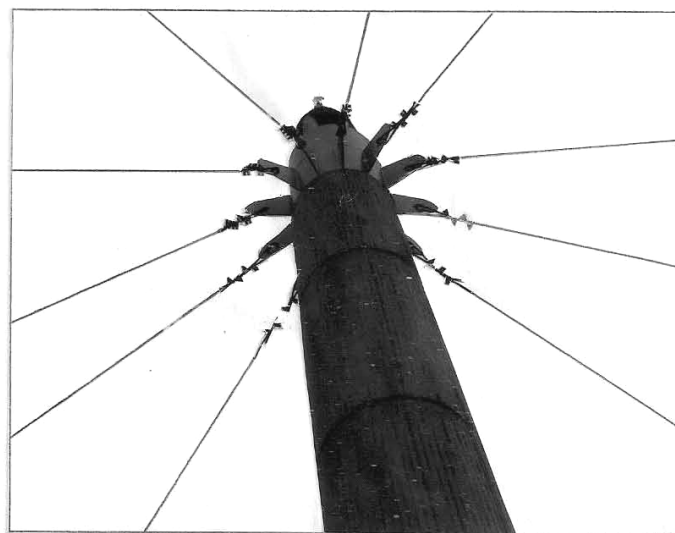


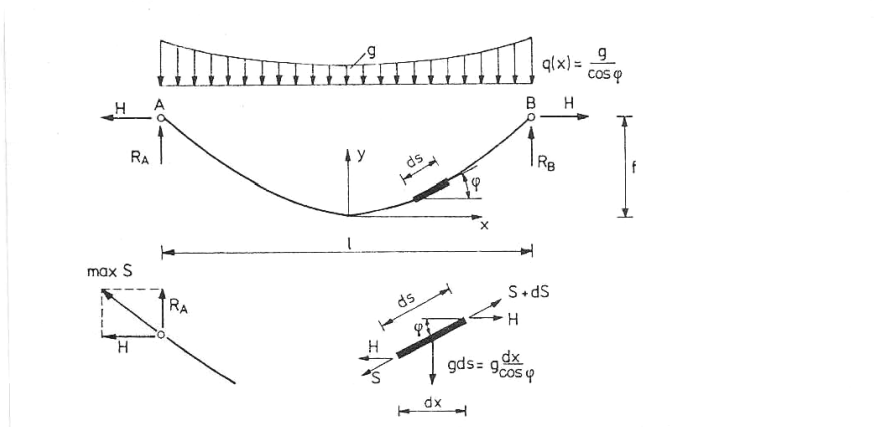
Introducción a la teoría general de cables



Por: Ing. Luis Gonzalo Mejía C

• Capítulo 1

Teoría general de Cables.



Cable bajo la acción del peso propio

1. Determinación de la ecuación del cable

Con $q(x) = g/\cos \varphi$, el cable adopta la siguiente forma:

$$y = k \left(\cosh \frac{x}{k} - 1 \right) \quad (1) \quad \text{con } k = H/g$$

$$\text{Para } x = l/2 \Rightarrow y = f = k \left(\cosh \frac{l}{2k} - 1 \right) \quad (2)$$

➔ Conclusion:

Conocido H , se pueden determinar en (1) los ordenados del cable.

2. Problema : En general tanto H como f son desconocidos

3. Determinación de H

La longitud del cable está dada por $S = \int_A^B (1+y'^2)^{1/2} dx$ (3)

Con $y' = \sinh x/k$ y $k = H/g$ e integrando:

$$S = \frac{2H}{g} \sinh \frac{lg}{2H} \quad (4)$$

Aunque $S = S_0 + \Delta S_e + \Delta S_t$ (5) (S = longitud final del cable).

Con S_0 = longitud inicial del cable

$$\text{Def. elástica: } \Delta S_e = \int_0^l \epsilon ds = \frac{H}{EA} \int_0^l (1+y'^2) dx = \frac{H^2}{EA g} \left(\frac{lg}{2H} + \frac{1}{4} \sinh \frac{2lg}{H} \right) \quad (6)$$

$$\text{Def. por temperatura } \Delta S_t = \alpha_t \Delta t S_0 \quad (7) \quad (\alpha_t = 0,000012)$$

Con (4), (6) y (7) en (5) se obtiene la ecuación "exacta" del cable:

$$\frac{2H}{g} \sinh \frac{lg}{2H} = S_0 (1 + \alpha_t \Delta t) + \frac{H^2}{EA g} \left(\frac{lg}{2H} + \frac{1}{4} \sinh \frac{2lg}{H} \right) \quad (8)$$

La cual en general se resuelve por tanteos.

4 Simplificación de la ecuación del cable

En la práctica usualmente se supone q' el peso del cable es constante, es decir $q(x) = q = \text{const}$. Con este supuesto, la curva adoptada por el cable parece a ser una parábola de 2º grado de longitud

$$S' \approx l \left[1 + \frac{8}{3} \left(\frac{f}{l} \right)^2 \right] \quad (9)$$

Como $f = \frac{q l^2}{8H}$ se tiene

$$S' \approx l \left(1 + \frac{q^2 l^2}{24 H^2} \right) \quad (10)$$

Además la deformación elástica se puede expresar como

$$\Delta S_e \approx \frac{H \cdot S_0}{EA} \quad (11)$$

De esta forma (5) $S' = S_0 + \Delta S_e + \Delta S_t$ se convierte en

$$l \left(1 + \frac{q^2 l^2}{24 H^2} \right) = S_0 (1 + \alpha_t \Delta t) + \frac{H \cdot S_0}{EA}$$

Después de algunos transposicionamientos se obtiene la ecuación simplificada (aproximada) para el cable

$$H^3 + H^2 EA \left[1 - \frac{1}{S_0} (1 - \alpha_t \Delta t S_0) \right] = \frac{EA q^2 l^3}{24 S_0} \quad (12)$$

5. Análisis comparativo

de table 1 nos permite obtener conclusiones acerca de cuando, en que circunstancias, la ecuación simplificada puede utilizarse sin mayores errores.

s_0 l	H_k H_p	f_p l	f_k l	$\frac{f_k}{f_p}$
1.01	1.0000	0.061	0.061	1.0000
1.02	1.0006	0.087	0.087	1.0000
1.03	1.0029	0.106	0.107	1.0094
1.04	1.0048	0.122	0.124	1.0164
1.05	1.0065	0.136	0.139	1.0221
1.10	1.0143	0.194	0.200	1.0351
1.20	1.0287	0.274	0.294	1.0657
1.30	1.0421	0.335	0.367	1.0955
1.40	1.0555	0.387	0.438	1.1318
1.50	1.0679	0.433	0.502	1.1594

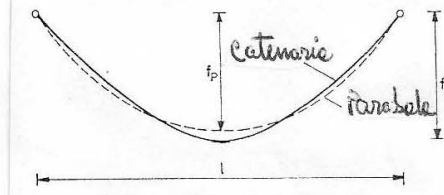


Gráfico comparativo de la solución aproximada (H_p, f_p) con la exacta (H_k, f_k)
Tabla 1.

