

ANEJO 7:

Invernadero

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	118
2. CARACTERÍSTICAS GENERALES	118
2.1. Tipo de invernadero	118
2.2. Características generales	118
3. ACCIONES EN LOS INVERNADEROS	118
3.3. Acciones gravitatorias	119
3.4. Acciones viento	121
3.5. Acciones sísmicas	121
3.5. Acciones térmicas	121
4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ALAMBRES EMPLEADOS	121
5. CÁLCULO Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	122
5.1. Marcos de plantación	124
5.1.1. Poda de formación	122
5.1.2. Aporcado	123
5.1.2.1. Tutorado	123
5.1.2.2. Destallado	124
5.1.2.3. Deshojado	125
5.1.3. Aclareo de frutos	126
5.1.3.1. Fertirrigación	127
5.1.3.2. Cálculo de la correa durante el montaje	129
5.1.3.3. Cálculo de las correas para la carga de nieve	130
5.2. EMPARRILLADO	131
5.3. PÓRTICO	132
5.3.1. Dimensionado del cable	132
5.3.2. Amagados	136
5.3.3. Pies derechos	136
5.3.3.1. Acciones de los hilos de cubierta	136
5.3.3.2. Acción de las hortalizas tutoradas	139
5.3.3.3. Combinación de acciones	139
5.3.4. Pies y alambres perimetrales extremos del pórtico	140
5.3.5. Pies y alambres perimetrales extremos de las correas	144
5.4. CIMENTACIÓN	147

5.4.1 Capacidad de carga admisible del terreno _____	147
5.4.2 Cimentaciones de los pies perimetrales del pórtico _____	148
5.4.3 Cimentaciones de los pies perimetrales de las correas _____	149
5.4.4 Cimentación de los pies derechos _____	150
5.4.5 Cimentación de los vientos de los pórticos _____	150
5.4.6 Cimentación de los vientos de las correas _____	151
5.4.7 Cimentación de los amagados _____	152
6. CONTROL CLIMATICO _____	152
6.1. Introducción _____	152
6.1.1 Temperatura _____	153
6.1.2 Humedad _____	153
6.1.3 CO2 _____	153
6.1.4 Radiación _____	153
7. SISTEMA DE VENTILACION _____	153
8. SISTEMA DE SOMBREO _____	155
9. EVACUACIÓN DE AGUAS PLUVIALES _____	155
10. BIBLIOGRAFIA _____	156

1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se dimensionarán los elementos que compone el invernadero que albergará el cultivo.

Sera un invernadero el cual quedara ubicado según el plano de distribución. Todos los datos y cálculos que se presentan quedan regulados por el Código Técnico de la Edificación de Marzo de 2006.

2. CARACTERÍSTICAS GENERALES

2.1 TIPO DE INVERNADERO

Se ha elegido un invernadero tipo “raspa y amagado”. Este tipo de invernadero debe ser hermético para disminuir la incidencia de plagas y enfermedades, disminuir las virosis, así como para mejorar el control climático, ya que controlamos mejor los diferentes factores medioambientales dentro del invernadero como temperatura, humedad, dióxido de carbono, etc., al tener un invernadero más estanco. Las principales ventajas son:

- Economía de construcción.
- Gran adaptabilidad a la geometría del terreno.
- Mayor resistencia al viento.
- Aprovecha el agua de lluvia en periodos secos.
- Gran uniformidad luminosa.

Los pasillos son de grava caliza de 1 metro elevados 10 centímetros sobre la capa vegetal.

2.2 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS

- Altura de la raspa: 4,5 m
- Altura del amagado: 3,5 m
- Altura del lateral: 3 m
- Distancia entre pórticos: 2,0 m
- Distancia entre banda y primer pie derecho: 4 m
- Distancia entre pies derechos de cumbrera: 8 m
- Distancia entre pies derechos de amagado: 8 m
- Distancia entre perimetrales de bandas: 2 m
- Inclinación de los perimetrales respecto de la horizontal: 60°
- Altura del alambre de enrame: 2,5m
- Pendiente de las cumbreras interiores: 25%; $\alpha=14,05^\circ$
- Pendiente de las cumbreras perimetrales: 37,5%; $\alpha=20,57^\circ$

3. ACCIONES EN LOS INVERNADEROS

Las acciones que actúan sobre la estructura se clasifican según el Documento Básico SE-AE (Seguridad estructural-Acciones en la edificación) de Marzo de 2006.

3.1 ACCIONES GRAVITATORIAS

Con cargas

- Peso propio: **0,04 kN m⁻²**

Sobrecargas

- Sobrecarga de uso:
Emparrillado: 10 kg m⁻²→**0,1 kN m⁻²**
Montaje: 80 kg→**0,8 kN**

- Nieve:

La carga de nieve a considerar según el Documento Básico SE-AE (Seguridad estructural-Acciones en la edificación) de Marzo de 2006 es de 40 kg m⁻² (0,4 kN m⁻²) en Almería.

3.2 ACCIÓN DEL VIENTO

Para determinar la velocidad de diseño del viento se utilizan datos de racha máxima de 3 segundos de duración con un periodo de retorno de 25 años, considerado este como el adecuado para la vida útil del invernadero. En Almería hay datos recogidos en estación meteorológica desde 1974.

La velocidad del viento se obtiene por el método de Gumbel:

$$U_z = U_{10} \times \left(\frac{H}{10}\right)^\alpha$$

Donde:

U_z es la velocidad del viento expresada en km h⁻¹.

U_{10} es la velocidad de la racha máxima para un periodo de retorno de 25 años, expresada en km h⁻¹.

H es la altura máxima de cumbrera = 4,5 m.

α es un coeficiente de reducción por altura = 1/7

La velocidad del viento será en nuestro proyecto, según los datos climáticos de la estación experimental Las Palmerillas, 100 km h⁻¹.

$$U_z = U_{10} \times \left(\frac{H}{10}\right)^\alpha$$

$$U_z = 89,22 \text{ Km/h} = 24,78 \text{ m/s}$$

Presión dinámica:

$$p = c_p \times k \times U_z^2$$

C_p : es un coeficiente para transformar la velocidad en presión, se calcula de forma empírica.

K: es una constante con un valor de 0,0625

Para el cálculo de C_p tenemos que tener en cuenta la siguiente tabla de coeficientes eólicos de sobrecarga sobre los planos de cubierta de invernaderos adosados en función de la inclinación de la cubierta:

Plano considerado	C_A	C_B	C_C	C_D	C_E	C_F
0°	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
5°	-0,7	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
10°	-0,6	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8	-0,8
15°	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8	-0,5	-0,8
20°	-0,4 +0,2	-0,8	-0,4 +0,2	-0,8	-0,4 +0,2	-0,8
25°	-0,3 +0,3	-0,8	-0,3 +0,3	-0,8	-0,3 +0,3	-0,8
30°	-0,2 +0,4	-0,8	-0,2 +0,4	-0,8	-0,2 +0,4	-0,8

Cuando los dispositivos de ventilación puedan abrirse y cerrarse, la estructura del invernadero deberá diseñarse para el caso de que las cargas de viento se produzcan con la ventilación cerrada.

En nuestro proyecto, tenemos dos ángulos, el de los extremos que es $\alpha = 20,56^\circ$ y el de las naves interiores que es $\alpha = 14,036$. Para estos ángulos se toma la hipótesis de cálculo, según la tabla, más desfavorable, en nuestro caso será -0,8.

Debido al aire que se mueve en el interior del invernadero se tomarán los coeficientes de presión $\pm 0,3$.

Como resultado, se originan la siguiente presión:

$$p = c_p \times k \times U_z^2$$

$$P = 1,1 \times 0,0625 \times 24,78^2 = 42,22 \text{ kp/m}^2$$

3.3 ACCIONES SÍSMICAS

La acción sísmica se considera según la norma NCSR-02 “Norma de construcción sismorresistente: parte general y edificación”. En el epígrafe 1.2.2. “Clasificación de las construcciones”, de dicha norma, las edificaciones se dividen en tres tipos. Los invernaderos se podrían considerar como construcciones de moderada

importancia y según el epígrafe 1.2.3. “Criterios de aplicación”, en las construcciones de este tipo no es necesario considerar la acción sísmica.

