

## **MEMORIA DE CÁLCULO**

### **PASARELA ELEVADA – CASCADA DE LAS ÁNIMAS**

Camino El Volcán 31.087, San Alfonso  
Comuna de San José de Maipo  
Región Metropolitana - Chile



Realizado por:

**ESTUDIO ESTRUCTURAL**  
Ingeniería Estructural

Revisión 1  
**Septiembre 2022**



<b>ÍNDICE.</b>	Pág.
<b>MEMORIA EXPLICATIVA DE CÁLCULO</b>	
1. GENERALIDADES.....	3
2. ANTECEDENTES.....	5
3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.....	6
4. CARGAS Y SOBRECARGAS.....	6
5. COMBINACIONES DE CARGA.....	7
6. MODELAMIENTO.....	8
7. VERIFICACION ESTRUCTURAL.....	8
8. CONCLUSIONES.....	15
9. RECOMENDACIONES.....	15

## **MEMORIA EXPLICATIVA DE CÁLCULO**

PASARELA ELEVADA – CASCADA DE LAS ÁNIMAS (SAN ALFONSO)

### **1.- GENERALIDADES**

El presente documento contiene un registro de la verificación teórica de una pasarela de 60 metros de largo conectada en arboles a una altura de 14 y 15,5 metros en cada borde:

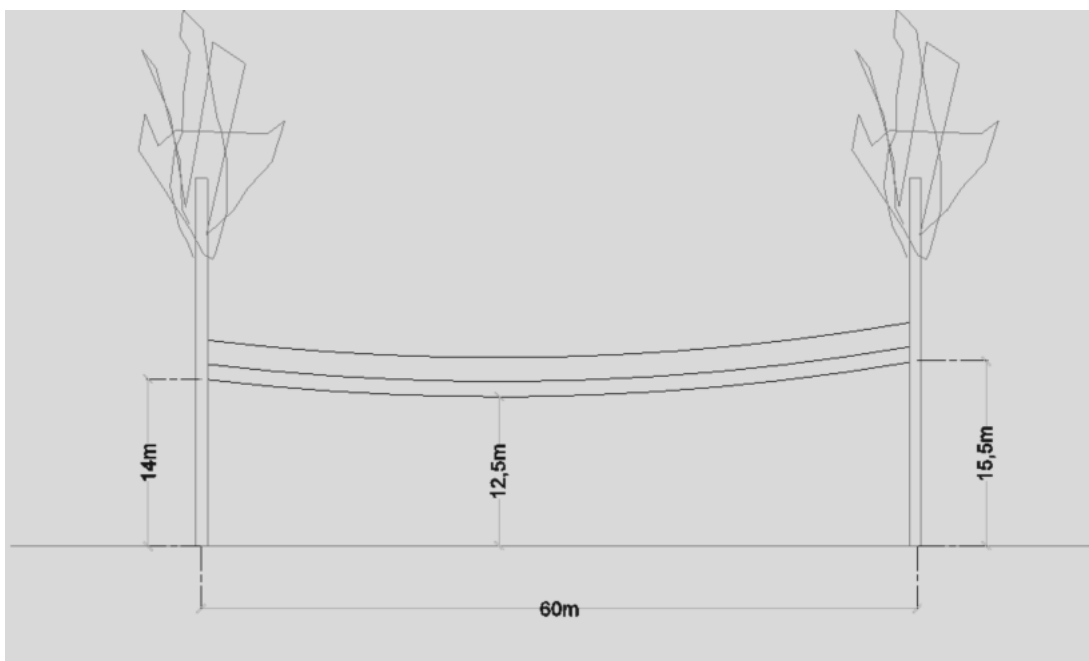


Imagen 1: Vista en elevación de la pasarela sin carga de personas: la estructura forma una curva parabólica para su condición de peso propio con su punto más bajo a 12,5 metros del suelo.

La estructura está compuesta por tablonces de madera de 2"x6" cada 50cm, 5 cables de acero de 10mm de diámetro que pasan por 4 pórticos metálicos de sección cajón 50x20x3, prensas y conexiones, quedando amarrada a árboles en sus extremos.

Se realizó un análisis estático y dinámico con cargas de viento y sismo. Se entrega la resistencia actual de la estructura y se proponen refuerzos para cumplir con la normativa nacional vigente.

Fuera del alcance de este estudio fue la verificación de resistencia de los árboles, por ser elementos que no contienen norma ni están certificados en sus resistencias.