Conclusion : Para flechas pequeñas, ($f/l \leq 0,1$) las diferencias entre ambos métodos carecen de importancia

6. Características de los cables.

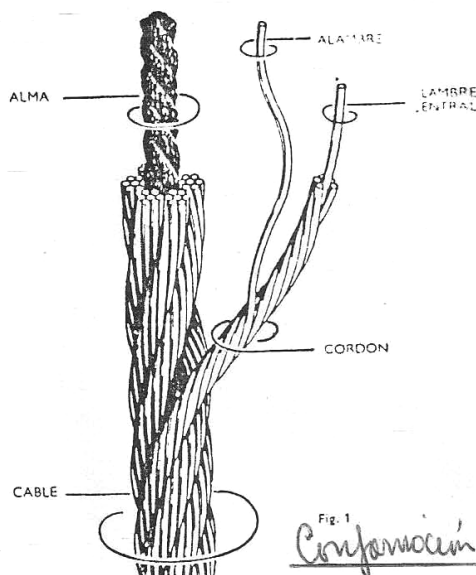
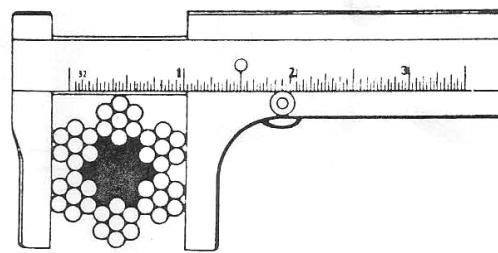
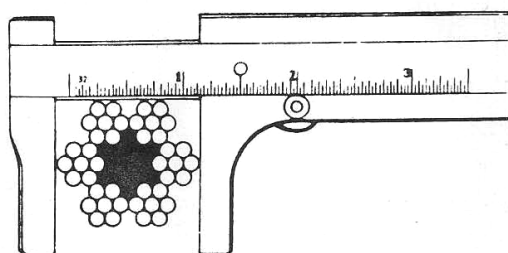


Fig. 1
Conformación

Notación. La composición de un cable viene expresado por una notación compuesta de tres cifras, por ejemplo, $6 \times 19 + 1$ Seale. La primera indica el número de cordones del cable, la segunda el número de alambres que forman cada cordón y la tercera el número de almas textiles. La palabra Seale indica una disposición especial de los alambres en los cordones, es decir, el tipo del cable.

Si el alma del cable no es textil, sino metálica formada de alambres, se sustituye la última cifra por una notación entre paréntesis que indica la composición de dicha alma. Por ejemplo, $6 \times 19 + (7 \times 7 + 0)$.

Cuando los cordones o ramales del cable sean otros cables, se sustituirá la segunda cifra por una notación que señale su composición, también entre paréntesis. Por ejemplo, $6 \times (6 \times 7 + 1) + 1$.



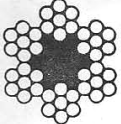
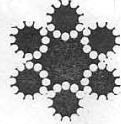
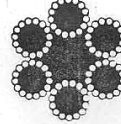
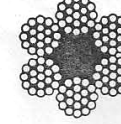
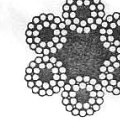
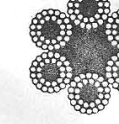
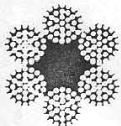
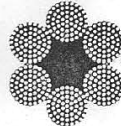
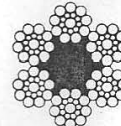
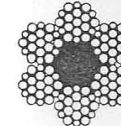
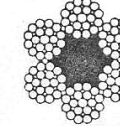
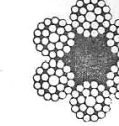
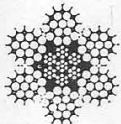
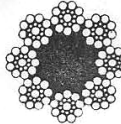
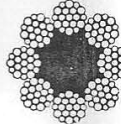
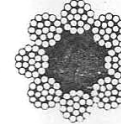
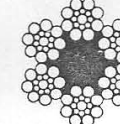
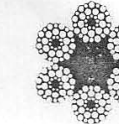
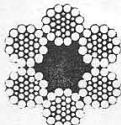
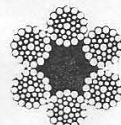
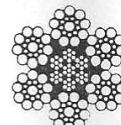
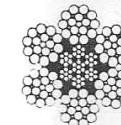
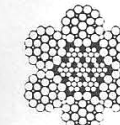
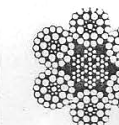
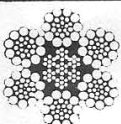
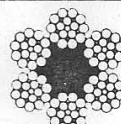
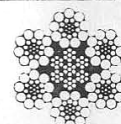
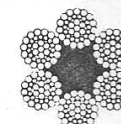
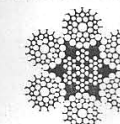
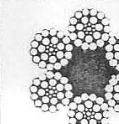
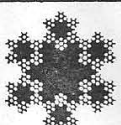
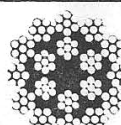
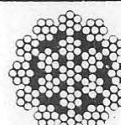
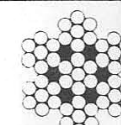
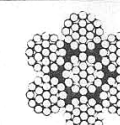
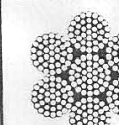
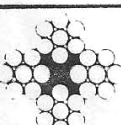
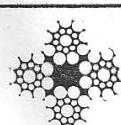
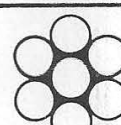
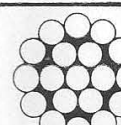
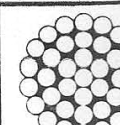
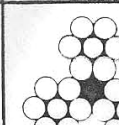
Determinación del diámetro

El modo CORRECTO consiste en medir el diámetro máximo.

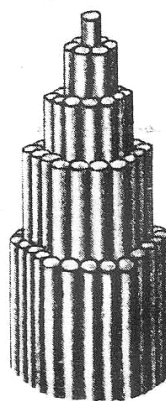
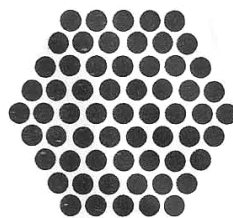
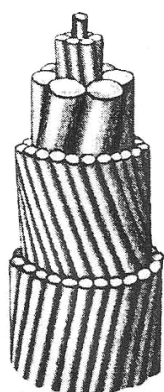
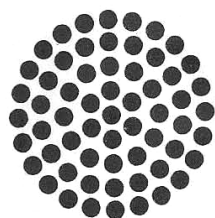
El modo INCORRECTO consiste en medir el diámetro mínimo.

7. Tipos de cables

7.1. Emcocables

					
6x7	6x12	6x15	6x19	6x24	6x30
					
6x37	6x61	6xS(19)	6xW(19)	6xFi(25)	6xFi(29)
					
6xFi(25)IWRC	8xS(19)	8xW(19)	8xFi(25)	6xS(17)	6xSew(43)
					
6xWS(31)	6xWS(36)	6xS(19)IWRC	6xFi(21)IWRC	6xFi(25)IWRC	6xSFi(41)IWRC
					
6xWS(26)IWRC	6xFi(21)	6xSeS(25)IWRC	6xSeS(37)	6xWS(41)IWRC	6xSFi(36)
					
