



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA**

**PROPUESTA TECNOLÓGICA**

**“DISEÑO DE UN MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICO FVH PARA LA  
CRIANZA DE ANIMALES DE CORRAL BASADO EN IOT”**

Proyecto de Titulación presentado previo a la obtención del Título de Ingeniero en  
Electromecánica

**Autores:**

Llugsha Siza Lenin Bladimir

Moreno Moreno Wilson Javier

**Tutor:**

Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto

Latacunga - Ecuador

Marzo 2021



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

“ Yo Llugsha Siza Lenin Bladimir y Moreno Moreno Wilson Javier, declaramos ser autores del presente proyecto de investigación: **“DISEÑO DE UN MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICO FVH PARA LA CRIANZA DE ANIMALES DE CORRAL BASADO EN IOT”**, siendo Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto tutor del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Atentamente,

.....  
Lenin Bladimir Llugsha Siza

CC: 185028910-7

.....  
Wilson Javier Moreno Moreno

CC: 050399889-0



## **AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN**

En calidad de Tutor del Trabajo de Investigación sobre el título:

**“DISEÑO DE UN MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICO FVH PARA LA CRIANZA DE ANIMALES DE CORRAL BASADO EN IOT”**, de Llugsha Siza Lenin Bladimir y Moreno Moreno Wilson Javier, de la carrera de Ingeniería Electromecánica, considero que dicho Informe Investigativo cumple con los requerimientos metodológicos y aportes científicos-técnicos suficientes, para ser sometidos a la evaluación del Tribunal de Validación de Proyecto que el Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas de la Universidad Técnica de Cotopaxi designe, para su correspondiente estudio y calificación.

Latacunga, Marzo 2021.

El Tutor

---

Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto

CC: 070440044-9



## APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprueban el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi, y por la FACULTAD de Ciencias de la Ingeniería y Aplicadas; por cuanto, los postulantes: Llugsha Siza Lenin Bladimir y Moreno Moreno Wilson Javier, con el título de Proyecto de titulación: “**DISEÑO DE UN MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICO FVH PARA LA CRIANZA DE ANIMALES DE CORRAL BASADO EN IOT**”, han considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de Sustentación de Proyecto.

Por lo antes expuesto, se autoriza realizar los empastados correspondientes, según la normativa institucional.

Latacunga, Marzo 2021.

Para constancia firman:

---

**Lector 1 (Presidente)**

Ing. Ms.C Luis Rolando Cruz Panchi  
CC: 050259517-6

---

**Lector 2**

PhD. Héctor Luis Laurencio Alfonso  
CC: 175836725-2

---

**Lector 3**

Ing. Ms.C Verónica Paulina Freire Andrade  
CC: 050205622-9

## **AGRADECIMIENTO**

*En primer lugar, a Dios por haberme guiado por el camino de la felicidad hasta ahora; en segundo lugar, a cada uno de los que son parte de mi familia a mi PADRE Agustín Llugsha, mi MADRE Blanca Siza, y hermanos por siempre haberme dado su fuerza y apoyo incondicional que me han ayudado y llevado hasta donde estoy ahora. Por último, a mi compañero de tesis porque en esta armonía grupal lo hemos logrado y a mi tutor de tesis quién nos ayudó en todo momento, Ing. Jefferson Porras*

***Lenin Ll.***

## **AGRADECIMIENTO**

*El presente trabajo agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome paciencia y sabiduría para culminar con éxito mis metas propuestas.*

*A mis padres quienes son mi motor y mi mayor inspiración que, a través de su amor, paciencia, buenos valores, me ayudaron a trazar mi camino pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron.*

*Agradezco a todos los docentes que, con su sabiduría, conocimiento y apoyo, motivaron a desarrollarme como persona y profesional en la Universidad Técnica de Cotopaxi.*

**Wilson M.**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este proyecto de tesis a Dios y a mis padres. A Dios porque ha estado conmigo a cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar, a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general*

***Lenin Ll.***

## **DEDICATORIA**

*Quiero agradecer primero a Dios quien me guio por el buen camino y con mucho amor a mis padres, Víctor y Blanca por ser el pilar fundamental en toda mi vida, enseñándome que todo es posible alcanzar gracias por siempre apoyarme incondicionalmente en la parte moral y económica, para poder llegar a ser un profesional del país.*

*Así también a mi familia quienes con sus palabras de aliento no me dejaban decaer, para que siguiera adelante y siempre sea perseverante y cumpla con mis ideales.*

*A mis compañeros y amigos, quienes sin esperar nada a cambio compartieron su conocimiento, alegrías y tristezas estuvieron a mi lado apoyándome y lograron que este sueño se haga realidad. Gracias a todos.*

***Wilson M.***

## ÍNDICE GENERAL

<b>DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....</b>	<b>ii</b>
<b>AVAL DEL TUTOR DE PROYECTO DE TITULACIÓN.....</b>	<b>iii</b>
<b>APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....</b>	<b>iv</b>
<b>AGRADECIMIENTO I.....</b>	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTO II.....</b>	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA I.....</b>	<b>vii</b>
<b>DEDICATORIA II.....</b>	<b>viii</b>
<b>ÍNDICE GENERAL.....</b>	<b>ix</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>xiv</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xvii</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xx</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>xxi</b>
<b>AVAL DE TRADUCCIÓN.....</b>	<b>xxii</b>
<b>GLOSARIO.....</b>	<b>xxiii</b>
<b>1. INFORMACIÓN BÁSICA .....</b>	<b>1</b>
<b>2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Título de la propuesta tecnológica.....</b>	<b>3</b>
<b>2.2. Tipo de alcance.....</b>	<b>3</b>
<b>2.3. Área del conocimiento .....</b>	<b>3</b>
<b>2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica .....</b>	<b>3</b>
<b>2.5. Objeto de estudio y campo de acción .....</b>	<b>4</b>
<b>2.5.1. Objeto de estudio .....</b>	<b>4</b>

2.5.2.	<b>Campo de acción</b> .....	4
2.5.3.	<b>Beneficiarios</b> .....	5
2.5.4.	<b>Palabras claves</b> .....	5
2.6.	<b>Situación problemática y problema</b> .....	5
2.6.1.	<b>Situación problemática</b> .....	5
2.6.2.	<b>Problema</b> .....	6
2.7.	<b>Hipótesis o formulación de pregunta científica</b> .....	6
2.8.	<b>Objetivos</b> .....	7
2.8.1.	<b>Objetivo general</b> .....	7
2.8.2.	<b>Objetivos específicos</b> .....	7
2.9.	<b>Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos</b> .....	7
2.10.	<b>Matriz de operacionalización de variables</b> .....	8
3.	<b>MARCO TEÓRICO</b> .....	9
3.1.	<b>ANTECEDENTES</b> .....	9
3.2.	<b>Hidroponía</b> .....	10
3.2.1.	<b>Ventajas de los cultivos por hidroponía</b> .....	11
3.2.2.	<b>Técnicas hidropónicas</b> .....	11
3.2.3.	<b>Forraje verde hidropónico (FVH)</b> .....	13
3.2.4.	<b>Las partes constituyentes del sistema de FVH</b> .....	15
3.3.	<b>Invernadero para el forraje verde hidropónico (FVH)</b> .....	16
3.3.1.	<b>Invernadero tipo parral o plano</b> .....	16
3.3.2.	<b>Invernadero tipo capilla o multicapilla</b> .....	17
3.3.3.	<b>Invernadero tipo túnel</b> .....	18

<b>3.4.</b>	<b>Automatización del invernadero .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.1.</b>	<b>Sistema automatizado .....</b>	<b>19</b>
<b>3.4.1.1.</b>	<b>Funcionamiento: .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.2.</b>	<b>El Controlador Lógico Programable .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.3.</b>	<b>La interfaz humana – máquina .....</b>	<b>20</b>
<b>3.4.4.</b>	<b>Sistema de riego automatizado .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.5.</b>	<b>Sistema de climatización .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.6.</b>	<b>Parámetros de control en invernaderos .....</b>	<b>21</b>
<b>3.4.7.</b>	<b>Sensor de temperatura y humedad .....</b>	<b>22</b>
<b>3.5.</b>	<b>Placa de desarrollo de sensores.....</b>	<b>23</b>
<b>3.6.</b>	<b>Conexión a la nube con la placa SD 600EVAL .....</b>	<b>23</b>
<b>3.7.</b>	<b>Módulo ESP8266.....</b>	<b>24</b>
<b>3.8.</b>	<b>Internet of Things (IoT). .....</b>	<b>24</b>
<b>3.8.1.</b>	<b>Plataforma ThingSpeak .....</b>	<b>25</b>
<b>3.8.2.</b>	<b>Modelo de referencia de IoT .....</b>	<b>26</b>
<b>4.</b>	<b>METODOLOGÍA .....</b>	<b>28</b>
<b>4.1.</b>	<b>Definición .....</b>	<b>28</b>
<b>4.2.</b>	<b>Estructura funcional.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3.</b>	<b>Diseño dimensional .....</b>	<b>28</b>
<b>4.3.1.</b>	<b>Selección del invernadero.....</b>	<b>28</b>
<b>4.3.2.</b>	<b>Selección del material de recubrimiento del invernadero.....</b>	<b>35</b>
<b>4.3.3.</b>	<b>Selección del sistema de filtrado .....</b>	<b>39</b>
<b>4.3.4.</b>	<b>Selección del anaquel y bandeja de cultivo.....</b>	<b>44</b>

4.3.5.	<b>Dimensionamiento del área por bandeja</b> .....	45
4.3.6.	<b>Dimensionamiento de micro aspersores</b> .....	46
4.3.7.	<b>Dimensionamiento del tanque</b> .....	49
4.3.8.	<b>Dimensionamiento de la bomba</b> .....	50
4.3.8.1.	<b>Longitud equivalente de aspiración</b> .....	50
4.3.8.2.	<b>Longitud equivalente de impulsión</b> .....	51
4.3.8.3.	<b>Altura geométrica total</b> .....	51
4.3.8.4.	<b>Caudal de trabajo</b> .....	52
4.3.8.5.	<b>Comprobación de cavitación</b> .....	52
4.3.8.6.	<b>Distancia máxima recorrida</b> .....	53
4.3.8.7.	<b>Bomba Centrífuga</b> .....	54
4.4.	<b>Sistema de control</b> .....	54
4.4.1.	<b>Sistema de control de riego y humedad</b> .....	54
4.4.2.	<b>Sistema de control de temperatura</b> .....	55
4.5.	<b>Propuesta de Arquitectura de IoT</b> .....	55
4.6.	<b>Pronóstico del clima: Climate-Data.org</b> .....	56
4.7.	<b>Software para la Simulación y diseño de planos</b> .....	57
5.	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b> .....	59
5.1.	<b>Introducción</b> .....	59
5.2.	<b>Diseño dimensional</b> .....	59
5.2.1.	<b>Masa y rendimiento de cultivo</b> .....	59
5.2.2.	<b>Selección de micro aspersores</b> .....	60
5.2.3.	<b>Dimensionamiento del tanque</b> .....	61

<b>5.2.4.</b>	<b>Dimensionamiento de la bomba.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2.4.1</b>	<b>Altura manométrica total en la aspiración.....</b>	<b>62</b>
<b>5.2.4.2</b>	<b>Altura manométrica total en la impulsión.....</b>	<b>63</b>
<b>5.2.4.3</b>	<b>Selección de la Bomba. ....</b>	<b>64</b>
<b>5.2.4.4</b>	<b>Comprobación de cavitación.....</b>	<b>66</b>
<b>5.2.5.</b>	<b>Diseño en SketchUp .....</b>	<b>67</b>
<b>5.2.6.</b>	<b>Diseño en SketchUp .....</b>	<b>67</b>
<b>5.2.7.</b>	<b>Simulación - Ejecutable en Unity .....</b>	<b>67</b>
<b>5.2.8.</b>	<b>Simulación en EPANET .....</b>	<b>70</b>
<b>5.2.9.</b>	<b>Plataforma ThingSpeak .....</b>	<b>72</b>
<b>5.2.10.</b>	<b>Propuesta Tecnológica.....</b>	<b>75</b>
<b>6.</b>	<b>PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO.....</b>	<b>76</b>
<b>6.1.</b>	<b>Cotización de los materiales, mano de obra y transporte del proyecto FVH.</b>	<b>76</b>
<b>6.2.</b>	<b>Análisis de impactos.....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.1.</b>	<b>Impacto práctico .....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.2.</b>	<b>Impacto tecnológico .....</b>	<b>82</b>
<b>6.2.3.</b>	<b>Impacto ambiental .....</b>	<b>82</b>
<b>7.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>83</b>
<b>7.1.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>83</b>
<b>7.2.</b>	<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>84</b>
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>85</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>88</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2.1.</b> Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos. .....	7
<b>Tabla 2.2.</b> Matriz de operacionalización de variables. ....	8
<b>Tabla 4.1.</b> Evaluación por criterio según el tipo de máquina. ....	29
<b>Tabla 4.2.</b> Evaluación del criterio de fácil instalación.....	30
<b>Tabla 4.3.</b> Evaluación del criterio de ventilación adecuada. ....	30
<b>Tabla 4.4.</b> Evaluación del criterio de evacuación de agua.....	31
<b>Tabla 4.5.</b> Evaluación del criterio de buena luminosidad.....	31
<b>Tabla 4.6.</b> Evaluación del criterio de resistencia al viento. ....	32
<b>Tabla 4.7.</b> Evaluación del criterio de accesibilidad de costos. ....	32
<b>Tabla 4.8.</b> Evaluación del criterio de construcción.....	33
<b>Tabla 4.9.</b> Evaluación de los criterios según el tipo de invernadero. ....	34
<b>Tabla 4.10.</b> Evaluación por criterio según el tipo de máquina. ....	36
<b>Tabla 4.11.</b> Evaluación del criterio de fácil instalación. ....	36
<b>Tabla 4.12.</b> Evaluación del criterio de costos.....	37
<b>Tabla 4.13.</b> Evaluación del criterio de peso.....	37
<b>Tabla 4.14.</b> Evaluación del criterio de existencia en el mercado.....	38
<b>Tabla 4.15.</b> Evaluación del criterio de rendimiento térmico. ....	38
<b>Tabla 4.16.</b> Evaluación de los criterios según el tipo de material de recubrimiento. ....	39

<b>Tabla 4.17.</b> Evaluación por criterio según el tipo de máquina. ....	40
<b>Tabla 4.18.</b> Evaluación del criterio de fácil instalación. ....	41
<b>Tabla 4.19.</b> Evaluación del criterio de costos. ....	41
<b>Tabla 4.20.</b> Evaluación del criterio de existencia en el mercado.....	42
<b>Tabla 4.21.</b> Evaluación del criterio de pérdidas de presión. ....	42
<b>Tabla 4.22.</b> Evaluación del criterio de diseño a medida. ....	43
<b>Tabla 4.23.</b> Evaluación de los criterios para el sistema de filtrado. ....	43
<b>Tabla 4.24.</b> Longitudes de tuberías para riego del sistema.....	53
<b>Tabla 4.25.</b> Bomba centrífuga 2 HP - Modelo BP 212.....	54
<b>Tabla 4.26.</b> Valores de Temperaturas de la ciudad de Latacunga del año 2020.....	56
<b>Tabla 4.27.</b> Softwares utilizado para el Proyecto FVH. ....	57
<b>Tabla 5.1.</b> Resultados del área de producción de FVH.....	59
<b>Tabla 5.2.</b> Densidad de siembra de FVH.....	59
<b>Tabla 5.3.</b> Densidad de siembra de FVH.....	60
<b>Tabla 5.4.</b> Selección de micro aspersores.....	61
<b>Tabla 5.5.</b> Dimensionamiento del tanque reservorio.....	61
<b>Tabla 5.6.</b> Pérdida de carga en accesorios de aspiración.....	62
<b>Tabla 5.7.</b> Altura manométrica total en la aspiración.....	63
<b>Tabla 5.8.</b> Pérdida de carga en accesorios de impulsión. ....	63
<b>Tabla 5.9.</b> Altura manométrica total en la impulsión. ....	64