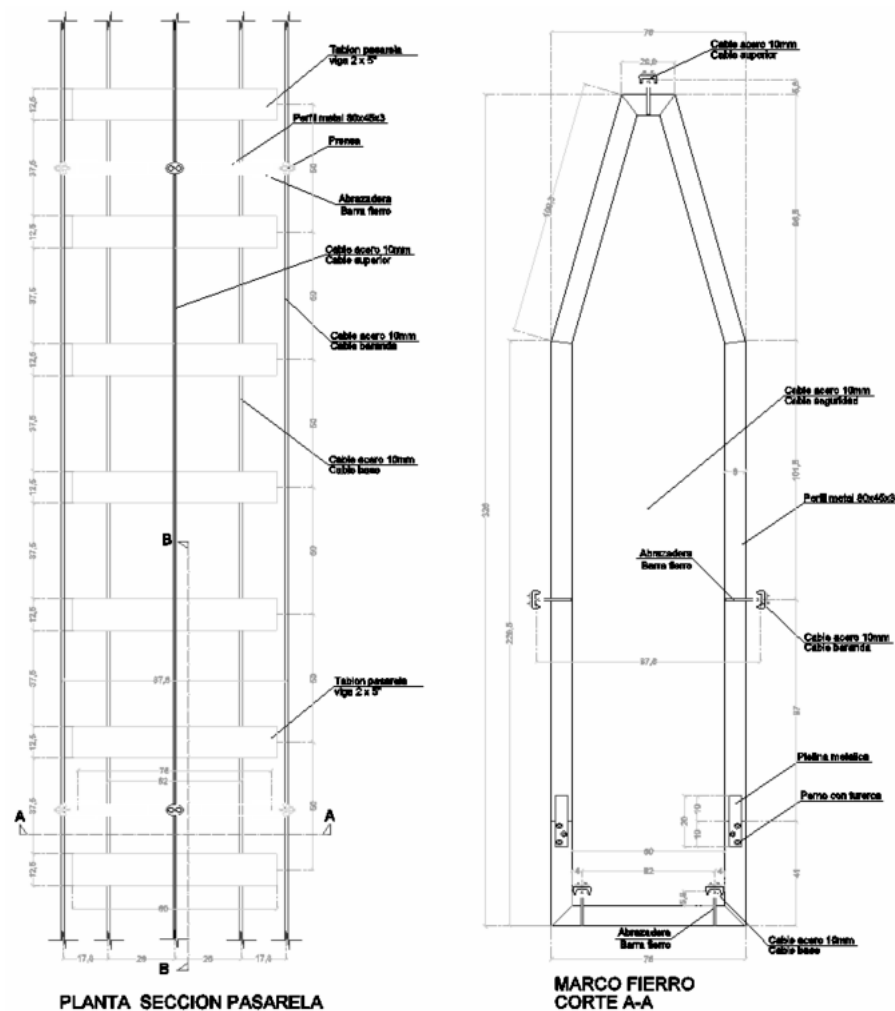


Imagen 2: Vista en planta y sección transversal de la estructura.

## **2.- ANTECEDENTES**

Para la verificación estructural se utilizaron los antecedentes descritos a continuación:

### **2.1 Plano**

- Geometría en planta y elevación con detalles de conexión. Nicolas Yerovi.

### **2.2 Documentos**

- Fotografías de la estructura. Agosto 2022. Nicolas Yerovi.
- Resistencia de Cables: Nantong Shenwei Steel Wire Rope CO., Ltd. Certificate.
- Resistencia de Cables: Cable de acero negro 6x36 alma de acero. AIMTEC.
- Materiales pasarela Canopy. Nicolas Yerovi.
- Colocación de Grampas. H-LIFT Industries Co., Ltd.

### **2.3 Normas**

La verificación se basa en las normas pertinentes del Instituto Nacional de Normalización señaladas a continuación:

- Norma NCh 433 of. 1996 Mod 2009 Diseño sísmico de edificios.
- DS 61 Reglamento que fija el diseño sísmico de edificios.
- Norma NCh 1537 of. 2009 Cargas permanentes y sobrecargas.
- Norma NCh 2369 of. 2003 Diseño sísmico de estructuras e instalaciones industriales.
- Norma NCh 3171 of. 2017 Diseño estructural – Disposiciones generales y combinaciones de cargas.
- Norma NCh 3417 of. 2016 Estructuras. Requisitos para proyectos de Cálculo Estructural.
- Norma NCH 1198 of. 2014 Madera–Construcciones en madera–Cálculo.
- Norma NCH 427/1 of. 2016 Cálculo de Estructuras de acero.
- Norma NCh1537 of. 2009 Cargas permanentes y sobrecargas.
- Norma NCh432 of. 2010 Diseño Estructural – Cargas de viento.

### **3.- ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ELEMENTOS**

Para la verificación se consideraron los siguientes elementos:

- Cable de acero de 10mm de diámetro. Resistencia a la rotura de 5.868 Kgf (58,1 KN según *Nantong Shenwei Steel Wire Rope CO., Ltd. Certificate.*).
- Tablas de madera de 2"x6" de largo 80cm.
- Pórticos de acero cajones 50x20x3.

### **4.- CARGAS Y SOBRECARGAS**

*(En relación con el punto 5.1.7.1 de la Ordenanza General de Construcciones)*

Para la estructura se consideraron las cargas producidas por peso propio, sobrecarga, viento y sismo.

