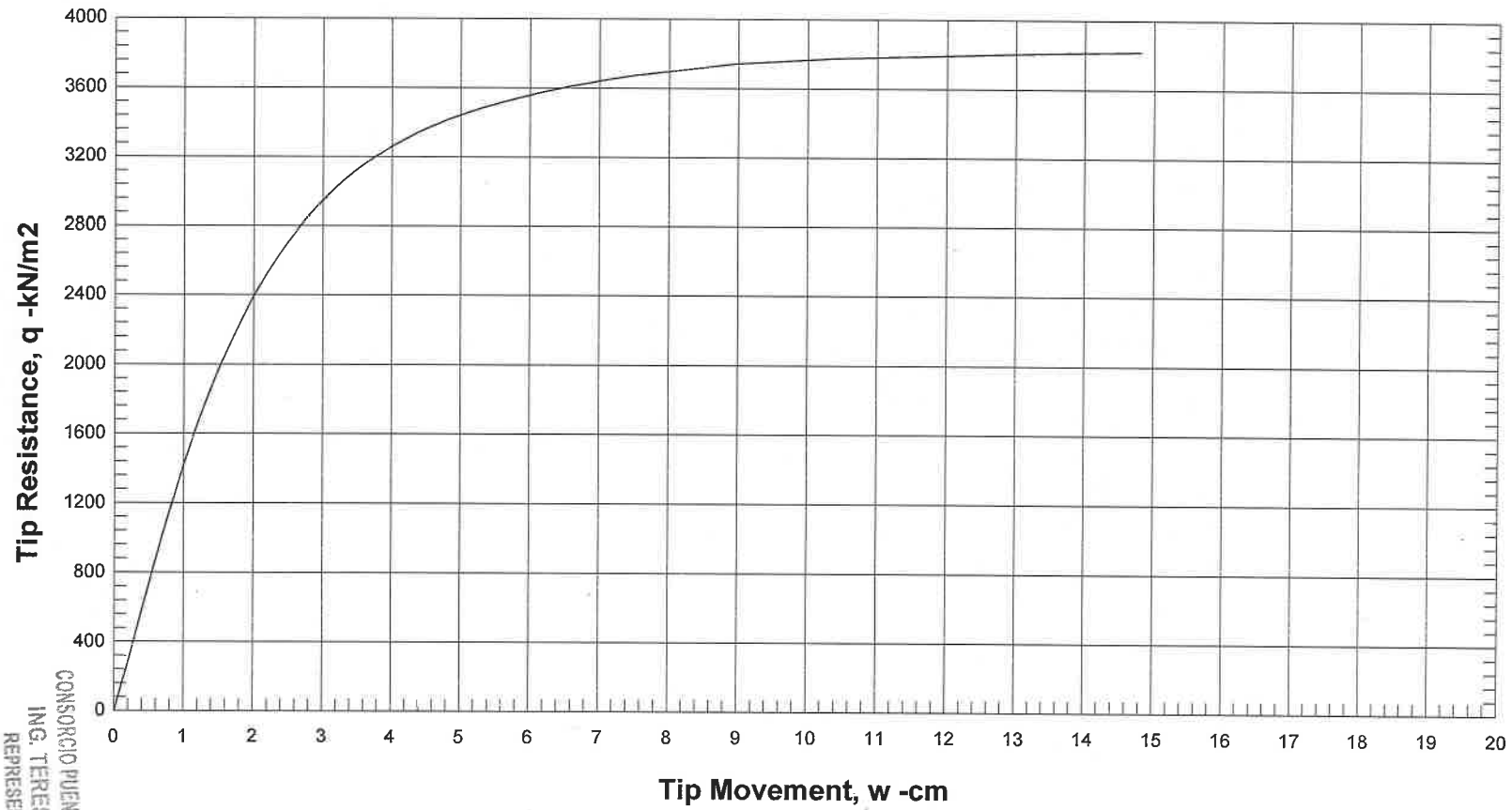
95 (noventa y cinco)

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 1

Tip Resistance vs. Tip Movement (q-w)



CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA M. MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

96 (NOVENTA Y SEIS)

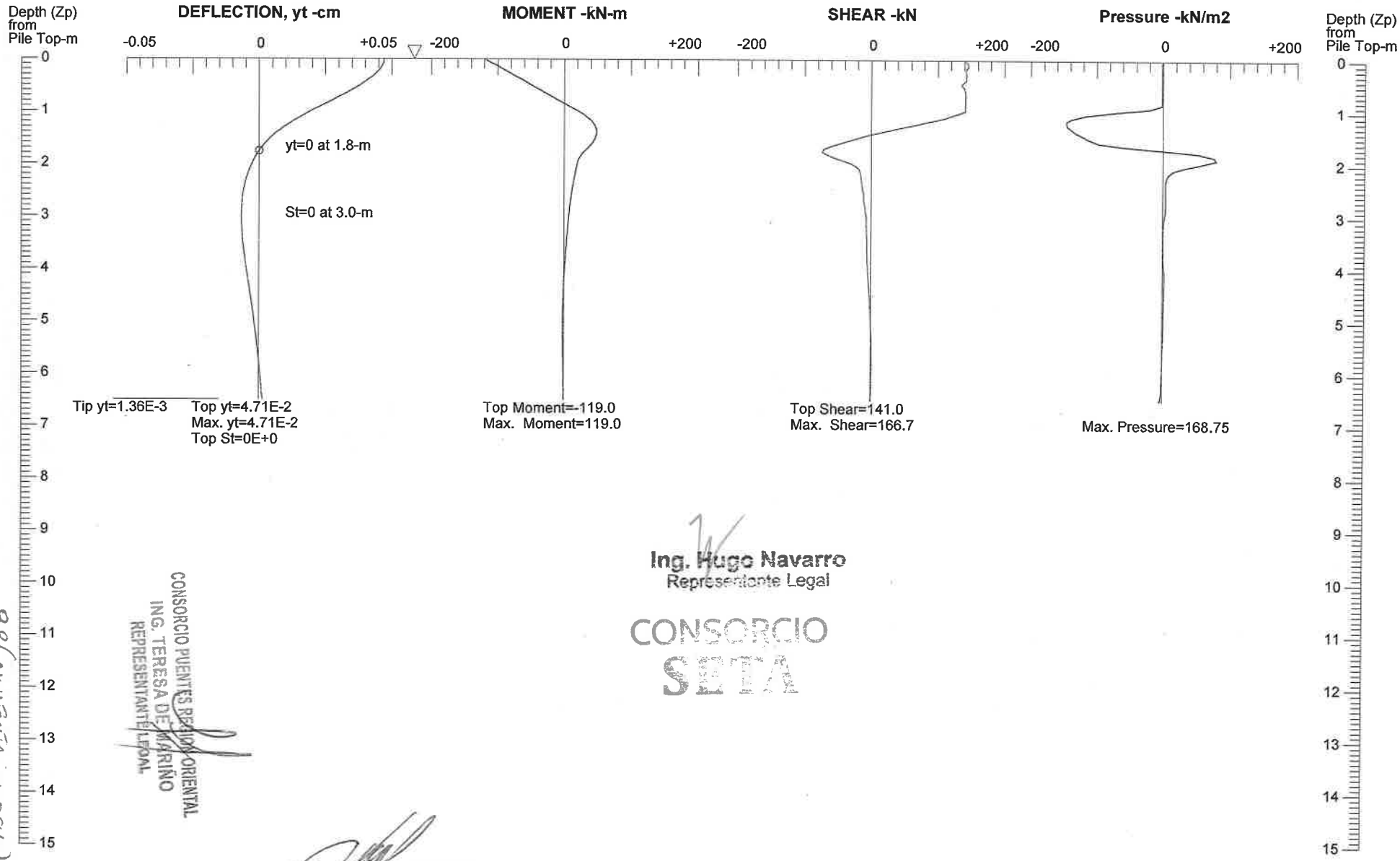
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 1

PILE DEFLECTION & FORCE vs DEPTH

Single Pile, Khead=5, Kbc=2



Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

98 (NOVENTA Y OCHO)

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

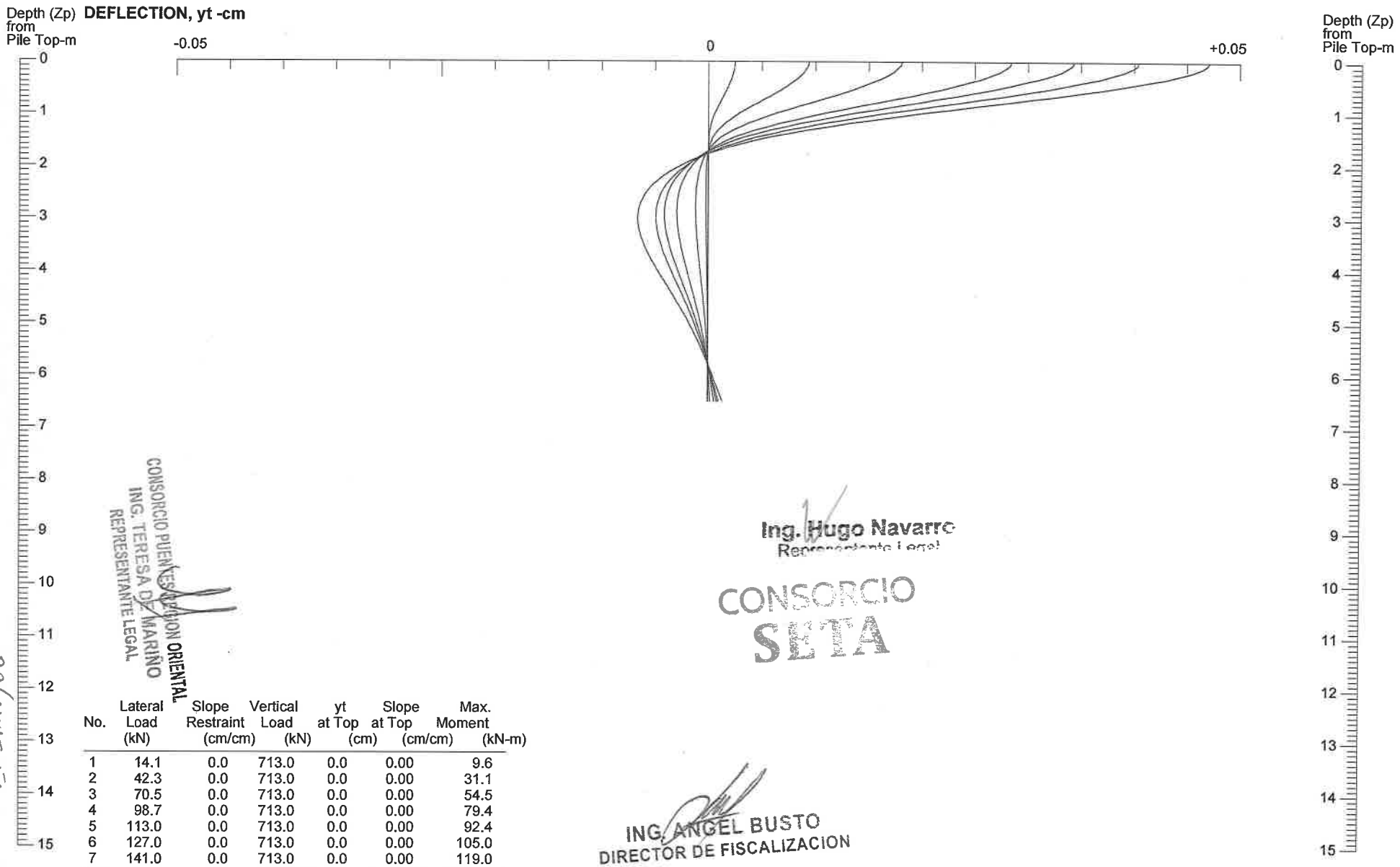
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 2

PILE DEFLECTION vs LOADING

Single Pile, Khead=5, Kbc=2



No.	Lateral Load (kN)	Slope Restraint (cm/cm)	Vertical Load (kN)	yt at Top (cm)	Slope at Top (cm/cm)	Max. Moment (kN-m)
1	14.1	0.0	713.0	0.0	0.00	9.6
2	42.3	0.0	713.0	0.0	0.00	31.1
3	70.5	0.0	713.0	0.0	0.00	54.5
4	98.7	0.0	713.0	0.0	0.00	79.4
5	113.0	0.0	713.0	0.0	0.00	92.4
6	127.0	0.0	713.0	0.0	0.00	105.0
7	141.0	0.0	713.0	0.0	0.00	119.0

CONSORCIO PUENTES ASUNCION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

99 (NOVENTA Y NUEVE)

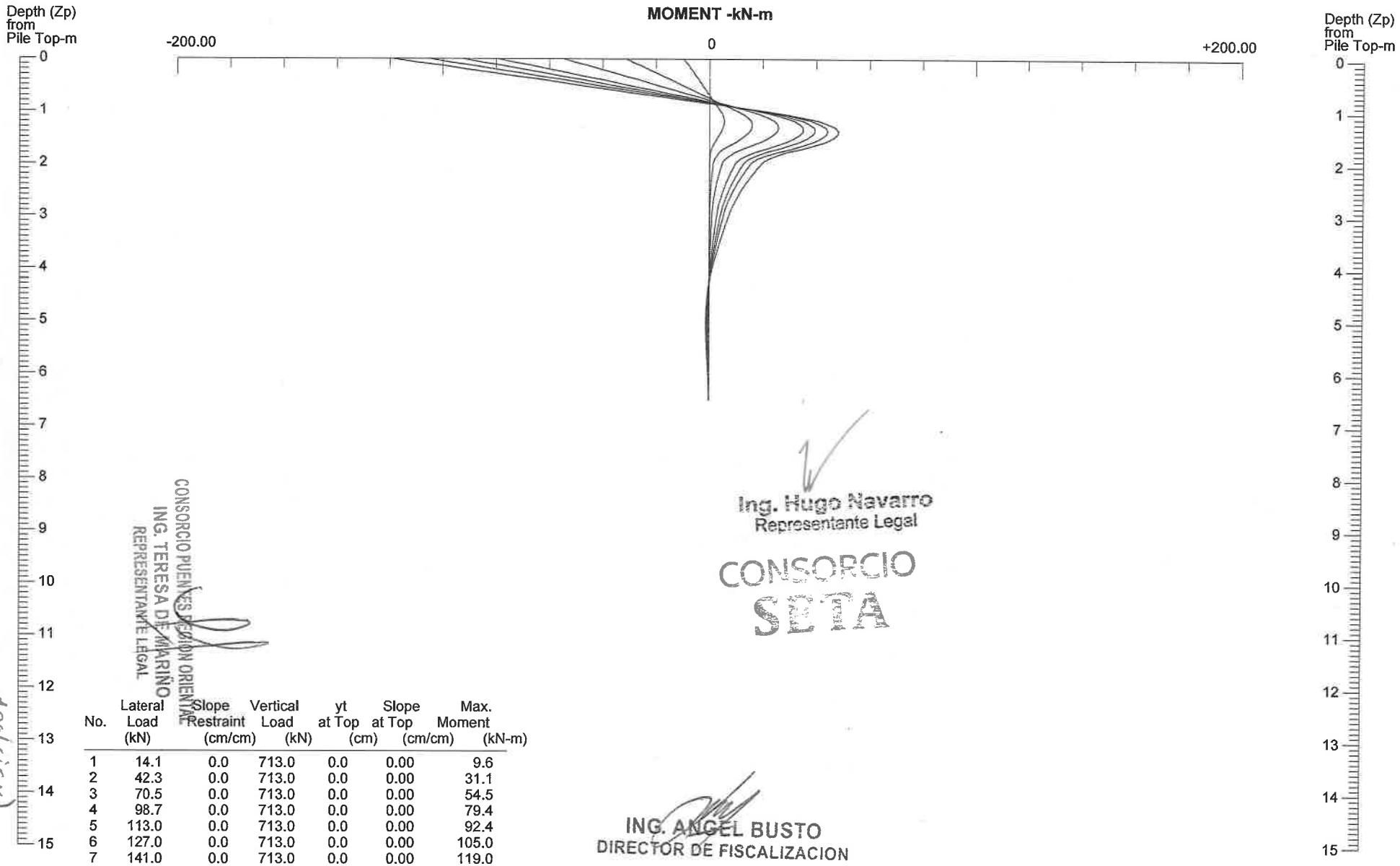
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 2