<b>Tabla 5.10.</b> Selección de la bomba .....	64
<b>Tabla 5.11.</b> NPSHr (requerido) - El NPSHd (disponible).....	66
<b>Tabla 5.12.</b> Configuración del teclado.....	68
<b>Tabla 6.1.</b> Costos de la estructura del invernadero.....	76
<b>Tabla 6.2.</b> Costos de la estructura del anaquel.....	77
<b>Tabla 6.3.</b> Costos del plástico para exteriores, interiores y charolas.....	78
<b>Tabla 6.4.</b> Costos del sistema de ventilación.....	78
<b>Tabla 6.5.</b> Cotización para el sistema eléctrico y electrónico.....	78
<b>Tabla 6.6.</b> Costos del sistema de riego.....	79
<b>Tabla 6.7.</b> Costos de la mano de obra.....	80
<b>Tabla 6.8.</b> Costos del transporte.....	80
<b>Tabla 6.9.</b> Presupuesto total del proyecto.....	80
<b>Tabla 6.10.</b> Análisis VAN y TIR.....	81

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Diagrama de Ishikawa.....	6
<b>Figura 3.1.</b> Hidroponía de hortalizas. ....	10
<b>Figura 3.2.</b> Cultivo en sustrato. ....	11
<b>Figura 3.3.</b> Raíz flotante. ....	12
<b>Figura 3.4.</b> Sistema NGS. ....	12
<b>Figura 3.5.</b> Sistema NFT. ....	13
<b>Figura 3.6.</b> Sistema FVH. ....	13
<b>Figura 3.7.</b> Invernadero tipo Parral.....	17
<b>Figura 3.8.</b> Invernadero tipo Capilla – Multicapilla.....	18
<b>Figura 3.9.</b> Invernadero tipo Túnel.....	19
<b>Figura 3.10.</b> Sensor de humedad y temperatura. ....	22
<b>Figura 3.11.</b> Placa de desarrollo Sensor Shield de TE. ....	23
<b>Figura 3.12.</b> Placa Arrow SD 600eval.....	24
<b>Figura 3.13.</b> Módulo ESP8266. ....	24
<b>Figura 3.14.</b> Representación IoT. ....	25
<b>Figura 3.15.</b> Almacenamiento de datos en Internet con ThingSpeak.....	26
<b>Figura 3.16.</b> Modelo de referencia de IoT. ....	27
<b>Figura 4.1.</b> Diseño del módulo de cultivo. ....	44
<b>Figura 4.2.</b> Bandeja de poliéster. ....	44

<b>Figura 4.3.</b> Modelos de micro aspersores I.....	47
<b>Figura 4.4.</b> Modelos de micro aspersores II. ....	48
<b>Figura 4.5.</b> Modelos de micro aspersores III.....	48
<b>Figura 4.6.</b> Modelos de micro aspersores IV.....	48
<b>Figura 4.7.</b> Modelos de micro aspersores V.....	49
<b>Figura 4.8.</b> Tabla de micro aspersores.....	49
<b>Figura 4.9.</b> Plano de Tuberías del cultivo de forraje verde hidropónico FVH. ....	53
<b>Figura 4.10.</b> Lazo cerrado del sistema de riego y humedad .....	54
<b>Figura 4.11.</b> Lazo cerrado del sistema de control de temperatura.....	55
<b>Figura 4.12.</b> Arquitectura IoT.....	56
<b>Figura 4.13.</b> Temperaturas y Humedades de la Ciudad de Latacunga del año 2020 .....	56
<b>Figura 5.1.</b> Dimensiones del tanque de almacenamiento .....	62
<b>Figura 5.2.</b> Selección de la bomba (Caudal – Altura) .....	65
<b>Figura 5.3.</b> Curvas de funcionamiento de la bomba 40-200 .....	65
<b>Figura 5.4.</b> Diseño Estructural para la producción de FVH .....	67
<b>Figura 5.5.</b> Menú principal en la pestaña Graphics. ....	67
<b>Figura 5.6.</b> Menú principal en la pestaña Input. ....	68
<b>Figura 5.7.</b> Diseño virtual – área exterior.....	69
<b>Figura 5.8.</b> Diseño virtual – área interior. ....	69
<b>Figura 5.9.</b> Panel HMI.....	70

<b>Figura 5.10.</b> Panel secundario HMI.....	70
<b>Figura 5.11.</b> Simulación en EPANET- Presión. ....	71
<b>Figura 5.12.</b> Simulación en EPANET- Caudal.....	71
<b>Figura 5.13.</b> Simulación en EPANET- Velocidad.....	72
<b>Figura 5.14.</b> Simulación en EPANET- Diámetro.....	72
<b>Figura 5.15.</b> Gráfico del campo 1 para la Humedad (%). ....	73
<b>Figura 5.16.</b> Gráfico del campo 2 para la Temperatura (°C). ....	73
<b>Figura 5.17.</b> Ubicación del canal. ....	74
<b>Figura 5.18.</b> Canal de video.....	74

# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

**TÍTULO:** “DISEÑO DE UN MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICO FVH PARA LA CRIANZA DE ANIMALES DE CORRAL BASADO EN IOT”

**Autores:**

Llugsha Siza Lenin Bladimir

Moreno Moreno Wilson Javier

### RESUMEN

El proyecto de investigación trata el tema del diseño de un módulo de cultivo de Forraje verde hidropónico (FVH), que permita germinar, cultivar y cosechar sobre bandejas sin sustrato, utilizando fertirriego como método de fertilización. El control y el monitoreo de las variables involucradas de la planta, son alternativas que los agricultores deben poner en práctica en sus cultivos, con la finalidad de ahorrar recursos hídricos y evaluar el crecimiento de forraje de semillas germinadas en variedad de cereales. En este trabajo se presenta el sistema de riego por aspersión aplicado a la agricultura hidropónica, para lo cual se desarrolla una HMI (interfaz humana - máquina), que permite el monitoreo continuo de la humedad, temperatura. En el software Unity 2019.0.2 f1, se muestra simulación virtual. Al mismo tiempo en la web ThingSpeak se puede almacenar, acceder y gestionar datos de operación del equipo en tiempo real del comportamiento de las variables ya mencionadas, para el enlace de los datos en la nube se utilizó el Módulo de ESP8266 con la placa Arduino UNO y una dirección IP privada, además los controladores activan y desactivan (On - Off), para tener un área climatizado de cultivo de forraje, al mismo tiempo el control de un Timer para el sistema de riego. Finalmente, el diseño del módulo consta de un invernadero tipo capilla, desarrollado bajo los requerimientos de un sistema hidropónico según la (FAO), también se comprobó las variables óptimas de cultivo, que ayudará a la producción tanto en tiempo, calidad, libre de fertilizantes y de menor costo.

**Palabras claves:** FVH (Forraje verde hidropónico), HMI (interfaz humana- máquina), ThingSpeak (internet de las cosas), Timer, FAO (La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura).

# **COTOPAXI TECHNICAL UNIVERSITY**

## **FACULTY OF ENGINEERING AND APPLIED SCIENCES**

**TOPIC:** "DESIGN OF A MODULE OF HYDROPONIC CROPS HGF FOR THE GROWING OF FARM ANIMALS BASED ON IOT"

**Authors:**

Llugsha Siza Lenin Bladimir

Moreno Moreno Wilson Javier

### **ABSTRACT**

This research project deals with the design of a HGF (Hydroponic Green Forage) cultivation module which allows germination, cultivation and harvesting on containers without substrate, using fertigation as a fertilization method. The control and monitoring of the variables involved in the plants are alternatives that the farmers must put into practice in their crops in order to save water resources and evaluate the growth of forage from germinated seeds in a variety of cereals. In this work, the sprinkler irrigation system applied to hydroponic agriculture is presented, for which an HMI (human-machine interface) is developed allowing continuous monitoring of humidity, temperature. In the software Unity 2019.4.8 f1, a virtual simulation is displayed. At the same time, on the ThingSpeak web, it is possible to store, access and manage operating data of the equipment in real time of the variables behavior mentioned before. For the link of the data in the cloud, it was used with the ESP8266 Module with the Arduino UNO board and a private IP address. In addition, the controllers activate and deactivate (On - Off) to have a heated forage cultivation area and at the same time the control of a Timer for the irrigation system. Finally, the design of the module consists of a chapel-type greenhouse developed under the requirements of a hydroponic system according to the (FAO). The optimal cultivation variables were also verified which will help the production in time, quality, free of fertilizers and at a lower cost.

**KEYWORDS:** HGF (Hydroponic Green Forage), HMI (Human-Machine Interface), ThingSpeak (Internet of Things), Timer, FAO (The Food and Agriculture Organization of the United Nations).



Universidad  
Técnica de  
Cotopaxi

## CENTRO DE IDIOMAS

### AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente del Idioma Inglés del Centro de Idiomas de la Universidad Técnica de Cotopaxi; en forma legal **CERTIFICO** que: La traducción del resumen de la propuesta tecnológica al Idioma Inglés presentado por los señores egresados de la **CARRERA DE INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS: LLUGSHA SIZA LENIN BLADIMIR Y MORENO MORENO WILSON JAVIER**, cuyo título versa “**DISEÑO DE UN MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICO FVH PARA LA CRIANZA DE ANIMALES DE CORRAL BASADO EN IOT**”, lo realizaron bajo mi supervisión y cumple con una correcta estructura gramatical del Idioma.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y autorizo a los peticionarios hacer uso del presente certificado de la manera ética que estimaren conveniente.

Latacunga, Marzo del 2021.

Atentamente,

MSc. Alison Mena Barthelotty  
**DOCENTE CENTRO DE IDIOMAS**  
**C.C. 0501801252**

## GLOSARIO

**IoT:** Internet de las cosas.

**FVH:** Forraje verde hidropónico.

**UNESCO:** La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura

**FAO:** La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

**NGS:** Nuevo sistema de cultivo

**NFT:** Técnica de película de nutrientes

**PVC:** Policloruro de vinilo

**PLC:** Controladores lógicos programables

**PID:** Controlador proporcional, integral y derivativo

**AND – OR:** Compuertas lógicas de (multiplicación y suma)

**HMI:** Interfaz Hombre-Máquina

**PACs:** Controlador de automatización programable

**RTU:** Unidades terminales remotas de I/O

**DRIVER's:** Controlador de dispositivo es el software

**DHT22:** Sensor de temperatura y humedad

**OTP:** Programable una vez (memoria)

**SBC:** Pc de placa única

**Mac OS:** Sistema Operativo de Macintosh

**IDE:** Entorno de desarrollo integrado

**CAD:** Diseño asistido por computadora

## **1. INFORMACIÓN BÁSICA**

### **Propuesto por:**

Llugsha Siza Lenin Bladimir

Moreno Moreno Wilson Javier

### **Tema aprobado:**

“DISEÑO DE UN MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICO FVH PARA LA CRIANZA DE ANIMALES DE CORRAL BASADO EN IOT”

### **Carrera:**

Ingeniería Electromecánica.

### **Director de la propuesta tecnológica:**

Ing. Porras Reyes Jefferson Alberto

### **Equipo de trabajo:**

#### **Tutor**

Nombres: Jefferson Alberto  
Apellidos: Porras Reyes  
Cedula de identidad: 070440044-9  
Correo electrónico: jefferson.porras0449@utc.edu.ec

#### **Coordinador 1:**

Nombre: Llugsha Siza Lenin Bladimir  
Cédula de Ciudadanía: 1850289107  
Correo electrónico: lenin.llugsha7@utc.edu.ec  
Dirección: Tungurahua-Píllaro-San Miguelito

#### **Coordinador 2:**

Nombre: Moreno Moreno Wilson Javier  
Cédula de Ciudadanía: 0503998890  
Correo electrónico: wilson.moreno0@utc.edu.ec  
Dirección: Cotopaxi-Latacunga-San Felipe

**Lugar de ejecución:**

Región: Sierra

Provincia: Cotopaxi

Cantón: Latacunga

**Tiempo de duración del proyecto**

10 meses

**Fecha de entrega**

Marzo - 2021

**Línea de investigación:**

Línea 4: Procesos industriales

**Sub línea de investigación:**

Sub Línea 1: Diseño, construcción y mantenimiento de elementos, prototipos y sistemas electromecánicos.

Sub Línea 2: Automatización, control y protecciones de sistemas electromecánicos.

**Tipo de propuesta tecnológica:**

Desarrollo tecnológico enfocada en el diseño y automatización de un módulo de cultivo hidropónico FVH, basado en IoT (internet de las cosas). Gracias a esta tecnología se propone maximizar la producción de forrajes verdes hidropónicos, utilizando sistemas electromecánicos que permita mejorar los procesos de cultivos a un lapso de tiempo más corto.

## **2. DISEÑO INVESTIGATIVO DE LA PROPUESTA TECNOLÓGICA**

### **2.1. Título de la propuesta tecnológica**

“Diseño de un módulo de cultivos hidropónico FVH para la crianza de animales de corral basado en IoT”

### **2.2. Tipo de alcance**

Multipropósito: Permite realizar de forma sistemática el desarrollo de la propuesta tecnológica planteada, en el cual se enfoca en utilizar herramientas como software, necesario para los procesos de automatización del sistema de forraje verde hidropónico (FVH), además almacenando datos relevantes de las variables en (IoT) internet de las cosas y con fines de obtener buenos resultados en el trabajo de simulación, para un resultado óptimo y eficiente en las regiones encaminadas a la hidroponía.

Interdisciplinar: Se aplicó los diversos conocimientos adquiridos en clases que nos ayudaron a realizar el análisis correspondiente del sistema para el diseño y la automatización.

Desarrollo: El proyecto está enfocado principalmente en el desarrollo y aplicación de nuevas tecnologías para mejor la producción.

