

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
INGENIERÍA ELECTRÓNICA**

Trabajo de titulación previo a la obtención del título de:

INGENIEROS ELECTRÓNICOS

**TEMA:
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN MÓDULO ELECTRÓNICO PARA
LA AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO COMUNITARIO DE
PRODUCCIÓN DE HORTALIZAS Y LEGUMBRES**

**AUTORES:
JAIME ERNESTO CHAFLA RUIZ
DIEGO JAVIER MONTA GUATAPI**

**TUTOR:
HAMILTON LEONARDO NUÑEZ VERDEZOTO**

Quito, febrero de 2016

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, Jaime Ernesto Chafra Ruiz y Diego Javier Monta Guatapi con documentos de identificación N° 0603788803 y N° 1500696354 respectivamente, manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del trabajo de grado/titulación intitulado: Diseño e implementación de un módulo electrónico para la automatización de un invernadero comunitario de producción de hortalizas y legumbres, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero Electrónico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.



Nombre: Jaime Ernesto Chafra Ruiz

Cédula: 0603788803

Fecha: febrero de 2016

,



Nombre: Diego Javier Monta Guatapi

Cédula: 1500696354

Fecha: febrero de 2016

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo, declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el trabajo de titulación Diseño e implementación de un módulo electrónico para la automatización de un invernadero comunitario de producción de hortalizas y legumbres realizado por Jaime Ernesto Chafra Ruiz y Diego Javier Monta Guatapi, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana para ser considerados como trabajo final de titulación.

Quito, febrero del 2016

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, cursive letters that appear to be 'H. L. V.' followed by a flourish.

Hamilton Leonardo Núñez Verdezoto

Cédula de identidad: 1712981487

DEDICATORIA

En primer lugar a Dios por guiar mi camino, mis padres, Jaime y Aurora quienes han sido el pilar fundamental a lo largo de mi vida quienes me han apoyado para cumplir con una meta más. A mis hermanos Mayra, Sandra, Paul y Micaela por su apoyo y comprensión durante esta etapa.

Jaime.

Dedico el presente proyecto en primer lugar a Dios por la fortaleza física y espiritual y ser mi guía en todo momento. A mi familia en especial a mis padres José y Aída, por su apoyo incondicional y paciencia. A mis hermanos Santiago y José y demás familiares, por el apoyo que me brindaron durante el transcurrir de mi vida universitaria.

Diego.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Politécnica Salesiana por inculcar en nosotros una educación basada en valores, a nuestros padres por esforzarse tanto para brindarnos los recursos necesarios para terminar nuestra etapa universitaria. A nuestros catedráticos a quienes les debemos gran parte de los conocimientos adquiridos, gracias por su paciencia y enseñanza.

Un agradecimiento especial al Ing. Hamilton Núñez por su ayuda durante el desarrollo de este proyecto.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1	2
ANTECEDENTES	2
1.1. Justificación.....	2
1.2. Planteamiento del problema	3
1.3. Tema del proyecto	4
1.4. Objetivos	4
1.4.1. Objetivo General.	4
1.4.2. Objetivos Específicos.	4
1.5. Beneficiarios	4
CAPÍTULO 2	5
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.1. Definición de invernadero.	5
2.2. Estructura de un invernadero	5
2.3. Dimensiones del invernadero.	6
2.3.1. Humedad del invernadero	6
2.3.2. Temperatura del invernadero	6
2.4. Sistema de riego.	7
2.4.1. Tipos de sistemas de riego	7
2.5. Cultivo de hortalizas	8
2.6. Cultivo de legumbres.....	9
2.7. Ingeniería Concurrente.	10
2.8. Definición de QDF	10
2.9. Desarrollo de la función de calidad, QDF.....	11
2.10. La casa de la calidad.	11
2.10.1. Paso 1. La voz del usuario.	12
2.10.2. Paso 2. Análisis de la competencia.	12
2.10.3. Paso 3. La voz del Ingeniero.	13
2.10.4. Paso 4. Correlaciones.	13
2.10.5. Paso 5. Evaluación y Técnica.	13
2.10.6. Paso 6. Compromisos Técnicos.....	13

2.11.	Encontrar alternativas	14
2.12.	Como se selecciona la mejor solución.	15
2.13.	Análisis de la mejor alternativa.....	16
2.14.	Materiales y costos.....	16
2.15.	Prototipo.....	16
CAPÍTULO 3		17
DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN		17
3.1.	Desarrollo de la casa de la calidad.	17
3.1.1.	Tabulación de los resultados de la encuesta.	17
3.1.2.	Histograma de Frecuencias	19
3.2.	Análisis de la competencia.	25
3.3.	Análisis de la casa de la calidad	27
3.3.1.	Especificaciones técnicas de la máquina.....	28
3.3.2.	Incidencia y correlaciones	28
3.4.	Análisis funcional.....	29
3.4.1.	Generación del módulo	29
3.5.	Generar alternativas de solución	30
3.5.1.	Módulo 1.	30
3.5.2.	Ventajas y desventajas de cada alternativa para el módulo 1.	31
3.5.3.	Selección de la alternativa módulo 1:	35
3.6.	Generación de la primera solución	36
3.6.1.	Análisis del Módulo 1.	37
3.6.2.	Modelo Virtual 1.	38
3.6.3.	Discusión y revisión de la primera solución.	38
3.7.	Planos del módulo electrónico.....	39
3.8.	Características del prototipo.	43
3.9.	Diagramas electrónicos del módulo.	43
3.10.	Diseño del software del módulo.	46
3.10.1.	Pantalla HMI	46
3.11.	Aplicación práctica del prototipo.	50
3.12.	Diagrama de instrumentación y tuberías.....	50
CAPÍTULO 4		52
ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		52
4.1.	Transmisión de los datos de los sensores al módulo	52

4.1.1.	Transmisión de los datos de los sensores de humedad.....	52
4.1.2.	Transmisión de los datos de los sensores de temperatura.	53
4.2.	Comprobación del funcionamiento de actuadores.	54
4.2.1.	Funcionamiento del Sistema de Riego.	54
4.2.2.	Funcionamiento del sistema de enfriamiento.	55
4.3.	Graficas de respuesta de los sensores.	56
4.4.	Análisis costo beneficio de la automatización del invernadero.	57
4.5.	Procedimiento para utilización del módulo en el cultivo de hortalizas y legumbres.	62
CONCLUSIONES.		64
RECOMENDACIONES.		66
REFERENCIAS		67

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de un invernadero tipo capilla	5
Figura 2. Sistema de riego	7
Figura 3. Aspersor de plástico	7
Figura 4. Gotero para cultivos	8
Figura 5. Manguera para riego	8
Figura 6. Ejemplos de Hortalizas	9
Figura 7. Ejemplos de Legumbres.....	10
Figura 8. Esquema general del desarrollo de la función de calidad	11
Figura 9. Pasos para el desarrollo de la Casa de la Calidad	12
Figura 10. Ejemplo de Esquema modular	14
Figura 11. Gráfico de la Pregunta 1	19
Figura 12. Gráfico de la Pregunta 2	19
Figura 13. Gráfico de la pregunta 3.....	19
Figura 14. Gráfico de la pregunta 4.....	20
Figura 15. Gráfico de la pregunta 5.....	20
Figura 16. Gráfico de la pregunta 6.....	20
Figura 17. Gráfico de la pregunta 7.....	21
Figura 18. Gráfico de la pregunta 8.....	21
Figura 19. Gráfico de la pregunta 9.....	21
Figura 20. Gráfico de la pregunta 10.....	22
Figura 21. Gráfico de la pregunta 11	22
Figura 22. Gráfico de la pregunta 12.....	22
Figura 23. Gráfico de la pregunta 13.....	23
Figura 24. Gráfico de la pregunta 14.....	23
Figura 25. Gráfico de la pregunta 15.....	23
Figura 26. Gráfico de la pregunta 16.....	24
Figura 27. Gráfico de la pregunta 17.....	24
Figura 28. Casa de la Calidad aplicada al módulo para el control del invernadero ...	27
Figura 29. Esquema modular del prototipo	30
Figura 30. Caja elaborada de Acrílico.....	31
Figura 31. Caja elaborada de lata	31
Figura 32. Caja de elaborada de aluminio y madera	32

Figura 33. Pantalla táctil Glcd	32
Figura 34. Pantalla Touch	33
Figura 35. Pantalla HMI	33
Figura 36. Microcontrolador	34
Figura 37. Arduino	34
Figura 38. PLC	35
Figura 39. Modelo virtual para el prototipo alternativa 2	38
Figura 40. Medidas de la tapa del prototipo	39
Figura 41. Medidas de la parte posterior del prototipo	40
Figura 42. Medidas del frente del prototipo	40
Figura 43. Medidas del lado derecho del prototipo	41
Figura 44. Medidas del lado izquierdo del prototipo	41
Figura 45. Medidas de la base del prototipo	42
Figura 46. Elementos que componen el prototipo	42
Figura 47. Diagrama electrónico de la fuente y el dispositivo inalámbrico	44
Figura 48. Diagrama electrónico de las salidas tipo relé	44
Figura 49. Diagrama electrónico para la transmisión de la humedad del suelo	45
Figura 50. Diagrama electrónico para la transmisión de la temperatura	45
Figura 51. Diagrama de flujo del controlador Arduino	46
Figura 52. Pantalla de Inicio de la aplicación	47
Figura 53. Diagrama de flujo de la pantalla de inicio	47
Figura 54. Descripción de los botones de la pantalla de proceso	48
Figura 55. Flujoograma del funcionamiento de la pantalla de proceso	49
Figura 56. Ubicación de los sensores y el prototipo	50
Figura 57. Recorrido de las tuberías y ubicación de elementos	51
Figura 58. Instalación del módulo electrónico en el invernadero	52
Figura 59. Instalación del sensor de humedad	53
Figura 60. Lectura de datos del sensor de humedad	53
Figura 61. Instalación del sensor de Temperatura	54
Figura 62. Lectura de datos del sensor de temperatura	54
Figura 63. Instalación de la bomba de agua de 1/2hp	55
Figura 64. Instalación de la electroválvula de 110V AC	55
Figura 65. Instalación del ventilador de 110 V AC	56
Figura 66. Lectura del sensor de humedad del suelo	56

Figura 67. Lectura del sensor de temperatura	57
Figura 68. Comparación de los costos de producción.....	61
Figura 69. Comparación de los ingresos obtenidos.....	61
Figura 70. Muestra la pantalla de proceso para el control del cultivo del tomate	62
Figura 71. Muestra la pantalla de proceso para el control del cultivo del frejol.....	62

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ejemplo de Alternativas de Solución.	15
Tabla 2. Ejemplo de Generación de soluciones	15
Tabla 3. Ejemplo de Evaluación de las soluciones	15
Tabla 4. Tabulación de la encuesta	17
Tabla 5. La voz del cliente y la voz del ingeniero	25
Tabla 6. Análisis de la competencia 1	25
Tabla 7. Análisis de la competencia 2	26
Tabla 8. Análisis de la competencia 3	26
Tabla 9. Especificaciones técnicas del módulo	28
Tabla 10. Correlaciones entre las características técnicas	29
Tabla 11. Alternativas de solución para el módulo 1	31
Tabla 12. Ventajas y desventajas de la caja de Acrílico.	31
Tabla 13. Ventajas y desventajas de la caja metálica.....	32
Tabla 14. Ventajas y desventajas de la caja de aluminio y madera	32
Tabla 15. Ventajas y desventajas de la Pantalla Glcd	33
Tabla 16. Ventajas y desventajas de la Pantalla Touch.....	33
Tabla 17. Ventajas y desventajas de la pantalla HMI	33
Tabla 18. Ventajas y desventajas del Microcontrolador	34
Tabla 19. Ventajas y desventajas de Arduino	34
Tabla 20. Ventajas y desventajas del PLC	35
Tabla 21. Soluciones del Módulo 1	35
Tabla 22. Alternativa de solución 1	35
Tabla 23. Alternativa de solución 2	36
Tabla 24. Alternativa de solución 3	36
Tabla 25. Evaluación del peso específico de cada criterio	37
Tabla 26. Evaluación del criterio Costo	37
Tabla 27. Evaluación del criterio Temperatura	37
Tabla 28. Evaluación del criterio Humedad	37
Tabla 29. Evaluación del criterio Opciones de programación	38
Tabla 30. Conclusiones Módulo 1	38
Tabla 31. Características del prototipo	43
Tabla 32. Explicación de los ítems de la pantalla de inicio	47

Tabla 33. Explicación de los ítems de la pantalla de proceso	48
Tabla 34. Tabla de simbología de actuadores y sensores	51
Tabla 35. Costos de la automatización	58
Tabla 36. Costos anuales de producción sin automatización	58
Tabla 37. Ingresos anuales obtenidos de la producción sin automatizar	59
Tabla 38. Costos de producción anuales con la automatización	59
Tabla 39. Ingresos anuales obtenidos de la producción una vez realizada la automatización	59

RESUMEN

La utilización de invernaderos es una necesidad para la producción de cultivos que se encuentren fuera de temporada, gracias a este sistema se pueden controlar plagas y disminuir el uso de fertilizantes, así como mejorar la producción y el tiempo de cosecha.

Con el presente proyecto se consiguió diseñar un módulo electrónico para la automatización del riego y el control de la temperatura ambiente dentro del invernadero. Con la ayuda de la Ingeniería Concurrente y la aplicación del QFD se determinó las necesidades del usuario que fueron transformadas en características técnicas para el prototipo, satisfaciendo así sus requerimientos.

Al convertir al invernadero en un sistema autónomo, se optimizó el uso de varios recursos entre ellos el hídrico, que es el de mayor importancia en la producción de cultivos, esto se logró mediante el uso de sensores que monitorean la humedad del suelo y actuadores que permiten el paso de agua. De igual forma se tuvo un mejor control de la temperatura dentro del invernadero con el uso de un sensor para el monitoreo de los patrones ambientales y un ventilador que se encargó del enfriamiento.

El módulo electrónico tiene una pantalla HMI en la cual se ingresan los valores de humedad y temperatura óptimos para el cultivo. Así como también se puede elegir 4 tipos diferentes de cultivos: dos hortalizas (tomate riñón, zanahoria) y dos leguminosas (frejol y alverja), que fueron seleccionados porque son los de mayor producción de la zona.

ABSTRACT

The use of greenhouses is a need to produce crops that are out of season, thanks to this system you can control pests and reduce the use of fertilizers as well as improving production in harvest time.

To this project was possible to design an electronic module for automation of irrigation and controlling the ambient temperature inside the greenhouse. To help of Concurrent Engineering and application QFD user needs that were transformed into technical specifications for the prototype, satisfying their requirements.

Converting a greenhouse in an autonomous system, the use of various resources including the water was optimized, which is the most important in crop production was optimized, this was achieved by using sensors that monitor soil moisture and actuators allow the passage of water. Likewise, a better control of the temperature inside the greenhouse with the use of a sensor for monitoring environmental standards and a fan who handled the cooling had.

The electronic module has an HMI screen in which the values of humidity and temperature are optimum for cultivation. And you can also choose 4 different crops: two vegetables (kidney tomato, carrot) and two legumes (beans and peas), which were selected because they are the most productive in the area.

INTRODUCCIÓN

El presente proyecto tiene como finalidad la automatización de un invernadero de producción de hortalizas y legumbres mediante la utilización de un módulo electrónico. A continuación, se detalla el desarrollo del proyecto por capítulos.

Capitulo uno, la justificación, planteamiento del problema, objetivos y los beneficiarios del proyecto.

Capitulo dos, se presenta el marco teórico para la comprensión del cultivo por el uso de invernaderos, así como la metodología a utilizar para el diseño del prototipo.

Capitulo tres, se detalla los pasos a seguir para el diseño del módulo electrónico aplicando la metodología del Desarrollo de la casa de la calidad (QFD), en el cual se presentarán 3 opciones de solución para el módulo y mediante el uso de criterios ponderados escoger la mejor solución. Se incluirá los planos del módulo, así como las características de este y el diseño de la interfaz HMI del prototipo.

Capitulo cuatro, contiene un análisis del funcionamiento del sistema y sus componentes, para lo cual se muestran tablas comparativas de las variables, también se detallan los resultados de costos y de ganancias de la implementación, así como los procedimientos para el correcto manejo y puesta en funcionamiento del sistema.

CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

En el presente capítulo contiene el enfoque del proyecto, en el cual se va a detallar la justificación, los objetivos y beneficiarios del mismo.

1.1. Justificación

La agricultura es una de las principales actividades económicas del hombre desde su origen, cuya finalidad es aprovechar la fertilidad del suelo y la abundancia de recursos naturales para el cultivo de un sin número de plantas que son utilizadas como alimento del ser humano. En la parroquia de Sumaco, la agricultura es un tema de interés social debido a que un gran número de la población se dedica a esta actividad.

Existen un sin número de beneficios al sembrar bajo invernadero en contraste con otros tipos de cultivo, en este el cultivo está protegido de los cambios bruscos del clima, heladas y diversos factores que alteran el correcto crecimiento de las plantas. Además, se tiene la ventaja de efectuar cultivos en cualquier temporada del año sin tener variación de la producción final, otro de los beneficios y uno de los más importantes es el control de plagas y con ello la reducción del uso de pesticidas, sin causar degradación o agotamiento del suelo.

Al automatizar el invernadero se obtiene un ahorro considerable de los recursos a utilizar, por ello es importante invertir en investigación y desarrollo de tecnologías. Tomando en cuenta una inversión mensual aproximadamente de 300 dólares con una extensión de 200 m² por invernadero y teniendo como referencia de estudio los años 2013 y 2014 además de tener en conocimiento que los invernaderos son de propiedad familiar y/o grupos conformados, es necesario considerar la generación de un proyecto, que fortalecerá los vínculos entre la Universidad Politécnica Salesiana (UPS) y la colectividad. Así como también que dicho proyecto sea parte importante del desarrollo y tecnificación del agro en la zona, Además, se genera un modelo de módulo para la automatización de un invernadero el mismo que servirá como material de investigación para futuros proyectos del Gobierno Autónomo Descentralizado de Parroquia Rural Sumaco.

1.2. Planteamiento del problema

La Parroquia Rural de Sumaco está ubicada en el Cantón Quijos, Provincia del Napo, cuenta con un aproximado de 200 habitantes distribuidos de la siguiente manera; 85% clase socioeconómica baja y un 15% clase media, con lo expuesto se puede determinar que la mayoría de la población no cuenta con los suficientes recursos económicos para una subsistencia adecuada.

Es necesario manifestar que el escenario de gestión al cual se hace referencia es caracterizado por ser eminentemente ganadero y en cierto porcentaje agrícola, refiriéndose al agro del sector se puede acotar que los habitantes de la Parroquia Sumaco en su gran mayoría se dedican a la producción de legumbres y hortalizas bajo el sistema de invernaderos comunitarios, dicho sistema no cumple los objetivos propuestos por los agricultores ya que su producción es relativamente baja, dentro de los factores que ocasionan la problemática del sistema se tiene:

1. El Clima: La Parroquia de Sumaco al estar ubicada en la región amazónica presenta un clima húmedo-lluvioso no apto para el cultivo de ciertos tipos de legumbres y hortalizas endémicas de un clima seco.
2. El Suelo: La Parroquia de Sumaco al estar ubicada en una zona por donde atraviesa el OCP-ECUADOR y el SOTE, y por estar aledaño a las estaciones de bombeo de petróleo “Sardinas y Osayacu” ha provocado que la fertilidad de los suelos sea baja, fuerte susceptibilidad a la erosión por el tránsito masivo de maquinaria y esterilizado por el largo tiempo de uso para el pastoreo y crianza de ganado.
3. Cuidado de la producción: El desconocimiento de los habitantes que se dedican a la actividad agrícola dentro de invernaderos y la sobre exposición ante fertilizantes y fungicidas ha provocado el deterioro de la salud y la expectativa de vida en la población de Sumaco.