PILE MOMENT vs LOADING

Single Pile, Khead=5, Kbc=2



No.	Lateral Load (kN)	Slope Restraint (cm/cm)	Vertical Load (kN)	yt at Top (cm)	Slope at Top (cm/cm)	Max. Moment (kN-m)
1	14.1	0.0	713.0	0.0	0.00	9.6
2	42.3	0.0	713.0	0.0	0.00	31.1
3	70.5	0.0	713.0	0.0	0.00	54.5
4	98.7	0.0	713.0	0.0	0.00	79.4
5	113.0	0.0	713.0	0.0	0.00	92.4
6	127.0	0.0	713.0	0.0	0.00	105.0
7	141.0	0.0	713.0	0.0	0.00	119.0

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

106(cien)

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Pilotes de Pila - Ø60 - Cabeza Empotrada

Figure 2

Diagrama de Interacción P - M de Columnas Circulares (ACI - AASHTO)

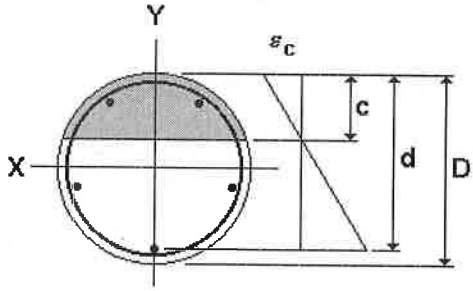
Autor: A. Gaona
Fecha: 28/8/00
MathCad Version: 6.0 Plus o posteriores
Referencia: AASHTO Bridge Design Specifications
Propósito: Calcula el diagrama de interacción minorado de columnas circulares de hormigón armado.
Utiliza la subrutina desarrollada por Thomas P. Magner

Obra: Puente - Ao. Ybycuí

Pieza Estructural: Pilotes de Ø60cm de la Pila

Pilar Circular de Hormigón Armado con Carga Axial y Momento

Notación:



P_u	carga axial mayorada
M_{xu}	momento mayorado alrededor de eje X
D	diámetro del pilar
N	número de barras (mínimo 4 barras)
n	designación standard de barras de refuerzo (#1, 2, 3.....)
c	distancia a partir de la fibra más comprimida al eje neutro
cl	recubrimiento de las armacuras
ϕP_n	axil último minorado
ϕM_n	momentol último minorado
f_{sp}	tensión de barras de refuerzos para determinar el tipo de empalme requerido
ρ	cuantía geométrica

Notas: Tanto la carga axil como el momento deben ser mayores que cero.
La cuantía debe estar comprendida entre 0.004 y 0.08.
La tensión característica del acero debe ser menor que 5600 kg/cm2
Las tensiones son positivas para compresión y negativas para tracción

Datos:

$D := 60 \cdot cm$

$f'_c := 25 \cdot MPa$

$f_y := 500 \cdot MPa$

$f'_y := 420 \cdot MPa$

$N := 7$

$n := 6$

$cl := 4cm$

$A_c := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ $\qquad A_c = 2.827 \times 10^3 \cdot cm^2$

$A_s := A_{b_n} \cdot N \cdot in^2$ $\qquad A_s = 21.98 \cdot cm^2$

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SRTA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

101 (CIENTO UNO)

$$\rho := \frac{A_s}{A_c} \qquad \rho = 0.008$$

Cálculo de ϕPn para momento nulo (ϕPo)

Este valor lo calculamos para determinar la abscisa máxima del diagrama de interacción

$$\left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) := (0 \;\; 0 \;\; 0 \;\; 0)$$

$P_u := 0.0001$

$M_{xu} := 0.000000001$

$$\left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) := \phi P'_n\left(D, N, n, P_u, M_{xu}\right)^T$$

$$\left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) = \left(1.111 \times 10^3 \;\; 0.011 \;\; 72.516 \;\; 7.774 \times 10^{-3}\right)$$

$\phi P_0 := \phi P_n \qquad \phi P_0 := \phi P_0 \cdot \text{kips} \qquad \phi P_0 = 1.111 \times 10^3 \cdot \text{kips}$

Cálculo del diagrama de interacción

$n_{interv} := 60$ ....número de puntos en los que se calcularám ϕP y ϕM

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

$$
\begin{aligned}
Diag_{MN} := \;& P_u \leftarrow 0.0001 \\
& \Delta P \leftarrow \frac{\phi P_0}{n_{interv} \cdot kips} \\
& r \leftarrow 0 \\
& \text{for } i \in 0..n_{interv} \\
& \quad c \leftarrow 0 \\
& \quad M_{u1} \leftarrow 0.0001 \\
& \quad deltaP \leftarrow 0.001 \\
& \quad conta \leftarrow 1 \\
& \quad \text{while } (deltaP \geq 0.00015) \wedge (conta \leq 600) \\
& \quad\quad \left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) \leftarrow \phi P'_n\left(D, N, n, P_u, M_{u1}\right)^T \\
& \quad\quad M_{u2} \leftarrow \phi M_{xn} \\
& \quad\quad deltaP \leftarrow \left|P_u - \phi P_n\right| \\
& \quad\quad M_{u1} \leftarrow M_{u2} \\
& \quad\quad conta \leftarrow conta + 1 \\
& \quad\quad M_{u1} \\
& \quad Diag_{MN_{r,0}} \leftarrow P_u \\
& \quad Diag_{MN_{r,1}} \leftarrow M_{u1} \\
& \quad r \leftarrow r + 1 \\
& \quad P_u \leftarrow P_u + \Delta P \\
& Diag_{MN}
\end{aligned}
$$

$\phi P := Diag_{MN}^{\langle 0 \rangle} \cdot kips$

$\phi M := Diag_{MN}^{\langle 1 \rangle} \cdot kips \cdot in$

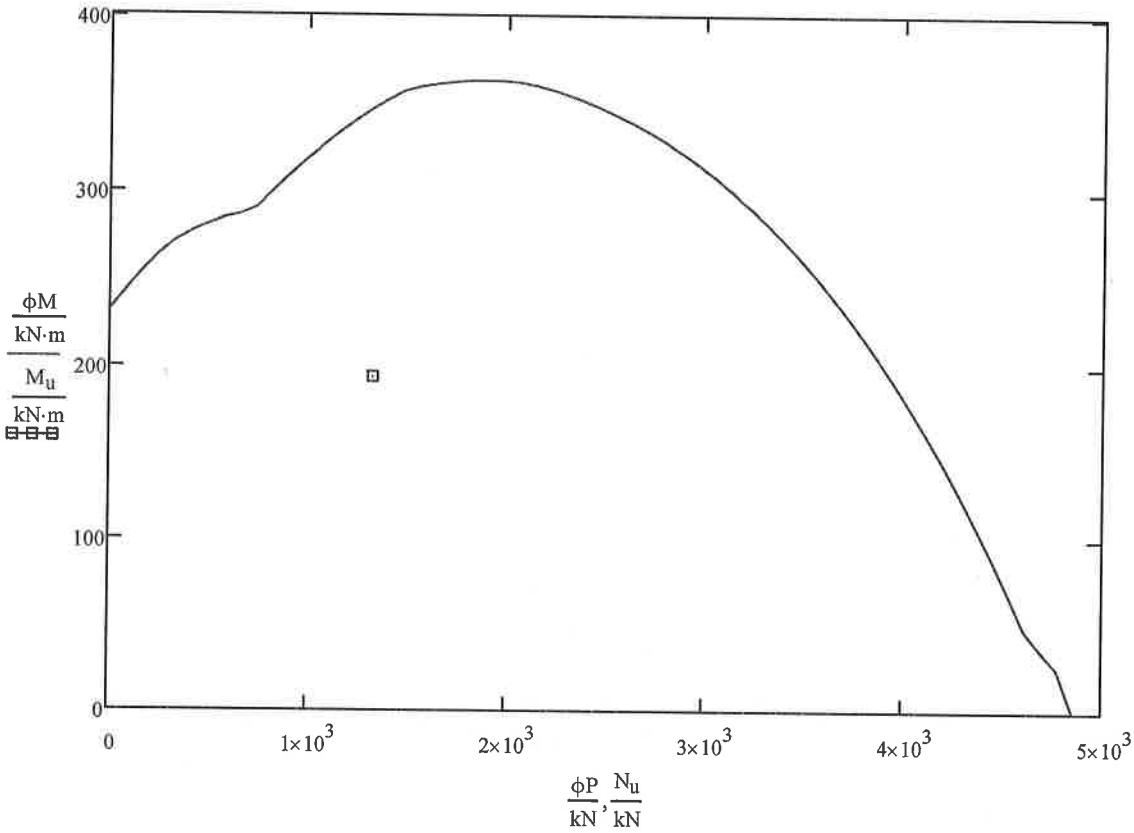
$N_u := 1327.86kN$ ....axil mayorado actuante

$M_u := 193.2kN \cdot m$ ....momento mayorado actuante

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

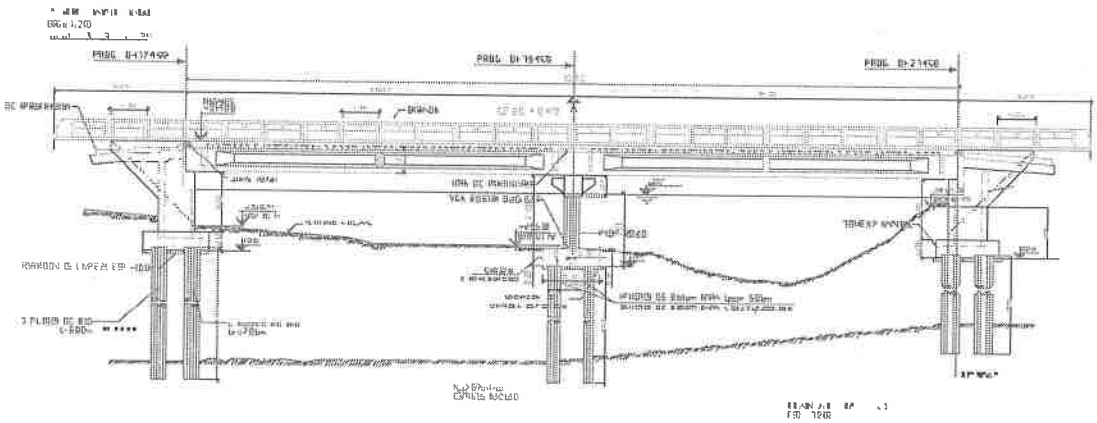
CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL



ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

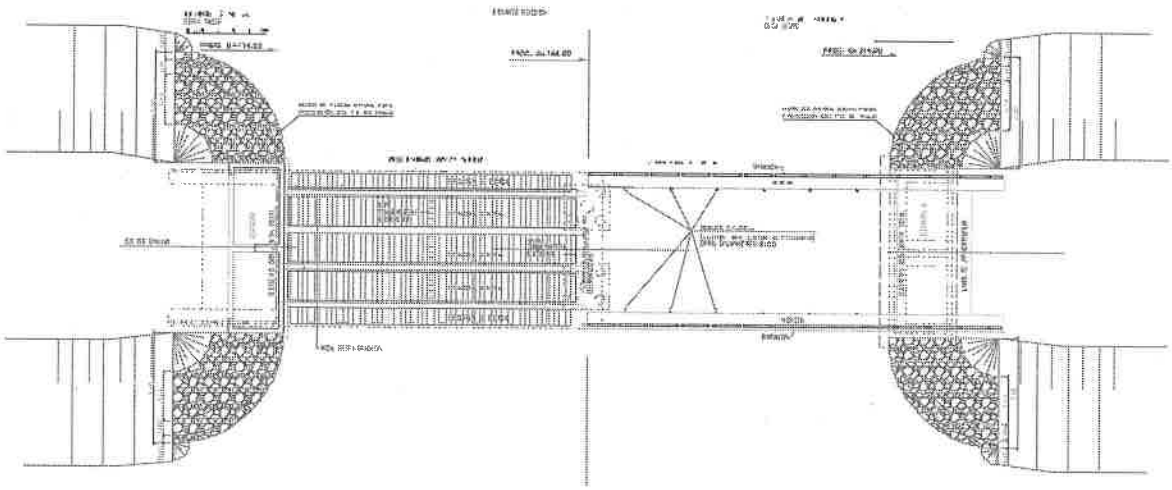
Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL



PILOTES DEL ESTRIBO 2
Puente Ao. Ybycuí

MOPC



Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO
SETA

Asunción – Paraguay
2.020

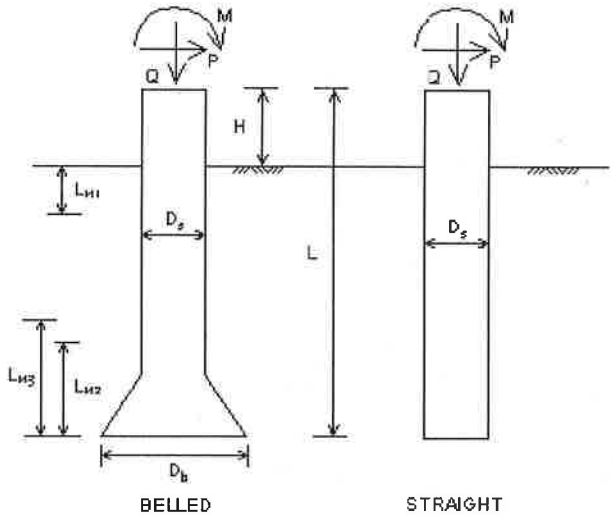
ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

105 (CIENTO

VERTICAL ANALYSIS

Figure 1



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 1242.0 -kN
Shear Load, P= 0.0 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 5.0 -m
Top Height, H= 0 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0	10.3	0.0	52.1	68.9	0.95	9
1	10.6	0.0	64.6	95.1	0.83	11
2	11.0	32.5	54.5	195.1	0.61	18
3	12.0	36.4	119.7	523.5	0.38	40
4	1.9	37.3	7134.1	180.2	0.33	50
5	1.9	37.4	7162.8	181.0	0.33	50
7	1.9	37.3	7105.4	179.5	0.33	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.863
5.0						

Vertical capacity:
Weight above Ground= 0.00 Total Weight= 34.69-kN *Soil Weight is not included
Side Resistance (Down)= 18621.699-kN Side Resistance (Up)= 18576.653-kN
Tip Resistance (Down)= 33127.234-kN Tip Resistance (Up)= 0.000-kN
Total Ultimate Capacity (Down)= 51748.934-kN Total Ultimate Capacity (Up)= 18611.338-kN
Total Allowable Capacity (Down)= 17249.645-kN Total Allowable Capacity (Up)= 6203.779-kN
OK! Qallow > Q

Settlement Calculation:
At Q= 1242.00-kN Settlement= 0.06512-cm
At Xallow= 2.50-cm Qallow= 34673.75781-kN

