

GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA
TRABAJO FIN DE GRADO

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

DOCUMENTO 4- MEMORIA

Alumno/Alumna: de la Puerta Sasía, Jaione

Director/Directora: Laraudogoitia Alzaga, Juan Esteban

Curso: 2017-2018

Fecha: miércoles, 28 febrero 2018

ÍNDICE DE LA MEMORIA

1. INTRODUCCIÓN.....3

2. CONTEXTO.....3

3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO.....6

 3.1. Objetivos.....6

 3.2. Alcance 7

4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO.....8

5. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS.....8

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.....9

 6.1. Tipo de cerramiento.....9

 6.1.1. Films plásticos.....9

 6.1.2. Plásticos rígidos..... 10

 6.2. Geometría..... 11

 6.3. Pórticos 12

 6.4. Cimentaciones 12

 6.5. Uniones 13

 6.5.1. Chapas atornilladas 13

 6.5.2. Perfiles soldados en taller..... 13

 6.6. Mecanismo de apertura de la cubierta..... 13

 6.7. Sensores y ventiladores..... 14

 6.8. Riego..... 14

7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA..... 14

 7.1. Tipo de cerramiento..... 14

 7.2. Geometría..... 14

 7.3. Pórticos 15

 7.4. Cimentaciones 15

 7.5. Uniones 16

 7.6. Mecanismo de apertura de la cubierta..... 16

7.7.	Sensores y ventiladores.....	17
7.8.	Riego.....	17
8.	MEMORIA CONSTRUCTIVA.....	17
8.1.	Trabajos previos	17
8.2.	Excavación y cimentación	17
8.3.	Estructura metálica.....	17
8.4.	Placas de anclaje	18
8.5.	Cerramientos de cubierta y verticales	18
8.6.	Acceso al invernadero.....	18
8.7.	Ventilación	18
8.8.	Elementos externos	18
9.	NORMAS Y REFERENCIAS.....	19
9.1.	Disposiciones legales y normas aplicadas.....	19
9.2.	Programas de cálculo y diseño.....	20
9.3.	Plan de gestión de calidad	20

1. INTRODUCCIÓN

El Instituto Huayuna es una Organización No Gubernamental de Desarrollo (ONGD) que se dedica al fomento de la agricultura sostenible en poblaciones empobrecidas. Debido a la falta de conocimientos técnicos del equipo, los invernaderos instalados hasta ahora son insuficientes para conseguir una buena producción y garantizar la calidad de vida de los hombres y mujeres agricultores de la zona. Su actividad se centra principalmente en el cultivo de tomate, seguido por el pepino y la berenjena.

Dado que esta entidad carece de recursos económicos para contratar a una persona que analice las alternativas y proponga una solución viable al problema, se va a tratar de dar una respuesta gratuita desde la Escuela de Ingeniería de Bilbao mediante el presente Trabajo de Fin de Grado.



Ilustración 1.1. Zona de cultivo cerca del río Mala

2. CONTEXTO

La organización trabaja en las cuencas de los ríos Chilca, Mala y Omas. La construcción se ubicará por tanto en una zona rural a las afueras de Lima, en la Costa Central de Perú.

El Instituto Huayuna ha facilitado datos y estadísticas de los últimos años sobre el clima, así como de las condiciones de humedad y temperatura necesarias para la optimización del cultivo de tomate. La temperatura en verano en la zona de interés puede llegar incluso a los 40°C, siendo estas condiciones peligrosas para el incremento de plagas y la disminución del cuajado de frutos. Además, en invierno hay un importante incremento de humedad en el interior de los invernaderos, ya que éstos no cuentan más que con una malla como cerramiento, y dicha subida propicia la aparición de bichos y el ataque de enfermedades al cultivo.

A continuación, se muestra una tabla con algunos de los datos proporcionados por el Instituto Huayuna:

Año	Humedad relativa (%)			Temperatura del aire (°C)			Precipitación (mm)		
	Costa	Sierra	Selva	Costa	Sierra	Selva	Costa	Sierra	Selva
1993	81,3	55,0	93,3	22,6	11,8	26,8	65,6	850,3	1.959,7
1994	80,4	52,6	92,9	22,2	11,9	26,3	39,1	833,9	1.771,6
1995	77,1	50,8	93,0	22,1	12,4	26,6	28,4	666,8	1.350,2
1996	79,0	50,9	93,7	21,1	12,2	26,5	22,6	599,8	1.423,7
1997	76,9	52,3	92,8	24,2	12,4	26,6	200,1	654,0	2.735,9
1998	79,9	53,2	90,8	23,1	12,9	26,8	696,3	726,2	2.278,9
1999	80,4	64,3	88,1	21,4	11,7	26,1	99,9	713,8	2.411,1
2000	79,6	60,9	86,8	21,7	12,0	26,2	43,7	678,7	2.616,5
2001	81,5	52,0	86,0	21,4	10,5	25,9	84,9	568,1	2.082,7
2002	82,4	64,0	87,9	20,8	11,5	26,7	94,1	734,3	2.554,1
2003	78,9	65,9	86,4	21,1	12,4	25,4	25,0	725,8	2.227,1
2004	77,3	68,1	82,1	20,7	12,4	22,9	25,7	659,9	1.484,1
2005	76,4	68,2	81,1	20,1	13,5	23,2	26,3	585,7	1.364,2
2006	77,3	70,6	81,9	21,4	12,7	24,7	57,8	709,3	1.681,2
2007	80,0	72,7	81,8	20,3	12,7	23,1	27,0	649,7	1.516,7
2008	77,0	69,0	79,0	21,4	12,6	23,1	46,3	570,0	1.463,9
2009	80,2	73,1	81,8	21,4	13,0	22,9	55,9	775,6	1.747,4
2010	81,0	71,2	79,0	20,9	13,2	22,7	75,7	667,7	1.156,0
2011	79,3	72,8	80,2	21,1	12,4	22,7	30,4	834,3	1.586,6