#### **4.1 Peso Propio (CM)**

Se consideraron las cargas de peso propio de los elementos.

#### **4.2 Sobrecargas (L)**

Para el caso de las sobrecargas se consideró una carga puntual de 100 kgf por cada tabla de 2"x6", que al estar cada 50cm, corresponde a una carga distribuida de 200 Kgf/m.

#### **4.3 Sismo (E)**

A continuación, se entregan los parámetros sísmicos utilizados, según norma Nch 2369:

- Zona sísmica = 2.
- Suelo Tipo D.
- $T' = 0,85$ .
- $n = 1,80$ .
- $R = 2$ .
- $\xi = 0,02$ .
- $I = 1,0$ .
- Masa sísmica = peso propio + (0,25 \* sobrecarga)

- $C_{max} = 0,42$

#### **4.4 Viento (W)**

Se consideró una presión de viento de  $75 \text{ kgf/m}^2$ , correspondiente a una velocidad de viento de  $34,64 \text{ m/s}$ .

#### **4.5 Nieve (S)**

Se consideró una carga de nieve de  $100 \text{ kgf/m}^2$  para la ubicación en latitud  $33^\circ$  y altura  $1.100 \text{ m.s.n.m}$ .

### **5.- COMBINACIONES DE CARGA**

Se utilizaron las combinaciones de carga establecidas por las Norma NCh 3171. A continuación, se describen los estados de carga utilizados:

D: Carga muerta.  
Ex: Carga sísmica horizontal en eje X.  
Ey: Carga sísmica horizontal en eje Y.  
Ev: Carga sísmica vertical.  
L: Carga viva.  
S: Carga de nieve.  
W: Carga de viento.

Para el diseño por el método ASD se utilizó:

- 1) D
- 2) D + L
- 3) D + S
- 4) D +  $0,75L$  +  $0,75S$
- 5.1) D +  $W_x$
- 5.2) D +  $W_y$
- 5.3) D  $\pm$  Ex
- 5.4) D  $\pm$  Ey
- 6.1) D +  $0,75W_x$  +  $0,75L$  +  $0,75S$
- 6.2) D +  $0,75W_y$  +  $0,75L$  +  $0,75S$
- 6.3) D  $\pm$   $0,75E_x$  +  $0,75L$  +  $0,75S$



**ESTUDIO  
ESTRUCTURAL**

- 6.4)  $D \pm 0,75E_y + 0,75L + 0,75S$
- 7.1)  $0,6D + W_x$
- 7.2)  $0,6D + W_y$
- 8.1)  $0,6D \pm E_x$
- 8.2)  $0,6D \pm E_y$
- 9.1)  $D + 0,25L \pm E_x \pm E_v$
- 9.2)  $D + 0,25L \pm E_y \pm E_v$
- 10.1)  $D + E_x \pm E_v$
- 10.2)  $D + E_y \pm E_v$

## 6.- MODELAMIENTO

En el software de ingeniería estructural SAP2000, se modeló la pasarela.

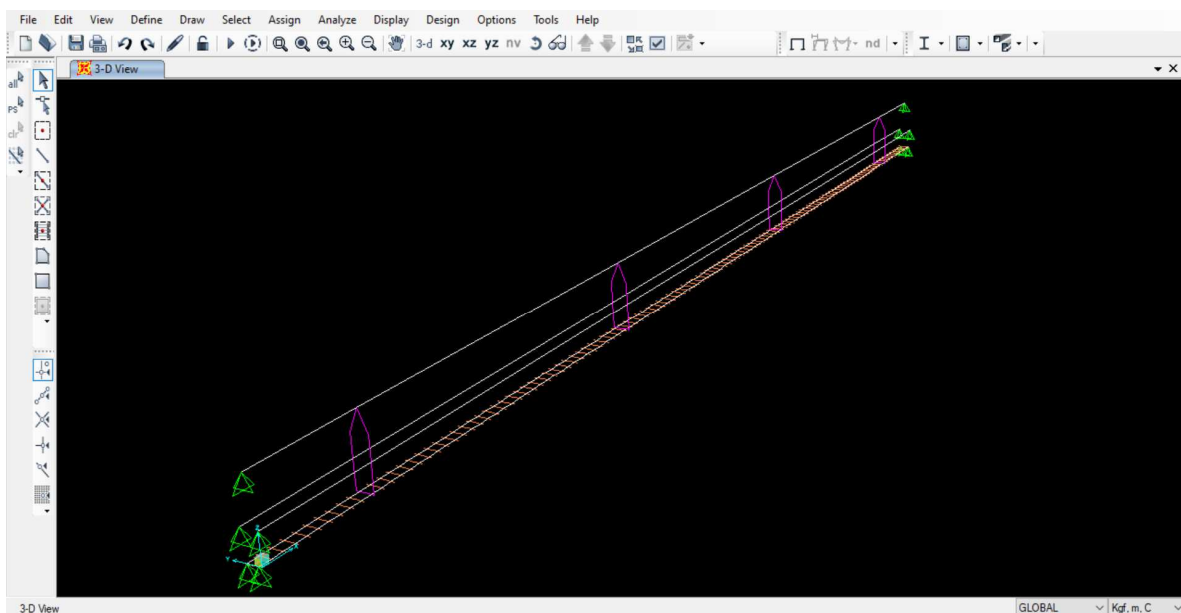


Imagen 3: Modelo de la estructura en SAP2000.