A pesar de que los habitantes de Sumaco han hecho de los invernaderos un medio de subsistencia no existen empresas u organismos que se dediquen a evaluar, mejorar, capacitar y tecnificar esta actividad, implementado con ello un programa de

sostenibilidad a mediano y largo plazo que podría ofrecer mejores beneficios a este importante grupo poblacional.

1.3. Tema del proyecto

Diseño e implementación de un módulo electrónico para la automatización de un invernadero comunitario de producción de hortalizas y legumbres

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General.

Diseñar e implementar un módulo electrónico para la automatización de un invernadero comunitario de producción de hortalizas y legumbres.

1.4.2. Objetivos Específicos.

- Investigar sobre la producción bajo el sistema de invernadero para conceptualizar el proceso de cultivo de diferentes tipos de legumbres y hortalizas.
- Diseñar el hardware del módulo electrónico para la automatización del invernadero.
- Diseñar el software del módulo electrónico para la automatización del invernadero.
- Analizar el costo beneficio del sistema automatizado.

1.5. Beneficiarios

Mediante la intervención y realización de este proyecto, la Parroquia de Sumaco será beneficiada con la automatización de un invernadero para la comunidad, mejorando los procesos de control de temperatura y humedad del suelo dentro del mismo.

La Universidad Politécnica Salesiana, resulta beneficiada por ampliar su vinculación con la colectividad para dar solución a problemas técnicos de productividad.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1. Definición de invernadero.

Se considera invernadero a toda aquella estructura cerrada que se encuentra cubierta por materiales transparentes como el plástico, se los utiliza para el cultivo de diferentes tipos de plantas. Su función principal es la de aprovechar la radiación calórica del sol la cual calienta los cultivos dentro de este al atravesar el plástico que lo recubre, también permite producir especies que estén fuera de temporada. Mediante su implementación se puede controlar las plagas en las plantas, lo cual reduce el uso de fertilizantes, además se controla el clima dentro del mismo, todo esto aumenta la producción del cultivo y lo protege de los cambios climáticos que ocurren en el exterior.

2.2. Estructura de un invernadero

Existen diferentes tipos de estructuras o tipos de invernadero que depende de ciertos factores para su construcción. El material a utilizarse debe ser resistente que no se deforme con el paso del tiempo, ya que está sometida a diferentes esfuerzos como el propio peso de su estructura o la presión ejercida por el viento. El material con el cual se va a recubrir la estructura debe ser resistente al empuje del viento y de ser necesario a una posible lluvia de granizo, así como debe asegurar la mayor transmisión de radiación solar al interior de la estructura. (Reveles & Minjares, 2015)

En la figura 1 se muestra una estructura tipo capilla echa de caña.



2.3. Dimensiones del invernadero.

Las dimensiones y forma de construcción del invernadero tienen una explicación lógica, la forma rectangular se la usa con el fin de aprovechar al máximo su componente principal que es el plástico ya que por lo general viene en rollos con dimensiones rectangulares, su ancho es considerado de igual forma por las medidas del plástico e inclinación del techo, misma que varía dependiendo de la zona donde está construido, es así que en sectores con abundantes lluvias el ángulo de inclinación será mayor que para otros, la función principal es evitar daños en el techo por el exceso de lluvias. El alto del invernadero depende mucho del cultivo a sembrar, así como de la zona donde esté construido, por ejemplo, el maíz posee un tallo muy alto es por esto que su altura debe ser proporcional, la relación de la altura y la zona de construcción está dada por la diferencia de follaje de las plantas siendo mayor para las regiones húmedas, no existen normas establecidas para las dimensiones del invernadero, dependen únicamente del espacio de suelo disponible y de hacer un uso al máximo de los materiales de construcción.

2.3.1. Humedad del invernadero

Esta es una de las variables que se controlan en un invernadero esto se lo realiza mediante la utilización de sensores de humedad o sistemas de humificación. Estos sistemas consisten en la utilización de humificadores que son dispositivos cuya función principal es aumentar la humedad en el lugar donde son instalados, si la humedad del suelo es baja disminuye el proceso de la fotosíntesis por lo que esto produce un estrés en las plantas lo que impide el intercambio de oxígeno, CO₂ y nutrientes impidiendo el normal desarrollo de la planta.

2.3.2. Temperatura del invernadero

El control de la temperatura en un invernadero es el de mayor importancia debido a que es la que mayor influencia tiene en el desarrollo y crecimiento de las plantas, las condiciones de temperatura vienen limitadas por el tipo de cultivo, para lo cual se debe conocer cuál debe ser su temperatura mínima y máxima para que los cultivos se desarrollen en óptimas condiciones. Está limitada por la radiación solar que incide sobre este.

2.4. Sistema de riego.

Los sistemas de riego brindan un sin número de ventajas entre las principales tenemos: llevar un control exacto de la humedad del suelo del cultivo y el racionamiento de agua disponible.



2.4.1. Tipos de sistemas de riego

Aspersión. Se lo realiza por medio de la colocación de aspersores en la punta de la manguera, es recomendable su utilización en suelos arenosos y zonas estrechas.



Por goteo. Consiste en la colocación de un gotero al pie de cada planta para controlar de mejor manera la humedad del suelo y permite el ahorro de agua debido a que no utiliza grandes cantidades de la misma.

Gotero para riego de cultivos



Figura 4. Gotero para cultivos

Fuente: (Plastigama, 2015)

Por manguera. Consiste en la colocación de mangueras en el invernadero no es muy recomendable ya que el riego se debe hacer de forma manual y no permite un riego uniforme, demanda la utilización de una gran cantidad de agua.

Manguera para riego



Figura 5. Manguera para riego

Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

2.5. Cultivo de hortalizas

Las hortalizas se caracterizan por ser plantas que generalmente son cultivadas en huertos e invernaderos, existen en gran variedad las más comunes en el país son el pimiento, el tomate riñón, la cebolla y la zanahoria. Por ser plantas muy frágiles y propensas a plagas y enfermedades su método de siembra se lo realiza únicamente bajo invernaderos para lo cual la tierra debe ser preparada con anterioridad en surcos con una distancia prudente de 1,5m aproximadamente entre surco y surco, y de 20 cm a 50cm entre planta y planta, el tallo del tomate riñón es relativamente frágil por lo que para su correcto desarrollo se usan guías plásticas con un tendido de alambre metálico como soporte, la siembra de esta hortaliza se la realiza en cualquier temporada del año sin variar el resultado de la producción con un tiempo estimado para la cosecha de tres meses. Los costos de mantenimiento para el tomate riñón y la zanahoria son elevados ya que son plantas muy débiles ante las plagas y enfermedades, por tanto, las fumigaciones para su mantenimiento deben ser

constantes una cada tres semanas como mínimo, su riego debe ser realizado únicamente mediante goteo y controlado minuciosamente por el agricultor ya que de no existir una correcta humectación del suelo, la planta no se desarrollará en su totalidad y por tanto la producción disminuirá.



2.6. Cultivo de legumbres

Las legumbres contienen un fuerte contenido nutricional existe una gran variedad de ellas entre las más importantes y las más cultivadas en el país están las habas, el frejol, la alverja y la lenteja. Las más cultivadas en la zona son la alverja y el frejol en sus diferentes tipos y variedades, estas dos especies de leguminosas son plantas trepadoras y propias del clima seco, por ello en la zona únicamente se cultivan bajo el sistema de invernaderos por la alta humedad del clima local. Este tipo de leguminosas “frejol” y “alverja” tienen semejantes técnicas para su cultivo se lo realiza mediante surcos con una distancia prudente de 1m aproximadamente entre surco y surco, la distancia entre planta y planta depende mucho de la variedad o tipo escogido el aproximado promedio es de 50 cm, su siembra se la realiza en cualquier temporada del año con un tiempo de producción aproximado de 4 meses para las dos especies, solo es posible una producción por siembra. El cultivo de la alverja y del frejol no demanda muchos costos de mantenimiento puesto que son plantas muy fuertes y no propensas a plagas y enfermedades por tanto las fumigaciones para su mantenimiento son mínimas 1 por siembra, su riego se lo puede hacer por aspersión o por goteo sin variar el resultado, además el uso de fertilizantes químicos para su mejor desarrollo es casi nulo ya que no varía en mucho el resultado de la producción, por tanto solo se usan abonos orgánicos para la fertilización de tipo de leguminosas.

Legumbres



Figura 7. Ejemplos de Legumbres
Fuente: (Creser feliz, 2015)

2.7. Ingeniería concurrente.

La ingeniería concurrente permite el diseño de un producto en base a diferentes factores; como la calidad, el entorno de los recursos humanos, gama del producto, gestión de proyectos, estructura modular, tecnologías de la información y comunicaciones. Tomando como referencia distintos puntos de vista como el diseño del producto, el cual analiza todos los materiales útiles para su fabricación y continuando con los recursos humanos que permiten considerar la ayuda de profesionales quienes participarán en la toma de decisiones y asesoramiento para el diseño y fabricación. Por último se debe considerar el uso de herramientas tecnológicas basadas en las tecnologías de información y comunicación, pues estas servirán en el diseño de prototipos en 3D y la realización de sus respectivos planos para su posterior construcción. (Riba, 2002).

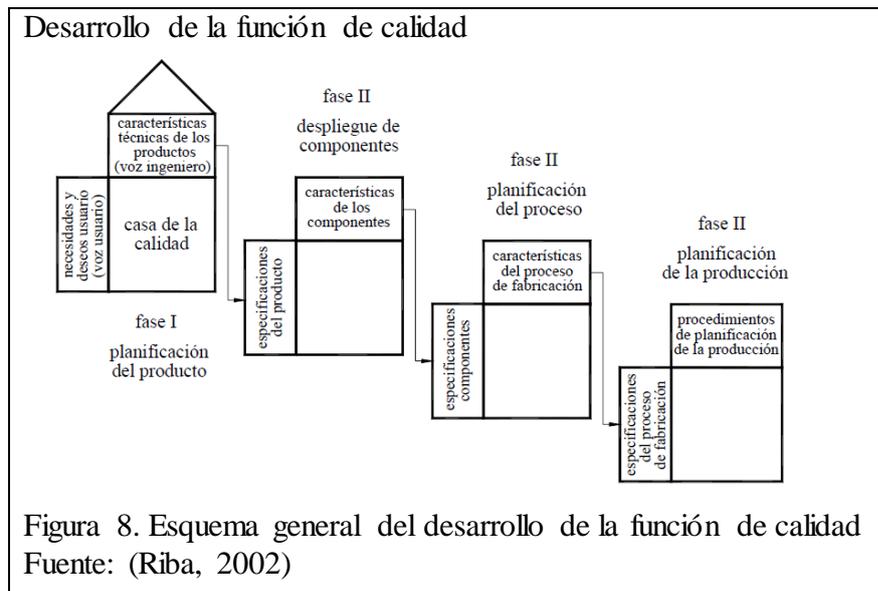
2.8. Definición de QDF

Son siglas inglesas que quiere decir: Quality Function Deployment, cuya traducción significa Despliegue de la Función de Calidad. Es una herramienta cuyo propósito principal es asegurar que las necesidades de los clientes van a ser atendidas, también ayuda a la planificación del producto durante la fase de diseño. (Ruiz & Rojas, 2015)

Se puede definir QDF como una herramienta que permite convertir las necesidades y deseos del cliente en requisitos de diseño de productos. Mediante su uso permite priorizar la satisfacción de los deseos del cliente según la importancia o la satisfacción que estos generen al usuario. (Riba, 2002)

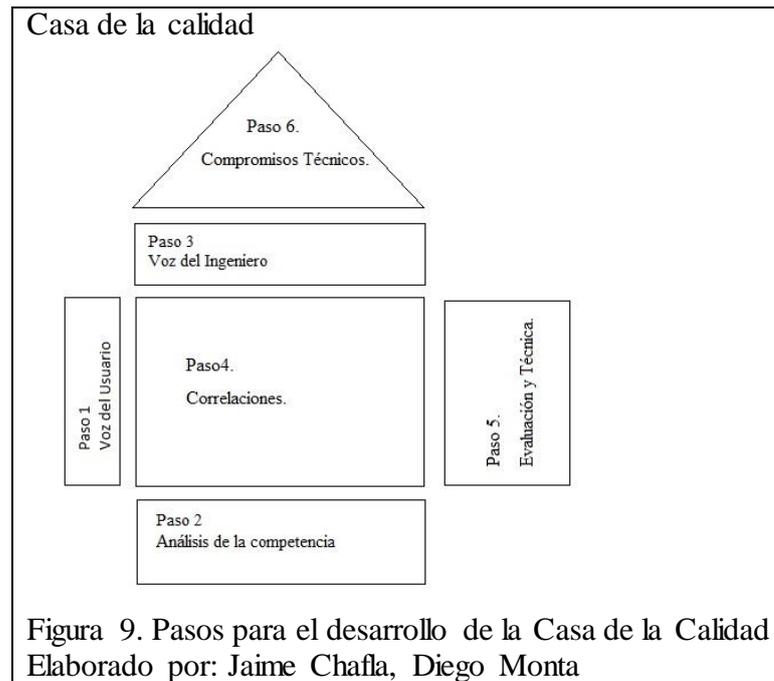
2.9. Desarrollo de la función de calidad, QDF

Para el desarrollo de la casa de la función de la casa de calidad se necesitan de cuatro fases. En la primera fase se hace la planificación del producto, para lo cual se realiza una lista de los deseos de los clientes y estos se los transforma en características técnicas del producto. Luego se traduce las características técnicas en particularidades de los componentes, para luego transformarles en características del proceso de fabricación y por último se realiza los procedimientos de planificación de la producción. (Riba, 2002)



2.10. La casa de la calidad.

Traduce las necesidades del cliente en características técnicas del producto. Para su aplicación se requiere de 6 pasos:



2.10.1. Paso 1. La voz del usuario.

Describe las necesidades del cliente lo cual se va a convertir en todo el elemento conductor del producto. El cual es solicitar a un grupo de usuarios sus requerimientos y deseos. Para lo cual consiste en hacer una lluvia de ideas entre un grupo de clientes y “por medio de un experto en el método QDF los requerimientos y deseos de los clientes son formulados de forma precisa y útil como entradas al sistema” (Riba, 2002, pág. 179).

Según los clientes las demandas se pueden clasificar en:

- Demandas básicas, son las que se consideran obvias y cuando no se cumplen generan insatisfacción.
- Demandas unidimensionales, son las que con su mejoran aumentan la satisfacción del cliente.
- Demandas estimulantes, complacen al usuario y diferencia al producto de otros.

2.10.2. Paso 2. Análisis de la competencia.

Se realiza un análisis de la importancia del cumplimiento de cada una de sus deseos, para luego ver qué grado nuestra empresa cumple con dichos deseos, así como de ver en qué grado la competencia cumple los deseos de los clientes. (Riba, 2002)

2.10.3. Paso 3. La voz del Ingeniero.

Consiste en el reto más importante en el diseño de la casa de la calidad debido a que se traduce los deseos de los clientes en características técnicas del producto, a lo que se conoce como la voz del ingeniero. Las características técnicas deben ser medibles y al alcance de la empresa. (Riba, 2002, pág. 180)

2.10.4. Paso 4. Correlaciones.

En este paso se hace una predicción de que hasta qué punto las características técnicas van a satisfacer las demandas de los usuarios. El resultado se establece en tres niveles fuerte, mediano y débil que se simbolizan con un círculo con punto, círculo y un triángulo. (Riba, 2002)

2.10.5. Paso 5. Evaluación y Técnica.

Se realiza después de haber completado el cuadro de correlaciones y consiste en la evaluación de la incidencia de cada una de las características técnicas en la satisfacción de las demandas del cliente. Para ello se hace un “cálculo de la incidencia de cada característica técnica en base a la sumatoria del producto de los factores de incidencia (I_d), función de cada correlación (Fuerte= 9, Mediana= 3, Débil= 1), por el correspondiente valor de la ponderación (S_{dt})”. (Riba, 2002, pág. 181)

$$\text{Importancia } t = \sum I_d \cdot S_{td}$$

Importancia porcentual se expresa en forma de % sobre el total de todas las características técnicas. (Riba, 2002)

2.10.6. Paso 6. Compromisos Técnicos.

Es el techo de la casa de la calidad que contiene los distintos compromisos entre las características técnicas del producto que la empresa debe realizar para situarse de la mejor manera en el mercado. Las cuales se sitúan en uno de los cuatro niveles: muy negativa, negativa, muy positiva, positiva. (Riba, 2002, pág. 181)

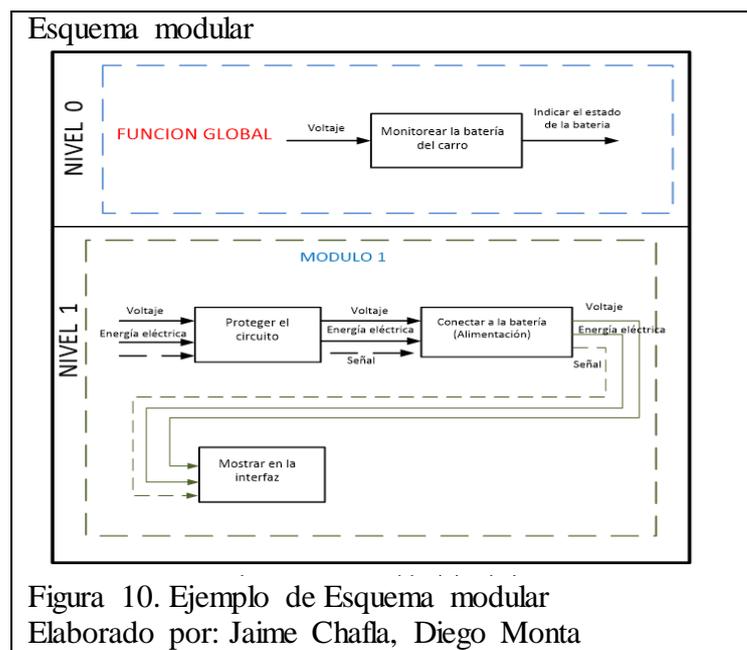
Correlación positiva, al mejorar una característica técnica, también mejora la otra. (Riba, 2002, pág. 181)

Correlación negativa, al mejorar una característica técnica, empeora la otra. (Riba, 2002, pág. 181)

Sin correlación, las variaciones de las dos características técnicas no tienen influencia entre ellas. (Riba, 2002, pág. 181)

2.11. Encontrar alternativas

Luego de obtener los resultados de la casa de la calidad se obtienen las características con mayor puntuación y que sumadas den un porcentaje mayor al 60%. Para lo cual se establece un esquema modular en el cual se encontrarán las características con mejor puntuación.