3.4 ACCIONES TÉRMICAS

Es de gran importancia en este tipo se estructura de invernadero, fundamentalmente en los alambres, trenzas y cables acerados que constituyen los pórticos, correas y vientos, ya que en su colocación se someten a un tensión inicial de tensado σ_i que puede verse incrementada sustancialmente por el efecto de la retracción térmica.

La diferencia de temperatura a considerar es de 25 °C y el coeficiente de dilatación térmica de 0,000012 mm/°C.

4. CARACTERÍSTICAS DE LOS ALAMBRES EMPLEADOS

TIPO DE ALAMBRE	Ø (mm)	S (mm ²)	masa/100m	RESISTENCIA A ROTURA (kp/mm ²)			
				MARCA A	MARCA B	MARCA C	MARCA D
Alambre normal o dulce	5,9	27,3	2133	50/60	-	-	-
	4,4	15,2	1186	50/60	40/54	40/55	50/60
	3,9	11,9	932	50/60	-	-	-
	3,4	9,08	708	50/60	40/54	40/55	-
	2,2	3,8	296	50/60	40/54	40/55	-
Alambre semiduro	2	3,14	245	-	69/88	60/80	90/100
	1,8	2,54	198	-	74/93	60/80	90/100
	1,6	2	156	80/100	74/93	60/80	-
	1,3	1,3	140	-	74/93	-	-
Alambre retrofilado sobregalvanizado	3	7,07	551	100/120	157/177	85/115	-
	2	3,14	245	100/120	-	85/115	-
Trenzas aceradas	2x3	14,13	1102	133	133	-	180
	3x3	21,2	1653	133	133	-	180
Cable acerado	4	-	-	140	-	-	-
	5	-	-	140	-	-	-
	6	-	-	140	-	-	-

TIPO DE ALAMBRE	Ø (mm)	S (mm ²)	Rotura (kp/mm ²)	Límite elástico kp/mm ²	Alargamiento en rotura %
Alambres normales o dulces	4,4	15,2	56	46	25
	3,4	9,08	52	43	22
Alambre semiduro	3,4	9,08	76	71	12
Alambre retrofilado	3	7,07	122	113	30
Trenzas aceradas	3x3	21,2	164	164	-

5. CÁLCULO Y DISEÑO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

5.1 TEJIDO

5.1.1 Malla superior

La malla superior soporta las succiones del viento transmitidas por el pórtico. A su vez, está unida a la malla estructural mediante trocitos de alambre que traspasan el plástico.

Para el cálculo vamos a suponer:

- Marco de la malla: 35 x 35 cm (s es la separación entre los alambres del mallado en la dirección perpendicular a la del cálculo de la malla)
- Longitud entre dos puntos de unión (es muy variable depende del constructor), suponemos: 2 m
- La acción del viento por metro lineal (tomando para el cálculo como succión sobre la cubierta, la máxima que puede aparecer en cualquier plano y que se ha fijado en 42,22 kp m-2):

$$q(\text{kp m}^{-1}) = p(\text{kp m}^{-2}) \times s(\text{m})$$

$$q = 42,22 \times 0,35 = 14,78 \text{ kp/m}$$

Dimensionado con alambre semiduro

- Tensión de acero en su límite elástico del alambre semiduro: 7000 kp cm-2.
- Coeficiente de seguridad: 1,5
- Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{7000}{1,5} = 4666,67 \text{ Kg/ cm}^2$$

$$\alpha = \sqrt{\frac{6 \times \sigma_{adm}}{(E + \sigma_{adm})}} = 0,1153 \text{ rad} = 6,606^\circ$$

$$A_{min} = \frac{q \times L}{2 \times \sigma_{adm} \times \text{sen} \alpha} = 0,0275 \text{ cm}^2 = 2,75 \text{ mm}^2$$

$$\phi_{min} = \sqrt{\frac{4 \times A_{min}}{\pi}} = 1,87 \text{ mm}$$

Por lo tanto elegimos alambre semiduro de 2 mm de diámetro. Tiene un área de 3,14 mm², por lo que con los supuestos anteriores se obtendría:

$$\alpha = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot q \cdot L}{A \cdot E}} = 0,11 \text{ rad} = 6,55^\circ$$

Donde: $L=2 \cdot R \cdot \text{sen}\alpha$

A: es el área del hilo

E: es el módulo de elasticidad

q : es la carga expresada en kp/m.

La tensión que soportará sería:

$$\sigma(\text{kp cm}^{-2}) = \frac{q(\text{kp m}^{-1}) \cdot L(\text{m})}{2 \cdot A(\text{cm}^2) \cdot \text{sen}\alpha} = 4126,41 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto queda comprobado que la tensión de trabajo será menor que la admisible ($\sigma \leq \sigma_{\text{adm}}$).

5.1.2 Malla inferior

Su función es soportar la sobrepresión del viento, el peso de los montadores y el peso de la cubierta. Evita la formación de bolsas de agua en el plástico. El cálculo se realiza como alambres aislados y no como malla, se distinguen dos tipos de alambres:

- a) Alambres perpendiculares a las correas: soportan la acción del viento a succión y a sobrepresión.
- b) Alambres paralelos a las correas: soportan el peso de los operarios montando la cubierta.
- c) Hipótesis de nieve.

5.1.2.1 Alambres perpendiculares a las correas

Suponemos que el esfuerzo es transmitido por la malla superior a la inferior a través de las uniones.

$$P(\text{kp}) = \frac{p(\text{kp m}^{-2}) \cdot s(\text{m}) \cdot L(\text{m})}{N} = 14,78 \text{ kp}$$

Donde:

P: es la carga de viento de valor $p = 42,22 \text{ kp m}^{-2}$

S: es la separación entre los alambres del mallado en la dirección perpendicular a la del cálculo de la carga = 35 cm

L: es la separación entre la unión de las dos mallas = 2

N: es el número de uniones entre la malla inferior y la superior = 2

Dimensionado con alambre semiduro:

- Tensión del acero en su límite elástico del alambre semiduro: 7000 kp cm⁻².

- Coeficiente de seguridad: 1,5

- Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{7000}{1,5} = 4666,67 \text{ Kg/ cm}^2$$

- Tensión inicial: $\sigma_{in} = 0$

- Número de cargas: consideramos una carga en el centro del vano: N=1.

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{in})}{N \times (N + 2) \times E + (N + 1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{in})}} = 0,133 \text{ rad} = 7,63^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 111,1 \text{ kp}$$

$$A_{min} = \frac{T}{\sigma_{adm}}$$

$$A_{min} = 0,024 \text{ cm}^2$$

5.1.2.2 Alambres perpendiculares a la presión del viento

Como ya se ha dicho, son los encargados de soportar el peso de los operarios montando la cubierta.

$$p(\text{kp}) = 80 \text{ kp / ml}$$

- Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{7000}{1,5} = 4666,67 \text{ Kg/ cm}^2$$

- Tensión inicial: $\sigma_{in} = 0$

- Número de cargas: consideramos una carga en el centro del vano: $N=1$.

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{in})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{in})}} = 0,133 \text{ rad} = 7,6^\circ$$

5.1.2.3 Hipótesis de nieve

Suponemos que el esfuerzo es transmitido por la malla superior a la inferior a través de las uniones.

$$P(kp) = \frac{p(kp \text{ m}^{-2}) \cdot s(m) \cdot L(m)}{N}$$

$$P(kp) = 14 \text{ kp}$$

Donde:

P: es la carga de nieve de valor $p = 40 \text{ kp m}^{-2}$

S: es la separación entre los alambres del mallado en la dirección perpendicular a la del cálculo de la carga = 35 cm

L: es la separación entre la unión de las dos mallas = 2 m

N: es el número de uniones entre la malla inferior y la superior = 2

Dimensionado con alambre semiduro:

- Tensión del acero en su límite elástico del alambre semiduro: 7000 kp cm⁻².

