

Diseño de invernadero para un cultivo de vegetales

Roberto Carlos Durango López

2620181019

Universitaria Agustiniana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C

2022

Diseño de invernadero para un cultivo de vegetales

Roberto Carlos Durango López

2620181019

Director

Wilmer Cruz Guayacundo

Trabajo de grado para optar al título de Ingeniero Mecatrónico

Universitaria Agustiniana

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Mecatrónica

Bogotá D.C

2022

Dedicatoria

Este trabajo de grado va dedicado a mis queridos padres Diana Marcela y Dulberto Durango; por haberme apoyado durante toda la carrera y en mis estudios hasta llegar en este momento de transición hacia una nueva etapa de mi vida, brindándome siempre su amor y dedicación en los momentos que más los necesitaba.

A mis amados hermanos Gabriel Felipe y Jenny Alejandra, quienes han sido un gran pilar emocional y que han ayudado a formar la persona que soy hoy en día.

A mi familia en general, porque me han dado su cariño incondicional, que me han alentado y han rezado por mí en el transcurso de este tiempo.

Y finalmente a Vanessa que has estado apoyándome incondicionalmente en los malos y buenos momentos.

Esta tesis va dedicada a todas las personas que creyeron en mí espero los llene de orgullo y alegría toda la dedicación y apoyo que me han brindado en el transcurso de este tiempo.

Agradecimiento

A la primera persona que se lo quiero agradecer es a mi tutor Wilmer cruz, que sin su ayuda y conocimientos no hubiese sido posible realizar este proyecto. Agradezco toda la paciencia y dedicación que me brindo cada semana en el desarrollo de esta tesis.

A mis padres por haberme traído a este mundo y enseñarme que con esfuerzo, trabajo y disciplina todo se puede conseguir en esta vida.

Muchas gracias padre y madre por todo lo que han hecho por mí, algún día les pagare todos sus esfuerzos y sacrificios que han tenido conmigo y mis hermanos. Espero seguir brindándoles logros y sonrisas en el transcurso de mi vida que me dieron siendo uno de sus grandes orgullos junto a mis hermanos.

A mis queridos hermanos, con los que eh compartido grandes momentos en mi vida y me enseñaron que era ser responsable, paciente y comprensible. Ustedes me convirtieron en un gran hermano y compañero del medio para ambos.

Y Finalmente a toda mi familia por su gran apoyo y alegrías que me han dado todo este tiempo.

Resumen

El objetivo central de esta tesis es desarrollar las primeras fases de un invernadero inteligente que permita cultivar vegetales representativos de la agricultura colombiana con la finalidad de mejorar la calidad y la cantidad de cultivos bajo techo en el país. Para llevar cabo este proyecto, primero se identificaron diversas problemáticas de los cultivos agrícolas del país y por medio de entrevistas cuáles fueron los requerimientos que solicitaban los agricultores para después poder plantear una solución satisfactoria. Con estos factores se implementó la metodología de diseño que contempla inicialmente la selección del tipo de invernadero a desarrollar por medio de matrices de decisión, luego se empleara la casa de calidad QFD para la definición del producto y se realiza el diseño conceptual para seleccionar el concepto a trabajar, después se realiza el diseño a detalle para poder analizar el concepto seleccionado, seguidamente se realiza el modelamiento 3D con el software Autodesk Inventor en el cual se realizará el análisis de factor de seguridad y la deformación que se pueda presentar, finalmente se lleva el diseño a la realidad por medio de un prototipo y una presentación física.

Palabras clave: Diseño, Invernaderos, Vegetales, Metodología

INDICE

| | |
|---|----|
| Capítulo 1 | 15 |
| Introducción..... | 15 |
| Problema de investigación..... | 16 |
| Antecedentes del problema..... | 16 |
| Descripción del problema..... | 19 |
| Árbol de problemas | 19 |
| Pregunta de investigación..... | 20 |
| Objetivos..... | 20 |
| Objetivo general | 20 |
| Objetivos específicos | 20 |
| Justificación | 20 |
| Capitulo II..... | 21 |
| Marco conceptual | 21 |
| Invernadero | 21 |
| Tipos de invernadero | 22 |
| Invernadero túnel..... | 22 |
| Invernadero capilla | 23 |
| Invernadero dientes de sierra | 24 |
| Invernadero tipo capilla modificado(chileno). | 24 |
| Invernadero con techumbre curva | 25 |
| Invernadero tipo parral | 26 |
| Invernadero tipo venlo holandés..... | 27 |
| Invernadero tipo domo..... | 27 |
| Cubiertas de invernaderos | 28 |

| | |
|---|----|
| Tipos de cultivos..... | 29 |
| Ciclo de cultivo..... | 30 |
| Desarrollo sostenible | 31 |
| Diseño..... | 31 |
| Cultivo | 31 |
| Vegetal..... | 31 |
| Automatización..... | 32 |
| Sistema | 32 |
| Agricultura..... | 32 |
| Marco legal | 32 |
| Marco metodológico..... | 33 |
| Tipo de investigación | 33 |
| Variables del problema..... | 33 |
| Fuentes de información | 33 |
| Instrumentos de recolección de información..... | 34 |
| Tamaño poblacional y muestra..... | 34 |
| Marco teórico..... | 36 |
| Modelamiento de diseño en V | 36 |
| Requerimientos..... | 36 |
| Sistema de diseño | 36 |
| Diseño de componentes | 36 |
| Definición detallada del diseño | 37 |
| Implementación | 37 |
| Integración de diseño..... | 37 |
| Implementación del prototipo..... | 37 |

| | |
|--|----|
| Capítulo 3 | 37 |
| Selección de invernadero | 37 |
| Definición del invernadero | 38 |
| Requerimientos del cliente | 39 |
| Análisis de competencia | 41 |
| Construí invernaderos..... | 41 |
| Mundo invernaderos | 41 |
| Especificaciones de ingeniería | 42 |
| Análisis funcional | 43 |
| Árbol de conceptos- exploración sistemática. | 43 |
| Integración de conceptos | 45 |
| Concepto 1 | 46 |
| Concepto 2 | 46 |
| Concepto 3 | 47 |
| Evaluación de conceptos | 47 |
| Juicio de factibilidad..... | 47 |
| Revisión de la tecnología necesaria | 48 |
| Revisión sobre el cumplimiento de las funciones | 48 |
| Revisión de cumplimiento de los requerimientos del cliente | 49 |
| Capítulo 4 | 50 |
| Arquitectura del producto | 50 |
| Diseño a nivel de sistema | 50 |
| Disposición geométrica | 51 |
| Interacciones fundamentales e incidentes..... | 51 |
| Generación detallada del producto | 52 |

| | |
|--|----|
| Componentes normalizados..... | 52 |
| Materiales y técnicas de producción..... | 53 |
| Restricciones espaciales | 59 |
| Componentes independientes | 59 |
| Evaluación de producto | 60 |
| Revisión lógica funcional | 60 |
| Matriz de evaluación del cumplimiento de funciones | 60 |
| Revisión de la tecnología necesaria..... | 61 |
| Revisión de cumplimiento de los requisitos del cliente | 61 |
| Evaluación del desempeño | 62 |
| Modelamiento 3D para la medición de desempeño..... | 63 |
| Prototipo | 68 |
| Capítulo 5 | 70 |
| Resultados..... | 70 |
| Conclusiones..... | 71 |
| Sugerencias..... | 72 |
| Bibliografía..... | 72 |
| Anexos..... | 79 |
| Matrices de selección de invernadero..... | 79 |

INDICE DE FIGURAS

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 1. | Árbol de problemas. | 20 |
| Figura 10. | Modelo en V. | 36 |
| Figura 11. | Comparación competitiva en la casa de calidad QFD. | 41 |
| Figura 12. | Desarrollo de la casa de calidad QFD. | 42 |
| Figura 13. | Modelo de caja gris para el diseño del invernadero (autoría propia) | 43 |
| Figura 14. | Caja gris que muestra la subfunciones (autoría propia). | 43 |
| Figura 15. | Árbol de clasificación de conceptos: Material (autoría propia). | 44 |
| Figura 16. | Árbol de clasificación de conceptos: Energía (autoría propia)..... | 45 |
| Figura 17. | Árbol de clasificación de conceptos: Señal (autoría propia). | 45 |
| Figura 18. | Concepto 1 (autoría propia) | 46 |
| Figura 18. | Agrupación de los elementos que conforman el producto. | 51 |
| Figura 19. | Disposición geométrica del producto | 51 |
| Figura 20. | Interacciones entre componentes. | 52 |
| Figura 21. | Metodología paso a paso de diseño detallado. | 52 |
| Figura 22. | Proceso de fabricación de tubos de acero (Echeverry, 2011)..... | 54 |
| Figura 23. | Máquina de extrusión (Todo polimeros, s.f.). | 55 |
| Figura 24. | Vista satelital de la universitaria agustiniana | 59 |
| Figura 25. | Lógica funcional | 60 |
| Figura 26. | Modelamiento 3D de la estructura del invernadero..... | 64 |
| Figura 27. | Foto número 1 del invernadero..... | 64 |
| Figura 28. | Foto número 2 del invernadero..... | 64 |
| Figura 29. | Modelamiento 3D de las bases para invernadero | 64 |
| Figura 30. | Tabla de propiedades de materiales..... | 65 |
| Figura 31. | Segunda tabla de propiedades de los materiales..... | 66 |

| | | |
|------------|--|----|
| Figura 32. | Esfuerzo admisible para la estructura del invernadero. | 66 |
| Figura 33. | Deformación estructural | 67 |
| Figura 34. | Esfuerzo admisible para la base para macetas. | 67 |
| Figura 35. | Deformación de la base para macetas..... | 68 |
| Figura 36. | Foto del prototipo número 1. | 69 |
| Figura 37. | Foto del prototipo número 2. | 69 |
| Figura 38. | Entrada del invernadero | 69 |
| Figura 39. | Salida del invernadero | 70 |
| Figura 40. | Invernadero | 71 |
| Figura 41. | Matriz de selección: invernadero tipo túnel. | 79 |
| Figura 42. | Matriz de selección: invernadero tipo capilla. | 79 |
| Figura 43. | Matriz de selección: invernadero tipo dientes de sierra. | 79 |
| Figura 44. | Matriz de selección: invernadero tipo capilla modificado. | 80 |
| Figura 45. | Matriz de selección: invernadero tipo techumbre curva. | 80 |
| Figura 46. | Matriz de selección: invernadero tipo parral. | 80 |
| Figura 47. | Matriz de selección: invernadero tipo venlo (holandés). | 80 |
| Figura 48. | Matriz de selección: invernadero tipo domo geodésico. | 80 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1 | 32 |
| Marco legal | 32 |
| Tabla 2 | 33 |
| Tipos de variables | 33 |
| Tabla 3 | 34 |
| cronograma | 34 |
| Tabla 4 | 37 |
| Equipo de diseño | 37 |
| Tabla 5 | 38 |
| Resultados de selección de invernadero | 38 |
| Requerimientos del cliente | 39 |
| Tabla 7 | 40 |
| Requerimientos del cliente y nivel de importancia | 40 |
| Tabla 8 | 40 |
| Requerimientos del cliente vs especificaciones de ingeniería | 40 |
| Tabla 9 | 45 |
| Integración de conceptos | 45 |
| Tabla 10 | 46 |
| Concepto 1 | 46 |
| Tabla 11 | 46 |
| Concepto 2 | 46 |
| Tabla 12 | 47 |
| Concepto 3 | 47 |
| Tabla 13 | 47 |

| | |
|---|----|
| Juicios de factibilidad | 47 |
| Tabla 14 | 48 |
| Revisión tecnológica | 48 |
| Tabla 15 | 48 |
| Revisión sobre el cumplimiento de las funciones | 48 |
| Tabla 16 | 49 |
| Revisión de cumplimiento de los requerimientos del cliente | 49 |
| Tabla 17 | 53 |
| Materiales y proceso de fabricación para la estructura..... | 53 |
| Tabla 18 | 54 |
| Materiales y procesos de fabricación para las bases de las macetas | 54 |
| Tabla 19 | 55 |
| Materiales y procesos de fabricación para los materiales translucidos. | 55 |
| Tabla 20 | 56 |
| Tabla de costos | 56 |
| Tabla 21 | 57 |
| Producción por bultos de zanahoria | 57 |
| Tabla 22 | 57 |
| Gastos de mantenimiento | 57 |
| Tabla 23 | 58 |
| Periodo de recuperación | 58 |
| Tabla 24 | 60 |
| Revisión de cumplimiento de funciones..... | 60 |
| Tabla 25 | 61 |
| Revisión de tecnología necesaria..... | 61 |

| | |
|---|----|
| Tabla 26 | 61 |
| Revisión de los requerimientos del cliente. | 61 |
| Tabla 27 | 62 |
| Revisión del cumplimiento de las especificaciones técnicas..... | 62 |
| Tabla 28 | 70 |
| Tabla de costos | 70 |

Capítulo 1

En el presente capítulo se abordarán los siguientes temas: los antecedentes del problema, la descripción del problema, el árbol de problemas, la pregunta de investigación, los objetivos tanto general como específico y finalmente la justificación. Estos son los temas que se desarrollaran en el primer capítulo de este trabajo de grado.

Introducción

La ingeniería marco un antes y un después tecnológico con el paso del tiempo, teniendo en su registro grandes mejorías en la solución de problemas y procesos industriales. La automatización es una fuerte herramienta de innovación para los nuevos avances tecnológicos, otorgando el mejoramiento de diversos dispositivos ahora inteligentes, para fomentar los nuevos procesos de la actualidad.

En Colombia, la producción agrícola de hortalizas se realiza principalmente en campos abiertos, teniendo diversos productos como lo son la arveja, cebolla, habichuela, lechuga, zanahoria, pimentón, repollo y ajo. Estas hortalizas se obtienen en zonas de pisos térmicos templados y fríos, como los que se encuentran en los departamentos de Antioquia, Boyacá, Cundinamarca y Nariño. Un caso opuesto es la región Caribe, en el cual predomina el clima cálido y las hortalizas que se cultivan tradicionalmente son los ajís dulces, ahuyama, berenjena, frijol, cilantro y tomate (Correa, 2020).

Así mismo, la producción de hortalizas se enfrenta actualmente a los efectos ambientales adversos generados por el cambio climático que se manifiestan con altas temperaturas y prolongadas sequías e inundaciones cada vez más frecuentes, lo que representa una mayor vulnerabilidad de la producción de hortalizas en condiciones de campo abierto.

En el mundo, existe alrededor de 100.000.000 hectáreas estimadas en cultivos bajo invernadero, siendo Asia el continente número uno con 700.000 ha, España sería el segundo con 70.000 ha. En Sudamérica, Colombia contaría con 7.700 ha. En las cuales se producen bajo invernadero ornamentales, hortalizas, frutas y flores de corte. Siendo uno de los países a destacar (Tecnologías relacionadas con invernaderos para flores , 2014, p.10).

En Colombia, el diseño de los invernaderos es atribuido a los agricultores, que en busca de una mayor productividad han propuesto diferentes alternativas para modernizar la infraestructura, sin embargo, estos emprendimientos no son numerosos ni constantes debido a que su efectividad se

mide a largo plazo. Así mismo, los invernaderos para el cultivo de vegetales mantienen el diseño empleado para producir ornamentales, estructuras de bajo costo y bajo nivel tecnológico que generalmente no suplen de manera adecuada los requerimientos climáticos del cultivo. (Nivel tecnológico y desarrollo de los invernaderos en Colombia, 2020).

Los invernaderos permiten a los agricultores sembrar y cosechar durante todo el año debido a que los cultivos se benefician de un microclima durante su ciclo productivo y se clasifican de acuerdo a los materiales empleados para su construcción, la cobertura y las características del techo (Que son los invernaderos , s.f.). Los invernaderos más usados son los de tipo túnel, capilla, capilla modificado, diente de sierra, techo curvo, parral y holandés (Rodrigo, 2015). siendo el tipo de cultivo y el clima local los aspectos más relevantes para seleccionar el invernadero adecuado.

Las características climáticas internas de un invernadero, dependen de los aumentos en los niveles de temperatura, humedad y ventilación. Los cuales son aspectos fundamentales y decisivos en los resultados de los cultivos (Valensi, s.f.). Acorde a estos climas en los invernaderos que son diferentes a las zonas en que están ubicados, se denomina microclima. Los microclimas de los invernaderos tienen como propósito maximizar la entrada de radiación para que las plantas hagan la mayor fotosíntesis posible y son efecto de la cubierta que se coloca sobre el cultivo y de otra serie de variables que lo caracterizan, como la temperatura, altitud-latitud, topografía, humedad, vegetación y luz (Guerrero, 2012).

Al interior del invernadero se contemplan las siguientes variables: Temperatura, Humedad, Ventilación, Riego e iluminación y aunque en este trabajo no se contempla la inclusión de tecnología en el mismo, el diseño será el factor que se abarcara ya que es el primer paso para la construcción del invernadero y posterior actualización.

Problema de investigación

Antecedentes del problema

La humanidad ha realizado técnicas de cultivos de vegetales y hortalizas desde sus inicios para su auto abastecimiento alimenticio. En base a esto el primer invernadero registrado fue a base de láminas de mica y alabastros, construido en el imperio romano en el mandato de Tiberio Julio César Augusto como una contra medida a la perdida de cultivos de la época.

Desde estos inicios mencionados los invernaderos han evolucionado mediante los procesos tecnológicos logrando llegar hasta un punto de autonomía. Teniendo diversos diseños que han

permitido una mejora en el rendimiento de la producción, para la satisfacción de la oferta y demanda de los alimentos que abarca hoy en día el país. (Historia de los invernaderos , 2021).

Las diversas investigaciones conformes a los invernaderos han tenido considerables avances en los procesos de automatización de diferentes variables como: temperatura, humedad e irrigación de cultivos. Se hará presente una serie de proyectos relevante en este ámbito como es el que nos ofrecen (Orozco y Alarcón, 2017) en el cual su proyecto está basado en la implementación de un invernadero controlado mediante el uso de tecnologías móviles. Teniendo como énfasis la construcción de un prototipo de invernadero haciendo uso de diferentes elementos como: Una protoboard, Un sensor LM35, una Raspberry y finalmente la instalación de un software desarrollado en Python 2.7, con el objetivo de poder controlar la temperatura dentro del invernadero.

Para lograr una comunicación entre el invernadero y el usuario, se desarrolló una aplicación en el cual muestra los valores que son tomados en tiempo real de la temperatura interna del invernadero. En el cual la aplicación muestra estos valores recibidos por el sensor de temperatura de forma gráfica en la pantalla de los dispositivos. Con el fin del que el usuario tenga la posibilidad de activar o desactivar los mecanismos de calefacción o enfriamiento cuando sea necesario.

Este proyecto tuvo como resultado un sistema controlado de temperatura para invernaderos mediante el uso de tecnologías móviles, teniendo una obtención de valores positivos y satisfactorios mediante la toma de datos por los dispositivos de temperatura internos del invernadero.

