



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
SECCIÓN DE POST GRADO

DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE CARGA AXIAL EN PILOTES

Dr. Jorge E. Alva Hurtado
Ing. Nilton Guillén Chávez

DISEÑO Y VERIFICACIÓN DE CARGA AXIAL EN PILOTES

- **INTRODUCCIÓN**
- **ANTECEDENTES**
- **ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIÓN**
- **PREDICCIÓN DE LA CARGA ÚLTIMA**
- **ENSAYO DE CARGA**
- **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

INTRODUCCIÓN

- Se presenta los cálculos de verificación de la carga axial en los pilotes de los estribos este y oeste y pilar central de la cimentación del puente Killman en Cochabamba, Bolivia.
- Se utilizaron los métodos de predicción de carga axial basados en fórmulas empíricas, que emplean resultados de ensayos de penetración estándar.
- Se ejecutaron ensayos de carga en pilotes para determinar la capacidad de carga y el asentamiento de los pilotes.
- También se calculó la eficiencia del grupo de pilotes y se evaluó el asentamiento individual y del grupo de pilotes.

ANTECEDENTES

- **En la cimentación del puente Killman existían en los estribos pilotes de concreto tipo Franki, con un diámetro de 0.45 m en el fuste, longitud de 10.70 m y diámetro no precisado. Son 19 pilotes, 5 verticales y el resto inclinados.**
- **En la cimentación de la pila central existían pilotes de concreto armado hincados, con una sección cuadrada de 0.30 m y longitud de 8.60 m. Son 39 pilotes en el cauce del río.**
- **Las superestructura del puente no había sido construida. Se decidió evaluar las características del terreno y verificar la carga de los pilotes existentes.**
- **En base a lo anterior, se rediseñó el puente con una estructura más ligera, compatible con las cargas y asentamientos de los pilotes y grupos de pilotes existentes.**