### **2.3. Área del conocimiento**

#### **Área:**

- Ciencias Tecnológicas. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES, 2019)

#### **Subárea:**

- 3313 tecnologías e Ingeniería. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES)
- 3311.01 Tecnología de la Automatización. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES)
- **Subárea específica de conocimiento:**
- Diseño de máquinas y automatización. (UNESCO-Manual-SNIESE-SENES)

### **2.4. Sinopsis de la propuesta tecnológica**

La producción de FVH es una de las derivaciones prácticas, basado en la germinación de granos de cereal (Maíz, trigo, cebada, etc.), con el fin de desarrollar biomasa forrajera con

alto contenido proteínico, la semilla seleccionada se desarrolla sobre las bandejas en donde es aplicado fertirriego durante su etapa de crecimiento. La Hidroponía es un sistema de cultivo de alto rendimiento que requiere de poco espacio y de una menor cantidad de agua, además no se utiliza ningún sustrato para la producción. [1]

Este sistema posee las variables más indispensables para la automatización del invernadero como: la humedad y la temperatura. Gracias a estas variables controladas nos permite mejorar la producción de Forraje Verde Hidropónico (FVH), que representa una alternativa primordial de nutrientes para alimentar animales de corral.

El sistema automático fue diseñado para una capacidad de producción aproximada de 1400 kg de biomasa forrajera, de 160 bandejas de poliéster de 70 x 40 cm, cada bandeja de 10 a 12 kg de forraje por cada kg de semilla, la producción de forraje, está estimado en un lapso de tiempo de 12 a 15 días para la cosecha según la (FAO), aprovechando al máximo el uso del agua, suelo y fertilizantes. [1]

La aplicación permitirá tener una percepción de control de la temperatura y humedad dentro del invernadero, aplicando los conocimientos adquiridos durante la formación como profesionales, la propuesta tecnológica planteada es del diseño de un Módulo de cultivos hidropónicos (FVH), basado en (IoT). Se propone simular el control de las variables y realizar el diseño de la estructura para una mejor visualización de la propuesta tecnológica.

## **2.5. Objeto de estudio y campo de acción**

### **2.5.1. Objeto de estudio**

Un módulo de cultivos hidropónicos FVH basado en IoT (Internet de las cosas)".

### **2.5.2. Campo de acción**

El sistema automatizado de un módulo hidropónico de FVH

- Según la Nomenclatura internacional de UNESCO para los campos de Ciencia y Tecnología 330000:
- 3311 Tecnología de la Instrumentación
- 3311.01 Tecnología de la Automatización
- 3311.02 Ingeniería de Control

### **2.5.3. Beneficiarios**

Beneficiarios directos: Esta propuesta tecnológica está encaminada para la población dedicada al sector agrícola ubicada en la provincia de Cotopaxi, cantón Latacunga, principalmente para zonas áridas del barrio San Felipe. Lo que se pretende dar a conocer con la investigación, son los sistemas de control de las variables de un invernadero, para la producción de FVH de biomasa de alta sanidad y calidad nutricional.

Beneficiarios indirectos: La propuesta tecnológica beneficiará a las familias del sector antes mencionado, dedicados a la crianza de animales de corral.

### **2.5.4. Palabras claves**

FVH (forraje verde hidropónico), zonas áridas, invernadero, sistemas de control.

## **2.6. Situación problemática y problema**

### **2.6.1. Situación problemática**

A nivel mundial la importancia del proceso del forraje verde hidropónico (FVH), son una fuente de alternativa muy aceptable, sobre todo en países donde su espacio de sembríos es mínimo, como en Nueva Zelanda, España y Japón entre otros; los cuales suelen implementar este tipo de cultivo a diferentes escalas desde los mismos hogares, pudiendo ordenarles en módulos en tipo horizontal, así como vertical con cero empleo de tierra, donde se producen ambientes controlados, permitiendo un bajo uso de productos químicos para el control de plagas y malezas, definiendo además que la agricultura consume casi el 65% del agua dulce en el mundo. [2]

En el Ecuador el proceso de FVH está dando pasos iniciales, donde se ha buscado soluciones, en ciudades como Tumbaco, Babahoyo, Mocha, donde debido a innumerables pérdidas de ganado producida por la falta de forraje se han buscado métodos alternativos para alimentar a los animales, donde el desconocimiento de las características nutricionales hace que los productores doten a los animales de una alimentación insuficiente.

En el cantón Latacunga no existe, productoras de este tipo, donde el proceso de cultivo hidropónico FVH, puede producirse durante todo el año, obteniendo la misma cantidad,

calidad y satisfacer las necesidades de productores pecuarios. La hidroponía es una alternativa de solución a la problemática agrícola donde la agricultura tradicional es sumamente difícil de llevarla a cabo.

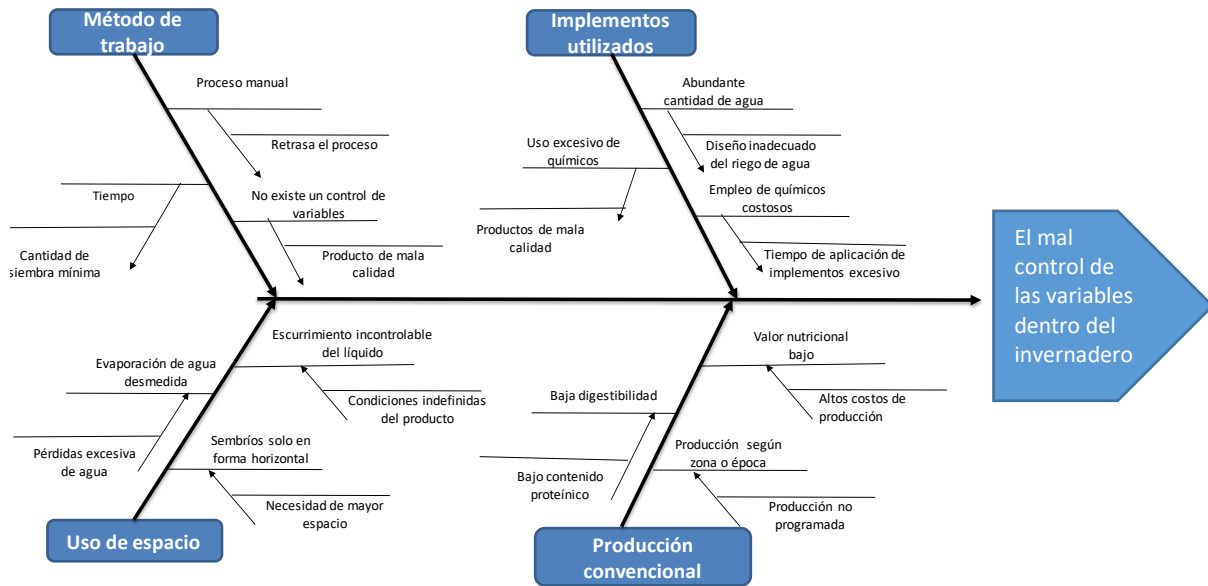


Figura 2.1. Diagrama de Ishikawa.

### 2.6.2. Problema

En la actualidad ante la necesidad de superar las anomalías que se dan en los invernaderos ubicados en las áreas de difícil acceso, como son las zonas áridas de San Felipe debido al mal control de variables (temperatura y humedad) lo que producen efectos no deseados como uso incorrecto en cantidades de agua, con lo cual se pretende cambiar los métodos de trabajo y para esto se requiere la implementación de un módulo de FVH.

### 2.7. Hipótesis o formulación de pregunta científica

Mediante la propuesta tecnológica se controlará las variables de temperatura y humedad para obtener los rangos óptimos en el interior del invernadero tipo capilla.

## 2.8. Objetivos

### 2.8.1. Objetivo general

- Diseñar un módulo de cultivo para la producción de forraje verde hidropónico automatizado basado en IoT controlando las variables de temperatura y humedad del invernadero.

### 2.8.2. Objetivos específicos

- Consultar bibliografía relevante para el diseño de un módulo de cultivos hidropónicos automatizados mediante IoT.
- Diseñar los sistemas automáticos que se utilizaran dentro de nuestro invernadero para el control y monitoreo de nuestras variables (humedad y temperatura) aplicando las sugerencias que nos indica el manual de la FAO.
- Desarrollar la interacción del IoT para el monitoreo y adquisición de datos en tiempo real de las variables en la plataforma ThingSpeak.

## 2.9. Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos

El proceso de diseño y simulación de la propuesta tecnológica consiste en las siguientes tareas enmarcadas por los objetivos específicos:

**Tabla 2.1.** Descripción de las actividades y tareas propuestas con los objetivos establecidos.

<b>OBJETIVOS</b>	<b>TAREAS</b>	<b>RESULTADO DE LA ACTIVIDAD</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD</b>
Consultar bibliografía relevante para el diseño de un módulo de cultivos hidropónicos automatizados mediante IoT.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Investigación bibliográfica de documentos vinculados con el tema, donde se identifiquen módulos de cultivo hidropónicos mediante IoT.</li><li>• Selección de bibliografía que permita identificar datos útiles para el diseño de procesos hidropónicos automatizados.</li></ul>	Conocimiento teórico sobre los diferentes diseños de módulos virtuales para el cultivo de FVH.	Investigación bibliográfica.

Diseñar los sistemas automáticos que se utilizarán dentro de nuestro invernadero para el control y monitoreo de nuestras variables (humedad y temperatura) aplicando las sugerencias que nos indica el manual de la FAO.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Determinación de parámetros para el diseño del sistema automatizado aplicando normas FVH.</li> <li>• Recopilación de diversas fuentes bibliográficas para el desarrollo del sistema automatizado para cultivos hidropónicos.</li> </ul>	Simulación de los sistemas de nuestro módulo virtual.	Utilizar el software didáctico Unity.
Desarrollar la interacción del IoT para el monitoreo de variables en tiempo real de cada sistema.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Control de las variables más eficientes del sistema de FVH.</li> <li>• Se plasmará el proyecto con un software apropiado para la visualización en tiempo real.</li> </ul>	Interacción con el ThingSpeak para el monitoreo de variables (humedad y temperatura).	Conexión por IP.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

## 2.10. Matriz de operacionalización de variables

**Tabla 2.2.** Matriz de operacionalización de variables.

Variable independiente	Unidad de medida	Variable dependiente	Unidad de medida
Humedad	%	Contenido de humedad FVH	$\text{Kg}_{\text{H}_2\text{O}}/\text{Kg}_{\text{masa}}$
Temperatura	°C	Masa FVH	Kg

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

### **3. MARCO TEÓRICO**

#### **3.1. ANTECEDENTES**

Los antecedentes de la investigación relacionados al proyecto propuesto son:

El proyecto de investigación efectuado por Pérez, López y Romero (2016), bajo la temática titulada como “Automatización de invernadero para cultivos hidropónicos en El Salvador”, La Libertad: El Salvador; Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE dice que:

Con el estudio planteado se permite el manejo inteligente de nutrientes y condiciones ambientales que resultan inmanejables en cultivos en tierra, generando mayor producción y mejor calidad, teniendo como ventajas ahorro de un 50% de agua, sin dañar los mantos acuíferos, sin necesidad de tener un mayor espacio, las áreas requeridas se reducen en un sistema climatizado, logrando un mayor desempeño, con una inversión mínima, materiales existentes y tecnología actual, la misma que está al alcance de la población, sin necesitar mucho espacio, teniendo como beneficios a la ecología de la zona y medioambiental, contribuyendo a la hidroponía sin depender de la tierra de la zona. [3]

Otro proyecto propuesto por Garduño (2011), bajo la temática “Modelo de producción de Forraje Verde mediante Hidroponía”, México D.F.; Instituto Politécnico Nacional, dice que:

El modelo definido por el método FVH, representa una alternativa alimentaria, la cual se da mediante el diseño de módulos, los cuales permiten generar un ahorro de hasta el 70% del espacio requerido, aumentando los tiempos de producción, pudiendo emplearse en cualquier clima, a través del acondicionamiento del área de producción, definidos en 0.8 m de ancho, por 12 m de largo y 2 metros de alto, conformado por hierro estructural, pudiendo acomodarse hasta 600 charolas por módulo, teniendo espacio definidos, con sistemas de riego, definidos por mangueras de distinto diámetro, válvulas de paso, abrazaderas, bombas y tanques para almacenar el agua, generador eléctrico, con una planta de instalación de agua del sistema de riego, apropiada para la zona. [4]

Y además el proyecto de investigación propuesto por Mendoza (2017), bajo la temática “Automatización de los procesos de un huerto hidropónico para el control de variables,

utilizando sistemas basados en microcontroladores.”, Guayaquil – Ecuador, Facultad Técnica para el Desarrollo, dice que:

El proyecto está orientando a la automatización de un huerto hidropónico, mediante un sistema de control basado en microcontroladores, que permita automatizar el proceso de cultivo y la adquisición de datos de las diversas variables, a través del uso de sensores y actuadores adaptables a este tipo de cultivo. Este proyecto presenta una solución al facilitar y optimizar el cuidado de huertos hidropónicos, mediante la recirculación de agua y la monitorización de variables, en el cual se utilizó un microcontrolador PIC18F4550, a una frecuencia de 4MHz, cuyo rendimiento y desempeño no han dado ningún problema hasta el momento, permitiendo mejorar su productividad y calidad. [5]

### **3.2. Hidroponía**

Es un método usado para cultivar plantas, derivada del griego “HYDRO” que proviene de agua y “PONOS” de labor o trabajo, desarrollada a través de los años, por diferentes científicos, demostrando la validez del cultivo sin necesidad de tierra, siendo considerada como un sistema agrícola de un conjunto de partes interrelacionadas entre sí, que existen para lograr un determinado objetivo planteado y propuesto, con una producción en un campo ecológico, económico y social; mediante el uso o empleo de sistemas sencillos, recipientes y mecanismos. [6]



**Figura 3.1.** Hidroponía de hortalizas.

**Fuente:** [6].

### 3.2.1. Ventajas de los cultivos por hidroponía

Las ventajas de los cultivos por hidroponía según [7], son:

- Cultivos independientes de parásitos, bacterias, hongos.
- Reducción de los precios dados por cultivos
- Obtención de cosechas sin requerir que sea una determinada estación
- Uso mínimo de maquinaria agrícola
- Mejor limpieza del cultivo
- Porcentaje de alta automatización

### 3.2.2. Técnicas hidropónicas

Las técnicas hidropónicas utilizadas según [7], en la producción de distintos productos agrícolas son:

1. Cultivo en sustrato, es la función que permite cosechar cualquier tipo de hortalizas, mediante sustratos definidos como perlitas, rocas fosfóricas, arena, aserrín, entre otras; proporcionando oxígeno y humedad; anclando la adecuación del crecimiento del sistema radicular.



**Figura 3.2.** Cultivo en sustrato.

**Fuente:** [7].

2. Raíz flotante, es un método de producción hidropónica que se define como un mecanismo donde las raíces están flotando, siendo volátiles, sobre una combinación de agua y nutrientes, sostenida por espuma Flex, aumentando los tiempos de producción, aumentando el espacio de instalación.



**Figura 3.3.** Raíz flotante.

**Fuente:** [7].

3. Nuevo sistema de cultivo, definido por las siglas NGS, el cual proviene de los términos en inglés conocidos como New Growing System, es un método de cultivo, indicado, donde se desarrolla una tecnología proveniente de Europa, la cual se basa en la oxigenación de las raíces, cultivándose hierbas aromáticas, hortalizas entre lo más importante.



**Figura 3.4.** Sistema NGS.

**Fuente:** [8].

4. Sistema NFT, definidos de los términos en inglés Nutrient Film Technique, la cual traducida quiere decir Técnica de Película Nutritiva, la cual se utiliza mediante una película nutriente re - circulante, que es un sistema donde las plantas crecen sobre una lámina de agua en continuo movimiento, enriqueciendo con soluciones nutritivas, útiles para la recirculación del agua, mediante el uso de una bomba sumergible, la

cual distribuye el flujo de agua a lo largo de los tubos de PVC, el cual se deriva del Policarbonato de Vinilo.