La tesis de grado de (Monserrath, 2021) tiene como propuesta el diseñar un invernadero urbano que permita la disminución de los gases de CO₂ ubicado en una terraza. Con el fin de incentivar a la población de realizar proyectos y prácticas ambientales como medio de desarrollo urbano. La metodología utilizada fue la INTI y tuvo como resultado un diseño ergonómico y versátil de forma escalonada que puede modificarse hasta 3 posiciones distintas.

La maestría de (Pulgar, 2021) basada en el desarrollo de un prototipo que permita el manejo de los cambios climáticos en pequeña producción agrícolas bajo invernadero. Teniendo como objetivo: el diseño un sistema de climatización mediante el uso de distintas tecnologías y dispositivos de bajo costo, la integración y construcción de los componentes del sistema y por último la validación del sistema en el sitio seleccionado.

El diseño para el sistema de climatización se realizó tomando como referencia las granjas inteligentes compuestas de cuatro capas. En la construcción se destaca el despliegue de una red

inalámbrica de sensores, el uso de la Firebase realtime y el desarrollo de una aplicación web en el cual se obtiene la información mediante una base de datos.

El funcionamiento de este sistema fue validado en un invernadero para tomates en Ubaque Cundinamarca, en el cual se contó con la asistencia y colaboración del productor. Para la validación de este sistema se tuvieron en cuenta las variables de temperatura, humedad relativa y humedad del suelo para una eficiente producción del cultivo de tomate.

Este proyecto tuvo como resultado la construcción de un prototipo de bajo costo, teniendo la implementación de un sistema de climatización para las producciones de tomate bajo invernadero.

La revista mexicana de Ciencias agrícolas con un artículo basado en Diseño de ventilación forzada para un invernadero cenital usando CFD presentado por (Guerrero y Velázquez, 2015)

En el cual está basado en un sistema de ventilación para un invernadero cenital de tres capillas, en el cual consiste en una ventana frontal para el ingreso de aire y un extractor mecánico de aire ubicado en el lado opuesto del invernadero. En el desarrollo de este proceso se realizaron tres configuraciones para el sistema de ventilación, las cuales combinan la posición de las ventanas y los extractores. Teniendo como resultados en la velocidad del aire valores desde 0.69 a 0.81 m/s, una temperatura desde 290,97 a 303,62 grados kelvin, este proceso mostro ciertas limitantes en el flujo de aire de la parte inferior hacia la ventana principal del invernadero.

Se puede concluir que la entrada de aire proporcionada por las ventanas disminuye la caída de presión. Esto promueve una mejor entrada de aire, reduciendo considerablemente las temperaturas internas que se pueden presentar en el invernadero.

La revista del desarrollo tecnológico con el artículo de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán presentado por (Rodríguez Ramírez García Ortega Antonieta y Juárez Mendoza, 2017) En el cual se desarrolla un análisis, un diseño, una implementación y finalmente una obtención de resultados. Teniendo como propuesta un sistema que pueda controlar el clima para la producción agrícola de fresas las cuales requieren condiciones especiales, este proyecto se desarrollara en un invernadero tipo túnel y diferentes dispositivos tecnológicos para que el cultivo mantenga sus propiedades necesarias para su producción. Entre estos se tendrán sensores de humedad para la activación del sistema de irrigación para la hidratación de las plantas según corresponda. También se implementará con un sistema de climatización para la regulación de temperatura interna, mediante el uso de un extractor que mantendrá una temperatura ide al para

no afecta el desarrollo de las plantas. Este proyecto tuvo como resultado un sistema de monitoreo eficiente para regular el comportamiento de la producción interna que llevara el invernadero.

Descripción del problema

En Colombia es un país con potencial agrícola de 40 millones de hectáreas para la producción agrícola, lo cual es desaprovechado a solo utilizar 7 millones de estas tierras lo que representa un 19,34%, ya que se tiene como preferencia el uso del sector ganadero el cual representa el 79,4% de las tierras en el país. Esta práctica es desfavorable para el país ya que puede provocar infertilidad entre otros factores dañinos para la hectárea de tierra que ofrece el país. (Portafolio , 2021)

En el mundo existen alrededor de 100.000.00 hectáreas que son destinadas para la instalación de invernaderos siendo china el país número uno con 82 millones de hectáreas, España el segundo con 70 millones, los cuales estos dos países representan el 30% de los invernaderos en el mundo. En Colombia solo se abarcan alrededor de 7.700.000 de hectáreas para sus diversos cultivos.

Estos invernaderos alrededor del mundo tienen diferentes diseños y especificaciones como pueden ser: El invernadero tipo túnel, tipo capilla, dientes de sierra, tipo parral, capilla modificado, tipo domo geodésico, entre otros. Teniendo formas rectangulares como circulares. Sin embargo, estos invernaderos pueden tener diferentes desventajas para el agricultor como pueden ser: inversiones iniciales elevadas, alto nivel de capacitación, altos costos de producción, condiciones óptimas para el desarrollo de patógenos y una fuerte dependencia del mercado. Lo cual estas desventajas al igual que sus elevados costos que abarcan alrededor de 5 a 20 millones, hacen el agricultor promedio en Colombia rechace la implementación de estos invernaderos y decidan el método tradicional de cultivos a campo abierto.

En Colombia, estos cultivos de campo abierto se enfrentan constantemente a los efectos ambientales adversos generados en consecuencia por el cambio climático en el cual se manifiestan en altas y bajas temperaturas. Provocando sequias e inundaciones en varias zonas del país, cada vez más frecuentes. Ocasionando que se pierdan 3,95 millones de toneladas en las producciones del país, lo cual representa el 40,5% de la producción agrícola sumándose que también se desperdician 342 mil toneladas en los procesos de almacenamiento y pos cosecha. (Beleño, 2018)

Árbol de problemas

El árbol de problemas representa las causas y problemáticas que se tienen el sector agricultor en Colombia.

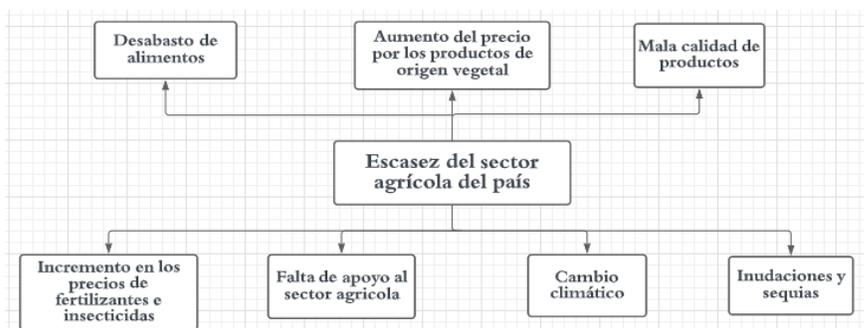


Figura 1. Árbol de problemas.

Pregunta de investigación

¿Es posible diseñar y construir un prototipo a escala de un invernadero capaz de mejorar los procesos y producción de los cultivos bajo techo?

Objetivos

Objetivo general

Diseñar un prototipo de invernadero que mejore de manera eficaz los procesos de producción de vegetales bajo techo.

Objetivos específicos

- Seleccionar mediante una metodología de comparación el tipo de invernadero para el cultivo a trabajar con base a unos requerimientos.
- Modelar el invernadero bajo la metodología de diseño V y contemplando los elementos necesarios para controlar las variables de mayor impacto en el cultivo seleccionado.
- Construir un prototipo a escala del invernadero para validar los principios de funcionamiento y operación.

Justificación

En Colombia y países latinoamericanos, las producciones agrícolas se realizan principalmente en campos abiertos los cuales abarcan grandes cantidades de tierra. Siendo este proceso el sustento y trabajo de muchas personas del país. Teniendo como problemática que las producciones agrícolas se enfrentan actualmente y de manera continua a los efectos ambientales que genera el cambio climático, los cuales se manifiestan con altas y bajas temperaturas. Causando sequías e inundaciones. Por este tipo de problemáticas hace que anualmente se desperdicien 9,76 millones de toneladas de comida en el cual 3,65 millones de toneladas se pierdan en los procesos de producción agrícola del país. Esto afecta el auto sustento de las familias de los 2,7 millones de agricultores que hay en Colombia. Además de que estas causas traen varias repercusiones como,

por ejemplo: incrementos bastante considerables en la canasta familiar por la falta de abastecimientos de los alimentos en los mercados.

A motivo de esta problemática se propone el diseño de un invernadero que tiene que tener como finalidad fomentar el aumento de la calidad y efectividad de las producciones agrícolas del país. El invernadero tendrá las capacidades de crear microclimas ideales para los distintos tipos de cultivos existentes, mediante el control de sus condiciones internas tales como: temperatura, humedad, ventilación, riego e iluminación. Esta implementación no solo resolverá los problemas climáticos que sufren los cultivos de campo abierto si no también ayudara el uso más eficiente del agua y los nutrientes además del control de las enfermedades y plagas que atacan a los cultivos. De esta manera se brindará un mejor proceso en todas las fases de producción que requeriría el cultivo. Se aclara que este trabajo investigativo no abarcara la implementación de estos sistemas de control, si no que desarrollara todos los procesos que requiere la metodología de diseño en V para la construcción y próxima actualización del invernadero seleccionado.

Capítulo II

En el presente capítulo se realizará un proceso de recolección de información para el desarrollo del marco referencial que aborda los siguientes temas: marco conceptual, marco legal, marco teórico, ciclos de cultivo, cronograma, metodología en V, ergonomía, entre otros conceptos.

Marco conceptual

El marco conceptual presenta los siguientes factores de manera explicativa, estos son: tipos de invernaderos existentes en la actualidad, con sus respectivas ventajas y desventajas de cada uno de ellos, los materiales utilizados en la cubierta de los invernaderos, los tipos de cultivo, los ciclos de cultivo. También se abarcarán conceptos como: desarrollo sostenible, diseño, cultivo, automatización, entre otros.

Invernadero

El invernadero es un lugar cerrado y estético, recubierto de diferentes materiales translucidos como lo son los plásticos y el vidrio. Con la capacidad de crear microclimas mediante el control de la temperatura, humedad, ventilación entre otros factores. Estos invernaderos tienen como fin el aumento en la producción de cultivos de una manera controlada y eficiente (¿Que es un invernadero?, s.f.).

Tipos de invernadero

A continuación, se presentarán los tipos de invernaderos que hay en el mundo, con sus respectivas ventajas y desventajas correspondientes.

Invernadero túnel

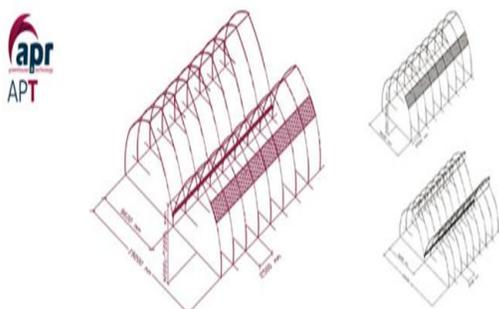


Figura 2. Invernadero tipo túnel (Invernadero túnel , s.f.).

El invernadero tipo túnel, tiene varias especificaciones en base a su diseño, remarcando sus ventajas y desventajas, esta sustentación se dará en base a los datos de (Invernadero túnel , s.f.) ; (hortícola, s.f.), el invernadero tipo túnel tiene como característica principal su forma curva que se establece desde el punto de fijación en el suelo hasta su cumbre. Los arcos de este invernadero son de forma curva u ojival.

Ventajas

- Tiene una alta resistencia ante los vientos por su forma dinámica, además de que este invernadero es de una fácil instalación.
- Tiene una alta transmisión de luz de manera uniforme.
- Este invernadero es apto para el uso de materiales de cobertura flexibles como rígidos.
- El invernadero tipo túnel permite la instalación de sistemas de climatización.
- Permite la instalación de un sistema de ventilación.
- El invernadero es económico y sencillo.
- Reduce de manera considerable la condensación del agua debido a su cubierta curva.

Desventajas

- Es un invernadero relativamente pequeño.
- Solamente es recomendado para cultivos pequeños como flores, fresas, tomates etc.

Invernadero capilla

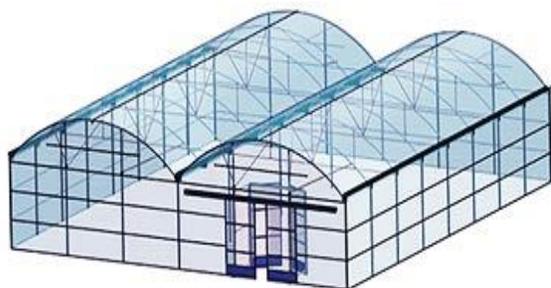


Figura 3. Invernadero tipo capilla (Invernaderos capilla , s.f.).

Este invernadero tipo capilla está explicado y fundamentado por: (Invernaderos capilla , s.f.); (hortícola, s.f.), Este invernadero tipo capilla también es denominado como multicapilla, su característica principal se encuentra en la forma de su cubierta, la cual tiene forma semicircular y que su estructura es totalmente metálica.

Ventajas:

- Su construcción es de media a baja complejidad.
- Tiene una alta adaptabilidad a cualquier terreno.
- Presenta una gran uniformidad luminosa.
- Por su forma estructural tiene una muy buena resistencia al viento.
- Tiene la capacidad de usar materiales de bajo costo.

Desventajas:

- Presenta problemas de ventilación.
- Por el uso de muchos elementos internos, logra disminuir la entrada de luz.
- Tiene un rápido envejecimiento estructural.
- Los elementos de soporte que se encuentran internamente, dificulta de gran manera el desplazamiento dentro del cultivo.

Invernadero dientes de sierra



Figura 4. Invernadero tipo dientes de sierra. (Glouri, s.f.)

El invernadero diente de sierra es otra estrategia de diseño, teniendo ventajas y desventajas fundamentadas por: (Tipos de invernadero , s.f.); (hortícola, s.f.), El nombre dientes de sierra proviene de su acoplamiento lateral que se encuentra en la parte superior. La cual tiene como función el evacuar el agua mediante precipitación.

Ventajas:

- Tiene una construcción de media complejidad.
- Este invernadero tiene una excelente ventilación.
- Es un invernadero ideal para los ambientes calurosos.
- Tiene la capacidad de emplear materiales de bajo costo.

Desventajas:

- Tiene mala uniformidad de la iluminación.
- Tiene bajo flujo de aire interno.

Invernadero tipo capilla modificado(chileno).



Figura 5. Invernadero tipo capilla modificado. (Invernadero: ¿Qué es? tipos, y materiales empleados, s.f.).

La innovación del invernadero tipo capilla modificado, es una variante del tipo capilla tradicional basado y fundamentado en diversos ámbitos, teniendo nuevas ventajas y desventajas. Esta información está dada con más detalle por: (Tipos de invernadero , s.f.); (hortícola, s.f.), Este invernadero es una variante del invernadero tipo capilla, en el cual esta modificación consiste en un ensamblaje superior diferente, teniendo una forma puntiaguda a diferencia de la capilla normal que tiene una corma circular.

Ventajas:

- El invernadero tiene una construcción de media complejidad.
- Tiene una excelente ventilación de manera uniforme.
- Puede emplear materiales de bajo costo.

Desventajas:

- Tiene una deficiente iluminación ya que se presenta sombra debido al número de elementos estructurales internos.
- Los elementos estructurales internos dificultan desplazamiento entre el cultivo.

Invernadero con techumbre curva



Figura 6. Invernadero techumbre curva (Arkiplus , s.f.)

El invernadero techumbre curva es otra estrategia de diseño, teniendo ventajas y desventajas fundamentadas por (Tipos de invernadero , s.f.); (hortícola, s.f.), Este invernadero está basado en el diseño del invernadero tipo túnel, con la diferencia de que su curvatura no es completa. Estos invernaderos están conformados estructuralmente casi siempre por metales.

Ventajas:

- Este invernadero tiene una de las más altas transmisiones de luz solar.
- Presenta un buen flujo de aire.

- Por su forma estructural tiene una buena resistencia a los vientos.
- Su construcción es de baja complejidad.
- Su espacio interno es bastante amplio ya que no necesita mucho soporte interno.

Desventajas

- Si es construido a muy grande escala por su largo puede presentar dificultades en el flujo de aire interno.

Invernadero tipo parral



Figura 7. Invernadero tipo parral (Arkiplus , s.f.).

El invernadero tipo parral es una estrategia de diseño, teniendo ventajas y desventajas fundamentadas por (Tipos de invernadero , s.f.); (hortícola, s.f.), Este diseño de invernadero proviene de España, en el cual consiste en el uso de palos y alambres. Se denomina parral por las similitudes que presenta de una manera modificada y a mayor tamaño a los parrales empleados en las uvas.

Ventajas:

- Presenta una alta resistencia ante el viento.
- Tiene un buen manejo térmico.
- Su manejo es sencillo y eficaz.

Desventajas

- Su construcción es bastante compleja
- Tiene una deficiente ventilación.
- Presenta un alto riesgo de rotura.
- En zonas de baja radiación, tiene una pésima captación de luz solar.

Invernadero tipo venlo holandés



Figura 8. Invernadero tipo venlo holandés (Arkiplus , s.f.).

El invernadero tipo venlo (holandés) es una estrategia de diseño, teniendo ventajas y desventajas fundamentadas por (Tipos de invernadero , s.f.); (hortícola, s.f.), el venlo holandés es un invernadero conformado principalmente de vidrio, en el parte superior tiene paneles inclinados para la caída del agua. Este invernadero carecerá de ventanas laterales, en vez de eso presenta ventanas cenitales para el flujo de aire.

Ventajas:

- Permite un alto control de las condiciones ambientales internas.
- Tiene el mejor manejo térmico a comparación de otros invernaderos.
- Tiene una buena trasmisión de luz.

Desventajas:

- Tiene un alto costo de construcción.
- Al estar conformado de un material estructural duradero puede presentar varias dificultades.
- Es propenso a rupturas.
- La trasmisión de luz, puede aumentar la temperatura interna del invernadero en zonas calurosas.

Invernadero tipo domo



Figura 9. Invernadero tipo domo (Invernaderos , s.f.)

Una estrategia de diseño clásica pero efectiva son los invernaderos tipo domo, a los cuales han tenido mejoras en sus ventajas y desventajas a través de los años, además de que no solo esta forma de diseño se utiliza en forma de invernadero si no tiene variedades de funciones. Nos fundamentamos mediante: (Huenchuman); (Mygeodome, 2021), el domo geodésico tiene una forma estructural en forma de esfera. La característica principal que representa a estos domos es que su estructura está conformada por aristas de dodecaedros y triángulos que conformaran toda la esfera o cúpula geodésica.

Ventajas:

- Estructuralmente resistente mediante el diseño de triángulos
- Eficientes y rentables
- Buena Luminosidad y conservación del calor

Un factor importante de los invernaderos es el recubrimiento o cubierta que tienen en su estructura a continuación se da la siguiente explicación.