- Coeficiente de seguridad: 1,5

- Tensión admisible:

$$\sigma_{adm} = \frac{7000}{1,5} = 4666,67 \text{ Kg/ cm}^2$$

- Tensión inicial: $\sigma_{in} = 0$

- Número de cargas: consideramos una carga en el centro del vano: $N=1$.

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,133 \text{ rad} = 7,6^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 105,2 \text{ kp}$$

$$A_{\min} = \frac{T}{\sigma_{adm}} = 0,022 \text{ cm}^2$$

A la vista de los resultados calculados, nos decidimos por el más desfavorable ($A_{\min}=0,13 \text{ cm}^2$). **Por lo tanto elegimos alambre semiduro de 2 mm de diámetro.**

Tiene un área de 3,14 mm², de esta forma queda algo sobredimensionado, otra solución sería poner una trenza, pero como son muchos hilos también es válida poner el alambre. La ventaja será que ambas mallas tendrán el mismo diámetro y a la hora del montaje será más fácil.

5.1.3 Correas

Estos elementos deben estar sometidos a una tensión inicial, necesaria para conseguir una forma estructural estable.

Por otra parte, con la tensión inicial, se consigue que el ángulo producido por las deformaciones, sea más pequeño. Como contrapartida, la tensión inicial exige mayor sección del hilo metálico para absorber los esfuerzos del viento.

A veces la tensión inicial es excesiva lo que ocasiona la rotura de estos elementos en el momento de tensarlos.

Los datos del predimensionamiento de las correas son los siguientes:

- Alambre: trenza acerada de 2x3 de límite elástico de 13300 kp cm⁻² y una sección de 0,14 cm².
- El tráctel tensará este alambre con una fuerza de 400 kp lo que produce una tensión inicial: $400/0,14 = 2857 \text{ kp cm}^{-2}$

Cálculo de la variación de la tensión inicial:

Esta tensión inicial oscilará a lo largo del año según la temperatura. Si el intervalo de esta se ha fijado en $\pm 25^{\circ}\text{C}$, el incremento y el decremento de la tensión inicial será: $0,000012 \text{ mm}/^{\circ}\text{C}$

$$\Delta\sigma = E \times \alpha \times \Delta t$$

$$2,1 \times 10^6 \times 1,2 \times 10^{-5} \times 25 = 630 \text{ kp}/\text{cm}^2$$

$$(\sigma_{mi})_{MÍNIMA}$$

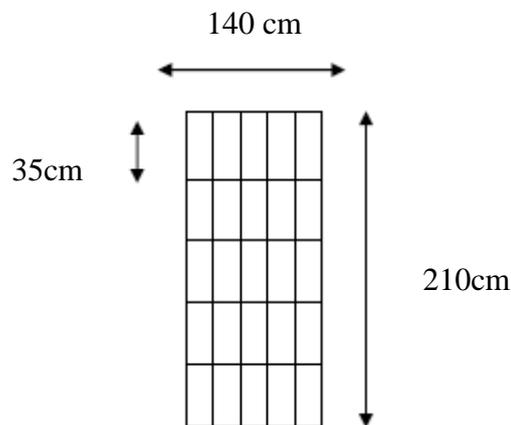
$$2857 - 630 = 2227 \text{ kp}/\text{cm}^2$$

$$(\sigma_{mi})_{MÁXIMA}$$

$$2857 + 630 = 3487 \text{ kp}/\text{cm}^2$$

5.1.3.1 Cálculo de las correas para cargas de viento transmitidas por la malla superior

La acción del viento sobre esta superficie:



La correa se calculará para cargas de viento como cargas puntuales. Para conocer el número de cargas N de valor P que actúa sobre la correa usamos:

$$N = \frac{L'}{s} - 1$$

L' es la longitud efectiva de la correa, igual a dos veces la separación entre pórticos.
s es la separación de los cables del mallado superior

El valor de cada carga P será:

$$P(\text{kp}) = \frac{p(\text{kp m}^{-2}) \cdot L'(m) \cdot L(m)}{2 \cdot N}$$

$$P(\text{kp}) = \frac{42,22 \times 4,2 \times 2}{2 \times 11} = 16,12 \text{ kp}$$

La tensión admisible del acero:

$$\sigma_{adm}$$

$$\frac{13.300 \text{kp/cm}^2}{1,5} = 8866,67 \text{ kp/cm}^2$$

Tensión inicial mínima:

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,023 \text{ rad} = 1,32^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 699,7 \text{ kp}$$

$$A_{\min} = \frac{T}{\sigma_{adm}} = 0,08 \text{ cm}^2$$

Tensión inicial máxima

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,021 \text{ rad} = 1,203^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 767,8 \text{ kp}$$

$$A_{\text{mín}} = \frac{T}{\sigma_{\text{adm}}} = 0,08 \text{ cm}^2$$

5.1.3.2 Cálculo de la correa durante el montaje

- Carga de cada operario: P=80 kp
 - Número de operarios y por lo tanto de cargas: N=2
- Tensión inicial mínima:*

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{\text{adm}} - \sigma_{\text{ini}})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{\text{adm}} - \sigma_{\text{ini}})}} = 0,097 \text{ rad} = 5,58^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 821,8 \text{ kp}$$

$$A_{\text{mín}} = \frac{T}{\sigma_{\text{adm}}} = 0,093 \text{ cm}^2$$

Tensión inicial máxima

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{\text{adm}} - \sigma_{\text{ini}})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{\text{adm}} - \sigma_{\text{ini}})}} = 0,0876 \text{ rad} = 5,02^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 913,4 \text{ kp}$$

$$A_{\text{mín}} = \frac{T}{\sigma_{\text{adm}}} = 0,103 \text{ cm}^2$$

5.1.3.3 Cálculo de las correas para la carga de nieve

El valor de cada carga P será:

$$P(kp) = \frac{p(kp\ m^{-2}) \cdot L'(m) \cdot L(m)}{2 \cdot N}$$

$$P(kp) = \frac{40 \times 4,2 \times 2}{2 \times 11} = 15,27\ kp$$

La tensión admisible del acero:

$$\sigma_{adm}$$

$$\frac{13.300\text{kp/cm}^2}{1,5} = 8866,67\ \text{kp/cm}^2$$

Tensión inicial mínima:

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,023\ \text{rad} = 1,32^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 662,8\ \text{kp}$$

$$A_{\text{mín}} = \frac{T}{\sigma_{adm}} = 0,07\ \text{cm}^2$$

Tensión inicial máxima

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,021\ \text{rad} = 1,203^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 727,3\ \text{kp}$$

$$A_{\min} = \frac{T}{\sigma_{adm}} = 0,08 \text{ cm}^2$$

Como la acción de para cargas de montaje ha resultado la más desfavorable, se deberá de escoger el área 0,103 cm².

Por lo tanto para las correas usaremos una trenza de dos hilos de 3 mm de diámetro. Tiene un área de 14,13 mm², por lo que con los supuestos anteriores se obtendría:

$$\sigma (\text{kp cm}^{-2}) = \frac{P(\text{kp})}{2 \cdot A(\text{cm}^2) \cdot \text{sen}\left(\frac{\alpha}{2}\right)} = 6464,06 \text{ kg/cm}^2$$

Por lo tanto queda comprobado que la tensión de trabajo será menor que la admisible ($\sigma \leq \sigma_{adm}$).

5.2 EMPARRILLADO

En nuestro proyecto no se necesita alambre para el sostén del enrame de las hortalizas, no obstante se ha decidido tenerlo en cuenta, de esta forma si en un futuro se cambia el uso del invernadero, se puedan plantar otras hortalizas.

El valor de la carga es:

$$Q(\text{kp / m}) = q(\text{kp / m}^2) \times L(\text{m}) = 20\text{kp/m}$$

- q es el valor de las cargas gravitatorias, tomaremos un dato genérico de 10 kp m⁻².
- L es la separación entre pórticos con un valor de 2 m.