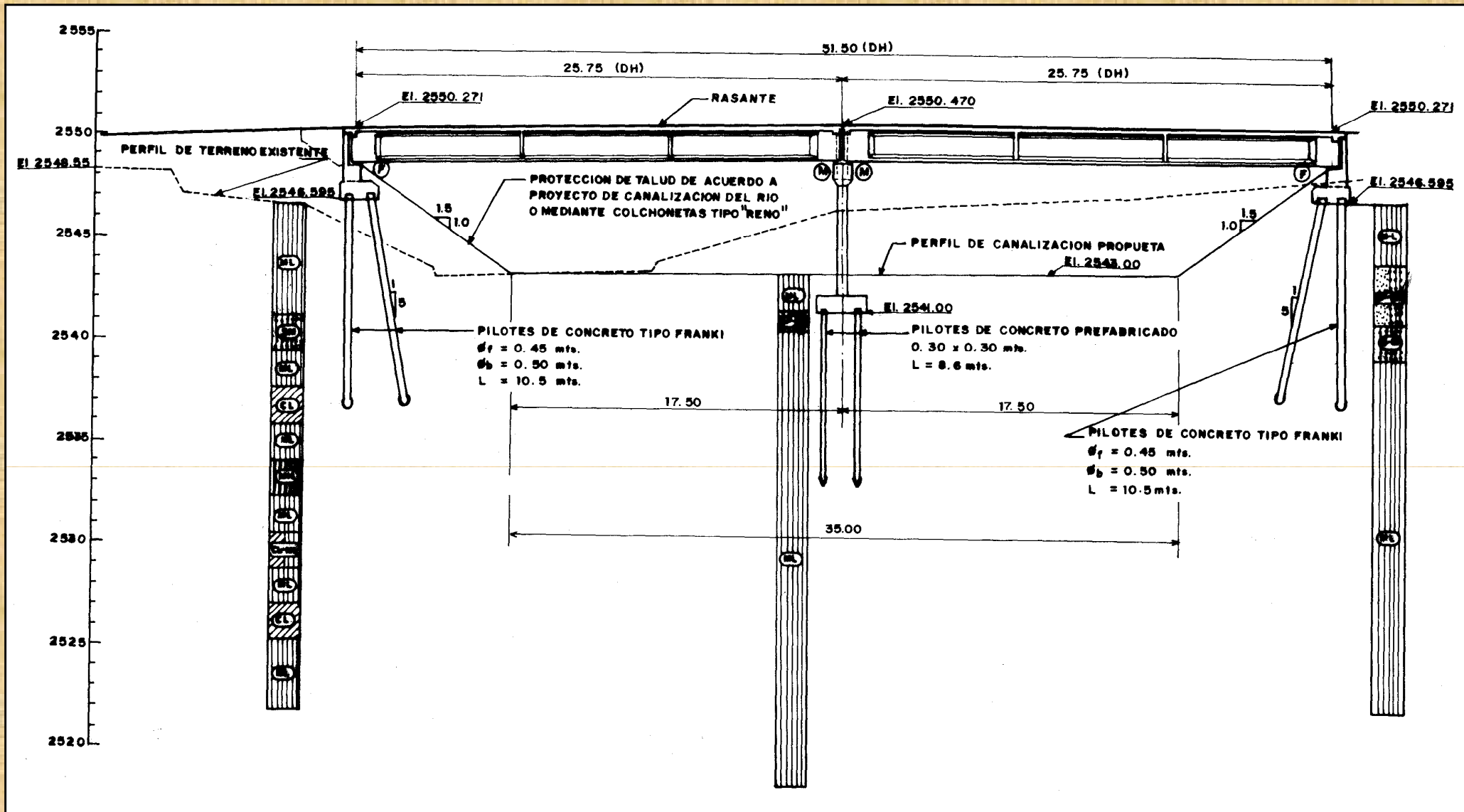
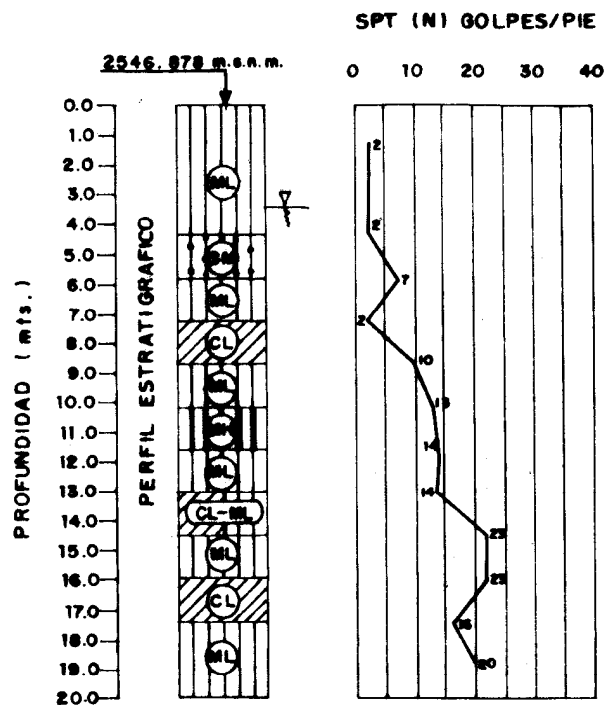


FIG. 1: ESTRUCTURAS ORIGINALES DEL PUENTE KILLMAN Y PERFIL ESTRATIGRÁFICO INTEGRADO (COCHABAMBA, BOLIVIA)