Cubiertas de invernaderos

La principal función para los invernaderos, es brindar protección a los cultivos para que no reciban polución, exceso de sol o de lluvias. Manteniendo de esta manera un clima optimo, esto se logra gracias a los distintos materiales que recubren la estructura para lograr estas condiciones ideales, (Agropinos , 2021) nos explica ciertas características y cuáles son estos tipos de materiales los cuales son:

• Policarbonato PC

Es un termoplástico con una alta resistencia a los impactos climatológicos, tiene un espesor de entre 4 a 16 cm. Presenta un uso bastante eficiente para el recubrimiento de los invernaderos.

• Polimetacrilato de metileno PMM

Es un material que tiene una ligera densidad y se caracteriza principalmente por ofrecer una alta resistencia y estabilidad para el recubrimiento del invernadero. Además, este material ofrece una transmisibilidad de luz del 80%.

• Policloruro de vinilo PVC

Es un material obtenido de la polimerización del monómero cloruro de vinilo. Este material es altamente resistente que da una buena estabilidad, también tiene capacidades antioxidantes y absorbentes. Este material se puede encontrar en placas de 1 a 1,5 mm de espesor.

• **Poliéster**

Es un material que aporta gran resistencia mecánica y mejora ampliamente la propagación de luz. Sin embargo, su transmisibilidad de luz puede ser más baja en comparación con otros materiales para el recubrimiento de los invernaderos.

• **Vidrio**

El vidrio el primer material utilizado para el recubrimiento de los invernaderos, pero poco después fue remplazado en su totalidad por el uso de plásticos. Estos vidrios tenían un espesor de 2 a 4 mm, el cual brindaban una alta resistencia estructural. El vidrio también se resaltaba por su alta transmisibilidad de radiación solar.

Tipos de cultivos

La agricultura es una de las actividades principales del ser humano con el fin de alimentarse con productos traídos del suelo. Estos alimentos estas clasificadas por sus diferentes tipos de cultivos, ya sean por el grupo de plantas que lo componen o por los diferentes climas que necesitan para si producción. En esta ocasión se hablará de los grupos de cultivos que hay (Eos data analytics, 2020) nos explicara los diferentes tipos que hay:

- **Cereales.** Los cereales se caracterizan por su alto contenido de carbohidratos. Este tipo de cultivo es de uso agroindustrial el cual significa que abarca muchas cantidades de tierra. Algunos de estos cereales son: el maíz y el arroz.
- **Leguminosas.** Las leguminosas se producen en grandes expansiones de tierra, estos granos se caracterizan por su alto contenido en proteínas. Las leguminosas generalmente no necesitan un procedimiento agroindustrial si no que su consumo puede ser de manera directa. Algunos de estos granos pueden ser el frijol.
- **Oleaginosas.** Las oleaginosas son cultivos de ciclo corto que normalmente se cultivan en grandes extensiones y de cuyos granos se extrae aceites. Este tipo tiene un uso exclusivamente agroindustrial. Ejemplos de ciclo corto: soja, girasol, ajonjolí; de ciclo largo: palma aceitera.
- **Hortalizas.** Las hortalizas son cultivos de ciclo corto, generalmente son cultivadas en pequeñas superficies y que se comercializan para el consumo fresco que presentan un alto contenido de vitaminas, minerales y fibra. Ejemplos: tomate, pimentón, lechuga, zanahoria, brócoli.

- **Frutales.** Los frutales son cultivos de ciclo mayormente largo, generalmente cultivados en grandes superficies y que se comercializan para el consumo fresco de sus frutos con alto contenido de vitaminas, minerales y fibra. Algunas especies de este tipo se utilizan para producción agroindustrial. Ejemplos: naranja, mango, aguacate, parchita, cambur, piña.
- **Ornamentales.** Las ornamentales son flores que tienen cultivos de ciclos cortos y largos. Tiene como función principal las decoraciones y no son cultivos principalmente comestibles.
- **Raíces y tubérculos.** Los tubérculos son cultivos de ciclo corto que se cultivados en grandes cantidades de tierra, algunos de estos tubérculos pueden ser: la papa, el ñame, la yuca etc. Estos cultivos contienen grandes cantidades de carbohidratos.
- **Cultivos para bebidas medicinales y aromáticas.** Son órganos vegetales que posteriormente se utilizan en infusiones, siendo la infusión un tipo de bebida obtenida a partir de la introducción de órganos vegetales en agua hirviendo. Es un grupo altamente variable en cuanto al ciclo de cultivo y al nivel de producción. Ejemplo: té, café, manzanilla, malojillo, menta, etc.
- **Cultivos tropicales tradicionales.** Son el café, el cacao, la caña de azúcar y el tabaco. Estos cuatro cultivos no tienen cosas en común, es más bien, una categoría de cultivos que no se pueden clasificar en las anteriores categorías. El café podría clasificarse en Frutales o cultivos para bebidas medicinales y aromáticas, mientras el cacao podría encontrarse en Frutales.
- **Pastos.** El pasto es un cultivo de ciclo largo que tiene como función principal alimentar a los ganados de forma directa o en forma de heno para las temporadas sequias o inviernos.

Los cultivos tienen mucha variedad por la infinidad de alimentos existentes en el mundo. Pero toda esta variedad no nace y se cosecha en un mismo factor de tiempo, por estos motivos se necesita saber el ciclo de cultivo para la recolección de los alimentos, a continuación, se explicará.

Ciclo de cultivo

El tiempo es un factor fundamental para el crecimiento de un cultivo, teniendo facetas como desde su cultivación, crecimiento y cosecha. Sin embargo, no todos los tipos de cultivo de verduras

o hortalizas manejan el mismo ciclo de tiempo la secretaria de agricultura del (Gobierno de México, 2016) nos ofrece la siguiente información:

Perenne: Son los cultivos de ciclo largo superior a los 12 meses, por lo regular después de su plantación estos cultivos pueden ofrecer más de una cosecha después de cierto tiempo. Un ejemplo de este cultivo es el aguacate.

Anuales o cíclicos: Estos cultivos tienen una fase de producción de menos de 12 meses y son de una única cosecha. Lo cual tiene como ventaja el poder planificar la próxima producción del cultivo. Algunos de estos pueden ser el frijol y el trigo.

Bienal: Son ciclos de dos años, algunos de los alimentos que tienen este ciclo son: la papaya, la piña y la fresa.

Temporal: Este ciclo de cultivo es estacionario ya que puede variar el estado de la tierra para poder producir o no producir sus frutos. Algunos de estos cultivos es el limón y el sorgo.

Desarrollo sostenible

Es la capacidad de preservar los recursos naturales sin perjudicar el medio ambiente para satisfacer las necesidades humanas presentes y futuras mediante el uso responsable de los recursos naturales del mundo. Logrando de esta manera un equilibrio socio-económico y ambiental. (¿Qué es el desarrollo sostenible?, s.f.) .

Diseño

Es el arte de proyectar objetos mediante diferentes metodologías que definirán su aspecto, su función y producción. Por medio de planos y signos gráficos para su modelamiento en 2D y 3D (Qué es el diseño, s.f.).

Cultivo

Es el trabajo realizado sobre la tierra en los procesos de siembra y recolecta de frutas o verduras para fines alimenticios y medicinales. Este proceso es el propósito fundamental de la agricultura que realiza diferentes tratamientos y alternativas para el crecimiento de las plantas. (Bembibre, 2009).

Vegetal

El vegetal es un ser y producto orgánico que crece y se desarrolla mediante una serie de cuidados y tratamientos, siendo capaces de sintetizar su propio alimento con el proceso de fotosíntesis. Estos vegetales sirven para el alimento del consumo humano y animal. (Merino y Porto, 2010).

Automatización

La automatización es el uso de distintas tecnologías para la realización de tareas repetitivas sin el uso de la intervención humana. Es implementada en los sectores de fabricación, robótica, automotriz y el mundo evolutivo de la tecnología (La automatización, 2022).

Sistema

Es un conjunto de elementos que conforman un todo, aun así, cada uno de los componentes puedan funcionar de manera independiente, siempre podrá cumplir las tareas de una estructura mayor. Al igual que un sistema pueda ser un componente de un sistema mayor. (Significado de sistema , s.f.).

Agricultura

Es el conjunto de actividades relacionadas con el cultivo y tratamiento de los suelos fértiles para la producción y cultivación de alimentos. Mediante el uso de diversas estrategias y acciones humanas en el entorno natural. (Morales, 2021).

Marco legal

Tabla 1

Marco legal

| Norma | Descripción |
|-----------------------|---|
| Norma ISO 9001 (1987) | Norma especializada en la implementación de sistemas de gestión de calidad para pequeñas, medianas y grandes empresas. (International standard, (1987)) |
| Ley 101(1993) | Enfocada en proveer el mejoramiento del desarrollo agropecuario, pesquero y agricultor para el aumento productivo de alimentos. (Ley 101 , (1993)) |
| Ley 23 de 1973 | Promueve prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente, para fomentar un mejoramiento, conservación y restauración de los recursos naturales renovables del territorio nacional. (Ley 23 , (1973)) |
| Ley 09 de 1979 Art.1 | Enfocada en la protección ambiental, enfatizada en la regulación y control de residuos. (Ley 9 , (1979)) |
| Artículo 64 | Basada en el mejoramiento progresivo de los ingresos y calidad de vida de los campesinos. (Constitución política de Colombia , (1991)) |
| Artículo 65 | La producción de alimentos estará protegida por el estado. Brindando la prioridad al desarrollo agrícola, pecuarias, pesqueras y forestales del país. (Constitución política de Colombia , (1991)) |

| | |
|-------------|--|
| Artículo 25 | Toda persona tiene derecho a un trabajo en condiciones dignas y justas. (Constitución política de Colombia, (1991)) |
|-------------|--|

Nota: Estas normativas no tienen ningún impedimento legal en el país para su implementación.

Marco metodológico

Tipo de investigación

El objetivo de este trabajo es la creación de un prototipo de invernadero para un cultivo de vegetales, para ello se realizará una investigación documental de carácter bibliográfico, este tipo de investigación se basa en la consulta de libros y artículos. También estará conformada en una investigación cuantitativa basada en un diseño experimental ya que se realizarán los 3 requisitos fundamentales los cuales son: manipulación de variables, medir variables independientes sobre las dependientes y la validez experimental interna. Como último tipo de investigación se tiene que será de tipo cualitativa de carácter participativa, ya que se sabará en una solución de un problema que mejore la calidad de vida de las personas involucradas (Universidad Veracruzana, s.f.).

Variables del problema

Tabla 2

Tipos de variables

| Variable de caracterización | Indicadores | Tipo de variable |
|-----------------------------|--------------------|------------------|
| Metro | Longitud | Escalar |
| Temperatura | Señal (frecuencia) | Escalar |
| Humedad | Nivel | Escalar |
| Ventilación | Caudal | Escalar |
| Fertilización | Nivel | Escalar |
| Sensor de CO ₂ | Señal(frecuencia) | Escalar |
| Radiación solar | Señal | Escalar |
| Velocidad del viento | Señal | Escalar |
| Luminiscencia | Señal | Escalar |

Nota: se presentan las posibles variables que el invernadero puede abarcar para su respectiva automatización.

Fuentes de información

Las fuentes de información son herramientas prácticas para el desarrollo del conocimiento, mediante la búsqueda y acceso a la información a las fuentes primarias. Las cuales son basadas en

información original las cuales pueden ser: tesis, maestrías, monografías y libros. De igual forma las fuentes secundarias están basadas en la interpretación de las fuentes primarias mediante las páginas web, blogs, revistas y artículos.

Este trabajo estará abarcando ambos tipos de fuentes para su documentación.

Instrumentos de recolección de información

La instrumentación para la recolección de información fue mediante entrevistas las cuales brindaron información para las metodologías abarcadas, la lectura de tesis, maestrías y páginas web en buscadores académicos y red general.

Tamaño poblacional y muestra

La población tomada en cuenta para el diseño del invernadero fueron los agricultores y futuros agricultores del país.

Tabla 3.

cronograma

| Actividades | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre |
|--|---------------|-------------------|----------------|------------------|
| Objetivo Especifico 1. Seleccionar mediante una metodología de comparación el tipo de invernadero para el cultivo a trabajar con base a unos requerimientos. | | | | |
| Actividad 1.1 Investigación y fundamentación respecto a los antecedentes de los invernaderos | | | | |
| Actividad 1.3 Investigación y fundamentación del estado del arte | | | | |
| Actividad 1.4 Justificación y creación de objetivos del problema planteado. | | | | |
| Actividad 1.5 Selección de invernadero a partir de matrices. | | | | |
| Objetivo Especifico 2. Modelar el invernadero bajo la metodología de diseño V y contemplando los elementos necesarios para controlar las variables de mayor impacto en el cultivo seleccionado. | | | | |

Marco teórico

El marco teórico presenta los siguientes factores de manera explicativa la metodología de diseño en V y los procesos que abarcara mediante su desarrollo.

Modelamiento de diseño en V

La metodología en V es un modelo de gestión de proyectos, inspirado en el modelo cascado en el cual representa el ciclo de vida de un proyecto y este modelo se basa en gestión secuencial y lineal. La metodología en V consta de fases, la fase descendiente la cual abarca las necesidades del proyecto y la fase ascendente en el cual se verifican las necesidades del proyecto. (Cera, 2021)

Este proceso de diseño se comprueba continuamente mediante el cumplimiento del desarrollo de conceptos abarcados validando de esta manera un correcto desarrollo.

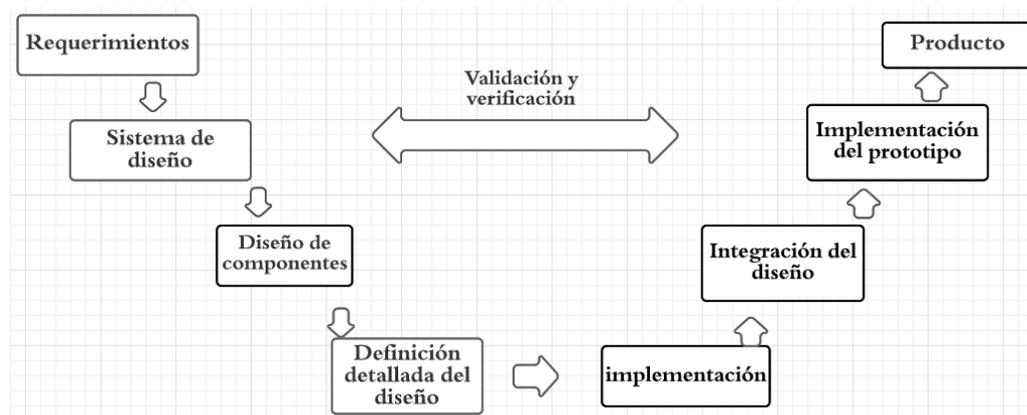


Figura 10. Modelo en V.

Requerimientos

Los requerimientos o análisis de requerimientos se realizan una recopilación de información mediante la investigación de documentos o libros, o a través de entrevista a los posibles y futuros clientes. Los requisitos se definen con una mayor precisión a través del análisis de la información recopilada. (Turck, 2020)

Sistema de diseño

El sistema de diseño es basado en los resultados del análisis de requerimientos. Este sistema debe estar basado en un nivel funcional incluyendo la definición de funciones y características de los elementos que lo componen (Turck, 2020).

Diseño de componentes

La siguiente fase debe describir cada componente en detalle incluyendo sus especificaciones y características de diseño para el cumplimiento de los requerimientos planteados con anterioridad (Turck, 2020).

Definición detallada del diseño

El diseño detallado es la composición de un todo a la vez que es la separación de sus componentes. En esta fase se especifican las funcionalidades, las interfaces y características de cada uno de los componentes del diseño general. Esta fase puede usar herramientas tecnológicas como programas de diseño en computadora (Turck, 2020).

Implementación

La fase de implementación es la ejecución puesta en marcha del prototipo de diseño como resultado después del desarrollo y cumplimiento de las fases anteriores (Turck, 2020).

Integración de diseño

Esta fase se refiere a la concepción y desarrollo integral del diseño técnico del proyecto, centrado en las necesidades de los usuarios haciendo énfasis en su integridad. En esta fase se debe verificar la eficiencia y funcionalidad del diseño estipulado. (Dc-port, s.f.)

Implementación del prototipo

Es la fase final de la metodología donde se comprueba el prototipo mediante una realización de pruebas exhaustivas para validar de manera satisfactoria el éxito de los desarrollos de las anteriores fases (Turck, 2020).

Capítulo 3

En el presente capítulo se desarrollan las primeras fases del diseño de un invernadero inteligente que permita cultivar vegetales representativos de la agricultura colombiana con la finalidad de mejorar la calidad y la cantidad de los cultivos bajo techo. Tomando como referencia la metodología de diseño utilizada en la maestría de Wilmer (Cruz, 2011). Contemplando inicialmente la selección del tipo de invernadero mediante matrices de decisión, luego se empleará la casa de la calidad QFD para la definición del producto y luego se realizará los diseños conceptuales y finalmente se selecciona el concepto que dar paso a realizar el diseño en detalle.

Selección de invernadero

Los integrantes que conforman el equipo de diseño para este proceso son:

Tabla 4

Equipo de diseño

| | |
|--------------------|-------------------------------|
| Diseñador 1 | Roberto Carlos Durango López |
| Diseñador 2 | Daniel Felipe Peñarete Moreno |
| Diseñador 3 | Wilmer Cruz Guayacundo |

| | |
|--------------------|--------------------------------------|
| Diseñador 4 | Cristian Fernando Velásquez Villamil |
| Diseñador 5 | Carlos Sebastián Vásquez Fontanilla |

Nota: se menciona el equipo de diseño que estuvo a cargo de los siguientes procesos.

Tabla 5

Resultados de selección de invernadero

| Invernaderos | Puntuación Total |
|-------------------------------------|-------------------------|
| Invernadero Túnel | 152 |
| Invernadero capilla | 129 |
| Invernadero dientes de sierra | 124 |
| Invernadero tipo capilla modificado | 145 |
| Invernadero techumbre curva | 117 |
| Invernadero tipo parral | 88 |
| Invernadero tipo venlo (holandés) | 112 |
| Invernadero tipo Domo Geodésico | 207 |

Nota: este proceso podrá ser visualizado en la sección de anexos

El tipo de invernadero con menor puntaje fue el tipo parral siendo descartado inmediatamente ya que resulta ineficiente para las condiciones propuestas. A diferencia del tipo parral el invernadero tipo Domo geodésico fue el diseño con mayor puntuación, cumpliendo satisfactoriamente en mayor proporción las características establecidas por los diseñadores, siendo de esta manera el tipo de invernadero seleccionado.

Definición del invernadero

La definición de la necesidad se obtiene a partir de las respuestas a tres preguntas:

- ¿Qué se quiere?

Diseñar un prototipo de invernadero que mejore de manera eficaz los procesos de producción de vegetales bajo techo.

- ¿Quién lo utilizará?

El invernadero está dirigido a todo el sector agrícola de Colombia y el mundo, se puede definir como un ejemplo inicial los agricultores de zanahoria del país.

- ¿En qué situación o momento se utilizará?

Abarcará todo el proceso de producción del ciclo de cultivo del vegetal, iniciando en la siembra y finalizando en la cosecha.