Los tutores se atan al cable de enrame a una distancia D = 50 cm, por tanto cada tutor soporta una carga puntual P de valor:

$$P(\text{kp}) = Q(\text{kp / m}) \times 0,5\text{m} = 10,5 \text{ kp}$$

El número de cargas P que soporta el cable depende de su longitud, que es la mitad de la luz del pórtico L/2 (m):

$$N(\text{ numero de cargas en el cable }) = \frac{\frac{L'}{2} (\text{ distancia entre pies})}{D (\text{ Separación entre tutores})} = 8$$

La tensión admisible del acero:

$$\sigma_{adm}$$

$$\frac{13.300 \text{kp/cm}^2}{1,5} = 8866,67 \text{ kp/cm}^2$$

Tomando una tensión inicial cero.

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N+2) \times E + (N+1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,033 \text{ rad} = 1,89^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 318,3 \text{ kp}$$

$$A_{\text{mín}} = \frac{T}{\sigma_{adm}} = 0,042 \text{ cm}^2$$

Por lo tanto se elige un alambre de 3 mm de diámetro. Con una superficie de 7 mm², con el que resultan los siguientes valores:

Ángulo con la horizontal: 6,93°

Tracción máxima: 435 kp

Tensión máxima: 6209 kp cm⁻²

5.3 PÓRTICO

El pórtico está formado por los siguientes elementos:

- Cable (dintel)
- Pies derechos (pilares), trabajan a compresión
- Amagados, trabajan a tracción

5.3.1 Dimensionado del cable

Queda establecido que: «Debido al proceso de montaje del pórtico, el cable está sometido a una tensión inicial que se proporciona mediante el tráctel, esta tensión se modifica mediante la colocación de los pies derechos y los amagados, siendo el resultado lo que conocemos como tensión inicial. Esta tensión sufre alteración debido a la acción térmica presentándose una tensión inicial máxima y una mínima, el dimensionado se realiza para la más desfavorable» (*Control climático en Invernaderos*).

Ed. Diego Luís Valera Martínez. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería (2007).

Cargas a las que está sometido el cable:

- Tensión inicial
- Cargas transmitidas por la malla superior: acción del viento (apartado 5.1.1)
- Cargas transmitidas por las correas: carga de viento (P) en la correa (P·N) siendo N el número de cargas puntuales en la correa.

De todas estas, la más desfavorable es la transmitida por las correas T=913,4 kp, por lo que vamos a dimensionarlo en función de ésta. $\alpha = 5,02^\circ$

Lo vamos a predimensionar con un hilo de $3 \times 3\text{mm}$:

- La tensión admisible será: 8866,66 σ_{adm}

σ_{adm}

$$\frac{13.300\text{kp/cm}^2}{1,5} = 8866,67 \text{ kp/cm}^2$$

- El área, A = 0,21 cm²

Cálculo de la tensión inicial en el alambre pórtico

Si se tensa con una fuerza de 400 kp, al ser mayor el área de la trenza, quedaría menor tensión que en las correas, por lo que en este caso se tensará con 600 kp:

$$\sigma_{inicial} = \frac{600}{0,21} = 2857 \text{ kg/ cm}^2$$

Para una sección de hilo de 0,21 cm², resulta una tensión inicial de 2857 kp/ cm² que sería con la que quedaría el alambre cuando dejara de actuar el viento. Si disminuye la temperatura 25 °C, la tensión del alambre se incrementaría en:

$$\Delta\sigma = E \times \alpha \times \Delta t :$$

$$2,1 \times 10^6 \times 1,2 \times 10^{-5} \times 25 = 630 \text{ kp/cm}^2$$

pasando a:

$$\sigma = 2857 + 630 = 3487 \text{ kp/cm}^2$$

Suponiendo que vuelve a actuar el viento en esta circunstancia, cuando cese su acción, la tensión pasaría de nuevo a 2857 kp cm⁻².

Cuando la temperatura vuelva a ser igual a la inicial, la tensión del alambre será de:

$$\sigma = 2857 - 630 = 2227 \text{ kp/cm}^2$$

La tensión inicial del hilo oscilará entre 2227 kp/ cm² y 3487 kp/ cm².

Para el cálculo de la P usaremos la siguiente expresión:

$$P = 2 \times T \times \text{sen} \alpha = 2 \times 913,4 \text{ kp} \times \text{sen} 5,02 = 169,16 \text{ kp}$$

Los resultados obtenidos son:

Para $\sigma_{ini} = 2227 \text{ kp/ cm}^2$

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N + 2) \times E + (N + 1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,16 \text{ rad} = 9,17^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 1058,4 \text{ kp}$$

Para $\sigma_{ini} = 3487 \text{ kp cm}^{-2}$

$$\alpha = \sqrt{\frac{24 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}{N \times (N + 2) \times E + (N + 1)^2 \times (\sigma_{adm} - \sigma_{ini})}} = 0,15 \text{ rad} = 8,6^\circ$$

$$T = \frac{P}{2 \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}} = 1128,3 \text{ kp}$$

Por lo tanto usaremos una trenza de tres hilos de 3 mm de diámetro. Tiene un área de 21,2 mm², para comprobarlo usamos la tensión más desfavorable y comprobamos si es correcto:

$$\sigma = \frac{T}{A} = \frac{1128,3}{0,21} = 5372,85 \text{ kp/cm}^2$$

Así queda comprobado que la tensión de trabajo será menor que la admisible ($\sigma \leq \sigma_{adm}$).

5.3.2 Amagados

Los vientos de amagado son los alambres que unen los pórticos con los anclajes en el terreno, proporcionando a la cubierta la pendiente deseada. La unión con los pórticos se realiza a través de unas piezas metálicas en forma de V en las que se sitúan los canalones que evacuan el agua de las cubiertas.

a) Hipótesis sin viento:

En este caso la tracción máxima se dará cuando la tensión inicial sea máxima.

$$T = \sigma_{ini \max} \times A = 3487 \text{ kp/cm}^2 \times 0,212 \text{ cm}^2 = 739,24 \text{ kp}$$

Planteando el equilibrio de fuerzas en el amagado, la tracción del viento será:

$$M = 2 \times T \times \text{sen} \alpha = 2 \times 739,24 \text{ kp} \times \text{sen } 14,04 = 358,68 \text{ kp}$$

b) Hipótesis con viento:

En este caso hay que calcular la tracción del viento teniendo en cuenta la del pórtico con su ángulo para la tensión inicial máxima y mínima, además de considerar la acción de la correa Z de amagado cuando sopla el viento.

$$Z = 11 \times 16,12 = 177,32 \text{ Kp}$$

- Con tensión inicial mínima:

$$T = 1058,4 \text{ kp}$$

$$\alpha = 14,04 + 9,17 = 23,21^\circ$$

- Con tensión inicial máxima:

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\alpha = 14,04 + 8,6 = 22,64^\circ$$

$$M = 2 \times T \times \text{sen}\alpha \times Z = 1045,98 \text{ kp}$$

Así pues, dimensionamos el elemento para este último caso:

Se proyectan tres alambres normales de 4,4 mm de diámetro, enrollados. La sección es de 45,6 mm².

El límite elástico del acero normal, según los ensayos, oscila entre 4270 kp cm⁻² y 4670 kp cm⁻². Tomamos un valor medio de 4470 kp cm⁻². La tensión admisible será:

$$\sigma_{adm} = \frac{4470}{1,5} = 2980 \text{ kg/cm}^2$$

$$A_{min} = T / \text{tensión adm} = 0,38 \text{ cm}^2$$

5.3.3 Pies derechos

Las tensiones que soportan los pies derechos son:

- Las tensiones del hilo (dintel) con viento
- Las tensiones del hilo (dintel) sin viento
- Peso de la hortalizas entutoradas

5.3.3.1 Acciones de los hilos de cubierta

Los pies derechos se calculan en las naves centrales y laterales por separado:

Naves laterales

$$\text{Ángulo } \alpha = 20,56^\circ$$

$$\text{Ángulo } \beta = 14,04^\circ$$

Se estudian los casos:

a) Hipótesis sin viento:

La carga se calcula a partir de la tensión inicial, la cual provoca en el pie derecho una compresión.

