

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

***INVERNADERO SOSTENIBLE PARA
COOPERACIÓN INTERNACIONAL EN
PERÚ***

DOCUMENTO 7- CONCLUSIONES

Alumno/Alumna: de la Puerta Sasía, Jaione

Director/Directora: Laraudogoitia Alzaga, Juan Esteban

Curso: 2017-2018

Fecha: miércoles, 28 febrero 2018

ÍNDICE DE CONCLUSIONES

1. Geometría.....	2
2. Estructura.....	3
3. Cimentación	4
4. Tipo de cerramiento.....	5
5. Uniones	6
6. Mecanismo de apertura de la cubierta	7
7. Sensores y ventiladores	8
8. Riego	9

En el presente documento se describirán los resultados y conclusiones del trabajo. Tras haber analizado las posibles alternativas de solución y haber calculado y dimensionado todos los elementos incluidos en el alcance de este proyecto, se presenta la información más importante sobre cada uno de ellos. Los apartados en que se dividen las conclusiones del trabajo son los siguientes:

- Geometría
- Estructura
- Cimentación
- Cerramiento
- Uniones
- Mecanismo de apertura
- Sensores y ventiladores
- Riego

1. Geometría

Siguiendo los requerimientos del cliente, se ha decidido diseñar un módulo de nueve (9) metros de ancho por cincuenta (50) metros de largo, con una altura de pilar de dos (2) metros y una altura máxima en el cénit del arco de cuatro (4) metros. La distancia entre pórticos se ha establecido en dos metros y medio (2,5).

Pórticos cada 2,5m (21 pórticos)