6x(6x7)	18x7	19x7	7x7	7x19	7x37
					
4x7	4xS(19)	1x7	1x19	1x37	3x7

7.2 Tipos de Cables (Bethlehem)



8. Propiedades físicas y mecánicas (Emcocables)

PROPIEDADES FÍSICAS Y MECANICAS DE LOS CABLES DE ACERO

RESISTENCIA DE ROTURA – TONELADAS DE 2.000 LIBRAS														
DIAM. PULG.	6X7		6 X 19 6 X 37 CLASIFICACION				6 X 19 6 X 37 CLASIFICACION		8 X 19 CLASIFICACION			18X7 or 19X7		DIAM. PULG.
	IPS		XIPS		IPS		IPS		IPS		XIPS	IPS	XIPS	
	F.C.	GALV. F.C.	F.C.	IWRC	F.C.	IWRC	GALV. F.C.	GAL IWRC	F.C.	IWRC	IWRC	—	—	
3/16	1.50	1.35	1.70		1.55	1.67	1.40	1.50						3/16
1/4	2.64	2.38	3.02	3.40	2.74	2.94	2.47	2.65	2.35			2.51	2.77	1/4
5/16	4.10	3.69	4.60	5.27	4.26	4.58	3.83	4.12	3.65			3.90	4.30	5/16
3/8	5.86	5.27	6.71	7.55	6.10	6.56	5.49	5.90	5.24	5.76	6.63	5.59	6.15	3/8
7/16	7.93	7.14	9.09	10.2	8.27	8.89	7.44	8.00	7.09	7.80	8.97	7.58	8.33	7/16
1/2	10.3	9.27	11.8	13.3	10.7	11.5	9.63	10.3	9.23	10.1	11.6	9.85	10.8	1/2
9/16	13.0	11.7	14.9	16.8	13.5	14.5	12.2	13.0	11.6	12.8	14.7	12.4	13.6	9/16
5/8	15.9	14.3	18.3	20.6	16.7	17.9	15.0	16.1	14.3	15.7	18.1	15.3	16.8	5/8
3/4	22.7	20.4	26.2	29.4	23.8	25.6	21.4	23.0	20.5	22.5	25.9	21.8	24.0	3/4
7/8	30.7	27.6	35.4	39.8	32.2	34.6	29.0	31.1	27.7	30.5	35.0	29.5	32.5	7/8
1	39.7	35.7	46.0	51.7	41.8	44.9	37.6	40.4	36.0	39.6	45.5	38.3	42.2	1
1-1/8	49.8	44.8	57.9	65.0	52.6	56.5	47.3	50.9	45.3	49.8	57.3	48.2	53.1	1-1/8
1-1/4	61.0	54.9	71.0	79.9	64.6	69.4	58.1	62.5	55.7	61.3	70.4	59.2	65.1	1-1/4
1-3/8	73.1	65.8	85.4	96.0	77.7	83.5	69.9	75.1	67.1	73.8	84.9	71.3	78.4	1-3/8
1-1/2	86.2	77.6	101	114	92.0	98.9	82.8	89.0	79.4	87.3	100	84.4	92.8	1-1/2
1-5/8			118	132	107	115	96.3	104						1-5/8
1-3/4			136	153	124	133	112	120						1-3/4
1-7/8			155	174	141	152	127	137						1-7/8

IPS = Improved Plow Steel

XIPS = Extra Improved Plow Steel

*note: F.C. = Alambre de fibra
 IWRC = Alambre de acero*

9. Factores de seguridad.

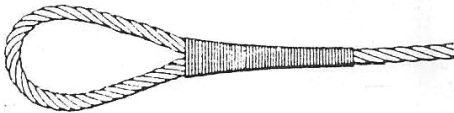
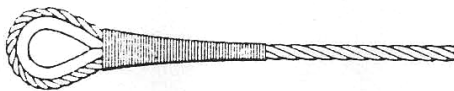
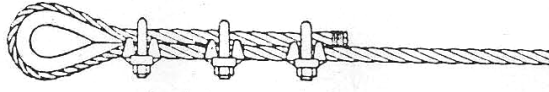
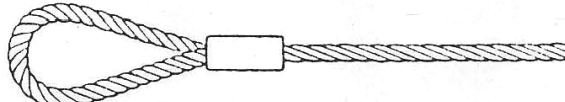
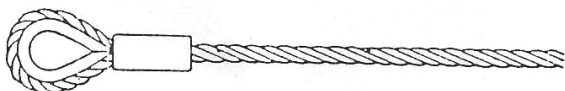
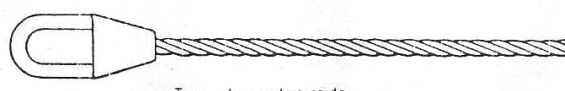
Son variables según el uso. Para nuestro medio recomendamos usar un factor de seguridad de 4,0 como mínimo.

USO	FACTOR
Cables fijos. Cables de puentes colgantes	3-4
Cables carriles para teleféricos	3.1/2-5
Cables tractores para teleféricos	5-7
Cables de labor, elevación y grúas	5-9
Cables para instalaciones importantes	8-12
Cables para transporte de personal	8-12
Cables para planos inclinados	5-8
Cables para pozos de extracción	8-12
Cables para ascensores	8-17
Cables para cabrestantes y trenajes	4-8

10 Terminales para cables

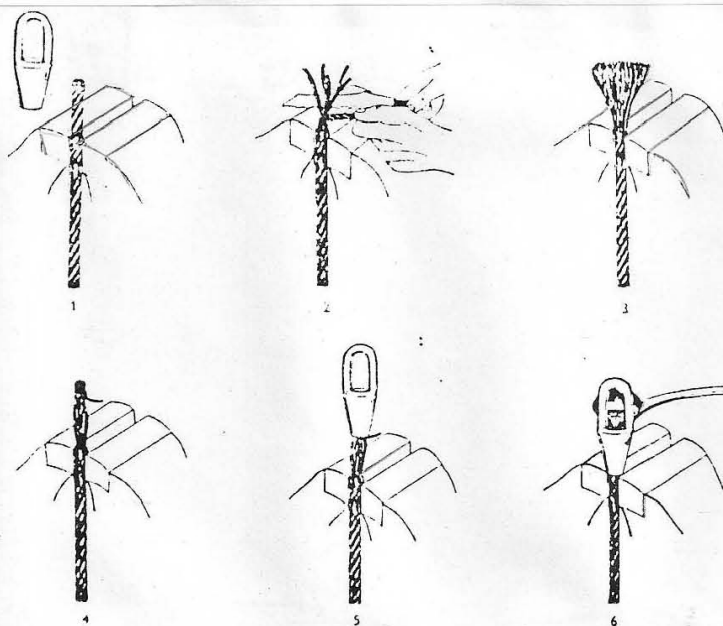
La designación depende de cada fabricante. Su eficiencia es variable siendo óptima la de Casquillo con metal fundido. En la hoja C9.2 se dan algunas recomendaciones específicas para este tipo de terminal.

CUADRO COMPARATIVO DE TERMINALES

		Diám. mm cable	Resis. aprox.
OP		Hasta 16	90 %
	Ojal trenzado protegido	17 a 30	85 %
		31 a 40	80 %
GP		41 a 50	75 %
	Guardacabo trenzado protegido	50 adelante	70 %
GA			80 %
	Guardacabo con abrazaderas		
OT			95 %
	Ojal Talurit		
GT			98 %
	Guardacabo Talurit		
CC			100 %
	Terminal casquillo cerrado		
CA			100 %
	Terminal casquillo abierto		

Terminales según "Trazas y Cables de Acero" España.

Terminal con metal fundido

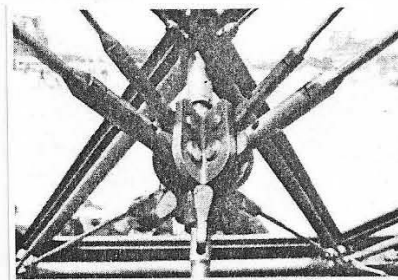
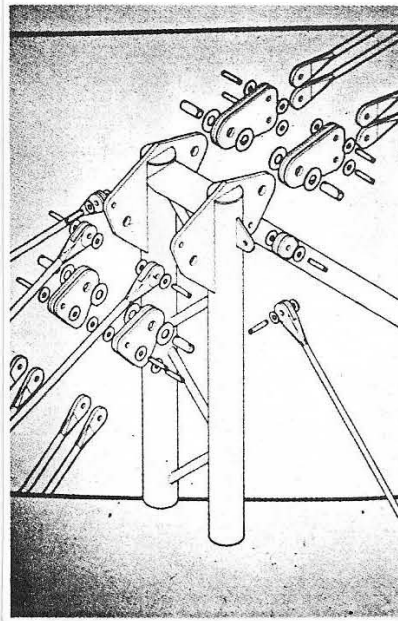


Como puede observarse en la figura, estos casquillos tienen una forma interior cónica, que es precisamente la que se opone al deslizamiento del cable una vez efectuada la colada de metal fundido. Para la colocación de estos casquillos deben efectuarse las siguientes operaciones:

1. Realizar las ligadas que pueden apreciarse en la figura. La distancia entre la primera y la segunda ligada debe ser igual a la profundidad del casquillo.
2. Quitar la ligada terminal y descablear cordones y alambres, eliminando el alma de fibra.
3. Los alambres deben ser cuidadosamente limpiados con gasolina, sumergidos en ácido clorhídrico y finalmente lavados con agua.
4. Reunir los alambres mediante una ligada a fin de poderlos introducir en el casquillo.
5. Colocar el casquillo, después de haberlo limpiado cuidadosamente, y quitar la atadura.
6. Efectuar la colada de metal fundido, envolviendo previamente con trapos o cabos la parte anterior del casquillo, a fin de evitar fugas de metal.