Tracción de los alambres:

$$\text{Máxima: } 3487 \text{ kp cm}^{-2} \cdot 0,212 \text{ cm}^{-2} = 739,24 \text{ kp}$$

$$\text{Mínima: } 2227 \text{ kp cm}^{-2} \cdot 0,212 \text{ cm}^{-2} = 472,12 \text{ kp}$$

Máximo esfuerzo de compresión sobre el pie derecho:

$$N(kp) = T \times \text{sen}\alpha \times T \times \text{sen}\alpha = 438,95 \text{ kp}$$

Mínimo esfuerzo:

$$N(kp) = T \times \text{sen}\alpha \times T \times \text{sen}\alpha = 280,34 \text{ kp}$$

b) Hipótesis con viento:

La carga se calcula a partir de la tensión inicial y de la acción de la correa debida al viento (Z).

$$Z = 11 \times 16,12 = 177,32 \text{ kp}$$

- Con tensión inicial máxima:

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \alpha' = 20,56^\circ - 8,6^\circ = 11,96^\circ$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ - 8,6^\circ = 5,44^\circ$$

$$N(kp) = T \times \text{sen}\alpha \times T \times \text{sen}\beta \times Z = 163,5 \text{ kp}$$

- Con tensión inicial mínima:

$$T = 1058,4 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \alpha' = 20,56^\circ - 9,17^\circ = 11,39^\circ$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ - 9,17^\circ = 4,87^\circ$$

$$N(kp) = 121,55 \text{ kp}$$

c) Hipótesis con nieve:

$$\text{Acción de la correa: } Z = 15,27 \times 11 = 167,97 \text{ kp}$$

- Con tensión inicial máxima:

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \alpha' = 20,56^\circ + 8,6^\circ = 29,16^\circ$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ + 8,6^\circ = 22,64^\circ$$

$$N(kp) = T \times \text{sen}\alpha' \times T \times \text{sen}\beta' \times Z = 816,12 \text{ kp}$$

- Con tensión inicial mínima:

$$T = 1058,4 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \alpha' = 20,56^\circ + 9,17^\circ = 29,73^\circ$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ + 9,17^\circ = 23,21^\circ$$

$$N(\text{kp}) = 774,02 \text{ kp}$$

Naves centrales

En las naves centrales se verifica que:

$$\alpha = \beta \quad \text{y} \quad \alpha' = \beta'$$

Se estudian dos casos:

a) Hipótesis sin viento:

La carga se calcula a partir de la tensión inicial, la cual provoca en el pie derecho una compresión.

$$\text{Tensión máxima: } 3487 \text{ kp cm}^{-2}$$

$$\text{Tracción del cable } T = 739,24 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \beta = 14,04^\circ$$

$$N = 2 \times T \times \text{sen} \beta = 358,68 \text{ kp}$$

b) Hipótesis con viento:

La carga se calcula a partir de la tensión inicial y de la acción de la correa debida al viento (Z).

$$Z = 11 \times 16,12 = 177,32 \text{ kp}$$

- Con tensión inicial máxima:

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ - 8,6^\circ = 5,44^\circ$$

$$N(\text{kp}) = 2 \times T \times \text{sen } \beta' - Z = 36,61 \text{ kp}$$

- Con tensión inicial mínima:

$$T = 1058,4 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ - 9,17^\circ = 4,87^\circ$$

$$N(\text{kp}) = 2,4 \text{ kp}$$

c) Hipótesis con nieve:

Acción de la correa: $Z = 15,27 \times 11 = 167,97 \text{ kp}$

- Con tensión inicial máxima:

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ + 8,6^\circ = 22,64^\circ$$

$$N(\text{kp}) = 2 \times T \times \text{sen } \beta' - Z = 700,7 \text{ kp}$$

- Con tensión inicial mínima:

$$T = 1058,4 \text{ kp}$$

$$\text{Ángulo } \beta' = 14,04^\circ + 9,17^\circ = 23,21^\circ$$

$$N(\text{kp}) = 666,26 \text{ kp}$$

5.3.3.2 Acción de las hortalizas tutoradas

La carga de compresión que transmite el cable tutor a los pies derechos es:

$$N(\text{kp}) = q(\text{kp} / \text{m}^2) \cdot L(\text{m}) \cdot \frac{L'}{2} (\text{m}) = 84 \text{ Kp}$$

Siendo: q la carga del las hortalizas

L la separación entre pórticos

L' la luz del pórtico

5.3.3.3 Combinación de acciones

De las acciones anteriores se desprende que no hay sollicitación a tracción sino sólo a compresión. La compresión mínima se presenta para los pies derechos de la nave central en situación sin viento, y la compresión máxima en los pies derechos de la nave lateral en situación con nieve y con carga de hortalizas, su valor es:

$$P = 816,12 + 84 = 900,12 \text{ kp}$$

Para el dimensionamiento se van a usar tubos de acero galvanizado, el cálculo deberá ajustarse a lo establecido en la norma MV-103.

El dimensionado de los pilares se calcula a pandeo:

$$L_K = L \times \beta = 450 \times 1 = 450 \text{ cm}$$

Como criterio establecemos que:

$$\lambda = \frac{L_K}{i} < 200$$

por lo tanto:

Serán tubos huecos de diámetro interior d_i y exterior d_e , el radio de giro será:

$$i = \sqrt{\frac{d_e^2 + d_i^2}{16}}$$

Usaremos un perfil hueco redondo de acero conformado 70.2:

$$i = 2,41 \text{ cm} \rightarrow \lambda = 187 < 200$$

Usando la tabla correspondiente, queda determinado el coeficiente ω (187) = 5,97 y la sección $A = 4,27 \text{ cm}^2$.

Comprobamos que para el **acero A-42** (Tensión admisible, $\sigma_{adm} = 2600 \text{ kp cm}^{-2}$) es válido el perfil:

$$\sigma \leq \frac{\omega \cdot N}{A} = 1258,5 \text{ kp cm}^{-2} < \sigma_{adm}$$

5.3.4 Pies y alambres perimetrales extremos del pórtico

Las acciones que se consideran son:

- Acción del viento sobre las paredes verticales, q (kp m^{-1}):

La acción del viento se ha fijado en $42,22 \text{ kp m}^{-2}$, teniendo en cuenta que la separación de pórticos es de $2,1 \text{ m}$, el valor de q es:

$$q = 88,66 \text{ kp m}^{-1}$$

Esta carga se reparte entre la cabeza y el suelo del pie perimetral, produciendo una carga puntual de:

$$V = q \times \frac{h}{2} = 132,99 \text{ kp}$$

- Acción de la correa extrema, Z (kp):

La acción de la correa para cargas de viento vale, según se vio $16,12 \text{ kp}$.

$$Z = 16,12 \times 2 = 32,2 \text{ kp}$$

La acción de la correa para cargas de nieve vale, 15,27 kp.
 $Z = 15,27 \times 2 = 30,54$ kp

- Tracción producida por el alambre pòrtico, T (kp):

Su valor oscila en funci3n de si existe nieve o viento y tambi3n de si el alambre se encuentra con la tensi3n inicial m3xima o m3nima.

- Tracci3n producida por el peso de las hortalizas, T_h (kp):

Este valor puede variar entre cero (si no existe enrame) y 435 kp con $\beta = 6,93^\circ$ seg3n se calcul3 anteriormente.

- Tracci3n producida por el viento, T_v (kp):

Se calcula planteando el equilibrio vertical de fuerzas y conocido el valor de la fuerza axial sobre el soporte.