## 7.- VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL

Utilizaremos el método de cálculo ASD.



La carga muerta o peso propio de la estructura corresponde a **12,6 Kgf/m**.

Para el caso de sobrecarga (L), se verificará la pasarela para la situación de una carga puntual de 100 kgf por cada tabla de 2"x6", que al estar cada 50cm, corresponde a una carga distribuida de **200 Kgf/m**.

Para el caso de la carga sísmica, utilizando el Método Estático, tenemos la siguiente fuerza por metro lineal:

$$P = \text{Masa sísmica} = D + 0,25 \cdot L = 12,6 + (0,25 \cdot 200) = 62,6 \text{ Kgf/m}$$

$$\Rightarrow \text{Fuerza sísmica máxima} = C_{\max} \cdot I \cdot P = 0,42 \cdot 1 \cdot 62,6 = 26,3 \text{ Kgf/m}$$

Para el caso de la carga de viento, considerando un área por persona promedio de 0,5m (ancho de una persona) x 1,7 m (altura de una persona):

$$\text{Área proyectada} = 0,5 \cdot 1,7 = 0,85 \text{ m}^2$$

$$\Rightarrow \text{Fuerza de viento} = 1,2 \cdot q \cdot A = 1,2 \cdot 0,85 \cdot 75 \cdot 2 = 153 \text{ Kgf/m}$$

Para el caso de la carga de nieve, se consideró que en cada tablón (15cm de ancho), se puede juntar nieve:

$$\text{Fuerza de nieve} = 100 \cdot 0,15 \cdot 0,8 = 12 \text{ Kgf}$$

$$\Rightarrow \text{Para 1 metro lineal (2 tablones)} = 12 \cdot 2 = 24 \text{ Kgf/m}$$

Verificando cual es la Combinación de Carga más desfavorable (por metro lineal):

- 1)  $D = 12,6 \text{ Kgf/m}$
- 2)  $D + L = 12,6 + 200 = 212,6 \text{ Kgf/m}$
- 3)  $D + S = 12,6 + 24 = 36,6 \text{ Kgf/m}$
- 4)  $D + 0,75L + 0,75S = 12,6 + 0,75 \cdot 200 + 0,75 \cdot 24 = 180,6 \text{ Kgf/m}$
- 5.1)  $D + W_x = \sqrt{(12,6^2 + 153^2)} = 153,5 \text{ Kgf/m}$  (suma geométrica)
- 5.3)  $D \pm E_x = \sqrt{(12,6^2 + 26,3^2)} = 29,2 \text{ Kgf/m}$  (suma geométrica)
- 5.4)  $D \pm E_y = \sqrt{(12,6^2 + 26,3^2)} = 29,2 \text{ Kgf/m}$  (suma geométrica)



**ESTUDIO  
ESTRUCTURAL**

**6.1)  $D + 0,75W_x + 0,75L + 0,75S = \sqrt{((180,6)^2 + (153)^2)} = 236,7 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$**

6.3)  $D \pm 0,75E_x + 0,75L + 0,75S = \sqrt{((180,6)^2 + (26,3)^2)} = 182,5 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$

6.4)  $D \pm 0,75E_y + 0,75L + 0,75S = \sqrt{((180,6)^2 + (26,3)^2)} = 182,5 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$

7.1)  $0,6D + W_x = \sqrt{((0,6*12,6)^2 + 153^2)} = 153,2 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$

8.1)  $0,6D \pm E_x = \sqrt{((0,6*12,6)^2 + 26,3^2)} = 27,4 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$

8.2)  $0,6D \pm E_y = \sqrt{((0,6*12,6)^2 + 26,3^2)} = 27,4 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$

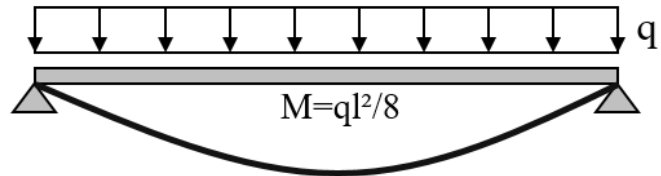
9.1)  $D + 0,25L \pm E_x \pm E_y = \sqrt{((12,6+(0,25*200))^2 + 26,3^2)} = 164,7 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$

9.2)  $D + 0,25L \pm E_y \pm E_x = \sqrt{((12,6+(0,25*200))^2 + 26,3^2)} = 164,7 \text{ Kgf/m (suma geométrica)}$

Para la verificación de las gradas se utilizó la combinación D+L y para los cables y estructura global la combinación  **$D + 0,75W_x + 0,75L + 0,75S = \sqrt{((180,6)^2 + (153)^2)} = 236,7 \text{ Kgf/m}$** .