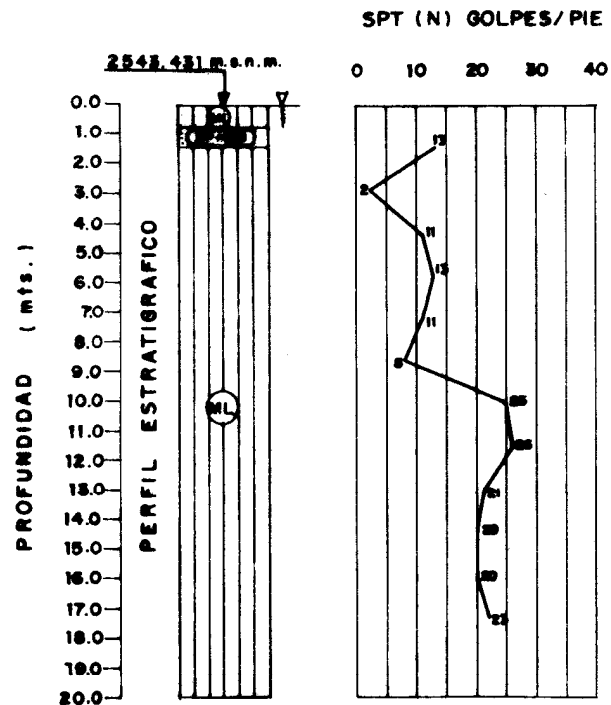
ESTUDIO GEOTÉCNICO DE CIMENTACIÓN

- **Se ejecutaron 3 sondajes con ensayos de penetración estándar cada 1.50 m hasta 20 m de profundidad.**
- **Se recuperaron muestras alteradas e inalteradas para realizar ensayos estándar de clasificación de suelos y ensayos especiales de resistencia cortante y compresibilidad.**
- **Los sondajes se ejecutaron por el método de lavado utilizando lodo bentonítico, práctica común en Cochabamba. El nivel freático era superficial.**
- **La estratigrafía está formada por suelos finos. En el estribo este existen capas alternadas de suelos limosos y arcillas, mientras que en la pila central y el estribo oeste el suelo es más uniforme, limoso de baja plasticidad. Los valores de N aumentan con la profundidad hasta 20-25 golpes / pie a los 20 metros.**



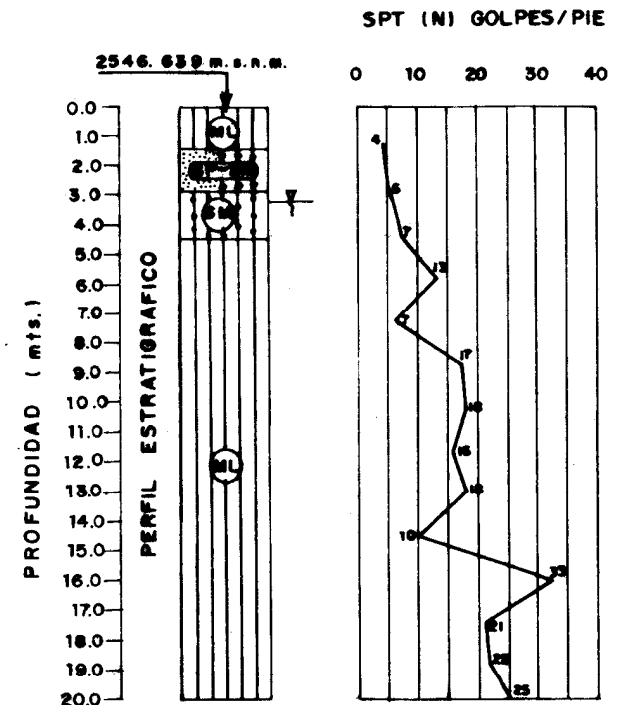
(A) : SONDAJE ESTRIBO ESTE

FUENTE: ESTUDIO GEOTECNICO COMPLEMENTARIO-SETIEMBRE 1992 COCHABAMBA-BOLIVIA.



(B) : SONDAJE PILAR CENTRAL

FUENTE: ESTUDIO GEOTECNICO COMPLEMENTARIO SETIEMBRE 1992 COCHABAMBA-BOLIVIA.



(C) : SONDAJE ESTRIBO OESTE

FUENTE: ESTUDIO GEOTECNICO COMPLEMENTARIO-SETIEMBRE 1992 COCHABAMBA-BOLIVIA.

FIG. 2: PERFILES ESTRATIGRÁFICOS Y VALORES DE N (GOLPES/PIE) EN LOS ESTRIBOS Y LA PILA CENTRAL DE PUENTE KILLMAN-COCHABAMBA