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

CivilTech Software

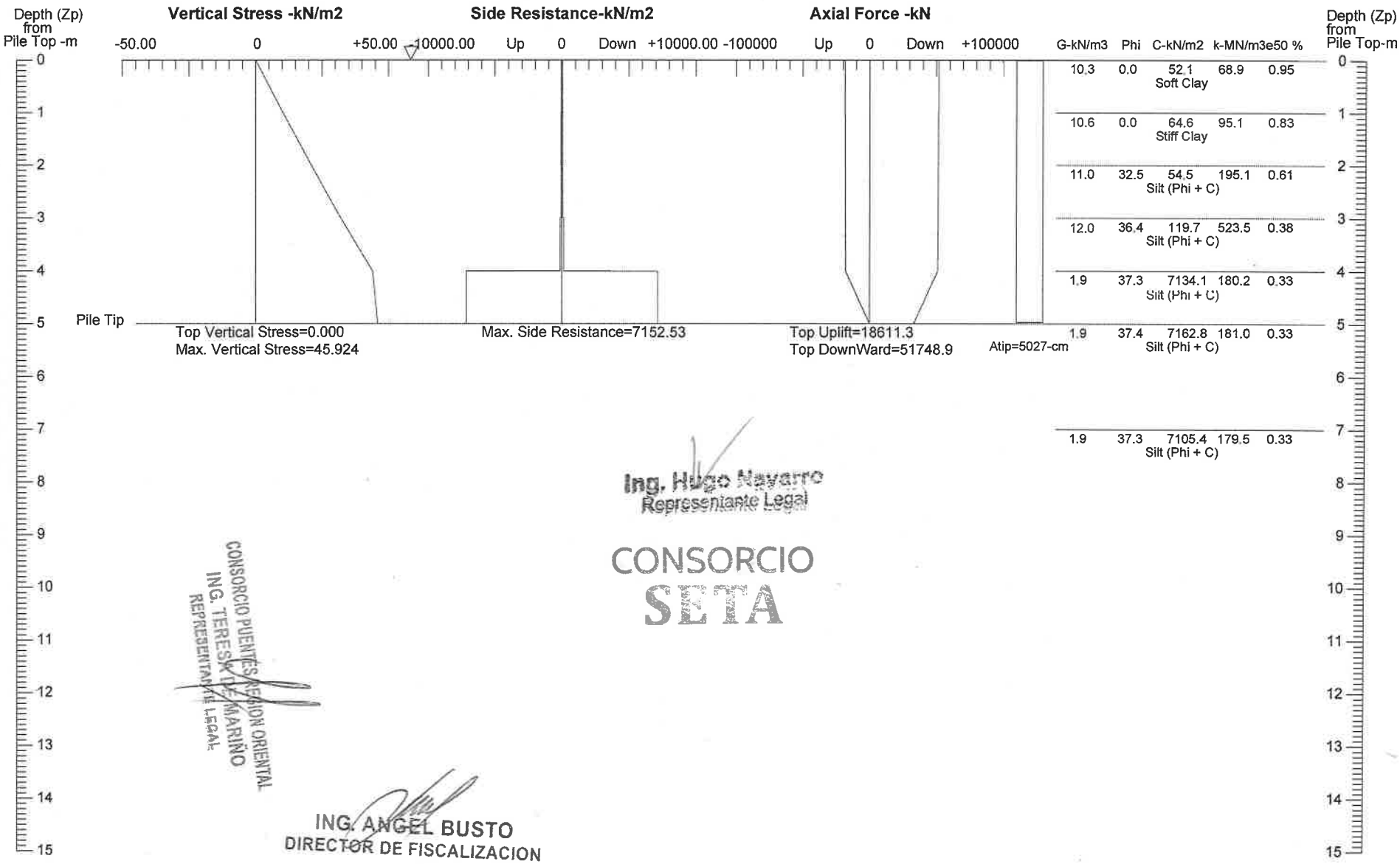
Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

SOIL STRESS, SIDE RESISTANCE, & AXIAL FORCE vs DEPTH

Based on Ultimate Load Condition



Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESITA MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

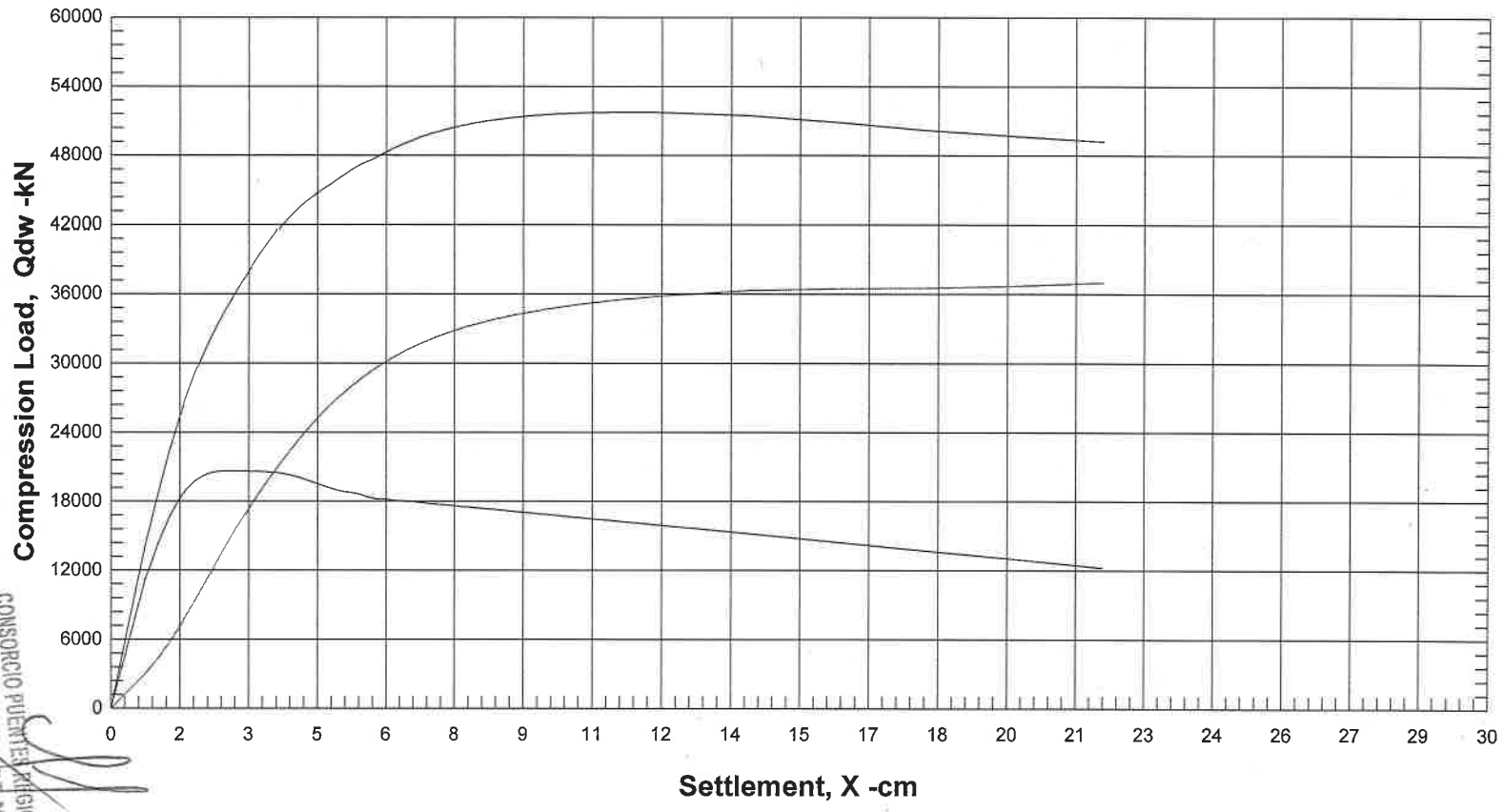
107) CIENTO SIETE

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 1

Vertical Load vs. Settlement



Total _____ Side _____ Tip _____

CONSORCIO PUENTE REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARINO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

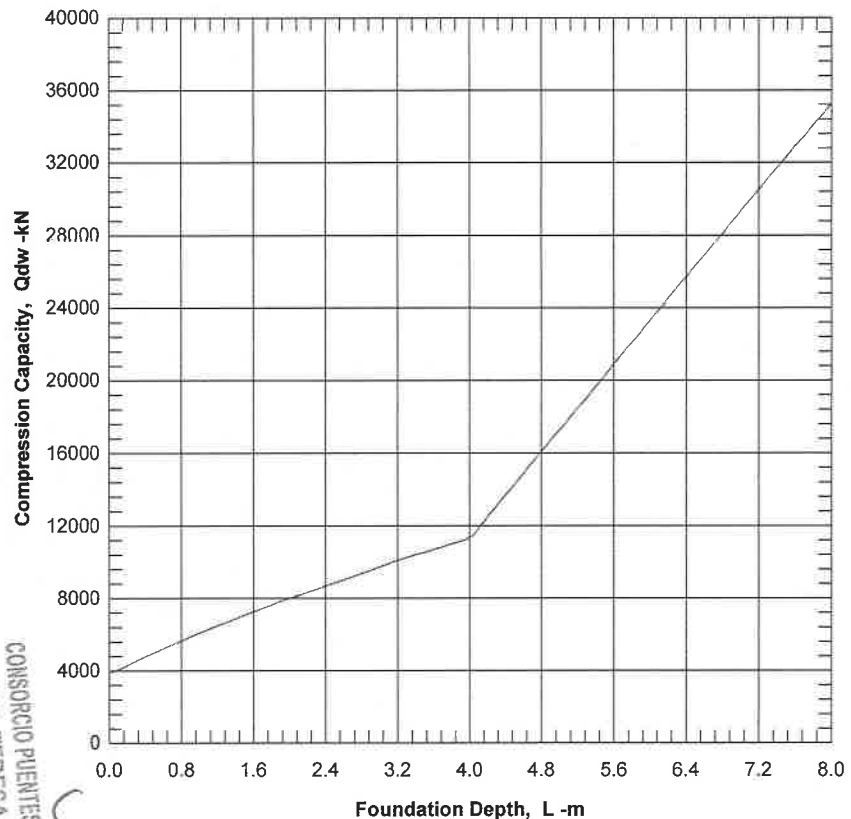
108 (CIENTO OCHO)

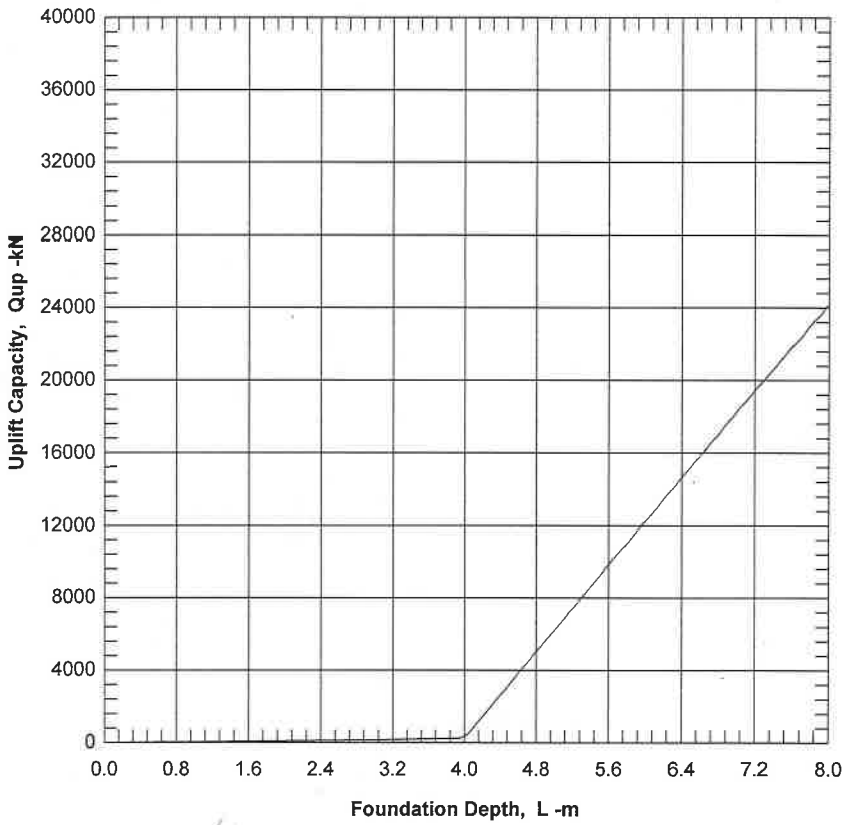
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 1

ALLOWABLE CAPACITY vs FOUNDATION DEPTH





CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO
SETA

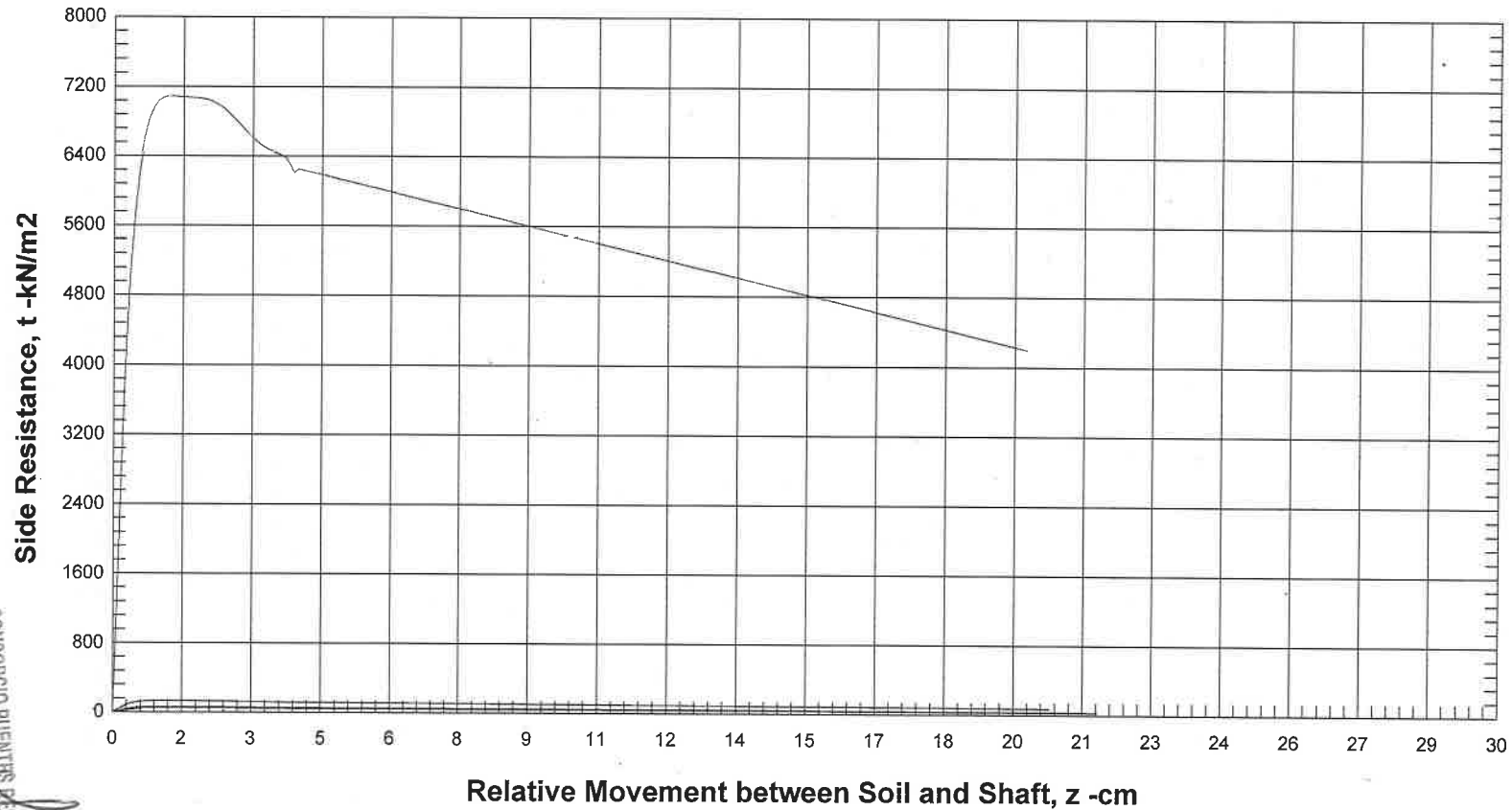
109 (CIENTO NUEVE)