El metal de la colada debe ser con preferencia zinc puro o bien plomo-antimonio.

11 Otros tipos de terminales y ejemplo de aplicación (Barras)



12 Ejemplo de aplicación

Estructura en cables para el auditorio del
Parque San Antonio en Medellín.

12.1 Especificaciones

1) NORMAS:

CODIGO COLOMBIANO DE CONSTRUCCIONES SISMO-RESISTENTES Y EN
AUSENCIA DE UNA NORMA ESPECIFICA EN ESTE, EL MANUAL DEL AISC.

2) CARGAS DE DISEÑO:

CARGA MUERTA

CARGA VIVA 35 Kg./m²

VIENTO 100 Km./h

DE ACUERDO CON LO DEFINIDO CON EL MUNICIPIO, NO SE CONSIDERO
NINGUNA CARGA ADICIONAL PARA CUELGA DE VALLAS, EQUIPOS ETC.

3) MATERIALES:

CABLES DE EMCOCABLES O SIMILAR CON ALMA DE ACERO (6 x 19-XIPS-IWRC-GAL)
PERFILES TUBULARES TIPO PTS DE SIMESA O SIMILAR A.S.T.M. A 607 GRADO 50.
PLATINAS A.S.T.M. A 283 GRADO C O A.S.T.M. A 36
TUERCAS, PERNOS Y ARANDELAS A.S.T.M. A 307
CUBIERTA MODULAR LUXALON O SIMILAR EN CALIDAD.
SOLDADURAS A.W.S. D 1.1-77

4) PROTECCION:

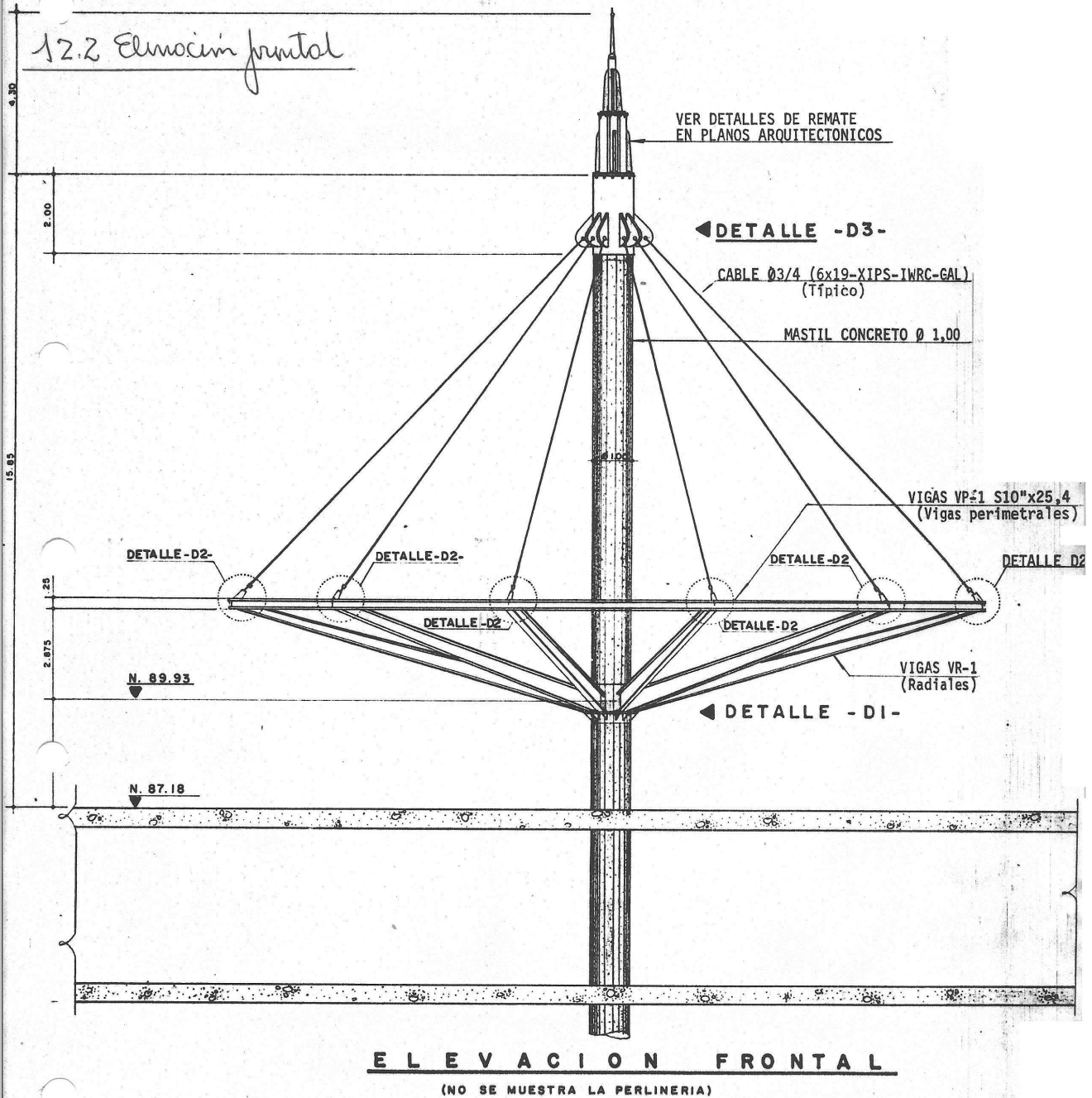
LOS TENSORES Y SUS ADITAMENTOS DE SOPORTE EN EL AUDITORIO, DEBEN
RECIBIR LA PROTECCION RECOMENDADA POR UNA EMPRESA ESPECIALIZADA
(PINTUCO O SIMILAR)

5) LA TEJA DE CUBIERTA DEBERA TENER LOS DISPOSITIVOS QUE PERMITAN SUS MOVIMIENTOS TERMICOS.