Combinaci3n de acciones

- Hip3tesis I: sin viento y sin tutores

$$T = 739,24 \text{ kp}$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow -T_v + N \cdot \text{sen} 60 + T \cdot \text{sen} 20,56 = 0$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -N \cdot \text{cos} 60 + T \cdot \text{cos} 20,56 = 0$$

De donde: $N = 1384,31$ kp

$$T_v = 1458,46 \text{ kp}$$

- Hip3tesis II: sin viento y con tutores

$$T = 739,24 \text{ kp}$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow -T_v + N \cdot \text{sen} 60 + T \cdot \text{sen} 20,56 - T_g \cdot \text{sen} 6,93 = 0$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -N \cdot \text{cos} 60 + T \cdot \text{cos} 20,56 + T_g \cdot \text{cos} 6,93 = 0$$

De donde: $N = 2247,95$ kp

$$T_v = 2153,91 \text{ kp}$$

- Hip3tesis III: con viento y sin tutores

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow -T_v + N \cdot \text{sen}60 + T \cdot \text{sen}29,16 + 32,2 \cdot \text{cos}29,16 = 0$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -N \cdot \text{cos}60 + T \cdot \text{cos}29,16 - 32,2 \cdot \text{sen}29,16 = 0$$

De donde: $N = 2205,21 \text{ kp}$

$$T_v = 2487,65 \text{ kp}$$

- Hipótesis IV: con viento y con tutores

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow -T_v + N \cdot \text{sen}60 + T \cdot \text{sen}29,16 + 32,2 \cdot \text{cos}29,16 - T_E \cdot \text{sen}6,93 = 0$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -N \cdot \text{cos}60 + T \cdot \text{cos}29,16 - 32,2 \cdot \text{sen}29,16 + T_E \cdot \text{cos}6,93 + 132,99 = 0$$

De donde: $N = 3068,85 \text{ kp}$

$$T_v = 3183,1 \text{ kp}$$

- Hipótesis V: con nieve y sin tutores

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow -T_v + N \cdot \text{sen}60 + T \cdot \text{sen}11,96 - 30,54 \cdot \text{cos}11,96 = 0$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -N \cdot \text{cos}60 + T \cdot \text{cos}11,96 + 30,54 \cdot \text{sen}11,96 = 0$$

De donde: $N = 2220,27 \text{ kp}$

$$T_v = 2126,75 \text{ kp}$$

- Hipótesis VI: con nieve y con tutores

$$T = 1128,3 \text{ kp}$$

$$\sum F_v = 0 \Rightarrow -T_v + N \cdot \text{sen}60 + T \cdot \text{sen}11,96 - 30,54 \cdot \text{cos}11,96 - T_E \cdot \text{sen}6,93 = 0$$

$$\sum F_h = 0 \Rightarrow -N \cdot \text{cos}60 + T \cdot \text{cos}11,96 + 30,54 \cdot \text{sen}11,96 + T_E \cdot \text{cos}6,93 = 0$$

De donde: $N = 3084,2 \text{ kp}$

$$T_v = 2822,45 \text{ kp}$$

Dimensionado de los pies inclinados

$$N = 3084,2 \text{ kp}$$

$$\text{Longitud: } 3,47 \text{ m} + 0,3 \text{ m (enterrado)} = 3,77 \text{ m}$$

El dimensionado de los pies inclinados se calcula a pandeo, debido a que están sometidos a compresión:

$$L_K = L \times \beta = 350 \times 1 = 377 \text{ cm}$$

Como criterio establecemos que:

$$\lambda = \frac{L_K}{i} < 200$$

por lo tanto:

Serán tubos huecos de diámetro interior d_i y exterior d_e , el radio de giro será:

$$i = \sqrt{\frac{d_e^2 + d_i^2}{16}}$$

Usaremos un perfil hueco redondo de acero conformado 75.2:

$$i = 2,58 \text{ cm} \rightarrow \lambda = 146 < 200$$

Usando la tabla correspondiente, queda determinado el coeficiente ω (146) = 3,77 y la sección $A = 4,58 \text{ cm}^2$.

Comprobamos que para el **acero A-42** (Tensión admisible, $\sigma_{adm} = 2600 \text{ kp cm}^{-2}$) es válido el perfil:

$$\sigma \leq \frac{\omega \cdot N}{A} = 2538,7 \text{ kp cm}^{-2} < \sigma_{adm}$$

Dimensionado de los vientos

Están constituidos por tres trenzas de 3 alambres de 4,4 mm con una sección de $0,456 \text{ cm}^2$ cada trenza, las cuales trabajan a tracción.

Se dimensiona con alambre normal, con un límite elástico de 4470 kp cm^{-2} .

La tensión admisible será:

$$\sigma_{adm} = \frac{4470}{1,5} = 2980 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo de tracción es $T_v = 3183,1 \text{ kp}$ que se distribuye de la siguiente forma con $\alpha = \arctg 1,05 \text{ m} / 3 \text{ m} = 19,3^\circ$.

Hilo central:

$$X(\text{kp}) = \frac{T_v(\text{kp})}{1 + 2 \cdot \cos^2 \alpha}$$

$$X(\text{kp}) = 1141,98 \text{ kp}$$

Hilos laterales:

$$Y(\text{kp}) = X(\text{kp}) \cdot \cos^2 \alpha$$

$$Y(\text{kp}) = 1017,2 \text{ kp}$$

Sección mínima (tomando el máximo esfuerzo):

$$A_{min} = \frac{T}{\sigma_{adm}} = 0,38 \text{ cm}^2$$

5.3.5 Pies y alambres perimetrales extremos de las correas

Las acciones que se consideran son:

- Acción del viento sobre las paredes verticales, q (kp m^{-1}):

La acción q , produce sobre la cabeza una reacción de:

$$V = q \times \frac{h}{2} = 132,99 \text{ kp}$$

- Tracción producida por el alambre correa, T (kp):

La correa se encuentra traccionada con una fuerza T cuyo valor máximo, para cargas de viento, vale $T = 767,8$ kp, con un ángulo sobre la posición inicial de $\alpha'' = 1,203^\circ$.

El ángulo con la horizontal en la posición inicial será:

$$\alpha' = \operatorname{arctg}\left(\frac{1,5}{2,1}\right) = 35,53^\circ$$

$$\alpha = \alpha' + \alpha'' = 36,73^\circ$$

- En este caso $\beta = 69,8^\circ$

- Esfuerzo axial del alambre perimetral, T_v (kp)

Cálculo de los esfuerzos:

Estableciendo el equilibrio estático, los valores de N (esfuerzo axial del pie inclinado) y T_v (el esfuerzo axial del alambre perimetral) son:

$$N = -\left(\frac{V + T \cdot \cos \alpha}{\cos \beta}\right) = 2167,26 \text{ kp}$$

$$T_v = -(T \cdot \operatorname{sen} \alpha + N \cdot \operatorname{sen} \beta)$$

$$T_v = 2493,14 \text{ kp}$$

Dimensionado del pie inclinado

Longitud: $3,19 \text{ m} + 0,3 \text{ m}$ (enterrado) = $3,5 \text{ m}$

El dimensionado de los pies inclinados se calcula a pandeo, debido a que están sometidos a compresión:

$$L_K = L \cdot \beta = 350 \cdot 1 = 350 \text{ cm}$$

Como criterio establecemos que:

$$\lambda = \frac{L_K}{i} < 200$$

por lo tanto:

Serán tubos huecos de diámetro interior d_i y exterior d_e , el radio de giro será:

$$i = \sqrt{\frac{d_e^2 + d_i^2}{16}}$$

Usaremos un perfil hueco redondo de acero conformado 70.2:

$$i = 2,41 \text{ cm} \rightarrow \lambda = 145 < 200$$

Usando la tabla correspondiente, queda determinado el coeficiente ω (145) = 3,72 y la sección $A = 4,27 \text{ cm}^2$.

Comprobamos que para el **acero A-42** (Tensión admisible, $\sigma_{adm} = 2600 \text{ kp cm}^{-2}$) es válido el perfil:

$$\sigma \leq \frac{\omega \cdot N}{A} = 1888,1 \text{ kp cm}^{-2} < \sigma_{adm}$$

Dimensionado de los vientos

Están constituidos por dos trenzas de 3 alambres de 4,4 mm con una sección de 0,456 cm^2 cada trenza, las cuales trabajan a tracción.