• VERIFICACION GRADAS DE MADERA DE 2"x6"

Fy [kg/cm <sup>2</sup> ]	96.67
E [kg/cm <sup>2</sup> ]	80000



**CARGAS**

PP 5.625 k/m<sup>2</sup>

SC puntual 100 kgf

Area Tributaria 0.15 m

q [kg/m]	L [m]	M [kg-m]	Def Adm [cm]		
			Costaneras	Viga Piso	Enrejados
0.84	0.52	13.03	L/200	L/300	L/700
		1302.9 kg-cm	0.26	0.17	0.07

Perfil	W [cm <sup>3</sup> ]	I [cm <sup>4</sup> ]	M/W		Δ	
6x2	63	156	20.8	ok	0.03	ok

⇒ **Las gradas de madera resisten cada una la carga puntual de 100Kgf en su centro.**

- VERIFICACIÓN DE CABLES DE 10mm

Fórmulas para cables:

- 1)  $Y(X) = (q/2F_H) * X^2$  , Geometría de parábola para cargas distribuidas
- 2)  $T * \cos(\theta) = F_H$  , Tensión del cable para cualquier ángulo  $\theta$
- 3)  $T * \sin(\theta) = q * X$  , Tensión del cable para cualquier ángulo  $\theta$
- 4)  $T(X) = F_H * \sqrt{1 + (q * X / F_H)^2}$  , Tensión del cable en cualquier punto X

Y: Altura del cable (m), considerando un eje cartesiano con su origen en el punto más bajo de la parábola (ver Imagen 4). Por ejemplo, en Imagen 1 el punto más bajo está a 12,5 metros de altura respecto al suelo.

X: Distancia horizontal del cable (m), considerando un eje cartesiano en el punto más bajo de la parábola.

T: Tensión del cable (Kgf).

$\theta$ : Angulo respecto a la horizontal, de la tangente en un punto de la parábola que forma el cable.

$F_H$ : Tensión horizontal (Kgf), corresponde a la tensión en el punto más bajo de la parábola, en que la tangente es horizontal. En imagen 5,  $F_H = T_0$ .

q: Carga uniforme sobre el cable (Kgf/m).

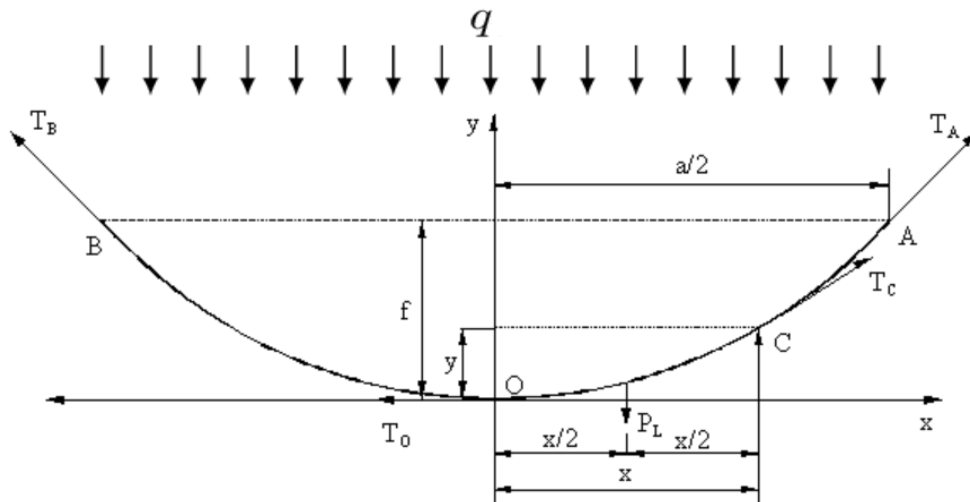


Imagen 4: Geometría del cable.

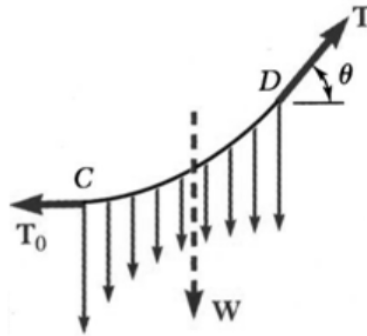


Imagen 5: Fuerzas en tramo de cable.