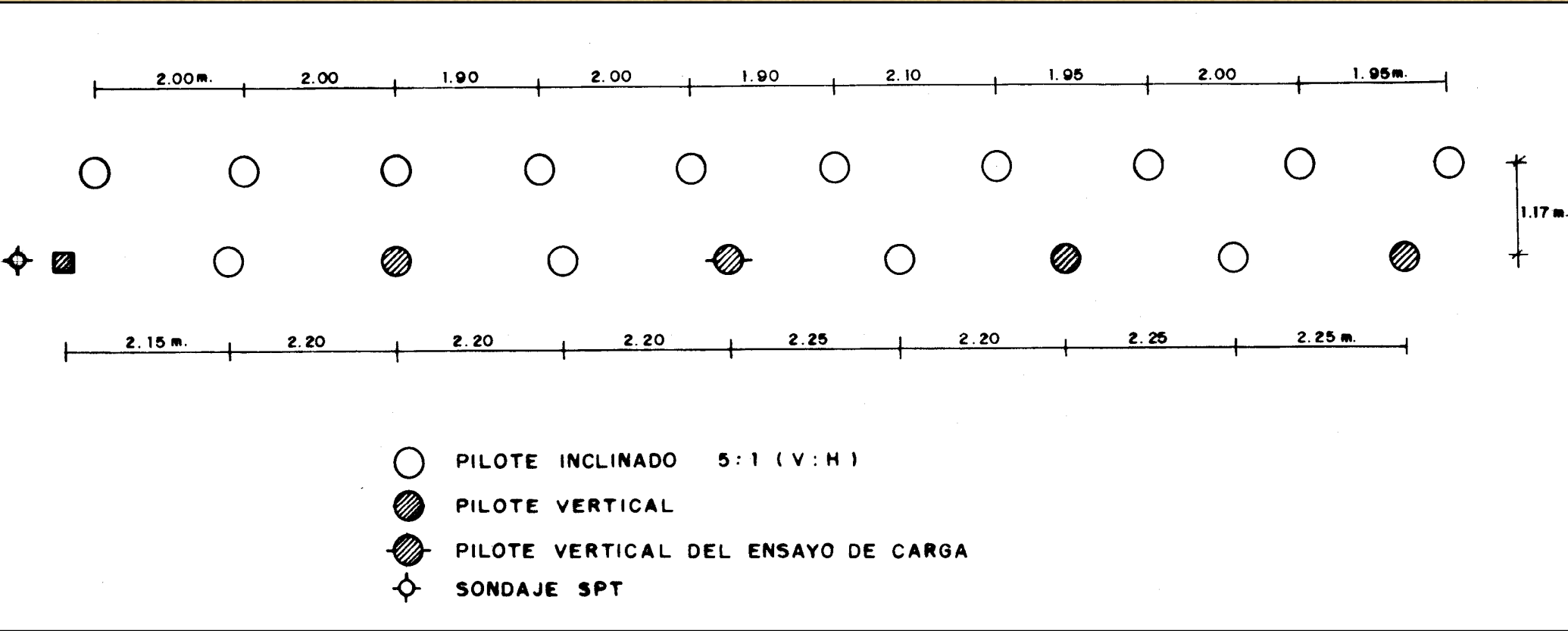


FIG N° 3: UBICACIÓN "IN SITU" DE LOS PILOTES TIPO FRANKI (ESTRIBO ESTE PUEBLO KILLMAN, COCHABAMBA, BOLIVIA)

PREDICCIÓN DE LA CARGA ÚLTIMA

La predicción de la carga última y de la carga admisible de los pilotes individuales se realizó mediante el programa de cómputo FEPC (Guillén, 1994), que incorpora los métodos de Aoki-Velloso (1975), Decourt-Quaresma (1978), P.P. Velloso (1982) y Meyerhof (1976).

El programa requiere el conocimiento del perfil estratigráfico, los valores de N (golpes/pie) del ensayo SPT con profundidad, los parámetros de los distintos métodos involucrados, el tipo de pilote y sus dimensiones

DATOS DEL PILOTE
 INTERESADO : PROYECTO PUENTE KILLMAN
 LOCALIDAD DE LA OBRA : COCHAAMBA - BOLIVIA
 IDENTIF. DE SONDAJE : ESTRIBO ESTE
 IDENTIF. DE PILOTE : ESTRIBO ESTE
 TIPO DE PILOTE : FRANKI (0.45 * 0.60 mts.)
 DIAMETRO DEL FUSTE : .45
 COTA DEL TERRENO : 2546.878
 COTA SUP. DEL PILOTE : 2546.878