**Figura 3.5.** Sistema NFT.

**Fuente:** [6].

5. El sistema FVH, definida como Forraje Verde Hidropónico, el cual es un mecanismo que consiste en la germinación de semillas de gramíneas o leguminosas, bajo determinadas condiciones ambientales de temperatura y humedad, en ausencia del suelo, empleando una tecnología de producción de biomasa, de alta sanidad y calidad nutricional.



**Figura 3.6.** Sistema FVH.

**Fuente:** [7].

### 3.2.3. Forraje verde hidropónico (FVH)

Este tipo de forraje lo realizó, Arano en el año 1998, bajo experimentos de cultivos en agua, continuando con las germinaciones de granos en diferentes orígenes [9].

Las ventajas y desventajas del forraje verde hidropónico (FVH), según Morales (2013), [9] son:

### **Ventajas**

- Ahorro de agua, ya que el sistema de forraje verde hidropónico (FVH), genera mínimas pérdidas de agua por evapotranspiración, así como por el escurrimiento, bajo condiciones definidas en producción convencional.
- Eficiencia en el uso del espacio, el cual puede ser instalado en forma modular que permita ahorrar el espacio, en forma vertical.
- Eficiencia en el tiempo de producción, este sistema se da por la producción adecuada de los animales en un ciclo de 10 a 14 días.
- Producción constante de forraje en cualquier clima, donde los factores climáticos no son de gran importancia, ya que permite producir un forraje los 365 días del año sin mayor inconveniente.

### **Desventajas**

- Desinformación y sobrevaloración de la tecnología, este tipo de proyectos se dan a productores sin estudio alguno, donde tienen controlado las condiciones de temperatura y humedad ambiente.
- Se requiere capacitación, el cual debe tener conocimientos mínimos de la funcionalidad del sistema.
- Muy susceptible al ataque de hongos, donde el descuido del mantenimiento puede producir problemas de hongos y bacterias.
- Elevado costo de instalación, el cual involucra un precio inicial de tipo considerable.
- Alto contenido de humedad del forraje verde hidropónico (FVH), el cual limita su manejo y duración después del corte.

El forraje verde hidropónico (FVH), sigue la siguiente secuencia que es:

1. Selección de semilla, la cual se escoge dependiendo de varios parámetros que son de tipo económicos, ambientales y potenciales; la cual realiza en función del lugar de producción, debiendo ubicarse en los diferentes tipos de climas, donde se ubica el

sistema, donde se definen la altitud, cantidad de energía mínima y necesidad de agua, pudiendo producirse en función de su proteína cruda, fibra detergente neutro y ácida, extracto etéreo, entre otros, para lo cual se cita las semillas más comunes conocidos como maíz, cebada y trigo. [10]

2. Lavado y pre – germinación, se da en una solución de hipoclorito de sodio al 1%, el cual tiene como objetivo propuesto, eliminación de hongos.
3. Germinación, el proceso de germinación se da en las bandejas de cultivo, esparciéndose de manera uniforme las semillas, debiéndose mantenerse en oscuridad para estimular su germinación.
4. Crecimiento, se ubicarán las semillas germinadas en los estantes de crecimiento, la cual debe garantizar luz proveniente de manera directa con los rayos del sol.
5. Solución nutritiva, las cuales provienen de los minerales encontrados en el aire como en el suelo, pudiendo dividirse en dos categorías que son:
  - Macronutrientes, son elementos comunes que representan los 99 % de la materia viva, denominados como carbono (C), oxígeno (O), hidrógeno (H), nitrógeno (N), potasio (K), fósforo (P), azufre (S), calcio (Ca) y magnesio (Mg).
  - Micronutrientes, son elementos de tipo menores donde se ubica, el hierro (Fe), zinc (Zn), manganeso (Mn), boro (B), cobre (Cu) y molibdeno (Mo).
6. Cosecha, la cosecha del FVH se refiere a la recolección del forraje entre los 15 y 18 días, o cuando se dé el alcance de 25 cm de altura como máximo.

#### **3.2.4. Las partes constituyentes del sistema de FVH**

Las partes que conforman un sistema FVH, según [11], son:

- Anaquel
- Bandejas de cultivo
- Micro aspersores

- Tanque reservorio
- Tuberías PVC – Accesorios (codos, codo tee, uniones, tapón final )
- Bomba Centrífuga

### **3.3. Invernadero para el forraje verde hidropónico (FVH)**

Es un sitio cerrado, con una estructura de tipo estática, destinada para el cultivo de plantas, protegiéndolas del exceso de frío en diferentes etapas del año [12].

El invernadero, así como otros sistemas para la protección de cultivos, permite controlar los factores climáticos que intervienen en el desarrollo del cultivo. Un desarrollo óptimo y equilibrado de las plantas, dependiendo de las variables de temperatura y humedad, que inciden de forma favorable sobre ellos.

Según [12], los invernaderos pueden tener varios subsistemas como son:

- Subsistemas de control de temperaturas
- Subsistemas de humedad relativa
- Subsistemas de riego
- Subsistemas estructurales

Los tipos de invernaderos usados para el forraje verde hidropónico FVH son:

#### **3.3.1. Invernadero tipo parral o plano**

Según [12], este tipo de invernadero, es utilizado en zonas con escasa precipitación, por lo que su modelo maneja las principales ventajas como son:

- Mínima economía en su construcción
- Adaptabilidad a todo tipo de geometría
- Mayor resistencia al viento
- Aprovecha el agua de lluvia durante períodos secos
- Muestra gran uniformidad y luminosidad

En tanto que las desventajas son:

- Poco volumen de aire
- Mala ventilación
- Poco aconsejable en lugares lluviosos
- Peligro de hundimiento



**Figura 3.7.** Invernadero tipo Parral.

**Fuente:** [12].

### **3.3.2. Invernadero tipo capilla o multicapilla**

Este tipo de invernadero es conocido por instalaciones clásicas o tradicionales, donde los materiales son usados desde maderas, tuberías galvanizadas hasta aluminio; por lo que los principales parámetros a definir son, factores que rigen las actividades normales de las plantas como; temperatura y humedad, donde la anchura es de 12 a 16 metros, en tanto que la altura es de 3.5 a 4 metros, mientras que la inclinación de los planos de la techumbre es superior a 25° [12].

Según [12], las principales ventajas son:

- Fácil de construir
- Fácil manejo
- Ubicación de cualquier tipo de plásticos en la cubierta
- Ventilación vertical
- Facilidades para evacuar el agua lluvia



**Figura 3.8.** Invernadero tipo Capilla – Multicapilla.

**Fuente:** [12].

### 3.3.3. Invernadero tipo túnel

Según [12], este tipo de invernadero permite incrementar la captación de la energía solar con un modelo original, con una mejoría en la resistencia contra el viento, caracterizando su forma de cubierta y estructura metálica, donde los soportes tiene una separación de 5 x 8 o de 3 x 5 m, donde la altura máxima oscila los 3.5 a 5 m, adoptándose bandas de 2.5 a 4 m.

Las principales ventajas son:

- Estructura con obstáculos mínimos
- Aceptable ventilación
- Buena estanqueidad a la lluvia y al aire
- Ventilación cenital
- Buen reparto de la luminosidad
- Fácil instalación

Mientras que como desventajas se tiene:

- Elevados costos
- Difícil aprovechamiento del agua de la lluvia



**Figura 3.9.** Invernadero tipo Túnel.

**Fuente:** [13].

### **3.4. Automatización del invernadero**

La automatización de un invernadero se basa en las condiciones de clima de nuestro país, es importante debido a las altas temperaturas, baja humedad relativa y altas cantidades de radiación solar, es de vital importancia para el productor, que le permite a la planta mantenerse en un ambiente favorable.

La automatización le permite al productor incidir sobre el clima que se genera dentro de la estructura, por ende hacer un uso eficiente del agua y los fertilizantes, a través de la utilización de sensores de temperatura y humedad relativa, del mismo modo a las mallas sombras, bloquear el exceso de radiación solar que es perjudicial para las plantas ya que provoca quemaduras, lo que baja el rendimiento y calidad del producto final.

Además ayuda a crear un ambiente relativamente agradable para el cultivo, en días parcial y completamente soleados, mejorando la temperatura y humedad relativa que apoyan a las plantas a crear un mejor desarrollo, también los sistemas de fertirriego dosificaran la cantidad de agua necesaria y fertilizante que la planta necesita, para realizar los procesos metabólicos que requieren las mismas, mejorando una óptima producción.

#### **3.4.1. Sistema automatizado**

En la actualidad son numerosos los sistemas de automatización que existen en el mercado, para controlar los parámetros más relevantes que intervienen en un invernadero son relaciones como: la temperatura y la humedad que permitan garantizar un ambiente

confortable y el sistema de climatización para la distribución del aire en el interior del invernadero.

#### **3.4.1.1. Funcionamiento:**

Estos sistemas se basan en el empleo de un controlador central, que recoge las variaciones captada por los sensores de temperatura y humedad, que coordinan las actuaciones y se envían las órdenes a los distintos sectores, con respecto a unos valores programados inicialmente, pudiendo funcionar cada uno de forma autónoma. A su vez pueden estar conectados los sistemas de fertirriego y de regulación climática.

#### **3.4.2. El Controlador Lógico Programable**

Los controladores lógicos programables o PLC (Programmable Logic Controller) en sus siglas en inglés, son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial. Hoy en día, los PLC's no sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores PID (Proporcional Integral y Derivativo).

Su estructura básica es dos o más planos de puertas lógicas, normalmente AND y OR, que el programador debe conectar de forma adecuada para la función lógica requerida. Suelen programarse para aplicaciones de mayor capacidad. Los PLC's actuales pueden comunicarse con otros controladores y computadoras en redes de área local, y son una parte fundamental de los modernos sistemas de control distribuido.

#### **3.4.3. La interfaz humana – máquina**

Una interfaz Humana - Máquina o HMI ("Human Machine Interface") es el dispositivo que presenta los datos a un operador (humano) y a través del cual éste controla el proceso. Los sistemas HMI podemos pensarlos como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos especiales como paneles de operador o en un ordenador.

Los sistemas HMI en ordenadores se los conoce también como software HMI o de monitorización y control de supervisión. Las señales del proceso son conducidas al HMI por

medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el ordenador, PLC's (Controladores lógicos programables), PACs (Controlador de automatización programable), RTU (Unidades remotas de I/O) o DRIVER's (Variadores de velocidad de motores). Todos estos dispositivos deben tener una comunicación que entienda el HMI.

La combinación de tecnología de automatización, la adecuada selección del tipo de invernadero, el control de las variables y el tipo de riego, permite obtener la mayor rentabilidad de la cosecha y mejorar la calidad de los productos. Son importante los sistemas automatizados para el invernadero, mediante un control directo sobre aspectos como la temperatura, la humedad relativa, es por eso que los sistemas automatizados son la solución más pertinente para este tipo de proyectos.

#### **3.4.4. Sistema de riego automatizado**

El sistema de riego automatizado permite optimizar el uso del agua en cultivos, a través de sensores que miden la humedad y la temperatura en la zona radicular de las plantas. La ventaja de regar cuando se ha excedido una temperatura determinada o falta de humedad, permite que el cultivo no entre en estrés, con lo que se garantiza el mejor producto agrícola. Se aplica la técnica de riego por aspersión, es por ello que el sistema de control de riego actúa por un controlador, el cual se encarga de monitorear y controlar el proceso. [14]

#### **3.4.5. Sistema de climatización**

El sistema de climatización se enfoca con los diferentes factores climáticos para controlar la calidad de temperatura y humedad del aire. El controlador climático permite optimizar las necesidades climatológicas de cualquier tipo de plantación, gracias a la ventilación, la humidificación, los destratificadores, proporcionando un ambiente confortable y la distribución del aire en el ambiente, mediante el proceso de ventilación forzada.

#### **3.4.6. Parámetros de control en invernaderos**

El funcionamiento de estos parámetros de control dentro del invernadero es esencial, la temperatura, humedad, el sistema de riego y la ventilación. Para cual se optó de sensores que

permitan analizar valores que sean cuantificadas de forma visible ofreciendo orientación cualitativa y cuantitativa respecto a las condiciones ambientales del cultivo.

Por otro lado, si nos referimos a la parte de control, existen diseños automatizados basados en respuestas de sensores que permiten el acondicionamiento, control y manejo de estas variables, según datos previamente especificados.

### **3.4.7. Sensor de temperatura y humedad**

El módulo (DHT22) es un sensor de humedad y temperatura que permite medir las dos variaciones simultáneamente, es de bajo costo con una interface digital, posee un protocolo de comunicación serial propio, ocupa una conexión de sus pines para cada uno de las variables que se desean medir. El coeficiente de calibración se guarda en la memoria (OTP), cuando el sensor detecta la variación de humedad o temperatura [9].



**Figura 3.10.** Sensor de humedad y temperatura.

**Fuente:** [15].

#### **Características Técnicas:**

- Compatible con sistemas electrónicos operando a 3 a 5 volts
- Corriente máxima de 2.5 mA cuando se realiza la conversión
- 0 – 100 % Humedad relativa, precisión del 2-5%
- -40 a 80 °C de temperatura, precisión  $\pm 5^{\circ}\text{C}$
- Frecuencia de muestreo: No más de 0.5 Hz (una vez cada 2 segundos)
- Está formado de un sensor capacitivo y un termistor.
- Alta fiabilidad de captación de datos y procesamiento.
- Mayor rango de medición para temperatura y humedad

### 3.5. Placa de desarrollo de sensores

Una de las formas más rápidas de poner en movimiento su diseño es comenzar con una placa de desarrollo que aloje los sensores que quiere para su diseño. Como el popular estándar 96board, se ha vuelto mucho más fácil encontrar placas principales, como Arrow SD 600eval, con la potencia de procesamiento, memoria integrada y conjunto de periféricos necesarios para aplicaciones IoT.

Placa de desarrollo del Sensor Shield de TE, que se muestra en la figura 3.11., aloja tres populares dispositivos sensores en un factor de forma estándar compatible con el estándar 96board.



**Figura 3.11.** Placa de desarrollo Sensor Shield de TE.

**Fuente:** [16].

### 3.6. Conexión a la nube con la placa SD 600EVAL

La placa Arrow SD 600eval, que se muestra en la Figura 3.12. A continuación, usa el estándar compacto 96board, que también ofrece una potencia de procesamiento significativa, opciones de interconectividad (incluido el Wi-Fi) y una notable memoria incorporada, que son todo lo necesario para una plataforma de procesamiento de sensores sólida con conectividad a la nube. [17]



**Figura 3.12.** Placa Arrow SD 600eval.

**Fuente:** [17].

### **3.7. Módulo ESP8266.**

El ESP8266 es un microprocesador muy sencillo y diseñado desde el principio con Internet of Things (IoT), el módulo es capaz de enviar información que le remitimos vía la puerta serial a una dirección IP y puerto que deseemos. Y por eso incluye todo lo necesario para conectarse a un punto de acceso WIFI mediante comandos de texto AT, que puede ser configurada a diferentes velocidades. [18].