Calculando la ubicación horizontal del punto más bajo del cable para la situación de peso propio (información entregada por Nicolas Yerovi de Cascada de Las Ánimas), correspondiente al punto que está a 12,5 m respecto al suelo en Imagen 1:

$$q = 12,6 \text{ Kgf/m}$$

$$Y_{izq} = 14 - 12,5 = 1,5 \text{ m}$$

$$Y_{der} = 15,5 - 12,5 = 3 \text{ m}$$

En formula 1):

$$i) \quad Y_{izq} = 1,5 = 12,6 / (2 * F_H) * X_{izq}^2$$

$$ii) \quad Y_{der} = 3 = 12,6 / (2 * F_H) * X_{der}^2$$

$$\text{Pero } X_{izq} + X_{der} = 60 \text{ m (ver Imagen 1)} \Rightarrow X_{izq} = 60 - X_{der}$$

Reemplazamos en i) y quedan 2 ecuaciones con 2 incógnitas, por lo cual:

$$\mathbf{X_{izq} = 25 \text{ m}}$$

$$\mathbf{X_{der} = 35 \text{ m}}$$

$$\mathbf{F_H = 2.625 \text{ Kgf}}$$

Usando la formula iv) encontramos que la tensión máxima está para el X mayor correspondiente a  $X_{der} = 35 \text{ m}$ , dando una tensión de:

$$T_{max} = 2.662 \text{ Kgf, que para cada cable de piso, corresponde a:}$$

**Tmax = 1.331 Kgf < 5.868 Kgf (tensión de rotura)**

⇒ **Cables resisten peso propio de la estructura, que es la situación actual.**

Veamos la situación para la combinación mas desfavorable que corresponde a una carga total de  $q = 236,7$  Kgf/m (combinación 6.1):

Usando formula 1) para los extremos de la estructura:

i)  $Y_{izq} = 236,7 / (2 * F_H) * 25^2$

ii)  $Y_{der} = 236,7 / (2 * F_H) * 35^2$

Restando i) - ii):

$$Y_{izq} - Y_{der} = 1,5 = 71.010 / F_H \Rightarrow F_H = 47.340 \text{ Kgf}$$

Usando formula iv), Tensión máxima =  $T = 48.060$  Kgf

**Por cada cable 24.030 > 5.868 Kgf (tensión de rotura)**

⇒ **CABLES NO RESISTEN. Se requieren al menos 48.060Kgf/5.868Kgf (solicitud total / resistencia de 1 cable de 10mm) = 8,19 cables de 10mm, es decir al menos 9 cables de 10mm para resistir.**

También se puede utilizar la siguiente configuración:

⇒ **4 cables de 10mm (23.472 kgf) + 2 cables de 14,5mm (26.400 Kgf) = Resistencia de 49.872 Kgf > 48.060 Kgf (solicitado)**

- VERIFICACIÓN DE ANILLOS DE AGARRE A ARBOLES

Si consideramos que hay 2 anillos de enganche a tronco de árbol en cada lado de la pasarela (ver Imagen 6), cada anillo debe resistir  $48.060 \text{ kgf} / 2 = 24.030$  Kgf:

Los anillos trabajan a tracción:

En la sección neta:  $F_t \leq 0,60F_y = 0,60 \cdot 2.400 = 1.400 \text{ Kg/cm}^2$

⇒  $T_{\text{solicitante}} / (2 \cdot \text{Area sección anillo}) < 1.400 \text{ Kg/cm}^2$

⇒  $\text{Area sección anillo} > 24.030 \text{ kgf} / (2 \cdot 1.400 \text{ Kg/cm}^2)$

⇒ **Area sección anillo > 8,6 cm<sup>2</sup>**

**Si la placa tiene un ancho de 11cm su espesor debe ser de al menos 8mm ( $11 \cdot 0,8 = 8,8 \text{ cm}^2 > 8,6 \text{ cm}^2$ ).**

**O si la placa es de 15cm de ancho su espesor debe ser de al menos 6mm ( $15 \cdot 0,6 = 9 \text{ cm}^2 > 8,6 \text{ cm}^2$ )**

- VERIFICACIÓN DE LA VIGA METALICA CONECTADA A ANILLOS DE AGARRE A ARBOLES

Si consideramos que hay 1 viga metálica conectada a 2 anillos en sus bordes (ver Imagen 6) y que los cables inferiores de carga total tienen 48.060 Kgf de tensión total, verificaremos la viga que se requiere para resistir:



Imagen 6: Anclaje de pasarela a arboles.