Área: $50 \cdot 9 = 450 \text{ m}^2$

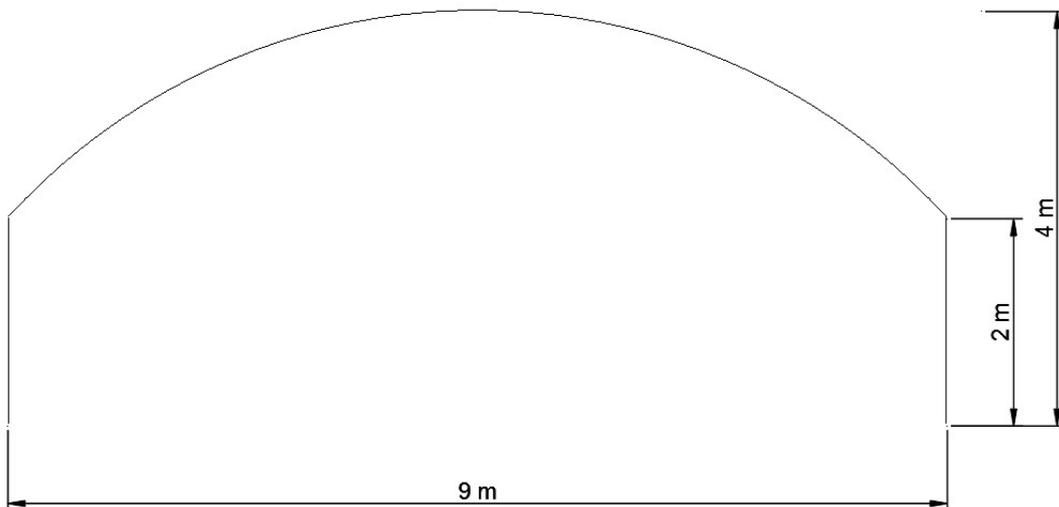


Ilustración 1.1. Geometría pórtico

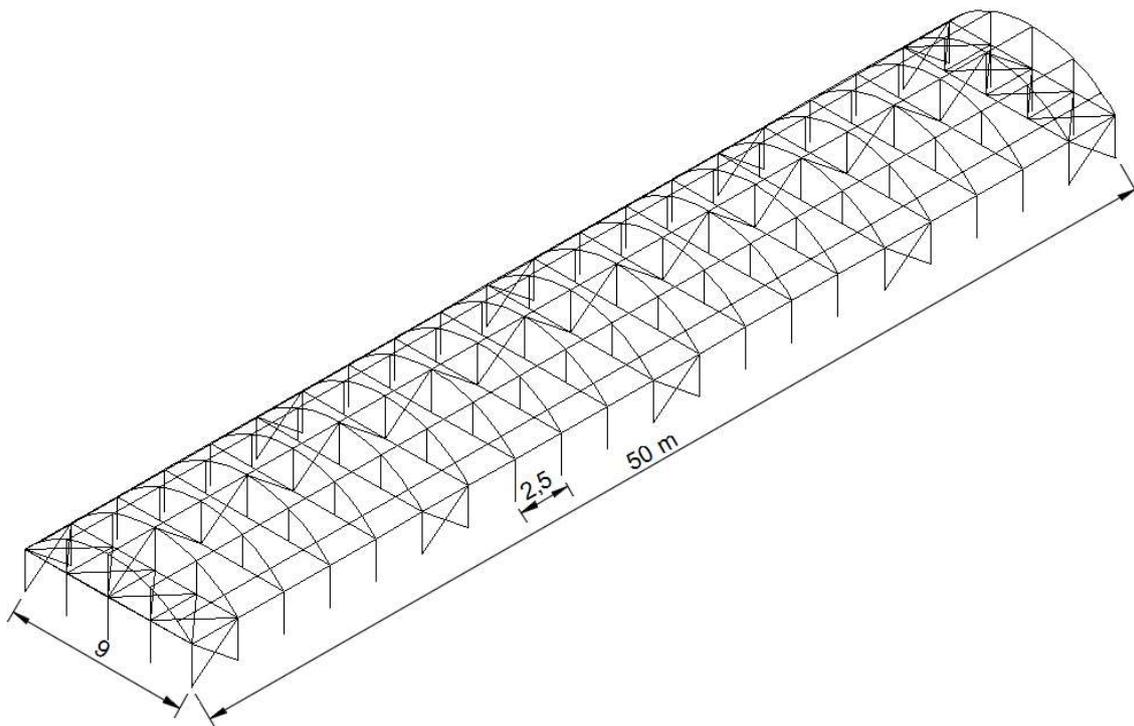


Ilustración 1.2. Estructura completa (isométrico)

2. Estructura

Para garantizar la durabilidad y resistencia de la estructura, se ha optado por **perfiles tubulares de acero conformado**. El aluminio tiene propiedades mecánicas muy similares y es más ligero, pero su coste es mayor y el peso que proporciona el acero puede ser de ayuda para mantener la estabilidad de la estructura frente a cargas de succión del viento. Tras definir la geometría y los materiales a emplear, se ha introducido la estructura en el software de cálculo CYPE 3D (para estructuras metálicas) y se han modelizado tanto los elementos como las cargas y los apoyos definidos previamente. Siguiendo los resultados obtenidos, se ha seleccionado un perfil CHS 63x6 para los pilares y un CHS 57x4 para las vigas.

Además de pilares y vigas, se ha visto necesario incluir otros elementos que proporcionan rigidez y disminuyen el fenómeno de pandeo en el conjunto de la estructura. Por un lado, se han introducido perfiles tubulares CHS 42.4x3 en el plano perpendicular a los pórticos para limitar el pandeo fuera del plano de los arcos y aportar mayor rigidez al conjunto frente a las cargas de viento longitudinal. Por otro lado, se han introducido tirantes en el plano de cada pórtico para fijar varios puntos de las vigas en arco y, por tanto, conseguir disminuir la longitud de pandeo de las mismas dentro del plano. Para sostener dichos tirantes ha sido necesario introducir también un redondo horizontal entre la cabeza de los pilares de cada pórtico.

Por último, se han instalado cruces de San Andrés en cinco vanos del módulo para resistir las cargas de viento longitudinales, reforzando especialmente los elementos resistentes de los pórticos hastiales.

Todos los elementos mencionados pueden verse en el esquema estructural de la Ilustración 2.2.

3. Cimentación

Para este proyecto se propone emplear **zapatas de hormigón armado prefabricadas** y unir cada pilar a la misma mediante un pasador. Las zapatas se venderán al agricultor con las placas de anclaje y los soportes para unir cada pilar ya montados, de forma que su instalación será muy sencilla.