Luego se procede a la realización de una tabla de alternativas con las posibles soluciones para cada función que tenga el esquema modular

Tabla 1. Ejemplo de Alternativas de Solución.

Funciones	Alternativas de soluciones		
Alimentar el circuito	Lagarto	Alambre terminal	Abrazadera
Proteger el circuito	Ovalada	Circular	Rectangular
Mostrar en la interfaz	Diodo LED	Barra de leds	Pantalla LCD

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

Luego de elaborar la tabla de alternativas para cada función que se encuentra en el esquema modular se buscan las posibles soluciones para la construcción del producto.

Tabla 2. Ejemplo de Generación de soluciones

Funciones	Alternativas de soluciones		
Alimentar el circuito	Lagarto	Alambre terminal	Abrazadera
Proteger el circuito	Ovalada	Circular	Rectangular
Mostrar en la interfaz	Diodo LED	Barra de leds	Pantalla LCD

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

2.12. Como se selecciona la mejor solución.

Para escoger la mejor solución se hace una ponderación en base a los criterios que tuvieron mayor puntuación en el desarrollo de la casa de la calidad, la solución que mayor puntaje obtenga al realizar dicha ponderación con cada uno de los criterios será la que se proceda a desarrollar su producción.

Tabla 3. Ejemplo de Evaluación de las soluciones

Criterio	Mensaje luminoso	Alimentación del equipo	tolerancia	Costo	Sumatoria+1	Ponderación
Mensaje luminoso.		1	1	1	4	0,4
Alimentación del equipo.	0		1	1	3	0,3
tolerancia	0	0		1	2	0,2
Costo	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

2.13. Análisis de la mejor alternativa.

Dentro del análisis de la mejor alternativa se detallan los componentes que se van a utilizar de acuerdo a su función, se describen los actuadores que resultaron con la mejor puntuación y que me permitan el cumplimiento de las tareas que va a realizar el producto. Se realiza una discusión y revisión del primer conjunto de planos, con lo cual le permitirá al diseñador corregir errores en las medidas o en la geometría del producto para luego generar un nuevo conjunto de planos con los cuales se procederá a su posterior producción

2.14. Materiales y costos.

Para la selección de materiales se debe considerar el ambiente de trabajo del producto las posibles condiciones climáticas a las que va a ser sometido, se tomará en cuenta las opiniones de los usuarios debido a que ellos conocen a la perfección el ambiente donde el producto va a ser expuesto. Teniendo en cuenta todos estos aspectos se establece la lista de materiales a utilizarse para lo cual se debe estudiar sus características técnicas de cada material seleccionando los que mejor se adapten a las exigencias. Para el estudio aproximado de costo del producto se realiza un estudio del costo de cada módulo que compone el producto para lo cual se considera el costo de los materiales, el costo de elementos metálicos y el costo por mano de obra.

2.15. Prototipo.

Una vez que se ha obtenido la mejor solución se procede a la construcción del prototipo donde se toma como base los planos de las diferentes piezas que conforman el prototipo. Esto permite solucionar errores que no hayan sido detectados durante la fase de diseño, permitirá hacer pruebas reales y comprobar si la elección de materiales o elementos son los indicados. Dependiendo de los recursos de cada empresa se podrá realizar la construcción del prototipo de la mejor solución o de las tres soluciones, lo que permitirá hacer un estudio de mercado de cual tuvo mayor aceptación por los clientes y luego solo construir el de mayor aceptación.

CAPÍTULO 3

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Desarrollo de la casa de la calidad.

Para el desarrollo de la casa de la calidad se procedió encuestar a personas involucradas con la agricultura para saber cuáles son sus deseos con respecto a ¿Cómo realizan el sistema de riego del invernadero?, el control de temperatura y humedad, para en base a esos deseos, poder construir el módulo.

3.1.1. Tabulación de los resultados de la encuesta.

En la tabla 4 se muestra los datos obtenidos al realizar la encuesta en la zona donde se tiene previsto la implementación del módulo electrónico.

Tabla 4. Tabulación de la encuesta

Preguntas	Respuestas
1. ¿Señale sus actividades económicas predominantes?	
Agricultura	17
Ganadería	2
Comercio	2
2. ¿Cómo es el clima la mayoría parte del tiempo en su zona?	
Húmedo	18
Semi – húmedo	3
3. ¿Señale cuál de estos tipos de suelo predomina en su zona?	
Arenoso	12
Arcilloso	9
4. Que tiempo de su actividad diaria la dedica a la agricultura.	
1 a 3 horas	3
3 a 6 horas	9
6 a 9 horas	9
5. A cuánto asciende el nivel de ingresos mensual de su actividad agrícola.	
Menos de 50 \$	4
50 – 100 \$	7
100 -200 \$	2
200 – 380 \$	8
6. ¿Cuántas horas llueve diariamente en la zona donde cultiva?	
1 a 6 horas	18
6 a 12 horas	3
7. ¿Considera que es mejor el cultivo bajo el sistema de invernaderos?	
Si	21
No	0

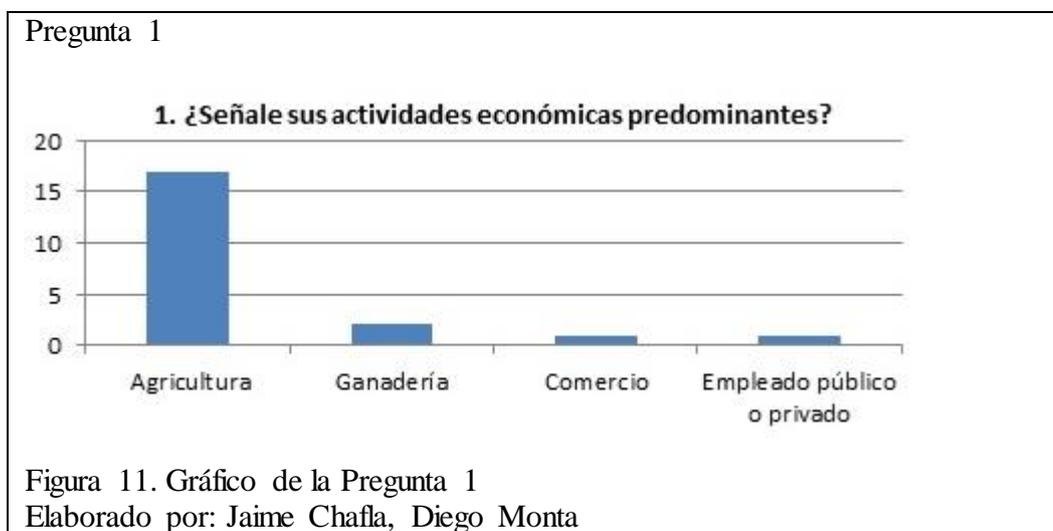
Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

Preguntas	Respuestas
8. ¿Qué hortalizas tiene como preferidas al momento de cultivar abajo invernaderos?	
Zanahoria	18
Tomate riñón	20
Pimiento	7
Lechuga	18
Apio	10
9. ¿Qué legumbres tiene como preferidas al momento de cultivar bajo invernaderos?	
Alverja	20
Frejol	19
10. ¿Acude Usted todos los días al invernadero?	
Si	17
No	4
11. ¿Cómo realiza el riego del cultivo?	
Aspersión	4
Goteo	8
No tengo sistema de riego	9
12. ¿Cómo obtiene el agua para el riego?	
De alguna quebrada o rio cercano	17
Cisterna de agua lluvia	3
Agua entubada o potable	1
13. ¿Cómo controla el exceso de calor en el invernadero?	
Abre puertas del invernadero	4
Remoja a las plantas con agua	7
No realiza ningún control	10
14. ¿Conoce o sabe que es un invernadero automatizado?	
Si	3
No	18
15. ¿Si tuviera un módulo para automatizar un invernadero dónde le gustaría que estuviera el control para hacerlo?	
Dentro del invernadero	9
Fuera del invernadero	2
En una habitación aparte del invernadero	10
16. ¿Cómo le gustaría que fuera el módulo para automatizar el invernadero?.	
Como un control remoto de televisión sin pantalla	2
Como un celular en similares dimensiones y con pantalla	5
Como una pantalla de computador con botones y palancas grandes	14
17. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por la automatización de un invernadero?	
Entre \$800 a \$1000	17
Entre \$1000 a \$1500	3
Más de \$1500	1

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.1.2. Histograma de Frecuencias

En la figura 11 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 1.



En la figura 12 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 2.



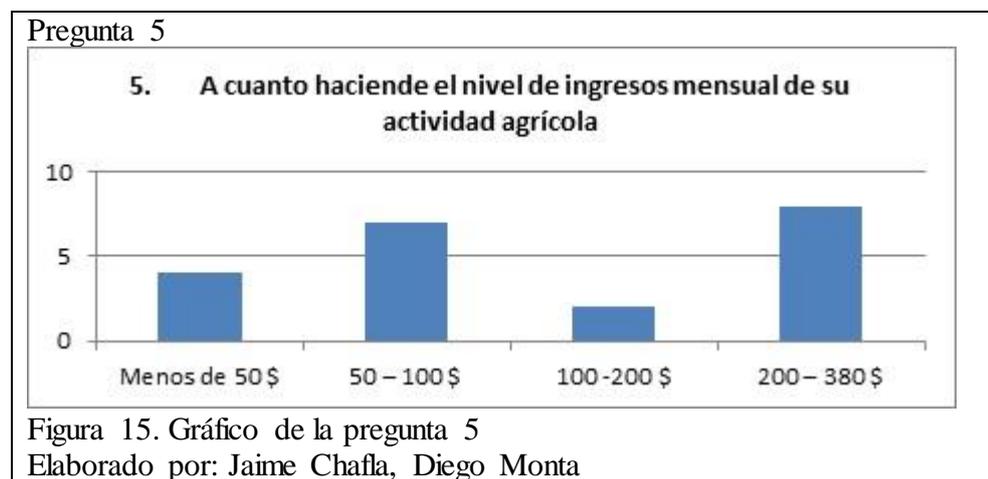
En la figura 13 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 3.



En la figura 14 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 4.



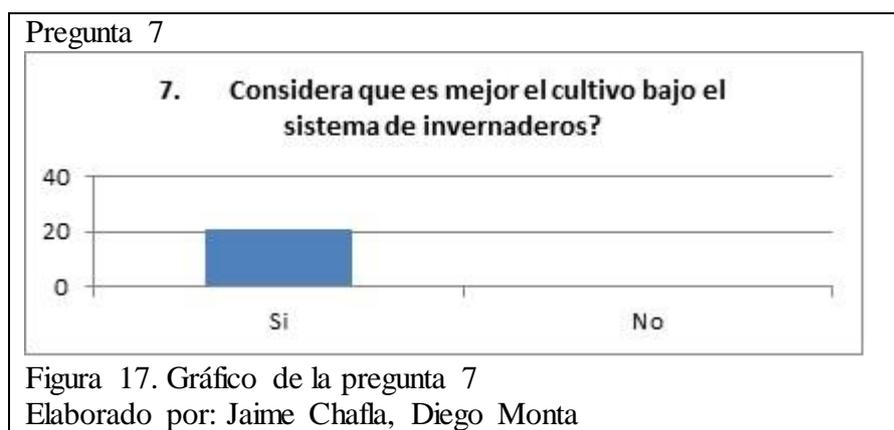
En la figura 15 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 5.



En la figura 16 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 6.



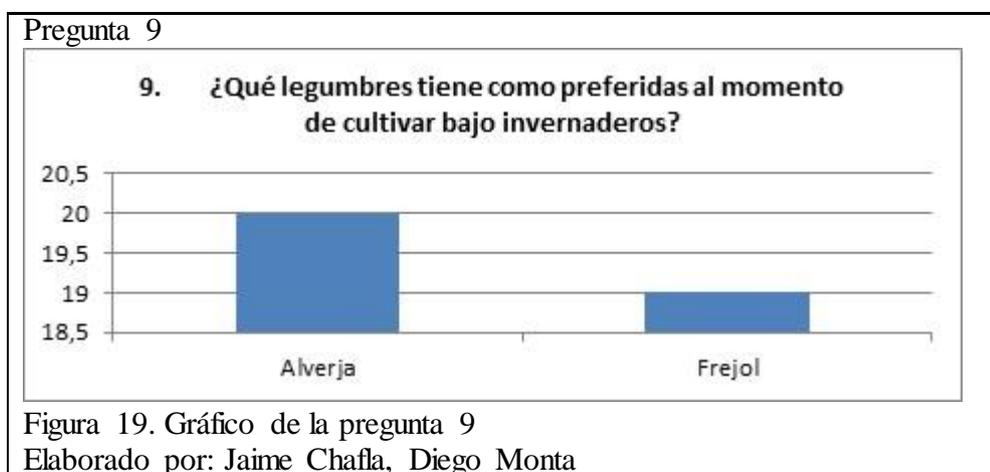
En la figura 17 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 7.



En la figura 18 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 8.



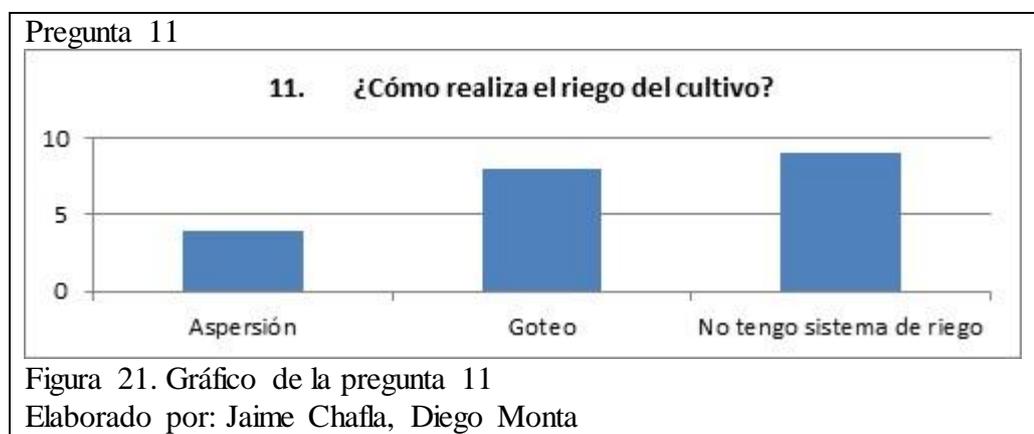
En la figura 19 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 9.



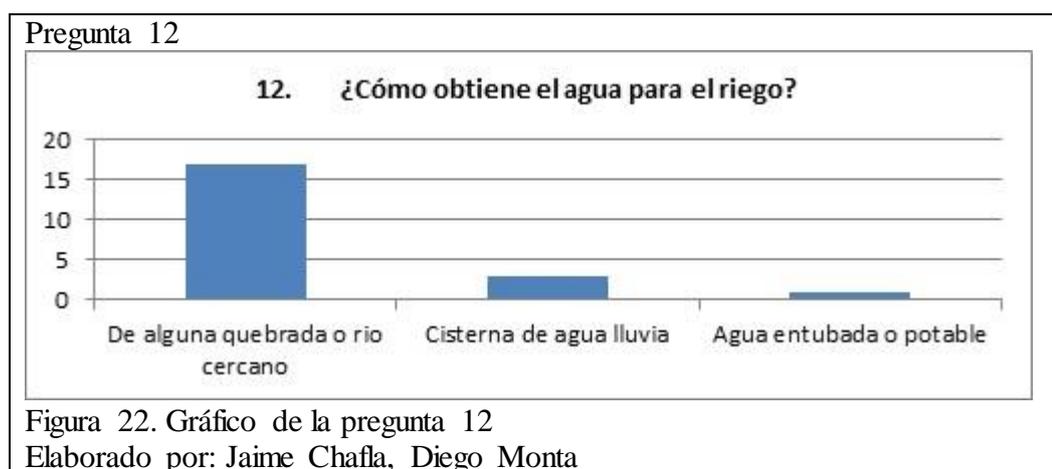
En la figura 20 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 10.



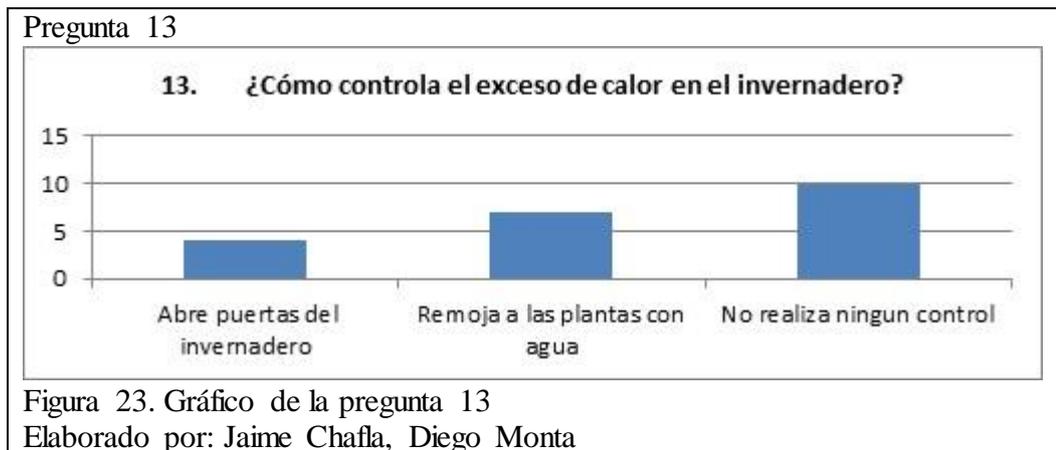
En la figura 21 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 11.



En la figura 22 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 12.



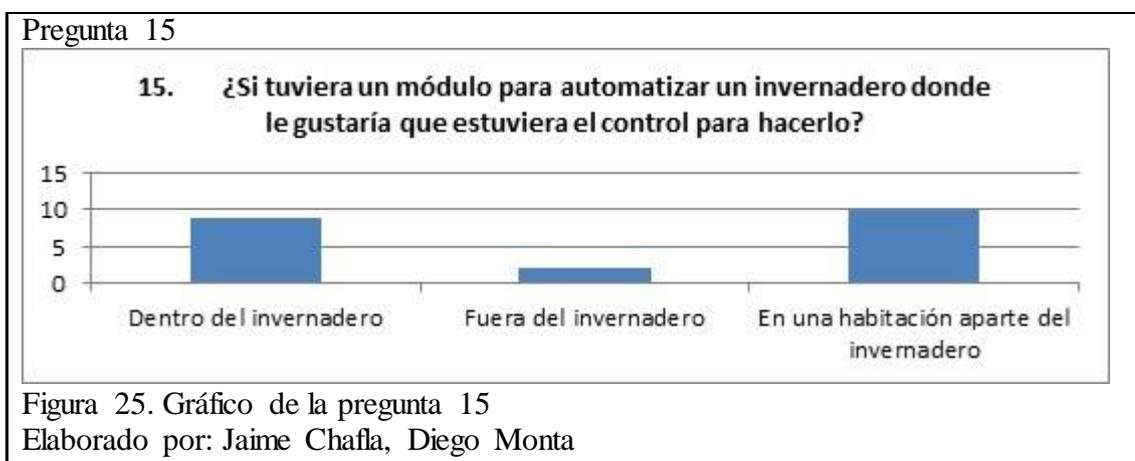
En la figura 23 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 13.



