



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
U.A. VENADO TUERTO

PROYECTO INTEGRADOR

Nº: 001

ALUMNO:

ADRIÁN PAGLIANO

UTN FRVT



NºReg: 1684 NºPAT: 0

N° 1684



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL
U.A. VENADO TUERTO



TÍTULO

**“PROYECTO DE UN ESTADIO DE FÚTBOL CON CUBIERTA
FORMADA POR UNA RED DE CABLES PRETENSADOS”**

ALUMNO

ADRIÁN ARSENIO PAGLIANO

DIRECTOR Y ASESOR TÉCNICO

ING. JULIO SALVAY

FECHA DE TERMINACIÓN

DICIEMBRE DEL 2000

RESUMEN:

Es un Proyecto en el cual la estructura juega un papel protagónico ya que casi todos los elementos del mismo, además de cumplir el aspecto formal y funcional, cumplen una función estructural.

Esencialmente este proyecto consta de pórticos perimetrales, los que, además de absorber las cargas perimetrales y accidentales, tienen como función fundamental sostener la cubierta. Dicha Cubierta está formada por una red de Cables Pretensados que conforman una superficie de doble curvatura.

En el presente trabajo se presta especial atención al diseño y cálculo de la Cubierta ya que este tipo de estructura es poco común en nuestro medio.

6 - DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE CABLES

6-1 - Introducción.

6-2 - Pre-dimensionamiento.

6-3 - Cálculo.

6-4 - Cooperación de resultados.

7 - DIMENSIONAMIENTO DE LOS ARCOS.

8 - DIMENSIONAMIENTO DE LAS COLUMNAS.

9 - REPLANTEO DE LA CUBIERTA.

10 - BIBLIOGRAFÍA.



ÍNDICE:

- 1 - RESEÑA HISTÓRICA.
- 2 - OBJETIVOS.
- 3 - MEMORIA DEL PROYECTO.
- 4 - PLANOS.
 - 4 - 1 - Plantas.
 - 4 - 2 - Vistas del Frente.
 - 4 - 3 - Corte 1 - 1.
- 5 - COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.
- 6 - DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE CABLES.
 - 6 - 1 - Introducción.
 - 6 - 2 - Predimensionamiento.
 - 6 - 3 - Cálculo.
 - 6 - 4 - Comparación de resultados.
- 7 - DIMENSIONAMIENTO DE LOS ARCOS.
- 8 - DIMENSIONAMIENTO DE LAS COLUMNAS.
- 9 - REPLANTEO DE LA CUBIERTA.
- 10 - BIBLIOGRAFÍA.

1 - OBJETIVOS:

Los objetivos fundamentales del presente trabajo son los siguientes:

- 1 - Entender el funcionamiento estructural de las redes de cables pretensados.
- 2 - Dotar a un estadio de fútbol de grandes dimensiones de una cubierta formada por este tipo de estructura.

3 - MEMORIA DEL PROYECTO:

La intención inicial es dotar a la ciudad de Rosario de un estadio de fútbol cubierto de gran capacidad de espectadores. El proyecto se ubica en un nodo vial de acceso a la ciudad, vinculado con una avenida que la rodea y el encuentro de ésta con el autopista Rosario - Buenos Aires. Su ubicación estratégica intenta potenciar esta zona estanca de la ciudad.

A continuación se muestran planos de la ciudad de Rosario con la ubicación del Proyecto.



1 - RESEÑA HISTÓRICA:

Se comenzó con este Proyecto a principios del año pasado. Para ese entonces ya tenía decidido elegir un tema donde lo preponderante sea la "Estructura y su cálculo".

Entonces se consultó al Ing. Julio Salvay para tener una orientación sobre el tema a elegir. Así él propuso viajar a Rosario y revisar los temas que se habían presentado en la Facultad de Ingeniería de la U.N.R. Eran muchísimos y sólo se pudieron revisar algunos.

Luego, en ese mismo día se decidió que un tema interesante era el relacionado con las Estructuras de Cables (Tensoestructuras) aplicadas a cubiertas, ya que no son muy comunes en nuestro País.

Se comenzó a recopilar bibliografía sobre el tema para realizar el trabajo.

Como resultado de este análisis se concluyó que este tipo de cubiertas se emplea para cubrir grandes espacios, libres de vigas y columnas, y a la vez poseen un aspecto estético muy agradable. En general se las puede utilizar para cubrir estadios, pabellones, salas de conciertos, exposiciones o fiestas, hangares, estaciones de trenes, etc. O sea en construcciones que demandan un gran espacio libre en su interior.

Por lo tanto se decidió aplicar este tema a un Estadio de Fútbol.

Durante la mitad del 99' y principio del 2000 se fue preparando el trabajo, siempre en consulta con el Ing. J. Salvay quién fue el Director y Asesor Técnico.

Lo que se expone a continuación es la versión completa del trabajo.

2 - OBJETIVOS:

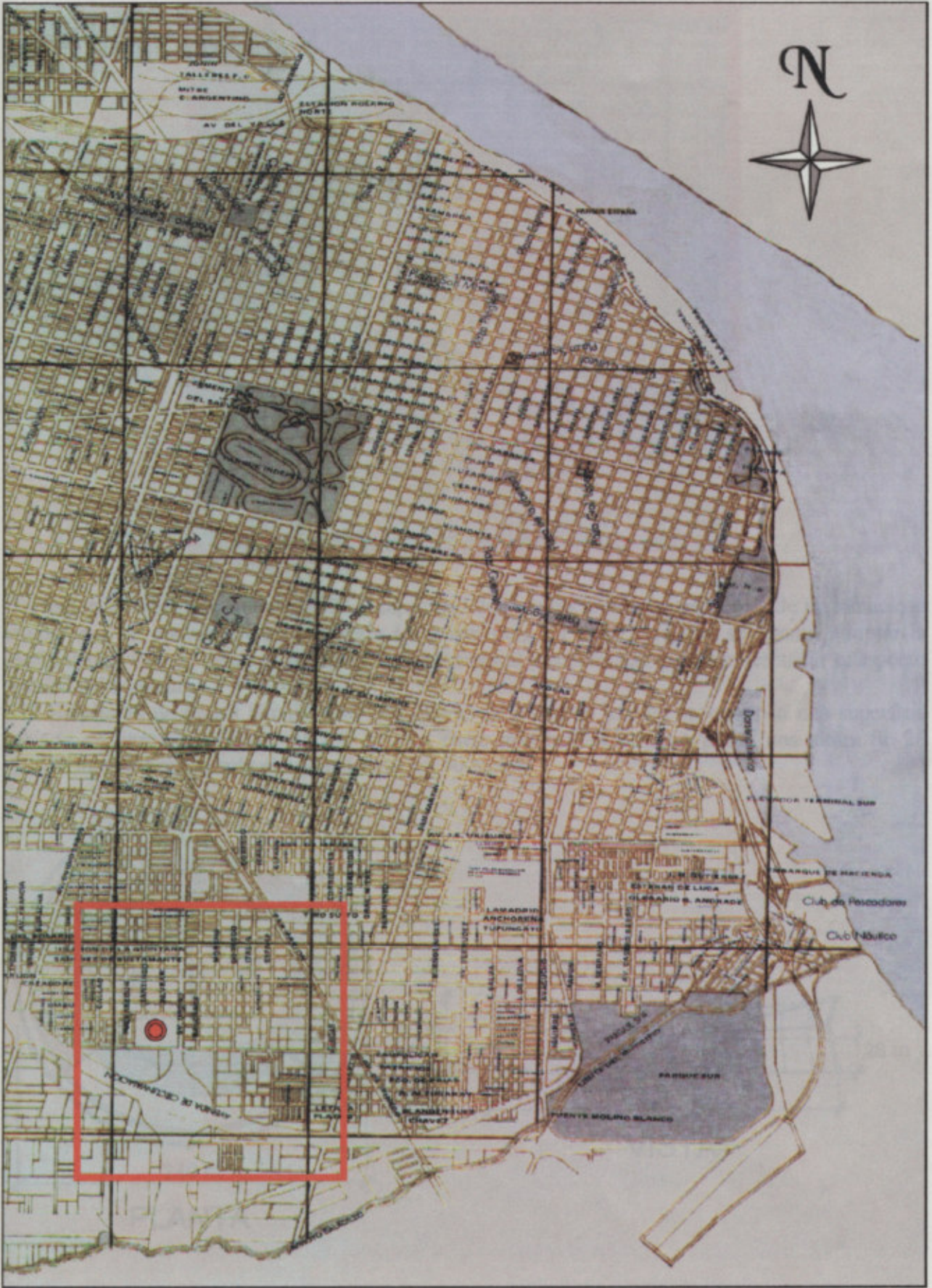
Los objetivos fundamentales del presente trabajo son los siguientes:

- 1 - Entender el funcionamiento estructural de las redes de cables pretensados.
- 2 - Dotar a un estadio de fútbol de grandes dimensiones de una cubierta formada por este tipo de estructura.