**Figura 3.13.** Módulo ESP8266.

**Fuente:** [18].

### **3.8. Internet of Things (IoT).**

Internet of Things (IoT) se denomina como la interconexión de cualquier cosa o dispositivo, a través de un protocolo estándar a internet; el cual este en la capacidad de ser almacenada, accedida y monitoreada de forma remota desde cualquier parte del mundo. [19]



**Figura 3.14.** Representación IoT.

**Fuente:** [19].

Entre las características fundamentales son:

1. Interconectividad, es la característica que permite la comunicación con la infraestructura mundial.
2. Servicios relacionados con objetos, se trata de suministrar servicios vinculados con objetos de tipos físicos y virtuales, como medidas de protección a la privacidad.
3. Heterogeneidad, es la interacción entre los dispositivos en diferentes tipos de entornos, así como de ambientes.

### **3.8.1. Plataforma ThingSpeak**

Es una plataforma de Internet of Things (IoT) que permite recoger y almacenar datos de sensores en la nube y desarrollar aplicaciones IoT, que permiten analizar, visualizar y actuar sobre los datos. [19]

El procedimiento más común de enviar la información de los sensores puede ser desde Arduino, Raspberry Pi, BeagleBone Black y otro HW.

La estructura de ThingSpeak es:

- Canales (Channels): son campos útiles para recoger los datos en los dispositivos.

- En cada canal se disponen de una serie de campos para guardar datos, así como otra información adicional.
- Los canales pueden ser públicos o privados.
- Los datos del canal se pueden importar o exportar.



**Figura 3.15.** Almacenamiento de datos en Internet con ThingSpeak.

**Fuente:** [19].

### 3.8.2. Modelo de referencia de IoT

Según [20], el modelo más común consta de cuatro capas y capacidades de gestión las cuales son:

- Capa de aplicación, contienen todas las aplicaciones de la IoT.
- Capa de apoyo de servicios y aplicaciones, consiste en capacidades de soporte genéricas y específicas.
- Capa de Red, consta de dos capacidades delimitadas como de red y de transporte.
- Capa de dispositivo, se ubica las capacidades de dispositivos, de la pasarela de gestión de tipo genérica, así como las específicas; de igual manera la de seguridad.

El modelo de referencia IoT es:



**Figura 3.16.** Modelo de referencia de IoT.

**Fuente:** [20].

## **4. METODOLOGÍA**

### **4.1. Definición**

La metodología empleada, es de tipo cuanti – cualitativo, por permitir modificar las variables planteadas, donde se utilizan cifras medibles; en un paradigma de tipo científico que estudia además de las cantidades, las cualidades del sistema a emplear.

La investigación empleada es la de campo, la cual es citada con la realidad, permitiendo definir varias técnicas, que se usan para recolectar datos e informaciones, los cuales están vinculados a diferentes estudios, caracterizándose por la utilización de distintas fuentes relacionadas al tema propuesta, buscando una solución objetiva al problema.

### **4.2. Estructura funcional**

El diseño de un módulo de cultivos hidropónico FVH, debe estar compuesto de un invernadero, anaqueles, bandejas de cultivo, micro aspersores, tanque de almacenamiento, recubrimiento, bomba hidráulica, subsistema de control de temperatura y humedad relativa la cual está constituida de sensores.

### **4.3. Diseño dimensional**

El diseño dimensional permitirá elegir el modelo adecuado, así como sus componentes constitutivos, bajo criterios de tipo profesional.

#### **4.3.1. Selección del invernadero**

La selección del invernadero en función del modelo, se da en base al método de evaluación de soluciones, el cual es sugerido por Riba (2002), el cual se da en función de dos parámetros que son:

- **Alternativas**

a) Invernadero tipo parral o plano; b) Invernadero tipo capilla; c) Invernadero tipo túnel

- **Criterios**

1. Fácil instalación
2. Ventilación adecuada
3. Evacuación correcta de agua
4. Buena luminosidad

5. Resistente al viento
6. Accesibilidad de costos
7. Construcción con materiales existentes en el mercado

### Jerarquización

La jerarquización de criterios se da de la siguiente manera:

$$1 = 2 > 3 = 4 = 5 > 6 > 7$$

### Valorización de criterios

- 1 cuando el criterio de las filas es superior al de las columnas
- 0.5 cuando el criterio de las filas es similar al de las columnas
- 0 cuando el criterio de las filas es inferior al de las columnas

### Evaluación de los criterios

La evaluación de los criterios se da de la siguiente manera:

**Tabla 4.1.** Evaluación por criterio según el tipo de máquina.

Criterio	Fácil instalación	Ventilación adecuada	Evacuación correcta de agua	Buena luminosidad	Resistente al viento	Accesibilidad de costos	Construcción	$\Sigma+1$	Ponderado
Fácil instalación	1	0.5	1	1	1	1	1	6.5	0.232
Ventilación	0.5	1	1	1	1	1	1	6.5	0.232
Evacuación de agua	0	0	1	0.5	0.5	1	1	4.0	0.143
Buena luminosidad	0	0	0.5	1	0.5	1	1	4.0	0.143
Resistente al viento	0	0	0.5	0.5	1	1	1	4.0	0.143
Costos accesibles	0	0	0	0	0	1	1	2.0	0.071
Construcción	0	0	0	0	0	0	1	1.0	0.036
Total								28.0	1.000

Elaborado por: Llugsha y Moreno.

Fuente: [21].

### Evaluación por criterio

La evaluación se da por cada criterio mencionado anteriormente, siguiendo con la valorización definida.

**Tabla 4.2.** Evaluación del criterio de fácil instalación.

<b>Fácil instalación</b>	Invernadero tipo parral	Invernadero tipo	Invernadero tipo túnel	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Invernadero tipo parral		1	0.5	2.5	0.33
Invernadero tipo capilla	1		1	3.0	0.40
Invernadero tipo túnel	0.5	0.5		2.0	0.27
Total				7.5	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.3.** Evaluación del criterio de ventilación adecuada.

<b>Ventilación adecuada</b>	Invernadero tipo parral	Invernadero tipo capilla	Invernadero tipo túnel	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Invernadero tipo parral		0	0	1.0	0.18
Invernadero tipo capilla	1		0.5	2.5	0.46
Invernadero tipo túnel	0.5	0.5		2.0	0.36
Total				5.5	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.4.** Evaluación del criterio de evacuación de agua.

<b>Evacuación correcta de agua</b>	Invernadero tipo parral	Invernadero tipo capilla	Invernadero tipo túnel	$\Sigma+I$	<b>Ponderación</b>
Invernadero tipo parral		0	0	1.0	0.18
Invernadero tipo capilla	1		1	3.0	0.55
Invernadero tipo túnel	0.5	0		1.5	0.27
Total				5.5	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.5.** Evaluación del criterio de buena luminosidad.

<b>Buena luminosidad</b>	Invernadero tipo parral	Invernadero tipo capilla	Invernadero tipo túnel	$\Sigma+I$	<b>Ponderación</b>
Invernadero tipo parral		0	0	1.0	0.16
Invernadero tipo capilla	1		0.5	2.5	0.42
Invernadero tipo túnel	1	0.5		2.5	0.42
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.6.** Evaluación del criterio de resistencia al viento.

<b>Resistencia al viento</b>	Invernadero tipo parral	Invernadero tipo capilla	Invernadero tipo túnel	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Invernadero tipo parral		1	0.5	2.5	0.42
Invernadero tipo capilla	0		0	1.0	0.16
Invernadero tipo túnel	0.5	1		2.5	0.42
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.7.** Evaluación del criterio de accesibilidad de costos.

<b>Accesibilidad de costos</b>	Invernadero tipo parral	Invernadero tipo capilla	Invernadero tipo túnel	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Invernadero tipo parral		0.5	1	2.5	0.42
Invernadero tipo capilla	0.5		1	2.5	0.42
Invernadero tipo túnel	0	0		1.0	0.16
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.8.** Evaluación del criterio de construcción.

<b>Construcción con materiales existentes en el mercado</b>	Invernadero tipo parral	Invernadero tipo capilla	Invernadero tipo túnel	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Invernadero tipo parral		0.5	1	2.5	0.42
Invernadero tipo capilla	0.5		1	2.5	0.42
Invernadero tipo túnel	0	0		1.0	0.16
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

## Tabla de criterios

**Tabla 4.9.** Evaluación de los criterios según el tipo de invernadero.

<b>Criterio</b>	<b>Fácil instalación</b>	<b>Ventilación adecuada</b>	<b>Evacuación correcta de agua</b>	<b>Buena luminosidad</b>	<b>Resistente al viento</b>	<b>Accesibilidad de costos</b>	<b>Construcción</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderado</b>
Invernadero tipo parral	0.075	0.040	0.023	0.023	0.060	0.030	0.015	1.286	0.3215
<b>Invernadero tipo capilla</b>	<b>0.091</b>	<b>0.105</b>	<b>0.076</b>	<b>0.060</b>	<b>0.024</b>	<b>0.030</b>	<b>0.015</b>	<b>1.401</b>	<b>0.3503</b>
Invernadero tipo túnel	0.061	0.080	0.035	0.060	0.060	0.011	0.006	1.313	0.3282
Total								4.000	1.0000

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

Se elige como mejor criterio el invernadero tipo capilla, por su fácil instalación, ventilación adecuada, evacuación correcta de las aguas, buena luminosidad, resistencia al viento, accesibilidad de costos, construcción con materiales existentes en el mercado local así como nacional.

### **4.3.2. Selección del material de recubrimiento del invernadero**

La selección del material del invernadero al igual que el tipo, se da en función del método de evaluación de soluciones, el cual es sugerido por Riba (2002), el cual se da en función de dos parámetros que son:

- **Alternativas**

- a) Vidrio
- b) Cloruro de polivinilo
- c) Plástico

- **Criterios**

- 1. Fácil instalación
- 2. Costo
- 3. Peso
- 4. Existencia en el mercado
- 5. Rendimiento térmico

### **Jerarquización**

La jerarquización de criterios se da de la siguiente manera:

$$1 = 2 > 3 > 4 > 5$$

### **Valorización de criterios**

La valoración se da en función de los criterios nombrados anteriormente.

### **Evaluación de los criterios**

La evaluación de los criterios se da de la siguiente manera:

**Tabla 4.10.** Evaluación por criterio según el tipo de máquina.

<b>Criterio</b>	<b>Fácil instalación</b>	<b>Costo</b>	<b>Peso</b>	<b>Existencia en el mercado</b>	<b>Rendimiento térmico</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderado</b>
Fácil instalación		0.5	1	1	1	4.5	0.30
Costo	0.5		1	1	1	4.5	0.30
Peso	0	0		1	1	3.0	0.20
Existencia en el mercado	0	0	0		1	2.0	0.13
Rendimiento térmico	0	0	0	0		1.0	0.07
Total						15.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

### Evaluación por criterio

La evaluación se da por cada criterio mencionado anteriormente, siguiendo con la valorización definida.

**Tabla 4.11.** Evaluación del criterio de fácil instalación.

<b>Fácil instalación</b>	<b>Vidrio</b>	<b>Cloruro de polivinilo</b>	<b>Plástico.</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Vidrio		0	0	1.0	0.17
Cloruro de polivinilo	1		0	2.0	0.33
Plástico	1	1		3.0	0.50
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.12.** Evaluación del criterio de costos.

Costos	Vidrio	Cloruro de polivinilo	Plástico.	$\Sigma+1$	Ponderación
Vidrio		0	0	1.0	0.17
Cloruro de polivinilo	1		0	2.0	0.33
Plástico	1	1		3.0	0.50
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.13.** Evaluación del criterio de peso.

Peso	Vidrio	Cloruro de polivinilo	Plástico.	$\Sigma+1$	Ponderación
Vidrio		0	0	1.0	0.17
Cloruro de polivinilo	1		0	2.0	0.33
Plástico	1	1		3.0	0.50
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.14.** Evaluación del criterio de existencia en el mercado.

<b>Existencia en el mercado</b>	<b>Vidrio</b>	<b>Cloruro de polivinilo</b>	<b>Plástico.</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Vidrio		0.5	0.5	2.0	0.333
Cloruro de polivinilo	0.5		0.5	2.0	0.333
Plástico	0.5	0.5		2.0	0.333
Total				6.0	0.999

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.15.** Evaluación del criterio de rendimiento térmico.

<b>Rendimiento térmico</b>	<b>Vidrio</b>	<b>Cloruro de polivinilo</b>	<b>Plástico.</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Vidrio		1	1	3.0	0.50
Cloruro de polivinilo	0		1	2.0	0.33
Plástico	0	0		1.0	0.17
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

### Tabla de criterios

**Tabla 4.16.** Evaluación de los criterios según el tipo de material de recubrimiento.

<b>Criterio</b>	Fácil instalación	Costo	Peso	Existencia en el mercado	Rendimiento térmico	$\Sigma+1$	<b>Ponderado</b>
Vidrio	0.051	0.050	0.034	0.043	0.035	1.216	0.3040
Cloruro de polivinilo	0.099	0.099	0.066	0.043	0.023	1.330	0.3325
Plástico	0.150	0.150	0.100	0.043	0.011	1.454	0.3635
Total						4.000	

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

Se elige como mejor criterio para el recubrimiento del invernadero el plástico, por su fácil instalación, costo accesible, bajo peso, existencia en el mercado local y nacional en caso que se requiera cambiar.

#### **4.3.3. Selección del sistema de filtrado**

La selección del sistema de filtrado al igual que las otras dos alternativas seleccionadas, se da en función del método de evaluación de soluciones, el cual es sugerido por Riba (2002), dándose según los siguientes parámetros que son:

- **Alternativas**

- a) Filtros de malla
- b) Filtros decantadores
- c) Hidrociclones

- **Criterios**

- 1. Fácil instalación
- 2. Costo
- 3. Existencia en el mercado
- 4. Pérdidas de presión
- 5. Diseño a medida

## Jerarquización

La jerarquización de criterios se da de la siguiente manera:

$$1 > 2 = 3 > 4 > 5$$

## Valorización de criterios

La valoración se da en función de los criterios nombrados anteriormente.

## Evaluación de los criterios

La evaluación de los criterios se da de la siguiente manera:

**Tabla 4.17.** Evaluación por criterio según el tipo de máquina.

Criterio	Fácil instalación	Costo	Existencia en el mercado	Perdidas de presión	Diseño a medida	$\Sigma+1$	Ponderado
Fácil instalación		1	1	1	1	5.0	0.333
Costo	0		0.5	1	1	3.5	0.233
Existencia en el mercado	0	0.5		1	1	3.5	0.233
Perdidas de presión	0	0	0		1	2.0	0.134
Diseño a medida	0	0	0	0		1.0	0.067
Total						15.0	1.000

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

## Evaluación por criterio

La evaluación se da por cada criterio mencionado anteriormente, siguiendo con la valoración definida.

**Tabla 4.18.** Evaluación del criterio de fácil instalación.

<b>Fácil instalación</b>	Filtros de malla	Filtros decantadores	Hidrociclones	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Filtros de malla	3	1	1	3.0	0.50
Filtros decantadores	0	2	1	2.0	0.33
Hidrociclones	0	0	3	1.0	0.17
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.19.** Evaluación del criterio de costos.