2012	76,9	71,7	81,0	21,5	12,4	22,8	74,2	809,9	1.571,4
2013	78,9	73,1	82,3	20,1	12,6	23,0	47,3	800,8	1.715,6
2014	79,8	70,8	82,4	21,5	12,7	22,9	22,3	692,5	1.605,4
2015	78,0	71,4	83,5	22,4	12,9	23,2	99,4	824,8	1.790,9

Tabla 2.1. Datos promedio anuales de humedad, temperatura y precipitación

Los invernaderos semi rústicos ya construidos están a una altitud de 200 m.s.n.m y los siguientes estarán a menos de esta altitud. Sobre las condiciones idóneas para la producción de tomate, la información de que se dispone es la siguiente:

La temperatura tiene influencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas; el tomate requiere de un clima templado a subtropical, no tolera heladas.

Etapa	T° C óptima	T° extremas
Germinación	25-30	T°s menores a 10°C y mayores a 40°C, no germina
Floración	Nocturna 16°C	T°s nocturna mayor a 26°C y diurna mayor 35°C, hay aborto de flores
Desarrollo	20-24	T°s menores a 10°C y mayores a 27°C, el desarrollo se ve afectado T°s menores a 0°C, la planta se hiela
Maduración	18-20	T°s menores a 13°C, la maduración es lenta y mayores a 30°C, el fruto puede tomar coloración amarilla

Tabla 2.2. Temperaturas ideales según etapa

La humedad relativa óptima está entre 50 y 60%, aunque algunos autores consideran que hasta 80%. La humedad relativa alta ocasiona importantes pérdidas debido a la alta incidencia de hongos y bacterias.

En cuanto a luminosidad, la cantidad de horas diarias de luz óptima para desarrollo de las plantas de tomate es de 12 horas. Por tanto, es esencial que el invernadero limite lo mínimo posible la incidencia del sol sobre la plantación del interior.

El tomate se desarrolla bien en suelos ligeros y suelos limo-arenosos con buen drenaje. Prefiere suelos con pH desde ligeramente ácidos a ligeramente alcalinos (5.0 – 6.8). Los cultivares para invernaderos toleran bien suelos y agua con sales. Es fundamental la preparación del suelo con materia orgánica, ya sea con estiércol o compost, con un mínimo de 5 kilos / m² para duplicar los rendimientos que se obtienen en campo abierto.

En cuanto al riego: Si es riego por gravedad, deben realizarse entre 10 y 15 riegos por campaña, dejando 7 a 12 días entre riegos. No se debe regar antes de la cosecha. Si el riego es tecnificado

por goteo, dependerá de la capacidad de los goteros; se considera que cada planta necesita entre 0.25 a 2 litros de agua, dependiendo de la etapa de desarrollo.

La producción esperada es la siguiente: con un área de 450 m² de invernadero básico (superficie que tendrá el invernadero propuesto en este trabajo) y a un distanciamiento de 1.20 entre hileras y 0.5 metros entre plantas, la densidad será de 720 plantas. Puede ocurrir un 10% de muerte de plantas al trasplante ocasionada por el ataque de algún patógeno u otro problema fisiológico. Con la dosis de abonamiento considerada, de 100 TM/ha de materia orgánica, se espera una producción promedio por planta de 3.8 kilos, lo que da una producción esperada de 2462.4 kilos por campaña.

El precio medio de un invernadero convencional es de 3.500€, según el manual para construcción de invernaderos semi-rústicos del Instituto Huayuna. El presupuesto de este proyecto será más elevado debido a que los materiales responderán a las necesidades técnicas planteadas que los actuales invernaderos no cubren.

Hasta ahora, los invernaderos de la zona han sido construidos con madera, alambres, acero para los anclajes, cemento, malla anti áfido y láminas de plástico. En cuanto a la geometría, se han realizado invernaderos tipo túnel, tipo capilla, holandeses...

El invernadero de este proyecto no tiene por qué estar hecho con los mismos materiales ni geometría; se buscarán alternativas técnicamente mejores y económicamente viables.

3. OBJETIVOS Y ALCANCE DEL TRABAJO

3.1. Objetivos

El objeto del siguiente proyecto es dar respuesta a una petición recibida por el Instituto Huayuna, situado en Lima, Perú: diseñar una estructura para funcionar como invernadero sostenible y regulado, de bajo coste y fácil montaje.