Se dimensiona con alambre normal, con un límite elástico de 4470 kp cm^{-2} . La tensión admisible será:

La tensión admisible será:

$$\sigma_{adm} = \frac{4470}{1,5} = 2980 \text{ kg/cm}^2$$

El esfuerzo de tracción es $T_v = 2493,14 \text{ kp}$ que se distribuye de la siguiente forma con $\alpha/2 = \arctg 0,7 \text{ m} / 3 \text{ m} = 13,14^\circ \rightarrow \alpha = 26,3^\circ$.

Hilo central:

$$X(\text{kp}) = \frac{T_v(\text{kp})}{1 + 2 \cdot \cos^2 \alpha}$$

$$X(\text{kp}) = 1021,4 \text{ kp}$$

Hilos laterales:

$$Y(kp) = X(kp) \cdot \cos^2 \alpha$$

$$Y(kp) = 820,9 \text{ kp}$$

Sección mínima (tomando el máximo esfuerzo):

$$A_{\min} = \frac{T}{\sigma_{\text{adm}}} = 0,34 \text{ cm}^2$$

5.4 CIMENTACIÓN

Para analizar la cimentación se han tenido en cuenta los siguientes datos, proporcionados en el anejo del estudio geotécnico.

El material se clasifica como suelo de partículas gruesas, según Casagrande TIPO SC, ARENA ARCILLO GRAVOSA.

Para este tipo de suelos, se pueden admitir los siguientes valores característicos:

- Peso específico: 1800-2000 kp m⁻³
- Ángulo de rozamiento: 25° - 30°
- Cohesión: 0,1 – 0,5 kp cm⁻²

5.4.1 Capacidad de carga admisible del terreno

Se estima a través de la teoría de Therzagui, donde:

$$P_r = \frac{1}{2} \cdot \gamma \cdot D \cdot N_\gamma + \gamma \cdot H \cdot N_q + C \cdot N_c$$

Siendo:

γ : peso específico del terreno, 1800 kp m⁻³

D: diámetro o lado menor de la cimentación, 0,3 m.

H: profundidad del nivel de cimentación, 1 m.

C: cohesión del terreno a nivel de cimentación, 5000 kp m⁻²

N_γ , N_q , N_c : factores adimensionales que dependen del ángulo de rozamiento interno del terreno:

$$N_\gamma = 10,99$$

$$N_q = 10,72$$

$$N_c = 20,72$$

Los factores de corrección por los que hay que multiplicar los valores anteriores son:

Factores de corrección De forma De inclinación $\alpha = 34^\circ$

Factores de corrección	De forma	De inclinación $\alpha = 34^\circ$
i_y	0,9	0,13
i_q	1,0	0,39
i_c	1,2	0,39

Aplicando los valores indicados en la expresión de Therzagui se obtiene una presión de rotura:

$$P_r = 58,6 \text{ Tn m}^{-2}$$

La carga máxima admisible sera:

$$P_{adm} = \frac{P_r}{F} = 19,5 \text{ Tn/m}^2$$

F es un factor de seguridad de valor 3.

Para el cálculo de los anclajes de los elementos sometidos a tracción (vientos y amagados), se va a emplear como modelo de anclaje, aquel que consiste en un pozo circular, en el que se introduce un perfil de acero laminado que sirve de anclaje, hormigonándose posteriormente el pozo. En el cálculo de estos anclajes sólo intervienen las dimensiones del mismo y la cohesión del terreno lateral que se admite igual a 5 Tn m.2.

5.4.2 Cimentaciones de los pies perimetrales del pórtico

Están sometidos en la hipótesis más desfavorable a un esfuerzo de compresión $N = 3084,2 \text{ kp}$ inclinado un ángulo de 60° respecto a la horizontal.

Predimensionado

Se proyecta como un pozo de hormigón de forma troncopiramidal de 0,8 x 0,8 m de base inferior y situado a una profundidad media de 0,8 m.

Comprobación

Únicamente habrá que verificar que la tensión que se aplica en la base P_H es inferior a la admisible.

$$P_H = \frac{N_\sigma + G}{A} = 8,2 \text{ Tnm}^{-2} < P_{adm} = 19,5 \text{ Tnm}^{-2}$$

5.4.3 Cimentaciones de los pies perimetrales de las correas

Están sometidos en la hipótesis más desfavorable a un esfuerzo de compresión $N = 2167,26 \text{ kp}$ inclinado un ángulo de $69,8^\circ$ respecto a la horizontal.

Acciones

El esfuerzo que le transmite el pie inclinado se puede descomponer en un axial y un cortante de valores:

Axial: 2034 kp

Cortante: 748 kp

Predimensionamiento

Se proyecta una cimentación constituida por un pozo circular de hormigón de 0,3 m de diámetro y 1,8 m de profundidad ($H = 1,5 \text{ m}$ y $h' = 0,3 \text{ m}$).

Comprobaciones

- Tensión en la base P_H :

$$P_H = \frac{N_\sigma + G}{A} = 19,1 \text{ Tn m}^{-2} < P_{adm} = 19,5 \text{ Tn m}^{-2}$$

- Tensión lateral máxima P_L :

$$P_L = \frac{2 \cdot Q}{D} \cdot \frac{2 \cdot H^2 + 3 \cdot H \cdot h'}{H^3} = 8,64 \text{ Tn m}^{-2}$$

- Desplazamiento máximo en cabeza:

$$X_{m\acute{a}x} = (h + h') \cdot \text{tg} \alpha$$

$$h = \frac{2 \cdot H^2 + 3 \cdot H \cdot h'}{3 \cdot (H + 2 \cdot h')} = 0,93 \text{ m} \quad \text{tg} \alpha = \frac{6 \cdot Q}{D \cdot K_h} \cdot \frac{H + 2 \cdot h'}{H^3} = 0,01$$

Sustituyendo resulta:

$$X_{m\acute{a}x} = 1,23 \text{ cm} < X_{adm} = 1/2'' = 1,27 \text{ cm}$$

5.4.4 Cimentación de los pies derechos

Acciones

Están sometidos en la hipótesis más desfavorable a un esfuerzo de axial de compresión $N = 900,12 \text{ kp}$.

Predimensionamiento

Se proyectan como pozos circulares de hormigón de 0,3 m de diámetro y 0,7 m de profundidad.

Comprobaciones

Al estar sometido únicamente al esfuerzo axial de compresión sólo habrá que comprobar la tensión que se transmite al terreno en la base:

$$P_H = \frac{N + G}{A} = 14,34 \text{ Tnm}^{-2} < P_{adm} = 19,5 \text{ Tnm}^{-2}$$

5.4.5 Cimentación de los vientos de los pórticos

Están sometidos a tracción. En los vientos verticales el esfuerzo es de 1141,97 kp, mientras que en los inclinados es de 2034,4 kp.

Predimensionamiento

Se calcula una cimentación idéntica para los vientos verticales y los inclinados constituida por pozos circulares de hormigón de 1,8 m de profundidad y 0,3 m de diámetro.

Todos los pozos se arriostrarán con una viga de atado de 0,3 x 0,3 m de hormigón H-175, el anclaje se realizará con acero AE-42 de 14 mm de diámetro. Para el zuncho perimetral se usará una armadura longitudinal de 4x4 mm y una armadura transversal con cercos de 6 mm de diámetro cada 20 cm (queda detallado en el plano: Invernadero).