<b>Costos</b>	Filtros de malla	Filtros decantadores	Hidrociclones	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Filtros de malla	3	1	1	3.0	0.50
Filtros decantadores	0	3	0	1.0	0.17
Hidrociclones	0	1	3	2.0	0.33
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.20.** Evaluación del criterio de existencia en el mercado.

<b>Existencia en el mercado</b>	<b>Filtros de malla</b>	<b>Filtros decantadores</b>	<b>Hidrociclones</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Filtros de malla		1	1	3.0	0.50
Filtros decantadores	0		1	2.0	0.33
Hidrociclones	0	0		1.0	0.17
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.21.** Evaluación del criterio de pérdidas de presión.

<b>Pérdidas de presión</b>	<b>Filtros de malla</b>	<b>Filtros decantadores</b>	<b>Hidrociclones</b>	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Filtros de malla		1	0.5	2.5	0.42
Filtros decantadores	0		0	1.0	0.16
Hidrociclones	0.5	1		2.5	0.42
Total				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla 4.22.** Evaluación del criterio de diseño a medida.

<b>Diseño a medida</b>	Filtros de malla	Filtros decantadores	Hidrociclones	$\Sigma+1$	<b>Ponderación</b>
Filtros de malla		0	0.5	1.5	0.25
Filtros decantadores	1		1	3.0	0.50
Hidrociclones	0.5	0		1.5	0.25
<b>Total</b>				6.0	1.00

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

**Tabla de criterios**

**Tabla 4.23.** Evaluación de los criterios para el sistema de filtrado.

<b>Criterio</b>	Fácil instalación	Costo	Existencia en el mercado	Perdidas de presión	Diseño a medida	$\Sigma+1$	<b>Ponderado</b>
Filtros de malla	0.167	0.117	0.117	0.056	0.017	1.474	0.3685
Filtros decantadores	0.110	0.040	0.076	0.022	0.033	1.281	0.3203
Hidrociclones	0.056	0.076	0.040	0.056	0.017	1.245	0.3112
<b>Total</b>						4.000	1.0000

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

**Fuente:** [21].

Se elige como mejor criterio para el sistema de filtrado por su fácil instalación, costos accesibles, existencia en el mercado local y nacional, pérdidas de presión, así como el diseño a medida de los filtros tipo malla.

#### **4.3.4. Selección del anaquel y bandeja de cultivo**

Se observa en la figura 4.1., el diseño del módulo de cultivo de forraje verde hidropónico, diseñado de tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4 de pulg. De 5 niveles con una separación de 40 cm por nivel, con una pendiente de drenaje de 10%.



**Figura 4.1.** Diseño del módulo de cultivo.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Para la selección de las bandejas de cultivo, se tiene en cuenta el tipo de material, tamaño y disponibilidad en el mercado, las bandejas utilizadas son de tipo poliéster de 70 x 40 cm. Además se utiliza un total de 160 bandejas para la producción.



**Figura 4.2.** Bandeja de poliéster.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

#### 4.3.5. Dimensionamiento del área por bandeja

Como requerimientos se tiene:

- Para el FVH debe permitir la circulación de agua
- Evitar el estancamiento de agua
- Diseño con materiales existentes en el mercado local o nacional

Por lo que el área de cultivo se determina en función de la siguiente ecuación:

$$A_{\text{bandeja}} = l * h \quad \text{Ec. (4.1)}$$

Donde:

- $A_{\text{bandeja}}$  = Área de la bandeja ( $m^2$ )
- $l$  = Longitud de la bandeja (m)
- $h$  = Ancho de la bandeja (m)

Y por ende el área Total de cultivo para la producción de FVH, se determina de la siguiente ecuación:

$$A_{\text{Total}} = A_{\text{bandeja}} * N^{\circ} \text{ de charolas} \quad \text{Ec. (4.2)}$$

El siguiente paso es definir la densidad de siembra, de la siguiente manera:

En función de la densidad de siembra, la cual varía de  $2.2 \text{ kg/m}^2$  a  $3.4 \text{ kg/m}^2$ , se procede a delimitar la masa originada por bandeja de la siguiente manera:

$$m_{\text{min}} = \delta_{\text{min}} * A \quad \text{Ec. (4.3)}$$

Donde:

- $m_{\text{min}}$  = Masa mínima por bandeja (kg)
- $\delta_{\text{min}}$  = Densidad mínima de cultivo ( $\text{kg/m}^2$ )
- $A$  = Área de la bandeja ( $m^2$ )

$$m_{\text{max}} = \delta_{\text{max}} * A \quad \text{Ec. (4.4)}$$

Donde:

- $m_{max}$  = Masa máxima por bandeja (kg)
- $\delta_{max}$  = Densidad máxima de cultivo (kg/m<sup>2</sup>)
- $A$  = Área de la bandeja (m<sup>2</sup>)

A continuación, se procede a definir el rendimiento mínimo y máximo del cultivo esperado, por cada semilla.

$$R_{min} = \frac{R_{FVH-min} * m_{min}}{1 \text{ Kg de semilla}} \quad \text{Ec. (4.5)}$$

Donde:

- $R_{min}$  = Rendimiento mínimo de cultivo por bandeja (Kg forraje por bandeja)
- $R_{FVH-min}$  = Rendimiento mínimo de FVH (Kg por bandeja)
- $m_{min}$  = Masa mínima por bandeja (Kg de semilla)

$$R_{max} = \frac{R_{FVH-max} * m_{max}}{1 \text{ Kg de semilla}} \quad \text{Ec. (4.6)}$$

Donde:

- $R_{max}$  = Rendimiento máximo de cultivo por bandeja (Kg forraje por bandeja)
- $R_{FVH-max}$  = Rendimiento máximo de FVH (Kg por bandeja)
- $m_{max}$  = Masa máxima por bandeja (Kg de semilla)

#### 4.3.6. Dimensionamiento de micro aspersores

La selección de micro aspersores, se da en función de la necesidad de consumo ( $NA_{max}$ ) del FVH, el cual se define de la siguiente manera:

$$NA_{max} = A_{bandeja} * (R_{max-dia}) \quad \text{Ec. (4.7)}$$

Donde:

- $NA_{max}$  = Necesidad de riego máximo de consumo (lt/día)
- $A_{bandeja}$  = Área de la bandeja (m<sup>2</sup>)
- $R_{max-dia}$  = Cantidad de riego máximo del FVH (l/m<sup>2</sup>)

El siguiente paso es definir el volumen de riego

$$VR_{\max} = \frac{NA_{\max}}{CR} \quad \text{Ec. (4.8)}$$

Donde:

- $VR_{\max}$  = Volumen de riego (lt/bandeja)
- $NA_{\max}$  = Necesidad máxima de consumo (lt/día)
- $CR$  = Cantidad de riego (riegos/día)

Finalmente se debe definir la necesidad máxima de consumo por aspersores.

$$NA_{\text{asp}} = \frac{VR_{\max}}{Tr} \quad \text{Ec. (4.9)}$$

Donde:

- $NA_{\text{asp}}$  = Necesidad máxima de consumo por aspersores (lt/min)
- $VR_{\max}$  = Volumen de riego (lt/bandeja)
- $Tr$  = Tiempo de riego (min/bandeja)

En base a su aplicación se escoge:



**Figura 4.3.** Modelos de micro aspersores I.

**Fuente:** [22].



**Figura 4.4.** Modelos de micro aspersores II.

**Fuente:** [22].



**Figura 4.5.** Modelos de micro aspersores III.

**Fuente:** [22].



**Figura 4.6.** Modelos de micro aspersores IV.

**Fuente:** [22].



Figura 4.7. Modelos de micro aspersores V.

Fuente: [22].

MAX ONE SPRAY JET CRITERIOS DE DISEÑO MÉTRICO	Max 18 78° x 3		Max 12 104° x 12		Max 12 78° x 12		Max 10 78° x 20		Max 14 200° x 14		Max 14 200° x 14		Max One Fan 60°		Max One Down Fan 180°		Max V8 Down Fan 0° Smooth 230°		Max One Down Stream 90°		Max Double Down Stream 90° x 38		Max 360 Skuberry 360°		Max 180 Nectarly 180°		Max Carro 30° x 3		Max V Stream			
	Ángulo de Trayectoria	5°	8°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°	15°		
Tamaño de Gotas	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm		
Negro 0.75 mm	1.02	8.25	2.29	1.52	2.26	1.22	2.00	2.74	1.52	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.07	0.46	0.20x2.44	10.0															
	1.38	21.20	2.59	1.68	2.74	1.37	3.20	3.05	1.68	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.22	0.46	0.30x3.35	15															
	1.70	33.95	2.74	1.83	2.90	1.52	3.66	3.35	1.83	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.22	0.46	0.30x3.81	18.0															
	2.04	35.72	2.90	1.98	3.05	1.68	3.81	3.54	1.98	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.37	0.61	0.46x4.11	22.5															
Naranja 0.64 mm	1.02	25.36	1.90	1.68	2.90	1.37	3.11	3.51	1.52	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.27	0.61	0.20x2.90	12.5															
	1.38	29.75	2.20	1.98	3.05	1.52	3.81	3.66	1.68	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.37	0.61	0.46x3.66	14.5															
	1.70	32.25	2.35	2.13	3.20	1.68	4.31	3.81	1.83	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.52	0.76	0.46x4.31	16.5															
	2.04	35.58	2.51	2.29	3.35	1.83	4.57	3.96	1.98	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.68	0.76	0.46x4.42	17.5															
Azul 1.02 mm	1.02	33.69	2.90	1.83	3.20	1.68	4.42	4.27	1.68	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.37	0.38	0.30x3.35	15.5															
	1.38	39.75	3.25	1.98	3.35	1.83	4.88	4.57	1.83	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.52	1.07	0.46x3.96	16.5															
	1.70	44.67	3.66	2.13	3.51	1.98	5.18	5.03	1.98	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.52	1.07	0.46x4.42	17.5															
	2.04	48.85	4.11	2.29	3.66	2.13	5.49	5.18	1.98	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.68	1.07	0.46x4.42	18.5															
Verde 1.12 mm	1.02	43.53	3.81	1.98	3.35	1.68	5.18	5.03	1.68	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.52	0.38		16.0															
	1.38	51.30	4.11	2.13	4.11	1.83	5.49	5.49	1.83	0.61	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.68	1.07		17.5															
	1.70	56.78	4.57	2.29	4.27	1.98	5.79	5.49	1.98	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.68	1.07		18.5															
	2.04	62.46	4.42	2.29	4.42	2.13	6.04	5.79	1.98	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.83	1.07		19.5															
Verde 1.27 mm	1.02	33.00	3.96		4.11	1.83	5.18	5.18	1.68	0.61	0.5-0.9	0.61	0.96x1.22	1.68	0.38		16.0															
	1.38	40.57	4.27		4.27	1.98	5.49	5.44	1.83	0.61	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.68	0.38		16.5															
	1.70	48.14	4.57		4.57	2.13	5.79	5.79	1.98	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.83	0.38		17.5															
	2.04	55.83	5.03		5.18	2.29	6.04	5.94	2.13	0.76	0.5-0.9	0.76	0.96x1.22	1.83	0.38		18.5															
Amarillo 1.40 mm	1.02	34.75	4.11		4.42		5.79	5.94	1.83	0.61		0.76	0.96x1.22				17.5															
	1.38	34.95	4.27		4.72		6.04	6.04	1.83	0.61		0.76	0.96x1.22				20.0															
	1.70	44.04	4.57		5.03		6.35	6.35	1.98	0.76		0.76	0.96x1.22				22.5															
	2.04	52.36	5.03		5.18		7.22	7.03	2.29	0.76		0.76	0.96x1.22				24.0															
Rojo 1.52 mm	1.02	36.47	4.57		4.88		6.25	6.55	1.83	0.61		0.76	0.96x1.22				25.0															
	1.38	38.96	5.18		5.49		6.75	6.71	1.98	0.76		0.76	0.96x1.22				26.5															
	1.70	40.31	5.49		6.04		7.42	6.71	2.13	0.76		0.76	0.96x1.22				33.5															
	2.04	50.38	6.40		6.71		8.89	8.88	2.29	0.76		0.76	0.96x1.22				35.0															
Blanco 1.70 mm	1.02	51.51	6.40		6.40		7.6	7.6	2.29	0.76		0.76	0.96x1.47																			
	1.38	140.44	6.55		6.40		8.58	7.62	2.44	0.76		0.76	0.96x1.47																			
	1.70	156.23	6.71		6.71		9.30	8.38	2.59	0.61		0.61	0.96x1.27																			
	2.04	184.9	7.47		7.01		9.75	8.69	2.74	0.61		1.07	0.96x1.52																			

Figura 4.8. Tabla de micro aspersores.

Fuente: [22].

#### 4.3.7. Dimensionamiento del tanque

La selección del tanque se da en función de las necesidades máximas y mínimas de riego.

$$NA_{max} = A_{bandeja} * (R_{max} - dia) \tag{Ec. (4.10)}$$

Donde:

- $NA_{max}$  = Necesidad máxima de consumo (lt/día)

- $A = \text{Área de la bandeja (m}^2\text{)}$
- $R_{\text{max-día}} = \text{Cantidad de riego máximo del FVH (l/m}^2\text{)}$

$$NA_{\text{min}} = A_{\text{bandeja}} * (R_{\text{min-día}}) \quad \text{Ec. (4.11)}$$

Donde:

- $NA_{\text{min}} = \text{Necesidad mínima de consumo (lt/día)}$
- $A = \text{Área de la bandeja (m}^2\text{)}$
- $R_{\text{min-día}} = \text{Cantidad de riego mínima del FVH (l/m}^2\text{)}$

Por lo que la necesidad de riego por cultivo se define de la siguiente manera:

$$NR_{\text{cultivo}} = NR_{\text{bandeja}} * N_{\text{bandeja}} \quad \text{Ec. (4.12)}$$

Donde:

- $NR_{\text{cultivo}} = \text{Necesidad del riego de cultivos (lt)}$
- $NR_{\text{bandeja}} = \text{Necesidad del riego de bandeja (lt)}$
- $N_{\text{bandeja}} = \text{Número de bandejas}$

#### **4.3.8. Dimensionamiento de la bomba**

Para el dimensionamiento de la bomba se debe calcular las características de las líneas de aspiración e impulsión y el caudal de trabajo como se detalla a continuación:

La altura manométrica (H) total se compone de la suma de los siguientes términos:

##### **4.3.8.1. Longitud equivalente de aspiración**

Se incluye también en el Anexo I (Tabla 3), la tabla que permite calcular las pérdidas de carga, expresadas en metros, por cada 100 metros de tubería de polietileno, en función de su diámetro y caudal que circula:

$$L_{\text{eq,a}} = \Sigma \text{ Total } P_{\text{c,a}} \times P_c / 100 \quad \text{Ec. (4.13)}$$

Donde:

- $L_{\text{eq,a}} = \text{Longitud equivalente de aspiración (m)}$

- $\Sigma$  Total  $P_{c,a}$  = Sumatoria total de las pérdidas de carga de aspiración en los accesorios (m)
- $P_c$  = Pérdidas de carga según el diámetro de la tubería (m)

Por lo tanto, la altura manométrica total en la aspiración ( $H_{\text{aspiración}}$ ) resulta de:

$$H_{\text{aspiración}} = H_a + P_{c,a} \quad \text{Ec. (4.14)}$$

Donde:

- $H_{\text{aspiración}}$  = Altura manométrica total en la aspiración (m)
- $H_a$  = Altura geométrica (m)
- $P_{c,a}$  = Pérdida de carga en la aspiración (m).