Requerimientos del cliente

A partir de múltiples entrevistas con los posibles usuarios finales, se identificaron varios requerimientos importantes en aspectos externos como internos para los procesos de control y producción del cultivo.

Tabla 6

Requerimientos del cliente

| Cliente | Requerimientos |
|----------------------------|--|
| Área exterior | <ul style="list-style-type: none"> • La apariencia del invernadero sea agradable a la vista • Que cumpla con los parámetros estructurales • Que tenga un espacio eficiente para su uso |
| Área de producción interna | <ul style="list-style-type: none"> • Mejorar el proceso de producción agrícola • Fácil y entendible el proceso de control • Disminuir las pérdidas de producto • Mejore la calidad del producto • Reduzca los contratiempos de producción |

Nota: Estos requerimientos se realizaron mediante una serie de entrevistas previas.

Cada uno de estos requerimientos se expresa formalmente y el equipo de diseño le asigna un nivel de importancia en valores de a 1 a 5 los cuales representan:

- 1 = Insignificante
- 2 = Poco prioritario
- 3 = A tener en cuenta
- 4 = Prioritario
- 5 = Indispensable

Tabla 7

Requerimientos del cliente y nivel de importancia

| Requerimiento del cliente | Nivel de importancia |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Factor Económico | 5 |
| Impermeabilidad | 4 |
| Eficiencia estructural | 4 |
| Luminosidad | 4 |
| Flujo de aire | 3 |
| Irrigación | 4 |
| Agentes patógenos | 3 |
| Fertilidad del terreno | 5 |
| Humedad | 4 |
| Daños y errores | 3 |
| Puntuación Total | 73 |

Nota: Tabla representativa que muestra cuales son los requerimientos prioritarios para los diseñadores.

Por cada requerimiento del cliente (el qué debe hacer) se tiene una especificación de ingeniería (el cómo se debe hacer).

Tabla 8

Requerimientos del cliente vs especificaciones de ingeniería.

| Requerimientos del cliente | Especificaciones de ingeniería |
|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Factor económico | Materiales de bajo costo |
| Impermeabilidad | Sistema hermético |
| Eficiencia estructural | Materiales resistentes |
| Luminosidad | Materiales transparentes |
| Flujo de aire | Sistema de ventilación |
| Irrigación | Sistema de riego |
| Agentes patógenos | Componentes resistentes a químicos |
| Fertilidad del terreno | Abonos y fertilizantes |
| Humedad | Sistema de climatización |
| Daños y errores | Mantenimiento |

Nota: las especificaciones de ingeniería hacen referente a las posibles soluciones que solicita el cliente en sus requerimientos.

Análisis de competencia

Para identificar las ventajas o desventajas que pueda tener el invernadero frente a productos similares que se ofertan en el mercado, se realiza una comparación competitiva frente a dos empresas: Construí invernaderos y Mundo invernadero. Cada producto de la competencia se evalúa respecto a los requerimientos expresados por los clientes y se grafican los resultados.

Construí invernaderos

Es una empresa nacional con alcance internacional, enfocada al diseño, construcción, adecuación y mantenimiento de invernaderos, esta empresa tiene como fin convertirse en una de las más representativas en Colombia y América Latina, en el desarrollo de invernaderos capaces de albergar diversas tecnologías de control para el mejoramiento de la producción agrícola con los mayores estándares de calidad, su catálogo contempla los invernaderos de apertura superior, invernaderos tipo chimú, tipo diente de sierra, tipo hobby entre otros. Teniendo una experiencia de más de 10 años en su labor (Construinvernaderos, s.f.).

Mundo invernaderos

Se caracteriza por dar el máximo valor y rentabilidad en los cultivos, teniendo una experiencia de más de 40 años en los sectores agrícolas de Colombia. Esta empresa además de enfocarse en los diseños de invernaderos también realiza asesorías en temas agrícolas, de automatización, de obras civiles y ofrece diversos productos como mallas y plástico agrícola (Mundoinvernaderos, s.f.).



Figura 11. Comparación competitiva en la casa de calidad QFD.

Al desarrollar la casa de la calidad se relacionan los requerimientos del cliente con las especificaciones de ingeniería.

| | | Material (estructural de bajo costo) | Abonos y fertilizantes | Sistema hermético (telas o componentes herméticos) | Materiales resistentes (acero o tubería pvc) | Material transparente | sistema de climatización | Sistema de ventilación | Sistema de riego por goteo | Componentes resistentes a Fungicidas y herbicidas | Garantía y mantenimiento |
|----------------------------|------------------------|--------------------------------------|------------------------|--|--|-----------------------|--------------------------|------------------------|----------------------------|---|--------------------------|
| Requerimientos del cliente | | | | | | | | | | | |
| 1 | Factor Economico | 4 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 5 | 10 | 10 | 5 |
| 2 | Fertilidad del terreno | 5 | 1 | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 5 | 10 | 1 |
| 3 | Impermeabilidad | 5 | 1 | 1 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| 4 | Eficiencia estructural | 3 | 10 | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 5 | 10 | 5 |
| 5 | Luminosidad | 2 | 1 | 1 | 10 | 1 | 10 | 1 | 1 | 1 | 5 |
| 6 | Humedad | 5 | 1 | 10 | 1 | 10 | 1 | 10 | 5 | 1 | 5 |
| 7 | Flujo del aire | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | 1 | 5 | 1 |
| 8 | Irrigación | 5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | 5 | 5 |
| 9 | Agentes patógenos | 4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 10 | 5 | 5 | 10 | 1 |
| # | Daños y errores | 4 | 10 | 1 | 5 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 10 |
| | ABSOLUTA | 139 | 193 | 155 | 209 | 110 | 265 | 167 | 245 | 245 | 172 |
| | RELATIVA (%) | 24 | 33 | 27 | 36 | 19 | 46 | 29 | 42 | 42 | 30 |

Figura 12. Desarrollo de la casa de calidad QFD.

Obteniendo que:

- Los requerimientos más significativos para el cliente son Fertilidad del terreno, impermeabilidad, humedad e irrigación.
- La ventaja con el mayor puntaje frente a la competencia es el “Sistema de climatización” que permite satisfacer el requerimiento de humedad y la desventaja con mayor puntaje frente a la competencia es “Material Transparente” concebida para satisfacer el requerimiento de luminosidad.
- Los parámetros de “Sistema de riego” y “Componentes resistentes a químicos” tienen el mismo valor para cumplir los requerimientos de irrigación y agentes patógenos, respectivamente.
- Los parámetros con los mayores puntajes son: “Sistema de climatización”, “Sistema de riego”, “Componentes resistentes a químicos” y finalmente “Materiales resistentes”.

Especificaciones de ingeniería

Las especificaciones de ingeniería se obtuvieron a partir del desarrollo de la casa de calidad QFD y algunas inherentes al proceso de diseño.

Las especificaciones son:

- Materiales de bajo costo.
- Sistema hermético
- Materiales resistentes.
- Materiales transparentes.
- Sistema de ventilación.
- Sistema de riego.
- Componentes resistentes a químicos.
- Abonos y fertilizantes.

- Sistema de climatización.
- Mantenimiento.
- Geometría del invernadero.
- Tamaño del invernadero.
- Apariencia final.

Análisis funcional

El modelo de la caja gris para el diseño del invernadero aborda tres entradas y tres salidas asociadas a materiales, energía y señal.

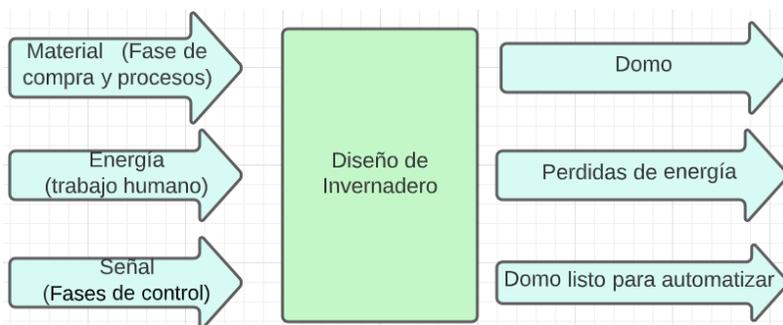


Figura 13. Modelo de caja gris para el diseño del invernadero (autoría propia)

A partir del modelo de la caja gris se desarrolla la descomposición funcional y se establecen ocho subfunciones, cada una de ellas describe específicamente lo que debe realizar cada elemento para implementar la función general del invernadero.

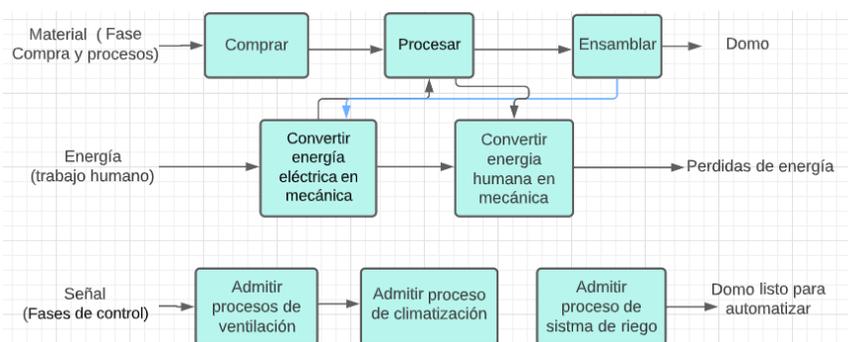


Figura 14. Caja gris que muestra las subfunciones (autoría propia).

Árbol de conceptos- exploración sistemática.

El árbol de clasificación de conceptos y la tabla de combinación de conceptos se emplean como herramientas para comparar y seleccionar los posibles conceptos de solución para cada una de las entradas (materiales, energía y señal).

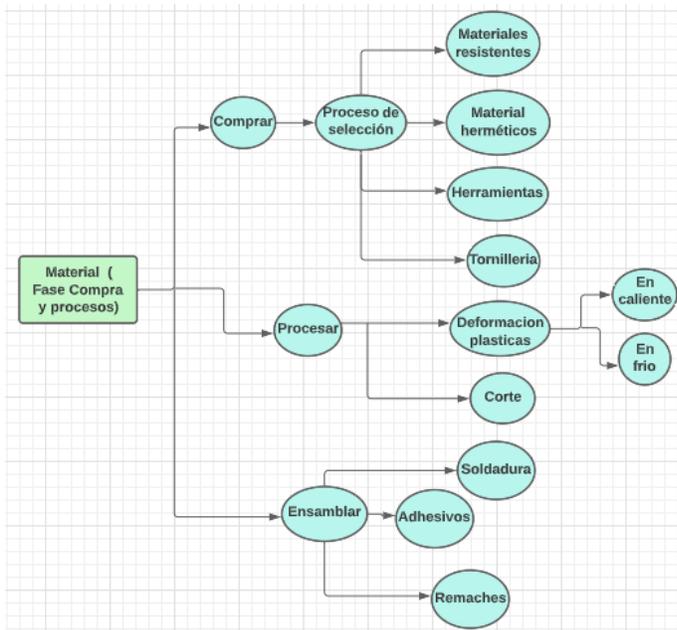


Figura 15. Árbol de clasificación de conceptos: Material (autoría propia).

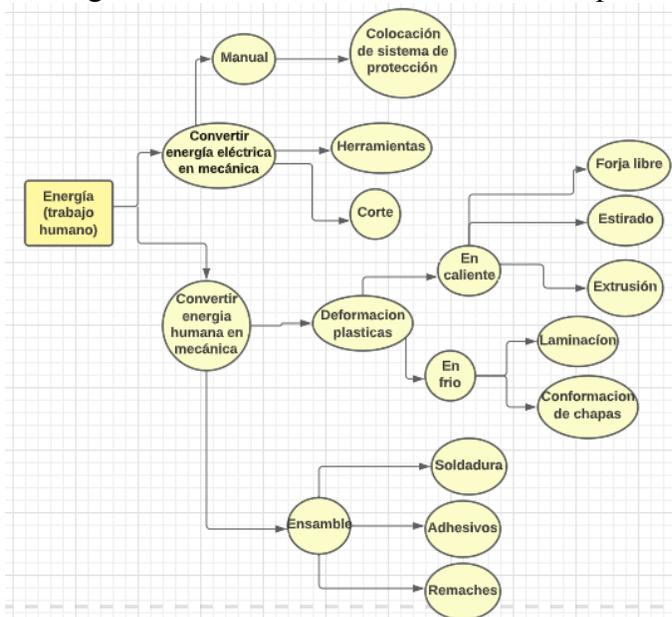


Figura 16. Árbol de clasificación de conceptos: Energía (autoría propia).

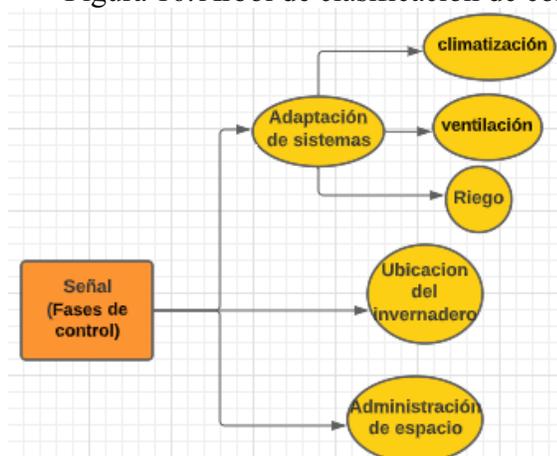


Figura 17. Árbol de clasificación de conceptos: Señal (autoría propia).

Integración de conceptos

De acuerdo a los arboles de clasificación de conceptos se procede a realizar la tabla de integración de conceptos para proseguir a modelar los posibles conceptos de invernadero.

Tabla 9

Integración de conceptos

| Material (Fase Compra y procesos) | Energía (trabajo humano) | Señal (Fases de control) |
|------------------------------------|---|---------------------------|
| Proceso de selección | Colocación de sistema de protección | Adaptación de sistemas |
| Deformación plásticas | Convertir energía humana en mecánica | Ubicación del invernadero |
| Ensamblar | Convertir energía eléctrica en mecánica | Administración de espacio |

Nota: los conceptos presentes en esta tabla provienen del análisis funcional mostrado anteriormente.

Las soluciones potenciales al problema general se forman al combinar los posibles conceptos de solución, de las 27 posibles soluciones se consideran las tres más prometedoras.

$$3 \times 3 \times 3 = 27 \text{ combinaciones potenciales}$$

Concepto 1

Tabla 10

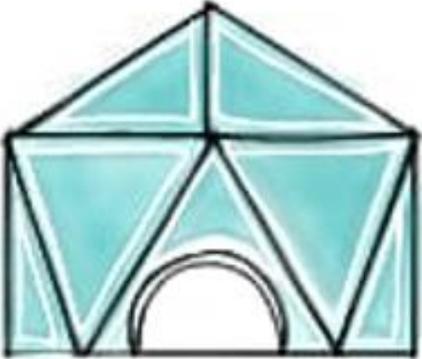
Concepto 1

| | |
|---|--|
|  <p data-bbox="256 709 743 751">Figura 18. Concepto 1 (autoría propia)</p> | <p data-bbox="824 352 1419 823">El concepto 1, está conformado de madera como material estructural formando geometrías irregulares de tipo triangular, el recubrimiento está conformado mediante un material polimérico, tiene una apariencia tradicional rustica y este concepto cuenta con la posibilidad de admitir sistemas de climatización como: irrigación, iluminación y ventilación.</p> <p data-bbox="824 844 1052 886">Costo: 7.000.000</p> |
|---|--|

Concepto 2

Tabla 11

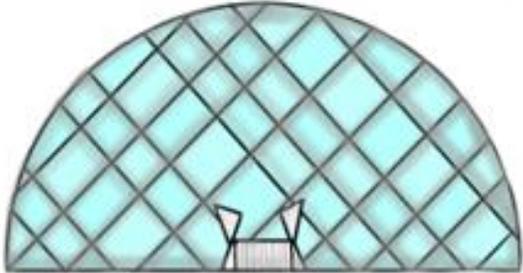
Concepto 2

| | |
|--|--|
|  <p data-bbox="198 1486 766 1528">Figura 19. Concepto 2 (elaboración propia).</p> | <p data-bbox="824 1068 1419 1539">El concepto 2, está conformado por un material cerámico (vidrio) como material de construcción formando geometrías homogéneas de tipo triangular teniendo como soporte tubos de acero inoxidable, tiene una apariencia moderna, elegante y este concepto tiene la posibilidad de admitir sistemas de climatización, irrigación, iluminación y ventilación.</p> <p data-bbox="824 1560 1052 1602">Costo: 13.000.000</p> |
|--|--|

Concepto 3

Tabla 12

Concepto 3

| | |
|--|---|
|  <p>Figura 20. Concepto 3</p> | <p>El concepto 3, está conformado por geometrías homogéneas de tipo triangular formadas en un material metálico (acero), cubierto por material un polimérico transparente. Este concepto tiene una apariencia moderna y sofisticada y con tiene la posibilidad de admitir sistemas de climatización, irrigación, iluminación y ventilación.</p> <p>Costo: 6.500.000</p> |
|--|---|

Evaluación de conceptos

El proceso de selección del concepto de solución, se realiza mediante matrices de decisión en las cuales se comparan y evalúan aspectos relevantes de los conceptos respecto a los requerimientos del cliente. La primera matriz corresponde a los juicios de factibilidad.

Juicio de factibilidad

Tabla 13

Juicios de factibilidad

| Juicios de factibilidad | Concepto 1 | Concepto 2 | Concepto 3 |
|---|------------|------------|------------|
| ¿Es posible que funcione el concepto? | SI | SI | SI |
| ¿Es atractivo el concepto para el equipo de diseño? | SI | SI | SI |
| ¿Alguna norma/estándar impide el uso del concepto? | NO | NO | NO |

Nota: Esta tabla analiza los conceptos para saber qué tan factibles pueden ser para el cumplimiento de los requerimientos del cliente.

Revisión de la tecnología necesaria

Dado que los tres conceptos de solución cumplen con los aspectos evaluados en los juicios de factibilidad, pasan a una segunda matriz de revisión sobre la tecnología necesaria.

Tabla 14

Revisión tecnológica

| Tecnología necesaria | Concepto1 | Concepto2 | Concepto3 |
|---|------------------|------------------|------------------|
| ¿Puede obtenerse la tecnología requerida con procesos conocidos y existentes? | SI | SI | SI |
| ¿Están identificados los parámetros críticos? | SI | SI | SI |
| ¿Se conocen los valores límites de los parámetros críticos? | SI | SI | SI |
| ¿Han sido identificados los modos de falla? | SI | SI | SI |
| ¿Es controlable la tecnología durante todo el ciclo de vida del producto? | SI | SI | SI |
| ¿Están demostrados los cinco ítems anteriores? | SI | SI | SI |

Nota: Análisis de conceptos en factores tecnológicos desarrollados por el equipo de diseño.