Comprobación

El esfuerzo de agotamiento, de la cimentación diseñada, según el modelo *Briassoulis y Curtis, 1984*, y teniendo en cuenta que la separación entre vientos es de 2,1 m, vale:

$$T_u = \pi \cdot D \cdot L \cdot \alpha \cdot C_u + \frac{\pi \cdot D^3}{4} \cdot L \cdot \gamma_h + W_2$$

Siendo:

D: diámetro del anclaje

L: altura del anclaje de hormigón

C_u: cohesión media del terreno

γ_h: densidad del hormigón

W₂: peso propio de la viga de arrostramiento.

$$W = 0,3 \times 0,3 \times 1,05 \times 2300 = 217 \text{ Kp}$$

Sustituyendo resulta:

$$T_u = 4750,8 \text{ kp}$$

El factor de seguridad en este caso será:

$$F = \frac{4750,8}{2034,4} = 2,3 > 2$$

5.4.6 Cimentación de los vientos de las correas

La acción que le trasmite el viento a la cimentación es un esfuerzo de tracción de 1021,4 kp inclinada un ángulo de 13,14° con respecto a la vertical. Ello implica un axial de tracción de 2493,14 kp.

Predimensionamiento

Se calcula como pozos circulares de hormigón de 2 m de profundidad y 0,3 m de diámetro.

Todos los pozos se arriostrarán con una viga de atado de 0,3 x 0,3 m de hormigón H-175, el anclaje se realizará con acero AE-42 de 14 mm de diámetro.

Para el zuncho perimetral se usará una armadura longitudinal de 4x4 mm y una armadura transversal con cercos de 6 mm de diámetro cada 20 cm (queda detallado en el plano: Invernadero).

Comprobación

El esfuerzo de agotamiento, T_u, teniendo en cuenta que la separación entre correas es de 1,40 m, vale:

$$T_u = 5254,56 \text{ kp}$$

El factor de seguridad en este caso será:

$$F = \frac{4750,8}{2034,4} = 2,1 > 2$$

5.4.7 Cimentación de los amagados

La acción que transmiten al cimientos es un esfuerzo axial de tracción de 1045,98 kp para la hipótesis más desfavorable.

Predimensionamiento

Se diseña como un pozo circular de hormigón de 0,3 m de diámetro y 1,3 m de profundidad.

Comprobación

El esfuerzo de agotamiento, T_u , en este caso será:

$$T_u = 3274 \text{ kp}$$

Por lo que el factor de seguridad resultante es:

$$F = \frac{3274}{1045,98} = 3,1 > 2$$

6. CONTROL CLIMATICO

6.1. INTRODUCCIÓN

En este anejo se va a determinar las medidas que se utilizarán para el control climático del invernadero de nuestro proyecto, en función de las necesidades ambientales del cultivo.

Los principales factores ambientales que influyen el cultivo son: humedad (relativa y absoluta), temperatura ambiente, concentración de CO₂ y radiación.

6.1.1. Temperatura

A lo largo del día la temperatura varía considerablemente, alcanzando valores por encima y por debajo del óptimo del cultivo, con diferencias entre máximas diurnas y mínimas nocturnas del orden de los 20 °C o más.

Generalmente, la temperatura mínima requerida para las plantas de invernadero es de 10-15 °C, mientras que 30 °C es la temperatura máxima. Una diferencia de 5-7 °C entre las temperaturas diurnas y nocturnas suele resultar beneficiosa para las plantas.

En un día normal, la temperatura en el interior del invernadero es mucho mayor debido a que el número de renovaciones de aire por hora son escasas.

Como medida ante el problema, se optará por poner ventilación cenital para producir estas renovaciones.

6.1.2. Humedad

El contenido de vapor de agua en el invernadero es muy importante desde el punto de vista energético (relacionado con la temperatura del invernadero) y fisiológico (excesos de humedad impedirán la correcta transpiración del cultivo mientras que descensos no favorecen la fotosíntesis).

Es fundamental manejar el invernadero en función del déficit de humedad y por humedad relativa.

También es aconsejable mojar frecuentemente el suelo del invernadero para mantener la humedad alta.

6.1.3. CO₂

El contenido de CO₂ en el invernadero disminuye conforme aumenta la intensidad luminosa, por eso a primeras y últimas horas del día la concentración de CO₂ es menor que a horas centrales del día.

La aportación de CO₂, permite compensar este descenso durante el día, incluso mantener una concentración mayor a la de la atmósfera, con objeto de aumentar la tasa fotosintética, precocidad y producción.

En los momentos en los que las altas temperaturas obligan a abrir las ventanas, el contenido de CO₂ vuelve a su concentración normal de 300 ppm, por lo que debemos tener en cuenta la posición de las ventanas al inyectar CO₂.

6.1.4. Radiación

La radiación dentro del invernadero es menor que en el exterior, a lo largo del año la incidencia de los rayos va cambiando, cuando supone un mayor descenso es en invierno (debido al ángulo de incidencia) y en primavera (consecuencia del blanqueo).

Para obtener una radiación más uniforme, he optado por colocar el invernadero en una orientación N-S al igual que el cultivo.

7. SISTEMA DE VENTILACIÓN

El invernadero irá equipado con pequeñas *ventanas cenitales*, colocadas en cumbrera a lo largo del invernadero, en todas las rasas de éste.



Figuras 1 y 2: Tipo de ventilación cenital (Fuente: Villegas Moreno S.L.)

Las ventanas están constituidas por una pequeña estructura metálica unida a la malla de alambres de la estructura del invernadero mediante un eje de giro y las bridas de apoyo de las barras de mando, pudiendo ser accionadas manual o automáticamente mediante un controlador de clima.



Figuras 3 y 4: Accionamiento ventanas (Fuente: Villegas Moreno S.L.)

A todas se les colocará malla antiácidos (malla tejida en polietileno y polipropileno de alta resistencia), aunque dificulte algo más la entrada del aire, es fundamental para evitar la entrada de insectos, y ya que contiene aditivos anti-UV y antioxidantes, sirve para la prevención de virosis.

Estas ventanas coincidirán con una zona de pasillo, donde no hay plantas, para evitar que el agua de lluvia caiga sobre el cultivo en caso de que haya alguna filtración.

También se ha optado por colocar **ventanas en los laterales** como complemento de las cenitales. Se localizan en el perímetro, facilitando una renovación y circulación del volumen de aire del interior del invernadero. Estas ventanas son accionadas por una manivela y se abren en sentido descendente, deslizando entre las dos mallas de alambre. El cierre es totalmente hermético.



Figura 5: Detalle de ventanas laterales (Fuente: Villegas Moreno S.L.)

8. SISTEMAS DE SOMBREO

Uno de los sistemas de sombreado que se aplicarán, será el *blanqueo del plástico* del invernadero a base de carbonato cálcico, principalmente en los meses más cálidos en los que se transplante el cultivo del vivero al invernadero. En los meses de septiembre y octubre desaparece el sombreado como consecuencia de las lluvias, de no ser así, habrá que eliminarlo aplicando agua para que no se produzcan disminuciones de radiación en la época invernal.

9. EVACIACIÓN DE AGUAS PLUVIALES

El material que se utilizará será:

- CANALES: las canales son de acero galvanizado en sendzimir y de polipropileno.
- GANCHOS Ø 12 en “V”: sujetan las canales.



Figura 9: Detalle de canal para la evacuación de agua de lluvia (Fuente: Villegas Moreno S.L.)

Con el uso de los canales, se puede hacer un mejor aprovechamiento del agua de lluvia y recircularla al embalse para el posterior riego en la explotación.

También se evita la acumulación de agua en el plástico, que podría dar lugar a rotura del mismo o filtraciones dentro del invernadero.

10. BIBLIOGRAFÍA

- VALERA MARTÍNEZ, D. L., MOLINA AIZ, F.D. *et al.* *Control Climático en Invernaderos*. Ed. Diego Luís Valera Martínez. Servicio de Publicaciones Universidad de Almería (2007).
- PÉREZ GARCÍA, F., MANZANO AGUGLIARO, F. *et al.* *Invernadero Tipo Parral en la Provincia de Almería: Tipología, Cálculo Constructivo y Optimización Estructural*.
- Apuntes de la asignatura “*Construcción de Invernaderos*” (Curso 2004/2005). I.T.A. Mecanización y Construcciones Rurales. Universidad de Almería. (Almería).
- www.invernaderos-tecnológicos.com
- VILLEGAS MORENO S.L.