METODO AOKI-VELLOSO

LONG.	PROF.	SPT	RL(KN)	RP(KN)	RT(KN)	RADM(KN)
2	2	2	6.8	124.4	131.2	52.5
3	3	2	13.7	124.4	138.1	55.2
4	4	2	20.5	124.4	144.9	58.0
5	5	4	27.4	361.9	389.3	155.7
6	6	7	45.5	633.3	678.8	271.5
7	7	3	77.1	271.4	348.5	139.4
8	8	6	90.7	149.3	240.0	96.0
9	9	11	105.6	273.7	379.3	151.7
10	10	13	133.0	323.5	456.5	182.6
11	11	14	165.3	348.3	513.6	205.4
12	12	14	200.2	348.3	548.5	219.4
13	13	14	235.0	348.3	583.3	233.3
14	14	20	269.9	1244.1	1514.0	605.6
15	15	22	338.3	1368.5	1706.8	682.7
16	16	22	413.5	1368.5	1782.0	712.8
17	17	18	488.8	468.2	957.0	382.8
18	18	18	528.6	468.2	956.8	398.7
19	19	20	568.4	520.2	1088.6	435.4
20	20	19	612.6	494.2	1106.8	442.7

METODO DECOURT-QUARESMA

LONG.	PROF.	SPT	RL(KN)	RP(KN)	RT(KN)	RADM(KN)
1	1	2	14.1	94.2	108.3	34.4
2	2	2	37.7	141.4	179.1	64.4
3	3	2	61.3	141.4	202.7	82.5
4	4	2	84.8	188.5	273.3	112.4
5	5	4	108.4	490.1	598.5	205.9
6	6	7	141.4	527.8	669.2	240.7
7	7	3	188.5	603.2	791.7	295.8
8	8	6	216.8	226.2	443.0	223.3
9	9	11	259.2	339.3	598.5	284.2
10	10	13	325.2	429.8	755.0	357.6
11	11	14	400.6	463.7	864.3	424.1
12	12	14	480.7	475.0	955.7	488.5
13	13	14	560.8	542.9	1103.7	567.1
14	14	20	640.9	1319.5	1960.4	822.9
15	15	22	749.3	1508.0	2257.3	953.4
16	16	22	867.1	1460.8	2327.9	1032.2
17	17	18	984.9	1093.3	2078.2	1030.9
18	18	18	1083.8	1055.6	2139.4	1097.6
19	19	20	1182.8	1074.4	2257.2	1178.4

METODO PEDRO PAULO VELLOSO

LONG.	PROF.	SPT	RL(KN)	RP(KN)	RT(KN)	RADM(KN)
4	4	2	77.5	321.7	399.2	159.7
5	5	4	103.4	391.9	495.3	198.1
6	6	7	151.4	433.3	584.7	233.9
7	7	3	235.5	419.3	654.8	261.9
8	8	6	271.6	500.8	772.4	309.0
9	9	11	325.0	620.5	945.5	378.2
10	10	13	423.0	677.8	1100.8	440.3
11	11	14	538.8	687.3	1226.1	490.4
12	12	14	663.5	927.9	1591.4	636.6
13	13	14	788.2	1201.3	1989.5	795.8
14	14	20	912.8	1562.9	2475.7	990.3
15	15	22	1104.4	1672.3	2776.7	1110.7
16	16	22	1312.5	1743.2	3055.7	1222.3
17	17	18	1520.6	1807.5	3328.1	1331.2
18	18	18	1775.1	1921.0	3696.1	1478.4

METODO MEYERHOFF SIN CORRECCION DE SPT

LONG.	PROF.	SPT	RL(KN)	RP(KN)	RT(KN)	RADM(KN)
1	1	2	0.0	37.7	37.7	15.1
2	2	2	17.0	37.7	54.7	21.9
3	3	2	33.9	75.4	109.3	43.7
4	4	2	50.9	113.1	164.0	65.6
5	5	4	67.9	226.2	294.1	117.6
6	6	7	101.8	282.7	384.5	153.8
7	7	3	161.2	424.1	585.3	234.1
8	8	6	186.6	339.3	525.9	210.4
9	9	11	237.5	424.1	661.6	264.6
10	10	13	330.8	572.6	903.4	361.4
11	11	14	441.1	699.8	1140.9	456.4
12	12	14	559.8	933.1	1492.9	597.2
13	13	14	678.6	1102.7	1781.3	712.5
14	14	20	797.3	1166.3	1963.6	785.4
15	15	22	967.0	1314.8	2281.8	912.7
16	16	22	1153.6	1484.4	2638.0	1055.2
17	17	18	1340.2	1611.6	2951.8	1180.7
18	18	18	1492.9	1654.0	3146.9	1258.8
19	19	20	1645.6	1611.6	3257.2	1302.9