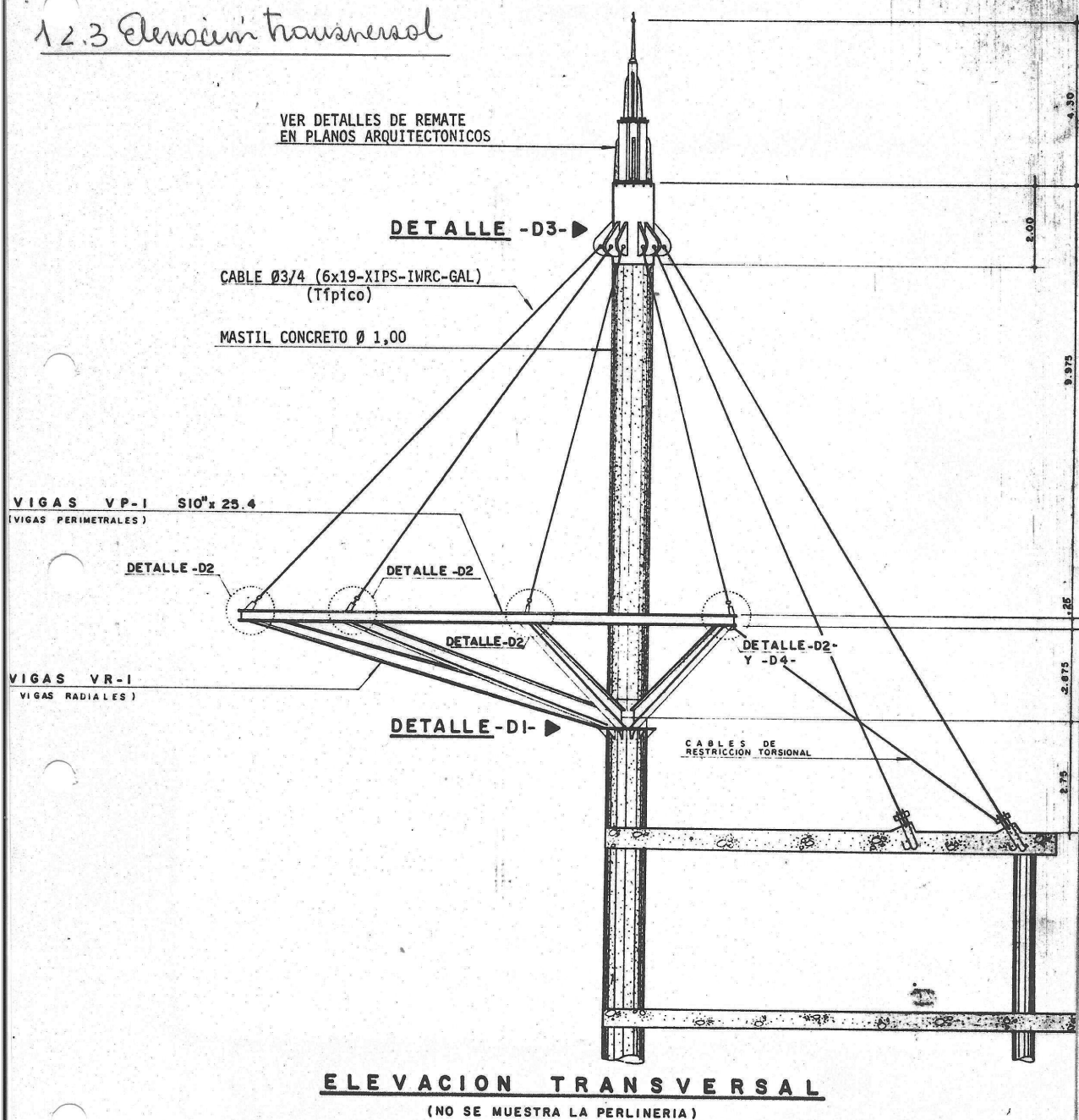
6) TODAS LAS SOLDADURAS SERAN CONTINUAS UTILIZANDO ELECTRODOS E70XX Y TAMAÑO DE FILETE DE 1,6 m.m.

7) TODAS LAS MEDIDAS DEBEN VERIFICARSE EN OBRA ANTES DE LA FABRICACION DE LA ESTRUCTURA.