La necesidad principal que debe cubrir la solución es un aislamiento adecuado contra viento, lluvia y temperaturas extremas sin comprometer el aprovechamiento de luz solar del invernadero. Además, se deberá compatibilizar la estructura con los siguientes requerimientos:

- Sistema integrado de riego sobre el terreno.
- Mecanismos de regulación y control de humedad y temperatura: sensores que activan ventiladores para refrescar el ambiente dentro del invernadero. Esto se empleará solo cuando la ventilación pasiva de cubierta no sea suficiente.
- Fuentes de energía limpia: instalación de placas solares que diseñará otro alumno de esta escuela, necesarias para el funcionamiento de los elementos mencionados en el punto anterior.

También es necesario proporcionar una solución de mínimo coste y fácil montaje, realmente viable y útil en los lugares para los que se va a diseñar. Será por tanto necesario proponer uniones y formas de ensamblado que aseguren la estabilidad del invernadero, y a su vez sean fáciles de ejecutar para las personas agricultoras de Perú (no formadas en el ámbito de la construcción). Otro aspecto a tener en cuenta es que los materiales deberían ser fáciles de conseguir en el destino.

Se tratará también de elaborar un manual sencillo de montaje de la estructura propuesta, para que llegue a las personas usuarias y resulte un producto realmente atractivo y útil en Perú. El objetivo final de este proyecto es difundirlo entre los pequeños agricultores en el ámbito de trabajo de Huayuna.

Con todo ello, los tres retos principales del proyecto son:

- Adecuación al entorno geográfico.
- Adecuación al usuario.
- Fácil montabilidad y desmontabilidad.

3.2. Alcance

Este proyecto abarca el diseño y cálculo de la estructura de un invernadero que cumpla con las condiciones técnicas requeridas por el cliente.

Siguiendo lo marcado en el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú, se realizará el cálculo de las cargas que soportará la estructura del invernadero. Después se procederá al dimensionamiento de los elementos resistentes de la estructura empleando la herramienta de cálculo de estructuras CYPE 3D, por lo que se utilizarán los criterios de cálculo disponible en dicho programa. Asimismo, se diseñarán las zapatas y las uniones entre los elementos estructurales y al terreno, teniendo siempre presente que el montaje debe ser sencillo y la necesidad de herramientas, mínima. Para facilitar esto último, se redactará un manual de montaje del invernadero con instrucciones sencillas que comprenda todo lo necesario para que una persona pueda adquirir el producto y montarlo ella misma.

Por último, se hará una estimación del presupuesto de fabricación y montaje del invernadero, así como de la mejora porcentual que proporcionaría esta previsible subida de precio respecto a los invernaderos actualmente empleados en la zona de aplicación del proyecto.

No está al alcance de este proyecto el cálculo detallado de los elementos necesarios para automatizar el invernadero: se dimensionarán los elementos necesarios y se seleccionarán de un catálogo comercial (a ser posible de fabricantes presentes en Perú) como el motor, los sensores, las tuberías de riego y demás.

Tampoco se realizará el cálculo detallado de la fuente de energía. Se establecerá la potencia eléctrica necesaria para el funcionamiento de la solución propuesta y la parte energética será objeto de trabajo de otra persona. Mencionar que, aunque no vaya a ser calculado en este proyecto, sí se va a coordinar el desarrollo del mismo con el eléctrico, de forma que ambas soluciones ofrecerán un proyecto completo y compatible para su posterior construcción.

4. BENEFICIOS QUE APORTA EL TRABAJO

En este apartado se presentan los cambios positivos que tendrá la puesta en marcha del proyecto en el lugar de destino.

El primer beneficio y el más notable es el aumento de la calidad de vida de las personas agricultoras que adquieran y hagan uso de uno de estos invernaderos. Dada la mejora técnica que supone la solución propuesta frente a lo que ahora tienen, con el mismo trabajo de plantación y cuidado de la tierra los resultados serán notablemente mejores en cuanto a porcentaje de éxito de los cultivos, por lo que habrá una mayor cantidad de producto válido para la venta y los ingresos de las personas usuarias aumentarán. Esto, evidentemente, se traduce en una mayor calidad de vida para los agricultores de la zona rural de Lima.

Además, tanto los hombres como las mujeres aprenderán a montar por sí mismas la estructura del invernadero, por lo que adquirirán conocimientos y habilidades útiles para su vida e incluso podrán ponerlas al servicio de sus amistades y vecinos. Esto beneficia de forma especial a las mujeres, empoderándolas y fomentando la igualdad entre ellas y los hombres que hoy día se encargan de toda la explotación agrícola de la zona.

Al ser un trabajo abierto a cambios y mejoras, un beneficio importante del mismo (y de su puesta en práctica) será el buen uso de los recursos disponibles, logrando invernaderos mejores que los actualmente empleados, con materiales y herramientas sencillas de conseguir en el entorno de Lima. Una de las futuras mejoras podría ser la sustitución de algunos de los materiales empleados en este trabajo por otros que a las personas usuarias pudieran parecerles más adecuados, siempre y cuando cumplan con los requisitos ya mencionados para la estabilidad y funcionalidad de la estructura.