Al aplicar la revisión sobre la tecnología necesaria a cada concepto, se valida la posibilidad de materializar cada concepto de solución y controlar su funcionalidad durante todo ciclo de vida.

Revisión sobre el cumplimiento de las funciones

Tabla 15

Revisión sobre el cumplimiento de las funciones

| Función | Concepto 1 | Concepto 2 | Concepto 3 |
|---------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Implementar el material resistente | 8 | 10 | 9 |
| Usar el material para fijar | 7 | 2 | 9 |
| Utilizar los material | 7 | 3 | 8 |
| Convertir energía humana en mecánica | 6 | 7 | 8 |
| Deformar plásticamente los materiales | 7 | 6 | 8 |
| Ensamblar piezas | 8 | 8 | 8 |
| Colocar el sistema de fijación | 7 | 8 | 7 |
| Admitir procesos de ventilación | 9 | 10 | 10 |

| | | | |
|-----------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Admitir procesos de climatización | 9 | 10 | 10 |
| Admitir procesos de riego | 9 | 10 | 10 |
| Puntuación total | 77 | 74 | 87 |

Nota: Esta tabla realiza un análisis de los conceptos para las funciones propuestas por el equipo de diseño.

La tercera matriz evaluará las funciones de 0 a 10, siendo 0 el valor que refleja el no cumplimiento de la función y 10 el valor que refleja el cumplimiento de la función. El 50% del total de la puntuación más alta, se considera como el umbral mínimo a satisfacer por cada concepto para continuar en la etapa de selección, los tres conceptos cumplen con este requerimiento. Finalmente, en la cuarta matriz se evalúan los conceptos de solución respecto a los requerimientos del cliente.

Revisión de cumplimiento de los requerimientos del cliente

Tabla 16

Revisión de cumplimiento de los requerimientos del cliente

| Función | Concepto 1 | Concepto 2 | Concepto 3 |
|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Factor Económico | 8 | 1 | 8 |
| Fertilidad del terreno | 9 | 10 | 9 |
| Impermeabilidad | 7 | 5 | 8 |
| Eficiencia estructural | 6 | 4 | 8 |
| Luminosidad | 7 | 10 | 9 |
| Humedad | 8 | 8 | 8 |
| Flujo de aire | 7 | 7 | 8 |
| Irrigación | 6 | 10 | 10 |
| Agentes patógenos | 6 | 10 | 10 |
| Daños y errores | 9 | 5 | 9 |
| Puntuación total | 73 | 70 | 87 |

Nota: Tabla de selección definitiva que escogerá el concepto que abarcará el equipo de diseño.

Finalmente se tiene que la calificación más alta la obtiene el concepto de solución 3 con un puntaje de 87 puntos, siendo el seleccionado por el equipo de diseño para desarrollar a nivel de detalle en la siguiente fase.

Capítulo 4

Arquitectura del producto

En diseño de invernadero consiste en una arquitectura modular ya que maneja sistemas compuestos por distintos elementos de construcción. Estos elementos son denominados módulos en el cual se utilizan para componer una estructura mediante su interconexión. En nuestro caso los elementos o sistemas que conformaran la estructura son: sistema de ventilación, sistema de riego, sistema de climatización. (Mayén, 2020).

Diseño a nivel de sistema

Los elementos que componen el diseño a nivel de sistema son:

- Estructura: la estructura distribución y orden interno de las partes o elementos que están dentro de un todo. (Porto y Gardey, 2021).
- Sistema hermético: El sistema hermético es la piel que recubre toda la estructura para controlar el paso del viento y la precipitación.
- Sistema de ventilación: el sistema de ventilación es el conjunto de elementos empleados para ventilar un lugar cerrado. (S&P, 2018)
- Sistema de riego: el sistema de riego proporciona la cantidad necesaria de agua para la supervivencia de los cultivos agrícolas, el cual está compuesto por distintos elementos que impulsaran el agua. (Aquiasistemas , 2017).
- Sistema de climatización: el sistema de climatización consiste en la utilización de dispositivos electromecánicos para modificar la temperatura y la humedad interna de una estructura. (Ruiz, 2019)
- Bancas: La banca o el banco es una estructura sencilla y alargada en el cual tiene como función el poder soportar el peso de un objeto o una persona. (Wikipedia , s.f.)
- Macetas: la maceta es un recipiente que se usa en cultivación de vegetales o plantas. (Porto y Merino, s.f.)

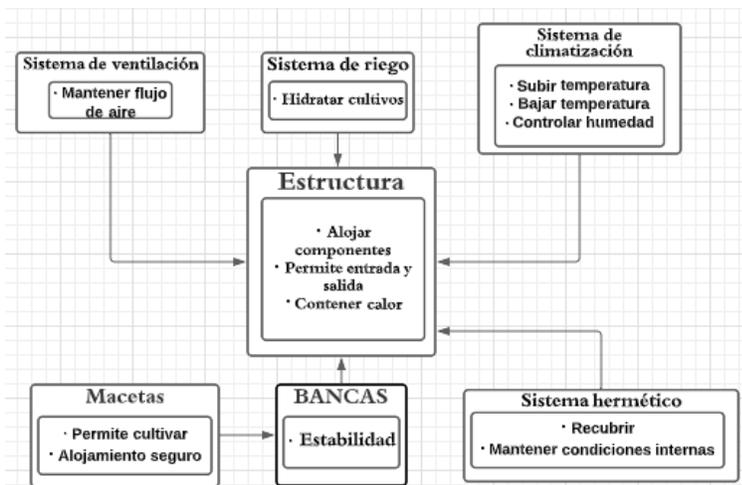


Figura 18. Agrupación de los elementos que conforman el producto.

Se aclara que el diseño final del sistema no contemplara los siguientes elementos: el sistema de ventilación, el sistema de riego y el sistema de climatización.

Disposición geométrica

A continuación, se presentará la disposición geométrica que tendrán el invernadero, abarcando los posibles sistemas de control que se pueden incluir.

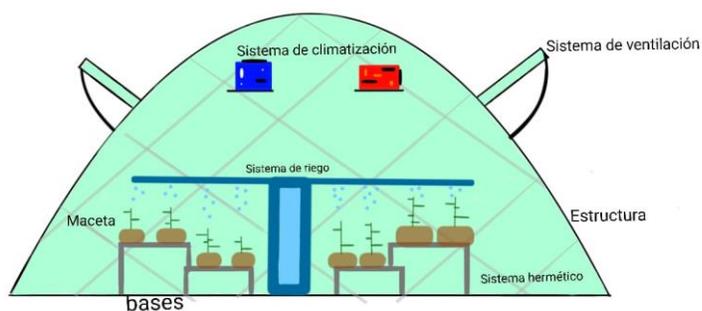


Figura 19. Disposición geométrica del producto

Interacciones fundamentales e incidentes

Las interacciones que se presentan entre los elementos son:

- La estructura debe ser capaz de poder aceptar los sistemas de riego para el proceso de producción.
- Las bancas que se presentaran internamente deben ser capaces de presentar una buena estabilidad para poder soportar el peso de las macetas con tierra en su interior.

- La estructura debe tener implementada una estructura hermética para poder realizar las funciones de aumento y enfriamiento de temperatura que proporcionara el sistema de climatización.
- La estructura debe poder permitir un sistema hermético con el fin de proteger de los elementos internos de agentes externos no deseados.
- El sistema de ventilación debe poder ser ajustable desde la estructura para permitir un buen flujo de aire.

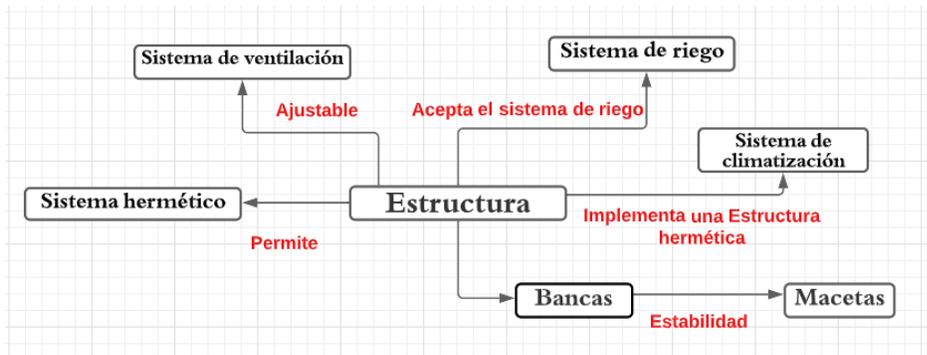


Figura 20. Interacciones entre componentes.

Generación detallada del producto

Posteriormente a las interacciones fundamentales se procederá a realizar la metodología paso a paso para la generación detallada del producto basada en el libro de (Eppinger y Ulrich, 2009) sobre el diseño y desarrollo de productos.

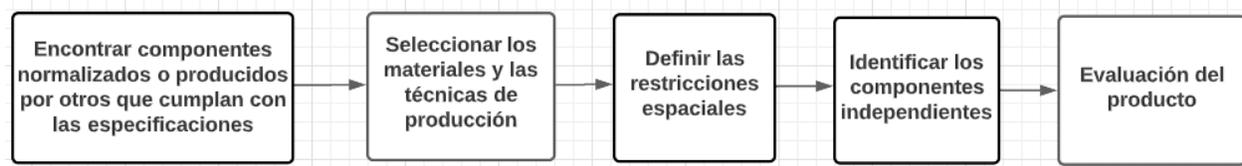


Figura 21. Metodología paso a paso de diseño detallado.

Paso 1

Componentes normalizados

Los componentes que se encuentran normalizados y estandarizados que se implementaran en el invernadero son los siguientes:

- Tornillería.
- Materiales translucidos.
- Materiales estructurales.
- Materiales de sujeción.

Paso 2

Materiales y técnicas de producción

Los componentes que conformarán el invernadero son: la estructura, las bancas para macetas y los materiales translucidos, los materiales que abarcarán estos componentes serán seleccionados mediante matrices que compararán factores como: el tipo de material, el costo y los procesos de fabricación.

Para la estructura:

Tabla 17

Materiales y proceso de fabricación para la estructura

| Tipos de material | Costos | Procesos de fabricación |
|--|----------------|--|
| Tubo acero A-36 ¾" x6 m (Homecenter , s.f.) | \$ 689.150 COP | Prensado mecánico, perforación mecánica, corte mecánico. |
| Tubo acero 304 ¾"x 6m (Impoinox, s.f.) | \$ 770.000 COP | Prensado manual, perforación mecánica, corte manual. |
| Tubo acero A.36 ¾" x 3m (Formas electricas, s.f.) | \$ 716.205COP | Prensado manual, perforación manual, corte manual. |

Nota: El valor de costo es el valor final de la cotización para la construcción completa del invernadero, siendo utilizados 11 tubos por los 6 metros y 21 para el caso de los 3 metros.

A continuación, se presenta el proceso de fabricación de los tubos utilizados para la estructura presentado por (Echeverry, 2011):

El proceso de fabricación de tubos consta de varios pasos, los cuales se deben realizar cuando el material se encuentra caliente. Este proceso comienza al pasar el tubo por un cortador teniendo una longitud estimada que regularmente es de 6 metros, seguidamente se pasara a un horno giratorio, para luego continuar poniéndolos en un desescamador el cual limpiara toda impureza superficial que se presente en el tubo. Luego pasa al perforador el cual indicará el diámetro interno del tubo, después de otros procesos se realizará un corte a la medida comercial para finalmente pasar a la refrigeración.

Aunque se sabe que el acero inoxidable 304 es un material muy resistente a condiciones climáticas externas a diferencia que el acero A-36. Presenta un gran inconveniente y es su precio. Por estos motivos el material empleado para la realización estructural para el invernadero es el acero A-36 con un costo de 689.150 pesos colombianos.

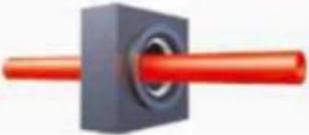
| | | |
|--|---|--|
| Corte de tocho | Horno giratorio | Desescamador |
|  |  |  |
| Perforador | Laminador continuo | Extractor |
|  |  |  |
| Calibrador | Sistema de medición por isotopos | Corte en caliente |
|  |  |  |
| Plano de enfriamiento | | |
|  | | |

Figura 22. Proceso de fabricación de tubos de acero (Echeverry, 2011).
Para las bases o bancas para las macetas:

Tabla 18

Materiales y procesos de fabricación para las bases de las macetas

| Tipos de material | Costos | Procesos de fabricación |
|---|---------------|--------------------------------|
| Lamina de policarbonato 120x180cm (Homcenter , s.f.) | \$485.700 COP | Corte mecánico, soldar. |
| Tubo cuadrado de acero A-36 $\frac{3}{4}$ "x $\frac{3}{4}$ "x0.8 mm (Homecenter , s.f.) | \$27.450 COP | Corte manual, soldar. |
| Tubo cuadrado de acero A-36 $\frac{3}{4}$ "x $\frac{3}{4}$ "x1.1 mm (Homecenter , s.f.) | \$28.200 COP | Corte mecánico, soldar. |

Nota: El precio consiste en el número de material que se gastara para las bases de las macetas.

El proceso de fabricación para las bases de las macetas, comenzara con la creación de plantillas las cuales tendrán las mediciones requeridas las cuales serán: para las láminas serán de 120 cm x 30 cm y para tubos cuadrados de 12cm, 17cm y 31 cm. Para luego realizar el proceso de corte de los distintos materiales. Seguidamente se realizará el proceso soldadura para la sujeción y ensamblaje de los compontes, para finalizar se le dará un recubrimiento anticorrosivo. Aunque los tubos que soportaran la maceta tienen casi las mismas características, se escogió el tubo de 3/4" x 3/4" x 1.1 mm ya que presenta un mayor grosor que brindara una mejor estabilidad.

Para el material translucido:

Tabla 19

Materiales y procesos de fabricación para los materiales translucidos.

| Tipos de material | Costos | Procesos de fabricación |
|---|---------------|--|
| Rollo de Polietileno 1x10m (Homecenter , s.f.) | \$75.800 COP | Corte manual, ablandamiento por calor |
| Malla antitrips 4x50 m (Mercado libre , s.f.) | \$988.000 COP | Corte manual |

Nota: estos materiales serán los que se usarán para el recubrimiento del invernadero para la conservación de condiciones climáticas internas.

A continuación, se presentará el proceso de fabricación del material traslucidos presentados por (Todo polimeros, s.f.):

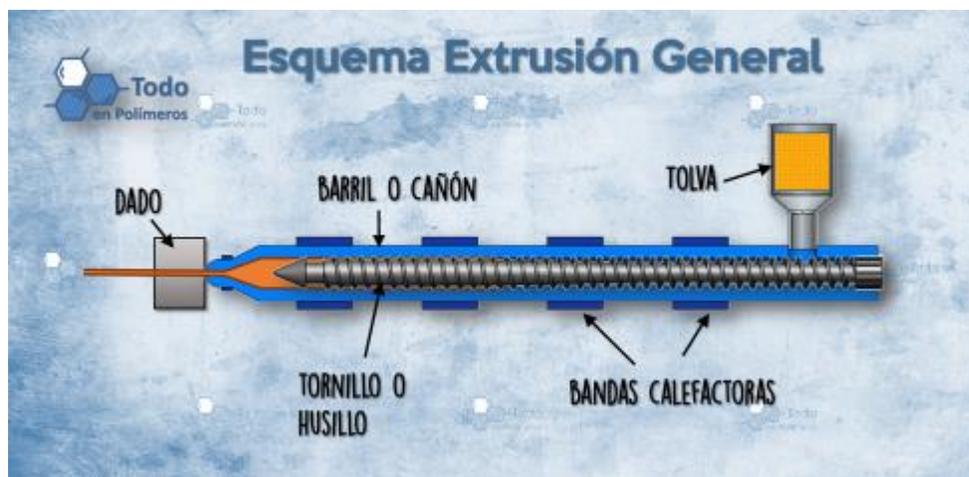


Figura 23. Máquina de extrusión (Todo polimeros, s.f.).

Los plásticos presentan un proceso de extrusión en el cual consiste inicialmente en el ingreso de la materia prima a la extrusora, donde seguidamente se calentarán hasta que se realice una

deformación plástica del material. Seguidamente se comprime el material internamente dentro de la máquina. Luego el material se enfría y se solidifica al salir de la máquina para poder ingresar a un jalador que proporcionara una tensión para finalmente realizar el proceso de corte

Costos

Teniendo los materiales definidos para cada proceso, a continuación, se presentará la tabla de costos finales para la construcción del invernadero incluyendo la mano de obra:

Tabla 20

Tabla de costos

| Materiales | Costos |
|---|-------------------------|
| Tubo acero A-36 ¾" x6 m (Homecenter , s.f.) | \$ 689.150 COP |
| Lamina de policarbonato 120x180cm (Homcenter , s.f.) | \$ 485.700COP |
| Tubo cuadrado de acero A-36 ¾"x ¾"x1.1 mm (Homecenter , s.f.) | \$ 28.200 COP |
| Rollo de Polietileno 1x10m (Homecenter , s.f.) | \$ 75.800 COP |
| Tornillos de ¼" (Homecenter, s.f.) | \$ 291.000 COP |
| Tuercas y arandelas de ¼" (Homecenter , s.f.) | \$ 64.800 COP |
| Mano de obra | \$ 3.500.000 COP |
| Total | \$ 5.131.650 COP |

Nota: todos los costos de materiales están basados a las cantidades que se usaran para la respectiva construcción del invernadero.

Análisis costo-beneficio

A continuación, se realizará una especulación del proceso productivo que se realizará dentro del invernadero con un cultivo de zanahoria, con el fin de saber el retorno de inversión y el análisis costo-beneficio para poder validar de esta manera la viabilidad del invernadero.

Para este proyecto se requirió una inversión de \$ 5.131.650 para la construcción de un invernadero, en el cual se realizará una pequeña producción de zanahoria teniendo en cuenta los precios actuales y posibles futuros precios del mercado para su comercialización. Esta producción durante 5 años generará los siguientes ingresos y los respectivos gastos de mantenimiento anual. También se constará con un valor de rescate de 1.000.000 de pesos.

Tabla 21

Producción por bultos de zanahoria

| Año | Bultos | Precio por bulto \$ | Ingreso generado \$ |
|-----|--------|---------------------|---------------------|
| 1 | 5 | \$ 120.000 | \$ 600.000 |
| 2 | 6 | \$ 130.000 | \$ 780.000 |
| 3 | 6 | \$ 140.000 | \$ 840.000 |
| 4 | 7 | \$ 150.000 | \$ 1.050.000 |
| 5 | 7 | \$ 160.000 | \$ 1.120.000 |

Nota: el primer valor del precio del bulto de zanahoria fue tomado de (Precios mayoristas de los alimentos en la central de abastos de Bogotá, s.f.).

Ahora se presentará la tabla de gastos de mantenimiento anualmente para el invernadero.

Tabla 22

Gastos de mantenimiento

| Año | Gasto generado |
|-----|----------------|
| 1 | \$ 200.000 |
| 2 | \$ 250.000 |
| 3 | \$ 380.000 |
| 4 | \$ 480.000 |
| 5 | \$ 630.000 |

Nota: los gastos de mantenimiento es una especulación respecto a las subidas anuales de precio.