Esta propuesta se justifica con la necesidad concreta de cimentación en una estructura tan ligera como la de un invernadero: la función de las zapatas no es tanto transmitir las cargas al terreno, pues los pórticos no soportan cargas de gran calibre, sino asegurar la estabilidad de la estructura frente a vuelco.

Siguiendo con esta propuesta, los apoyos de pilares se han definido como articulados en el cálculo estructural. La geometría, volumen y armado de las zapatas se ha dimensionado con CYPE 3D, al igual que el resto de la estructura. Tras ver las alternativas de solución que ofrecía el programa, se ha optado por elegir todas las zapatas de igual tamaño, geometría y armado, para evitar así posibles errores durante su colocación en obra.

A continuación, se muestran esquemas de las zapatas y sus anclajes correspondientes a la estructura:

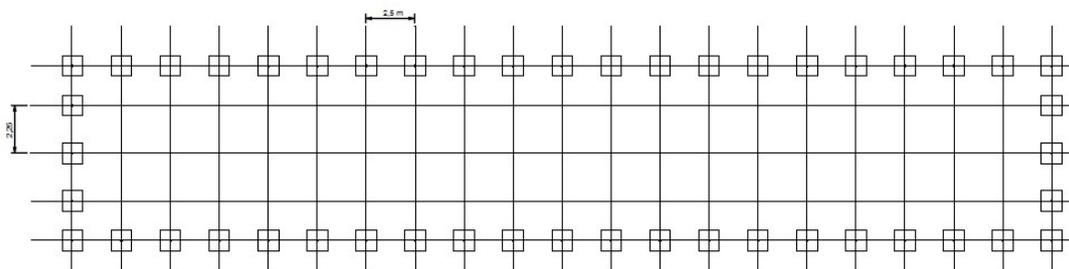


Ilustración 3.1. Zapatas en planta

ZAPATAS		
GRUPO	DIMENSIONES	ARMADO
Todas	105 x 105 x 30	Xi:Ø12c/30 Yi:Ø12c/30 Xs:Ø12c/30 Ys:Ø12c/30

Tabla 3.1. Definición de zapatas

ELEMENTO		MATERIAL	COEFICIENTE SEGURIDAD	RECUBRIMIENTO MÍNIMO
ACERO	Armaduras	B 400 S	1,15	20 mm
HORMIGÓN	Zapatatas	HA-25/B/20/IIa	1,5	

Tabla 3.2. Definición de los materiales de cimentación

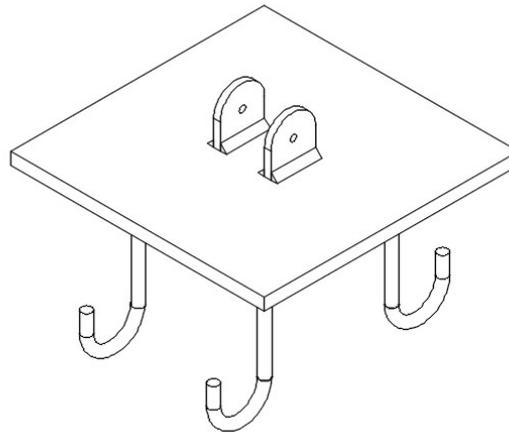


Ilustración 3.2. Placa de anclaje tipo

PLACAS DE ANCLAJE		
GRUPO	DIMENSIONES	PERNOS
Todos	400x400x20mm	4Ø16 L=200mm Prolongación a 180°

Tabla 3.3. Definición de placa de anclaje

4. Tipo de cerramiento

Tras analizar todas las ventajas e inconvenientes de los diferentes materiales propuestos en el apartado 6.1 del Documento 4, se ha decidido que para este proyecto el **polietileno de baja densidad** es el más adecuado debido a que sus propiedades mecánicas son suficientes y es una solución más económica que las demás alternativas.

Este material plástico se suministra en rollos de longitud y anchura variables, por lo que es sencillo adquirir uno adecuado a las dimensiones del invernadero de este trabajo. Su colocación es manual: se fija a la estructura mediante un perfil sujetador anclado a los pilares y un alambre en zigzag que encaja en el mismo, quedando el plástico inmóvil entre ambos elementos.