5. DESCRIPCIÓN DE REQUERIMIENTOS

En este apartado se tendrán en cuenta las condiciones y datos establecidos por el cliente; por la legislación, reglamentación y normativa aplicables; el emplazamiento, y su entorno socioeconómico y ambiental; los interfaces con otros sistemas, elementos externos al Proyecto u otros que condicionan las soluciones técnicas del mismo.

Los principales requisitos que deben cumplirse son aquellos contemplados en el Reglamento Nacional de Edificaciones de Perú.

Además, se deberán cumplir los requisitos impuestos por el cliente: el más importante es el aislamiento adecuado frente a las condiciones ambientales adversas como lluvia y humedad, temperaturas extremas, plagas, etc. También se reconocen como condiciones importantes la economía y la facilidad de montaje.

6. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

En este apartado se presentarán las diferentes posibilidades que se han investigado en los distintos ámbitos que abarca el proyecto antes de adoptar una solución para cada uno de ellos.

6.1. Tipo de cerramiento

Las propiedades más importantes que definen la cubierta de un invernadero son la transmisión de la radiación solar, la transparencia a la radiación infrarroja o térmica y la transmisión de calor de los materiales que la componen.

Generalmente se realizan de los siguientes materiales:

- Films plásticos: de polietileno, cloruro de polivinilo y plásticos multicapa
- Plásticos rígidos: de polimetacrilato de metilo, policarbonato y poliéster.
- Vidrio: cristal de vidrio impreso.

Desde un comienzo se descarta el vidrio debido a su elevado precio.

A continuación, se presentan las características más reseñables de los films plásticos y de los plásticos rígidos, siendo esta información necesaria para tomar una decisión.

6.1.1. Films plásticos

En esta categoría, el polietileno (PE) es el plástico flexible más empleado actualmente para forzado de cultivos en invernaderos, túneles y acolchado. Esto se debe principalmente a su bajo precio, a sus buenas propiedades mecánicas y a la facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones. El PE, junto al polipropileno (PP) y al PVC, son los termoplásticos de más consumo.

Atendiendo a su densidad los PE se clasifican en:

Baja densidad: < 930 kg/m ³ .
Media densidad: 930 – 940 kg/m ³ .
Alta densidad: > 940 kg/m ³ .

Para el cerramiento de invernaderos se utiliza sólo el de baja densidad (baja cristalinidad) y alto peso molecular (bajo índice de fluidez). Una de las características del PE es que su alargamiento en el punto de rotura es cercano al 500%. Un material se considera degradado cuando su alargamiento se ha reducido en un 50% de su valor inicial.

El PE transparente tiene un poder absorbente de 5 al 30% en los espesores utilizados en agricultura; el poder de reflexión es de 10 al 14%; el poder de difusión es bajo. Según esto, la transparencia del PE está comprendida entre el 70-85%, es decir, dentro del recinto cubierto por el material plástico se percibe un 15-30% menos de luz aproximadamente que en el exterior.

El PE de baja densidad es el material plástico que menos resistencia tiene a la rotura. El de alta densidad tiene más resistencia que el PVC flexible pero menos que el resto de los demás plásticos. Se desgarran con facilidad. Es el material plástico que menos densidad tiene; es decir, es el que menos pesa por unidad de superficie a igualdad de grosor.

Además, no se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster. Debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y suelo del interior del invernadero.

El principal inconveniente de este material es el mantenimiento: si no se le añaden aditivos, es necesario reemplazar la cubierta de PE cada aproximadamente 8 meses.

6.1.2. Plásticos rígidos

Los dos más empleados son los que se presentan a continuación.

- Polimetacrilato de metilo (PMM)

Es un material acrílico, que procede del acetileno mediante formación de acrilato de metilo y polimerización de éste último. Se conoce comercialmente como vidrio acrílico o plexiglás. Es un material ligero con una densidad de 1.180 kg/m³. presenta buena resistencia mecánica y estabilidad. Existen dos tipos de polimetacrilato de metilo: incoloro y blanco translúcido.

La transparencia de este plástico está comprendida entre el 85 y el 92%, por lo que deja pasar casi todos los rayos UV y su poder de difusión es casi nulo. Tiene una gran opacidad a las radiaciones nocturnas del suelo.

La resistencia a la rotura es siete veces superior a la del cristal a igualdad de espesores, por lo que resulta más resistente a los golpes. En horticultura esto significa reducción de gastos por rotura y menores costes de mantenimiento del invernadero.

A pesar de su ligereza el vidrio acrílico puede soportar una sobrecarga de 70 kg por metro cuadrado, lo cual es importante para aquellas zonas con riesgo de nevadas; el coeficiente de conductividad térmica de polimetacrilato de metilo es de 0,16 kilocalorías/metro-hora °C, lo que impide el enfriamiento nocturno del invernadero. Esta característica no resulta decisiva para el caso de aplicación, ya que en la costa central de Perú no nieva.