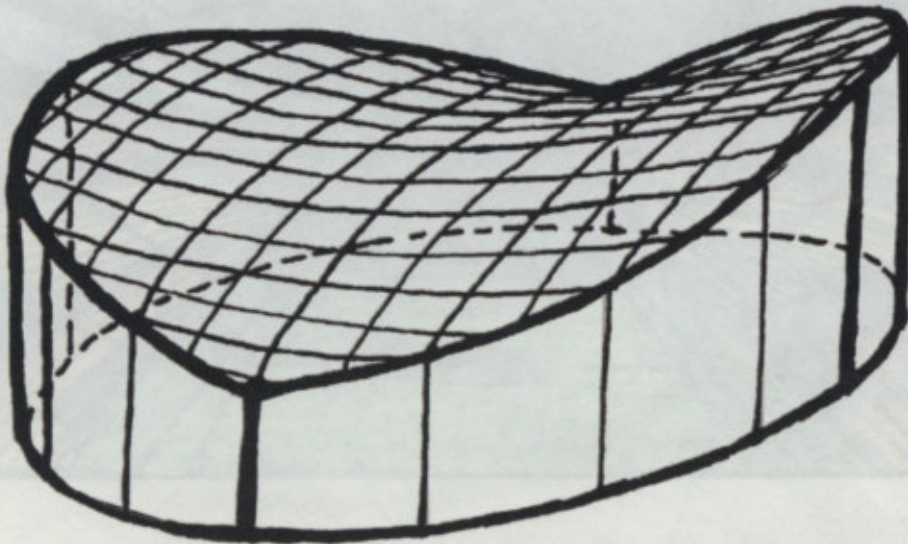
3 - MEMORIA DEL PROYECTO:

La Intención inicial es dotar a la ciudad de Rosario de un estadio de fútbol cubierto de gran capacidad de espectadores. El proyecto se ubica en un nodo vial de acceso a la ciudad, vinculado con una avenida que la rodea y el encuentro de ésta con el autopista Rosario - Buenos Aires. Su ubicación estratégica intenta potenciar esta zona estanca de la ciudad.

A continuación se muestran planos de la ciudad de Rosario con la ubicación del Proyecto.

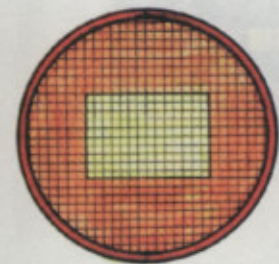


La cubierta conforma y define todo el espacio del estadio, quedando tanto el campo de deportes como la tribuna totalmente cubiertos. Dicha cubierta está formada por una Red de cables pretensados que se cruzan a 90° determinándose así una superficie de doble curvatura similar a un paraboloides hiperbólico.

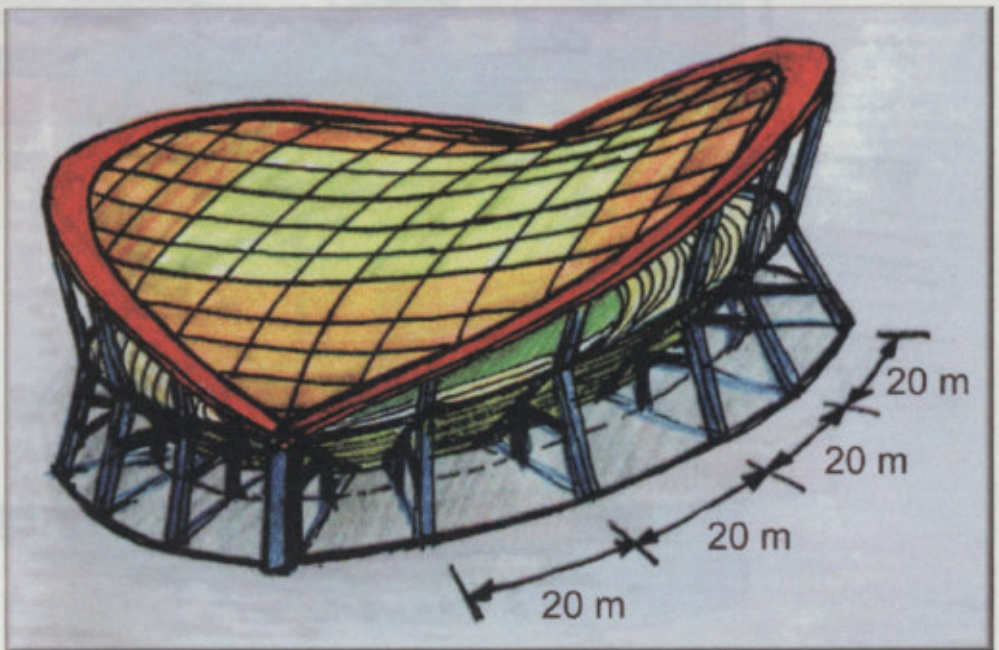


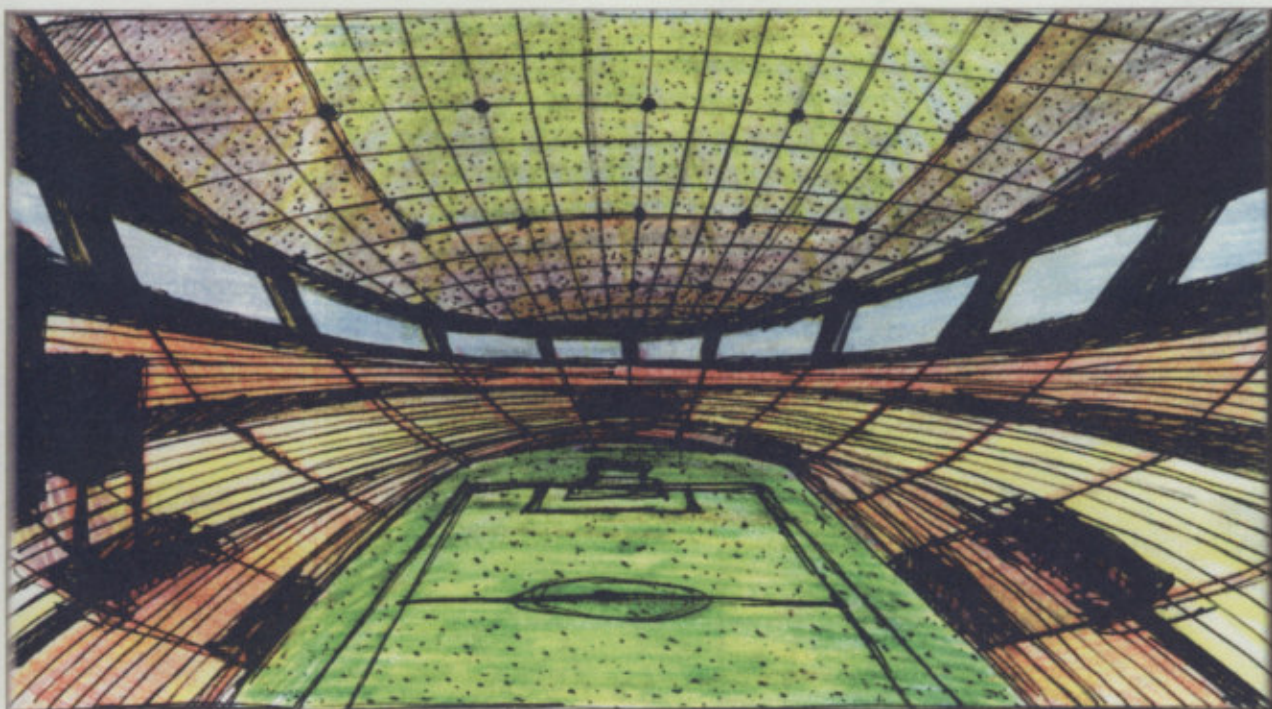
Los cables se cuelgan entre los Arcoes Elípticos (de hormigón armado) en posición inclinada que descansan en unos apoyos perimetrales. Dichos apoyos son las columnas externas de los Pórticos.

La forma de solucionar la cubierta en los sistemas estructurales de tracción puede adoptar diferentes variantes. Para el presente proyecto se decidió colocar en la zona del campo de deportes, elementos de cubierta translúcidos para obtener iluminación natural durante el día, mientras que para el resto del estadio se adoptó elementos de cubierta opacos.

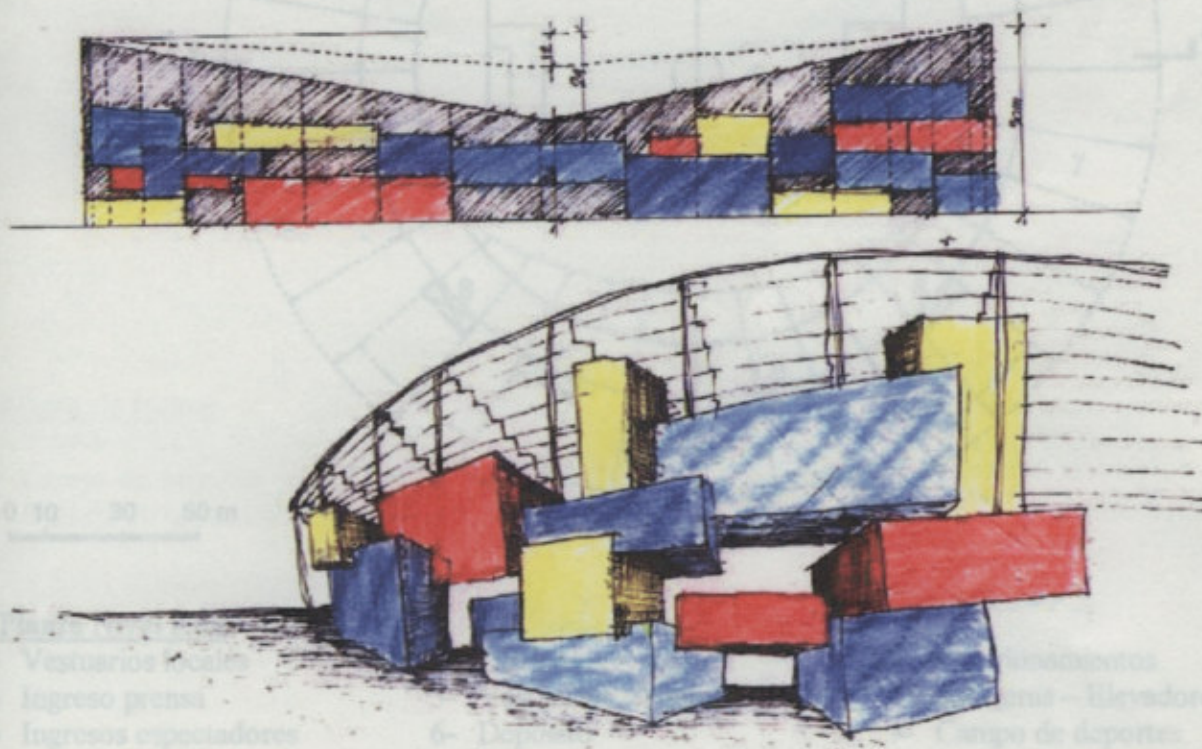


CUBIERTA





Los cables se cuelgan entre dos Arcos Elípticos (de hormigón armado) en posición inclinada que descansan en unos apoyos perimetrales. Dichos apoyos son las columnas externas de los Pórticos. Estos pórticos (también de hormigón armado) sirven además para sostener las tribunas y los diferentes locales del estadio. La separación entre pórticos es de aproximadamente 20 metros y van cambiando de dimensiones a medida que varían las alturas y las cargas que soportan.