A continuación, se muestra un esquema del sistema de anclaje mencionado:

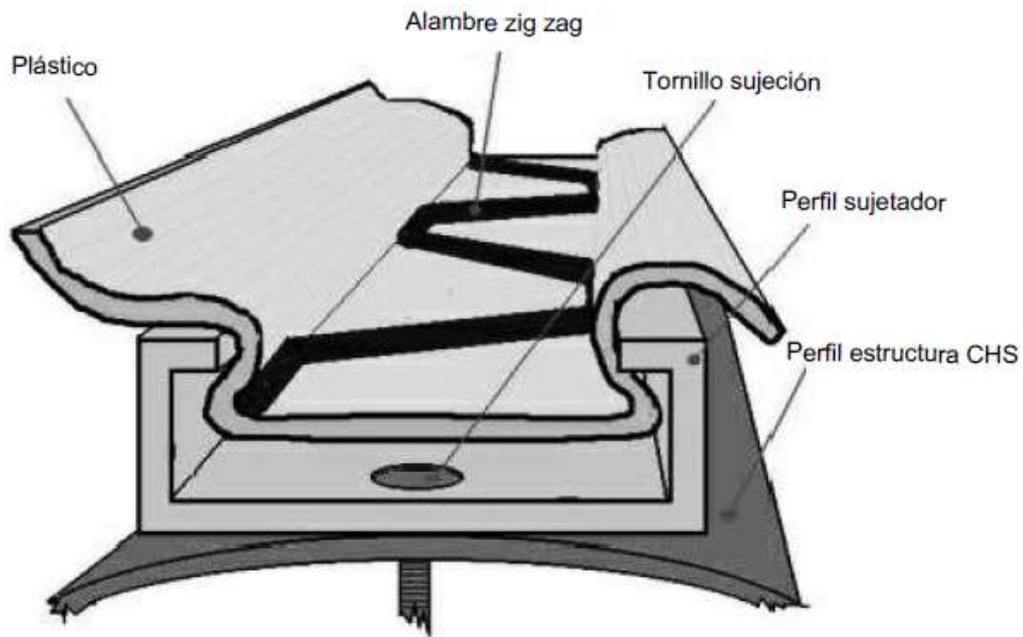


Ilustración 4.1. Anclaje del cerramiento plástico a la estructura

5. Uniones

La principal dificultad para el diseño y cálculo de las uniones entre los elementos estructurales de este invernadero es el requisito impuesto por los clientes: fácil montabilidad y necesidad mínima de herramientas o conocimientos técnicos.

Para cumplir con los tres, se ha optado por el empleo de **elementos auxiliares de acero prefabricados**, en los cuales los diferentes perfiles encajan de forma sencilla.



Ilustración 5.1. Uniones

Para el diseño de estas uniones se ha decidido modelizar el elemento en Inventor para poder realizar un análisis estático de tensión de la misma. Con esto se consigue comprobar que la geometría (longitudes y espesores, fundamentalmente) es adecuada para soportar las cargas que se transmiten en la estructura del invernadero.

Finalmente, el resultado ha sido el siguiente: un elemento de 208mm de ancho por 265mm de alto formado por cuatro (4) tubos soldados entre sí de espesor igual al del perfil que encaja en cada uno de ellos. También se han practicado agujeros en cada tubo para anclar los perfiles con pernos, y se han incluido tres orejas (soldadas también) que sirven para anclar tanto el tirante horizontal de cada pórtico como las cruces de San Andrés en los vanos que las contengan. Para favorecer la facilidad de montaje, se ha optado por que todas las piezas sean iguales excepto las de las cuatro esquinas, que carecen de uno de los tubos horizontales.

6. Mecanismo de apertura de la cubierta

Tras analizar las opciones propuestas, se ha optado por la ventilación tipo Cénit. Dado que el mayor problema del cliente es el calor y la humedad que hay en verano, y teniendo en cuenta lo que este clima supone para las plantas del invernadero, la rápida evacuación es una característica importante para este apartado del proyecto.

Se ha diseñado un modo de apertura motorizada dividida en distintas secciones, teniendo cada sección su motor, eje y mecanismos piñón-cremallera para accionar la apertura de la cubierta.