#### 4.3.8.2. Longitud equivalente de impulsión

Del Anexo I (Tabla 3), se extrae las pérdidas de carga, expresadas en metros, por cada 100 metros de tubería de polietileno, en función de su diámetro y caudal que circula:

$$L_{eq,i} = \Sigma \text{ Total } P_{c,i} \times P_c / 100 \quad \text{Ec. (4.15)}$$

Donde:

- $L_{eq,i}$  = Longitud equivalente de impulsión (m)
- $\Sigma$  Total  $P_{c,i}$  = Sumatoria total de las pérdidas de carga de impulsión en los accesorios (m) Anexo1.
- $P_c$  = Pérdidas de carga según el diámetro de la tubería (m), Anexo1

La altura manométrica total en la tubería de impulsión ( $H_{\text{impulsión}}$ ) resulta de:

$$H_{\text{impulsión}} = H_i + P_{c,i} \quad \text{Ec. (4.16)}$$

Donde:

- $H_{\text{impulsión}}$  = Altura manométrica total en la impulsión (m)
- $H_i$  = Altura geométrica (m)
- $P_{c,i}$  = Pérdida de carga en la impulsión (m).

#### 4.3.8.3. Altura geométrica total

Por lo tanto, la altura geométrica total (H) que debe proporcionar la bomba será:

$$H = H_{\text{aspiración}} + H_{\text{impulsión}} \quad \text{Ec. (4.17)}$$

Donde:

- $H$  = Altura geométrica total (m)
- $H_{\text{aspiración}}$  = Altura manométrica total en la aspiración (m)
- $H_{\text{impulsión}}$  = Altura manométrica total en la impulsión (m)

#### 4.3.8.4. Caudal de trabajo

Para seleccionar la bomba requerida para el sistema de forraje verde hidropónico, se debe tener en cuenta el caudal de trabajo, la distancia máxima recorrida y tener en cuenta los micro aspersores utilizados para el riego del sistema. Se define la siguiente formula:

$$Q_{\text{trabajo}} = Q_{\text{delimitado del micro aspersor}} * N.^{\circ}_{\text{de arpersores}} \quad \text{Ec. (4.18)}$$

Donde:

- $Q_{\text{trabajo}}$  = Caudal de trabajo (lt/h)
- $Q_{\text{delimitado del micro aspersor}}$  = Caudal del micro aspersor, ver figura 5.6 (lt/h)
- $N.^{\circ}_{\text{de arpersores}}$  = 80 micro aspersores utilizados

#### 4.3.8.5. Comprobación de cavitación

El equipo de bombeo funcionará correctamente sin que surjan problemas de cavitación, si se cumple que:

- $NPSH_d \geq NPSH_r + 0,5 \text{ m.}$

El  $NPSH_r$  (requerido): se extrae del modelo seleccionado, a partir de la información facilitada por el fabricante en su catálogo. De las curvas de funcionamiento (Figura 5.3.).

El  $NPSH_d$  (disponible): se calcula en base a la siguiente fórmula:

$$NPSH_d = (10 \cdot P_a) / \gamma - H_a - P_{ca} - (10 \cdot P_v) / \gamma \quad \text{Ec. (4.19)}$$

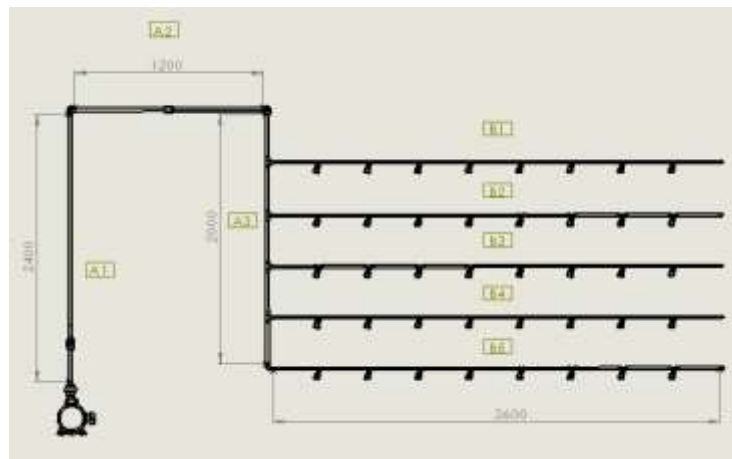
Donde:

- $NPSH_d$  = Altura neta positiva de aspiración (m)
- $P_a$  = Es la presión atmosférica o presión en el depósito de aspiración, en  $(\text{kg}/\text{cm}^2)$ ;

- $H_a$  = Es la altura geométrica de aspiración, en (m)
- $P_{ca}$  = Es la pérdida de carga originada en la aspiración (incluye todos los elementos que componen el circuito de aspiración: tuberías, válvulas, curvas, accesorios, etc.), en (m)
- $P_v$  = Es la presión de vapor del líquido a la temperatura de bombeo, en (kg/cm<sup>2</sup>)
- $\gamma$  = Es el peso específico del líquido, en (kg/dm<sup>3</sup>).

#### 4.3.8.6. Distancia máxima recorrida

Una vez conocido el caudal de trabajo se procede a encontrar la distancia máxima recorrida de agua por las tuberías de PVC, para el sistema el riego, como se muestra en la figura 4.9.



**Figura 4.9.** Plano de Tuberías del cultivo de forraje verde hidropónico FVH.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

De acuerdo a la figura 4.9, representa el sistema de tuberías para riego de forraje verde hidropónico. Las tuberías están diseñadas en su totalidad de material PVC, para ello se describe sus longitudes a continuación:

**Tabla 4.24.** Longitudes de tuberías para el sistema de riego.

Nomenclatura	Dimensiones	Material
A1	2400 mm x 1 Pulg	PVC
A2	1200 mm x 1 Pulg	PVC
A3	2000 mm x 1 Pulg	PVC
B1-B2-B3-B4-B5	36200 mm x 16 mm	PVC

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

#### 4.3.8.7. Bomba Centrífuga

Las bombas centrífugas son las adecuadas para bombeo de agua y líquidos limpios, no agresivos. Circulación en instalaciones de climatización y sistemas de riego. Además, este tipo de bombas son utilizadas para mayor caudal, pero con menor presión.

**Tabla 4.25.** Bomba centrífuga 2 HP - Modelo BP 212.

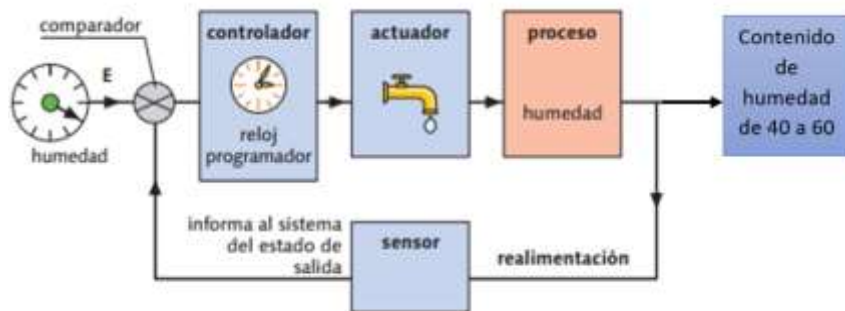
Características:	Bomba Centrífuga
Alcanza una altura de 22 metros.	
Caudal máxima de 180 lt/min	
Silenciosa y de larga vida útil	
Alto caudal	
Bajo consumo eléctrico	
Ideal para riego por aspersión	

Fuente: [23].

#### 4.4. Sistema de control

##### 4.4.1. Sistema de control de riego y humedad

Para el sistema de control de riego y humedad, se utiliza el método de lazo cerrado, el cual maneja un control On/Off, mediante procedimientos que mediría continuamente el grado de humedad de la planta y por ende pondría en marcha el riego cuando fuese necesario, el cual se da mediante una realimentación asistida de la salida a la entrada.

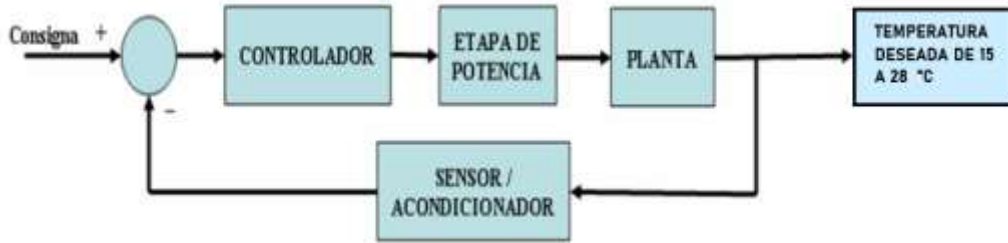


**Figura 4.10.** Lazo cerrado del sistema de riego y humedad.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

#### 4.4.2. Sistema de control de temperatura

El sistema de control usado es de lazo cerrado para la temperatura, el cual está compuesto por un sistema térmico, el cual posee una dinámica lenta, constituida por una resistencia donde su elemento de potencia sería un transistor, midiendo la magnitud en un controlador, en base a una realimentación deseada de las diferentes etapas del invernadero.



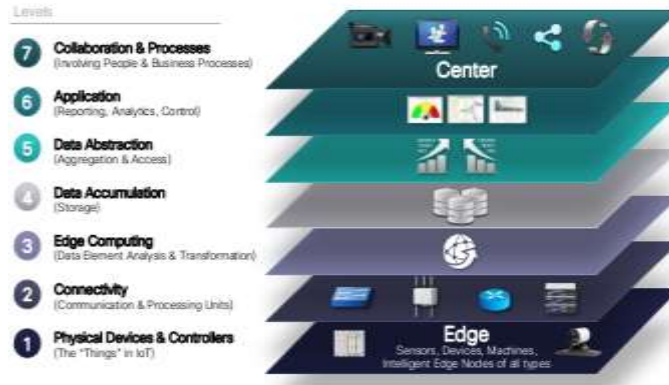
**Figura 4.11.** Lazo cerrado del sistema de control de temperatura.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

#### 4.5. Propuesta de Arquitectura de IoT

Con el propósito de vincular los datos que emite el sensor, en la nube y las tecnologías del internet se presenta un prototipo de plataforma de IoT en 7 capas:

- Conectividad y comunicación.
- Gestión y control de dispositivos.
- Recolección, análisis y actuación de los datos.
- Escalabilidad.
- Flexibilidad.
- Alta disponibilidad.
- Integración.
- Seguridad.



**Figura 4.12.** Arquitectura IoT.

Fuente: [24].

#### 4.6. Pronóstico del clima: Climate-Data.org

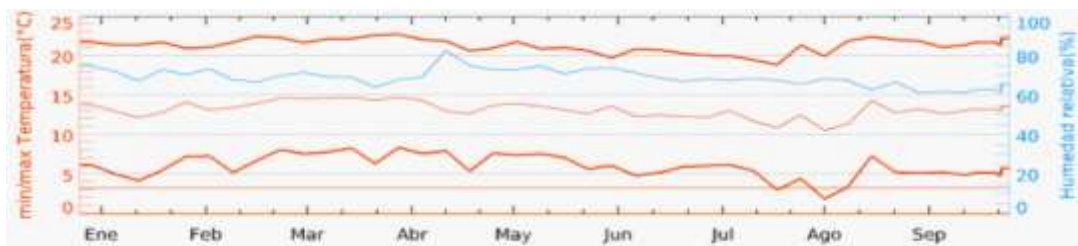
Se detallan los valores de las temperaturas mínimas, medias, y máximas de la Ciudad de Latacunga durante el año 2020, según Climate-Data.org.

**Tabla 4.26.** Valores de Temperaturas de la ciudad de Latacunga del año 2020.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura mínima (°C)	8	7.5	8.2	8.4	8.2	7.5	7.2	6.6	6.9	7.3	7.3	7.6
Temperatura media (°C)	14	13.6	13.6	13.7	13.6	12.8	12.6	12.4	12.9	13.6	13.9	13.8
Temperatura máxima (°C)	20	19.8	19.1	19.1	19	18.1	18	18.3	19	19.9	20.5	20.1

Fuente: [25].

En la gráfica de detallan las temperaturas y humedades:



**Figura 4.13.** Temperaturas y Humedades de la Ciudad de Latacunga del año 2020.

Fuente: [25].

#### 4.7. Software para la Simulación y diseño de planos

Finalmente se detallan los tipos de software empleados para la simulación del control de las variables y el diseño del módulo de cultivo de FVH.

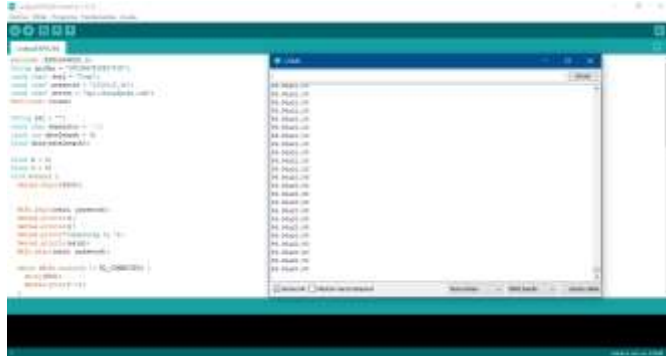
**Tabla 4.27.** Softwares utilizados para el Proyecto Tecnológico.

<b>SketchUp 2020</b>
Es un programa de diseño gráfico y modelado en tres dimensiones (3D) basado en caras. Es utilizado para el modelado de entornos de planificación urbana, arquitectura, ingeniería civil, diseño industrial, diseño escénico. SketchUp es un programa en versión libre, que incluye una galería de objetos, texturas e imágenes listas para descargar.

<b>Unity 2019.2.0f1</b>
Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por (Unity Technologies). El término motor de videojuego (game engine), hace referencia a un software el cual tiene una serie de rutinas de programación que permiten el diseño, la creación y el funcionamiento de un entorno interactivo.

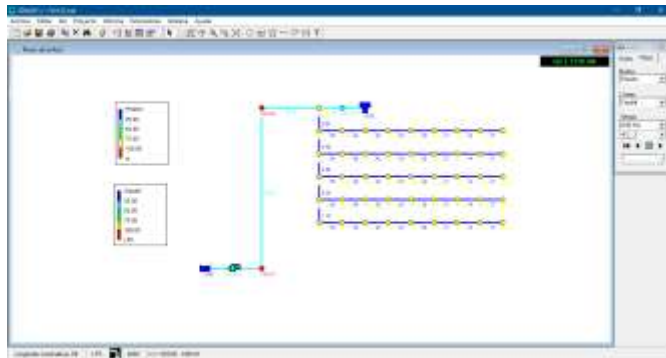

### Arduino 1.8.13

El software de Arduino es un IDE, entorno de desarrollo integrado (siglas en inglés de Integrated Development Environment). Es un programa informático compuesto por un conjunto de herramientas de programación.