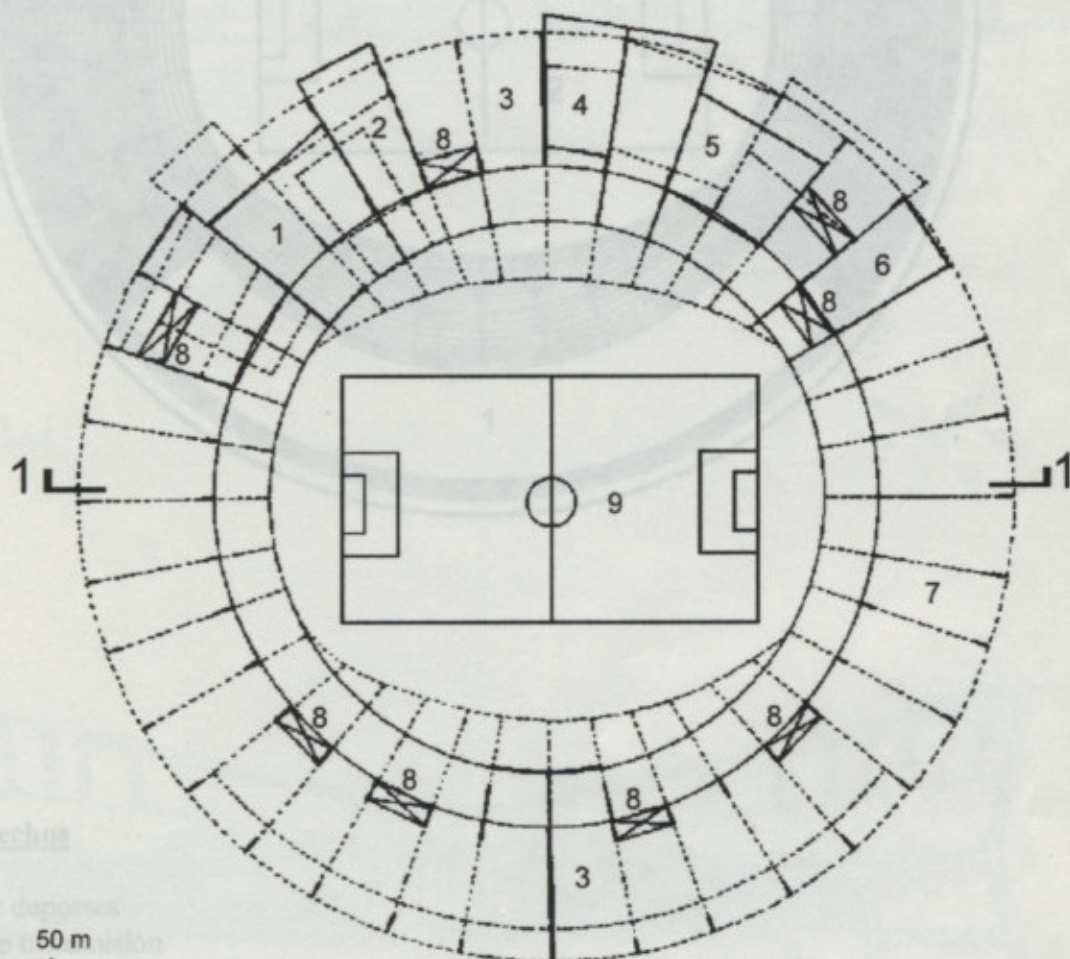
Los servicios (vestuarios, oficinas, cabinas de transmisión, depósitos, etc.) juegan un papel importante en la medida que no quiebra el orden estructural que va desde la cubierta al suelo.

Luego, se trata de espacios sencillos y funcionales que responden a la función específica que en ellos se realiza (ej. : los vestuarios responden a una altura y una superficie determinada que lo hacen funcionar como tal). De esta manera, algunos servicios son mas altos, otros más bajos, otros en dos o tres niveles. Lo interesante es la configuración de los mismos como totalidad: espacios grandes, chicos, llenos, vacíos, etc.

Se intenta otorgar a la estructura el papel preponderante no solo a nivel funcional y estético sino también como generadora de nuevos espacios.

4 - PLANOS:

4 - 1 - Plantas:



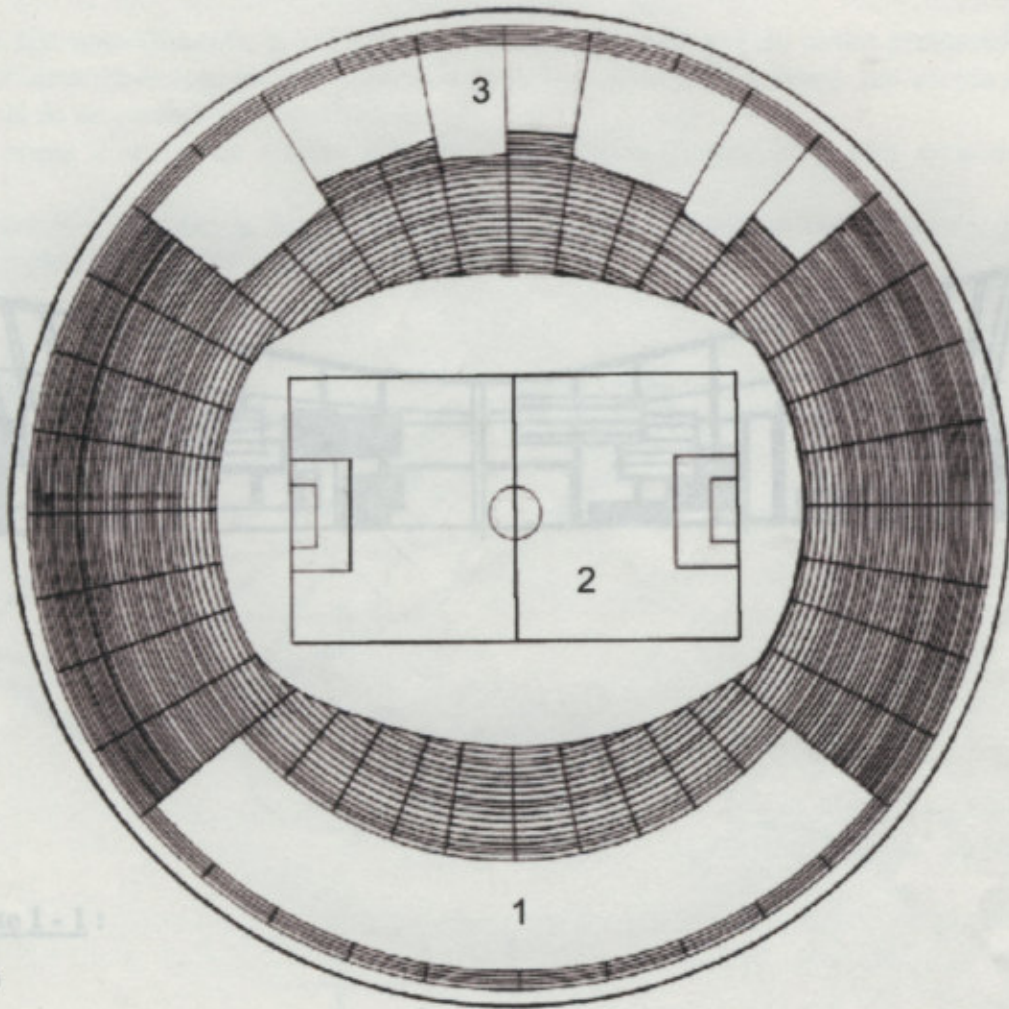
* Planta de techos

- 1- Palcos
- 2- Campo de deportes

* Planta Nivel 0.00

- | | | |
|--------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 1- Vestuarios locales | 4- Oficinas – Admisión | 7- Estacionamientos |
| 2- Ingreso prensa | 5- Vestuarios visitantes | 8- Escaleras – Elevadores |
| 3- Ingresos espectadores | 6- Depósito | 9- Campo de deportes |

1-3 - Vista del Ingreso:



1-3 - Corte 1-1:

0 20 m

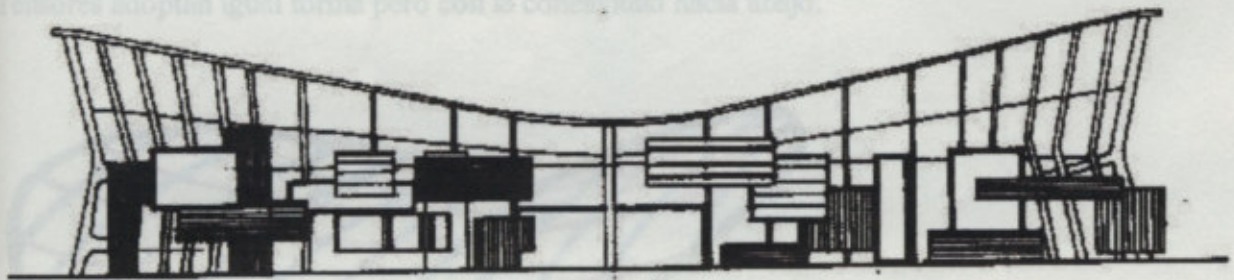
- * Planta de techos**
- 1- Palcos
 - 2- Campo de deportes
 - 3- Cabinas de transmisión

4-2 - Vista del ingreso: DETALLE DE LA ESTRUCTURA:

Como se dijo anteriormente, la cubierta está formada por una red de cables pretensados que se cruzan a 90° determinándose así una superficie de doble curvatura. La forma que adopta la cubierta es similar a la de un paraboloides hiperbólico.