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 1

Side Resistance vs. Relative Movement between Soil and Shaft (t-z)



Depth: 0.6, 1.3, 1.9, 2.5, 3.1, 3.8, 4.4 -m

CONSORCIO PUENTES REDUCTORIENTAL
ING. TERESA DI MARINO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

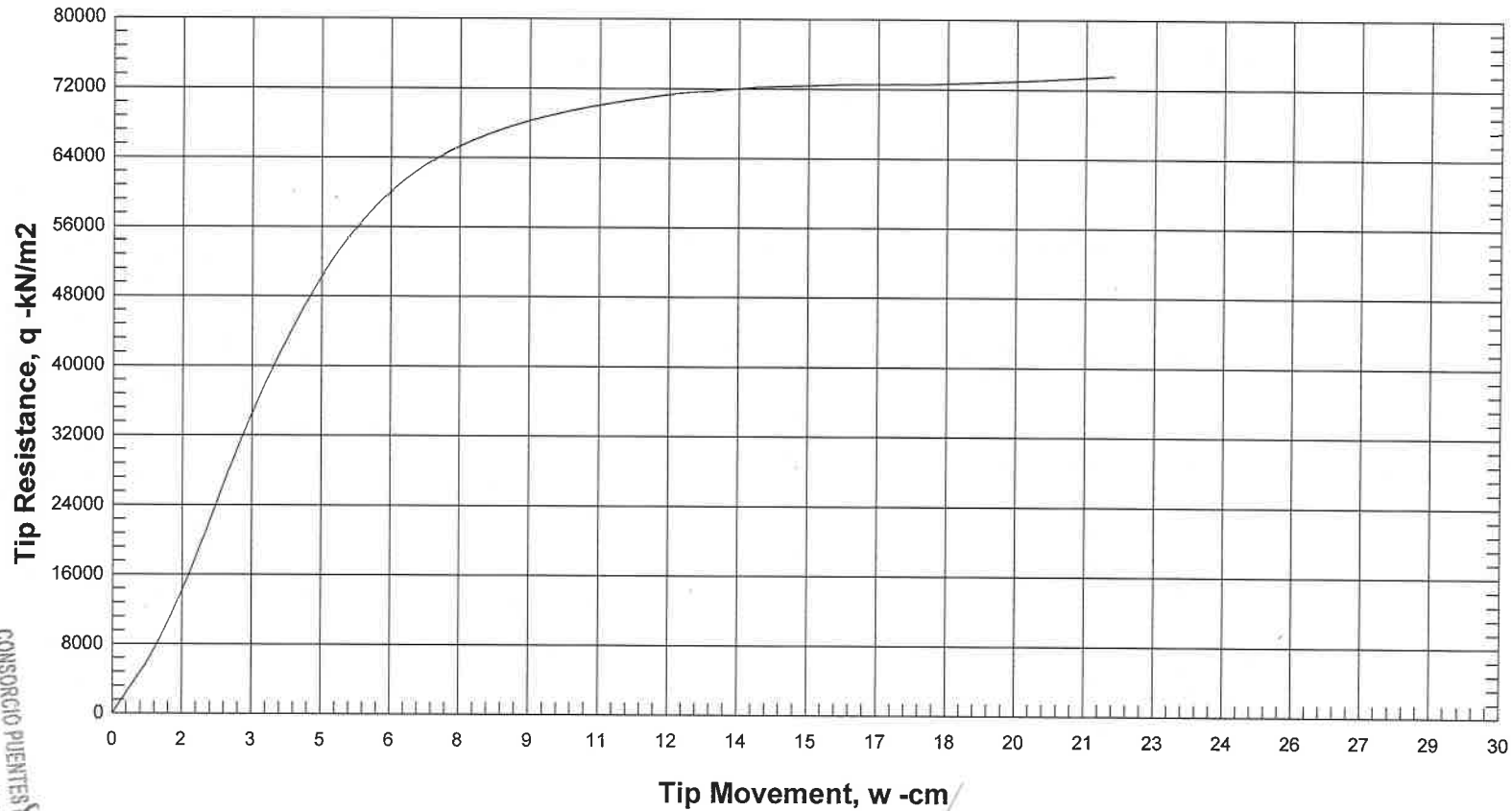
110 (CIENTO DIEZ)

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 1

Tip Resistance vs. Tip Movement (q-w)



CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

111 (CIENTO ONCE)

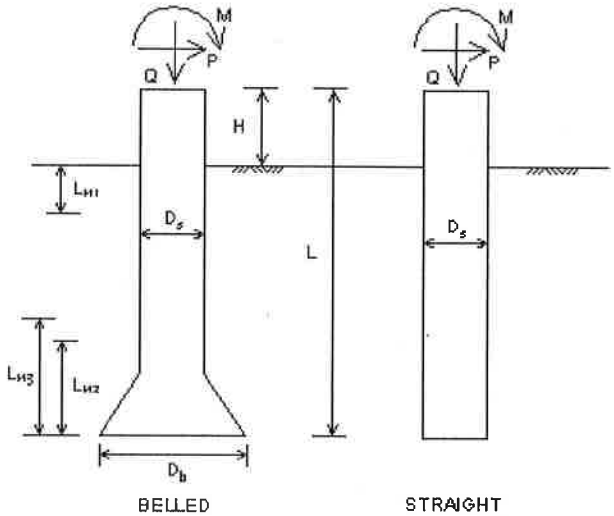
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 1

LATERAL ANALYSIS

Figure 2



Drilled Shaft (dia >24 in. or 61 cm)

Loads:
Load Factor for Vertical Loads= 1.0
Load Factor for Lateral Loads= 1.0
Loads Supported by Pile Cap= 0 %
Shear Condition: Static

Vertical Load, Q= 1242.0 -kN
Shear Load, P= 153.4 -kN
Slope Restain St= 0.00 -cm/-cm

Profile:
Pile Length, L= 5.0 -m
Top Height, H= 0 -m
Slope Angle, As= 0
Batter Angle, Ab= 0

Fixed Head Condition
Nocontributing Zone, Ln1=Ln2=Ln3=0.

Soil Data:

Depth -m	Gamma -kN/m3	Phi	C -kN/m2	K -MN/m3	e50 or Dr %	Nspt
0	10.3	0.0	52.1	68.9	0.95	9
1	10.6	0.0	64.6	95.1	0.83	11
2	11.0	32.5	54.5	195.1	0.61	18
3	12.0	36.4	119.7	523.5	0.38	40
4	1.9	37.3	7134.1	180.2	0.33	50
5	1.9	37.4	7162.8	181.0	0.33	50

Pile Data:

Depth -m	Width -cm	Area -cm2	Per. -cm	I -cm4	E -MP	Weight -kN/m
0.0	80	5026.5	251.3	2010619.3	20683	11.863
5.0						

Single Pile Lateral Analysis:
Top Deflection, yt= 0.16100-cm
Max. Moment, M= 230.00-kN-m
Top Deflection Slope, St= 0.00000
OK! Top Deflection, 0.1610-cm is less than the Allowable Deflection= 2.50-cm

Note: If the program cannot find a result or the result exceeds the upper limit. The result will be displayed as 9999.
The Max. Moment calculated by program is an internal force from the applied load conditions. Structural engineer has to check whether the pile has enough capacity to resist the moment with adequate factor of safety. If not, the pile may fail under the load conditions.

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

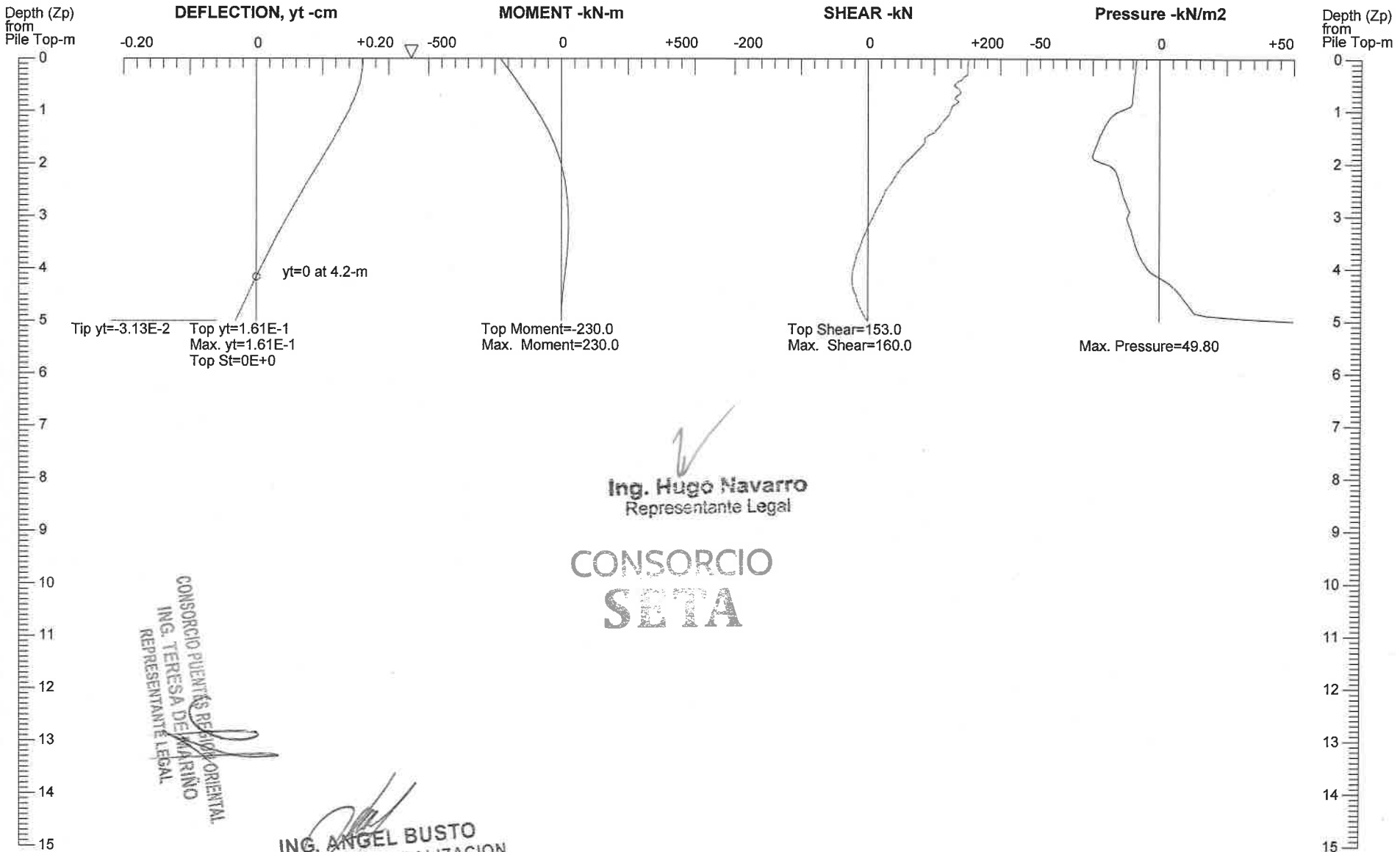
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

112 (CIENTO DOCE)

PILE DEFLECTION & FORCE vs DEPTH

Single Pile, Khead=5, Kbc=2



Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

CONSORCIO PUENTES REPSIP ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

113 (CIENTO TRECE)

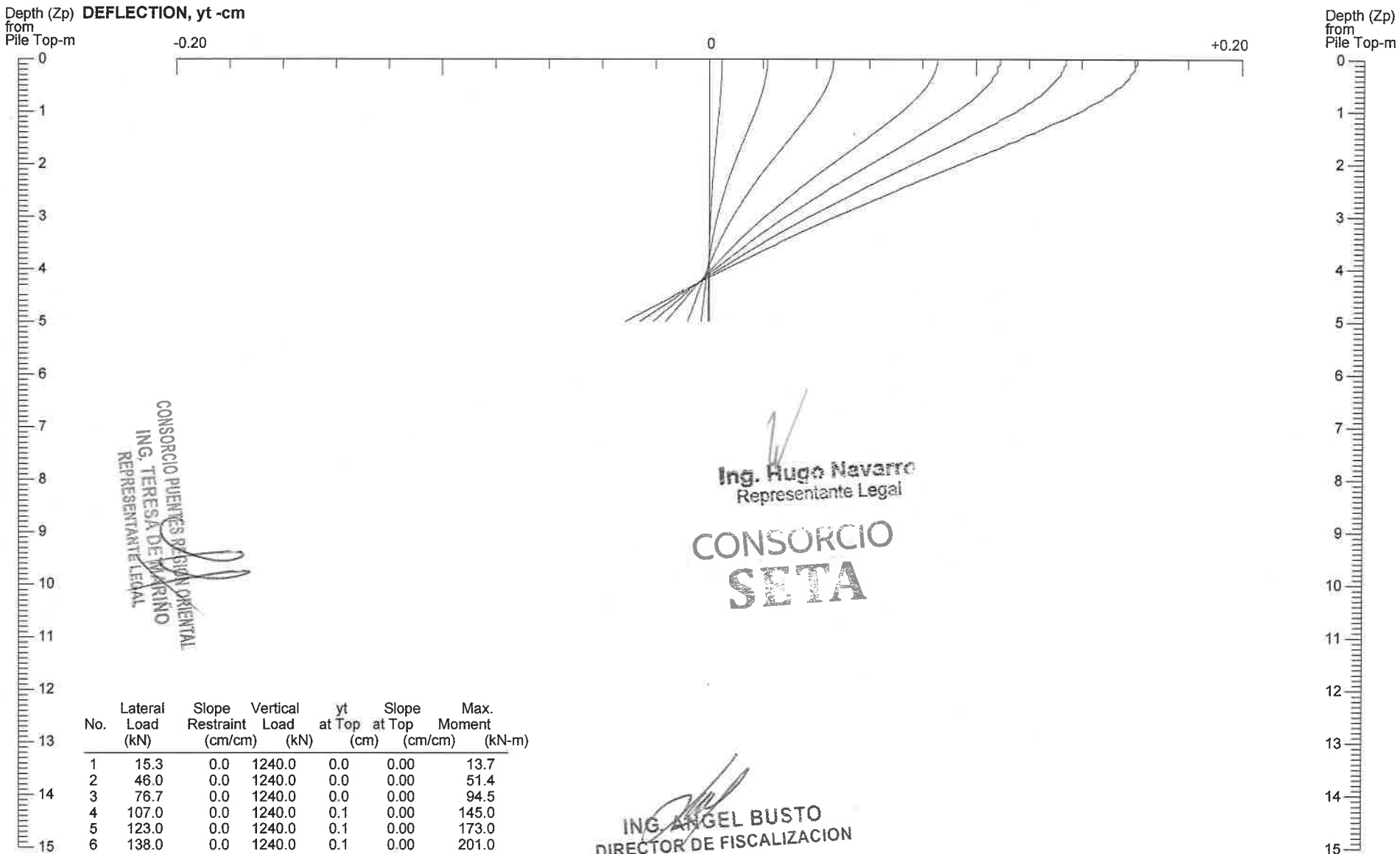
CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 2

PILE DEFLECTION vs LOADING

Single Pile, Khead=5, Kbc=2



No.	Lateral Load (kN)	Slope Restraint (cm/cm)	Vertical Load (kN)	yt at Top (cm)	Slope at Top (cm/cm)	Max. Moment (kN-m)
1	15.3	0.0	1240.0	0.0	0.00	13.7
2	46.0	0.0	1240.0	0.0	0.00	51.4
3	76.7	0.0	1240.0	0.0	0.00	94.5
4	107.0	0.0	1240.0	0.1	0.00	145.0
5	123.0	0.0	1240.0	0.1	0.00	173.0
6	138.0	0.0	1240.0	0.1	0.00	201.0
7	153.0	0.0	1240.0	0.2	0.00	230.0