12.2 Elmo en frontal



12.3 Elevación transversal



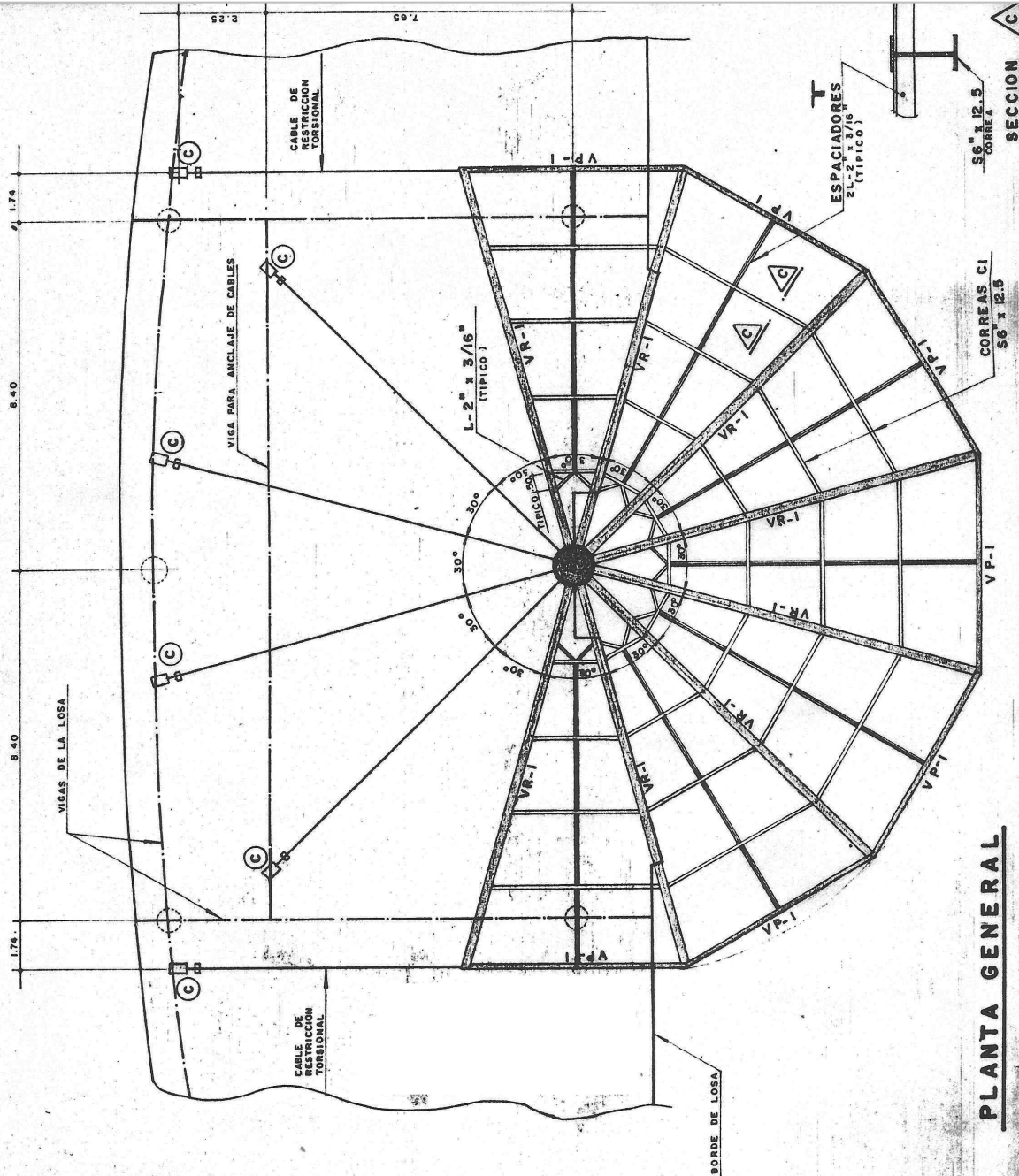
124 Plana

Luis Gonzalo Mejía C.
Ingeniero Consultor

Obra: Parque
San Antonio

Hoja: C11.3

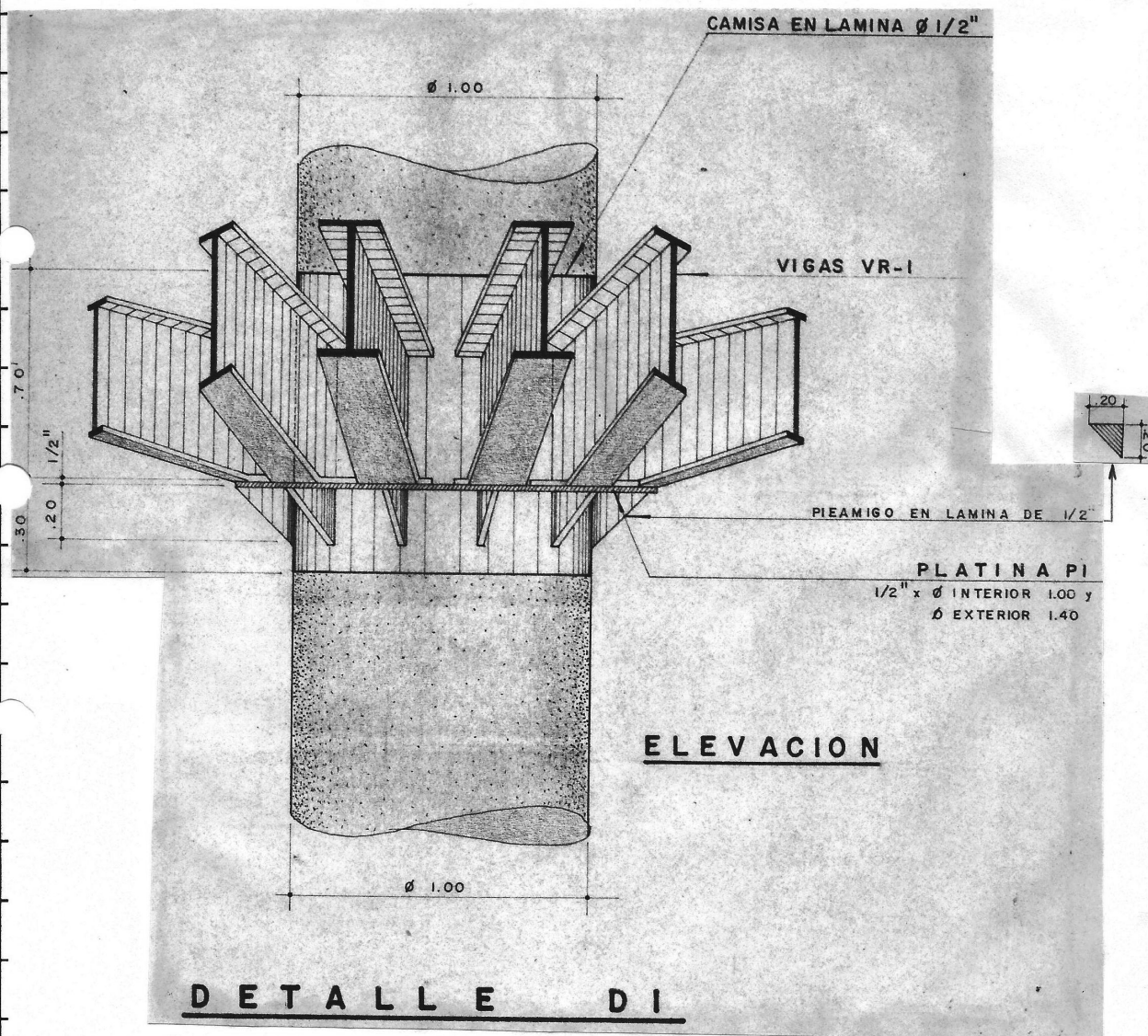
Fecha:



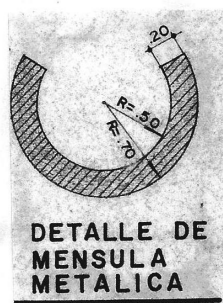
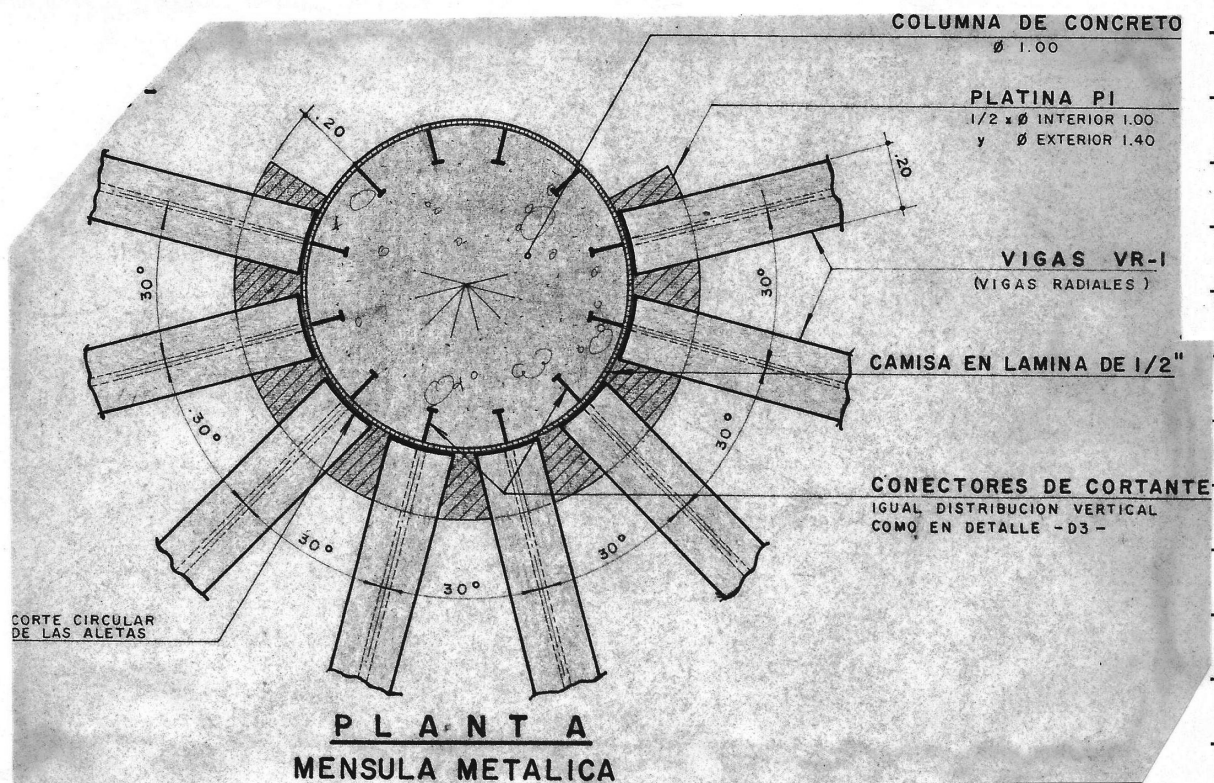
PLANTA GENERAL

SECCION C

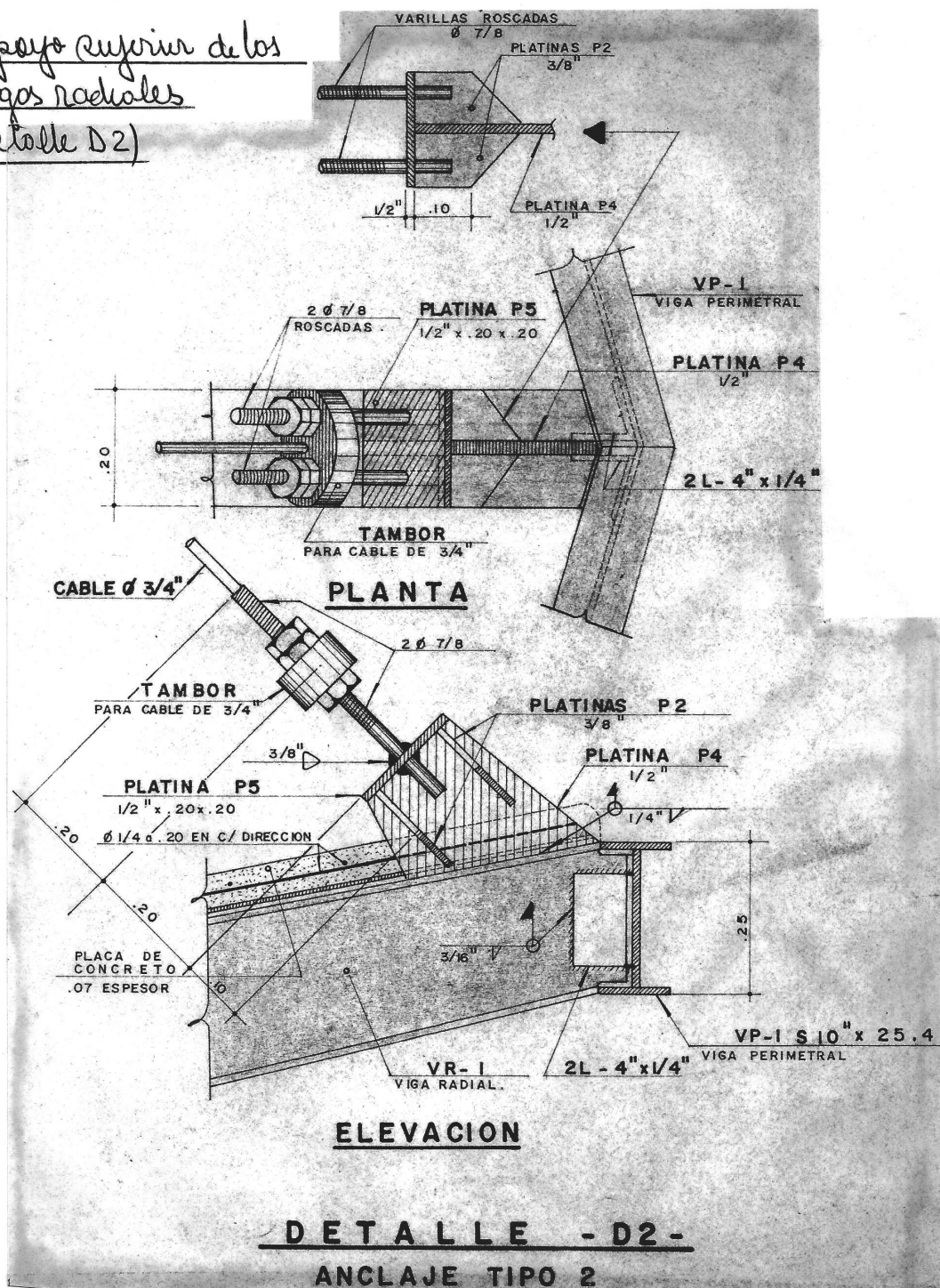
12.5 Apoyo inferior de vigas radiales (Detalle D1)