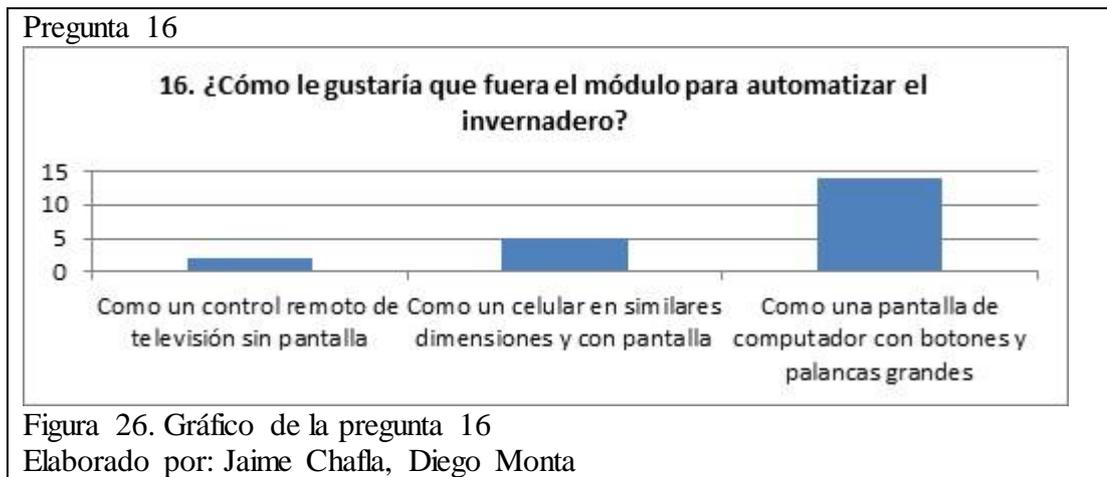
En la figura 24 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 14.



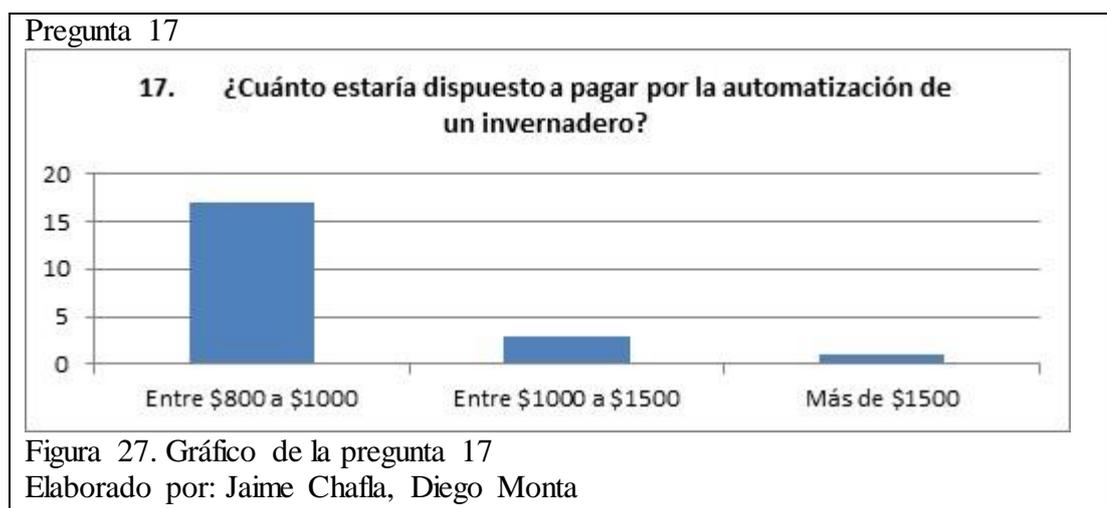
En la figura 25 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 15.



En la figura 26 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 16.



En la figura 27 se muestra un gráfico de barras de las respuestas de la pregunta 17.



Después del análisis de los resultados de la encuesta se procede a tomar como referencia las 10 necesidades que mayor satisfacción produzca a los futuros usuarios.

En la tabla 5 se muestra la voz del usuario que son los deseos que ellos tienen de cómo va ser el módulo, y los cuales se transforman a la voz del ingeniero que son las características técnicas que va a poseer el módulo.

Tabla 5. La voz del cliente y la voz del ingeniero

#	Voz del cliente	Demanda	Voz del Ingeniero
1	Que no sea muy costoso.	Básica	Costo
2	Que no ocupe mucho espacio.	Básica	Volumen
3	Que funcione todo el día.	Básica	Alimentación de energía
4	Que controle la temperatura del invernadero.	Unidimensional	Temperatura
5	Que funcione para diferentes tipos de hortalizas y legumbres.	Unidimensional	Opciones de programación
6	Que riego el suelo cuando este seco.	Unidimensional	Humedad
7	Que no le afecte la humedad del clima.	Unidimensional	Materiales
8	Que sea confiable.	Básica	Tolerancia
9	Que sea fácil de usar.	Básica	Operatividad
10	Que no se dañe rápido.	Básica	Garantía

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.2. Análisis de la competencia.

En las tablas 6, 7 y 8 se presentan las características técnicas de módulos similares efectuados en el mercado para el control de temperatura y humedad del suelo en un invernadero.

Tabla 6. Análisis de la competencia 1

	CARACTERÍSTICAS:
	Módulo para control de invernadero.
	Pantalla Touch de 7".
	Control de Temperatura.
	Control de Humedad.
	Conexión inalámbrica para dispositivos inteligentes Android por BLUETOOTH.
	3 Salidas de relés para actuadores.
	Módulo en Gabinete Metálico.
	Tiempo de entrega 60 días.
1 año de garantía.	

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Tabla 7. Análisis de la competencia 2

	CARACTERÍSTICAS:
	Módulo para control de invernadero.
	Botones tipo pulsador para el control del módulo.
	Control de Temperatura.
	Control de Humedad.
	Control de los sensores mediante PLC
	Salidas de relés para actuadores.
	Módulo en Gabinete Metálico.
	Tiempo de entrega 45 días.
1 año de garantía.	

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Tabla 8. Análisis de la competencia 3

	CARACTERÍSTICAS:
	Módulo HORTIMAX CX500
	Control de Temperatura.
	Control de Humedad.
	Incluye Instalación.
	Entrega inmediata.
1 año de garantía.	

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la figura 28 se muestra el desarrollo de la casa de la calidad del módulo electrónico para la automatización de un invernadero, del cual su obtuvo las voces de usuario de tienen mayor puntaje.

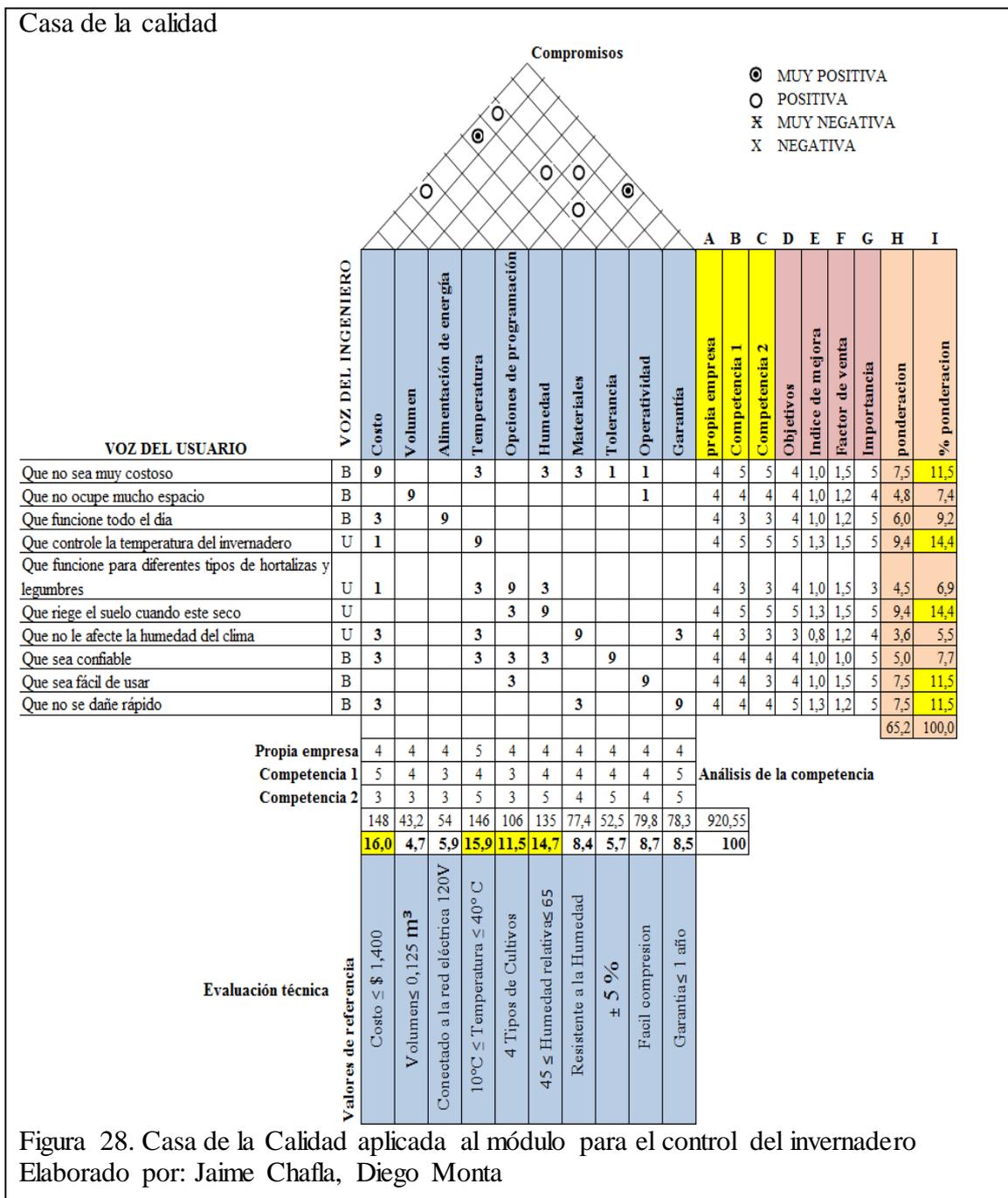


Figura 28. Casa de la Calidad aplicada al módulo para el control del invernadero
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.3. Análisis de la casa de la calidad

En el análisis de la competencia el resultado indica que se requiere centralizar los esfuerzos en cuatro parámetros que concentran el 63.3% de las mejoras, cuyo orden de prioridad son:

1. Que controle la temperatura del invernadero.
2. Que riego el suelo cuando este seco.
3. Que no sea muy costoso.

4. Que sea fácil de usar.
5. Que no se dañe rápido.

3.3.1. Especificaciones técnicas de la máquina

El grupo de diseño crea la lista mostrada en la Tabla 9, sobre las Características Técnicas que resultan ser la “Voz del ingeniero”.

Tabla 9. Especificaciones técnicas del módulo

Empresa: JCDM S.A	Producto: Módulo para Invernaderos	Fecha inicial: 05/04/15 Fecha final: 11/08/15		
ESPECIFICACIONES				
Concepto	Fecha	Propone	R/D	Descripción
Costo	5/04/15	D	R	$\$ 800 \leq \text{Costo} \leq \$ 1,400$
Volumen	5/04/15	D	R	$\text{Volumen} \leq 0,125 \text{ m}^3$
Alimentación de energía	5/04/15	D	R	Conectado a la red eléctrica 120V, 60Hz
Temperatura	5/04/15	D	R	$10^\circ\text{C} \leq \text{Temperatura} \leq 40^\circ\text{C}$
Opciones de programación	5/04/15	D	D	4 Tipos de Cultivos
Humedad	5/04/15	D	R	$40\% \leq \text{Humedad} \leq 70\%$
Materiales	5/04/15	D	R	Resistente a la Humedad
Tolerancia	5/04/15	D	R	$\pm 5\%$
Operatividad	5/04/15	D	D	Compresible al usuario
Garantía	5/04/15	D	D	$6 \text{ meses} \leq \text{Garantía} \leq 12 \text{ meses}$

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

Propone: D=Diseño.

R/D: R=requerimiento, D=deseo.

3.3.2. Incidencia y correlaciones

Se analiza la incidencia de las Características Técnicas para la mejora del producto, donde cinco de ellas son de importancia y representan el 61.9%, organizada así:

1. Costo.
2. Temperatura.
3. Humedad.
4. Opciones de Programación.

El grupo de diseño establece correlaciones en la casa de la calidad entre las Características Técnicas y se obtienen solo correlaciones positivas, las cuales se describen en la siguiente Tabla 10.

Tabla 10. Correlaciones entre las características técnicas

Correlación muy positiva.	Correlación positiva.
Al utilizar materiales que sean impermeables para las zonas húmedas aumentara el costo del módulo.	Depende de la interfaz a utilizar el precio del módulo incrementara y será fácil de operar para el usuario.
Al construir con materiales resistentes permitirá que la garantía del módulo se incremente. Al aumentar la precisión y exactitud de los sensores aumentará el costo del módulo.	Al aumentar la precisión de los sensores a utilizarse aumentará el costo del módulo y será de mayor confianza. Depende del número de sensores a utilizar y la variables a controlar producirá un incremento del precio de módulo.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.4. Análisis funcional

A continuación, se presenta el análisis funcional, para lo cual se inicia por determinar el esquema modular en el cual se detalla la generación del módulo que compone el prototipo para el control de un invernadero.

3.4.1. Generación del módulo

En la Figura 29, se muestra el módulo del que estará constituido el prototipo para el control del invernadero.

Esquema Modular

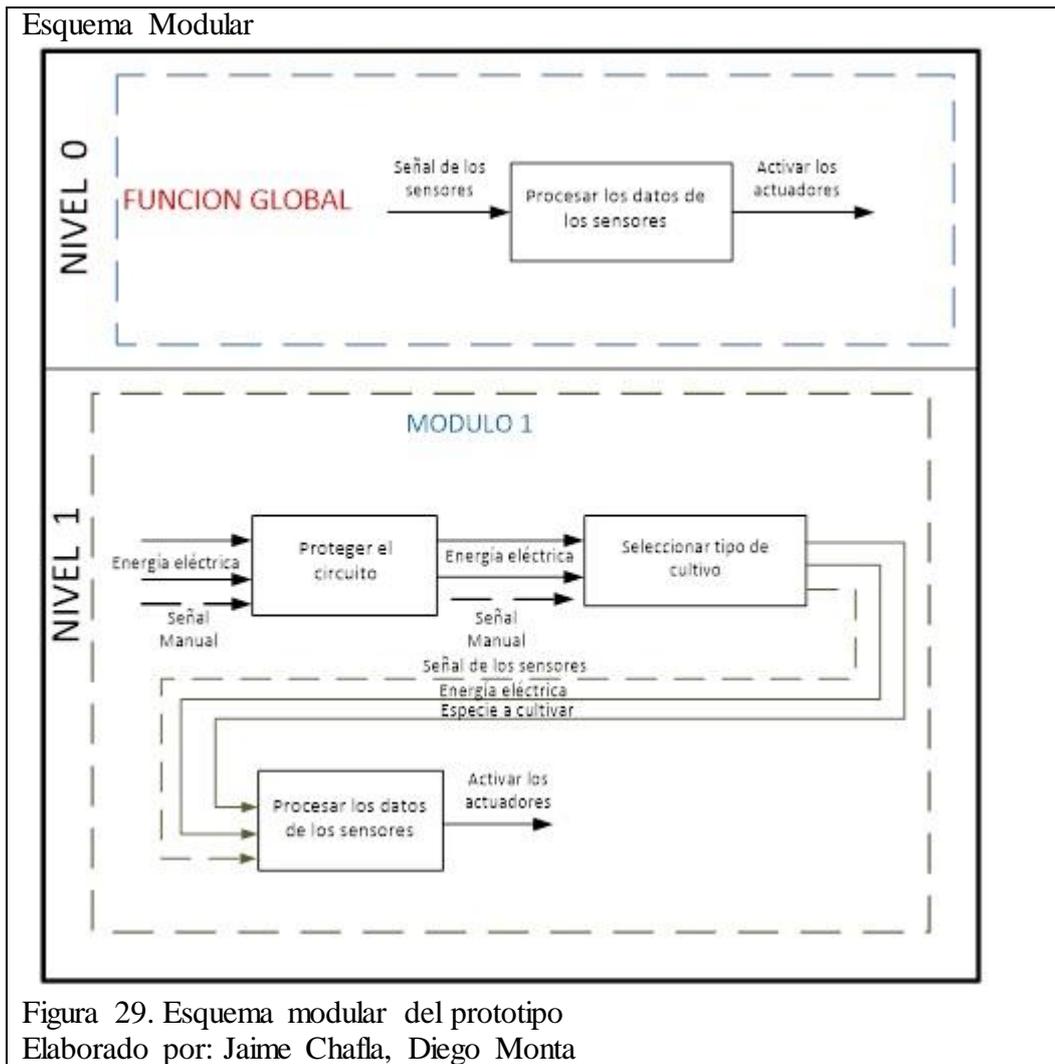


Figura 29. Esquema modular del prototipo
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Módulo 1: Corresponde a las funciones la protección del circuito, la interfaz para seleccionar el tipo de cultivo y el tipo de controlador a utilizar para el procesar los datos de los sensores.

Las funciones que se incluyen en este módulo son:

- Proteger el circuito.
- Seleccionar el tipo de cultivo.
- Procesar los datos de los sensores.

3.5. Generar alternativas de solución

3.5.1. Módulo 1.

En la Tabla 11 se analizan tres alternativas de solución para el módulo 1:

Tabla 11. Alternativas de solución para el módulo 1

Funciones	Alternativas de soluciones		
Proteger el circuito	Caja de Acrílico	Caja metálica	Caja de Aluminio y madera
Seleccionar tipo de cultivo	Pantalla táctil Glcd	Pantalla Tocuh	Pantalla HMI 6
Procesar los datos de los sensores	Microcontrolador	Arduino	PLC

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

3.5.2. Ventajas y desventajas de cada alternativa para el módulo 1.

Se presentan y analizan las ventajas y desventajas de cada solución encontrada por función. Así:

- Proteger el circuito.

Solución 1: Caja de Acrílico.



Tabla 12. Ventajas y desventajas de la caja de Acrílico.

Ventajas	Desventajas
Puede ser de material transparente.	Poca resistencia a golpes.
Fácil de moldear.	Requiere ser perforada con cuidado para que no se despostille.
No se oxida con la humedad.	
Resistente al ser expuesta a la intemperie.	

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

Solución 2: Caja metálica.



Tabla 13. Ventajas y desventajas de la caja metálica

Ventajas	Desventajas
Resistente a golpes.	Mayor peso que la caja de acrílico.
Más económica en comparación con el acrílico.	Se oxida con la humedad.
	No se puede moldear con facilidad
	Al estar completamente sellada no permite el paso de las ondas electromagnéticas para comunicación inalámbrica.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Solución 3: Caja de aluminio y madera.