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

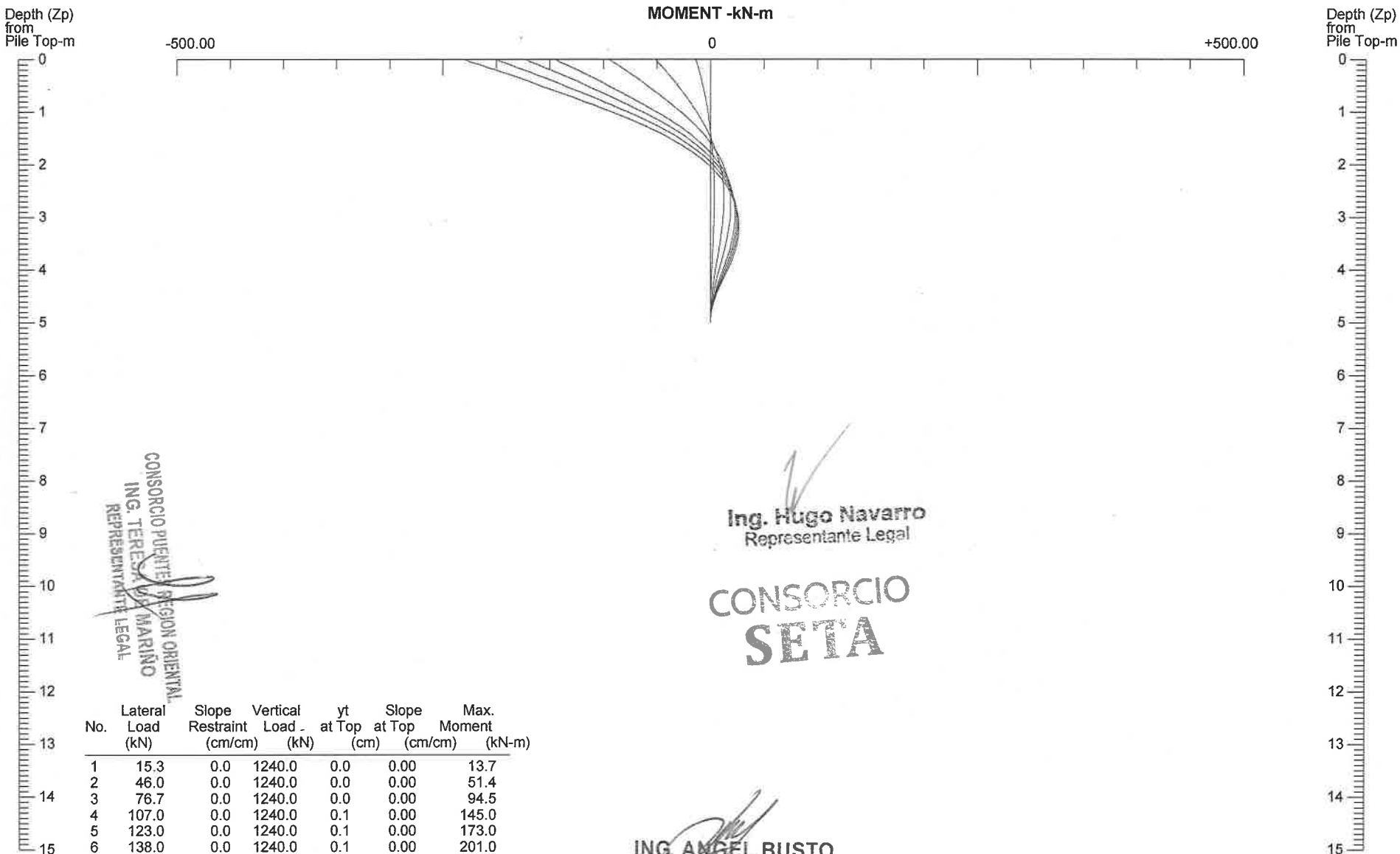
114 (ciento catorce)

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 2

PILE MOMENT vs LOADING
Single Pile, Khead=5, Kbc=2



No.	Lateral Load (kN)	Slope Restraint (cm/cm)	Vertical Load (kN)	yt at Top (cm)	Slope at Top (cm/cm)	Max. Moment (kN-m)
1	15.3	0.0	1240.0	0.0	0.00	13.7
2	46.0	0.0	1240.0	0.0	0.00	51.4
3	76.7	0.0	1240.0	0.0	0.00	94.5
4	107.0	0.0	1240.0	0.1	0.00	145.0
5	123.0	0.0	1240.0	0.1	0.00	173.0
6	138.0	0.0	1240.0	0.1	0.00	201.0
7	153.0	0.0	1240.0	0.2	0.00	230.0

CONSORCIO PUENTE REGION ORIENTAL
ING. TERESA MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

115 (ciento quince)

CivilTech Software

Puente Ybycuí
Estribo 2-Pilotes de Ø80 - Cabeza Empotrada

Figure 2

Diagrama de Interacción P - M de Columnas Circulares (ACI - AASHTO)

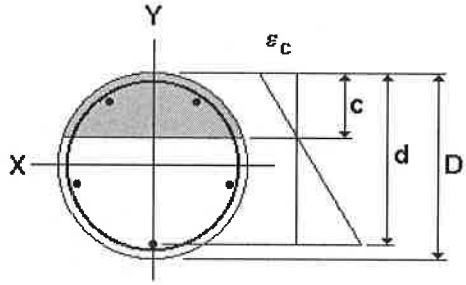
Autor: A. Gaona Fecha: 28/8/00
MathCad Version: 6.0 Plus o posteriores
Referencia: AASHTO Bridge Design Specifications
Propósito: Calcula el diagrama de interacción minorado de columnas circulares de hormigón armado.
Utiliza la subrutina desarrollada por Thomas P. Magner

Obra: Puente 35 - Ao. Yukyry

Pieza Estructural: Pilotes Frontales de Ø80cm del Estribo 2

Pilar Circular de Hormigón Armado con Carga Axial y Momento

Notación:



P_u	carga axial mayorada
M_{xu}	momento mayorado alrededor de eje X
D	diámetro del pilar
N	número de barras (mínimo 4 barras)
n	designación standard de barras de refuerzo (#1, 2, 3.....)
c	distancia a partir de la fibra más comprimida al eje neutro
cl	recubrimiento de las armaduras
ϕP_n	axil último minorado
ϕM_n	momentol último minorado
f_{sp}	tensión de barras de refuerzos para determinar el tipo de empalme requerido
ρ	cuantía geométrica

Notas: Tanto la carga axil como el momento deben ser mayores que cero.
La cuantía debe estar comprencida entre 0.004 y 0.08.
La tensión característica del acero debe ser menor que 5600 kg/cm2
Las tensiones son positivas para compresión y negativas para tracción

Datos:

$D := 80 \cdot cm$

$f'_c := 25 \cdot MPa$

$f_y := 420 \cdot MPa$

$f'_y := 420 \cdot MPa$

$N := 12$

$n := 5$

$cl := 4cm$

$A_c := \frac{\pi \cdot D^2}{4}$ $\qquad A_c = 5.027 \times 10^3 \cdot cm^2$

$A_s := A_{b_n} \cdot N \cdot in^2$ $\qquad A_s = 24.12 \cdot cm^2$

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

116 (CIENTO DIEZ Y SEIS)

$$\rho := \frac{A_s}{A_c} \qquad \rho = 0.005$$

Cálculo de ϕPn para momento nulo (ϕPo)

Este valor lo calculamos para determinar la abscisa máxima del diagrama de interacción

$$\left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) := (0 \;\; 0 \;\; 0 \;\; 0)$$

$P_u := 0.0001$

$M_{xu} := 0.000000001$

$$\left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) := \phi P'_n\left(D, N, n, P_u, M_{xu}\right)^T$$

$$\left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) = \left(1.832 \times 10^3 \;\; 0.018 \;\; 60.913 \;\; 4.799 \times 10^{-3}\right)$$

$\phi P_0 := \phi P_n \qquad \phi P_0 := \phi P_0 \cdot kips \qquad \phi P_0 = 1.832 \times 10^3 \cdot kips$

Cálculo del diagrama de interacción

$n_{interv} := 60$ ....número de puntos en los que se calcularám ϕP y ϕM

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

$$
\begin{aligned}
Diag_{MN} := \;& P_u \leftarrow 0.0001 \\
& \Delta P \leftarrow \frac{\phi P_0}{n_{interv} \cdot kips} \\
& r \leftarrow 0 \\
& \text{for } i \in 0..n_{interv} \\
& \quad c \leftarrow 0 \\
& \quad M_{u1} \leftarrow 0.0001 \\
& \quad deltaP \leftarrow 0.001 \\
& \quad conta \leftarrow 1 \\
& \quad \text{while } (deltaP \geq 0.00015) \wedge (conta \leq 600) \\
& \quad\quad \left(\phi P_n \;\; \phi M_{xn} \;\; f_{sp} \;\; \rho\right) \leftarrow \phi P'_n\left(D, N, n, P_u, M_{u1}\right)^T \\
& \quad\quad M_{u2} \leftarrow \phi M_{xn} \\
& \quad\quad deltaP \leftarrow \left|P_u - \phi P_n\right| \\
& \quad\quad M_{u1} \leftarrow M_{u2} \\
& \quad\quad conta \leftarrow conta + 1 \\
& \quad\quad M_{u1} \\
& \quad Diag_{MN_{r,0}} \leftarrow P_u \\
& \quad Diag_{MN_{r,1}} \leftarrow M_{u1} \\
& \quad r \leftarrow r + 1 \\
& \quad P_u \leftarrow P_u + \Delta P \\
& Diag_{MN}
\end{aligned}
$$

$\phi P := Diag_{MN}^{\langle 0 \rangle} \cdot kips$

$\phi M := Diag_{MN}^{\langle 1 \rangle} \cdot kips \cdot in$

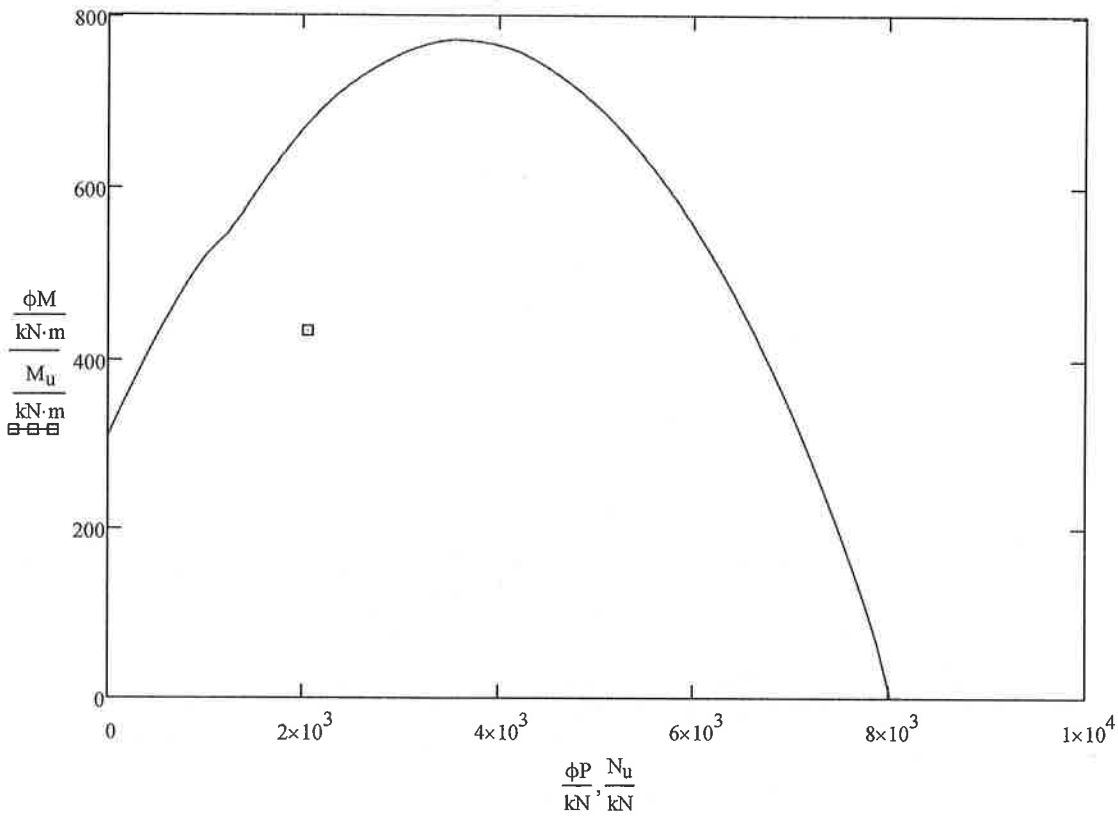
$N_u := 2047kN$ ....axil mayorado actuante

$M_u := 433kN \cdot m$ ....momento mayorado actuante

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL



ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

119 (CIENTO DIEZ Y NUEVE)

INFORME FINAL

VERIFICACIÓN HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

PUENTE SOBRE ARROYO YGUASU

Departamento de Caaguazú,
Distrito: Nueva Toledo

Puente de Ho Ao de 60 [m] de largo, sobre el Ao Yguazu

Ubicado en el Departamento de Caaguazu

Ubicación con coordenadas GPS:

Norte **7.225.460 ;** Este **639.980 ; 21 J**

Objeto del estudio

Verificación de la capacidad de drenaje de la sección transversal de las obras existentes y recomendaciones.

Marzo de 2020

Responsable

Ing. Civil Pedro E. Gaete Arroyo

Registro Profesional CIP 366.540

Calle 12 de Noviembre 157 – Bo. San Felipe – San Lorenzo - PY

Tel 021-571581 – 0971 851529 – 021-3264177

gaete.pedro@gmail.com ; hidrosud2018@gmail.com

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

CONSORCIO PUENTES REGIÓN ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

121 (CIENTO VEINTE Y UNO)

ESTUDIO HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO PARA EL PUENTE
DEL Ao YGUAZU en NVA TOLEDO

Tabla de contenido

1. ESTUDIOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS 3

1.1. ANTECEDENTES Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA 3

1.2. INSPECCIÓN TÉCNICA Y TRABAJOS REALIZADOS 3

1.3. CÁLCULO HIDROLÓGICO DE CAUDALES 3

2. RESULTADOS HIDRÁULICOS 12

2.1. RESULTADOS HIDRÁULICCS PARA TR 100 AÑOS (ARROYO YGUAZÚ) 12

1. CONCLUSIONES 13

2. ANEXO DE IMÁGENES 14

2.1. FIGURA 15: IMAGEN DEL PUENTE DE 60 M UBICADO AGUAS ARRIBA EN EL ARROYO YGUAZÚ 14

2.2. FIGURA 16: IMAGEN DEL PUENTE EXISTENTE DE 60 M EN EL AO. YGUAZU 14

2.3. FIGURA 17: IMAGEN DEL PUENTE AO. YGUASU ACTUAL, DE MADERA. 15

2.4. FIGURA 17: IMAGEN DEL PUENTE AO.YGUASU ACTUAL, DE MADERA 15

Lista de Figuras

Figura 1: Modelo digital de Elevación de la cuenca del Ao Yguazu (Nva Toledo - CA) 5

Lista de Tablas

Tabla 1: Valores de CN en función del Tipo y Uso de Suelo 4

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

122 (CIENTO VEINTE Y DOS)

1. ESTUDIOS HIDROLOGICOS E HIDRAULICOS

1.1. ANTECEDENTES Y DOCUMENTOS DE REFERENCIA

El presente informe tiene por objeto presentar los resultados del cálculo hidrológico efectuado a la cuenca de aporte hídrico al puente sobre el Ao Yguazu cerca de Nva Toledo, Caaguazu.