Teniendo los valores de los beneficios y costos de cada año, se procederá a realizar la siguiente ecuación de análisis costo-beneficio de flujo variable.

$$\frac{B}{C} = \frac{VP \text{ beneficios totales}}{VP \text{ costos totales}} \quad (1)$$

$$\frac{B}{C} = \frac{F(1+i)^{-n}}{F(1+i)^{-n}} \quad (2)$$

Ahora se presentarán las variables para después poder dar solución a la ecuación reimplantando los valores teniendo en cuenta que contaremos con una tasa de interés de 5%.

P (valor de inversión) = \$ 5.131.650

I (ingresos) = \$ 600.000, \$ 780.000, \$ 840.000, \$ 1.050.000, \$ 1.120.000.

C (costos) = \$ 200.000, \$ 250.000, \$ 380.000, \$ 480.000, \$ 630.000.

i(tasa de interés) = 5% = 0,05

$$(3) \quad \frac{B}{C}$$

$$= \frac{600.000 * (0,05)^{-1} + 780.000 * (0,05)^{-2} + 840.000 * (0,05)^{-3} + 1.050.000 * (0,05)^{-4} + 2.120.000 * (0,05)^{-5}}{5.131.650 + 200.000 * (0,05)^{-1} + 250.000 * (0,05)^{-2} + 380.000 * (0,05)^{-3} + 480.000 * (0,05)^{-4} + 630.000 * (0,05)^{-5}}$$

$$\frac{B}{C} = 3.32 \quad (4)$$

Nota: El valor de los beneficios en el año 5 fue sumado con el valor de rescate que es de 1 millón por lo tanto da 2.120.000

Con este resultado se sabe que la producción dentro del invernadero con el cultivo de zanahoria es mayor a 1 dando a entender que es un proyecto viable según el análisis costo-beneficio.

Ahora se calculará el periodo de recuperación que tendrá la inversión del invernadero según los beneficios presentados por año.

Tabla 23

Periodo de recuperación

| Año | Flujo | Acumulado |
|-----|-----------|-----------|
| 0 | -5131650 | |
| 1 | 600.000 | 600.000 |
| 2 | 780.000 | 1.380.000 |
| 3 | 840.000 | 2.220.000 |
| 4 | 1.050.000 | 3.270.000 |
| 5 | 1.120.000 | 4.390.000 |

Nota=el acumulado es la sumatoria del año pasado más el flujo del año siguiente.

Ahora se calculará cuantos años se tardará en recuperar el dinero invertido según los ingresos generados por el invernadero en los 5 años.

$$PR = 5 + \frac{(5.131.650 - 3.270.000)}{1.120.000} \quad (5)$$

$$PR = 6,66 \text{ Años}$$

Sabiendo que el tiempo de recuperación será de 6.66 años nos indica que los ingresos de la producción de zanahoria son ineficientes para recuperar la inversión inicial. Por ende, se puede recomendar un aumento en la producción para poder recuperar la inversión en el menor tiempo posible y poder generar ganancias en los siguientes años.

Paso 3

Restricciones espaciales

El producto está diseñado para ser utilizado en las distintas zonas geográficas del país. Abarcando terrenos como laderas y planicies, es recomendable su instalación en terrenos planos y semiplanos, para garantizar el un óptimo funcionamiento con un alto grado de confiabilidad.

En esta ocasión las directrices de la Universitaria Agustiniiana luego de una solicitud de permiso, brindo un espacio designado para la instalación y construcción del invernadero ocupando una superficie de 3x3 metros.



Figura 24. Vista satelital de la universitaria agustiniana

Paso 4

Componentes independientes

A continuación, se mostrará que en el diseño de invernadero se encontraron diferentes componentes independientes los cuales son: la estructura, las bancas para macetas y posibles sistemas de control.

Estructura: La estructura un elemento que permite el funcionamiento de los diferentes sistemas que se encuentran en su interior. Las estructuras están diseñadas y construidas para el cumplimiento de un fin, en este caso brindar protección del invernadero para los agentes externos o que modifique las condiciones internas.

Bancas para maceta: Las bancas para macetas son un elemento que permitirá soportar el peso de las macetas en la distribución interna del invernadero.

Sistemas de control: los sistemas de control abarcan diferentes dispositivos y componentes para los cumplimientos de su función mediante los sistemas internos necesarios para el invernadero. Algunos de estos sistemas pueden ser de: irrigación, climatización y ventilación.

Paso 5

Evaluación de producto

Para la evaluación del invernadero se tendrá como base el diseño dominante seleccionado en los procesos anteriores.

Revisión lógica funcional

En la revisión lógica se contempla varios de los procesos que se emplearon en el desarrollo y construcción del diseño del domo geodésico.

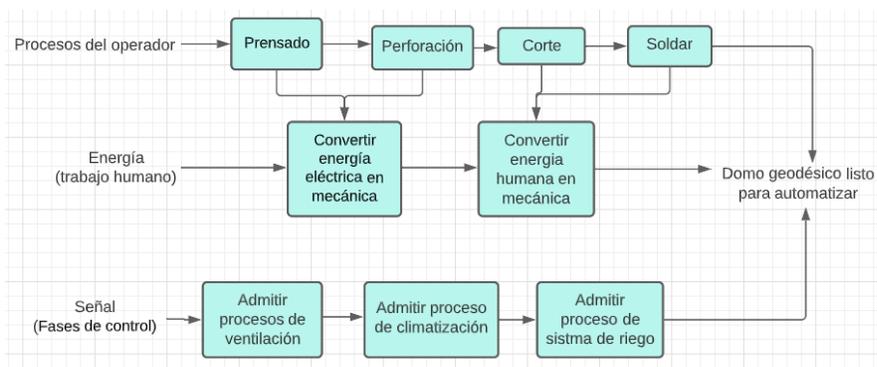


Figura 25. Lógica funcional

Matriz de evaluación del cumplimiento de funciones

A continuación, se evaluará el diseño dominante para el cumplimiento de las funciones establecidas. Teniendo en cuenta de que se evalúa de 0 a 10, siendo 0 el valor que refleja el no cumplimiento de la función y 10 el valor que refleja el cumplimiento pleno de la función. El 50% del total de la puntuación más alta, se considera como el umbral mínimo a satisfacer

Tabla 24

Revisión de cumplimiento de funciones

| Función | Concepto 3 |
|---------------------------------------|------------|
| Implementar el material resistente | 10 |
| Usar el material para fijar | 10 |
| Utilizar los material | 8 |
| Convertir energía humana en mecánica | 8 |
| Deformar plásticamente los materiales | 7 |
| Ensamblar piezas | 8 |
| Colocar el sistema de fijación | 10 |
| Admitir procesos de ventilación | 10 |

| | |
|-----------------------------------|-----------|
| Admitir procesos de climatización | 10 |
| Admitir procesos de riego | 10 |
| Puntuación total | 91 |

Nota: se volvió a analizar el cumplimiento de las funciones respecto al concepto planteado notándose una leve mejora a los resultados anteriores.

Revisión de la tecnología necesaria

Se evaluará el diseño dominante frente la tecnología necesaria.

Tabla 25

Revisión de tecnología necesaria

| Tecnología necesaria | Concepto 3 |
|---|-------------------|
| ¿Puede obtenerse la tecnología requerida con procesos conocidos y existentes? | SI |
| ¿Están identificados los parámetros críticos? | SI |
| ¿Se conocen los valores límites de los parámetros críticos? | SI |
| ¿Han sido identificados los modos de falla? | SI |
| ¿Es controlable la tecnología durante todo el ciclo de vida del producto? | SI |
| ¿Están demostrados los cinco ítems anteriores? | SI |

Nota: se valida de manera satisfactoria que el diseño dominante cumple con todos los requerimientos tecnológicos.

Revisión de cumplimiento de los requisitos del cliente

En esta matriz volveremos a realizar una evaluación del diseño dominante frente a los requerimientos del cliente, para poder determinar si el diseño sigue siendo optimo o se tendrá que realizar ciertas correcciones para volver a realizar la evaluación.

En esta matriz se evalúa de 0 a 10 donde:

0= no cumple el requerimiento del cliente en absoluto.

5=cumple el requerimiento del cliente de manera parcial.

10= cumple el requerimiento plenamente.

Tabla 26

Revisión de los requerimientos del cliente.

| Función | Concepto 3 |
|------------------|-------------------|
| Factor Económico | 8 |

| | |
|-------------------------|-----------|
| Fertilidad del terreno | 8 |
| Impermeabilidad | 9 |
| Eficiencia estructural | 9 |
| Luminosidad | 8 |
| Humedad | 7 |
| Flujo de aire | 7 |
| Irrigación | 10 |
| Agentes patógenos | 10 |
| Daños y errores | 10 |
| Puntuación total | 86 |

Nota: se vuelve a evaluar el diseño dominante frente a los requerimientos del cliente, lográndose observar una reducción de 1 punto en los factores de humedad y flujo de aire.

Se puede observar que el diseño dominante sigue cumpliendo de manera satisfactoria los requerimientos del cliente. Ahora para finalizar se evaluará el desempeño del concepto de diseño planteado.

Evaluación del desempeño

Tabla 27

Revisión del cumplimiento de las especificaciones técnicas.

| Especificaciones de ingeniería | Valor objetivo | Diferencia de mejora | Respuesta obtenida | % Diferencia | Observaciones |
|--------------------------------|-----------------------|----------------------|--------------------|--------------|---------------|
| Costo de fabricación | \$6.500.000 COP | ↓ | \$5.131.650COP | -21% | A |
| Exactitud dimensional | Tolerancia de +/- 1mm | ↑ | +/- 1mm | 0% | B |
| Apariencia final (Acabado) | Moderna y sofisticada | ↑ | Pulida y moderna | 0% | C |
| Tamaño del invernadero | Diámetro de 3m | ↑ | Diámetro de 3m | 0% | D |
| Geometría del invernadero | Circular | ⊗ | Circular | 0% | E |

Nota: seguidamente de la tabla se podrán visualizar las observaciones respectivas.

A= Se puede visualizar una notable reducción del 21% en el costo de fabricación que tuvo el diseño del invernadero seleccionado en el proceso real comparado con el estipulado.

B= El diseño no presenta tolerancia.

C= La apariencia final que tuvo el diseño de invernadero presenta un carácter moderno, pero no es físicamente sofisticado como se tenía estipulado, si no que tuvo una apariencia más pulida. Lo cual no presenta ningún inconveniente para el equipo de diseño.

D=El tamaño para el invernadero se cumplió correctamente, teniendo un diámetro de 3 metros.

E= Por el estilo de diseño designado la geometría ideal para el invernadero tipo domo geodésico era de forma circular y se construyó correctamente con esa forma.

Modelamiento 3D para la medición de desempeño

Para medir correctamente el desempeño del invernadero es necesario realizar un análisis experimental además de matemático para el proceso de factor de seguridad y la deformación que puede presentarse en la estructura del invernadero y en las bases para macetas.

Antes que nada, se mostraran los modelamientos 3D de la estructura del invernadero y de las bases o soportes para macetas antes de realizar el análisis de desempeño de estos factores. Cabe aclarar que los diseños están realizado a escala real.

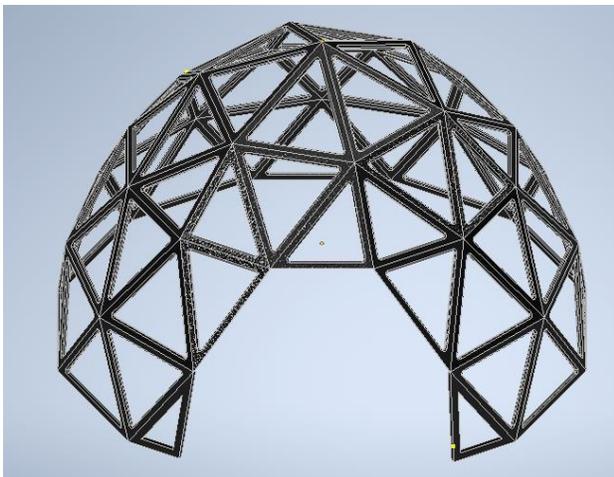


Figura 26. Modelamiento 3D de la estructura del invernadero



Figura 27. Foto número 1 del invernadero.



Figura 28. Foto número 2 del invernadero.

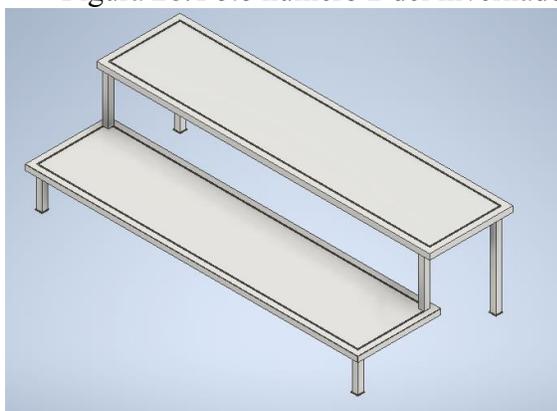


Figura 29. Modelamiento 3D de las bases para invernadero

En la última ilustración se muestran las bases para los invernaderos en las cuales estarán ubicadas de forma en la que rodeen el interior. Estas bases tendrán como función el soportar las distintas macetas que estarán situadas en los escalones de estas bases. En estas macetas se cultivarán y controlarán de manera individual el proceso de cada capa planta.

Para realizar este proceso se debe conocer las propiedades de los materiales del acero A-36 y del policarbonato. Estas propiedades la podemos encontrar en el libro de (Beer, Russell, Wolf, Mazurek, 2010) que está basado sobre la mecánica de materiales.

| Material | Densidad, kg/m ³ | Resistencia última | | | Cedencia ^a | | Módulo de elasticidad, GPa | Módulo de rigidez, GPa | Coeficiente de expansión térmica, 10 ⁻⁶ /°C | Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm |
|--|-----------------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------------------|------------------------|--|---|
| | | Tensión, MPa | Compresión, MPa | Corriente, MPa | Tensión, MPa | Corriente, MPa | | | | |
| Acero | | | | | | | | | | |
| Estructural (ASTM-A36) | 7 860 | 400 | | | 250 | 145 | 200 | 77.2 | 11.7 | 21 |
| Alta resistencia-aleación baja | | | | | | | | | | |
| ASTM-A709 Grado 345 | 7 860 | 450 | | | 345 | | 200 | 77.2 | 11.7 | 21 |
| ASTM-A913 Grado 450 | 7 860 | 550 | | | 450 | | 200 | 77.2 | 11.7 | 17 |
| ASTM-A992 Grado 345 | 7 860 | 450 | | | 345 | | 200 | 77.2 | 11.7 | 21 |
| Templado | | | | | | | | | | |
| ASTM-A709 Grado 690 | 7 860 | 760 | | | 690 | | 200 | 77.2 | 11.7 | 18 |
| Inoxidable, AISI 302 | | | | | | | | | | |
| Laminado en frío | 7 920 | 860 | | | 520 | | 190 | 75 | 17.3 | 12 |
| Recocido | 7 920 | 655 | | | 260 | 150 | 190 | 75 | 17.3 | 50 |
| Acero de refuerzo | | | | | | | | | | |
| Resistencia media | 7 860 | 480 | | | 275 | | 200 | 77 | 11.7 | |
| Alta resistencia | 7 860 | 620 | | | 415 | | 200 | 77 | 11.7 | |
| Fundición | | | | | | | | | | |
| Fundición gris | | | | | | | | | | |
| 4.5% C, ASTM A-48 | 7 200 | 170 | 655 | 240 | | | 69 | 28 | 12.1 | 0.5 |
| Hierro fundido | | | | | | | | | | |
| 2% C, 1% Si, ASTM A-47 | 7 300 | 345 | 620 | 330 | 230 | | 165 | 65 | 12.1 | 10 |
| Aluminio | | | | | | | | | | |
| Aleación 1100-H14 (99% Al) | | | | | | | | | | |
| | 2 710 | 110 | | 70 | 95 | 55 | 70 | 26 | 23.6 | 9 |
| Aleación 2014-T6 | | | | | | | | | | |
| | 2 800 | 455 | | 275 | 400 | 230 | 75 | 27 | 23.0 | 13 |
| Aleación 2024-T4 | | | | | | | | | | |
| | 2 800 | 470 | | 280 | 325 | | 73 | | 23.2 | 19 |
| Aleación 5456-H116 | | | | | | | | | | |
| | 2 630 | 315 | | 185 | 230 | 130 | 72 | | 23.9 | 16 |
| Aleación 6061-T6 | | | | | | | | | | |
| | 2 710 | 260 | | 165 | 240 | 140 | 70 | 26 | 23.6 | 17 |
| Aleación 7075-T6 | | | | | | | | | | |
| | 2 800 | 570 | | 330 | 500 | | 72 | 28 | 23.6 | 11 |
| Cobre | | | | | | | | | | |
| Libre de oxígeno (99.9% Cu) | | | | | | | | | | |
| Recocido | 8 910 | 220 | | 150 | 70 | | 120 | 44 | 16.9 | 45 |
| Endurecido | 8 910 | 390 | | 200 | 265 | | 120 | 44 | 16.9 | 4 |
| Latón amarillo (65% Cu, 35% Zn) | | | | | | | | | | |
| Laminado en frío | 8 470 | 510 | | 300 | 410 | 250 | 105 | 39 | 20.9 | 8 |
| Recocido | 8 470 | 320 | | 220 | 100 | 60 | 105 | 39 | 20.9 | 65 |
| Latón rojo (85% Cu, 15% Zn) | | | | | | | | | | |
| Laminado en frío | 8 740 | 585 | | 320 | 435 | | 120 | 44 | 18.7 | 3 |
| Recocido | 8 740 | 270 | | 210 | 70 | | 120 | 44 | 18.7 | 48 |
| Estaño bronce (88 Cu, 8 Sn, 4 Zn) | | | | | | | | | | |
| | 8 800 | 310 | | | 145 | | 95 | | 18.0 | 30 |
| Manganeso bronce | | | | | | | | | | |
| | 8 360 | 655 | | | 330 | | 105 | | 21.6 | 20 |