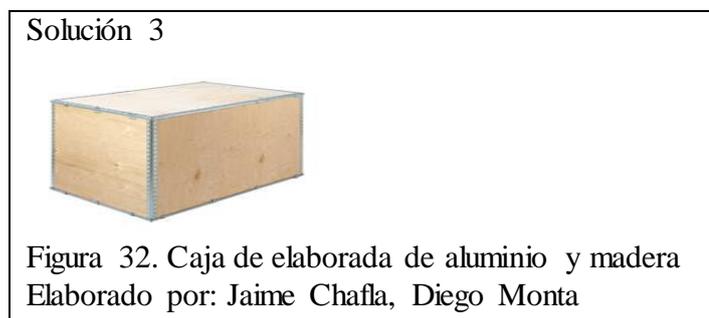


Tabla 14. Ventajas y desventajas de la caja de aluminio y madera

Ventajas	Desventajas
Más económica en comparación con el acrílico y la lata.	Necesita de recubrimiento para ser expuesta a la intemperie.
Liviana.	Requiere de tornillos para la sujeción.
No requiere de soldadura como la caja de lata.	Con el tiempo la madera se deforma con el calor y la humedad.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

- Seleccionar el tipo de cultivo.

Solución 1: Pantalla táctil Glcd.

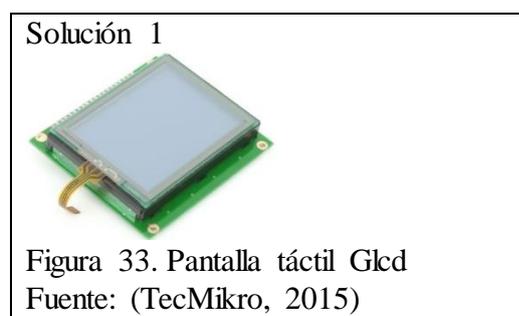


Tabla 15. Ventajas y desventajas de la Pantalla Gld

Ventajas	Desventajas
Más económica en comparación a la pantalla touch y HMI.	Muy pequeña para la pantalla de proceso.
Disminuye el tamaño del módulo	La pantalla no es a colores.
Fácil de comunicar con el microcontrolador.	No tiene memoria de almacenamiento.
	Mayor grado de dificultad para la programación.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Solución 2: Pantalla Touch.

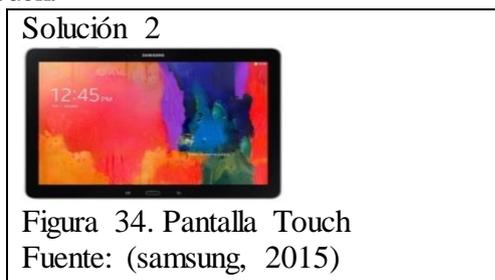


Tabla 16. Ventajas y desventajas de la Pantalla Touch

Ventajas	Desventajas
Se puede programar mediante la utilización de una página web de forma gratuita.	Mayor volumen a mayor tamaño de pantalla.
Gráficos a colores.	Frágil.
Posee memoria de almacenamiento interno.	Diseña para uso de oficina.
Comunicación vía BLUETOOTH.	Se debe proteger para ser usada en la intemperie.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Solución 3: Pantalla HMI.

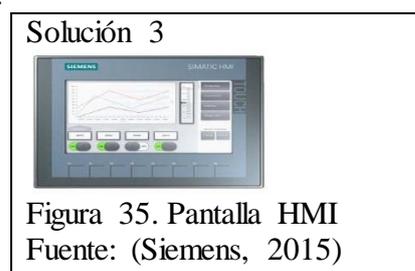


Tabla 17. Ventajas y desventajas de la pantalla HMI

Ventajas	Desventajas
Diseña para ambientes industriales.	Mayor costo que la pantalla touch.
Gráficos a color.	Al aumentar el tamaño aumenta el volumen.
Posee memoria de almacenamiento.	Requiere software adicional para su programación.
Se puede realizar sistemas scada.	Requiere de PLC para su comunicación.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

- Procesar los datos de los sensores.

Solución 1: Microcontrolador.

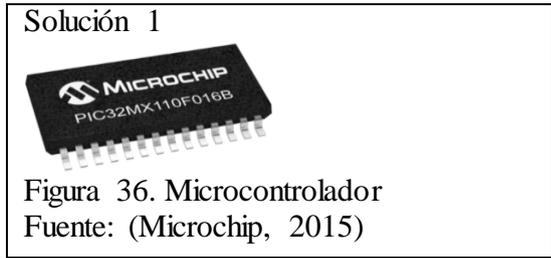


Tabla 18. Ventajas y desventajas del Microcontrolador

Ventajas	Desventajas
Más económico que un PLC.	Requiere de un dispositivo adicional para grabar los programas.
Diferentes protocolos de comunicación.	Necesita de Software licenciado.
Varios lenguajes de programación.	Se requiere desconectar para realizar cambios al programa.
Diferentes modelos según su necesidad.	Mayor complejidad al trabajar con valores analógicos.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Solución 2: Arduino.

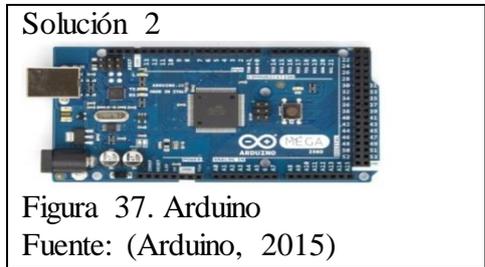


Tabla 19. Ventajas y desventajas de Arduino

Ventajas	Desventajas
Más económico que el PLC.	No posee memoria externa.
Software gratuito.	No es diseñado para ambientes industriales.
Fácil programación.	No se puede utilizar para procesos de automatización complejos.
Se puede hacer cambios en caliente.	

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Solución 3: PLC.



Tabla 20. Ventajas y desventajas del PLC

Ventajas	Desventajas
Se puede expandir la memoria del PLC	Aumenta el volumen del módulo
Posee salidas tipo relé para el accionamiento de equipos de potencia	Necesita Software licenciado
Se puede expandir el número de entradas y salidas sin necesidad de cambiar de PLC	Mayor costo que un microcontrolador o Arduino

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.5.3. Selección de la alternativa módulo 1:

Del conjunto de alternativas se seleccionan las siguientes soluciones para el módulo 1:

Tabla 21. Soluciones del Módulo 1

Funciones	Alternativas de soluciones		
Proteger el circuito.	Caja de Acrílico.	Caja metálica.	Caja de Aluminio y madera.
Seleccionar tipo de cultivo.	Pantalla táctil Gled.	Pantalla Touch.	Pantalla HMI 6.
Procesar los datos de los sensores.	Microcontrolador.	Arduino.	PLC.

↓ A1
↓ A2
↓ A3

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

La alternativa No. 1 está constituida de las soluciones detalladas en la Tabla 22.

Tabla 22. Alternativa de solución 1

Funciones	Alternativas de soluciones
Proteger el circuito.	Caja metálica.
Seleccionar tipo de cultivo.	Pantalla táctil Gled.
Procesar los datos de los sensores.	Microcontrolador.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

La alternativa No. 2 está constituida de las soluciones detalladas en la Tabla 23.

Tabla 23. Alternativa de solución 2

Funciones	Alternativas de soluciones
Proteger el circuito.	Caja de Acrílico.
Seleccionar tipo de cultivo.	Pantalla Touch.
Procesar los datos de los sensores.	Arduino.

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

La alternativa No. 3 está constituida de las soluciones detalladas en la Tabla 24.

Tabla 24. Alternativa de solución 3

Funciones	Alternativas de soluciones
Proteger el circuito	Caja de aluminio y madera
Seleccionar tipo de cultivo	Pantalla HMI
Procesar los datos de los sensores	PLC

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

3.6. Generación de la primera solución

Para determinar la solución utilizando el método de criterios ponderados se tomaron en cuenta los cuatro criterios más importantes que resultaron del análisis de la casa de la calidad:

1. Costo.
2. Temperatura.
3. Humedad.
4. Opciones de Programación.

Los criterios y la relación que existe entre ellos se define como:
Costo > Temperatura > Humedad > Opciones de programación.

A partir de estos datos se realizaron los siguientes pasos detallados, en la Tabla 25 el peso específico de cada criterio.

Tabla 25. Evaluación del peso específico de cada criterio

Criterio	Costo	Temperatura	Humedad	Opciones de programación	Sumatoria+1	Ponderación
Costo		1	1	1	4	0,4
Temperatura	0		1	1	3	0,3
Humedad	0	0		1	2	0,2
Opciones de programación	0	0	0		1	0,1
				Suma	10	1

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.6.1. Análisis del Módulo 1.

Tabla 26. Evaluación del criterio Costo

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria+1	Ponderación	
Alternativa 1		1	1	3	0,5	
Alternativa 2	0		1	2	0,33	
Alternativa 3	0	0		1	0,17	
				Suma	6	1

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Tabla 27. Evaluación del criterio Temperatura

Temperatura	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria+1	Ponderación	
Alternativa 1		0	0	1	0,17	
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,42	
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,42	
				Suma	6	1

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Tabla 28. Evaluación del criterio Humedad

Humedad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria+1	Ponderación	
Alternativa 1		0	0	1	0,17	
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,42	
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,42	
				Suma	6	1

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Tabla 29. Evaluación del criterio Opciones de programación

opciones de programación	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Sumatoria+1	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,42
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,42
			Suma	6	1,01

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

Una vez aplicado el método de criterios ponderados se tiene como conclusión que la “Alternativa 2” es la mejor opción, como lo indica la Tabla 30.

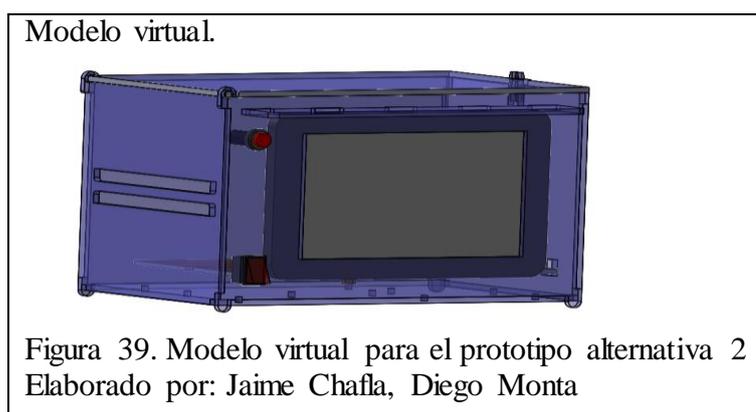
Tabla 30. Conclusiones Módulo 1

Conclusión	Costo	Temperatura	Humedad	Opciones de programación	Sumatoria	Prioridad
Alternativa 1	0,2	0,051	0,034	0,017	0,302	3
Alternativa 2	0,132	0,126	0,084	0,042	0,384	1
Alternativa 3	0,068	0,126	0,084	0,042	0,32	2

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.6.2. Modelo Virtual 1.

El modelo virtual de la primera solución se muestra en la Figura 39.



3.6.3. Discusión y revisión de la primera solución.

El problema planteado del control de un invernadero se resuelve por medio del diseño de un módulo, pero se encontró que se puede realizar tres alternativas de

soluciones diferentes en cuanto a la forma del módulo, por lo que se recurrió al método de los criterios ponderados para escoger la alternativa que se apegue a los criterios obtenidos en el análisis de la casa de la calidad, que en orden de prioridad resultan ser:

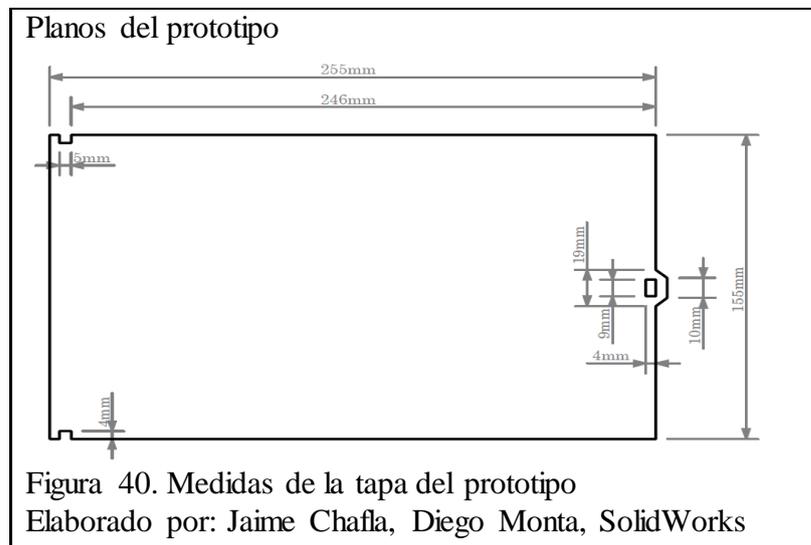
1. Costo.
2. Temperatura.
3. Humedad.
4. Opciones de Programación.

Luego de este análisis se determinó que la Alternativa 2 es la mejor opción para ser diseñar el módulo, cuyos componentes de acuerdo a su función se detallan a continuación.

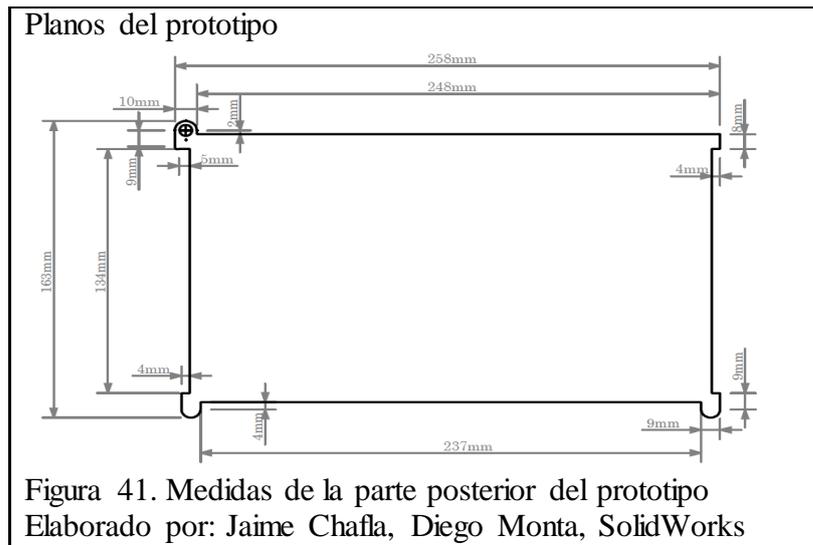
- Proteger el circuito con una caja de acrílico.
- Seleccionar el tipo de cultivo con una pantalla Touch de 7”.
- Procesar los datos de los sensores con Arduino.

3.7. Planos del módulo electrónico.

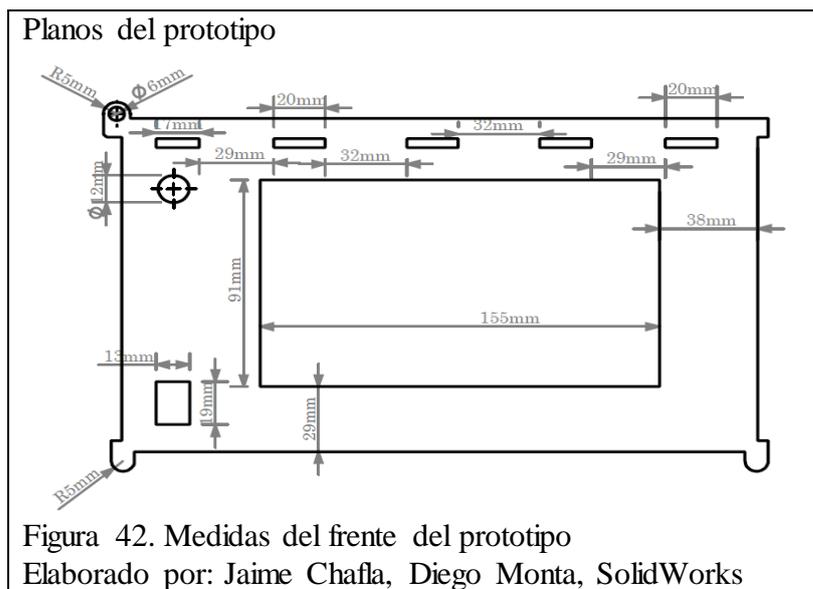
En la figura 40 se muestra el plano con medidas de la tapa del prototipo el material es acrílico de 4mm.



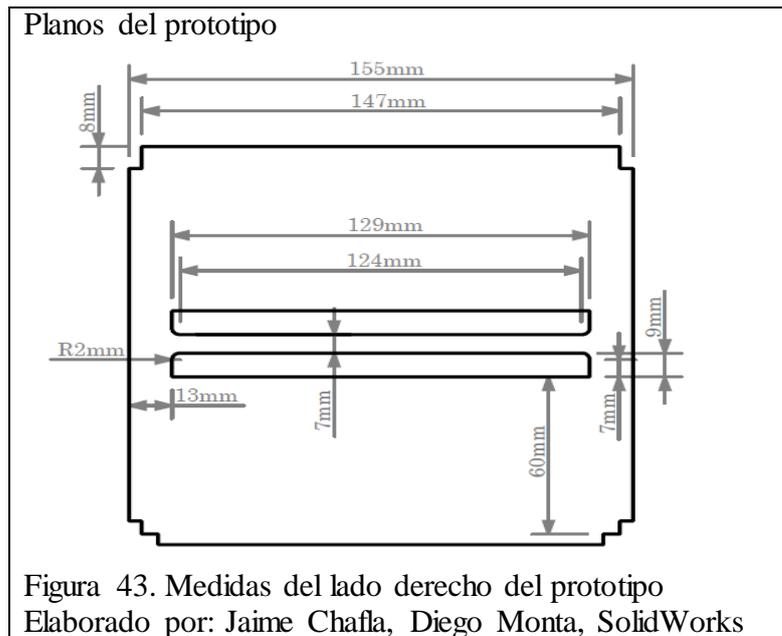
En la figura 41 se muestra el plano con medidas de la parte posterior del prototipo el material es acrílico de 4mm.



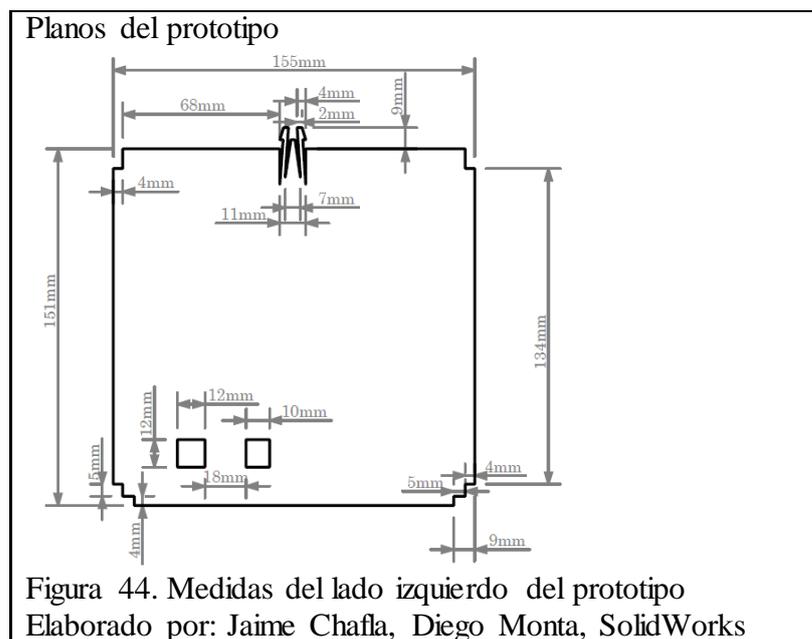
En la figura 42 se muestra el plano con medidas del frente del prototipo el material es acrílico de 4mm.