A continuación, se muestra una imagen de la solución adoptada:

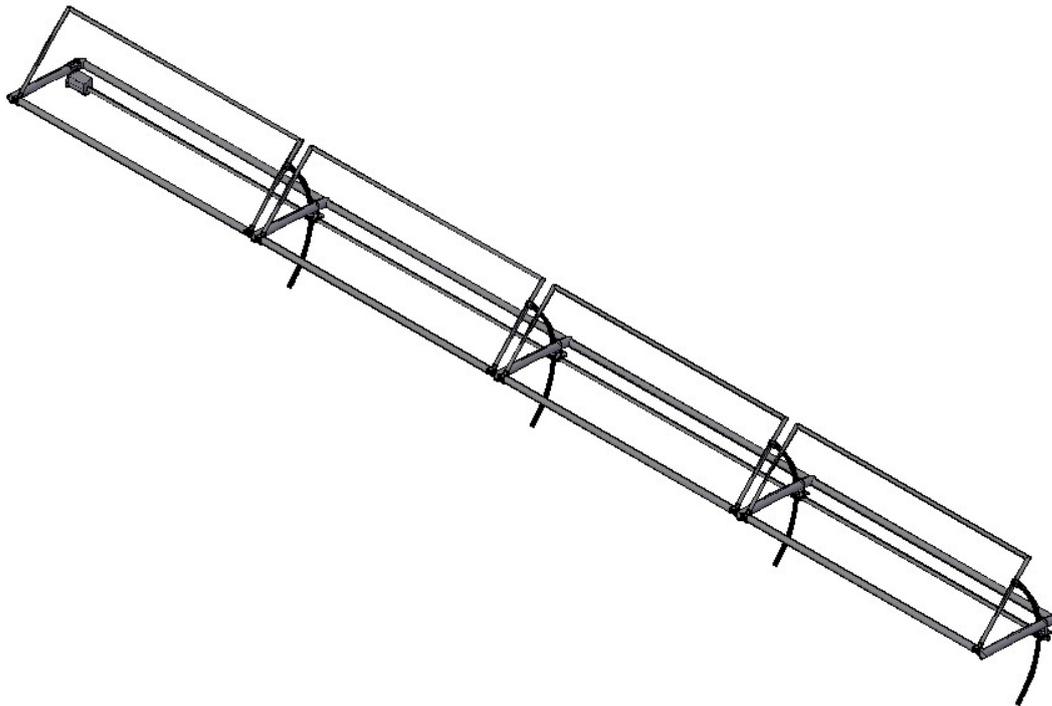


Ilustración 6.1. Apertura de cubierta

En ella pueden observarse todos los elementos relevantes para el funcionamiento de la ventilación natural: por un lado, los perfiles que conforman el marco de cada ventana articulados a los tubos CHS 42.4x3 de la estructura. Por otro lado, el eje de 10 metros de longitud y 20 milímetros de diámetro anclado a la viga en arco de cada pórtico, es decir, cada 2.5 metros, con el piñón correspondiente en cada tramo para poder accionar la apertura de la cubierta.

También puede verse el motor en un extremo anclado al quinto pórtico de la sección, así como las cremalleras fijas a los marcos de las ventanas y en contacto cada una con su piñón correspondiente. Aunque la propuesta es que la cubierta se abra a 45°, se ha decidido aumentar el recorrido de las cremalleras para dar cierto margen y permitir una mayor abertura si la persona encargada del cultivo así lo desea.

7. Sensores y ventiladores

Se ha seleccionado un sensor comercial de tipo digital, en vista de que las personas que usen el invernadero quieran recoger datos climatológicos del interior para sacar estadísticas y controlar en función de éstas las futuras producciones, mejorando así el porcentaje de éxito en cada campaña.

- Sensor de temperatura y humedad digital DHT22

En cuanto al modelo de ventilador, se ha seleccionado el Versa-Kool VK Series, muy empleado en invernaderos y en el sector agrícola en general. Este ventilador se instalará solamente en el caso de que la ventilación natural no funcione.

8. Riego

Para la instalación del riego por goteo sobre el terreno será necesario adquirir las tuberías de PVC, habitualmente de diámetro 16mm para las filas y de 75mm para la conducción central hasta las mismas. Además, también habrá que disponer de conectores tipo T y en forma de codo para unir entre sí los diferentes tramos y llevar así la red hasta la fuente de agua de la parcela.