



## **ESPECIFICACIONES TÉCNICAS TIPO PARA TENSOESTRUCTURAS O CUBIERTAS DE MEMBRANA TENSADA**



## PREFACIO

En Arqtex, queremos contribuir al buen desempeño y construcción de proyectos de Tensoestructuras, así como promover la transparencia y probidad. Es por esto que hemos elaborado este documento tipo para especificaciones técnicas de tensoestructuras.

Estas especificaciones, están orientadas a asegurar calidad y son inclusivas a otras empresas que desarrollan proyectos de Tensoestructuras en Chile.

A continuación, se detallan a nuestro parecer, los temas más importantes a garantizar. Este documento puede ser complementado e invitamos a todos los interesados a contactarnos en caso de querer aportar en mejorar este documento.

Equipo Arqtex



## INDICE

1.	INTRODUCCION .....	5
2.	NORMAS.....	6
3.	COMPETENCIAS.....	6
3.1.	JEFE DE PROYECTO .....	6
3.2.	JEFE DE PRODUCCION Y MONTAJE: .....	6
4.	DISEÑO Y VERIFICACION ESTRUCTURAL .....	7
4.1.	PLANOS Y MODELOS 3D DE DETALLES .....	7
5.	ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO .....	7
6.	ESTRUCTURA SECUNDARIA DE ACERO.....	7
6.1.	PLATOS ESQUINA .....	8
6.2.	CLAMPING .....	8
6.3.	CABLES DE ACERO .....	8
6.4.	CABLES DE BORDE .....	8
6.5.	CABLES DE SEGURIDAD .....	8
6.6.	CABLES DE MONTAJE .....	8
6.7.	TENSORES Y CONECTORES DE ACERO.....	9
7.	TRATAMIENTO Y TERMINACION ESTRUCTURAS DE ACERO .....	9
8.	FUNDACIONES Y ANCLAJES .....	9
9.	MEMBRANA .....	9
9.1.	TIPO DE MEMBRANA.....	9
9.2.	ACABADO Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL .....	10
9.3.	PATRONAJE.....	10
9.4.	TRAZADO .....	10
9.5.	CORTE .....	11
9.6.	CONFECCION .....	11
10.	EVACUACION DE AGUAS LLUVIA.....	11
11.	INFORME .....	11
12.	CERTIFICADOS Y GARANTIAS DEL TEXTIL .....	11



13.	MONTAJE.....	12
13.1.	PLAN DE MONTAJE .....	12
13.2.	EMBALADO Y DESPLIEGUE .....	12
14.	PRE-TENSION .....	12
15.	NOTAS .....	12

## 1. INTRODUCCION

En primer lugar y a modo de introducción, las Membranas Estructuradas o Tensadas (también conocidas como Tensoestructuras), están compuestas por diferentes elementos estructurales, y funcionan armoniosamente en conjunto.

La membrana o textil, es un elemento de gran resistencia a la tensión, no así a la compresión, por lo que su principal función estructural, es transmitir las cargas recibidas (viento, lluvia, nieve, arena, etc.) hacia los elementos estructurales soportantes (muros, mástiles, pilares, vigas, cables, etc.). Estos a su vez, las transmiten a terreno por medio de fundaciones.

Los dos conceptos básicos y más importantes de las Tensoestructuras son la pre-tensión y la doble curvatura.

- La membrana al no tener capacidad a la compresión, debe ser pre-tensada (sometida a un estiramiento en simples palabras) para que se transforme en un elemento que oponga resistencia a fuerzas.
- La manera de hacer eficiente esta pre-tensión, es dando forma a la membrana y esto se logra por la doble curvatura, idealmente anticlástica.

Las membranas son fabricadas especialmente para que su deformación sea mínima y mantengan la tensión con el trascurso del tiempo, de modo que la forma final de esta debe ser encontrada previamente, asegurando que la tensión de las fibras en ambos sentidos (urdimbre y trama) se encuentren dentro de los parámetros del modelo o en equilibrio una vez realizada la pre-tensión.

Este proceso que integra las variables de pre-tensión, la forma de las membranas y los elementos estructurales que lo conforman, se realiza mediante la aplicación de iteración matemática y se denomina **Formfinding**, el cual es fundamental para el éxito de todo proyecto de membranas tensadas.