En cuanto a sus inconvenientes, el principal de ellos es su elevado coste. Junto al tipo de estructura requerida, hace que los invernaderos construidos con este material sean de costes

elevados. Además, el metacrilato es fácil de rallar con cualquier instrumento, con lo que habrá que considerar este aspecto como factor negativo.

- Policarbonato (PC)

El policarbonato es un polímero termoplástico con buena resistencia al impacto y más ligero que el PMM.

La presentación de este material es en planchas alveolares. El grosor de las placas que se puede encontrar en el mercado es de 4 a 16 mm.

Esta placa está protegida por la parte que se expone al exterior por una película que protege de los rayos UV al resto del material para evitar su degradación. También se fabrica sin esta protección a las radiaciones UV, pero no es conveniente utilizarla en la cubierta de un invernadero.

En los productos que lleven la protección en la parte exterior para no dejar pasar a las radiaciones UV, éstas no pasan al exterior; esta propiedad, que presenta una ventaja para los cultivos que se hacen en invernaderos, resulta inconveniente cuando el invernadero está dedicado a producción de plantas hortícolas, que luego van a plantarse al aire libre, por efecto de choque que se produce al recibir la luz directa del sol con todas las radiaciones UV. El policarbonato celular tiene una opacidad total a las radiaciones de longitud de onda larga.

Las múltiples paredes de que consta la placa forman una cámara de aire dentro de los canales internos que hacen aumentar el poder aislante en un porcentaje muy elevado respecto al mismo material en placa sencilla.

Es un material muy ligero, comparado con el grosor de la placa; aproximadamente es 10 a 12 veces menos que el vidrio, a igualdad de espesor. El policarbonato tiene una gran resistencia al impacto (granizo, piedras, etc.). Estas placas pueden adaptarse en frío a estructuras con perfiles curvos de radio suave.

En los fabricados actuales, en la pared que queda en el interior puede llevar un tratamiento anti condensación y anti goteo, que permiten el deslizamiento de las gotas de agua sin que llueva sobre el cultivo. La duración de las placas de policarbonato celular está garantizada por los fabricantes en 10 años. Se ralla con los objetos punzantes.

6.2. Geometría

Las características geométricas orientativas que ha trasladado el Instituto Huayuna son las siguientes:

- Luz comprendida entre 6 y 10 metros.
- Altura libre mínima entre 2 y 3 metros.
- Área aproximada de 400 m².

- Geometría que favorezca el aprovechamiento de luz solar, proporcione aislamiento ambiental y sea sencilla de montar.

6.3. Pórticos

La estructura es el armazón del invernadero, constituido por pilares, vigas, correas, etc., que soportan la cubierta, el viento, la lluvia, la nieve, los aparatos que se instalan y las sobrecargas de plantas, de instalaciones de riego y atomización de agua, etc.

Las estructuras de los invernaderos deben reunir las condiciones siguientes:

- Ser ligeras y resistentes.
- De material económico y de fácil conservación.
- Susceptibles de poder ser ampliadas.
- Que ocupen de forma óptima la superficie.
- Adaptables y modificables a los materiales de cubierta.

Los materiales más utilizados en la construcción de las estructuras de los invernaderos dependiendo de su uso son:

- En pilares, apoyos y refuerzos: madera, acero galvanizado, hierro y aluminio
- En correas y vigas: acero galvanizado, hierro y aluminio.
- Arcos: acero galvanizado o aluminio.
- En soportes o basas de cimentación: hormigón.
- En sujeción de la cubierta: alambre galvanizado o perfiles de acero galvanizado o aluminio, según el tipo de invernadero.
- Canales: en acero galvanizado o aluminio.

Es difícil encontrar un tipo de estructura que utilice solamente una clase de material, ya que lo común es emplear distintos materiales.

6.4. Cimentaciones

Será necesario emplear zapatas aisladas de hormigón armado para fijar los pilares de la estructura y, con ellos, la estructura completa al terreno.

Hay varios tipos de cimentación posibles para un invernadero. No obstante, los más habituales son los siguientes:

La primera opción es la unión del pilar a la zapata mediante una placa de anclaje convencional y tornillería. La segunda opción es una prolongación del pilar a una profundidad determinada hacia el terreno hasta que quede asegurada su estabilidad. Como solución técnica es menos fiable que la primera, pero mucho más económica y sencilla de implementar.

6.5. Uniones

Las uniones usualmente empleadas en las construcciones industriales son por soldadura o mediante tornillería. Para un invernadero, en cambio, sería más adecuado buscar un elemento de unión que sea sencillo de colocar y no requiera de herramientas ni conocimientos técnicos determinados.

Por ello, se han analizado diferentes tipos de elemento:

6.5.1. Chapas atornilladas

Esta solución trata de una serie de chapas dobladas de forma que los perfiles encajan entre ellas, siendo la fijación mediante tornillería.

6.5.2. Perfiles soldados en taller

Esta opción requeriría solamente de la pieza y su pasador correspondiente para encajar todos los perfiles estructurales entre sí, incluyendo también el anclaje necesario para los elementos de arriostramiento del invernadero. No sería necesario el uso de tornillos.