A ese efecto se han tomado como referencia los siguientes documentos:

⇒ Datos topográficos del SRTM.
⇒ Curvas IDF de la FIUNA.
⇒ Curvas de nivel del IGM

1.2. INSPECCIÓN TÉCNICA Y TRABAJOS REALIZADOS

a) Fueron observadas las características de uso del suelo en la cuenca, sobre imagen satelital 2018, estimándose como número de curva CN= 67 , como media de la cuenca.
b) Con el área de drenaje definida se determinó la cuenca de aporte sobre los mapas disponibles.
c) Seguidamente se determinó el caudal de diseño, correspondiente a un TR de 100 años.

1.3. CÁLCULO HIDROLÓGICO DE CAUDALES

1.3.1. Estimación de Infiltración

La infiltración es el proceso por el cual el agua penetra desde la superficie del terreno hacia el suelo. En una primera etapa satisface la deficiencia de humedad del suelo en una zona cercana a la superficie, y posteriormente superado cierto nivel de humedad, pasa a formar parte del agua subterránea, saturando los espacios vacíos.

El cálculo de la infiltración es necesario para determinar la precipitación efectiva, es decir, la precipitación causante de escorrentía superficial. Uno de los métodos más utilizados en la Hidrología Aplicada es el Método de Abstracciones, o Número de Curva del SCS. Este método es de gran aplicación debido a la cantidad de información empírica que se ha generado para el mismo.

El Método del Número de Curva (CN) fue desarrollado por el Servicio de Conservación de los Recursos Naturales (NRCS por sus siglas en Inglés) de los Estados Unidos. Esta institución, originalmente llamada SCS – y de ahí el nombre del método de abstracciones e hidrogramas unitarios – ha desarrollado una gran cantidad de experimentos que permitieron conocer la escorrentía para un evento de tormenta dado en función de los tipos y usos de suelo que se tienen en la cuenca.

1.3.2. Metodología

En la tabla 1 se muestran los distintos valores de CN en función del uso (o cobertura) del suelo, los cuales se muestran en las filas, y del tipo de suelo, los cuales se representan en columnas. Esta tabla fue elaborada a partir de los datos del libro Hidrología Aplicada del Ven Te Chow. Otra variable que incide sobre el CN es la condición antecedente de humedad (AMC); es decir, la cantidad de agua presente en el suelo antes del evento de lluvia. Como a menudo no se cuenta con este tipo de datos, en la práctica de la ingeniería se utiliza comúnmente la AMC II, que representa una condición antecedente promedio.

Para una cuenca hecha de varios tipos y usos de suelos se puede calcular un CN compuesto mediante el promedio ponderado.

Por otro lado, el uso del suelo se cartografía en función de la actividad que en él se desarrolle, siendo el uso derivado de ella.

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

123(CIENTO VEINTE Y TRES

Tabla 1: Valores de CN en función del Tipo y Uso de Suelo

Uso del Suelo	Grupo Hidrológico del Suelo (en función del Tipo)			
	A	B	C	D
Agrícola	72	81	88	91
Pastura	49	69	79	84
Vegas de ríos y praderas	30	58	71	78
Bosque	36	60	73	79
Urbano	77	85	90	92

En función del tipo de suelo se definen cuatro grupos:

Grupo A: Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento y limos agregados.
Grupo B: Suelos poco profundos depositados por el viento y marga arenosa.
Grupo C: Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.
Grupo D: Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

1.3.3. Cálculo hidrológico de caudales

Teniendo en cuenta todo el marco conceptual y los valores de cotas, longitud de cauce, área, tipo y uso de suelo en la cuenca se procedió a calcular los caudales de diseño con el método del Hidrograma Unitario Triangular del Principales Parámetros hidrológicos

Tr : Periodo de Retorno

El Tiempo de Retorno Adoptado: Tr= 50 años a fin de determinar la precipitación de diseño y los caudales calculados para esa recurrencia, para el tipo de puente y característica del camino.

Tc: Tiempo de concentración

Se determina de la cartografía digital disponible con las distancias y pendientes obtenidas directamente del mapa digital, utilizando la Fórmula del DNOS:

$$T_c = \frac{10}{K} \cdot \frac{A^{0,3} \cdot L^{0,2}}{I^{0,4}}$$

sendo, T_c = tempo de concentração, em minutos,

A = área da bacia, em ha;

L = comprimento do curso d'água, em m;

I = declividade, em %; e

K = depende das características da bacia, conforme descrito em seguida:

- Terreno areno-argiloso, coberto de vegetação intensa, elevada absorção ..... K=2,0
- Terreno comum, coberto de vegetação, absorção apreciável ..... K=3,0
- Terreno argiloso, coberto de vegetação, absorção média ..... K=4,0
- Terreno argiloso de vegetação média, pouca absorção ..... K=4,5
- Terreno com rocha, escassa vegetação, baixa absorção ..... K=5,0
- Terreno rochoso, vegetação rala, reduzida absorção ..... K=5,5

Para condições médias, com K= 4,0, resultou, na média, uma velocidade de 4,9 km/h para bacias pequenas e 5,7 km/h para bacias maiores, portanto aceitável para qualquer tamanho de bacia.

CN: Numero de Curva

Este valor se obtiene de Tablas y se utiliza para determinar la precipitación efectiva por el Método del U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.), depende del tipo de Suelo y del Uso del Suelo, básicamente representa que cantidad de lluvia precipitada es la que efectivamente escurre y llega hasta los cauces hídricos.

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

124 (CIENTO VEINTE Y CUATRO)

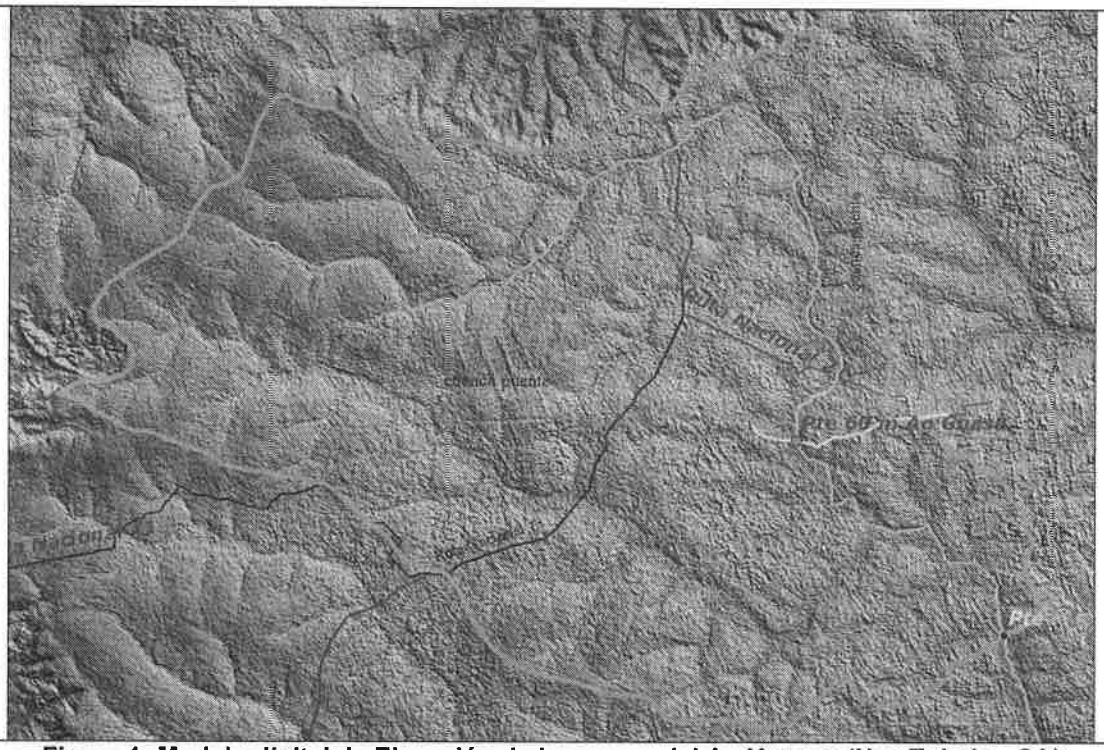


Figura 1: Modelo digital de Elevación de la cuenca del Ao Yguazu (Nva Toledo - CA)

Figura 2: Imagen Satelital cuenca Ao Yguasu - 2018

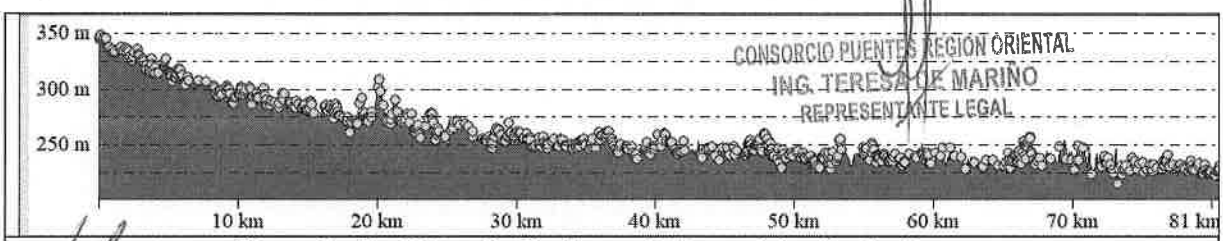


Figura 3: Perfil longitudinal por el talweg del valle, Ao Yguazu

CONSORCIO PUENTES REGIÓN ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE INSPECCIÓN

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

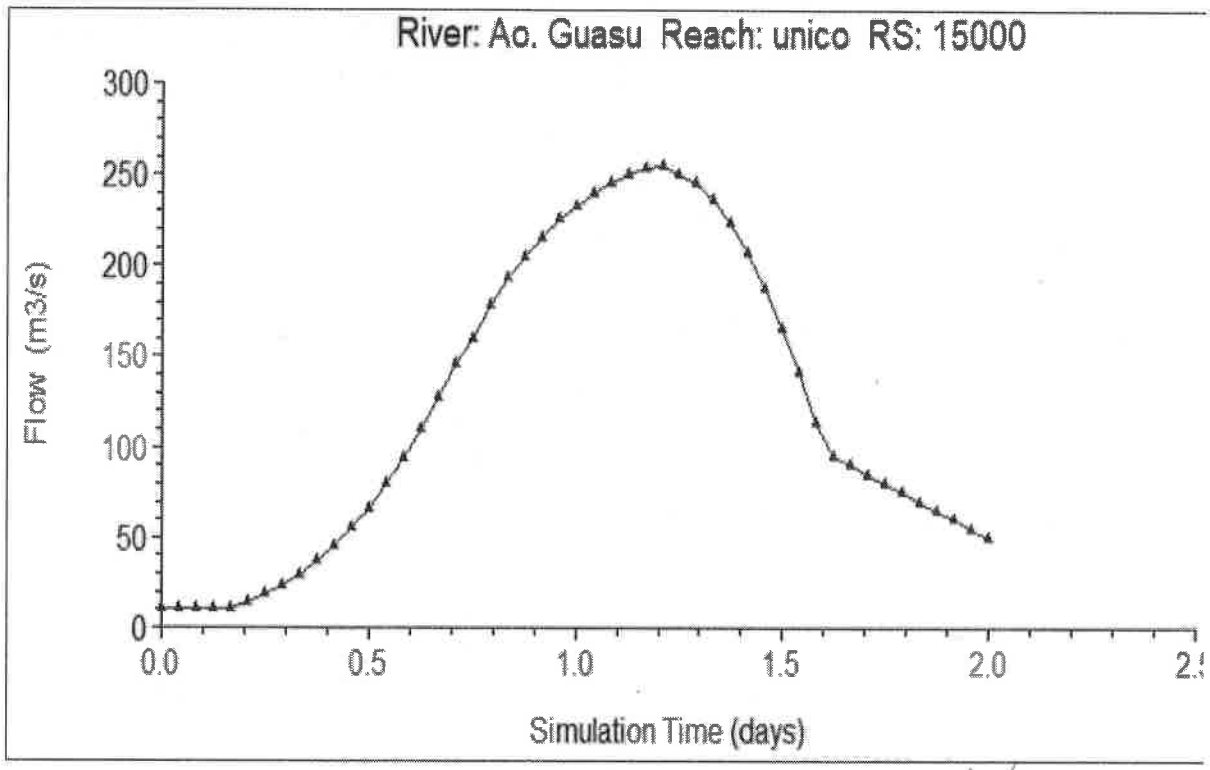
CONSORCIO
125 (CIENTO VEINTICINCO)

Calculo del hidrograma de proyecto

Cálculo del Hidrograma de Proyecto					
Tramo: Arroyo Guazu- Nva Toledo					
CUENCA: 1	Prog:	CURSO DE AGUA:		A° GUAZU	
CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA					
Area de la Cuenca: A (Km2) =	1016.00			Desnivel: H (m) =	100.00
Longitud del Cauce: L (Km) =	70.00			Pendiente Media: i (m/m) =	0.00120
Número de Curva: NC =	76.00				
PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR					
Tiempo de Concentración DNOS: Tc (hs) =	25.59	K	4.50	Tiempo Base: Tb (hs) =	48.10
Tiempo al Pico: T'p (hs) =	18.00			Tiempo Unitario: ΔT (hs) =	5.20
Tiempo de Bajada (Tr (hs) =	30.10			Caudal Máximo Unitario: qp (m3/s) =	117.40
PARÁMETROS DE PRECIPITACIÓN					
Tiempo de Recurrencia: Tr (años) =	100			Número de Curva: NC =	96.0
				Valor S del Método del SCS (cm) =	1.06

PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Δ T (hs)	I (mm/h)	Pacu (cm)	P' (cm)	Pe (cm)	ΔPe (cm)	ΔPe (cm)
5.20	33.79	17.57	14.74	13.54	13.54	0.44
10.40	19.47	20.25	16.99	15.78	2.24	0.54
15.60	14.04	21.91	18.38	17.17	1.39	0.70
20.80	11.12	23.14	19.41	18.20	1.03	1.03
26.00	9.28	24.12	20.24	19.03	0.83	2.24
31.20	8.00	24.96	20.94	19.72	0.70	13.54
36.40	7.05	25.68	21.55	20.33	0.60	1.39
41.60	6.33	26.32	22.08	20.86	0.54	0.83
46.80	5.75	26.89	22.56	21.34	0.48	0.60
52.00	5.27	27.41	23.00	21.78	0.44	0.48



ING. ÁNGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
CONSORCIO
SETA

126 (CIENTO VEINTE Y SEIS)