La Red posee 2 series de cables, una serie de "Cables Portantes" y otra serie de "Cables Tensores".

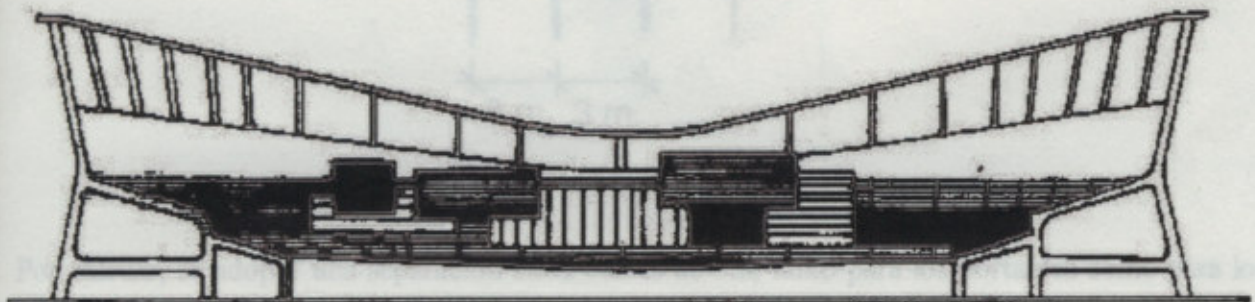
Cables Portantes adoptan la forma de una parábola con concavidad hacia arriba y los Cables Tensores adoptan igual forma pero con la concavidad hacia abajo.



CABLES
PORTANTES

CABLES
TENSORES

4-3 - Corte 1 - 1 :



Primero se colocan los Cables Portantes que se cuelgan y se unen a los arcos, luego se colocan los Cables Tensores.

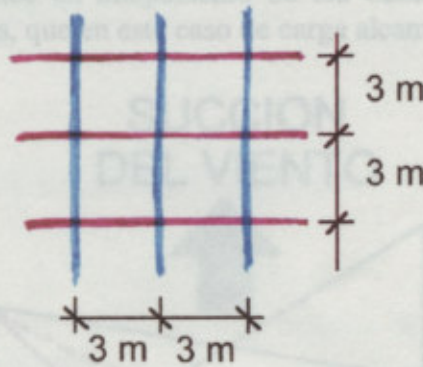
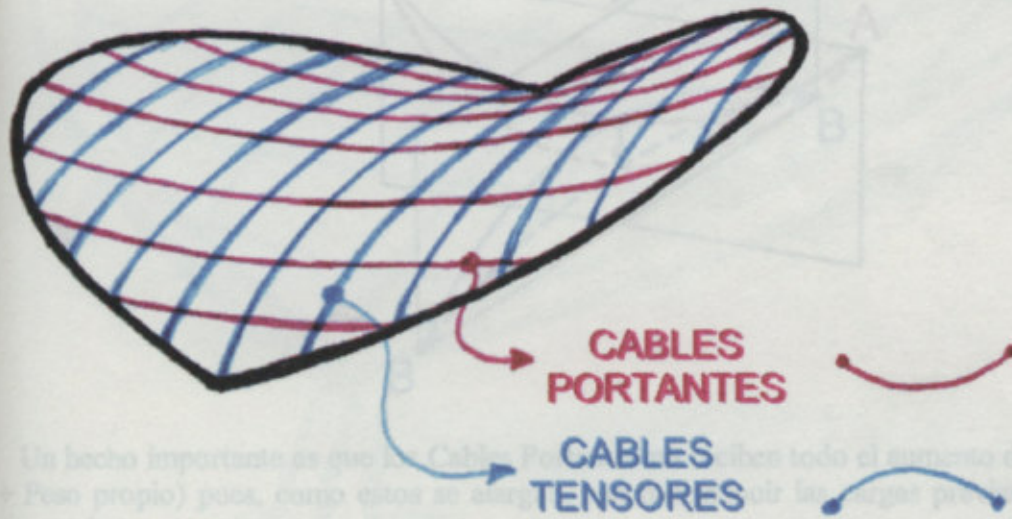
Al aplicar el Pretensado sobre los Cables Tensores, estos transfieren parte del esfuerzo a los Cables Portantes y de esta manera la Red de cables se someten a un "Estado de Tensiones Iniciales" (Pretensado). Con esto se logra una cierta "Rigidez" en la Red de cables.

5 - COMPORTAMIENTO DE LA ESTRUCTURA:

Como se dijo anteriormente, la cubierta está formada por una red de cables pretensados que se cruzan a 90° determinándose así una superficie de doble curvatura. La forma que adopta la cubierta es similar a la de un paraboloides hiperbólico.

La Red posee 2 series de cables, una serie de "Cables Portantes" y otra serie de "Cables Tensores".

Cables Portantes adoptan la forma de una parábola con concavidad hacia arriba y los Cables Tensores adoptan igual forma pero con la concavidad hacia abajo.

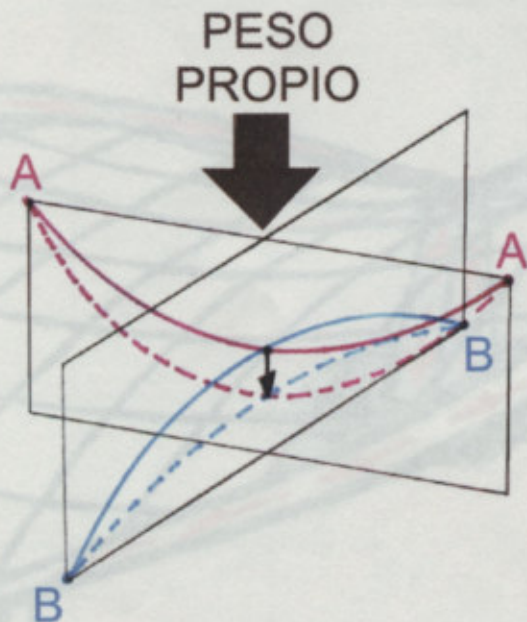


Por cálculo, se adoptó una separación entre cables de 3m, tanto para los portantes como para los tensores.

Primero se colocan los Cables Portantes que se cuelgan y se anclan a los arcos, luego se colocan los Cables Tensores.

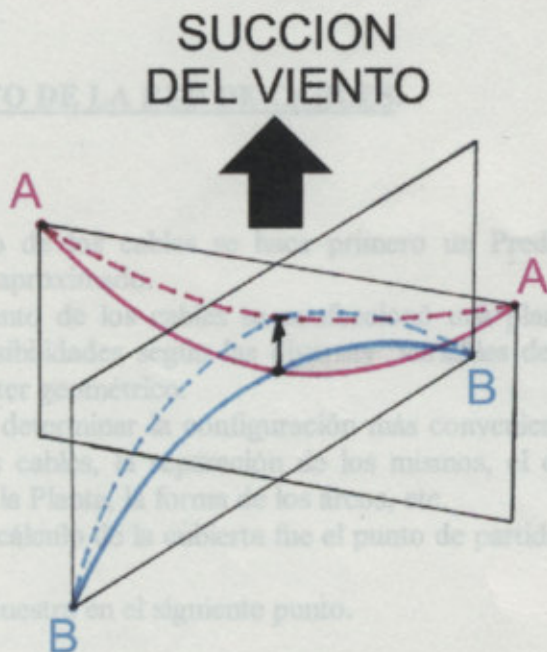
Al aplicar el Pretensado sobre los Cables Tensores, estos transfieren parte del esfuerzo a los Cables Portantes y de esta manera la Red de cables se someten a un "Estado de Tensiones Iniciales" (Pretensado). Con esto se logra una cierta "Rigidez" en la Red de cables.

Cuando actúa el Peso Propio, la posición de los cables sufre una deformación. Como los cables Portantes experimentan un aumento de carga, sufrirán un alargamiento y, como consecuencia de ello, se acortarán los tramos de los Cables Tensores que van a los nudos, con lo que disminuirán las tensiones en estos. (Se aflojan los Cables Tensores).