Esta viga trabaja a corte:

En la sección total:  $F_v \leq 0,40F_y = 960 \text{ Kgf/cm}^2$

⇒ Corte solicitante / Área sección viga < 960 Kgf/cm<sup>2</sup>

**Área sección viga > (48.060 Kgf/2) / 960 Kgf/cm<sup>2</sup> = 25,5 cm<sup>2</sup>**

**Por ejemplo, la viga IPN 180, tiene una sección de 27,9 cm<sup>2</sup> y resistiría la tensión de diseño.**

## **8.- CONCLUSIONES**

Una vez realizada la revisión de la estructura se concluye lo siguiente:

- La pasarela resiste su propio peso, pero **no resiste la carga máxima en su disponibilidad de transeúntes, correspondiente a una persona en cada tabla de 2"x6"**. Resisten las tablas, **pero no resisten los cables, anillos de amarre a árboles ni viga metálica de borde que conecta pasarela a árboles.**
- Se deben utilizar grampas según indicaciones de fabricante y su resistencia debe ser al menos la resistencia de rotura del cable que está amarrando.

## **9.- RECOMENDACIONES**

En base al análisis realizado a la estructura presentada para revisión y las conclusiones establecidas, se entrega lo siguiente:

- La pasarela se debe reforzar para que resista las cargas exigidas por la normativa. Respecto a cables se propone agregar 2 cables



**ESTUDIO  
ESTRUCTURAL**

de 14,5mm de diámetro en la cara inferior de las tablas de 2"x6", cada uno a los lados interiores de los cables de 10mm existentes y 2 cables de 10mm, 1 cada lado exterior de los cables existente. Además, se propone unir pares de cables de cara inferior de tabla con los ubicados a 90cm como baranda, con cables de 10mm cada 1 metro. Ver Imágenes 7 y 8:

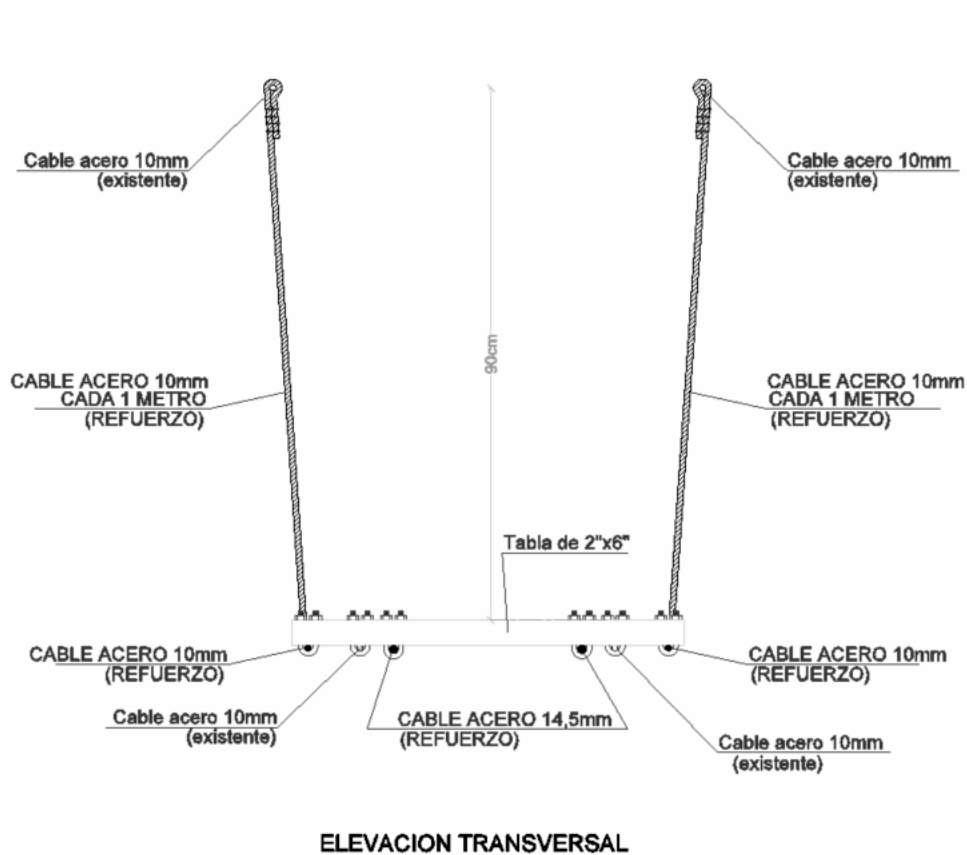
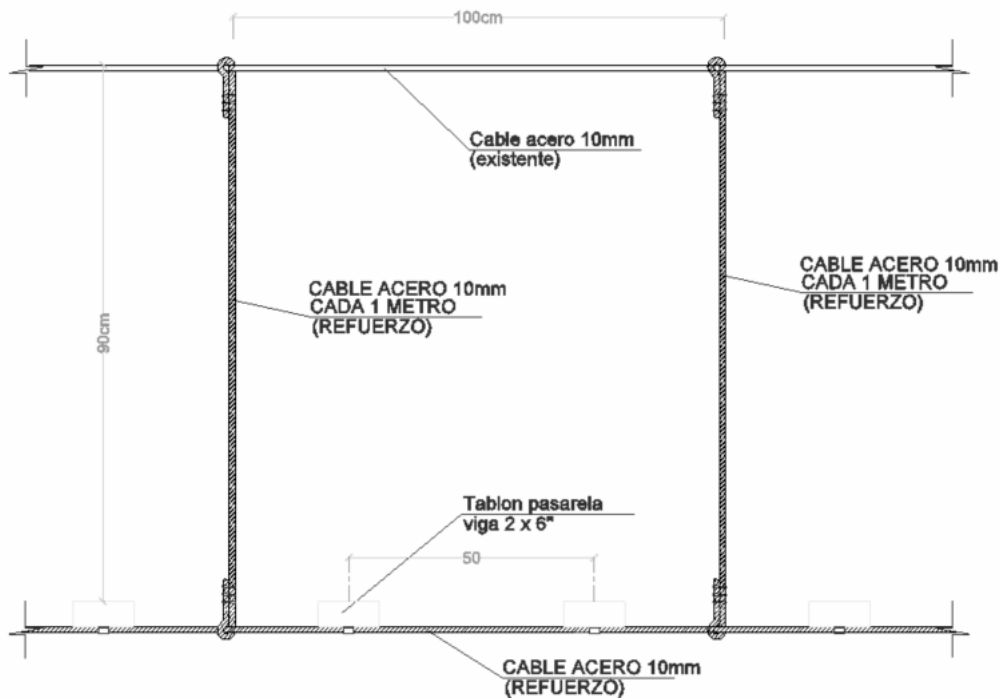