Figura 7: Perfil del talweg de la cuenca Ao Yguazu

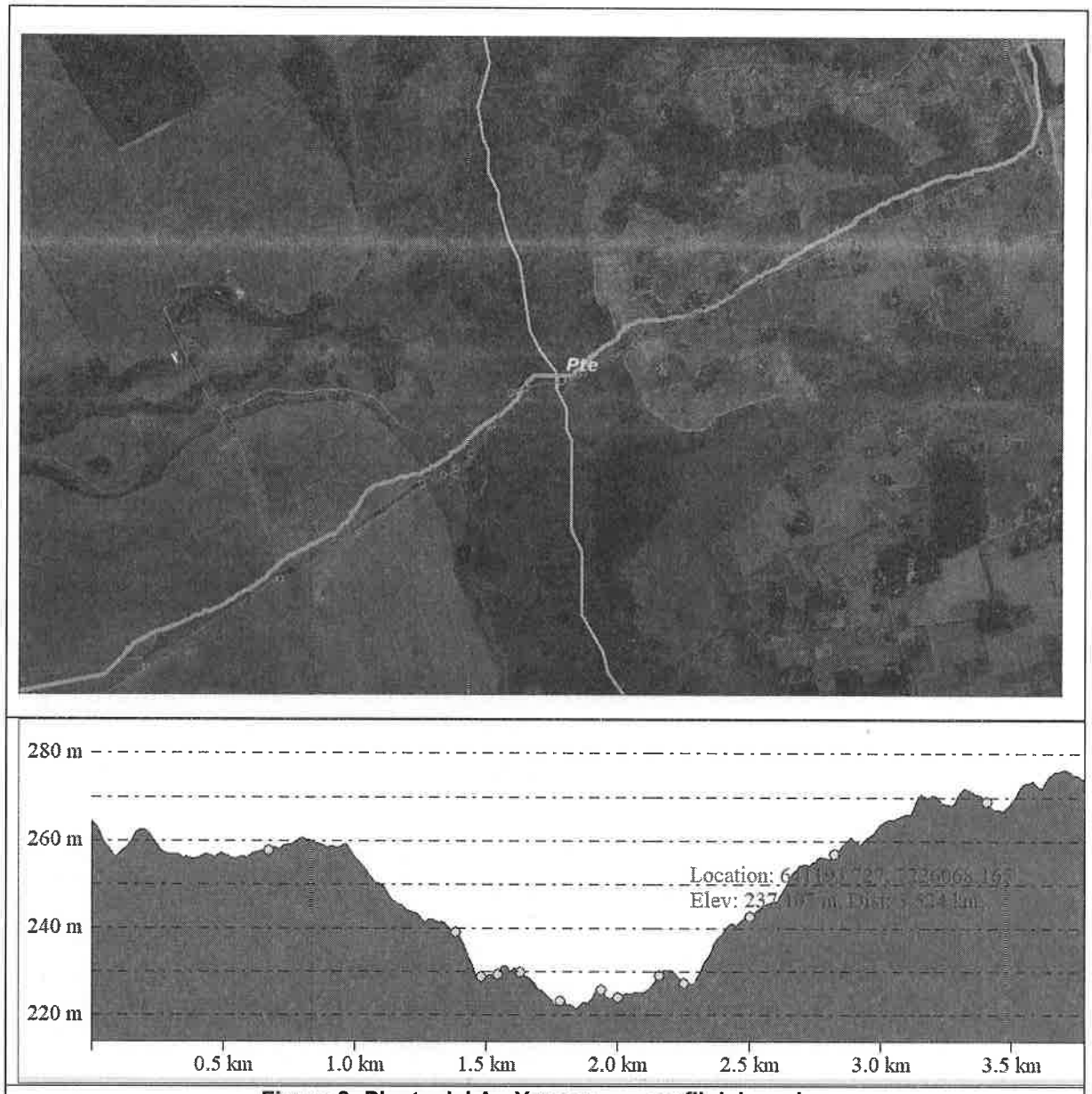


Figura 8: Planta del Ao Yguazu con perfil del camino

1.3.4. Determinación de caudal de diseño

a) Método del hidrograma unitario triangular para el cálculo de caudales

El método fue desarrollado por el U.S. Soil Conservation Service (S.C.S.), y es utilizado para el estudio de las cuencas hidrográficas con áreas mayores a 10 km^2. Representa la comparación gráfica de los gastos de escurrimiento contra el tiempo necesario para que estos se presenten.
La teoría del Hidrograma Unitario Triangular se sustenta en las siguientes propiedades:
La precipitación efectiva se distribuye uniformemente en el tiempo o periodo de duración específica.
La precipitación efectiva se distribuye uniformemente en toda el área de la cuenca de drenaje.

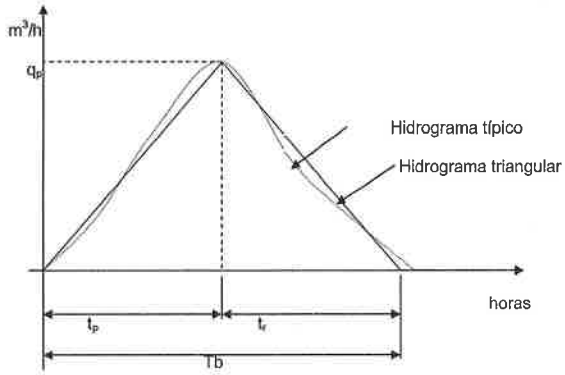
ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGIONAL ORIENTE
ING. TERESA DE MARINO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO

127 (CIENTO VEINTE Y SIETE)

Figura: Hidrograma unitario típico



Procedimiento de cálculo para la determinación del caudal máximo

$q_p = 2{,}08 . \frac{A}{t_p}$	$t_p = 0{,}5 . \Delta t + t_l$	-qp : caudal pico del hidrograma unitario, en m3/ seg - mm. - A : área de la cuenca, en Km2. - tp : tiempo de ocurrencia del caudal pico, en horas.

Siendo

Δt: tiempo de duración de la precipitación efectiva, en horas.

$t_l = 0{,}6 . t_c$	$t_r = 1{,}67 . t_p$	$\Delta t = 0{,}2 . t_c$	$t_b = t_p + t_r$

tc : tiempo de concentración, en horas.

tl : tiempo de retardo, medido desde el centro de gravedad del hietograma de precipitación efectiva hasta el pico del hidrograma de escurrimiento, en horas.

tr : tiempo de recesión, medido desde el pico del hidrograma hasta su finalización, en horas.

tp : tiempo al pico, en horas.

tb : tiempo base del hidrograma triangular, en horas.

b) Precipitación efectiva

Es la parte de la lluvia total resultante de descontar las pérdidas por escorrentía superficial, percolación profunda y evaporación de la lluvia interceptada por el follaje o que puede aprovechar la vegetación para suplir sus demandas. Se obtiene la lluvia neta o precipitación efectiva a partir de:

$Pe = \frac{(P' - 0{,}2 . S)^2}{P' + 0{,}8 . S}$	$P' = P . (1 - 0{,}1 . \log \frac{A}{25})$	$CN = \frac{25400}{254 + S}$ En unidades métricas
Donde: P' : precipitación total corregida, en cm. P : precipitación real total, en cm. Obtenida de las curvas IDF.	A: área de la cuenca hidrográfica en Km2. S : máxima retención potencial.	

Cabe puntualizar que esta corrección se realiza sólo para cuencas con áreas de aporte superior a 25 Km2. Para áreas menores a 25 Km2 se asume P = P'.

El valor de S se deduce del número de la curva de escurrimiento (CN – curve number), calculado en función del manejo del cultivo, de las propiedades y condiciones hidrológicas de infiltración del suelo. El valor de CN puede variar entre 0 y 100, siendo CN = 0 cuando no hay escurrimiento (S adopta valores muy grandes o infinito), y CN = 100 (cuando el volumen del escurrimiento es igual al de la precipitación, luego S toma el valor cero).

La Tabla 3 da los valores típicos de CN para diferentes tipos de suelo. *Ref. Ven.T. Chow*

ING. ANGEL PUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACIÓN

CONSORCIO PUENTES
ING. TERESA DE MARINO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal

CONSORCIO
OFERTA

128 (CIENTO VEINTE Y OCHO)

1.3.5. Definición de las curvas IDF a utilizar[1]

En el año 2010 fue publicada la última actualización de los parámetros de las curvas IDF del Paraguay, como resultado de una tesis de grado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional de Asunción (Cuevas-Rolón).

La ecuación obtenida para todos los casos consiste en:

$$I(mm/h) = \frac{C\ x\ Tr^n}{(t + D)^m}$$

Donde:

I (mm/h) es la intensidad de precipitación en milímetros por hora.

Tr = Tiempo de recurrencia medido en años.

t = Tiempo de duración de la lluvia.

C, m, D y n son parámetros obtenidos por análisis estadístico de regresión múltiple.

Los parámetros presentados son para las ciudades de la tabla abajo presentadas.

Tabla 3: Parámetros de la ecuación IDF para las estaciones actualizadas al año 2010.

PARÁMETRO	CIUDAD						
	VILLARRICA	ASUNCION	CONCEPCION	PILAR	ENCARNACION	CIUDAD DEL ESTE	MCAL. ESTIGARRIBIA
C	902.31	2251.92	1533.69	11872.82	302.97	1904.80	6926.24
n	0.181390	0.190355	0.202933	0.198731	0.219610	0.187680	0.233710
m	0.720550	0.876305	0.820806	1.185824	0.508670	0.871910	1.119480
D	5	28	14	40	0	17	43

De esta forma para la selección de la curva IDF a utilizar, es necesario identificar el área de influencia de cada estación y definir la ubicación del proyecto. En la siguiente ilustración se definen las áreas de afectación de cada estación y la ubicación del proyecto.

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

[1] Tomado del Estudio Curvas IDF de 7 estaciones con fajas pluviográficas del Paraguay, UNA y DMH DINAC, 1996, actualizado en 2009 por Cuevas et al.

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

129 (CIENTO VENTE Y NUE

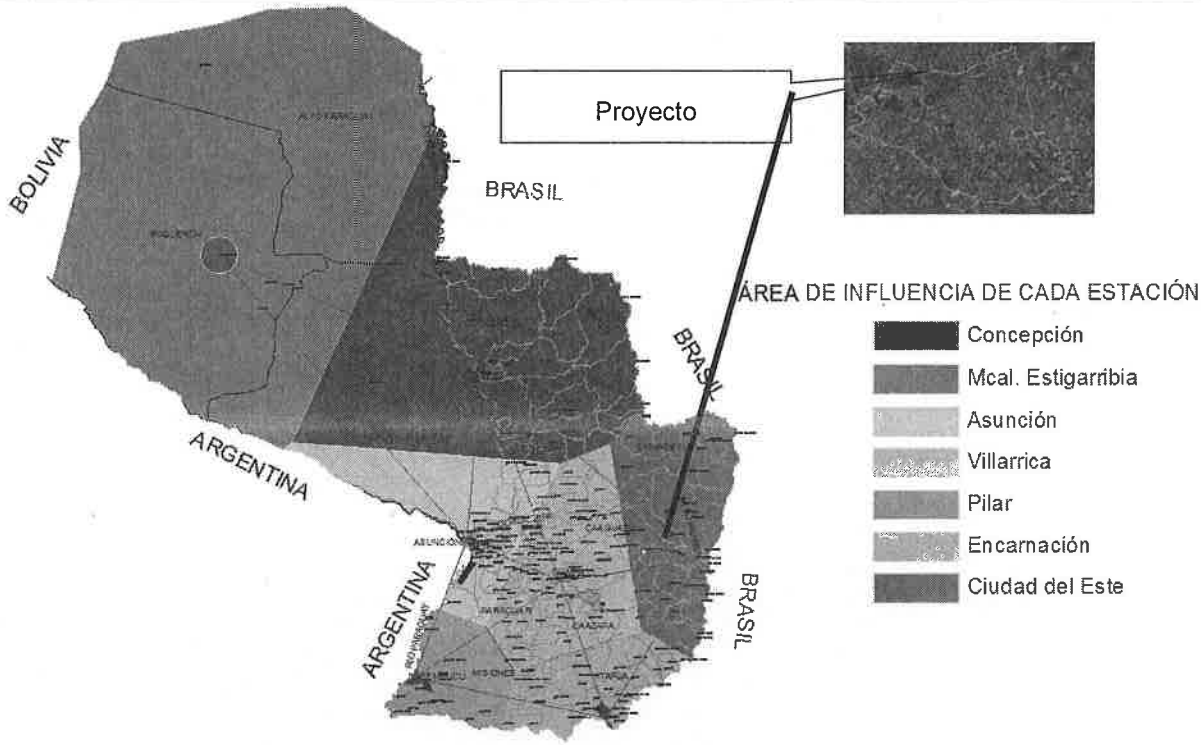


Figura 9: Polígono de Thiessen de las estaciones pluviométricas. .

Las cuencas de estudio se ubican íntegramente en el área de influencia de la estación de Ciudad del Este

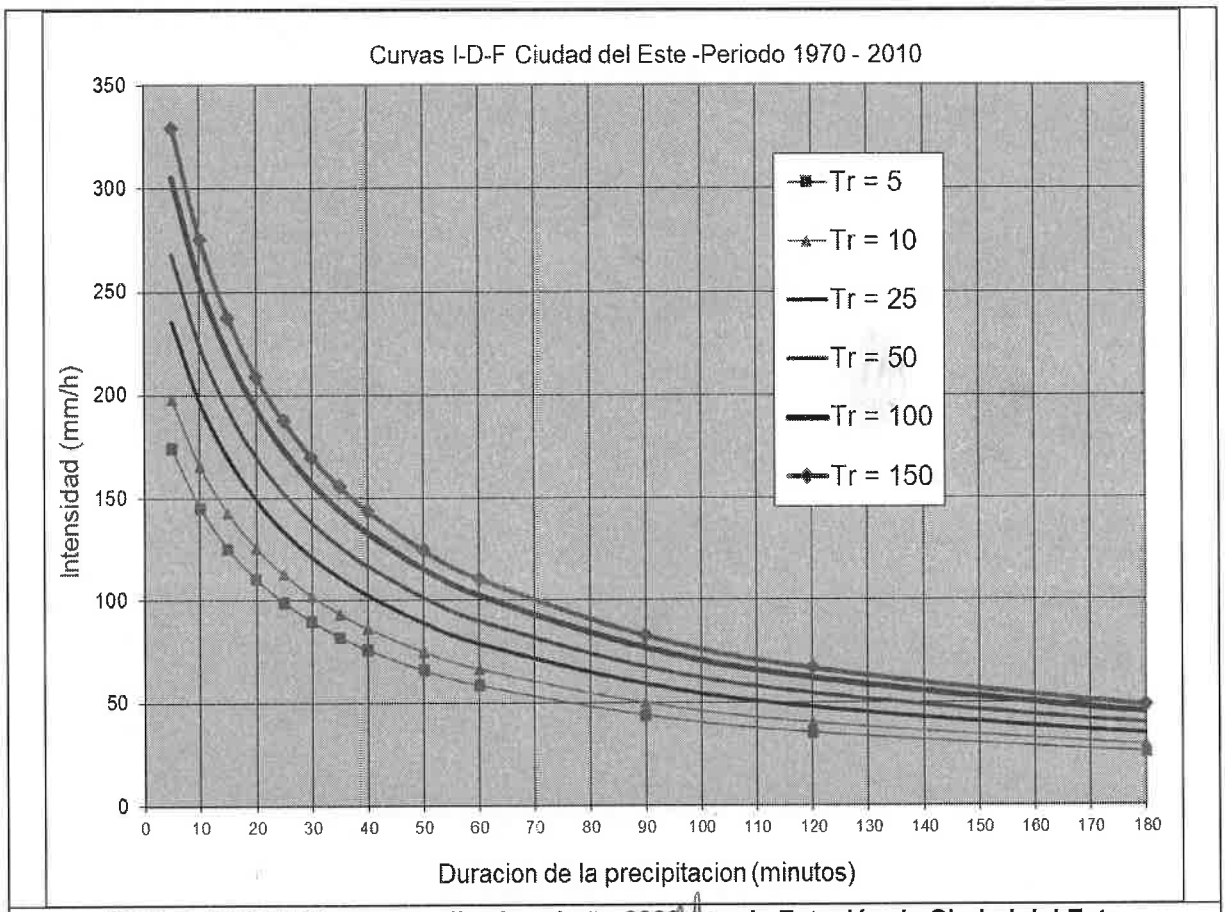


Figura 10: Curvas IDF actualizadas al año 2009 para la Estación de Ciudad del Este

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

130 (CIENTO TREINTA)

1.3.6. Determinación de los hidrogramas de Proyecto.

En la presente verificación se ha determinado los hidrogramas para el tiempo de retorno de 100 años, donde el diseño hidráulico del puente se calcula para un tiempo de retorno de 100 años.