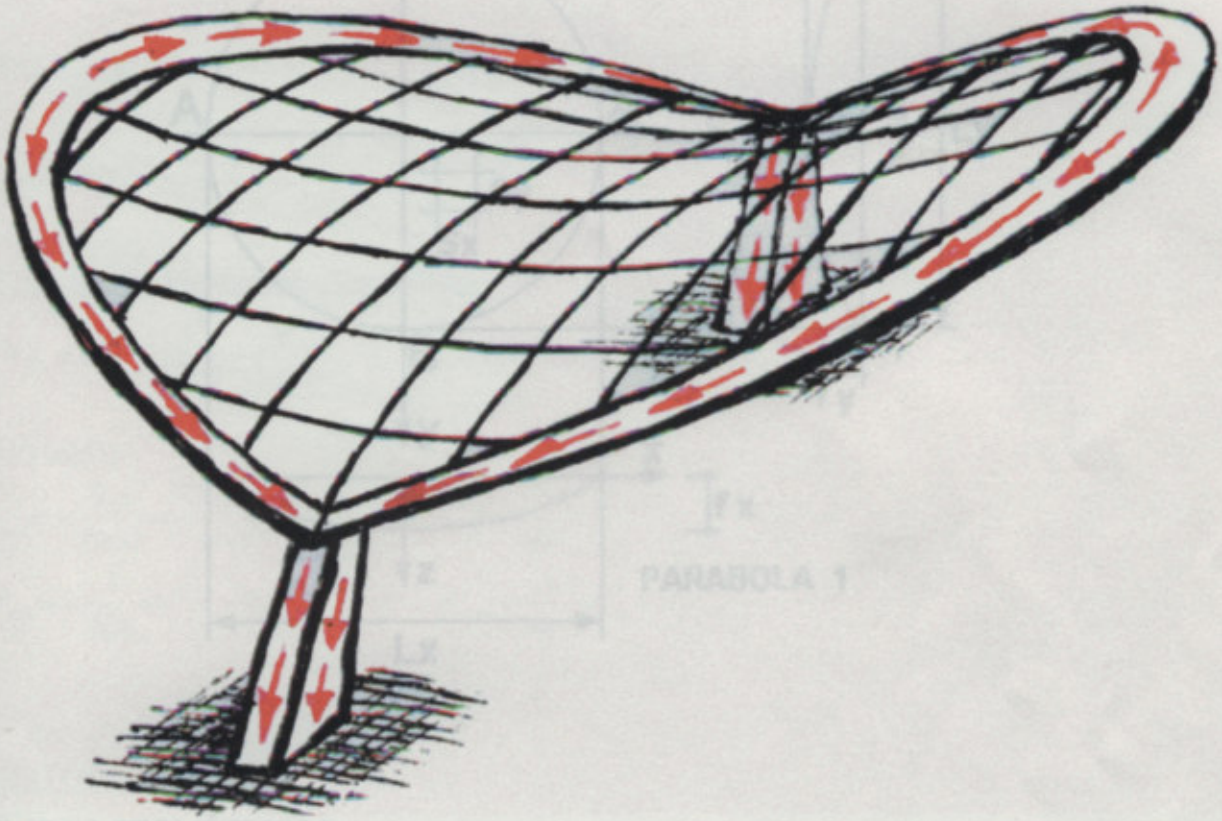
Un hecho importante es que los Cables Portantes no reciben todo el aumento de carga (Pretensado + Peso propio) pues, como estos se alargan, hacen disminuir las cargas previas de pretensado que soportaban.

La Succión del Viento produce un aflojamiento de los Cables Portantes y un aumento en los esfuerzos de los Cables Tensores, que en este caso de carga alcanzan su valor máximo.



Los esfuerzos de los Cables Portantes y Tensores se transmiten a los dos arcos elípticos los cuales se encuentran comprimidos.

A su vez los esfuerzos de los arcos son transmitidos a dos grandes columnas, una en cada extremo del estadio, y a través de estas, a las fundaciones.



6 - DIMENSIONAMIENTO DE LA RED DE CABLES:

6 - 1 - Introducción:

Para el dimensionamiento de los cables se hace primero un Predimensionamiento y luego una verificación por un Método aproximado.

Para el predimensionamiento de los cables se confeccionó una planilla de cálculo que permitió analizar un centenar de posibilidades según las diversas variables del problema. Dichas variables son las cargas y las de carácter geométrico.

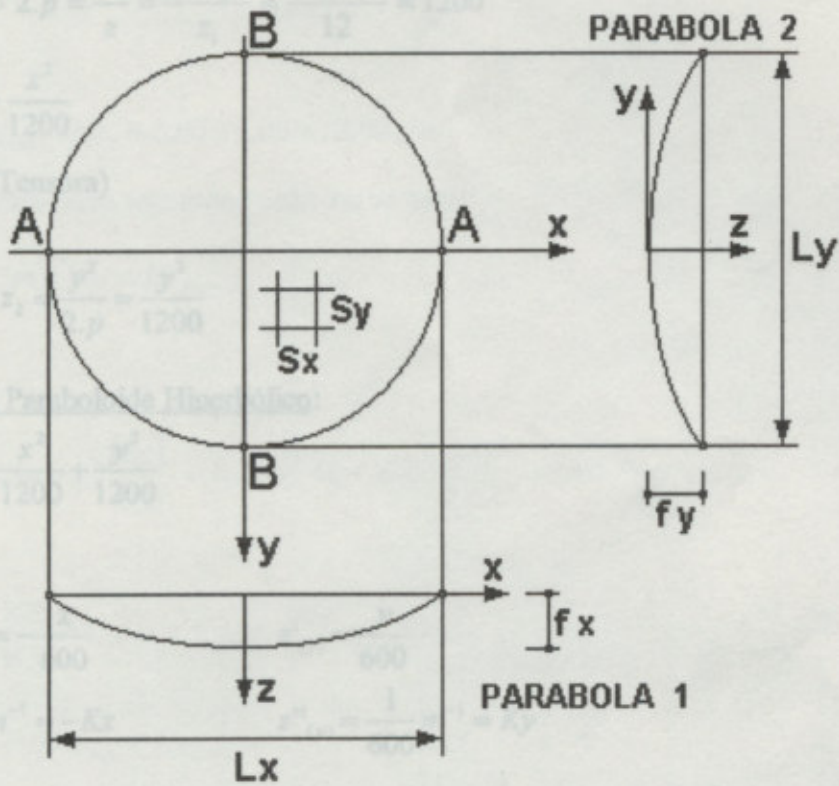
De esta forma se intentó determinar la configuración más conveniente para la cubierta, teniendo en cuenta la sección de los cables, la separación de los mismos, el desnivel entre puntos altos y bajos, la forma y tamaño de la Planta, la forma de los arcos, etc.

O sea que en este caso el cálculo de la cubierta fue el punto de partida para el diseño definitivo del Estadio.

La planilla de cálculo se muestra en el siguiente punto.

6 - 2 - Predimensionamiento:

Basándose en el siguiente esquema:



* DATOS GEOMÉTRICOS:

- Longitud de la parábola 1:

$$L_y = 240 \text{ m}$$

- Longitud de la parábola 2:

$$L_x = 240 \text{ m}$$

- Flecha de la Parábola 1:

$$f_x = 12 \text{ m}$$

- Flecha de la Parábola 2:

$$f_y = 12 \text{ m}$$

- Separación de los cables en el sentido "y":

$$S_x = 3 \text{ m}$$

- Separación de los cables en el sentido "x":

$$S_y = 3 \text{ m}$$

* Parábola 1: (Portante)

$$x^2 = 2 \cdot p \cdot z \Rightarrow 2 \cdot p = \frac{x^2}{z} = \frac{\left(\frac{Lx}{2}\right)^2}{z_1} = \frac{\left(\frac{240}{2}\right)^2}{12} = 1200$$

$$\therefore z_1 = \frac{x^2}{2 \cdot p} = \frac{x^2}{1200}$$

* Parábola 2: (Tensora)

$$2 \cdot p = 1200 \Rightarrow z_2 = \frac{y^2}{2 \cdot p} = \frac{y^2}{1200}$$

* Ecuación del Paraboloide Hiperbólico:

$$z = z_1 + z_2 = -\frac{x^2}{1200} + \frac{y^2}{1200} = 0,5 \times (-40 + 20) \times \frac{240^2}{8 \times 12} = 6,00 \text{ t/m}$$

* Derivadas:

$$z'_{(x)} = -\frac{2 \cdot x}{1200} = -\frac{x}{600}$$

$$z'_{(y)} = \frac{y}{600}$$

$$z''_{(x)} = -\frac{1}{600} \text{ m}^{-1} = -Kx$$

$$z''_{(y)} = \frac{1}{600} \text{ m}^{-1} = Ky$$

* DATOS DE CARGAS:

- Esfuerzo de Pretensado aplicado a la Serie 1: (cables portantes)
 $Hx_0 = 6t$
- Peso Propio de la cubierta + cables:
 $g = 20 \text{ kg/m}^2$
- Acción del Viento: (Succión)
 $v = -40 \text{ kg/m}^2$

* PRECÁLCULO:

Asimilando la estructura a una losa cruzada se tiene los siguientes coeficientes de distribución:

$$\epsilon = \frac{y}{x} = \frac{240}{240} = 1 \Rightarrow \chi_1 = 0,5 \quad ; \quad \rho_1 = 0,5$$

- Parábola 1:

$$H'x_{\text{máx}} = \chi_1 \cdot g \cdot \frac{(Lx)^2}{8 \cdot fx} = 0,5 \times 20 \times \frac{240^2}{8 \times 12} = 6,00 \text{ t/m}$$

Por lo tanto:

$$Hx_{\text{máx}} = H'x_{\text{máx}} + Hx_0 = 6,00 + 6,00 = 12,00 \text{ t/m}$$

Como los cables están separados cada 3m se tiene:

$$12,00 \text{ t/m} \times 3 \text{ m} = 36 \text{ t} = Hx_{\text{por cable}}$$

- Parábola 2:

$$H'y_{\text{máx}} = \rho_1 \cdot (v - g) \cdot \frac{(Ly)^2}{8 \cdot fy} = 0,5 \times (-40 + 20) \times \frac{240^2}{8 \times 12} = 6,00 \text{ t/m}$$

$$\rho = \frac{Ky}{Kx} = \frac{600}{600} = 1 \rightarrow Hy_0 = \frac{Hx_0}{1} = 6,00 \text{ t/m}$$

$$Hy_{\text{máx}} = H'y_{\text{máx}} + Hy_0$$

$$\therefore Hy_{\text{máx}} = 6,00 + 6,00 = 12,00 \text{ t/m}$$

Como los cables están separados cada 3m se tiene:

$$Hy_{\text{por cable}} = 36 \text{ t}$$

Se adopta un coeficiente de seguridad igual a 2:

$$\alpha = 2$$

$$\therefore H_{\text{Portante}} = 72,00 \text{ t} \quad H_{\text{Tensor}} = 72,00 \text{ t}$$

* SE ADOPTA:

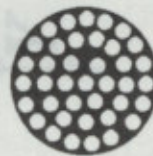
CABLES 1x37 con 160 kg/mm^2 .