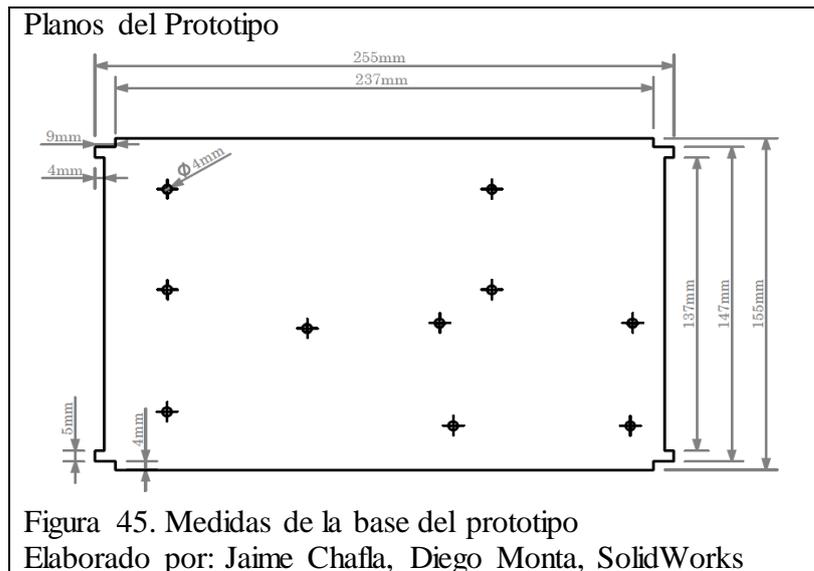
En la figura 43 se muestra el plano con medidas del lado derecho del prototipo el material es acrílico de 4mm.



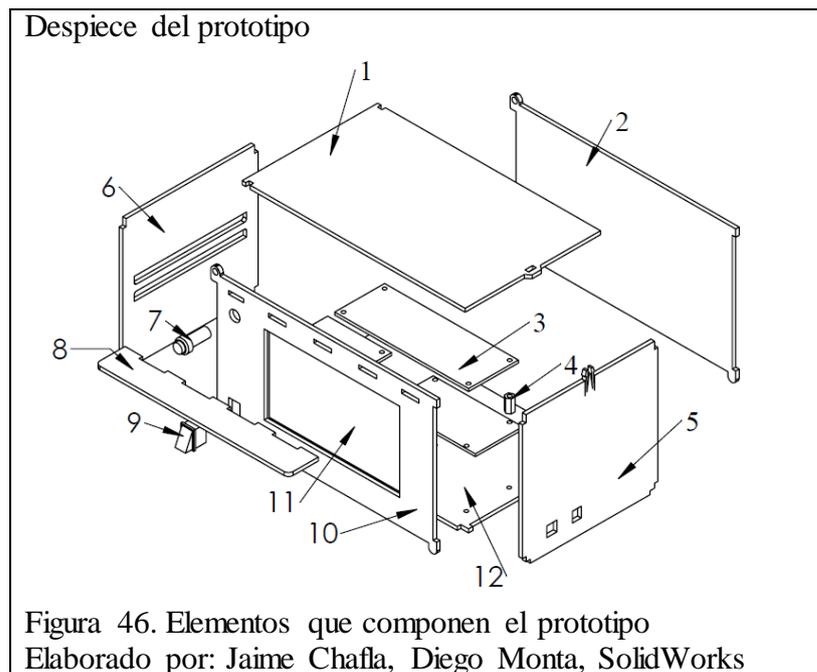
En la figura 44 se muestra el plano con medidas del lado izquierdo del prototipo el material es acrílico de 4mm.



En la figura 45 se muestra el plano con medidas de la base del prototipo el material es acrílico de 4mm.



En la figura 46 se muestra cada uno de los elementos que componen el módulo principal del prototipo.



- 1 Tapa.
- 2 Lado posterior.
- 3 PCB con los circuitos.
- 4 Tuerca hexagonal larga.
- 5 Lado derecho.
- 6 Lado izquierdo.
- 7 Pulsador para prender la Tablet.
- 8 Visera protectora.
- 9 Interruptor ON/OFF del módulo.
- 10 Lado frontal.

- 11 Pantalla Touch de 7”.
- 12 Base.

3.8. Características del prototipo.

En la Tabla 31 se presentan todos los elementos que posee el prototipo con sus respectivas características.

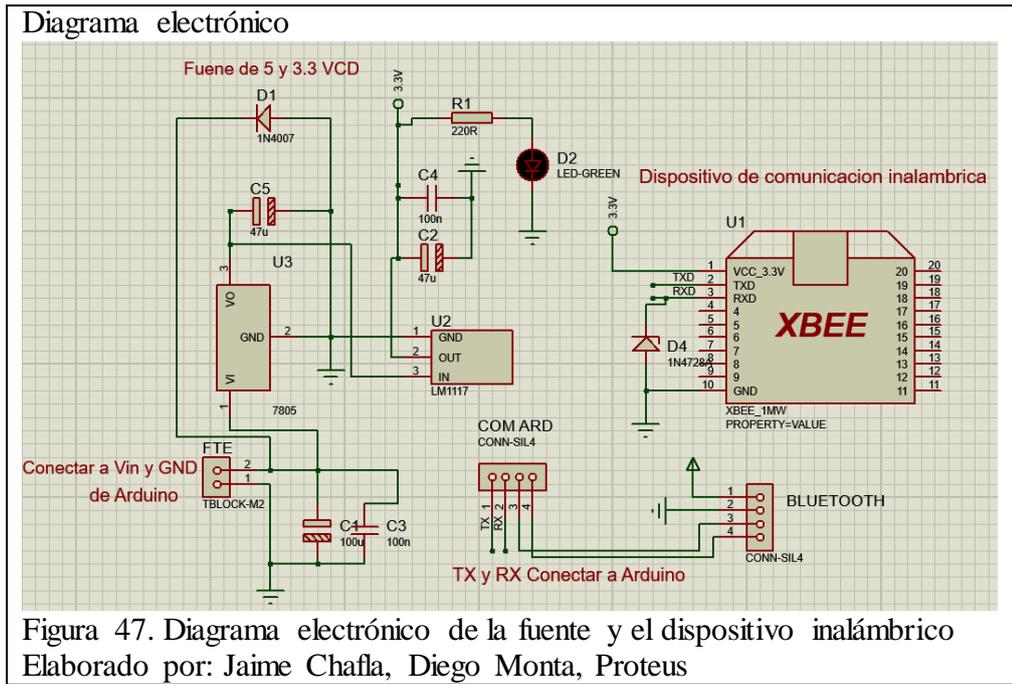
Tabla 31. Características del prototipo

ELEMENTO	CARACTERISTICAS
Arduino Mega 2560	Microcontrolador Atmega2560 Voltaje de entrada (recomendado) 7-12V Digital pines I / O 54 (de los cuales 15 proporcionan salida PWM) Memoria Flash de 256 KB de los cuales 8 KB utilizado por el gestor de arranque SRAM 8 KB EEPROM 4 KB Reloj 16MHz velocidad
XBee 1MW PCB ANTENNA	Antena PCB Cross-compatibilidad con otros módulos XBee 802.15.4 100 pies (30 m) de rango interior / urbana y 300 pies (100 m) al aire en línea de vista Topología de la red 802.15.4
Pantalla Touch 7”	Tamaño 600 x 1024 pixels, 7.0 pulgadas 4GB memoria interna, 1GB RAM Procesador Cortex A9 Rockchip RK2928 1GHz OS Android OS, v4.1 Jelly Bean Wi-Fi 802.11 b/g/n Bluetooth v2.0 A2DP
Módulo Bluetooth HC-06	Compatible con el protocolo Bluetooth V2.0. Voltaje de operación: 3.3VDC. Baud rate ajustable: 1200, 2400, 4800, 9600, 19200, 38400, 57600, 115200.

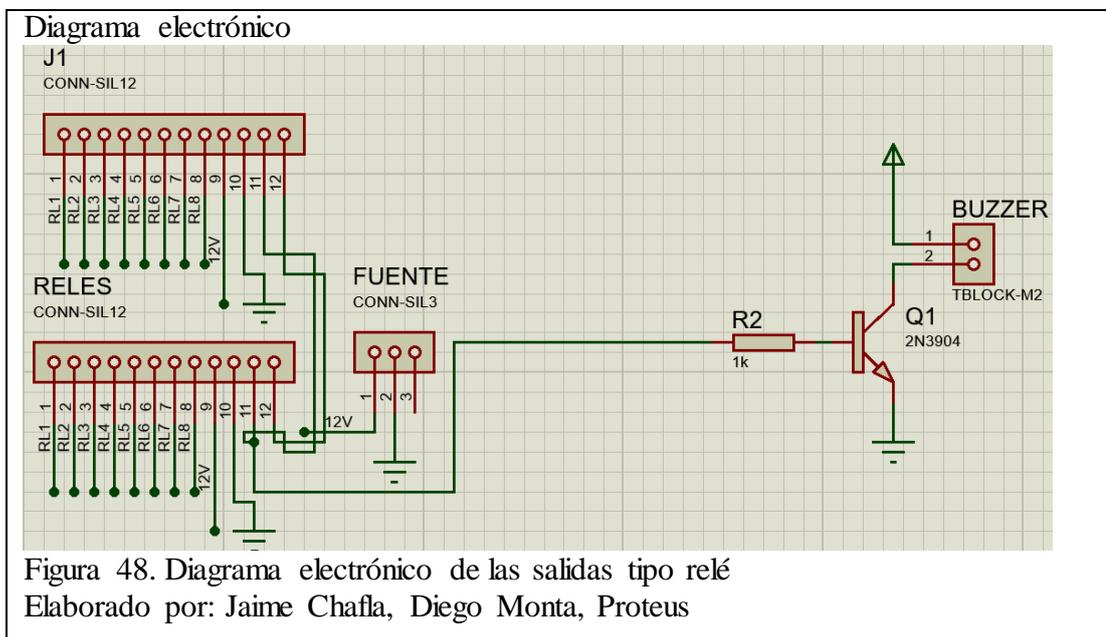
Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

3.9. Diagramas electrónicos del módulo.

En la figura 47 se muestra el diagrama electrónico de la fuente de alimentación que posee dos salidas una 3V DC que es utilizada para la alimentación del módulo XBee y una salida de 5V DC que es utilizada para la alimentación del módulo BLUETOOTH.



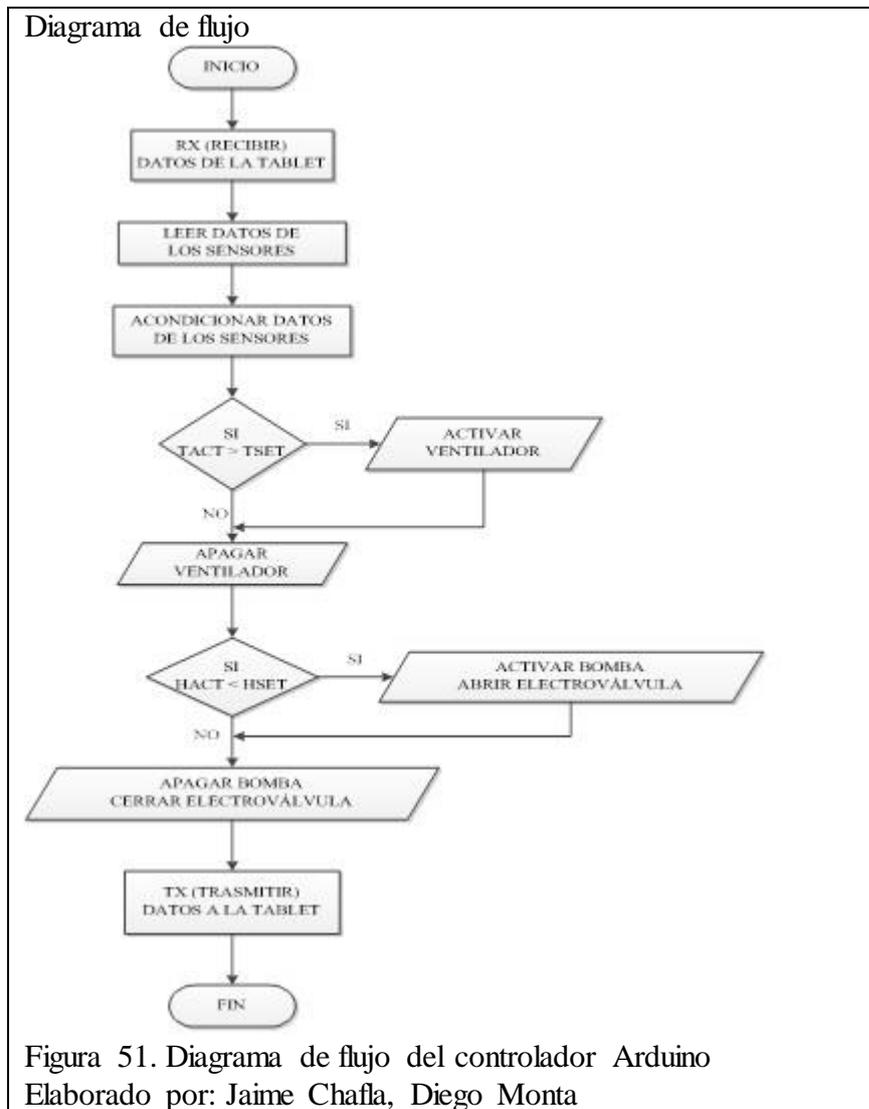
En la figura 48 se muestra el diagrama electrónico de las salidas tipo relé que posee el módulo principal, así como el ingreso de la fuente de alimentación de 12V DC.



En la figura 49 se muestra el diagrama electrónico para la transmisión de datos del sensor de humedad hacia el módulo principal de forma inalámbrica, el microcontrolador es utilizado para convertir los datos analógicos a digitales, debido que el módulo XBee solo puede transmitir datos digitales.

3.10. Diseño del software del módulo.

En la figura 51 se muestra el funcionamiento del controlador Arduino que es el encargado del monitoreo de la temperatura y humedad dentro del invernadero para lo cual hace una comparación de los valores recibidos de los sensores (TACT y HACT) y los ingresados por el usuario (TSET y HSET) para la activación de los actuadores.



3.10.1. Pantalla HMI

En la figura 52 se muestra la pantalla de inicio del HMI del módulo electrónico que está diseñada en Appinventor.



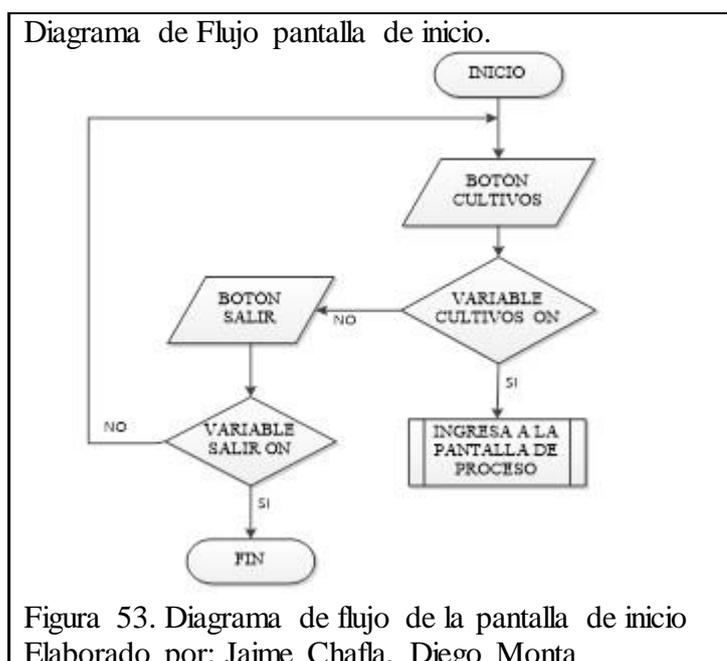
En la tabla 32 se describe cada uno de los ítems de la pantalla de inicio.

Tabla 32. Explicación de los ítems de la pantalla de inicio

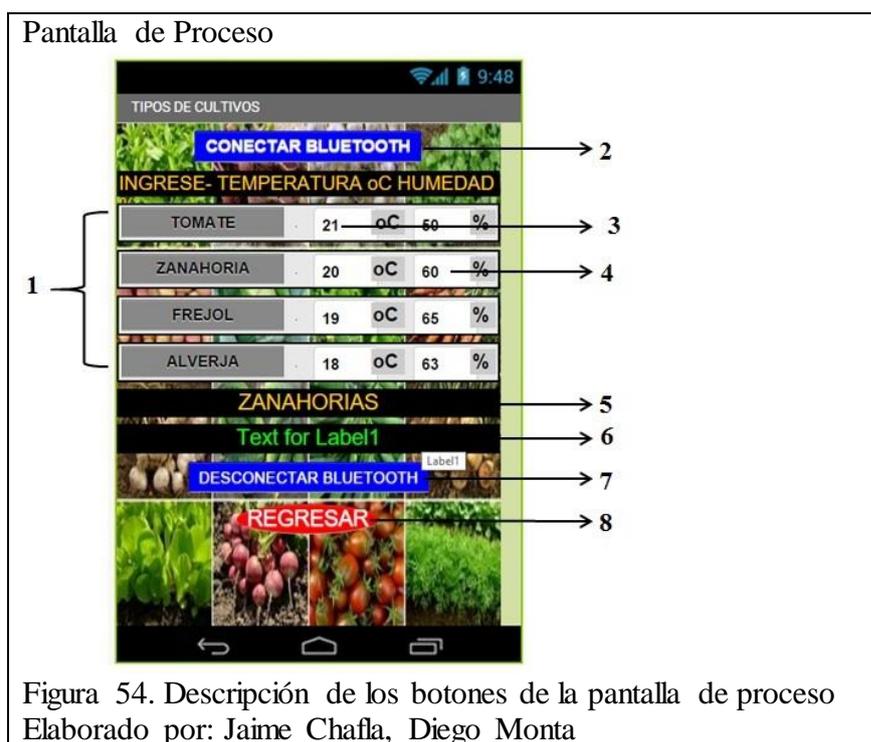
ITEM	DESCRIPCION
1	Botón para ingresar a la pantalla de proceso
2	Sale de la aplicación

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la figura 53 se muestra la descripción del funcionamiento de la pantalla de inicio mediante la utilización de un diagrama de flujo.



En la figura 54 se muestra la pantalla de proceso del HMI diseñada en Appinventor.



En la tabla 33 se describe cada uno de los ítems de la pantalla de proceso.

Tabla 33. Explicación de los ítems de la pantalla de proceso

ITEM	DESCRIPCION
1	Tipos de cultivos que se puede seleccionar para controlar
2	Botón para conectar la pantalla touch al módulo por medio de BLUETHOOOTH para el inicio de transmisión de datos
3	Botón para que el usuario ingrese la temperatura a la que quiere que se encuentre el invernadero
4	Botón para que el usuario ingrese la humedad a la que quiere que se encuentre el suelo del invernadero
5	Indica el tipo de cultivo seleccionado
6	Muestra los valores de temperatura y humedad ingresados y los medidos por los sensores
7	Desconecta la pantalla touch del módulo para que deje de transmitir datos
8	Regresa a la pantalla de inicio

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la figura 55 se muestra la descripción del funcionamiento de la pantalla de proceso mediante la utilización de un diagrama de flujo.