12.6 Detalle de ménsula metálica

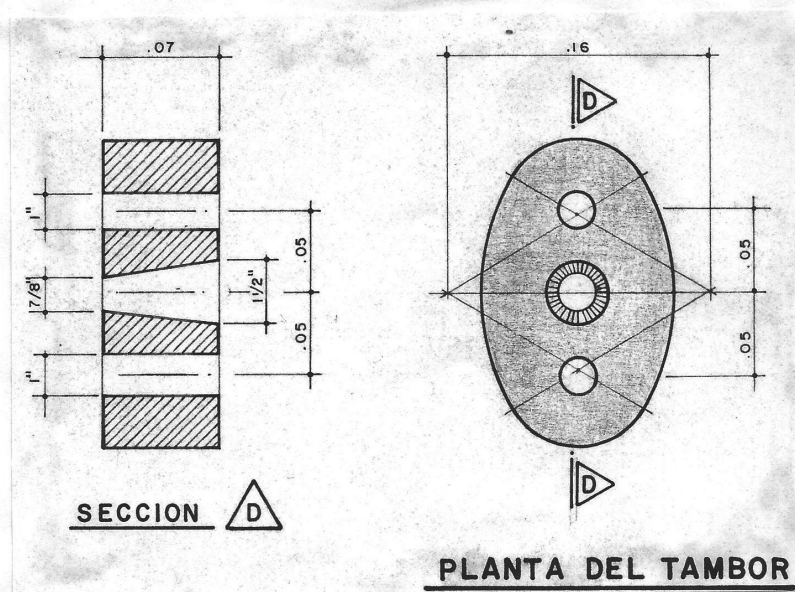


12.7 *Apoyo superior de los
vigas radiales*
(Detalle D2)