METODO MEYERHOFF CON CORRECCION DE SPT

LONG.	PROF.	SPT	RL(KN)	RP(KN)	RT(KN)	RADM(KN)
1	1	2	0.0	37.7	37.7	15.1
2	2	2	17.0	37.7	54.7	21.9
3	3	2	33.9	75.4	109.3	43.7
4	4	2	50.9	113.1	164.0	65.6
5	5	4	67.9	226.2	294.1	117.6
6	6	7	101.8	282.7	384.5	153.8
7	7	3	161.2	424.1	585.3	234.1
8	8	6	185.8	337.2	523.0	209.2
9	9	10	232.4	411.4	643.8	257.5
10	10	11	313.8	530.1	843.9	337.5
11	11	11	406.3	612.8	1019.1	407.6
12	12	11	502.2	791.0	1293.2	517.3
13	13	11	594.6	905.5	1500.1	600.0
14	14	15	683.7	924.6	1608.3	643.3
15	15	16	806.7	1000.9	1807.6	723.0
16	16	15	938.1	1009.4	1947.5	779.0
17	17	12	1065.4	1009.4	2074.8	829.9
18	18	12	1166.3	1022.1	2188.4	875.4
19	19	13	1264.7	983.9	2248.6	899.4

**TABLA Nº 1 RESULTADOS DE PREDICCIÓN DE LA CARGA ÚLTIMA DE PILOTES PUENTE
KILLMAN (FRANKI ARTESANAL $\phi = 0.45$ m $\phi_B = 0.60$ m L = 10.7 m)**

Carga Última (Toneladas)						
Sondaje	Método	Aoki-Velloso	Decourt-Quaresma	P.P. Velloso	Meyerhof (SC)*	Meyerhof (CC)*
Estribo Este		50.7	84.8	121.3	109.1	98.6

Carga Diseño (Ton) FS = 2.5	20.3	33.9	48.5	43.7	39.5
--	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

(SC) Sin corrección

(CC) Con corrección

ENSAYO DE CARGA

Con el propósito de verificar la carga última de los pilotes individuales del estribo este del puente Kilman, los cuales arrojaron un valor menor de carga de diseño que los del estribo oeste, se ejecutó un ensayo de carga siguiendo la norma ASTM D-1143.