Diagrama de flujo de la pantalla de proceso

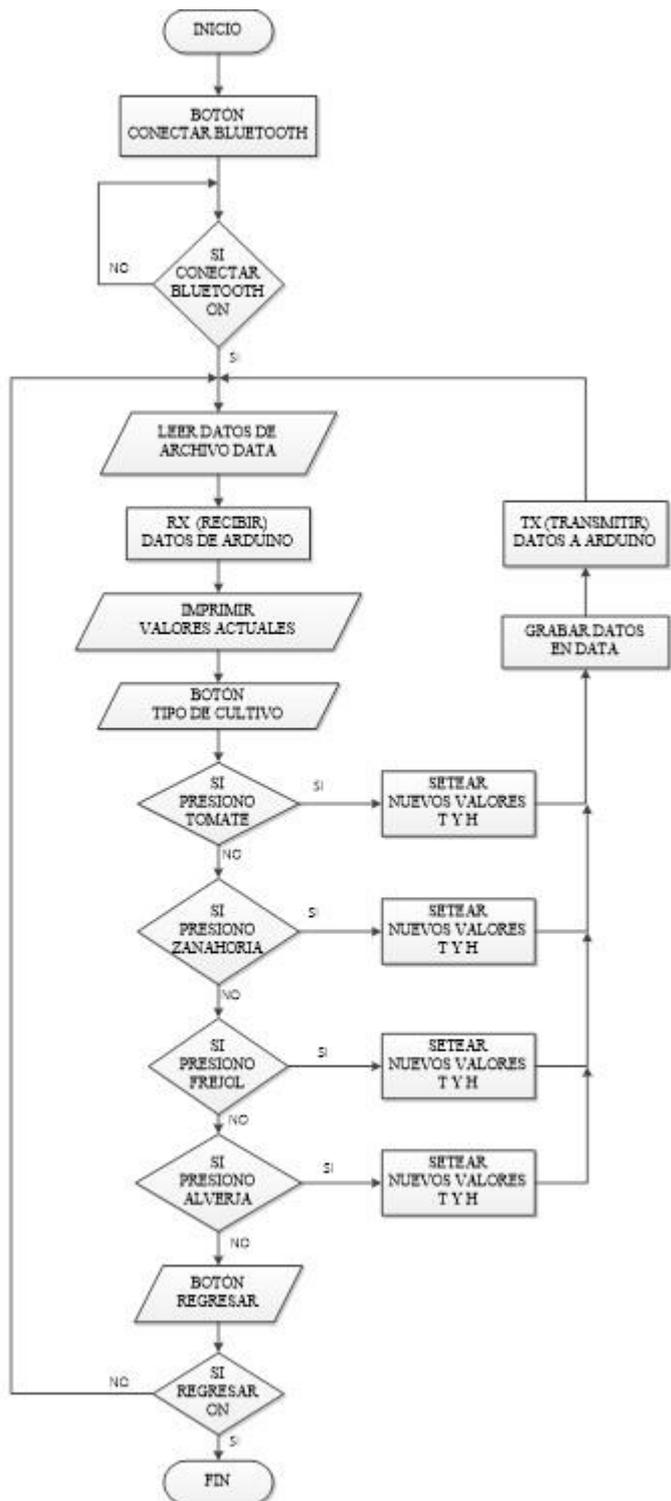


Figura 55. Flujograma del funcionamiento de la pantalla de proceso
Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

3.11. Aplicación práctica del prototipo.

En la figura 56 se muestra el modelo virtual del invernadero y sus dimensiones en donde se implementó la automatización. La estructura está hecha de caña guadua que es muy común en la zona en la que se encuentra el invernadero, la estructura se encuentra cubierta por un plástico térmico. La tubería es PVC de ½ pulgada, el riego de los cultivos se lo realiza por goteo usando mangueras diseñadas para este tipo de humedecimiento. El Módulo de encarga de accionar y parar el paso del agua mediante las electroválvulas, además de apagar o encender el ventilador según la condición del clima.

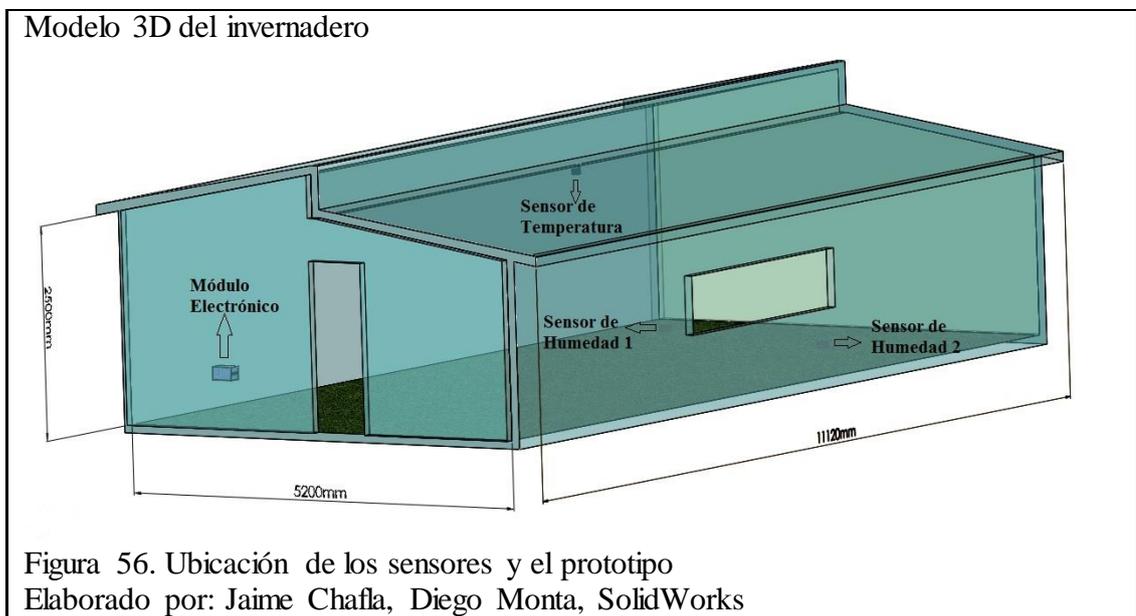
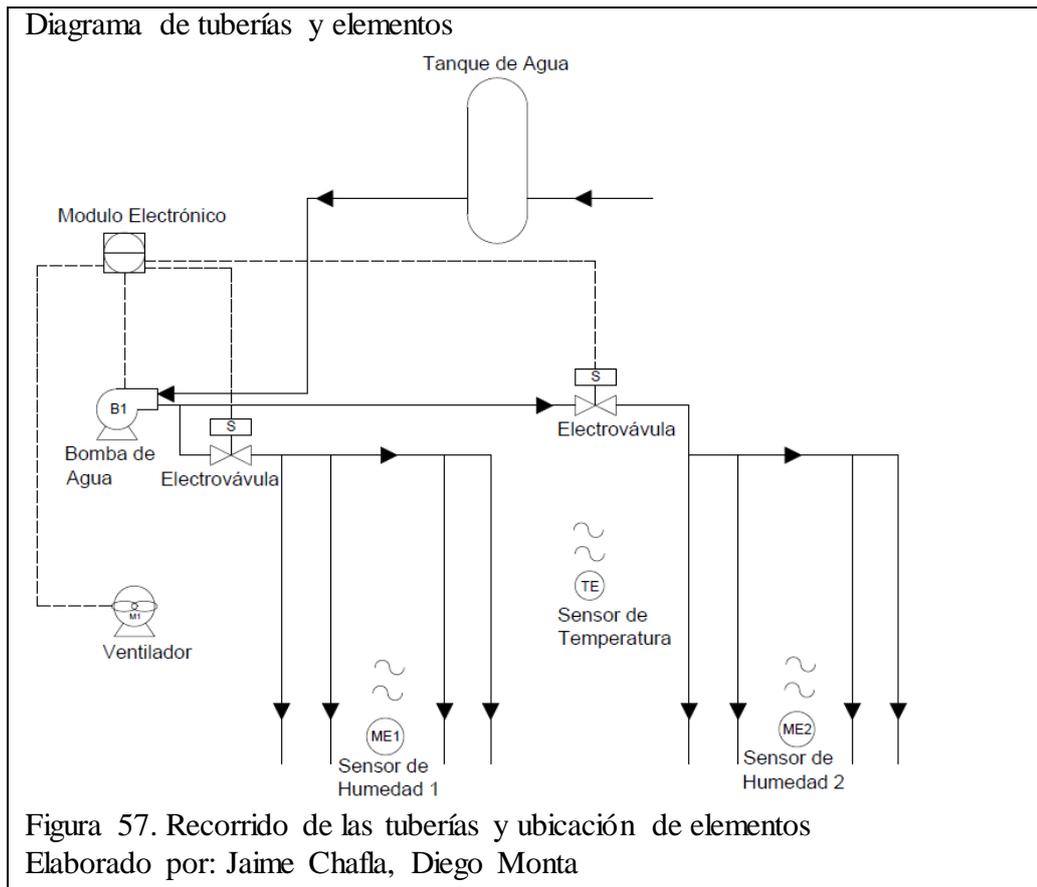


Figura 56. Ubicación de los sensores y el prototipo
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta, SolidWorks

3.12. Diagrama de instrumentación y tuberías.

En la figura 57 se muestra las conexiones eléctricas de los actuadores, las conexiones hidráulicas de las tuberías de riego y la distribución de estas dentro del invernadero. Los sensores de temperatura como de humedad transmiten de forma inalámbrica hacia el módulo principal, el invernadero posee un tanque de agua para realizar el riego a los cultivos.



En la tabla 32 se describe cada uno de los símbolos utilizado en el diagrama de instrumentación y se detalla las características de cada uno

Tabla 34. Tabla de simbología de actuadores y sensores

SIMBOLO	DESCRIPCION
	Tanque de agua de 500lt
	Bomba de agua de 115/230V AC, 60Hz, 1/2Hp, 40 l/min, 2.5A
	Módulo electrónico 110V AC, 60Hz.
	Sensor de Humedad
	Sensor de temperatura
	Electroválvula 12V DC.
	Ventilador 110V AC, 60Hz, 70W
	Tubería de riego por goteo de 1/4"
	Conexión eléctrica THHN(2x#14 AWG)

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

CAPÍTULO 4

ANÁLISIS Y RESULTADOS

En la figura 58 se muestra de cómo quedó construido el módulo electrónico para el control de la humedad y temperatura de un invernadero.



A continuación, se realizarán pruebas por cada uno de los sistemas que interactúan con el prototipo de forma independiente para analizar su funcionamiento.

4.1. Transmisión de los datos de los sensores al módulo

4.1.1. Transmisión de los datos de los sensores de humedad

La transmisión de datos del sensor de humedad al módulo se lo hizo de forma inalámbrica mediante el uso de módulos XBEE debido a que al hacerlo mediante cables conductores si la distancia superaba los 3 metros de distancia entre el sensor y el prototipo los datos transmitidos eran erróneos, con la utilización de los módulos XBEE se puede transmitir datos hasta una distancia de 100m sin pérdida de datos. Para la verificación de la transmisión de datos de humedad se procedió al riego del suelo de forma manual y se procedía a observar en la pantalla touch del prototipo si variaba el valor al variar la humedad del suelo.

En la figura 59 se muestra la ubicación del sensor de humedad con su módulo XBee en el invernadero este posee su propia fuente alimentación.

Sensor de Humedad



Figura 59. Instalación del sensor de humedad
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la figura 60 se muestra el valor que recibe del sensor de humedad como humedad actual (HACT) y el valor seteado por el usuario (HSET).

Pantalla de Proceso

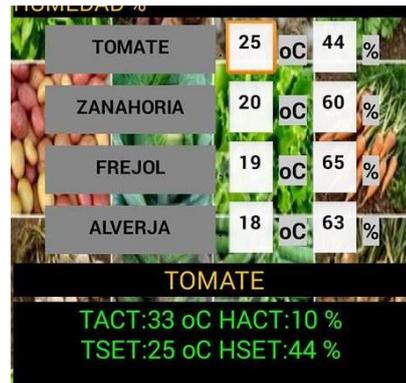
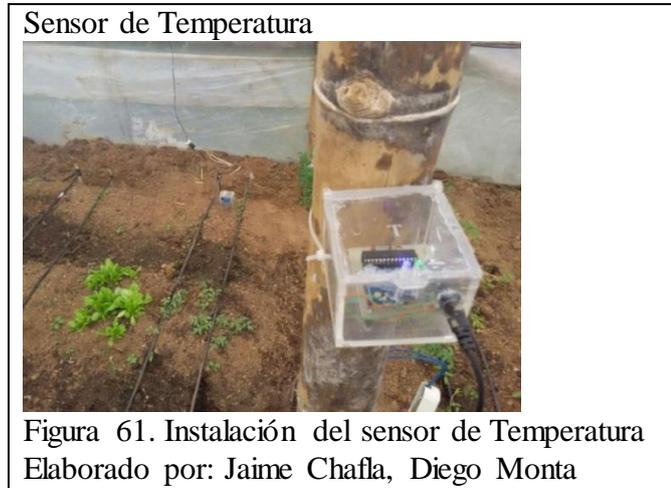


Figura 60. Lectura de datos del sensor de humedad
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

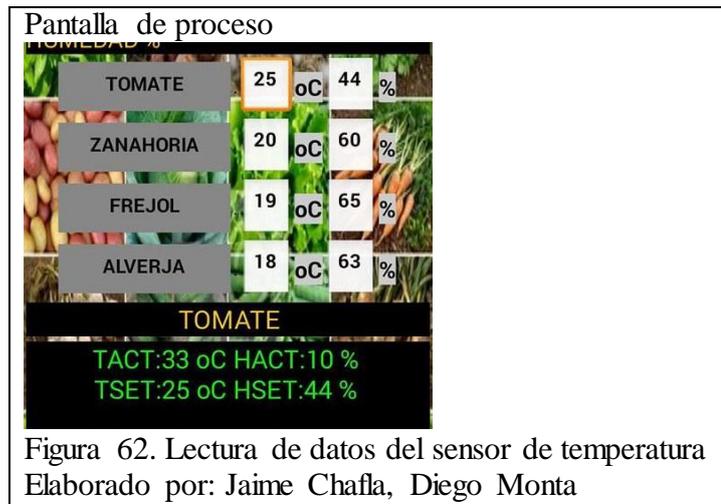
4.1.2. Transmisión de los datos de los sensores de temperatura.

El sensor de temperatura fue instalado a una altura de 3m sobre el suelo en la mitad del invernadero la transmisión de datos desde el sensor hacia el prototipo se hizo de forma inalámbrica mediante el uso de módulos XBEE. Para la verificación de la transmisión de datos de temperatura se procedió a variar la temperatura del sensor mediante el uso de un caudín y un ventilador y se procedía a observar en la pantalla touch del prototipo si el valor recibido variaba al variar la temperatura del invernadero.

En la figura 61 se muestra la ubicación del sensor de temperatura con su módulo XBee en el invernadero este posee su propia fuente alimentación.



En la figura 62 se muestra el valor que recibe del sensor de temperatura como humedad actual (TACT) y el valor seteado por el usuario (TSET).



4.2. Comprobación del funcionamiento de actuadores.

4.2.1. Funcionamiento del Sistema de Riego.

Para comprobar el funcionamiento de la activación de la bomba y la apertura o cierre de las electroválvulas se procedió a setear la humedad mayor que registraban los sensores, se observó que, si la humedad del suelo era menor a la ingresada por el usuario la bomba de agua se encendía y a su vez se abrían las electroválvulas, el

tiempo de encendido y apertura era hasta que, el valor leído por el sensor sea el mismo o mayor que el valor seteado.

En la figura 63 se encuentra la ubicación de la bomba de agua dentro del invernadero.

Bomba de agua



Figura 63. Instalación de la bomba de agua de 1/2hp
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la figura 64 se encuentra la ubicación de la electroválvula.

Electroválvula



Figura 64. Instalación de la electroválvula de 110V AC
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

4.2.2. Funcionamiento del sistema de enfriamiento.

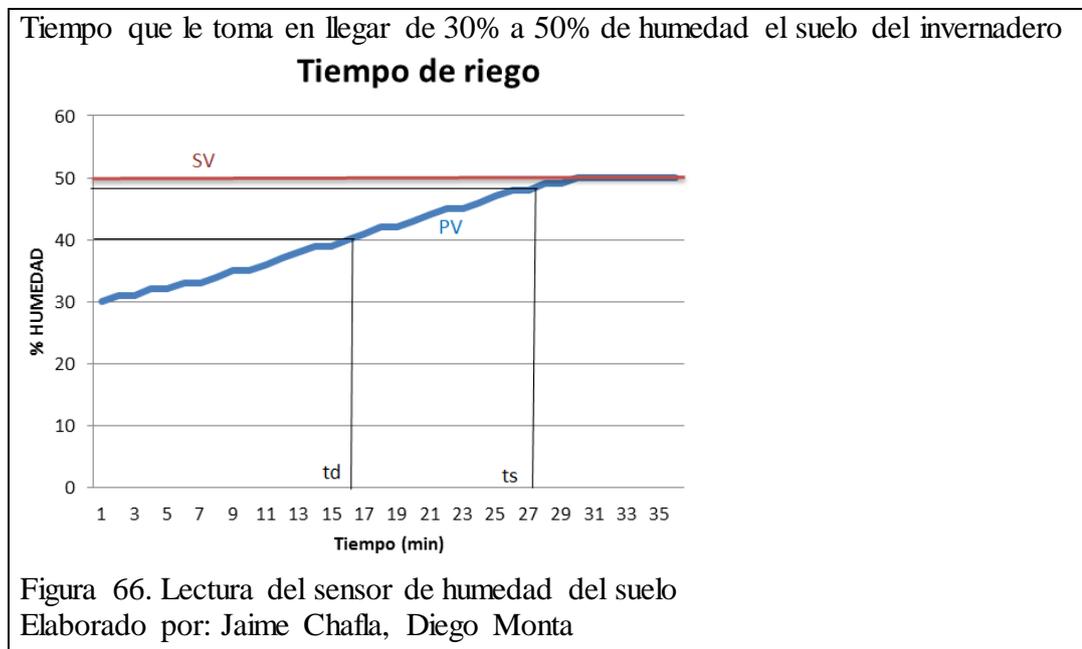
Para la comprobación del sistema de enfriamiento se ingresaron los datos de set para la temperatura en el prototipo, a una temperatura mayor a la registrada por el sensor, de forma inmediata se activó el ventilador, el mismo que permanecía encendido hasta enfriar el ambiente dentro del invernadero.

En la figura 65 se encuentra la ubicación del ventilador.