Figura 30. Tabla de propiedades de materiales

| Material | Densidad, kg/m ³ | Resistencia última | | | Cedencia ^a | | Módulo de elasticidad, GPa | Módulo de rigidez, GPa | Coeficiente de expansión térmica, 10 ⁻⁶ /°C | Ductilidad, porcentaje de elongación en 50 mm |
|--|-----------------------------|--------------------|-----------------|----------------|-----------------------|----------------|----------------------------|------------------------|--|---|
| | | Tensión, MPa | Compresión, MPa | Corriente, MPa | Tensión, MPa | Corriente, MPa | | | | |
| Aleaciones de magnesio | | | | | | | | | | |
| AZ80 (Forjado) | 1 800 | 345 | | 160 | 250 | | 45 | 16 | 25.2 | 6 |
| AZ31 (Extrusión) | 1 770 | 255 | | 130 | 200 | | 45 | 16 | 25.2 | 12 |
| Titanio | | | | | | | | | | |
| Aleación (6% Al, 4% V) | 4 730 | 900 | | | 830 | | 115 | | 9.5 | 10 |
| Aleación monel 400(Ni-Cu) | | | | | | | | | | |
| En frío | 8 830 | 675 | | | 585 | 345 | 180 | | 13.9 | 22 |
| Recocida | 8 830 | 550 | | | 220 | 125 | 180 | | 13.9 | 46 |
| Cuproniquel (90% Cu, 10% Ni) | | | | | | | | | | |
| Recocido | 8 940 | 365 | | | 110 | | 140 | 52 | 17.1 | 35 |
| Trabajado en frío | 8 940 | 585 | | | 545 | | 140 | 52 | 17.1 | 3 |
| Madera^a secada al aire | | | | | | | | | | |
| Pino-Douglas | 470 | 100 | 50 | 7.6 | | | 13 | 0.7 | Varía | |
| Picea, Sitka | 415 | 60 | 39 | 7.6 | | | 10 | 0.5 | 3.0 a 4.5 | |
| Pino de hoja corta | 500 | | 50 | 9.7 | | | 12 | | | |
| Pino blanco | 390 | | 34 | 7.0 | | | 10 | | | |
| Pino Ponderosa | 415 | 55 | 36 | 7.6 | | | 9 | | | |
| Roble blanco | 690 | | 51 | 13.8 | | | 12 | | | |
| Roble rojo | 660 | | 47 | 12.4 | | | 12 | | | |
| Abeto occidental | 440 | 90 | 50 | 10.0 | | | 11 | | | |
| Nogal de corteza fibrosa | 720 | | 63 | 16.5 | | | 15 | | | |
| Secoya | 415 | 65 | 42 | 6.2 | | | 9 | | | |
| Concreto | | | | | | | | | | |
| Resistencia media | 2 320 | | 28 | | | | 25 | | 9.9 | |
| Alta resistencia | 2 320 | | 40 | | | | 30 | | 9.9 | |
| Plásticos | | | | | | | | | | |
| Nylon, tipo 66, (moldeado) | 1 140 | 75 | 95 | | 45 | | 2.8 | | 144 | 50 |
| Policarbonato | 1 200 | 65 | 85 | | 35 | | 2.4 | | 122 | 110 |
| Poliéster PBT (termoplástico) | 1 340 | 55 | 75 | | 55 | | 2.4 | | 135 | 150 |
| Poliéster elastomérico | 1 200 | 45 | | 40 | | | 0.2 | | | 500 |
| Poliestireno | 1 030 | 55 | 90 | | 55 | | 3.1 | | 125 | 2 |
| Vinilo, PVC rígido | 1 440 | 40 | 70 | | 45 | | 3.1 | | 135 | 40 |
| Caucho | 910 | 15 | | | | | | | 162 | 600 |
| Granito (promedio) | 2 770 | 20 | 240 | 35 | | | 70 | 4 | 7.2 | |
| Mármol (promedio) | 2 770 | 15 | 125 | 28 | | | 55 | 3 | 10.8 | |
| Arenisca (promedio) | 2 300 | 7 | 85 | 14 | | | 40 | 2 | 9.0 | |
| Cristal, 98% sílice | 2 190 | | 50 | | | | 65 | 4.1 | 80 | |

Figura 31. Segunda tabla de propiedades de los materiales

Ahora se especificarán las variables que se utilizarán para calcular el factor de seguridad y cómo será la ecuación que se aplicará.

FS= Factor de seguridad

σ_Y = Esfuerzo fluencia

σ_{VM} = Esfuerzo admisible

$$FS = \frac{\sigma_Y}{\sigma_{VM}}$$

A continuación, teniendo la ecuación de factor de seguridad y que se saben las propiedades de los materiales. Se calculará el factor de seguridad de la estructura del invernadero con una visualización real otorgada por el software Autodesk Inventor.

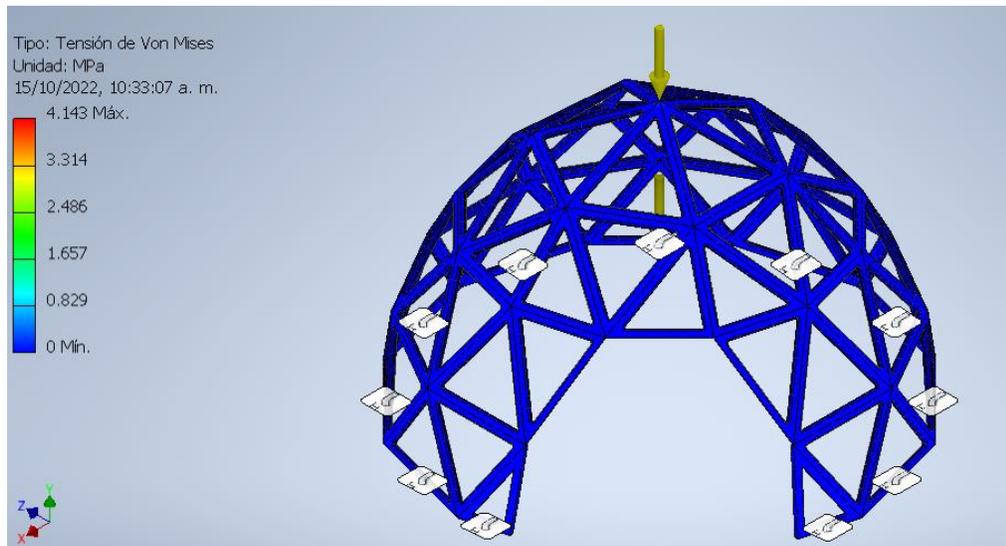


Figura 32. Esfuerzo admisible para la estructura del invernadero.

En la figura 30 se podrá visualizar los elementos fijos que fueron en la base del invernadero, las dos fuerzas que interactúan las cuales son: la fuerza de la gravedad de 9.8 m/s y la fuerza aplicada que fue de 1000 N. dado que se contempló el peso de una persona promedio situada en la parte superior del invernadero de esta manera el software nos entrega el esfuerzo admisible que fue de 4,143 MPa.

Sabiendo que el esfuerzo de fluencia del acero A-36 es de 250MPa se procederá a calcular el factor de seguridad de la estructura del invernadero.

$$Fs = \frac{250Mpa}{4,143Mpa} = 60,34 \quad (1)$$

El factor de seguridad fue de 60,34 lo cual nos puede afirmar que la estructura podrá soportar el peso de una persona promedio.

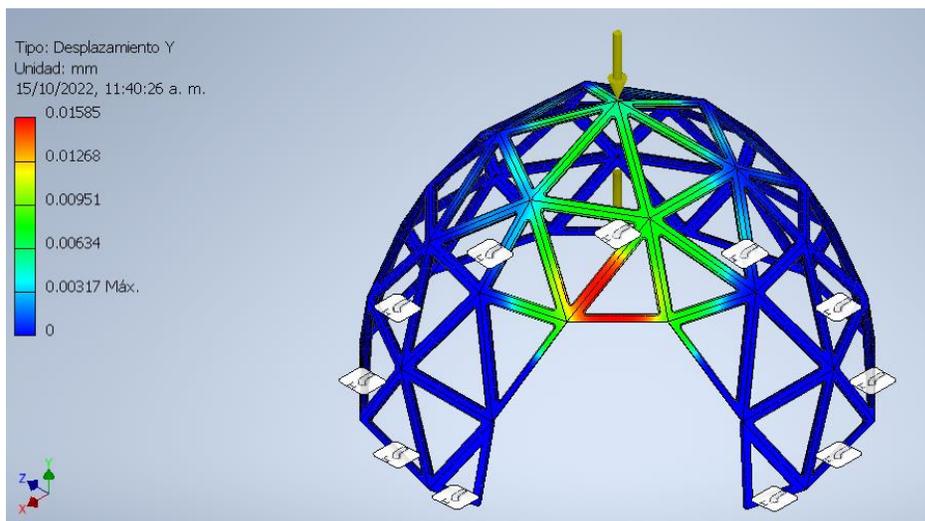


Figura 33. Deformación estructural

En la figura 33 se podrá visualizar un punto crítico de deformación con valor de 0,01585mm el cual es un valor imperceptible para el ojo humano y no presenta ningún inconveniente para los usuarios.

Ahora se calculará el factor de seguridad para las bases para maceta con la misma fuerza de 1000N dado que se contempló el peso de una persona promedio situada en la parte superior de las bancas. El material usado en esta ocasión es el policarbonato que tiene un esfuerzo de fluencia de 35 MPa.

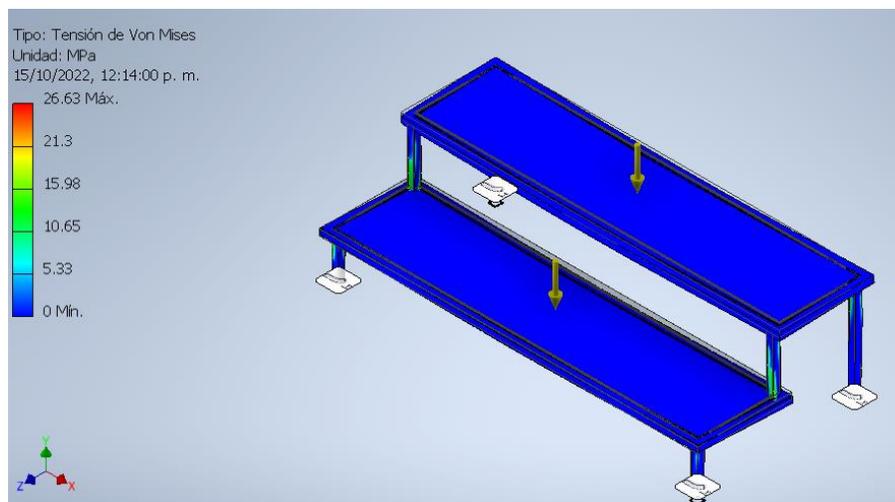


Figura 34. Esfuerzo admisible para la base para macetas.

En la presente figura se muestra que el efecto admisible de esta ocasión fue de 26,63 MPa ahora se procederá a calcular el factor de seguridad.

$$F_s = \frac{35\text{Mpa}}{26,63\text{Mpa}} = 1,31 \quad (2)$$

El factor de seguridad es de 1,31 el cual nos indica que soportar el peso de una persona promedio. Ahora se visualizará la deformación presentada en la parte superior de la base a ejercerse una fuerza de 1000N.

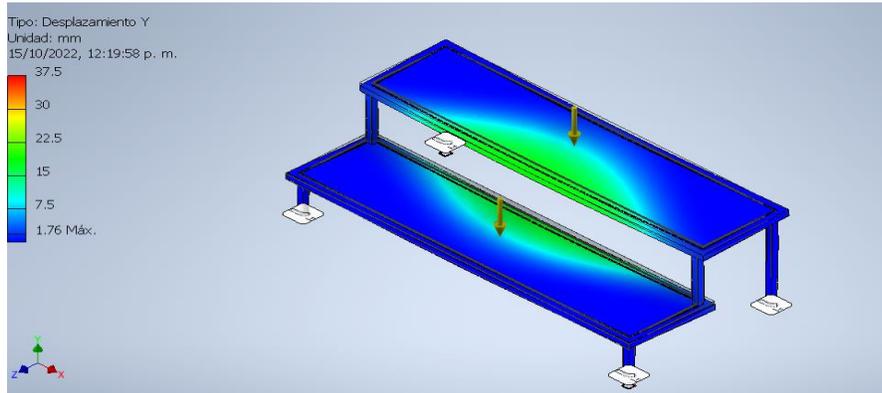


Figura 35. Deformación de la base para macetas.

La deformación en esta ocasión fue de 37,5mm el cual no presenta un inconveniente para el equipo de diseño.

Prototipo



Figura 36. Foto del prototipo número 1.



Figura 37. Foto del prototipo número 2.

El prototipo es la representación a escala del diseño seleccionado al cual cumple con las mismas características y factores que el modelo real.

Ergonomía

El diseño de invernadero solo traerá implícito la entrada y la salida de la instalación. Se puede considerar un trabajo que no necesita mucho vigor físico y se puede realizar en el espacio limitado que provee el invernadero.

Los movimientos mencionados se presentarán a continuación:

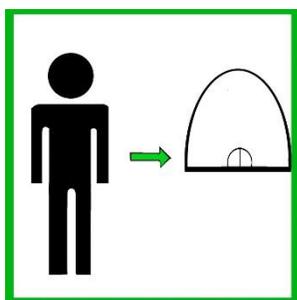


Figura 38. Entrada del invernadero

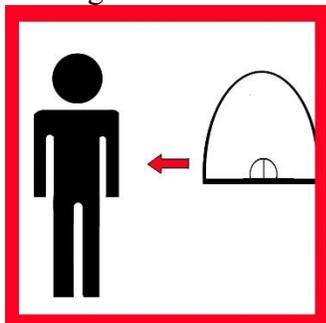


Figura 39. Salida del invernadero

Capítulo 5**Resultados**

Se puede mencionar como resultados la creación real del diseño seleccionado el cual cumple con la forma circular y en su estructura presenta las formas triangulares en el cual son requeridas para un invernadero tipo domo geodésico. Los materiales utilizados para la construcción de los elementos que conforman el invernadero fueron: Acero A-36, policarbonato y polietileno. Este invernadero está preparado para iniciar los procesos de automatización.

A continuación, se presentará la tabla de costos requerida para la construcción del invernadero
Tabla 28

Tabla de costos

| Materiales | Costos |
|---|-------------------------|
| Tubo acero A-36 ¾" x6 m (Homecenter , s.f.) | \$ 689.150 COP |
| Lamina de policarbonato 120x180cm (Homcenter , s.f.) | \$ 485.700COP |
| Tubo cuadrado de acero A-36 ¾"x ¾"x1.1 mm (Homecenter , s.f.) | \$ 28.200 COP |
| Rollo de Polietileno 1x10m (Homecenter , s.f.) | \$ 75.800 COP |
| Tornillos de ¼" (Homecenter, s.f.) | \$ 291.000 COP |
| Tuercas y arandelas de ¼" (Homecenter , s.f.) | \$ 64.800 COP |
| Mano de obra | \$ 3.500.000 COP |
| Total | \$ 5.131.650 COP |

Nota: todos los costos de materiales están basados a las cantidades que se usaran para la respectiva construcción del invernadero.



Figura 40. Invernadero

La implementación y creación de este invernadero representa unas condiciones satisfactorias para el equipo de diseño en la creación de micro climas internos para poder mejorar de manera eficaz los procesos productivos en un ambiente seguro y sin percances, brindando un ambiente seguro y próximamente controlado. El invernadero cumple con todos los principios de funcionamiento y parámetros estipulados por el equipo de diseño.

Conclusiones

- Esta tesis tuvo como objetivo general el diseñar un prototipo de invernadero que mejore de manera eficaz los procesos de producción de vegetales bajo techo. En el cual se construyó un modelo a escala y un modelo real que cumple todas las especificaciones técnicas para un invernadero tipo domo geodésico. Esta construcción se realizó después de la validación en los procesos estipulados de la metodología en V. Este modelo tendrá la capacidad de admitir distintos sistemas de control para brindar un mejoramiento en la producción de vegetales bajo techo.
- A través de una serie de matrices comparativas, en las cuales se presentan las ventajas y desventajas de los invernaderos tipo: Túnel, capilla, dientes de sierra, capilla modificado, techumbre curva, parral, venlo holandés y domo geodésico. Se realizó un proceso de selección junto al equipo de diseño el cual tuvo como resultado que el invernadero tipo domo geodésico fue el seleccionado para el desarrollo de esta tesis. Después de una serie de entrevistas se pudieron estipular los requerimientos del cliente en el cual el invernadero seleccionado paso por una serie de procesos evaluativos en el cual se

sometió el invernadero seleccionado para verificar el cumplimiento a los requerimientos estipulados.

- Mediante el desarrollo de la metodología en V. se realizó el cumplimiento y validación de cada uno de los procesos estipulados en esta metodología. En el cual se abarco un diseño detallado para la creación de conceptos para un invernadero tipo domo geodésico en el que se implementaron varias matrices para poder validar cada uno de estos conceptos teniendo como resultado que el concepto numero 3 fue el diseño seleccionado para ser el producto final para la metodología.
- Se construyó un prototipo de invernadero tipo domo geodésico, teniendo características idénticas a su modelamiento real. Esta construcción se realizó después de un modelamiento en 3D hecho en el software Autodesk Inventor, en el cual se realizaron pruebas de fuerza y deformación para poder validar sus procedimientos de funcionamiento y operación. Este invernadero está listo para realizar su respectiva automatización.

Sugerencias

- El diseño de invernadero tipo domo geodésico estipulado por el equipo de diseño. Presenta altos índices de condensación y filtración de agua, después de días de fuertes lluvias. Esto significa que se debe mejorar el sistema de ventilación del invernadero para que no se presenten problemáticas en los sistemas de climatización cuando se realice el proceso de nivelación de temperatura.
- Es recomendable el invernadero tipo capilla para la realización de una alta producción en cultivos ya que presenta mejores condiciones técnicas para los grandes productores. A diferencia del invernadero tipo domo geodésico el cual se recomienda para procesos productivos de bajo nivel y ciclos cortos de cultivos. Sin embargo, ambos invernaderos ofrecerán resultados muy satisfactorios y unos altos índices productivos.

Bibliografía

- S&P.* (20 de 08 de 2018). Obtenido de <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas-ventilacion/#:~:text=Podr%C3%ADamos%20definir%20sistema%20de%20ventilaci%C3%B3n,por%20un%20sistema%20de%20ventilaci%C3%B3n>.
- ¿Que es el desarrollo sostenible?* (s.f.). Obtenido de ¡Cuidemos el planeta!: <https://cuidemoselplaneta.org/desarrollo-sostenible/>

¿Que es un invernadero? (s.f.). Obtenido de Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo.:

https://www.insst.es/-/que-es-un-invernadero-1?_com_liferay_asset_publisher_web_portlet_AssetPublisherPortlet_INSTANCE_B6mHpYP2ndAc_viewSingleAsset=true

Agropinos . (13 de 05 de 2021). Obtenido de Materiales de cubierta para invernadero:

<https://www.agropinos.com/blog/materiales-de-cubierta-para-invernadero>

Aquiasistemas . (01 de 03 de 2017). Obtenido de Sistemas de riego ¿Cómo funcionan? ¿Cuáles existen?: <https://aquasistemas.com.gt/sistemas-de-riego-como-funcionan-cuales-existen/>

Arkiplus . (s.f.). Obtenido de Tipos de invernadero : <https://www.arkiplus.com/tipos-de-invernaderos/>

Beer, Russell. Wolf. Mazurek, F. J. (2010). *Mecánica de materiales* (5 ed.). Ciudad de México, México: Mc graw hill.