6.6. Mecanismo de apertura de la cubierta

Como ya se ha planteado anteriormente, una de las características importantes del invernadero diseñado es la posibilidad de regular el ambiente en su interior.

La primera opción para ello es incorporar a la cubierta algunas partes móviles a lo largo de toda la estructura que sirvan de ventana, de forma que se puedan abrir cuando la temperatura o la humedad interior sea demasiado elevada.

Lo que habrá que decidir será la situación de dichas ventanas, tratando que sea lo más adecuada posible para los fines que se persiguen con ellas.

Hay tres tipos principales de ventanas en los invernaderos convencionales. El primero es de ventilación lateral: se trata de enrollar sobre un eje los paramentos verticales del invernadero, permitiendo así la circulación libre del aire por toda su longitud. Suele emplearse en zonas no muy calurosas con vientos suaves, ya que un clima de fuerte viento puede estropear la estructura estando ésta abierta. Además, la situación de las ventanas no es la más apropiada para evacuar rápidamente el calor del interior.

El segundo trata de instalar en la parte más baja del arco algunas secciones móviles que permitan abrir huecos en ciertas zonas del invernadero para que entre el aire. Suele utilizarse en invernaderos pequeños o de poca altura, en los que la accesibilidad a las ventanas es importante. Es una solución fácil de montar y económica.

El tercer tipo es el más empleado en invernaderos de gran tamaño y en climas calurosos: se llama ventilación Cénit. Sitúa las ventanas en la sección más alta del invernadero, abriéndose varios

vanos a la vez. Suele ser una solución motorizada por estar elevada, y es la que más rápido evacúa el calor que se acumula en el interior del invernadero (principalmente arriba).

Se incluirá la posibilidad de que este mecanismo sea eléctrico, habiendo diferentes posibilidades de solución, como el tornillo sin fin o un mecanismo tipo piñón – cremallera.

6.7. Sensores y ventiladores

Será necesario que los sensores midan con cierta precisión la temperatura y humedad en el interior del invernadero. Además, hay distintas opciones en cuanto a los tipos de sensor. Por un lado, se da la posibilidad de instalar sensores analógicos que emitan un pulso eléctrico cuando la temperatura o la humedad alcancen un valor determinado para que se active la ventilación correspondiente. Por otro lado, se podría además de eso recoger datos sobre el clima en el invernadero para su posterior análisis, en cuyo caso sería apropiado un sensor digital conectado a un dispositivo de almacenamiento de datos. Este segundo modelo funcionaría igualmente con respecto a la activación de los elementos de ventilación.

En cuanto a los ventiladores, se va a seleccionar un modelo estándar de catálogo para su instalación en caso de que la ventilación pasiva del invernadero falle.

6.8. Riego

El riego en plantaciones de invernadero se suele organizar de diferentes formas: en la zona de aplicación, la más típica es la de riego por goteo sobre el terreno. Es una opción muy económica, eficaz y sencilla de instalar, por lo que no es necesario buscar una alternativa a la misma para el caso de este proyecto.

7. DESCRIPCIÓN DE LA SOLUCIÓN PROPUESTA

7.1. Tipo de cerramiento

Tras analizar todas las ventajas e inconvenientes de los diferentes materiales, se ha decidido que para este proyecto el polietileno de baja densidad es el más adecuado. Sus propiedades mecánicas son suficientes y como solución resulta mucho más económica que las demás alternativas.

Este material se suministra en rollos de anchura variable o al corte, por lo que es cómodo de adquirir y almacenar antes de su montaje en la estructura. Se han localizado fabricantes en Perú, como *Tecsagro* y *Plásticos San Benito*, por lo que se considera una elección adecuada para este proyecto.

7.2. 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: $50 \cdot 9 = 450 \text{ m}^2$

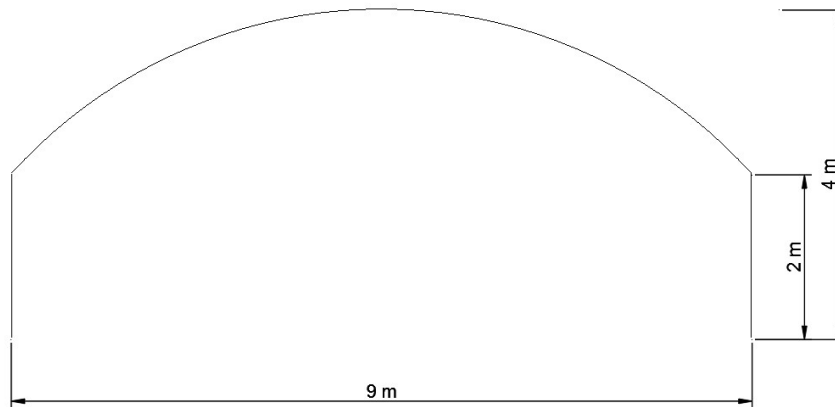


Ilustración 7.1. Geometría del pórtico tipo

7.3. Pórticos

Para garantizar la durabilidad y resistencia de la estructura, se ha optado por perfiles tubulares de acero conformado. El aluminio tiene las 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.