Tabla 4: Hidrograma de Proyecto A° Yguazu, (TR= 100 años)

Cálculo del Hidrograma de Proyecto

Tramo: Arroyo Guyraungua - Tava'i - Caazapa

CUENCA:	1	Prog:	CURSO DE AGUA:	A° Guyraungua - Tava'i	

CARACTERÍSTICAS DE LA CUENCA

Area de la Cuenca: A (Km2) =	55.58		Desnivel: H (m) =	150.00
Longitud del Cauce: L (Km) =	12.00		Pendiente Media: i (m/m) =	0.00650
Número de Curva: NC =	60.00			

PARÁMETROS DEL HIDROGRAMA UNITARIO TRIANGULAR

Tiempo de Concentración DNOS: Tc (hs) =	3.83	K	4.50	Tiempo Base: Tb (hs) =	7.30
Tiempo al Pico: T'p (hs) =	2.70			Tiempo Unitario: ΔT (hs) =	0.80
Tiempo de Bajada (Tr (hs) =	4.60			Caudal Máximo Unitario: qp (m3/s) =	42.82

PARÁMETROS DE PRECIPITACIÓN

Tiempo de Recurrencia: Tr (años) =	50	Número de Curva: NC =	60.0
.		Valor S del Método del SCS (cm) =	16.93

PRECIPITACIÓN EFECTIVA

Δ T (hs)	I (mm/h)	Pacu (cm)	P' (cm)	Pe (cm)	ΔPe (cm)	ΔPe (cm)
0.80	114.63	9.17	8.85	1.33	1.33	0.23
1.60	71.60	11.46	11.06	2.39	1.06	0.28
2.40	53.19	12.77	12.32	3.09	0.69	0.36
3.20	42.78	13.69	13.22	3.61	0.52	0.52
4.00	36.03	14.41	13.91	4.03	0.42	1.06
4.80	31.25	15.00	14.48	4.39	0.36	1.33
5.60	27.69	15.51	14.97	4.70	0.31	0.69
6.40	24.92	15.95	15.39	4.98	0.28	0.42
7.20	22.69	16.34	15.77	5.23	0.25	0.31
8.00	20.87	16.69	16.12	5.46	0.23	0.25

HIDROGRAMA DE PROYECTO — Qmax= **144.95**

Δ T	qi	Precipitación Efectiva										Q
(hs)	(m3/s)	0.23	0.28	0.36	0.52	1.06	1.33	0.69	0.42	0.31	0.25	(m3/s)
0.00	0.00	0.00										0.00
0.80	12.69	2.91	0.00									2.91
1.60	25.37	5.82	3.52	0.00								9.34
2.40	38.06	8.73	7.05	4.55	0.00							20.33
3.20	38.17	8.75	10.57	9.09	6.64	0.00						35.06
4.00	30.72	7.05	10.60	13.64	13.27	13.43	0.00					57.99
4.80	23.27	5.34	8.53	13.68	19.91	26.86	16.92	0.00				91.24
5.60	15.82	3.63	6.46	11.01	19.96	40.29	33.84	8.81	0.00			124.01
6.40	8.38	1.92	4.40	8.34	16.07	40.40	50.76	17.63	5.37	0.00		144.89
7.20	0.93	0.21	2.33	5.67	12.17	32.52	50.90	26.44	10.75	3.96	0.00	144.95
8.00	0.00	0.00	0.26	3.00	8.28	24.63	40.97	26.51	16.12	7.92	3.18	130.88
8.80	0.00		0.00	0.33	4.38	16.75	31.04	21.34	16.16	11.89	6.37	108.26
9.60	0.00			0.00	0.49	8.87	21.11	16.17	13.01	11.92	9.55	81.11
10.40	0.00				0.00	0.99	11.17	10.99	9.86	9.59	9.58	52.18
11.20	0.00					0.00	1.24	5.82	6.70	7.27	7.71	28.74
12.00	0.00						0.00	0.65	3.55	4.94	5.84	14.98
12.80	0.00							0.00	0.39	2.62	3.97	6.98
13.60	0.00								0.00	0.29	2.10	2.39
14.40	0.00									0.00	0.23	0.23
15.20	0.00										0.00	0.00

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

131 (CIENTO TREINTA Y UNO)

2. RESULTADOS HIDRÁULICOS

Se ha utilizado el software HEC-RAS del USACE. El HEC-RAS es un modelo dinámico de simulación de flujo en canales, que se puede utilizar para un único acontecimiento o para realizar una simulación continua en periodo extendido. El programa permite simular tanto el flujo del caudal, especialmente en tránsito de puentes y otras estructuras hidráulicas.

2.1. RESULTADOS HIDRÁULICOS PARA TR 100 AÑOS (ARROYO YGUAZÚ)

Caudal máximo = 254 m3/s (Tr 100); Puente de 60 m		
Cota cauce bajo puente = 224.75 m	Q máximo puente = 246 m3/s	Velocidad máxima = 1.06 m/s
Cota rasante puente = 232.21 m	Cota asiento vigas = 230.71 m	NA máx. bajo puente = 229.68 m

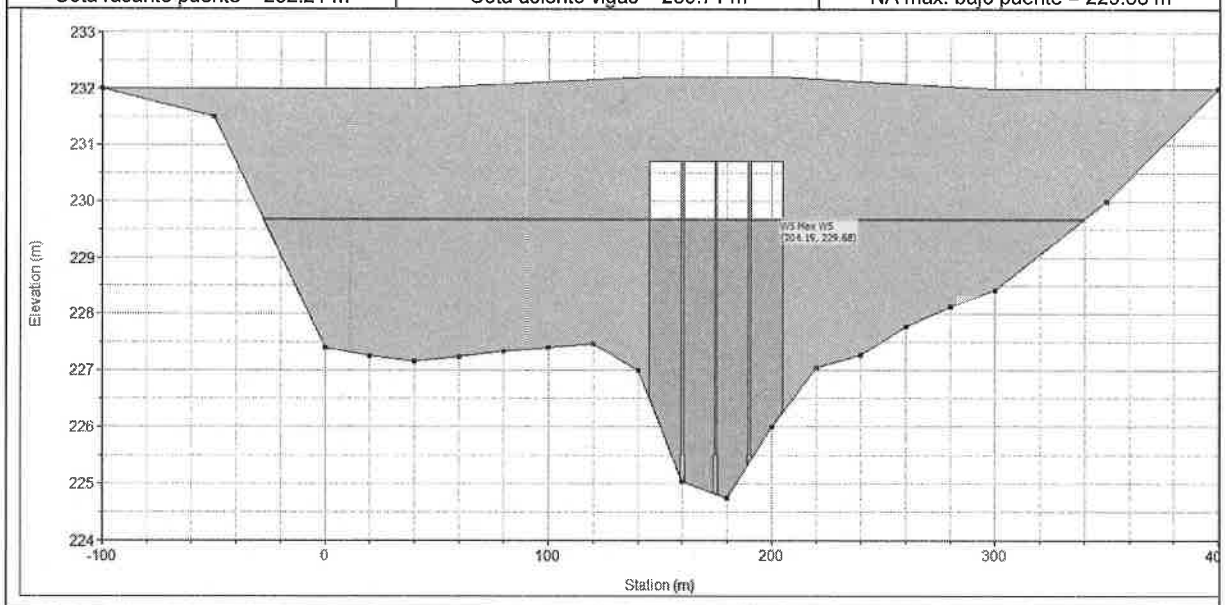


Figura 11: Perfil transversal del arroyo Yguazu con puente de 60 m

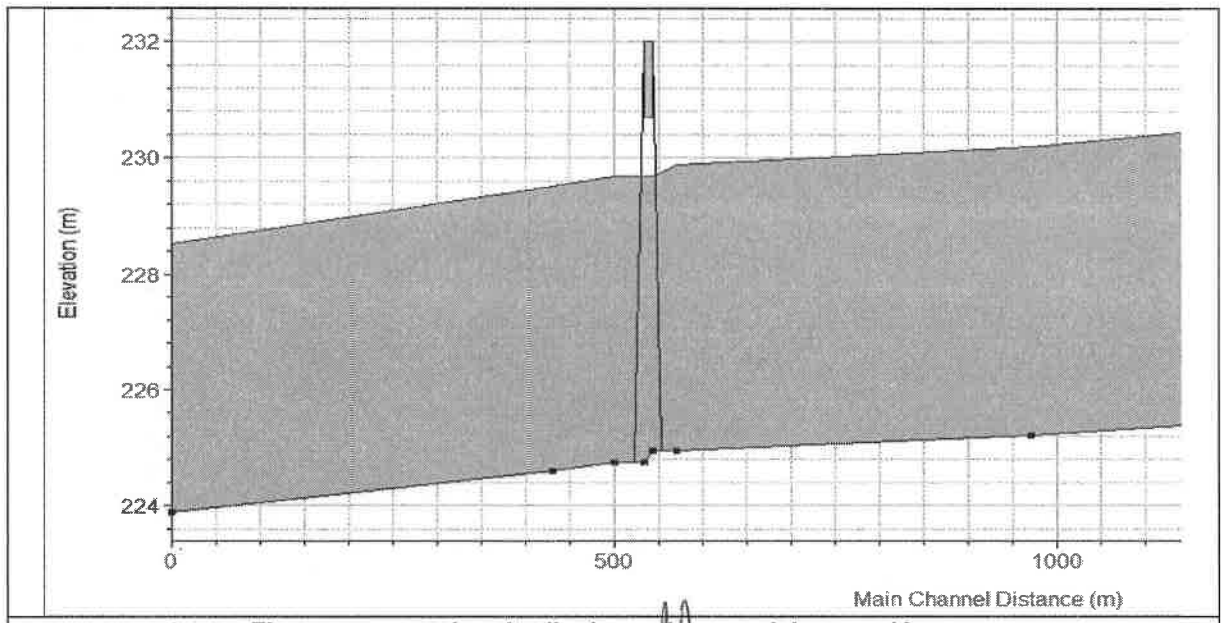


Figura 12: Perfil longitudinal por el cauce del arroyo Yguazu

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

132 (CIENTO TRENTA Y DOS)

Bridge Output

File Type Options Help

River: Ao. Guasu Profile: Max WS

Reach unico RS: 570 Plan: qt280

Plan: qt280 Ao. Guasu unico RS: 570 Profile: Max WS

E.G. US. (m)	229.90	Element	Inside BR US	Inside BR DS
W.S. US. (m)	229.90	E.G. Elev (m)	229.74	229.73
Q Total (m3/s)	246.28	W.S. Elev (m)	229.68	229.68
Q Bridge (m3/s)	246.28	Crit W.S. (m)	226.85	226.66
Q Weir (m3/s)		Max Chl Dpth (m)	4.73	4.93
Weir Sta Lft (m)		Vel Total (m/s)	1.06	1.01
Weir Sta Rgt (m)		Flow Area (m2)	232.10	242.97
Weir Submerg		Froude # Chl	0.16	0.15
Weir Max Depth (m)		Specif Force (m3)	506.53	550.66
Min El Weir Flow (m)	232.21	Hydr Depth (m)	4.07	4.26
Min El Prs (m)	230.71	W.P. Total (m)	89.61	91.21
Delta EG (m)	0.04	Conv. Total (m3/s)	12506.8	13340.7
Delta WS (m)	0.04	Top Width (m)	57.00	57.00
BR Open Area (m2)	290.90	Frctn Loss (m)	0.00	0.01
BR Open Vel (m/s)	1.06	C & E Loss (m)	0.00	0.01
BR Sluice Coef		Shear Total (N/m2)	9.85	8.90
BR Sel Method	Energy only	Power Total (N/m s)	10.45	9.02

Figura 13: Resultados hidráulicos del Hec Ras en el puente Ao. Yguazú – Nva Toledo

1. CONCLUSIONES

El caudal de crecida del arroyo del puente arroyo Yguazu, en el local señalado, para el tiempo de recurrencia de 100 años, es de 254 m^3/s. El nivel de agua máx. (para TR= 100), bajo el puente llega cota 229.68 m.

Con el borde inferior de la viga del puente a 230.71 m, la cota de rasante para el puente será de 232.21 m y la altura de resguardo 1.03 m.

La altura total del puente con respecto al fondo del cauce será de 232.21 – 224.75 = 7.46 m.

Se justifica la ampliación de un vano de 15 m para alcanzar los 60 m, ya que el caudal máximo hace que el nivel este ya muy próximo al limite de resguardo de 1.0 m bajo la viga.

También, aguas arriba existe un puente de 60 m de buen funcionamiento.

El nivel máximo de aguas arriba, localizado en una sección ya separada del puente, para el flujo transitorio es de 229.77 m. Este es el nivel condicionante de diseño de la cota del terraplén del camino de acceso para TR= 100 años, ya que el mismo será contiguo al terraplén del camino a distancias alejadas del eje del cauce donde ya no exista la depresión bajo el puente.

El pie de los estribos del puente debe ser protegido con algún tipo de recubrimiento del suelo, como un enrocado de piedra bruta de diámetro promedio entre 0.20 m y 0.30 m, para evitar la erosión y exposición de las fundaciones que estarán en suelo arcilloso.

Ing. Pedro E. Gaete Arroyo

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

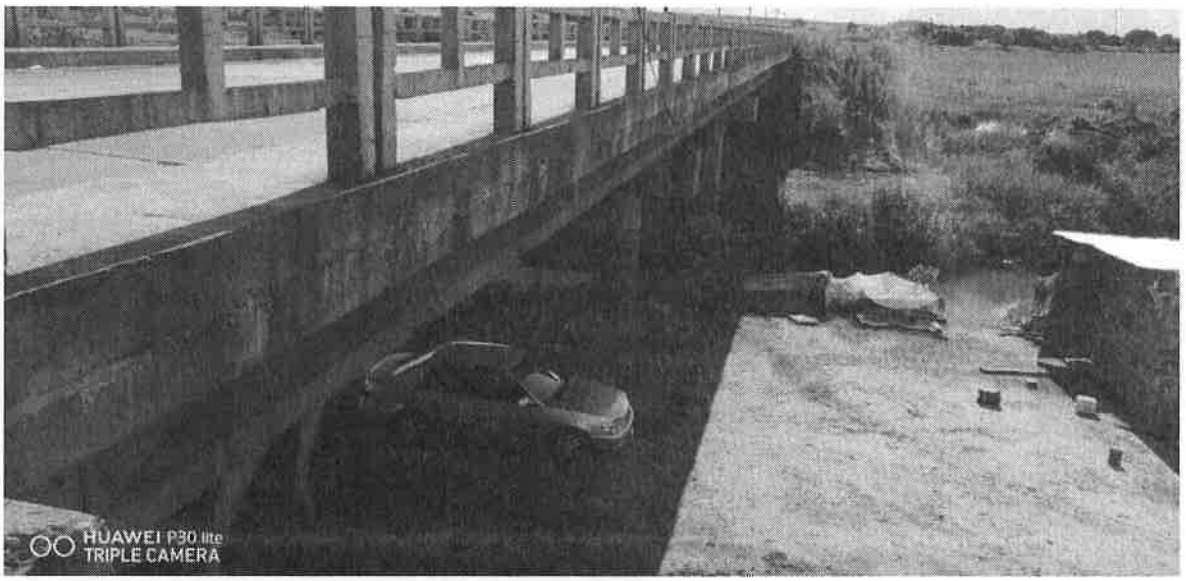
Ing.
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

133 (CIENTO TREINTA Y TRES)

2. ANEXO DE IMÁGENES

2.1. FIGURA 15: IMAGEN DEL PUENTE DE 60 M UBICADO AGUAS ARRIBA EN EL ARROYO YGUAZU



2.2. FIGURA 16: IMAGEN DEL PUENTE EXISTENTE DE 60 M EN EL AO. YGUAZU

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO SETA

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

134 (CIENTO TREINTA Y CUATRO)

2.3. FIGURA 17: IMAGEN DEL PUENTE AO. YGUAZU ACTUAL, DE MADERA.

2.4. FIGURA 17: IMAGEN DEL PUENTE AO. YGUAZU ACTUAL, DE MADERA.

ING. ANGEL BUSTO
DIRECTOR DE FISCALIZACION

Ing. Hugo Navarro
Representante Legal
CONSORCIO
SETA

CONSORCIO PUENTES REGION ORIENTAL
ING. TERESA DE MARIÑO
REPRESENTANTE LEGAL

135 (CIENTO TREINTA Y CINCO)