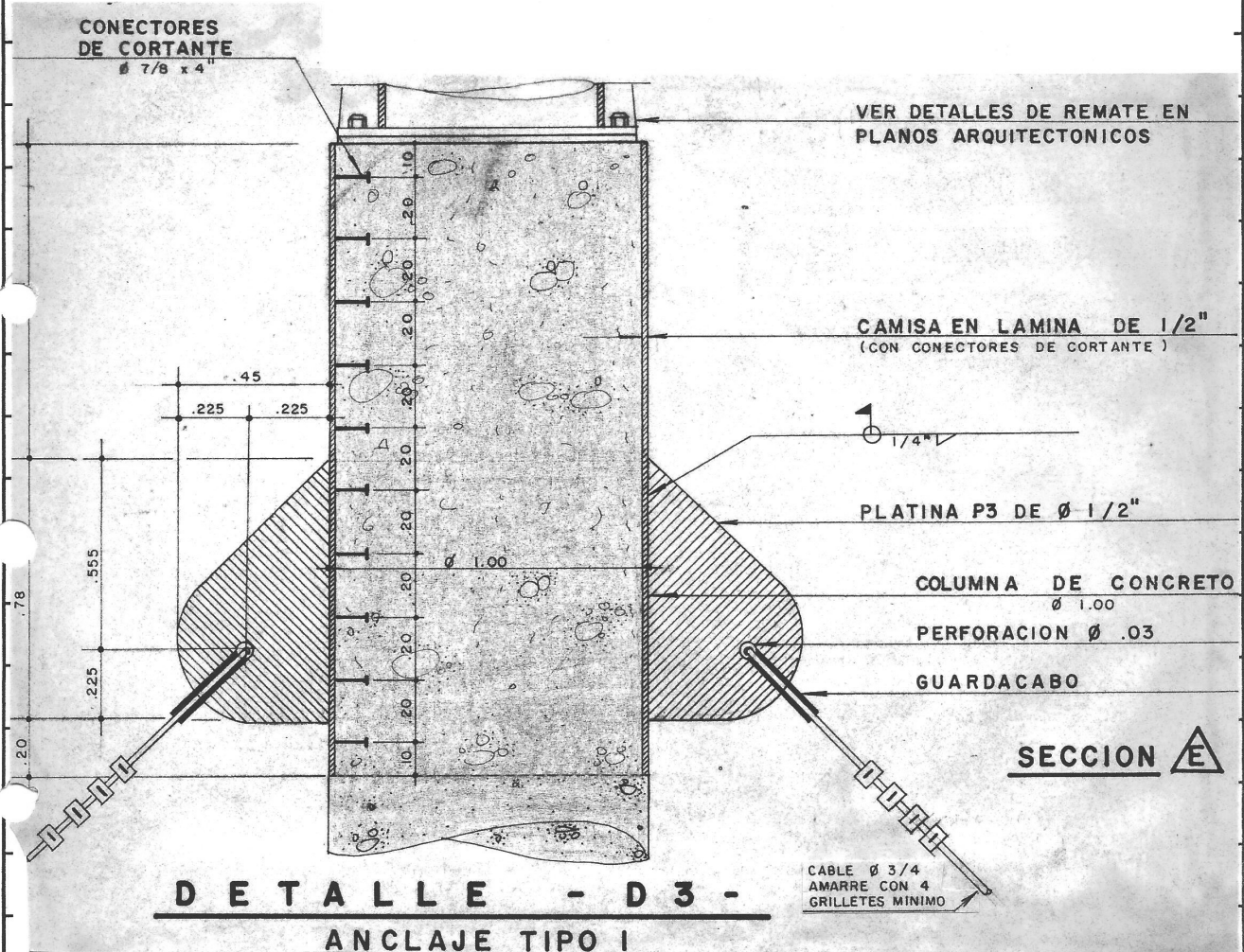


12.8 Detalles del tambor

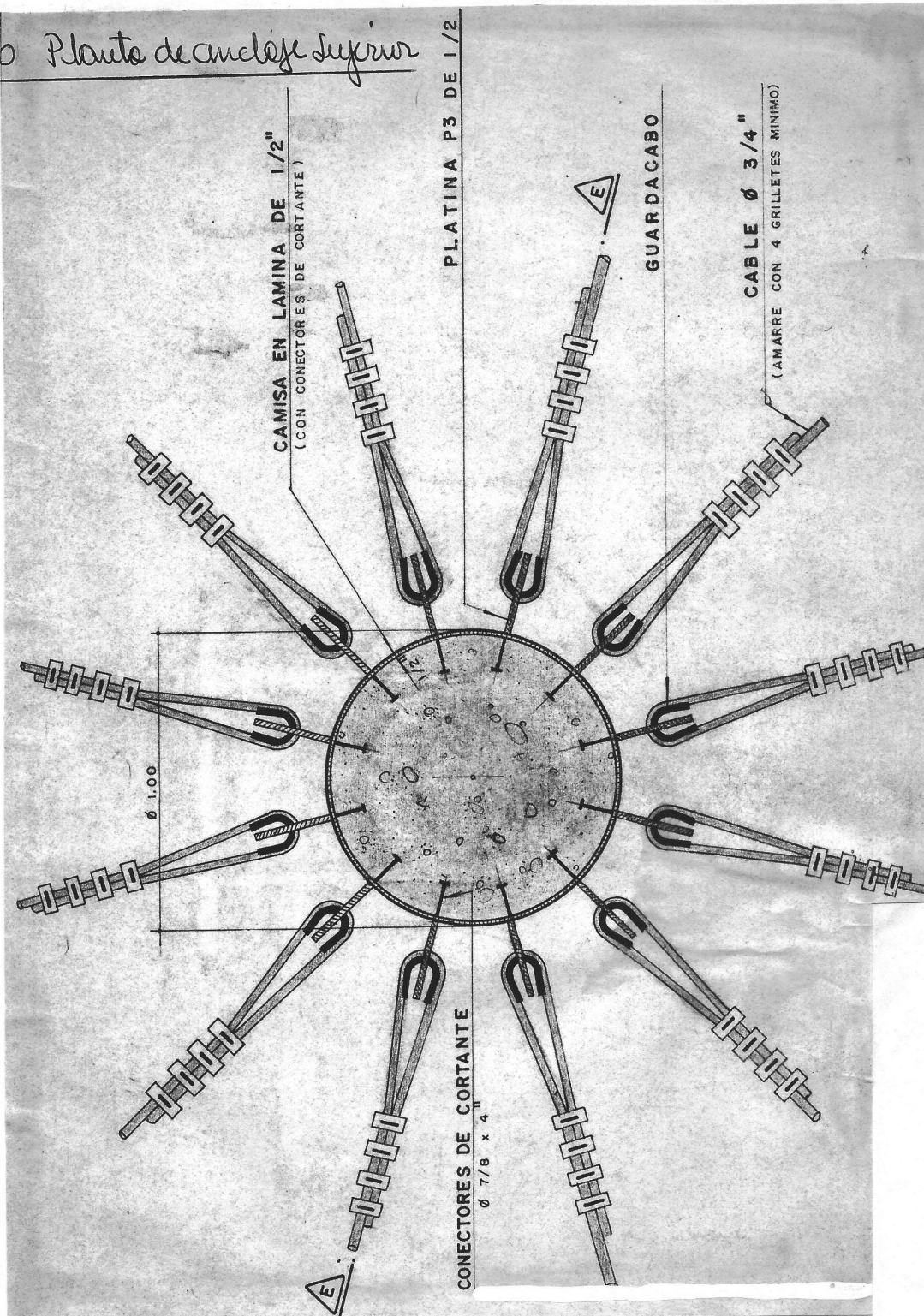
("Segun" modelos de puentes colgantes" Secretario de Obras Publicas Departamentales de Antioquia).



12.9 *Anclaje superior del cable*

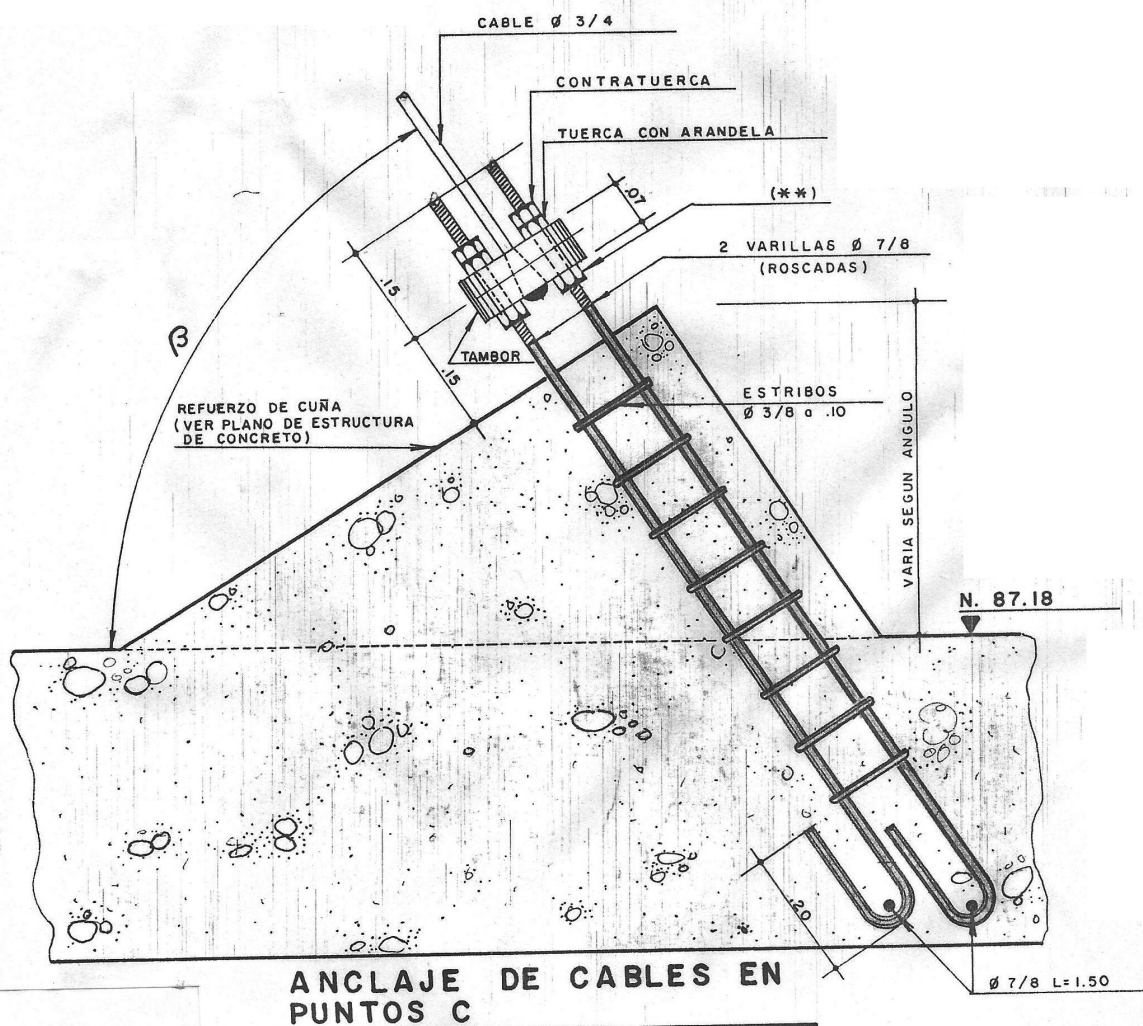


12.10 Plante de anclaje superior



12.11 *Anclaje del cable*
en la losa

ANGULOS β	
CABLES DE ANCLAJE	56° 00'
CABLES DE RESTRICCIÓN	38° 00'



ANCLAJE DE CABLES EN PUNTOS C

ANCLAJE TIPO 3

(**) LOS ANCLAJES TIPO 2 y 3 SE HARAN UTILIZANDO ZINC FUNDIDO Y EL EXTREMO DEL CABLE DESHILADO.

12.1: Anclaje superior del cable de restricción torsional