Imagen 7: Elevación transversal de refuerzos.





**ELEVACION LONGITUDINAL**

Imagen 8: Elevación longitudinal de refuerzos.

- Se debe reforzar anillos y vigas metálicas de amarre a los árboles: La sección mínima del anillo debe ser de un área de  $9 \text{ cm}^2$  y la sección de la viga de  $26 \text{ cm}^2$ .
- Se recomienda colocar al menos 2 tensores de 14,5mm, en cada árbol y en sentido opuesto a las tensiones que genera la pasarela en los árboles, para ayudar a su estabilidad. Ver Imagen 9:

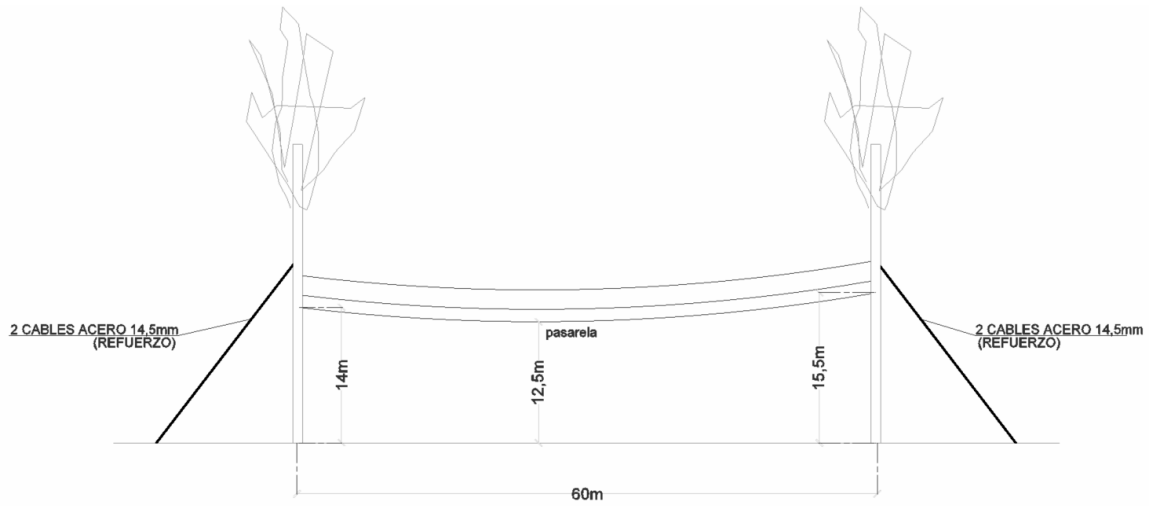


Imagen 9: Refuerzos en árboles.

- Se recomienda evitar soldaduras de "tope" (circulo rojo en Imagen 10) y utilizar anillos soldados estando entrelazados uno dentro de otro (de manera similar a como están 2 aros de una cadena).



Imagen 10: Unión de anillos en extremo de la pasarela.



- Realizar una revisión y mantención periódica de todos los elementos que confirman la pasarela y del estado de los arboles en los que se engancha la pasarela.
- Evitar llenar la pasarela de gente, haciendo tránsitos en grupos pequeños de personas.

Santiago, Septiembre 2022.

**Rodrigo Bravo N.**  
INGENIERO CIVIL ESTRUCTURAL  
UNIVERSIDAD DE CHILE  
**ESTUDIO ESTRUCTURAL**