En el entendido que las tensoestructuras y cubiertas de membrana tensada se conforman por elementos que se encuentran en un trabajo constante y cumpliendo una función estructural específica e indispensable, es que metodológicamente se requiere de una etapa inicial de estudio, análisis y desarrollo de la propuesta de diseño, para verificar su desempeño funcional y estructural, permitiendo solo entonces, obtener un proyecto viable con un presupuesto estimado de costo de obra que permita su licitación o ejecución por parte de una empresa especialista en tenso-estructuras y cubiertas de membrana tensada.

El presente proyecto y especificaciones técnicas cumplen dicha función y definen la calidad mínima para el proyecto. El oferente, deberá desarrollar el **PROYECTO DE FABRICACION**, el cual definirá el desarrollo en términos constructivos y estructurales en concordancia con la arquitectura y atendiendo a las particularidades de los proyectos de este tipo y los resultados derivados del análisis del modelo de fabricación.



## 2. NORMAS

Se considera en primer lugar que la cubierta solicitada por diseño, de características impermeables, conforma un espacio habitable, y en tal condición debe cumplir con toda la **Normativa Chilena (Nch.) vigente** en cuanto a resistencia ante solicitaciones eventuales de Sismo, Viento y Nieve.

Dado lo anterior, la oferta deberá contemplar los cálculos de Ingeniería necesarios –mediante Software específico para Estructuras de Membranas Tensadas- para el correcto comportamiento de la cubierta ante condiciones de carga eventuales consideradas por la norma chilena vigente y las recomendaciones de la **European Design Guide for Tensile Surface Structures**, otorgando un espacio seguro para los habitantes.

## 3. COMPETENCIAS

En la Cubierta Textil, detallada de acuerdo a planos de arquitectura, se considera la provisión, fabricación e instalación de una solución completa de Membrana Tensada, la cual deberá ser desarrollada por una EMPRESA ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS DE MEMBRANA TENSADA.

La empresa debe contar con al menos **10.000m<sup>2</sup>** i de experiencia en proyectos singulares de diseño y construcción de proyectos de membrana tensada, los cuales deberán ser respaldados con certificados de experiencia.

Dentro del equipo de proyecto, producción y montaje debe haber los siguientes profesionales, facultados para ejercer en Chile, quienes deben residir en el país durante todo el proceso de proyecto, fabricación, montaje y puesta en marcha y calibración de tensiones:

### 3.1. JEFE DE PROYECTO

La Empresa deberá contar con al menos un profesional especialista en Membranas Estructuradas, que será el responsable profesional de esta partida. Podrá ser Arquitecto o Ingeniero, el cual deberá contar con estudios avanzados en estructuras de membrana tensada en:

- a) **IMS** (Institute of Membrane Structures, Anhalt University of Applied Sciences, Dessau, Alemania) candidato al grado académico de **Archineer®** o **Master-Eng. of Membrane Structures**  
O en:
- b) **TU Wien** (Continuing Education Center of the Vienna University of Technology, Vienna, Austria) con el grado académico de **MEng Membrane Lightweight Structures**.
- c) Otra Institución Académica reconocida por **Tensinet Association**.

### 3.2. JEFE DE PRODUCCION Y MONTAJE:

La Empresa deberá contar con al menos un profesional especialista en la producción y montaje de Membranas Estructuradas, que será el responsable profesional de esta partida. Podrá ser **Arquitecto, Ingeniero o Constructor Civil**, el cual deberá contar con certificados de experiencia que acrediten al menos su participación en la ejecución de las siguientes estructuras de membrana tensada:

- a) Al menos cinco años de experiencia en proyectos de membrana tensada.
- b) Al menos cinco proyectos no repetitivos de diferentes envergaduras.



- c) Al menos un proyecto de más de 1.000m<sup>2</sup>.
- d) Al menos una superficie acumulada en los cinco proyectos de 5.000m<sup>2</sup>.