Esta tipología de perfiles se empleará tanto en los pilares como en las vigas en arco. Se han encontrado fabricantes de tubos de acero como *Comasa* o *Imtesi* en Perú, por lo que se considera una opción adecuada para este proyecto.

7.4. Cimentaciones

Para este proyecto se propone una tercera posibilidad, que es intermedia: 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 sea 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 las cargas de succión. Al tratarse de una construcción formada por elementos (cubierta y perfiles) muy ligeros que las cargas de viento tienden a levantar, éste es el mayor riesgo de fallo que se presenta. Por tanto, se considera que unas zapatas de hormigón armado conectadas a los pilares articulados serán suficientes.

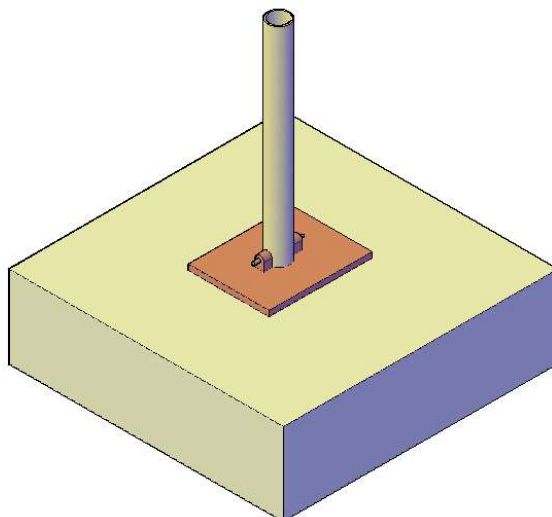


Ilustración 7.2. Zapata tipo y anclaje al pilar

7.5. 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 y conocimientos técnicos.

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

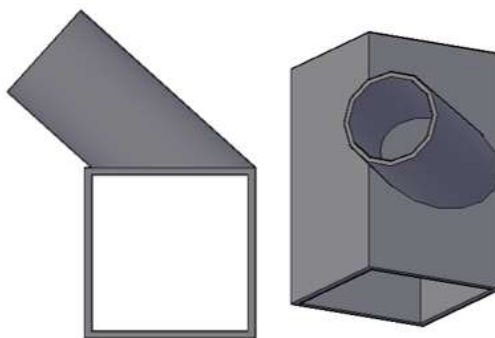


Ilustración 7.3. Elementos auxiliares de unión de la estructura

7.6. 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 lo que este clima supone para las plantas del invernadero, la rápida evacuación es una característica importante para este apartado del proyecto.

Para ello, será necesario seleccionar un motor que accione el mecanismo piñón-cremallera conectado a las secciones de cubierta móviles para que éstas se abran y cierren cuando sea necesario.

7.7. 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.

7.8. Riego

Para la instalación del riego por goteo sobre el terreno solamente 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.

8. MEMORIA CONSTRUCTIVA

8.1. Trabajos previos

Se precisa realizar un desbroce y limpieza de la parcela en la que vaya a ser instalado el invernadero. En principio, el terreno no presenta desniveles, por lo que no es necesario realizar un movimiento de tierras para eliminar la diferencia de cotas. De forma seguida se procederá al replanteo y señalización de las zanjas de cimentación antes de ser excavados, siempre de acuerdo con el documento de planos.

8.2. Excavación y cimentación

Se procederá a la excavación de las zapatas con extracción de tierras a bordes, para su posterior transporte a vertedero. Toda la cimentación se realiza con hormigón armado HA-25, consistencia plástica, con tamaño máximo del árido de 30 mm, para ambiente normal, elaborado, armado y con las placas de anclaje colocadas en fábrica. La colocación de las zapatas aisladas, que es el único tipo de cimentación presente en la obra, se realiza por medios manuales.

8.3. Estructura metálica

La estructura será completamente metálica. Estará conformada por un único módulo diáfano, no existe ningún cerramiento que impida el paso entre sus dos extremos. El acceso al mismo se hará mediante una puerta en cada extremo.

El módulo constará de 21 pórticos con viga en arco y 9 metros de luz medida desde el exterior, siendo la separación de ellos de 2,5 metros con una longitud total de 50 metros. Los pilares tendrán una altura de 2 metros y una altura máxima de arco de 4 metros con pendiente variable, siendo la máxima (en el extremo del arco) de aproximadamente 45°.

Toda la estructura se hará con acero conformado S-235.

8.4. Placas de anclaje

Los pilares estarán articulados en su base, unidos mediante un pasador a la placa de anclaje, que va unida a su vez a la zapata según los planos correspondientes.

El material empleado para las placas de anclaje será el mismo que se ha utilizado en la estructura del edificio, acero conformado S-235.

8.5. Cerramientos de cubierta y verticales

La solución que se ha adoptado para el cerramiento de la cubierta y los laterales es rollo de polietileno de baja densidad, material muy empleado en el ámbito de la agricultura por sus propiedades aislantes, ligereza y facilidad de montaje. Por lo tanto, el cerramiento será muy ligero y apenas cargará la estructura del invernadero.