Beleño, I. (27 de 03 de 2018). *En el sector agrícola se pierden 6 millones de toneladas de aliemento al año* . Obtenido de En el sector agrícola se pierden 6 millones de toneladas de aliemento al año :

<https://www.agronegocios.co/agricultura/en-el-sector-agricola-se-pierden-6-millones-de-toneladas-de-alimentos-al-ano-2706145#:~:text=La%20p%C3%A9rdida%20de%20alimentos%20es,58%25%20de%20los%20alimentos%20disponibles.>

Bembibre, V. (01 de 2009). *Definición de cultivo* . Obtenido de DefiniciónABC:

<https://definicionabc.com/cultivo/>

Cera, C. (26 de 3 de 2021). *¿Es el ciclo en V adecuado para la gestión de tu proyecto?* Obtenido de appvizer:

<https://www.appvizer.es/revista/organizacion-planificacion/gestion-proyectos/ciclo-en-v>

Constitución política de colombia . ((1991)). Obtenido de

<https://pdba.georgetown.edu/Constitutions/Colombia/colombia91.pdf>

Construvernaderos. (s.f.). Obtenido de Construvernaderos:

<http://www.construvernaderos.com/nosotros/>

Correa, É. (25 de 03 de 2020). *La hora de las hortalizas* . Obtenido de Agronegocios :

<https://www.agronegocios.co/analisis/ender-correa-2982797/la-hora-de-las-hortalizas-2982626>

- Cruz, W. (28 de 4 de 2011). *Diseño basico de moldes para producción de panela Mezclada con granos y cereal*. Obtenido de Diseño basico de moldes para producción de panela Mezclada con granos y cereal.
- Dc-port.* (s.f.). Obtenido de Integracion de diseño: <https://www.dc-port.com/integracion#:~:text=La%20integraci%C3%B3n%20de%20dise%C3%B1os%20se,tipos%20de%20dise%C3%B1os%20que%20lo>
- Echeverry, C. C. (2011). Fabricación de tubería con costura. *Trabajo de grado* . Universidad EAFIT , Medellín .
- Eos data analytics.* (11 de 09 de 2020). Obtenido de Tipos de cultivos agrícolas: Maximizando Su Rendimiento: <https://eos.com/es/blog/tipos-de-cultivos-agricolas/>
- Eppinger y Ulrich, K. T. (2009). *Diseño y desarrollo de productos*. Monterrey, México : Mc graw hill education.
- Formas electricas.* (s.f.). Obtenido de Tubo EMT de 3/4 x 3Mts: <https://formaselectricas.com/producto/tubo-metalico-emt-de-3-4-x-3mts/>
- Fundamentals of the V-Modell.* (s.f.). Obtenido de V-Modell® XT: <http://ftp.uni-kl.de/pub/v-modell-xt/Release-1.1-eng/Dokumentation/pdf/V-Modell-XT-eng-Teil1.pdf>
- Glouri. (s.f.). *Glouri*. Obtenido de Tipos de invernadero: <http://glouri.com.mx/tipos-de-inverdaderos.html>
- Gobierno de México* . (24 de 10 de 2016). Obtenido de Tipos de cultivo, estacionalidad y ciclos: <https://www.gob.mx/agricultura/es/articulos/tipos-de-cultivo-estacionalidad-y-ciclos>
- Guerrero y Velázquez, J. F. (2015). Diseño de un sistema de ventilación forzada para un invernadero cenital usando CFD. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6, 14.
- Guerrero, P. (9 de 03 de 2012). *Microclima*. Obtenido de La guía: <https://geografia.laguia2000.com/general/microclima>
- Historia de los invernaderos* . (7 de 10 de 2021). Obtenido de Agropinos : <https://www.agropinos.com/blog/historia-del-invernadero-para-cultivos>
- Homcenter* . (s.f.). Obtenido de Lamina Division 120x180cm gaviotas cristal: <https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/257615/lamina-division-120x180cm-gaviotas-cristal/257615/?kid=bnext1031757&shop=googleShopping&glid=CjwKCAjw7p6aBh>

BiEiwA83fGumMFlqf3HTRq0F-

UNdb8yWURFgSa7Z56k0G6izYpWO08lJxPZEFIEhoCuogQAvD_BwE

Homecenter. (s.f.). Obtenido de Tornillo Hexagonal 1/4X2 Arandela y Tuerca 2un:
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/74458/tornillo-hexagonal-1-4x2-arandela-y-tuerca-2un/74458/>

Homecenter . (s.f.). Obtenido de Tubo Cerramiento Galvanizado 3/4pg x 1.5mm x 6m:
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/28854/tubo-cerramiento-galvanizado-3-4pg-x-15mm-x-6m/28854/>

Homecenter . (s.f.). Obtenido de Tubo Cuadrado 3/4 x 3/4pg x 1.1mm C18 x 6m:
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/183861/tubo-cuadrado-3-4-x-3-4pg-x-11mm-c18-x-6m/183861/?cid=UpProductPDPdy#Similares>

Homecenter . (s.f.). Obtenido de Tubo Cuadrado 3/4 x 3/4pg x 1.1mm C18 x 6m:
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/183861/tubo-cuadrado-3-4-x-3-4pg-x-11mm-c18-x-6m/183861/?cid=UpProductPDPdy#Similares>

Homecenter . (s.f.). Obtenido de Agrolene uv 1 metros x 10 metros ancho cal 7 invernadero:
<https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/142932/agrolene-uv-1-metros-x-10-metros-ancho-cal-7-invernadero/142932/>

Homecenter . (s.f.). Obtenido de Tuerca Hexagonal y Arandela Plana 1/4 10un:
https://www.homecenter.com.co/homecenter-co/product/113973/tuerca-hexagonal-y-arandela-plana-1-4-10un/113973/?kid=bnnext1031763&shop=googleShopping&gclid=CjwKCAjw7p6aBhBiEiwA83fGuiaw5s3mvRQ2ULqRGhUGDnjqf4VW7KX5Lpeqt1gug7uzVNTPgC_UYBoCvwoQAvD_BwE

hortícola, P. (s.f.). *Produccion hortícola*. Obtenido de Tipos de invernadero:
https://www.agrobit.com/Documentos/I_1_Alternat/AL_000010ho.htm#1-Invernadero%20T%C3%BAnel:

Huenchuman, R. A. (s.f.). *Estudio técnico en construcción de domo geodésico para cafeteria*.
 Obtenido de <https://repositorio.usm.cl/bitstream/handle/11673/48864/3560901064886UTFSM.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

- Impoinox*. (s.f.). Obtenido de Tubo acero redondo 3/4" CAL 16 X 6 M G180 SS 304:
<https://impoinox.com/tuberia-redonda-inox/135-tubo-rd-3-4-cal-16-x-6-m-g180-ss-304.html>
- Insst*. (s.f.). Obtenido de Instituto nacional de seguridad y salud en el trabajo : <https://www.insst.es/-/que-es-un-ep-2>
- International standard*. ((1987)). Obtenido de <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/16533/f79b6c973bd74c76819d0419a5078961/ISO-9001-1987.pdf>
- Invernadero túnel* . (s.f.). Obtenido de Novagric: <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-tunel>
- Invernadero: ¿Qué es? tipos, y materiales empleados*. (s.f.). Obtenido de <https://nuestraflora.com/c-complementos/invernadero/>
- Invernaderos* . (s.f.). Obtenido de <https://solucioneshumanoambientales.jimdofree.com/invernaderos/>
- Invernaderos capilla* . (s.f.). Obtenido de Novagric: <https://www.novagric.com/es/venta-invernaderos-novedades/tipos-de-invernaderos/invernadero-capilla>
- La automatización*. (110 de 05 de 2022). Obtenido de Red Hat: <https://www.redhat.com/es/topics/automation#:~:text=La%20automatizaci%C3%B3n%20consiste%20en%20usar,lleven%20a%20cabo%20tarear%20repetitivas.>
- Ley 101* . (23 de 12 de (1993)). Obtenido de <https://www.minagricultura.gov.co/Normatividad/Leyes/Ley%20101%20de%201993.pdf>
- Ley 23* . ((1973)). Obtenido de <https://www.minambiente.gov.co/wp-content/uploads/2021/08/ley-23-1973.pdf>
- Ley 9* . (16 de 07 de (1979)). Obtenido de https://www.minsalud.gov.co/Normatividad_Nuevo/LEY%200009%20DE%201979.pdf
- Mayén, C. (28 de 08 de 2020). *Arquitectura modular* . Obtenido de Jgarqs: <https://www.jgarqs.com/blog/2020/8/28/arquitectura-modular>
- Mercado libre* . (s.f.). Obtenido de Malla Antitrips Para Cultivos X 4mts Ancho X 50 Mts Largo.: <https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-917552126-malla-antitrips-para-cultivos-x-4mts-ancho-x-50-mts-largo->

- _JM#position=1&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=e49405e5-c94d-4aac-8f6d-2068e785bee6#position=1&search_layout=stack&type=pad&tracking_id=e
- Merino y Porto, J. P. (2010). *Definición de vegetal*. Obtenido de Definicion: <https://definicion.de/vegetal/>
- Monserrath, C. O. (2021). Diseño de invernaderos en terrazas para reducir las emisiones de CO2 en la Zona 9 del Ecuador. *Tesis de grado*. Universidad Central del Ecuador , Quito.
- Morales, F. C. (1 de 08 de 2021). *Agricultura*. Obtenido de Economipedia : <https://economipedia.com/definiciones/agricultura.html>
- Mundoinvernaderos* . (s.f.). Obtenido de Mundoinvernaderos: <https://www.mundoinvernaderos.com/sobre-nosotros>
- Mygeodome. (08 de 04 de 2021). *El Domo Geodesico invernadero: 6 ventajas sobre un invernadero tradicional*. Obtenido de My geodome: https://mygeodome.com/domo-geodesico-invernadero/#Ventajas_de_un_invernadero_de_cupula_en_comparacion_con_un_invernadero_tradicional
- Nivel tecnológico y desarrollo de los invernaderos en Colombia*. (11 de 11 de 2020). Obtenido de Redagícola: <https://www.redagricola.com/co/nivel-tecnologico-y-desarrollo-de-los-invernaderos-en-colombia/>
- Orozco y Alarcón, J. E. (24 de 04 de 2017). Invernadero de riego y temperatura controlado. (*Tesis de grado*). Fundación Universitaria los libertadores, Bogotá D.C.
- Portafolio* . (13 de 12 de 2021). Obtenido de <https://www.portafolio.co/economia/finanzas/por-sequias-el-pais-perderia-anualmente-22-mil-millones-559547>
- Porto y Gardey, J. P. (2021). *Definicion de estructura* . Obtenido de definición: <https://definicion.de/estructura/>
- Porto y Merino, J. P. (s.f.). *Maceta* . Obtenido de Definicion : <https://definicion.de/maceta/>
- Precios mayoristas de los alimentos en la central de abastos de Bogotá*. (s.f.). Obtenido de Agricultura y ganaderia : <https://www.agriculturayganaderia.com/website/precios-mayoristas-de-los-alimentos-en-la-central-de-abastos-de-bogota-164/#:~:text=Remolacha%20bulto%20de%2050%20kilos,50%20kilos%20%24180.000%20pas%C3%B3%20%24230.000.>

- Pulgar, J. A. (2021). Sistema para el manejo de datos climáticos de pequeñas producciones agrícolas bajo invernadero: un acercamiento a la agricultura inteligente. (*Trabajo de maestría*). Universidad Nacional de Colombia, Bogotá D.C.
- Qué es el diseño* . (s.f.). Obtenido de Significados : <https://www.significados.com/disenio/>
- Que son los invernaderos* . (s.f.). Obtenido de Arquigrafico: <https://arquigrafico.com/que-son-los-invernaderos/>
- Rodrigo. (10 de 06 de 2015). *¿que son los invernaderos?* Obtenido de Invernaderos: <https://invernaderoscultivar.blogspot.com/>
- Rodríguez Ramírez Felipe, G. O. (s.f.). Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la l. *Revista del Desarrollo Tecnológico*.
- Rodríguez Ramírez García Ortega Antonieta y Juárez Mendoza, F. I. (2017). Análisis, diseño e implementación de un invernadero automatizado para la producción de fresa en Tehuacán. *Revista del Desarrollo Tecnológico*, 1(3), 66.
- Ruiz, A. (30 de 04 de 2019). *Los sistemas de climatización* . Obtenido de <https://www.alvaroruizarquitectura.com/los-sistemas-de-climatizacion-aire-acondicionado-sistema-aire-aire-n-35-es>
- Significado de sistema* . (s.f.). Obtenido de Significados : <https://www.significados.com/sistema/>
- Tecnologías relacionadas con invernaderos para flores* . (2014). Industria y comercio SUPERINTENDENCIA .
- Tipos de invernadero* . (s.f.). Obtenido de Tipos de invernaderos : <file:///C:/Users/ACER/Downloads/CP-Tipos%20de%20Invernaderos.pdf>
- Todo polimeros*. (s.f.). Obtenido de Proceso de extrusión : <https://todoenpolimeros.com/procesos-de-extrusion/>
- Turck, F. (16 de 06 de 2020). *The V-Model in Software Testing*. Obtenido de Qt group : <https://www.qt.io/blog/quality-assurance/the-v-model-in-software-testing>
- Universidad Veracruzana*. (s.f.). Obtenido de Tipos de investigación : <https://www.uv.mx/apps/bdh/investigacion/unidad1/investigacion-tipos.html>
- Valensi, S. (s.f.). *Azrom*. Obtenido de <https://azrom.com/technology-highlights/ventilation-in-greenhouses/>
- Wikipedia* . (s.f.). Obtenido de Banco(mueble) : [https://es.wikipedia.org/wiki/Banco_\(mueble\)](https://es.wikipedia.org/wiki/Banco_(mueble))

Anexos

A continuación, se presentará una serie de anexos que conformaron parte del desarrollo fundamental del proyecto, en este apartado se presentará de manera explícita y detallada varios de los procesos que podrá ser revisado en cualquier instante para una mejor comprensión.

Matrices de selección de invernadero

| Invernadero Túnel | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 | |
| Versalidad | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | |
| Factor economico | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | |
| Trasmision de luz solar uniforme | 5 | 5 | 3 | 3 | 4 | |
| Resiste y duracion estructural | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | | | | | | |
| Ventilacion | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 5 | 4 | 3 | 3 | 2 | |
| Adaptacion a sistemas de control | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | |
| | 5 | 4 | 5 | 4 | 4 | |
| Total | 34 | 33 | 28 | 29 | 28 | 152 |

Figura 41. Matriz de selección: invernadero tipo túnel.

| Invernadero capilla | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 | |
| Versalidad | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Factor economico | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | |
| Trasmision de luz solar uniforme | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 | |
| Resiste y duracion estructural | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | | | | | | |
| Ventilacion | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 | |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Adaptacion a sistemas de control | 3 | 4 | 3 | 3 | 5 | |
| | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 | |
| Total | 26 | 25 | 24 | 26 | 28 | 129 |

Figura 42. Matriz de selección: invernadero tipo capilla.

| Invernadero dientes de sierra | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 | |
| Versalidad | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | |
| Factor economico | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 | |
| Trasmision de luz solar uniforme | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | |
| Resiste y duracion estructural | 5 | 2 | 3 | 3 | 3 | |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | | | | | | |
| Ventilacion | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 | |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 3 | 4 | 3 | 4 | 5 | |
| Adaptacion a sistemas de control | 3 | 2 | 3 | 2 | 2 | |
| | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | |
| Total | 26 | 24 | 24 | 24 | 26 | 124 |

Figura 43. Matriz de selección: invernadero tipo dientes de sierra.

| Invernadero Tipo capilla modificado | | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 | |
| Versalidad | 3 | 3 | 3 | 4 | 3 | |
| Factor economico | 5 | 3 | 5 | 4 | 2 | |
| Trasmision de luz solar uniforme | 3 | 4 | 3 | 4 | 3 | |
| Resiste y duracion estructural | 3 | 4 | 3 | 4 | 4 | |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | | | | | | |
| Ventilacion | 5 | 4 | 3 | 4 | 5 | |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 | |
| Adaptacion a sistemas de control | 5 | 4 | 3 | 4 | 3 | |
| | 3 | 5 | 3 | 4 | 3 | |
| Total | 30 | 31 | 26 | 30 | 28 | 145 |

Figura 44. Matriz de selección: invernadero tipo capilla modificado.

| Invernadero techumbre curva | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 |
| Versalidad | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Factor economico | 3 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Trasmision de luz solar uniforme | 3 | 5 | 1 | 3 | 4 |
| Resiste y duracion estructural | 5 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | 3 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| Ventilacion | 3 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 1 | 1 | 3 | 3 | 2 |
| Adaptacion a sistemas de control | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Total | 24 | 21 | 24 | 24 | 24 |

Figura 45. Matriz de selección: invernadero tipo techumbre curva.

| Invernadero tipo parral | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 |
| Versalidad | 3 | 2 | 3 | 3 | 2 |
| Factor economico | 3 | 2 | 1 | 2 | 2 |
| Trasmision de luz solar uniforme | 3 | 2 | 1 | 1 | 4 |
| Resiste y duracion estructural | 3 | 3 | 3 | 3 | 2 |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | 1 | 1 | 3 | 2 | 2 |
| Ventilacion | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 1 | 1 | 3 | 2 | 1 |
| Adaptacion a sistemas de control | 3 | 4 | 3 | 3 | 2 |
| Total | 18 | 16 | 20 | 18 | 16 |

Figura 46. Matriz de selección: invernadero tipo parral.

| Invernadero tipo venlo (holandés) | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 |
| Versalidad | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Factor economico | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Trasmision de luz solar uniforme | 3 | 4 | 3 | 3 | 4 |
| Resiste y duracion estructural | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | 3 | 2 | 3 | 3 | 4 |
| Ventilacion | 3 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 1 | 2 | 3 | 2 | 4 |
| Adaptacion a sistemas de control | 4 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| Total | 21 | 19 | 22 | 21 | 29 |

Figura 47. Matriz de selección: invernadero tipo venlo (holandés).

| Invernadero tipo Domo Geodésico | | | | | |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| CARACTERISTICAS | Diseñador 1 | Diseñador 2 | Diseñador 3 | Diseñador 4 | Diseñador 5 |
| Versalidad | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| Factor economico | 4 | 3 | 3 | 4 | 5 |
| Trasmision de luz solar uniforme | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Resiste y duracion estructural | 5 | 4 | 5 | 5 | 4 |
| Facilidad en implementacion de sistemas de climatización. | 5 | 5 | 5 | 5 | 4 |
| Ventilacion | 5 | 3 | 5 | 4 | 3 |
| Condensacion de humedad y reducion goteo de agua | 5 | 5 | 5 | 5 | 3 |
| Adaptacion a sistemas de control | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Total | 39 | 34 | 38 | 38 | 33 |

Figura 48. Matriz de selección: invernadero tipo domo geodésico.

Teniendo como resultado observado de este proceso, que el concepto con mayor puntaje para los diseñadores fue el del invernadero tipo domo geodésico, al cual cumple con la mayoría de los requerimientos del cliente, siendo así el diseño seleccionado para la implementación del proyecto.