#### **4. DISEÑO Y VERIFICACION ESTRUCTURAL**

**La solución propuesta debe cumplir con toda la normativa vigente en cuanto a resistencia ante sollicitaciones eventuales según la Norma Chilena, como Sismo, Viento y Nieve.**

La propuesta debe presentar el proyecto con un análisis no lineal específico de membrana tensada, en la que el material textil o membrana debe ser pre-tensada y construida con doble curvatura. Además, debe ser iterada junto con los elementos estructurales de acero, que lo conforman. Dado lo anterior, la empresa de estructuras de membrana tensada debe contemplar los cálculos de Ingeniería necesarios –mediante Software específico para Estructuras de Membranas Tensadas– para el correcto comportamiento de la cubierta ante condiciones de carga eventuales, otorgando un espacio seguro para los usuarios.

A través de este análisis estructural, se deben definir las escuadrías de la estructura metálica, para luego detallar el tipo de uniones y fijaciones de los distintos elementos.

Se deberá entregar una memoria de cálculo, con los criterios empleados y la definición de solución más eficiente ante el diseño propuesto.

##### **4.1. PLANOS Y MODELOS 3D DE DETALLES**

Previo a la fabricación e instalación de la cubierta de membrana tensada, el proponente adjudicado deberá presentar planos, modelos en tres dimensiones (formato CAD o similar) y detalles de la cubierta, los cuales deberán ser aprobados por los arquitectos y el ingeniero calculista.

#### **5. ESTRUCTURA PRINCIPAL DE ACERO**

Luego del análisis estructural de la cubierta propuesta, se deben definir las escuadrías de la estructura de acero soportante.

Los perfiles serán preferentemente tubulares redondos, según diseño de arquitectura.

El tipo de unión entre mástiles-cables, mástiles-articulación a fundación, y cables a terreno-articulación a fundación, deberán ser definidos por el proponente.

Se deberán presentar en modelos 3D, los detalles de estas uniones, para aprobación de los arquitectos.

Debe ser acompañado por una memoria de cálculo que defina los criterios y la resistencia a las condiciones de cargas efectuadas.

#### **6. ESTRUCTURA SECUNDARIA DE ACERO**

El proponente deberá presentar previo a fabricación, detalles en 3 dimensiones, a través de modelador CAD o similar, la solución de estructuras secundarias en los puntos indicados en detalles. Se



deberá asegurar y comprobar la correcta curvatura, pliegues y calce con respecto a la membrana y cables que serán ensamblados, evitando deformar o forzar la membrana indebidamente.

### **6.1. PLATOS ESQUINA**

La solución de los platos esquina debe contemplar la unión de membrana, cables de borde y tensores que unirán con cables a terreno, en un solo elemento.

La definición de estos elementos debe ser exactos de acuerdo al modelo de fabricación.

### **6.2. CLAMPING**

Los elementos de Clamping, platos y otros que se encuentre en contacto con la membrana deberán tener todos sus bordes tratados para que queden suaves al tacto. Esto con el fin de evitar daños por corte o roce a la membrana y a la manipulación durante el montaje.

Las estructuras secundarias, Clamping, platos esquina y otros serán en acero galvanizado en caliente, Aluminio o Acero Inoxidable.

### **6.3. CABLES DE ACERO**

El tipo, N° de Torones, Alambres y diámetro de estos será definido de acuerdo proyecto y al resultado del análisis de cargas correspondiente.

Serán en acero galvanizado según norma ASTM y sus terminales serán ametalados y/o terminales hilo prensados.

No se admiten uniones realizadas en terreno mediante prensas apernadas.

### **6.4. CABLES DE BORDE**

Según detalles de Arquitectura, se consideran cables de borde en bolsillos en borde de membrana. Los cables se consideran con terminal con hilo, y doble tuerca como remate de unión con los platos esquina.

El diámetro de estos será definido de acuerdo al resultado del análisis de cargas correspondiente.

Serán en acero galvanizado norma ASTM.

### **6.5. CABLES DE SEGURIDAD**

Se deben considerar cables de seguridad que serán dispuestos de acuerdo al criterio, luego del análisis estructural.

Estos serán insertos en bolsillos de membrana para evitar roces o daños en la cubierta.

Serán de acero galvanizado norma ASTM.

### **6.6. CABLES DE MONTAJE**

Se deben considerar cables de montaje. Serán dispuestos de acuerdo al criterio del procedimiento de montaje y deberán considerar las cargas correspondientes a dicho proceso con factor de seguridad 5.