4.3. Graficas de respuesta de los sensores.

En la siguiente Figura 66 se muestra el tiempo que permanece activado el sistema de riego al tener como lectura inicial 30% de humedad en el suelo para luego obtener un 50% de humedad en suelo este dato puede variar a conveniencia del usuario y del tipo de cultivo que se vaya a producir en el invernadero.



td= Tiempo de retardo cuando alcanza por primera vez el 50% del valor final

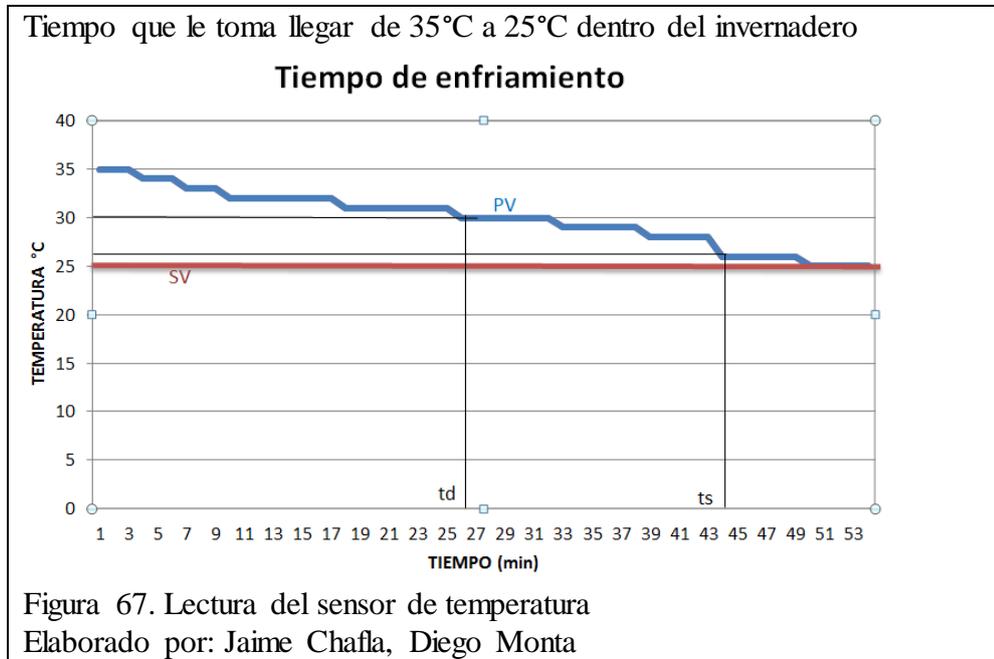
ts= Tiempo de asentamiento tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un valor cercano al 90% del valor final

SV= Valor de referencia

PV= Valor del proceso

td= 16.5 min
 ts= 27 min

En la Figura 67 se muestra el tiempo que le toma al sistema de enfriamiento alcanzar la temperatura ingresada por el usuario en este caso 25°C.



td= Tiempo de retardo cuando alcanza por primera vez el 50% del valor final
 ts= Tiempo de asentamiento tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un valor cercano al 90% del valor final
 SV= Valor de referencia
 PV= Valor del proceso
 td= 27 min
 ts= 44 min

4.4. Análisis costo beneficio de la automatización del invernadero.

En la tabla 35 se presenta todos los gastos realizados para la automatización del invernadero

Tabla 35. Costos de la automatización

Cantidad	MATERIAL/ ACCION	Precio unitario USD	Precio total USD
1	Componentes y material electrónico	280,00	280,00
6	fabricación tarjetas PCB	15,80	94,80
1	Tablet 3g Huawei	90,00	90,00
1	Fabricación case de protección para el módulo y transmisores	100,00	100,00
1	Costos por equipo de enfriamiento	70,00	70,00
1	Acometidas eléctricas y cableado, para la alimentación del módulo y sensores	65,00	65,00
2	Electroválvulas	10,00	10,00
1	Bomba de agua ½ hp	65,00	65,00
1	Acoples y mangueras de agua	35,00	35,00
1	Mueble de protección módulo	30,00	30,00
	TOTAL		839,80

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la tabla 36 se presentan los costos anuales aproximados para la producción de la hortaliza “tomate riñón variedad dominique” en un invernadero comunitario de 11m x 5m.

Tabla 36. Costos anuales de producción sin automatización

Cantidad	MATERIAL/ ACCION	Precio unitario USD	Precio total USD
1	Abonos.	15,00	15,00
1	Fungicidas y fertilizantes.	40,00	40,00
1	Semilla.	15,00	15,00
1	Costo agua de riego.	40,00	40,00
1	Costo personal de mantenimiento y cosecha del cultivo.	300,00	300,00
	TOTAL		410,00

Nota. Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la tabla 37 se muestran los ingresos obtenidos de la producción anual, para el invernadero de cultivo de la hortaliza “tomate riñón variedad dominique”

Tabla 37. Ingresos anuales obtenidos de la producción sin automatizar

Tiempo en meses	Cosechas	N° de plantas	Peso de cosecha total Kg.	Costo 1kg. Promedio USD	Total de ingresos USD.
12	4	200	≈1200	≈1,10	≈1320,00

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

En la tabla 38 se muestran los costos anuales aproximados para la producción de la hortaliza “tomate riñón variedad dominique” en un invernadero comunitario de 11m x 5m una vez implementada la automatización.

Tabla 38. Costos de producción anuales con la automatización

Cantidad	MATERIAL/ ACCION	Precio unitario USD	Precio total USD
1	Abonos.	15,00	15,00
1	Fungicidas y fertilizantes.	20,00	20,00
1	Semilla.	15,00	15,00
1	Costo agua de riego.	40,00	40,00
1	Costo personal de mantenimiento.	160,00	160,00
1	Costo servicio eléctrico.	96,00	96,00
	TOTAL		346,00

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

En la tabla 39, se muestran los ingresos obtenidos de la producción anual, para el invernadero de cultivo de la hortaliza “tomate riñón variedad dominique” una vez concluida la automatización.

Tabla 39. Ingresos anuales obtenidos de la producción una vez realizada la automatización

Tiempo en meses	Cosechas	N° de plantas	Peso de cosecha total Kg.	Costo 1kg. Promedio USD	Total de ingresos USD.
12	4	200	≈1600	≈1,10	≈1760,00

Nota. Elaborado por: Jaime Chafla, Diego Monta

El ahorro en costos de producción anual respecto al costo previo a la automatización es:

Ahorro en costos de producción =

Costo sin automatizar – Costo con automatización (1)

$$\text{Ahorro en costos de producción} = (410,00 - 346,00)\text{USD}$$

$$\text{Ahorro en costos de producción} = 64,00\text{USD}$$

La ganancia anual respecto a los ingresos previos a la automatización es:

Ganancia de ingresos =

Ingresos con automatización – Ingresos sin automatización (2)

$$\text{Ganancia de ingresos} = (1760,00 - 1320,00)\text{USD}$$

$$\text{Ganancia de ingresos} = 440,00\text{USD}$$

La ganancia real anual con la automatización es:

Ganancia real = Ganancia de ingresos + Ahorro en costos de producción (3)

$$\text{Ganancia real} = (440,00 + 64,00)\text{USD}$$

$$\text{Ganancia real} = 504,00\text{USD}$$

El costo total anual es:

Costo total(VAC) = Costo de producción + Costo de la automatización (4)

$$\text{Costo total(VAC)} = (346,00 + 839,80)\text{USD}$$

$$\text{Costo total(VAC)} = 1185,80\text{USD}$$

El beneficio neto (VAI) tomando el periodo T=1 es de:

VAI = Ingresos con automatización × T (5)

$$\text{VAI} = 1760,00 \times 1\text{USD}$$

$$\text{VAI} = 1760,00$$

Hallando el Costo Beneficio B/C:

$$B/C = \text{VAI}/\text{VAC} \quad (6)$$

$$B/C = 1760,00/1185,80$$

$$B/C = 1.4842 > 1 \text{ el proyecto es rentable}$$

En la figura 68 se muestra una comparación de los costos de producción del “tomate riñón variedad dominique” antes y después de realizar la automatización.

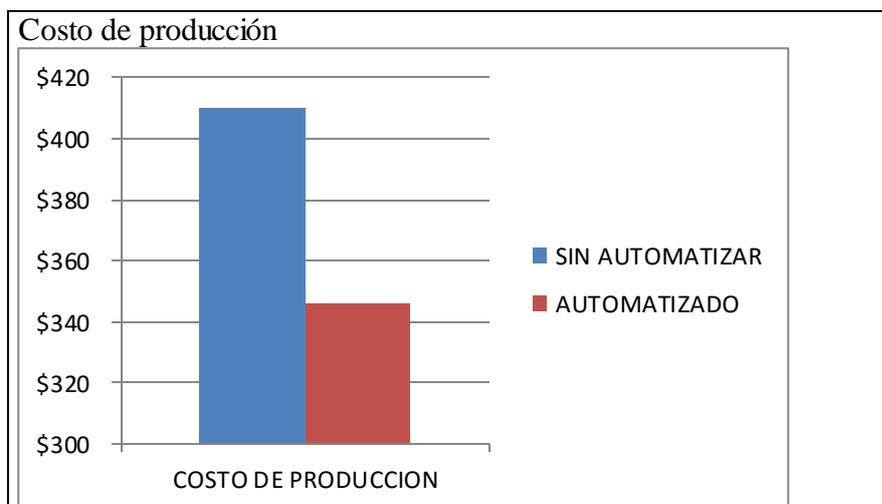


Figura 68. Comparación de los costos de producción
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

En la figura 69 se muestra una comparación del rango de ganancias obtenidas durante un año de producción.

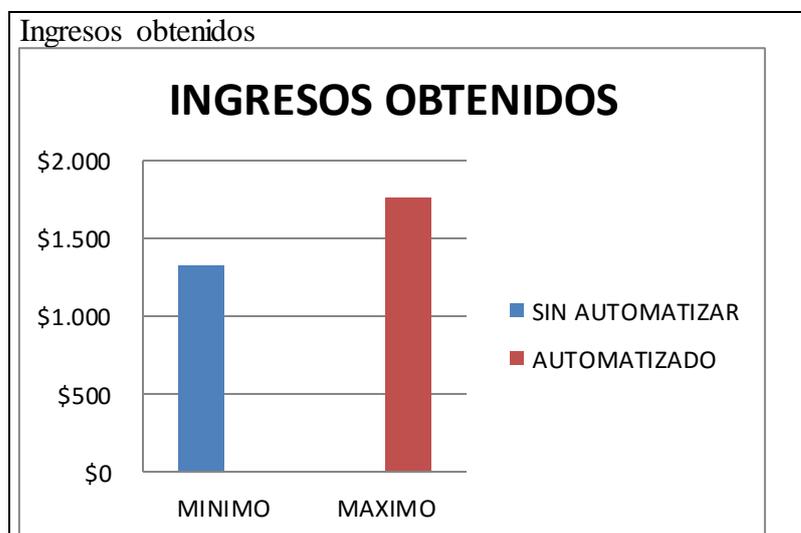


Figura 69. Comparación de los ingresos obtenidos
Elaborado por: Jaime Chafra, Diego Monta

4.5. Procedimiento para utilización del módulo en el cultivo de hortalizas y legumbres.

En la figura 70 se muestra el monitoreo de la temperatura y humedad durante el cultivo del tomate que es una hortaliza. Mientras que en la figura 71 se muestra el monitoreo de la temperatura y humedad durante el cultivo del frejol que es una legumbre.



Para el uso del módulo para la automatización del invernadero de debe realizar lo siguiente:

1. Verificar que tanto en módulo electrónico como los sensores de humedad y temperatura estén alimentados con 12V DC.
2. Para encender o apagar el módulo electrónico se acciona o desactiva respectivamente el interruptor ubicado en la parte inferior derecha.
3. Encender la pantalla touch con el pulsador ubicado en la parte superior derecha.
4. Entrar a la aplicación para el control del invernadero pulsando el icono "INVERNADERO_APP".

5. Al ingresar a la aplicación presionar el botón “CULTIVOS” para acceder a la pantalla de proceso.
6. En la pantalla de proceso presionar la opción “CONECTAR BLUETOOTH” para establecer la comunicación entre la pantalla touch y el dispositivo BLUETOOTH del controlador Arduino.
7. Para verificar que el módulo reciba los datos de los sensores de humedad y temperatura, para lo cual la pantalla debe mostrar los valores recibidos, por ejemplo, TACT: 30 °C HACT: 30%, que son las lecturas actuales de temperatura y humedad.
8. Para comenzar con la automatización del invernadero se debe elegir uno de los 4 cultivos, para lo cual se debe verificar si los valores pre establecidos de temperatura y humedad son idóneos, de no ser así los valores pueden ser cambiados presionando sobre el valor a modificar, para que se despliegue un teclado numérico el mismo que permitirá el ingreso de nuevos datos.
9. Para verificar que la información que recibe el módulo es la correcta se debe mostrar en la pantalla el cultivo seleccionado y el valor de temperatura y humedad ingresados por el usuario ejemplo: TOMATE, TSET: 25 °C HSET: 50%.

CONCLUSIONES

Una vez que se ha realizado el proyecto de automatización se concluyó que:

- Al diseñar e implementar el módulo para la automatización de un invernadero comunitario en la Parroquia de Sumaco, se determinó que el sistema mejoró la producción y las ganancias por cosecha, puesto que en la actualidad el invernadero mantiene una alta producción de tomate riñón en relación a la anterior sin la automatización, además se redujo los costos por mantenimiento y prevención de plagas mejorando así las ganancias finales.
- Mediante el uso de encuestas y entrevistas a agricultores de la parroquia Sumaco, se determinó que el sistema de cultivo bajo invernaderos es el más idóneo para el sector, ya que del análisis estadístico de la investigación el 100 % de los agricultores consideran mejor al cultivo bajo invernaderos, por permitir la producción de una variedad extensa de hortalizas y legumbres no endémicas de la región amazónica y mejorar las prestaciones en comparación con otras formas de cultivo.
- Para el diseño e implementación del hardware del módulo de automatización, se empleó la casa de la calidad QFD, esta metodología finalizó en un diseño de hardware idóneo, sintetizado de las necesidades básicas del usuario tales como: funcionalidad del equipo, costos, operación y tiempo de vida útil. Se escogió la QFD debido a la necesidad de implementar un hardware que recoja el sentir del agricultor, es decir: un sistema ergonómico, de fácil manejo, con un costo relativamente bajo y que sea totalmente funcional en cualquier temporada del año.
- Al desarrollar e implementar el software del módulo de automatización se determinó que el proceso necesita un sistema de lectura y escritura de datos en tiempo real, debido a las múltiples variaciones bruscas del clima en la zona de implementación, por lo que se realizó el algoritmo en el software Arduino IDE, para que el sistema monitoree las variables y encienda o apague los actuadores al mismo tiempo brindando un control en tiempo real de la temperatura y humedad del suelo.

- Para la comunicación entre los sensores y el controlador se usaron módulos Xbee, con la configuración un maestro varios esclavos, por su alta velocidad para el intercambio de datos así facilitando la ejecución del algoritmo en el controlador.
- Del análisis del Costo beneficio C/B se obtuvo que el proyecto es rentable, ya que el cociente resultante entre la división del beneficio neto y el costo total supero la condición $C/B > 1$, al periodo de un año de la automatización.
- Con la automatización se determinó que existe un incremento en la producción del 33,3% con relación a la producción tradicional sin automatización, lo que demuestra que automatizado un proceso no solo incrementa la producción sino también elimina los procesos manuales.

RECOMENDACIONES

- Al momento de realizar una investigación sobre los conceptos técnicos del sistema de cultivos bajo invernadero, es conveniente asesorarse con un técnico calificado, puesto que hay ciertos aspectos sobre este sistema que únicamente los conocen quienes lo practican.
- Para la satisfacción de las necesidades de los usuarios es indispensable el empleo de encuestas o entrevistas, enfocadas a conocer sus necesidades y obtener la información necesaria para el desarrollo de la casa de la calidad (QFD).
- El código fuente que nos permita la comunicación entre los transmisores y el módulo de recepción del prototipo, es el primer aspecto a considerar para el diseño del software del sistema, puesto que un envío y recepción de datos en simultáneo facilita en mucho el diseño del algoritmo de control del sistema.
- Para aumentar los ingresos y con ello el costo – beneficio, es conveniente implementar la automatización en invernaderos de mayor tamaño, puesto que así se incrementa la producción del cultivo y los gastos de implementación se mantienen.

REFERENCIAS

- Arduino. (09 de 12 de 2015). *Arduino*. Obtenido de <https://www.arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardMega2560>
- Creser feliz*. (12 de 11 de 2015). Obtenido de <http://www.crecerfeliz.es/Embarazo/Alimentacion/Alimentos-con-calcio-para-embarazadas/Leumbres>
- el aderezo*. (10 de 09 de 2015). Obtenido de <http://eladerezo.hola.com/salud-y-bienestar/verdades-y-mitos-sobre-las-frutas-y-las-hortalizas.html>
- ELECTRONILAB. (09 de 12 de 2015). *electronilab.co*. Obtenido de <http://electronilab.co/tienda/modulo-bluetooth-hc-06-serial-rs232ttl/>
- Microchip. (20 de 10 de 2015). *Microchip*. Obtenido de <http://www.microchip.com/wwwproducts/en/PIC32MX110F016B>
- National Semiconductor. (09 de 12 de 2015). <http://www.datasheetcatalog.net/>. Obtenido de <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/nationalsemiconductor/DS005516.PDF>
- Plastigama. (16 de 07 de 2015). *Plastigama*. Obtenido de <http://www.plastigama.com.ec/pdfs/aspersores.pdf>
- Plastigama. (s.f.). *plastigama*. Obtenido de http://sitio.plastigama.com/images/hojasTecnicas/Sistema_de_riego_por_goteo.pdf
- Revels, D. A., & Minjares, J. L. (09 de 12 de 2015). <http://ice.uaz.edu.mx/>. Obtenido de http://ice.uaz.edu.mx/c/document_library/get_file?uuid=d8507a5e-b959-4ba3-b708-bf5734a0c8a3
- Riba, C. (2002). *Diseño Concurrente*. Barcelona: ETSEIB-UPC.
- Ruiz, A., & Rojas, F. (08 de 12 de 2015). *cortland.edu*. Obtenido de <http://web.cortland.edu/matresearch/QFD.pdf>
- samsung. (20 de 10 de 2015). *samsung*. Obtenido de <http://www.samsung.com/latin/consumer/mobile-devices/tablets/filter/>
- Siemens. (20 de 10 de 2015). *Siemens*. Obtenido de <http://w3.siemens.com/mcms/human-machine-interface/en/operator-interfaces/basic-panel/basic-panel-2nd-generation/Pages/default2.aspx>
- Siemens. (20 de 10 de 2015). *Siemens*. Obtenido de <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/basic-controller/s7-1200/cpu/Pages/Default.aspx?tabcardname=standard%20cpus>

smartGSM. (09 de 12 de 2015). *smart-gsm.com*. Obtenido de <http://www.smart-gsm.com/moviles/alcatel-one-touch-tab-7>.

smartgsm. (20 de 02 de 2016). <http://www.smart-gsm.com/>. Obtenido de <http://www.smart-gsm.com/moviles/alcatel-one-touch-tab-7>.

TecMikro. (20 de 10 de 2015). *TecMikro*. Obtenido de <http://programarpicenc.com/articulos/pantalla-tactil-glcd-128x64-con-panel-tactil-y-pic16f877a/>

XBee. (09 de 12 de 2015). *XBee.cl*. Obtenido de <http://xbee.cl/xbee-1mw-pcb-antenna/>