Cable de 72,36 t.

Diámetro del alambre = 4,28 mm.

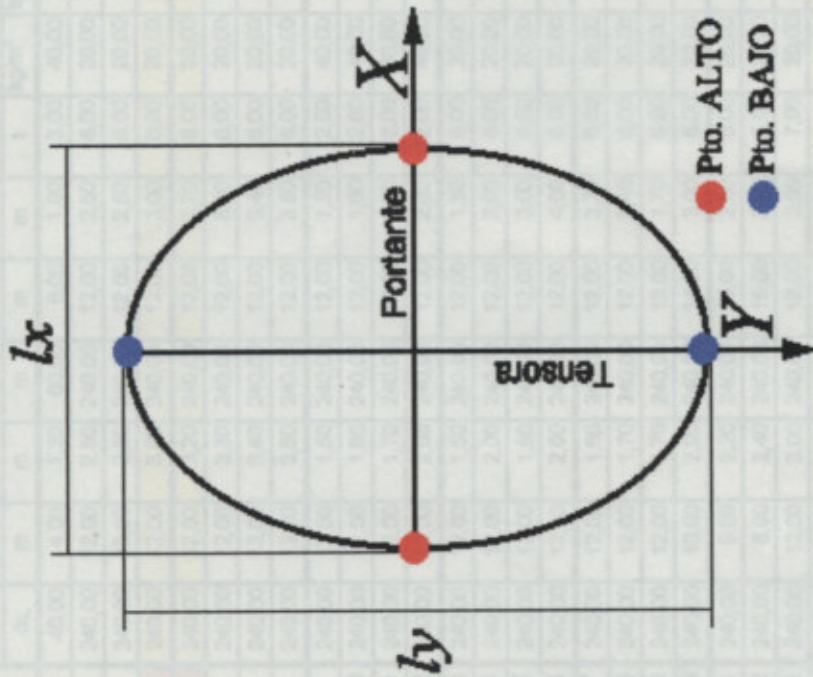
Diámetro del cable = 30 mm.

Sección total = $5,32 \text{ cm}^2$.



SECCION

A continuación se muestran las planillas de cálculo que se confeccionaron para el predimensionamiento de los cables.



DATOS	
lx	240,00 (m)
fx	12,00 (m)
ly	240,00 (m)
fy	12,00 (m)
H_{xo}	6,00 (t)
g	20,00 (kg/m ²)
v	-40,00 (kg/m ²)
n	0,00 (kg/m ²)
Sx	3,00 (m)
Sy	3,00 (m)
Coef. Seg.	2,00

$\epsilon = y/x$	1,00
X_I	0,500 (De tabla 89 del Lóser)
ρ_I	0,500

$H'_{x \text{ máx}}$	6,000 (t/m)
$H_{x \text{ máx}}$	12,000 (t/m)
H_x por cable	36,000 (t)
Cable portante	
72,00 t	

$H'_{y \text{ máx}}$	6,000 (t/m)
ρ	1,000
$H_{y \text{ máx}}$	12,000 (t/m)
H_y por cable	36,000 (t)
Cable tensor	
72,00 t	

LIMITES			
CABLE	DIAMETRO	PESO/m	TENSION CARGA ROT.
Designación	mm	Kg/m	Kg/mm ²
1x19x0	35	6,25	125
1x37x0	35	6,25	140
			79.480
			86.410

SALIDA DE DATOS

ENTRADA DE DATOS

OPCIONES		l_x	f_x	S_x	l_y	f_y	S_y	H_{XO}	g	v	n	Coef. Seg	$\epsilon = y/x$	X_I	ρ_I	$H'_{x \text{ máx}}$ t/m	$H_{x \text{ máx}}$ t/m	$H_{x \text{ máx}}$ t/m	$H_{x \text{ máx}}$ t/m	$H_{x \text{ máx}}$ t/m	$H_{y \text{ máx}}$ t/m	ρ	$H'_{y \text{ máx}}$ t/m	$H_{y \text{ máx}}$ t/m	$H_{y \text{ máx}}$ t/m	$H_{y \text{ máx}}$ t/m	H_{tensor} t
1	40,00	4,00	1,20	60,00	6,00	1,00	3,00	40,00	-80,00	60,00	2,00	1,50	0,835	0,165	4,175	7,175	7,175	7,175	14,35	0,50	0,667	4,995	5,994	11,99			
2	240,00	12,00	2,50	240,00	12,00	2,50	8,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	14,000	35,000	35,000	70,00	6,00	1,000	14,000	35,000	70,00			
3	240,00	12,00	2,50	240,00	12,00	2,50	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	30,000	30,000	60,00	6,00	1,000	12,000	30,000	60,00			
4	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	3,00	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	36,000	36,000	72,00	6,00	1,000	12,000	36,000	72,00			
5	240,00	12,00	3,20	240,00	12,00	3,20	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	38,400	38,400	76,80	6,00	1,000	12,000	38,400	76,80			
6	240,00	12,00	3,30	240,00	12,00	3,30	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	39,600	39,600	79,20	6,00	1,000	12,000	39,600	79,20			
7	240,00	12,00	3,40	240,00	12,00	3,40	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	40,800	40,800	81,60	6,00	1,000	12,000	40,800	81,60			
8	240,00	12,00	3,50	240,00	12,00	3,50	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	42,000	42,000	84,00	6,00	1,000	12,000	42,000	84,00			
9	240,00	12,00	1,50	240,00	12,00	1,50	12,00	40,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	12,000	24,000	36,000	36,000	72,00	12,00	1,000	24,000	36,000	72,00			
10	240,00	12,00	1,60	240,00	12,00	1,60	12,00	40,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	12,000	24,000	38,400	38,400	76,80	12,00	1,000	24,000	38,400	76,80			
11	240,00	12,00	1,70	240,00	12,00	1,70	12,00	40,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	12,000	24,000	40,800	40,800	81,60	12,00	1,000	24,000	40,800	81,60			
12	240,00	12,00	2,00	240,00	12,00	2,00	12,00	40,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	12,000	24,000	48,000	48,000	96,00	12,00	1,000	24,000	48,000	96,00			
13	240,00	12,00	1,50	240,00	12,00	1,50	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	18,000	18,000	36,00	18,00	1,000	24,000	36,000	72,00			
14	240,00	12,00	2,00	240,00	12,00	2,00	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	24,000	24,000	48,00	18,00	1,000	24,000	48,000	96,00			
15	240,00	12,00	1,50	240,00	12,00	3,00	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	36,000	36,000	72,00	18,00	1,000	24,000	36,000	72,00			
16	240,00	12,00	2,00	240,00	12,00	4,00	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	48,000	48,000	96,00	18,00	1,000	24,000	48,000	96,00			
17	240,00	12,00	1,60	240,00	12,00	3,20	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	38,400	38,400	76,80	18,00	1,000	24,000	38,400	76,80			
18	240,00	12,00	1,70	240,00	12,00	3,40	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	40,800	40,800	81,60	18,00	1,000	24,000	40,800	81,60			
19	240,00	12,00	1,70	240,00	12,00	1,70	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	20,400	20,400	40,80	18,00	1,000	24,000	40,800	81,60			
20	240,00	10,00	2,00	240,00	14,00	3,00	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	7,200	13,200	39,600	39,600	79,20	15,43	1,400	19,714	39,429	78,86			
21	240,00	9,00	2,20	240,00	15,00	2,80	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	8,000	14,000	39,200	39,200	78,40	14,40	1,667	18,000	39,600	79,20			
22	240,00	8,00	2,40	240,00	16,00	2,40	6,00	20,00	-80,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	9,000	15,000	36,000	36,000	72,00	13,50	2,000	16,500	39,600	79,20			
23	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	3,00	7,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	13,000	39,000	39,000	78,00	6,00	1,000	13,000	39,000	78,00			
24	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	2,00	6,00	20,00	-40,00	20,00	2,00	1,00	0,500	0,500	12,000	18,000	36,000	36,000	72,00	6,00	1,000	12,000	36,000	72,00			
25	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	2,00	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	24,000	24,000	48,00	6,00	1,000	12,000	36,000	72,00			
26	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	2,00	6,00	20,00	0,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	12,000	18,000	36,000	36,000	72,00	-6,00	1,000	0,000	0,000	0,00			
27	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	2,00	6,00	20,00	-40,00	30,00	2,00	1,00	0,500	0,500	15,000	21,000	42,000	42,000	84,00	6,00	1,000	12,000	36,000	72,00			
28	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	2,00	6,00	20,00	-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	6,000	12,000	24,000	24,000	48,00	6,00	1,000	12,000	36,000	72,00			
29	240,00	12,00	3,00	240,00	12,00	2,00	6,00	20,00	0,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	15,000	21,000	42,000	42,000	84,00	-6,00	1,000	0,000	0,000	0,00			
30	240,00	12,00		240,00	12,00				-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	12,00	1,000	12,000	0,000	0,00			
31	240,00	12,00		240,00	12,00				-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	12,00	1,000	12,000	0,000	0,00			
32	240,00	12,00		240,00	12,00				-40,00	0,00	2,00	1,00	0,500	0,500	0,000	0,000	0,000	0,000	0,00	12,00	1,000	12,000	0,000	0,00			