## 6.7. TENSORES Y CONECTORES DE ACERO

Según detalles de Arquitectura, se consideran tensores según puntos indicados. La escuadría de estos, serán definidos de acuerdo al resultado del análisis de cargas correspondiente. Serán de acero galvanizado norma ASTM.

## 7. TRATAMIENTO Y TERMINACION ESTRUCTURAS DE ACERO

El tratamiento de preparación para la aplicación de capas de pintura de protección y terminación de las estructuras de acero se realizará bajo las especificaciones desarrolladas en particular para este proyecto por Sherwin Williams. El tratamiento de protección y acabado se entiende como un sistema integrado de protección durable en el tiempo y que integra técnicamente los procedimientos y productos idóneos para un resultado de calidad.

Se excluyen de esta especificación las piezas especiales de estructura secundaria las cuales llevan un tratamiento de galvanizado norma ASTM.

Se deberá presentar informe de calidad previo a montaje, con registros de las etapas de tratamiento y terminación en forma separada y secuencial, incluyendo las mediciones de espesores conformes a las especificaciones técnicas de proyecto.

## 8. FUNDACIONES Y ANCLAJES

Las fundaciones que soportan la estructura principal serán diseñadas en hormigón reforzado para transmitir las cargas de compresión, tracción y momento derivados del análisis estructural.

Los anclajes a terreno deberán ser testeados con dinamómetro para asegurar su comportamiento ante las cargas de extracción.

## 9. MEMBRANA

Como estándar mínimo, se considera una membrana impermeable PES-PVC, fibra Poliéster recubierto en PVC.

### 9.1. TIPO DE MEMBRANA

Se considera como mínimo una membrana **Tipo 1**, de acuerdo a las siguientes características mínimas definidas en la EUROPEAN DESIGN GUIDE FOR TENSILE SURFACE STRUCTURES (tabla 1), La membrana será definida en su Tipo o nivel de resistencia de acuerdo al análisis estructural de membranas, del cual derivará el Tipo (I, II, III, IV, V etc.). La membrana puede ser de las siguientes características según los requerimientos del proyecto o propuesta de diseño:

- IMPERMEABLE o PERMEABLE (tipo Mesh)
- TRASLÚCIDA o BLACKOUT

Type	1	2	3	4	5
<b>Surface weight (g/m<sup>2</sup>)</b>					
French design guide	720	1 000	1 200	1 400	2 000
WG Messe Frankfurt	800	900	1 050	1 300	1 450
<b>Yarn linear density (dtex)</b>					
French design guide					
WG Messe Frankfurt	1 100	1 100	1 670	1 670	2 200
<b>Tensile strength warp/weft (kN/m)</b>					
French design guide	60/60	84/80	110/104	120/130	160/170
WG Messe Frankfurt	60/60	88/79	115/102	149/128	196/166
<b>Trapezoidal test warp/weft (N)</b>					
French design guide					
WG Messe Frankfurt	310/350	520/580	800/950	1 100/1 400	1 600/1 800
<b>Yarn number per cm warp/weft</b>					
French design guide					
WG Messe Frankfurt	9/9	12/12	10.5/10.5	14/14	14/14

**Tabla 1.** (European Design Guide for Tensile Surface Structures)

## 9.2. ACABADO Y TRATAMIENTO SUPERFICIAL

La membrana deberá contar con un acabado superficial (Coating) en base a **PVDF** o a **Tio2** (Dióxido de Titanio), el cual permite una mayor duración del color blanco en el tiempo, agregando una condición auto limpiante y generando un efecto beneficioso al purificar el aire de los óxidos de nitrógeno mediante un proceso foto catalizador, aportando los nitratos a las áreas verdes del proyecto.

***Quedan excluidos de este proyecto las membranas que por las características de su acabado requieran de procesos abrasivos para el sellado por electro frecuencia.***

## 9.3. PATRONAJE

La disposición del Patronaje será revisada y aprobada por los arquitectos. Por lo que se debe presentar previamente el diseño de la cubierta a través de un modelo 3D, con las líneas generales de unión. Esta debe obedecer principalmente al análisis de stress de la membrana.

Se deberán considerar los valores de compensación adecuados para la corrección de distorsiones del modelo de acuerdo a las características particulares del proyecto.