8.6. Acceso al invernadero

El módulo dispondrá de dos puertas de iguales dimensiones, (2,5) metros de ancho por (2) metros de alto. Estarán situadas una en cada extremo del invernadero, y ambas podrán utilizarse para entrar o salir.

8.7. Ventilación

La cubierta del invernadero contará con elementos auxiliares en las secciones de la parte más alta. Éstas podrán abrirse hacia arriba a modo de ventana, proporcionando huecos de rápida evacuación de calor y humedad, que se acumulan habitualmente en el interior del módulo.

8.8. Elementos externos

Al finalizar el montaje de la estructura completa se instalarán de forma manual los elementos externos necesarios para el correcto funcionamiento del invernadero: por un lado, las tuberías de riego por goteo sobre el suelo, marcando las hileras en las que van a plantarse los tomates. Por otro lado, los sensores, ventiladores y mecanismos de apertura de las secciones móviles de la cubierta. Estos se instalarán solamente en los casos en los que el cliente haya decidido asumir el incremento de precio para contar con la regulación de clima mecanizada.

9. NORMAS Y REFERENCIAS

9.1. Disposiciones legales y normas aplicadas

En este apartado se presenta la normativa que se debe aplicar a un proyecto de cálculo y diseño de un invernadero. Las exigencias de la normativa deben cumplirse tanto en el proyecto como en la construcción del mismo, así como en su mantenimiento y conservación.

El principal marco normativo a seguir es el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), ya que establece las exigencias que deben cumplir las construcciones en relación con los requisitos básicos establecidos por el Decreto Supremo N° 011-2006 del Ministerio de Vivienda de Perú.

El RNE está compuesto por sesenta y seis (66) Normas Técnicas. Cada una de ellas incluye los límites y las exigencias básicas, así como una relación de procedimientos que permiten cumplir los requisitos.

Las Normas que se aplican al presente proyecto son las siguientes:

- Título I – Generalidades
 - Norma G.010. – Consideraciones Básicas.

Describe las consideraciones generales que enmarcan el Reglamento y sus Normas.

- Norma G.020. – Principios Generales.

Detalla los principios generales en que se basa el Reglamento.

- Norma G.030. – Derechos y Responsabilidades.

Determina el marco de actuación de los diferentes agentes que intervienen en un proyecto de construcción.

- Norma G.050. – Seguridad durante la Construcción.

Establece los requisitos mínimos de seguridad en el lugar de trabajo, las inspecciones, instalaciones y plan de seguridad y salud con que debe contar toda obra de construcción.

- Título II – Habilitaciones Urbanas

Clasifica los distintos tipos de habilitaciones y establece una serie de condiciones de diseño mínimas en función de la categoría de la construcción del proyecto.

- Norma TH.040. – Habilitaciones para usos especiales.
- Norma TH.050. – Habilitaciones en riberas y laderas.

- Título III – Edificaciones

Las normas técnicas establecidas en el presente Título contienen los elementos para el diseño y la ejecución de las edificaciones, garantizando el desarrollo de las actividades de las personas.

- Norma GE.010. – Alcances y contenido
- Norma GE.020. – Componentes y características de los proyectos.
- Norma GE.030. – Calidad en la construcción.
- Norma GE.040. – Uso y mantenimiento.
- Norma A.020. – Vivienda.
- Norma A.130. – Requisitos de seguridad.
- Norma E.090. – Estructuras metálicas.
- Norma EM.080. – Instalaciones con energía solar.
- Norma EM.090. – Instalaciones con energía eólica.

Además de las normas ya mencionadas, como apoyo se empleará uno de los Documentos Básicos contenidos en el CTE para consultar algunos aspectos de las acciones de viento que no están contempladas en el Reglamento de Perú.

- DB SE-AE: Acciones en la edificación.

El campo de aplicación de este Documento Básico es el de la determinación de las acciones sobre los edificios, para verificar el cumplimiento de los requisitos de seguridad estructural (capacidad portante y estabilidad) y aptitud al servicio.

El programa de cálculo de estructuras metálicas CYPE 3D emplea como referencia para el dimensionamiento de perfiles y cimientos la norma de España, por lo que se emplearán también los siguientes documentos:

- DB SE-A: Acero estructural.
- EHE 08: Hormigón.

9.2. Programas de cálculo y diseño

CYPE

Para la realización de los cálculos se ha optado por la utilización del programa de cálculo “CYPE”. Dentro de este programa se ha empleado el módulo Nuevo Metal 3D.

AutoCAD

Programa de dibujo en 3D por ordenador para la realización de planos.

Autodesk Inventor

Programa de modelado y análisis de piezas, ensamblajes y elementos mecánicos.

9.3. Plan de gestión de calidad

El Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) establece las exigencias básicas de calidad que deben cumplir los edificios, incluidas sus instalaciones, para satisfacer los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad.

El RNE determina, además, que dichas exigencias básicas deben cumplirse en el proyecto, la construcción, el mantenimiento y la conservación de los edificios y sus instalaciones.

La comprobación del cumplimiento de estas exigencias básicas se determinará mediante una serie de controles: el control de recepción en obra de los productos, el control de ejecución de la obra y el control de la obra terminada.