* Limite de tabla (cable: 1 x 37 x 0) = 86,4 t

6 - 3 - Cálculo:

$$E_x = E_y = 1800 \text{ t / cm}^2 .$$

$$\text{Sección: } Fe'x = Fe'y = 5,32 \text{ cm}^2 .$$

Sección necesaria de cable por metro:

$$F_{ex} = \frac{Fe'x}{S_y} = \frac{5,32 \text{ cm}^2}{3,00 \text{ m}} = 1,773 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$F_{ex} = 1,773 \text{ cm}^2 / \text{m}$$

$$E_x.F_x = 1800 \text{ t/m} \times 1,773 \text{ cm}^2 / \text{m} = 3191,4 \text{ t/m}$$

$$E_y.F_y = 3191,4 \text{ t/m}$$

$$\varphi = \frac{E_y.F_y}{E_x.F_x} = 1$$

$$\varphi.\rho^2 = 1 \times 1^2 = 1$$

$$\chi_x = \frac{1}{1 + \varphi.\rho^2} = 0,5 \quad \chi_y = 1 - \chi_x = 0,5$$

$$\frac{\chi_x}{K_x} = 300 \quad \frac{\chi_y}{K_y} = 300$$

* Peso Propio:

$$g = 20 \text{ kg / cm}^2$$

Se toma 21 kg / cm^2 para considerar la influencia de la inclinación de la superficie.

$$H_{x_g} = \frac{\chi_x}{K_x} \times g = 300 \times 21 = 6,30 \text{ t/m}$$

$$H_{y_g} = \frac{\chi_y}{K_y} \times g = 300 \times 21 = 6,30 \text{ t/m}$$

* Viento:

$$v = -40 \text{ kg / cm}^2$$

$$H_{x_v} = \frac{\chi_x}{K_x} \times v = 300 \times 40 = 12,00 \text{ t/m}$$

$$H_{y_v} = \frac{\chi_y}{K_y} \times v = 300 \times 40 = 12,00 \text{ t/m}$$

* COMBINACIÓN DE CARGAS: **OS ARCOS:**

	Hx(Portante)	Hy(Tensora)
PRETENSADO	6,00	6,00
g	6,30	-6,30
v	-12,00	12,00
Pret+g	12,30	-0,30
máx	12,30	11,70
mín	0,30	-0,30

6 - 4 - Comparación de resultados:

	PRECALCULO	CALCULO APROXIMADO
Hx_{máx}	12,00	12,30
Hy_{máx}	12,00	11,70

Se puede apreciar que las diferencias son exigüas, por lo tanto los cables adoptados anteriormente pueden utilizarse sin problemas.



Son máximos en la cresta y cero en los apoyos.

b - Carga por parte de los Cables Tensora:



Son máximos en los apoyos y cero en la cresta.

7 - DIMENSIONAMIENTO DE LOS ARCOS:

Los esfuerzos de los Cables Portantes y Tensores se transmiten a los dos arcos elípticos.
En este caso, cada arco elíptico tiene los siguientes radios:

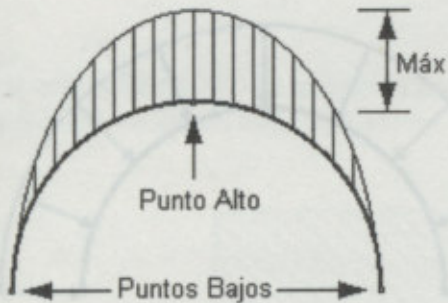


$$R1 = 120,00m$$
$$R2 = 122,38m$$

Teniendo en cuenta las magnitudes de los arcos, $R1$ y $R2$ resultan casi idénticos, entonces podemos adoptar para el cálculo la forma semicircular sin cometer mayores errores. Consideramos $R = 120$ m.

Las cargas sobre los arcos tienen las siguientes configuraciones:

a - Carga por parte de los Cables Portantes:



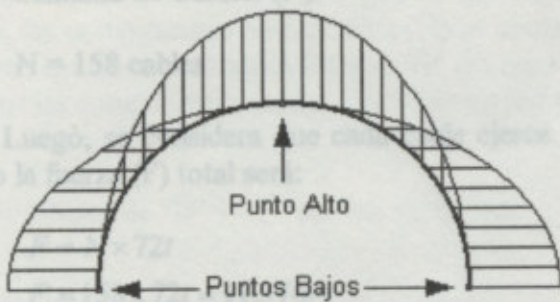
Son máximos en la cresta y cero en los apoyos.

b - Carga por parte de los Cables Tensores:



Son máximos en los apoyos y cero en la cresta.

Como ambas cargas (a y b) actúan simultáneamente se tiene el siguiente estado de cargas:

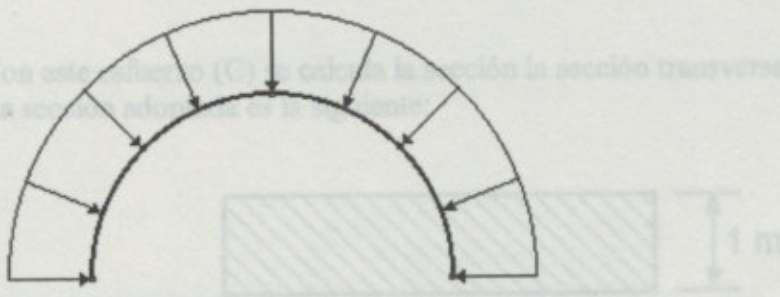


Haciendo composición de fuerzas tenemos la siguiente distribución de cargas:

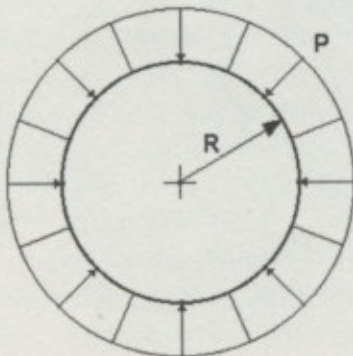


Como la carga obtenida es "casi constante" (pues, en este caso, los valores máximos de cada serie resultaron ser iguales, 72t), se puede suponer como tal.

Por lo tanto se considera como Estado Final de Cargas sobre los arcos el siguiente esquema:



Luego, se puede concluir que el estado de cargas se asemeja mucho a un esquema de "carga radial uniforme" (P) sobre la parte exterior de un tubo.



Este estado de carga origina un esfuerzo de compresión interno (C) que es igual a la carga (P) por el radio (R).

$$C = P \times R$$

En este caso, dicha carga "P" la obtenemos de la siguiente forma:

1° - Cantidad de Cables: (N)

$$N = 158 \text{ cables}$$

2° - Luego, se considera que cada cable ejerce sobre los arcos una fuerza de 72 toneladas, por lo tanto la fuerza (F) total será:

$$F = N \times 72t$$

$$F = 158 \times 72t = 11.376t$$

3° - La carga "P" se obtiene dividiendo la carga "F" por el perímetro de los arcos (Per):

$$Per = \pi \times 240m = 754m$$

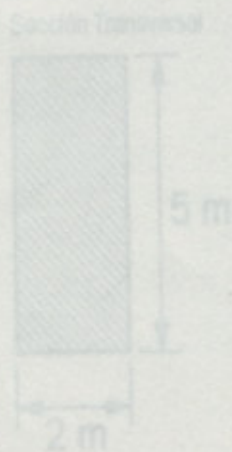
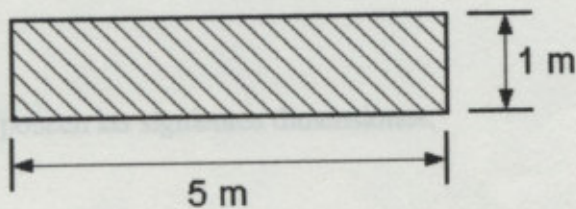
$$P = \frac{F}{Per} = \frac{11.376t}{754m} \cong 15.1t/m$$

Por lo tanto el Esfuerzo de Compresión (C) en los arcos será:

$$C = P \times R$$

$$C = 15.1t/m \times 120m = 1812t$$

Con este esfuerzo (C) se calcula la sección la sección transversal de los arcos.
La sección adoptada es la siguiente:



8 - DIMENSIONAMIENTO DE LAS COLUMNAS:

Los esfuerzos de compresión (C) de los arcos se transfieren hasta los extremos de los mismos. Aquí, las componentes horizontales (H) se anulan (son opuestas) pues los esfuerzos "H" de un arco se auto equilibran con los esfuerzos "H" del arco opuesto.

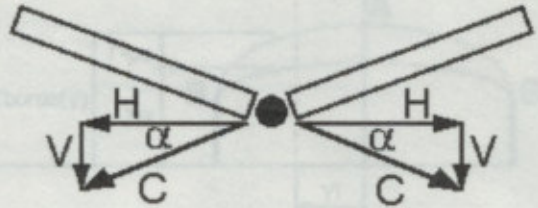
Pero las componentes verticales (V) se suman pues tienen el mismo sentido.

Los valores de "H" y "V" son los siguientes:

$$\alpha = 11^\circ 18' 36''$$

$$H = C \times \cos \alpha = 1812t \times \cos \alpha = 1776,8t$$

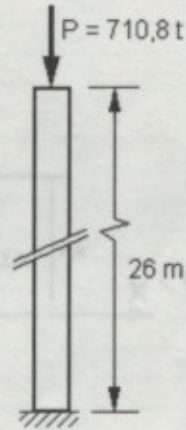
$$V = C \times \sin \alpha = 1812t \times \sin \alpha = 355,4t$$



Los esfuerzos verticales (V) se transfieren a dos grandes columnas, una en cada extremo del estadio.