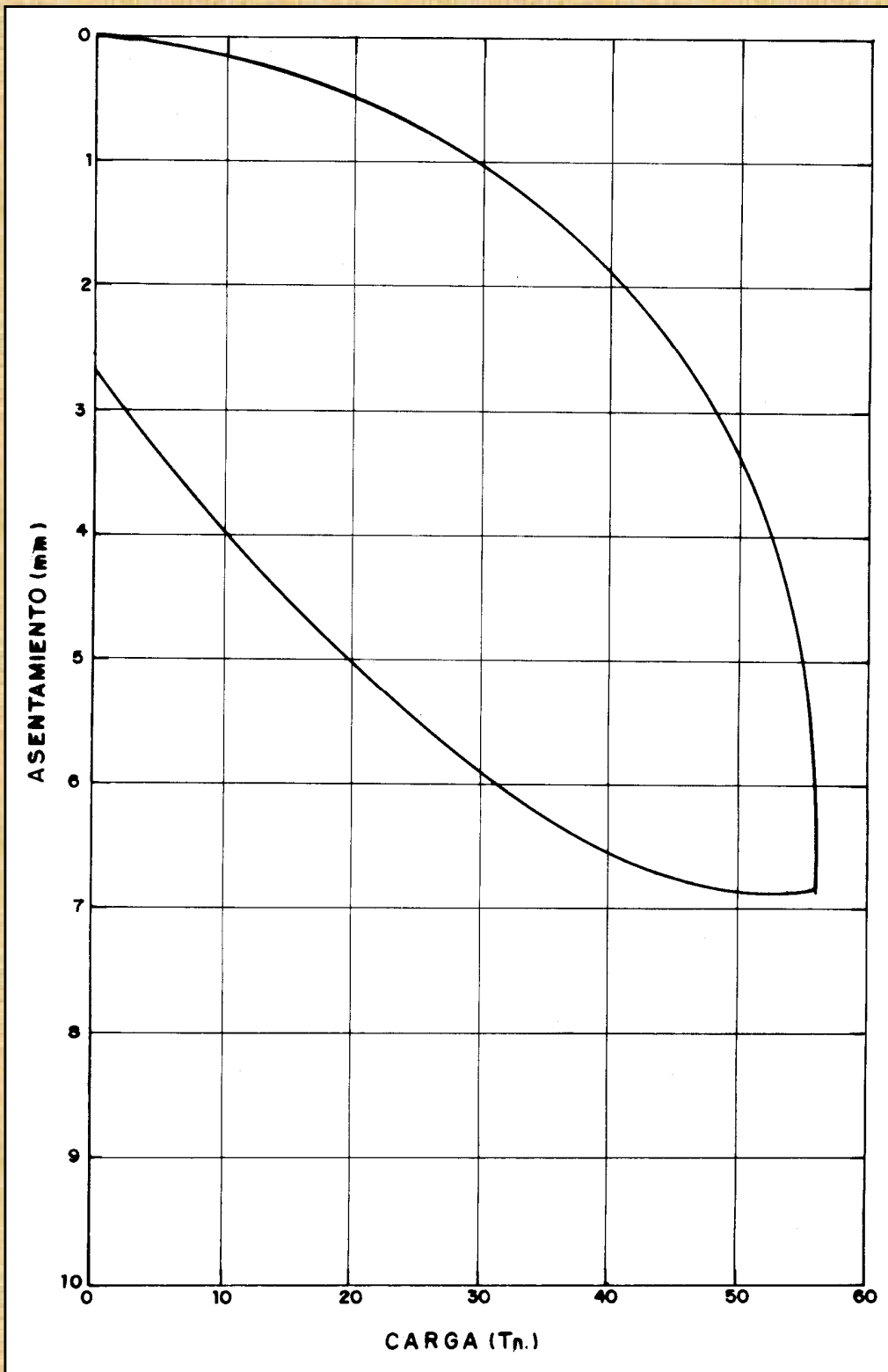


FIG N° 4

**RESULTADO DEL ENSAYO DE CARGA
(PILOTE TIPO FRANKI ESTRIBO-
PUENTE KILLMAN, COCHABAMBA-
BOLIVIA)**

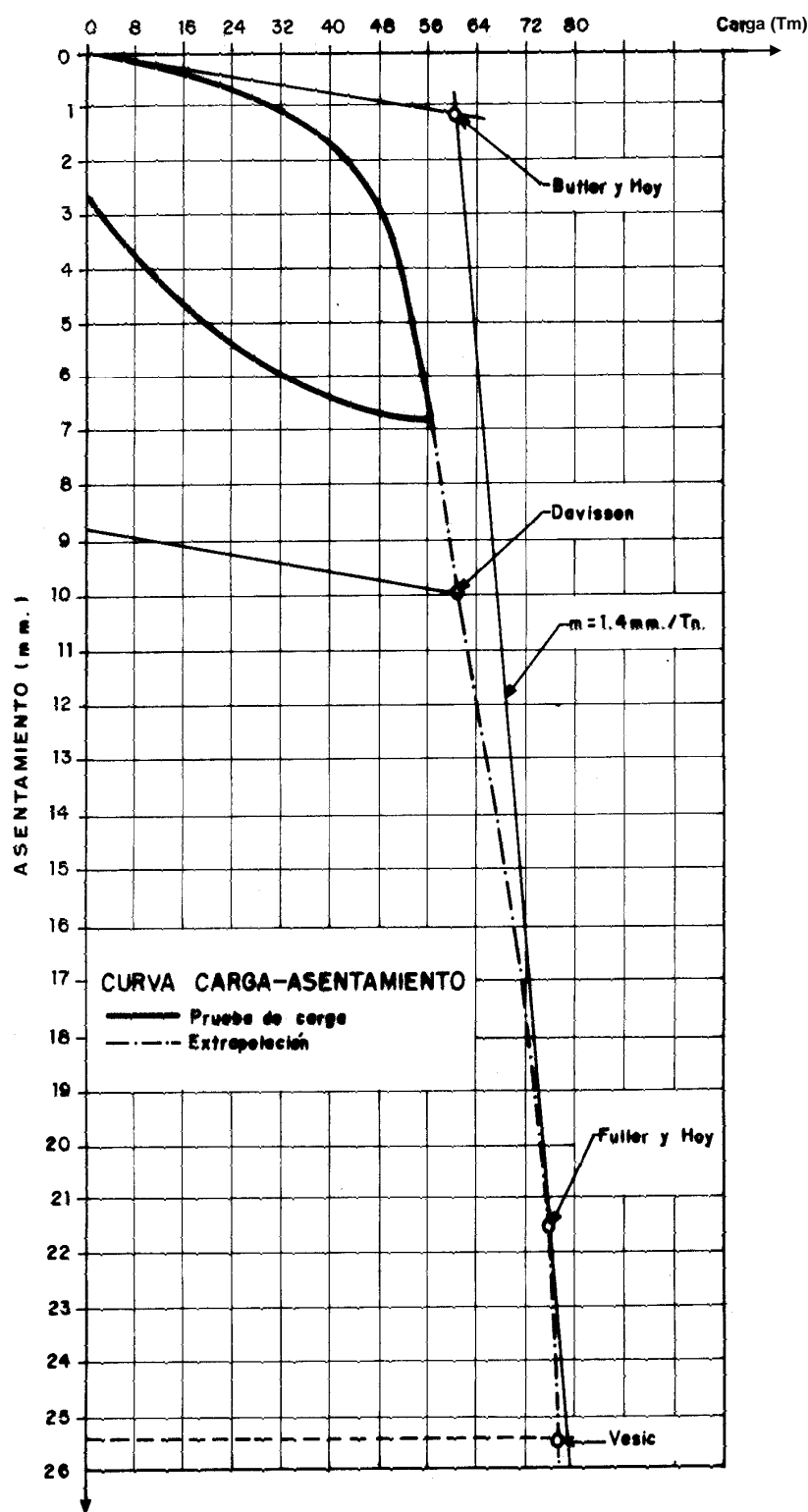


FIG N° 5

**RESULTADO DEL ENSAYO DE CARGA
(PILOTE TIPO FRANKI ESTRIBO-
PUENTE KILLMAN, COCHABAMBA-
BOLIVIA)**

Carga Última (Toneladas)					
Pilote	Método	Davisson	Butler y Hoy	Fuller y Hoy	Vesic ($\rho = 1''$)
	Estribo Este	60	60.9	75.5	78
	Carga Diseño (Tons) FS = 2.0	30	30.5	37.8	39

**TABLA Nº 2 RESULTADOS DE INTERPRETACIÓN DE ENSAYOS DE CARGA EN PILOTES
PUENTE KILLMAN (FRANKI ARTESANAL $\phi = 0.45$ m $\phi_B = 0.60$ m L =10.7 m)**

CONCLUSIONES

- 1) Se ejecutó un ensayo SPT al costado del grupo de pilotes del estribo este.
- 2) El método Aoki-Velloso predijo la carga última mas baja. El pilote se diseño con una carga de 30 Ton.
- 3) Se ordenó la ejecución de un ensayo de carga en el estribo este para verificar la carga última.
- 4) La carga de diseño en base al ensayo de carga (FS = 2.0) fue superior a 30 Ton.
- 5) El método de Davisson es similar al de Butler y Hoy, producen resultados inferiores a los métodos de Fuller y Hoy y Vesic.
- 6) El factor de eficiencia de grupo es de 1.0.
- 7) El asentamiento del grupo es inferior a 1 pulgada.