## 9.4. TRAZADO

El trazado de patrones sobre la membrana se deberá realizar mediante herramientas CAD/CNC/CAM.



## 9.5. CORTE

El corte de patrones en la membrana se deberá realizar idealmente mediante herramientas CAD/CAM.

## 9.6. CONFECCION

La confección de la membrana se hará por medio de **Electrofrecuencia**, con un ancho mínimo de sellado de 40mm (tolerancia +/- 2mm). Y se hará por superposición de las partes.

Los anchos de las soldaduras serán definidos de acuerdo a los esfuerzos internos de los patrones y en ningún caso serán de espesores inferiores a los establecidos por la **European Design Guide for Tensile Surface Structures** para cada tipo de membrana.

Los bolsillos de borde (para pasada de cables de borde) serán ejecutados con membrana y sellados a través de Electrofrecuencia.

Se deben considerar los refuerzos con membrana necesarios en platos esquina, dentro de bolsillos o cualquier otro punto que pueda tener la posibilidad de daño por roce con la membrana.

***Quedan excluidos de este proyecto la confección mediante termo-sellado (herramientas en base a aire caliente tipo Leister).***

## 10. EVACUACION DE AGUAS LLUVIA

Se deberá considerar un análisis de apozamiento (Ponding) y la incorporación de todos los elementos necesarios para la correcta conducción y evacuación de las aguas lluvia captadas por la cubierta textil, en coordinación con los puntos establecidos en arquitectura y proyecto de especialidad de Aguas Lluvia, para asegurar la impermeabilidad y correcta evacuación.

## 11. INFORME

La empresa especialista en estructuras de membrana tensada deberá entregar un informe que acredite que la membrana, su confección y conectores resiste cargas de lluvia, nieve y viento de acuerdo a las exigencias anteriormente definidas.

## 12. CERTIFICADOS Y GARANTIAS DEL TEXTIL

La membrana textil deberá contar con una garantía mínima de 10 años por el fabricante del textil. Se deberá entregar los certificados de calidad de la membrana emitidos por el fabricante, además del código de membrana correspondiente y Copia de la Garantía con los datos del proyecto.

## 13. MONTAJE

Se debe considerar el montaje de la estructura soportante y de membrana confeccionada.

Se deben considerar todos los elementos necesarios para una correcta instalación y de un equipo humano con experiencia en montajes de membrana, a fin de evitar daños en ésta, producto de una incorrecta manipulación en la instalación. Además, se exigirán todos los equipos de seguridad necesarios para trabajar en altura.

### 13.1. PLAN DE MONTAJE

Previo a la realización del montaje, la empresa adjudicada deberá presentar un plan de Montaje, incorporando los procedimientos a realizar, de modo que se asegure la estabilidad de los elementos durante todo el proceso.

### 13.2. EMBALADO Y DESPLIEGUE

La membrana o las membranas deberán ser embaladas en fábrica, siguiendo una secuencia de pliegues estudiada en función de la maniobra de despliegue en obra para una manipulación mínima en obra, otorgando seguridad en los procedimientos y un mayor cuidado de los textiles.

## 14. PRE-TENSION

La Pre-Tensión de membrana una vez instalada se realizará con el uso de instrumentos que permitan establecer las tensiones aplicadas a los Cables, estructuras y membrana, con el fin de no sobre exigir los elementos y mantener la capacidad de resistencia proyectada para responder ante la aplicación de las cargas eventuales.

## 15. NOTAS

1. *Todas las especificaciones, son complementarias con los planos de detalles de arquitectura correspondientes.*
2. *Se deberán considerar todos los elementos complementarios a la estructura soportante definida en el proyecto de arquitectura que sean necesarios para la instalación como: ke-ders, stoppers, perfiles, pletinas, anclajes, pernos, cables, guardacabos, grilletes, etc.*
3. *Todos los elementos metálicos (cables, tensores, grilletes, etc.) deben ser de acero galvanizado norma ASTM.*
4. *En caso de incorporar elementos de aluminio, estos deberán ser aislados con respecto a los elementos de acero, evitando la corrosión galvánica.*

---

<sup>i</sup> Se sugiere que los m<sup>2</sup> de experiencia sean 4 a 5 veces la superficie del proyecto a licitar.