La carga total sobre cada columna (P_{COL}) será:

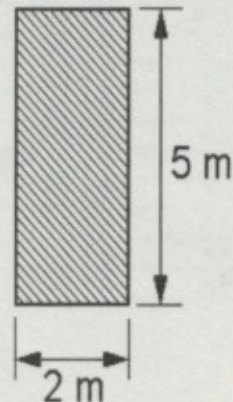
$$P_{COL} = 2 \times V = 2 \times 355,4t = 710,8t$$



Las 2 columnas poseen las siguientes dimensiones:

$$\text{Área} = 10 \text{ m}^2$$

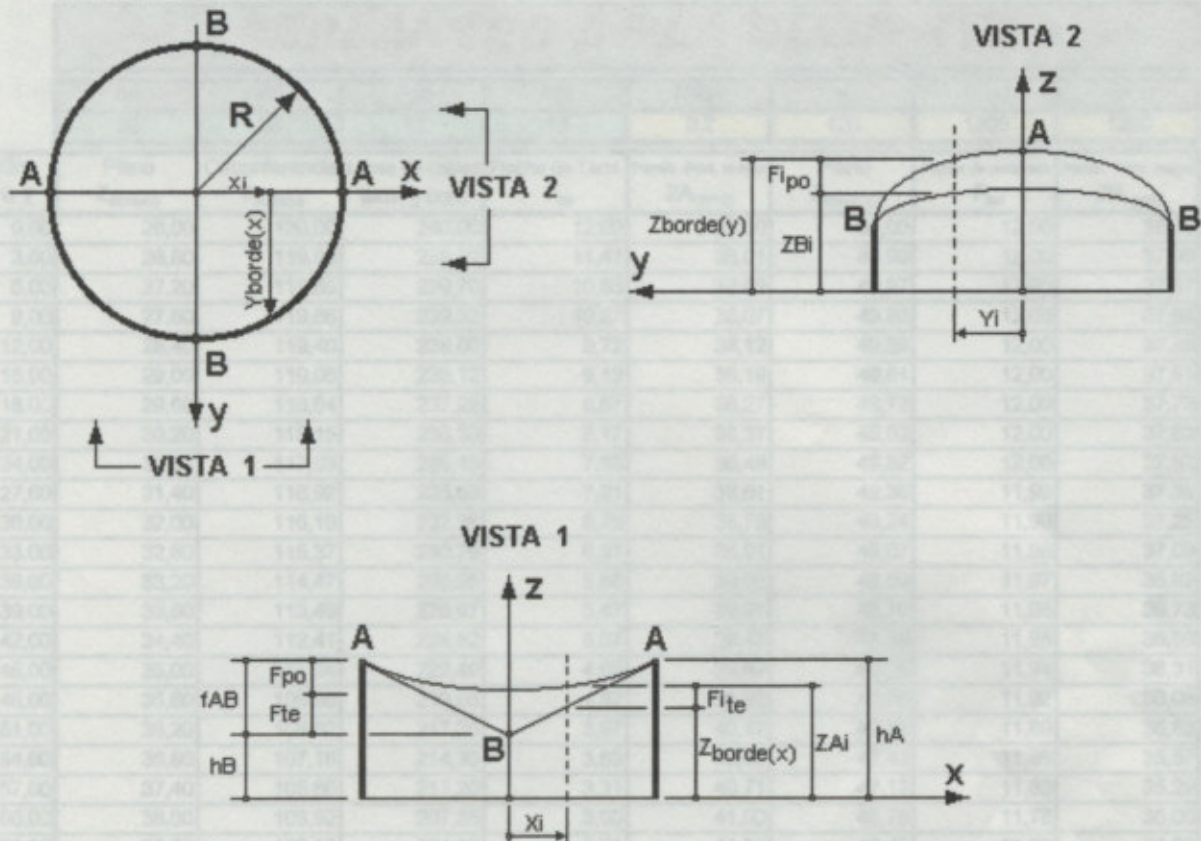
Sección Transversal



9 - REPLANTEO DE LA CUBIERTA:

Para realizar el replanteo de la cubierta se consideraron los siguientes esquemas:

PLANTA CIRCULAR



* Nomenclatura:

- R** : Radio del Estadio
- A** : Punto Alto
- B** : Punto Bajo
- h_A** : Altura a un Punto Alto
- h_B** : Altura a un Punto Bajo
- F_{po}** : Flecha de la parábola portante mayor
- F_{te}** : Flecha de la parábola tensora mayor
- f_{AB}** : Desnivel entre A y B
- Z_{borde(x)}** : Alturas del borde en función de "x"
- Z_{borde(y)}** : Alturas del borde en función de "y"
- Y_{borde(x)}** : Borde en función de "x" (circunferencia)
- F_{ite}** : Flechas de las parábolas tensoras
- F_{ipo}** : Flechas de las parábolas portantes
- Z_{Ai}** : Alturas de la parábola portante mayor
- Z_{bi}** : Alturas de la parábola tensora mayor

A continuación se muestra la Planilla de Replanteo la cual muestra los valores de las variables nombradas anteriormente. Dicha planilla contiene los datos para un cuarto del Estadio pues los datos se repiten en las cuatro porciones.

REPLANTEO DE LA CUBIERTA

hA	hB	Fpo	Fte	fAB/r	r	2p(x)	2p(y)
50	26	12	12	0,2	120	1200	1200

c/3m X ó Y	Plano Z _{borde(x)}	Circunferencia Y _{borde(x)}	Luces de cables tens. y port.	Flecha de Tens. F _{ite}	Paráb. Port. mayor ZA ₁ (Y=0)	Plano Z _{borde(y)}	Flecha de portantes F _{ipo}	Paráb. Tens. mayor ZB ₁ (x=0)
0,00	26,00	120,00	240,00	12,00	38,00	50,00	12,00	38,00
3,00	26,60	119,96	239,92	11,41	38,01	49,99	12,00	37,99
6,00	27,20	119,85	239,70	10,83	38,03	49,97	12,00	37,97
9,00	27,80	119,66	239,32	10,27	38,07	49,93	12,00	37,93
12,00	28,40	119,40	238,80	9,72	38,12	49,88	12,00	37,88
15,00	29,00	119,06	238,12	9,19	38,19	49,81	12,00	37,81
18,00	29,60	118,64	237,28	8,67	38,27	49,73	12,00	37,73
21,00	30,20	118,15	236,30	8,17	38,37	49,63	12,00	37,63
24,00	30,80	117,58	235,15	7,68	38,48	49,52	12,00	37,52
27,00	31,40	116,92	233,85	7,21	38,61	49,38	11,99	37,39
30,00	32,00	116,19	232,38	6,75	38,75	49,24	11,99	37,25
33,00	32,60	115,37	230,75	6,31	38,91	49,07	11,98	37,09
36,00	33,20	114,47	228,95	5,88	39,08	48,89	11,97	36,92
39,00	33,80	113,49	226,97	5,47	39,27	48,70	11,96	36,73
42,00	34,40	112,41	224,82	5,07	39,47	48,48	11,95	36,53
45,00	35,00	111,24	222,49	4,69	39,69	48,25	11,94	36,31
48,00	35,60	109,98	219,96	4,32	39,92	48,00	11,92	36,08
51,00	36,20	108,62	217,25	3,97	40,17	47,72	11,89	35,83
54,00	36,80	107,16	214,33	3,63	40,43	47,43	11,86	35,57
57,00	37,40	105,60	211,20	3,31	40,71	47,12	11,83	35,29
60,00	38,00	103,92	207,85	3,00	41,00	46,78	11,78	35,00
63,00	38,60	102,13	204,26	2,71	41,31	46,43	11,73	34,69
66,00	39,20	100,22	200,44	2,43	41,63	46,04	11,67	34,37
69,00	39,80	98,18	196,36	2,17	41,97	45,64	11,60	34,03
72,00	40,40	96,00	192,00	1,92	42,32	45,20	11,52	33,68
75,00	41,00	93,67	187,35	1,69	42,69	44,73	11,42	33,31
78,00	41,60	91,19	182,38	1,47	43,07	44,24	11,31	32,93
81,00	42,20	88,54	177,08	1,27	43,47	43,71	11,18	32,53
84,00	42,80	85,70	171,39	1,08	43,88	43,14	11,02	32,12
87,00	43,40	82,65	165,30	0,91	44,31	42,53	10,84	31,69
90,00	44,00	79,37	158,75	0,75	44,75	41,87	10,62	31,25
93,00	44,60	75,84	151,67	0,61	45,21	41,17	10,37	30,79
96,00	45,20	72,00	144,00	0,48	45,68	40,40	10,08	30,32
99,00	45,80	67,82	135,63	0,37	46,17	39,56	9,73	29,83
102,00	46,40	63,21	126,43	0,27	46,67	38,64	9,31	29,33
105,00	47,00	58,09	116,19	0,19	47,19	37,62	8,81	28,81
108,00	47,60	52,31	104,61	0,12	47,72	36,46	8,18	28,28
111,00	48,20	45,60	91,19	0,07	48,27	35,12	7,39	27,73
114,00	48,80	37,47	74,94	0,03	48,83	33,49	6,32	27,17
117,00	49,40	26,66	53,33	0,01	49,41	31,33	4,74	26,59
120,00	50,00	0,00	0,00	0,00	50,00	26,00	0,00	26,00

ADRIAN A. PARUANO

10 - BIBLIOGRAFÍA:

- Estructuras colgantes. Frei Otto.
- Estructuras espaciales de acero. Makowski.
- Estructuras de tracción. Mario Natalini, Daniel Vedoya.
- Revista Summa N° 125.
- Revista Projeto N°132, N°184.
- Suplemento Arquitectura Diario "La Nación" N°80, N°93, N°111.



ADRIAN A. PAGLIANO