### EPANET 2.0 vE

Es un software libre que permite realizar análisis hidráulicos de redes de tuberías, para comprender el movimiento y el destino de los componentes del agua potable dentro del sistema y se puede utilizar para muchos tipos de aplicaciones diferentes en el análisis de sistemas de distribución.



**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

## 5. ANÁLISIS DE RESULTADOS

### 5.1. Introducción

Después de haber desarrollado la metodología, realizado los cálculos y conociendo los valores de las variables, se procede al análisis respectivo de todos los componentes utilizados para el sistema de cultivo de FVH, ya que son la parte fundamental para el diseño y dimensionamiento de los materiales.

### 5.2. Diseño dimensional

El diseño dimensional se inicia definiendo la masa y el rendimiento de cultivo.

#### 5.2.1. Masa y rendimiento de cultivo

**Tabla 5.1.** Resultados del área de producción de FVH.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Área de cultivo por bandeja	Ec. 4.1	$A_{\text{bandeja}} = 0.28m^2$
Área total de cultivo de FVH	Ec. 4.2	$A_{\text{Total}} = 44.8 m^2$

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

De acuerdo con los datos de la tabla 5.1., se puede apreciar el área por bandeja de (0.70 x 0,40 m) y el área total de cultivo del invernadero de (0.28m<sup>2</sup> x 160 bandejas), para la producción de forraje verde hidropónico, que servirá de alimento extra a los animales de granja de corral.

**Tabla 5.2.** Densidad de siembra de FVH.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Masa mínima por bandeja	Ec. 4.3	$m_{\text{min}} = 0.616 kg$
Masa máxima por bandeja	Ec. 4.4	$m_{\text{max}} = 0.952 kg$

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Según los datos de la tabla 5.2 se obtuvo la densidad de siembra, la cual se da en función de la densidad de siembra, que varía de 2.2 a 3.4 kg/m<sup>2</sup> por bandeja, según la FAO para el sistema de producción de FVH por bandeja.

Una vez definida la máxima y mínima masa por bandeja, se procede a determinar el rendimiento de la densidad de siembra.

**Tabla 5.3.** Densidad de siembra de FVH.

<b>Parámetro</b>	<b>Ecuación</b>	<b>Resultado</b>
Con una masa mínima de 0.616 kg.		
Rendimiento mínimo de cultivo por bandeja	Ec. 4.5	$R_{\min} = 6.16$ Kg forraje por bandeja
Densidad de siembra máxima	Ec. 4.6	$R_{\max} = 7.39$ Kg forraje por bandeja
Con una masa máxima de 0.952 kg.		
Rendimiento mínimo de cultivo por bandeja	Ec. 4.5	$R_{\min} = 9.52$ Kg forraje por bandeja
Densidad de siembra máxima	Ec. 4.6	$R_{\max} = 11.42$ Kg forraje por bandeja

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Según la masa mínima de 0.616 kg que sale de la tabla 5.3, nos da un valor de rendimiento mínimo de cultivo por bandeja de 6.16 y una densidad de siembra máxima de 7.39 de forraje por bandeja. Para la masa máxima de 0.952 kg que sale de la tabla 5.3, nos da un valor de rendimiento mínimo de cultivo por bandeja de 9.52 y una densidad de siembra máxima de 11.42 de forraje por bandeja. Según la FAO estima una producción neta de FVH que varía de 10 a 12 kg por bandeja.

### **5.2.2. Selección de micro aspersores**

La selección de los micro aspersores, se dará en función de la cantidad de riego, recomendados, por lo que la necesidad máxima de consumo por bandeja, debe darse según la cantidad de riego del FVH, la cual debe ser de: 0.9 a 1.5 l/m<sup>2</sup> al día según la FAO.

**Tabla 5.4.** Selección de micro aspersores.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Necesidad de riego máximo de consumo	Ec. 4.7	$NA_{\max} = 0.42 \text{ lt/día}$
Volumen de riego	Ec. 4.8	$VR_{\max} = 0.07 \frac{\text{lt}}{\text{bandeja} - \text{riegos}}$
Necesidad máxima de consumo	Ec. 4.9	$NA_{\text{asp}} = 2.80 \frac{\text{lt}}{\text{h}}$

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Según los datos de la tabla 5.4., se enfoca en la cantidad de riego para el sistema, además según la Revista Complutense de Ciencias Veterinarias, recomienda que la cantidad de riego por día debe ser de 4 a 6 veces. Finalmente, la necesidad máxima de consumo por aspersores, se recomienda que el tiempo de riego debería ser no más de 2 minutos, que permita evitar la aparición de hongos y acumulación de caudal en las semillas.

### 5.2.3. Dimensionamiento del tanque

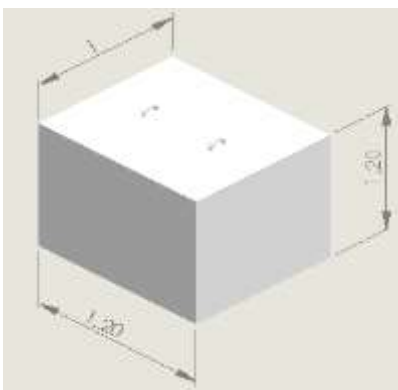
Para el dimensionamiento del reservorio de agua de riego automático de 160 bandejas de FVH, se debe hallar la demanda total del agua durante todo el proceso de cultivo de FVH. Teniendo en cuenta la cantidad de riego recomendados, la cual debe ser de: 0.9 a 1.5 lt/m<sup>2</sup> al día según la FAO.

**Tabla 5.5.** Dimensionamiento del tanque reservorio.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Necesidad máxima de consumo	Ec. 4.10	$NA_{\max} = 0.42 \text{ lt/día}$
Necesidad mínima de consumo	Ec. 4.11	$NA_{\min} = 0.252 \text{ lt/día}$
Necesidad del riego de cultivos	Ec. 4.12	$NR_{\text{cultivo}} = 1075.20 \text{ lt}$

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Según los resultados obtenidos en la tabla 5.5, se puede analizar la necesidad de riego por bandeja, calculado con el valor máximo de riego por día, durante un período de 20 días de riego, es por ello del dimensionamiento del tanque de concreto de 1.44m<sup>3</sup>, para una capacidad estimada de 1300 litros accesibles para el uso del sistema de riego.



**Figura 5.1.** Dimensiones del tanque de almacenamiento.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

#### 5.2.4. Dimensionamiento de la bomba

Para el dimensionamiento de la bomba se definiría en función del caudal delimitado según Senninger, MAXIJET MAX-ONE SPRAY JETS de 18.55 l/h y el número de micro aspersores a emplear, teniendo presente que un micro aspersor será útil para 2 bandejas, por lo que se usarían 80 micro aspersores.

Además la altura manométrica que debe proporcionar la bomba, se calculará en los tramos de aspiración e impulsión por separado y a continuación se sumarán para obtener la altura manométrica total.

##### 5.2.4.1 Altura manométrica total en la aspiración

- Altura geométrica ( $H_a$ ): 0,4m
- Longitud de la tubería: 1m

**Tabla 5.6.** Pérdida de carga en accesorios de aspiración.

Accesorios	Pérdida de carga
Válvula de pie: (1 ud)	9
Codo 90°: (1 ud)	0,7
Cono difusor entrada a la bomba: (1 ud)	5
$\Sigma$ Total $P_{c,a}$	15,3m

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Según los datos de la tabla 5.6., se obtuvo las pérdidas de carga ( $P_c$ ), según el Anexo I (Tabla 1 y 2), que incluye la longitud real de acuerdo a los accesorios correspondiente, para el tramo de aspiración, se calcula su longitud equivalente ( $L_{eq,a}$ ).

**Tabla 5.7.** Altura manométrica total en la aspiración.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Pérdida de carga en la aspiración	Ec. 4.13	$P_{c,a} = 0.157 \text{ m.}$
Altura manométrica total en la aspiración	Ec. 4.14	$H_{\text{aspiración}} = 0.557\text{m.}$

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Además del Anexo I (Tabla 3), se calcula las pérdidas de carga (tuberías de PVC / Polietileno), expresadas en metros, por cada 100 metros de tubería de polietileno, en función de su diámetro y caudal que circula: Caudal ( $Q = 20.16 \text{ m}^3/\text{h}$ ), diámetro ( $DN = 38 \text{ mm}$ ), interpolando en la tabla resulta una pérdida de carga de:  $1,028 \text{ m}/100 \text{ metros de tubería}$ .  $L_{eq,a} = (15,3 \times 1,028 / 100 = 0.157)$ . Por lo tanto, la altura manométrica total en la aspiración ( $H_{\text{aspiración}}$ ) resulta de:  $H_{\text{aspiración}} = H_a + P_{c,a} = 0.4 + 0.157 = 0.557\text{m}$ .

#### 5.2.4.2 Altura manométrica total en la impulsión

- Altura geométrica ( $H_i$ ): 2,4 m
- Longitud de tubería: 50m

**Tabla 5.8.** Pérdida de carga en accesorios de impulsión.

Accesorios	Pérdida de carga
Válvula de retención: (1 ud)	4
Válvula de compuerta: (1 ud)	0,5
Codos a 90°: (5 uds)	1,5
Tee: (89 uds)	160,2
Cono difusor salida de la bomba: 1 ud.	5
$\Sigma$ Total $P_{c,i}$	171,2m

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Según los datos de la tabla 5.8., se obtuvo las pérdidas de carga ( $P_c$ ), según el Anexo I (Tabla 1 y 2), que incurre en el tramo de impulsión hasta el depósito final se calculará su longitud equivalente ( $L_{eq,i}$ ), que incluye la longitud real más la correspondiente a los accesorios:

**Tabla 5.9.** Altura manométrica total en la impulsión.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Pérdida de carga en la impulsión	Ec. 4.15	$P_{c,i} = 12,60 \text{ m.}$
Altura manométrica total en la impulsión	Ec. 4.16	$H_{impulsión} = 15\text{m.}$

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

También del Anexo I (Tabla 3), se extrae las pérdidas de carga, expresadas en metros, por cada 100 metros de tubería de polietileno, en función de su diámetro y caudal que circula: Caudal ( $Q= 20,16 \text{ m}^3/\text{h}$ ), diámetro ( $DN= 25 \text{ mm}$ ), interpolando en la tabla resulta una pérdida de carga de: 7,36 metros/100 metros de tubería.  $L_{eq,i} = (171,2 \times 7,36 / 100 = 12.60)$  y la altura manométrica total en la tubería de impulsión ( $H_{impulsión}$ ) resulta de:  $H_{impulsión} = H_i + P_{c,i} = 2,4 + 12,60 = 15 \text{ m.}$

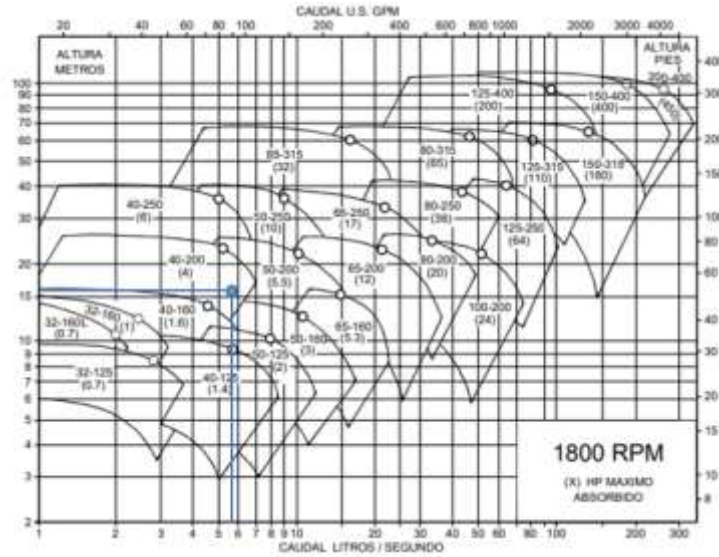
### 5.2.4.3 Selección de la Bomba.

**Tabla 5.10.** Selección de la bomba.

Parámetro	Ecuación	Resultado
Altura manométrica	Ec. 4.17	$H = 15.557 \text{ m}$
Caudal de trabajo (lt/h)	Ec. 4.18	$Q_t = 5,6 \frac{lt}{sg} ; 20.16 \frac{m^3}{h}$

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

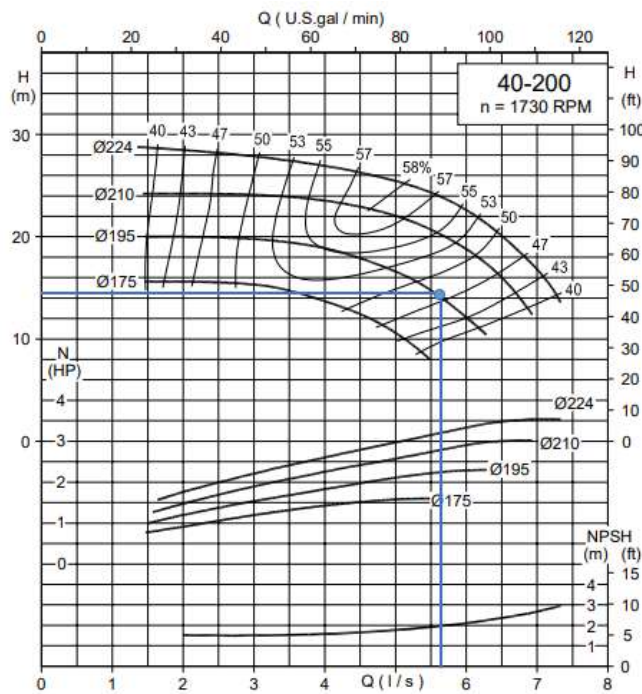
De acuerdo con los datos de la tabla 5.10., para la selección de la bomba, “HIDROSTAL” se dispone de una representación de selección rápida, que permite obtener el modelo de bomba más adecuada. En estas representaciones se ingresa con los valores de caudal y altura manométrica que debe ofrecer la bomba, y que han sido calculados previamente.



**Figura 5.2.** Selección de la bomba (Caudal – Altura).

**Fuente:** [26].

Como se muestra en la figura 5.2., con un caudal ( $Q= 5,6 \text{ lt/sg}$ ) y una altura manométrica ( $H= 15.557\text{m}$ ), se realiza la representación en el modelo 40/200 de la gama de bombas del fabricante HIDROSTAL, que más se asemeja a nuestro ( $Q - H$ ). A continuación se adjuntan también las curvas de funcionamiento de la bomba seleccionada:



**Figura 5.3.** Curvas de funcionamiento de la bomba 40-200.

**Fuente:** [26].

De acuerdo a la figura 5.3., para este proyecto se selecciona la bomba de la marca HIDROSTAL, modelo 40-200, el cuerpo de la bomba, bancada de soporte y rodete de Ø195 mm, bombas con caja en fierro fundido gris o nodular con recubrimiento, bajo la norma ISO 2858-Hidrostal.

#### 5.2.4.4 Comprobación de cavitación.

Para la comprobación de la existencia de cavitación se obtiene en base a los siguientes datos:

$$P_a \text{ (m)} = 10,33 - \text{Altitud (m)}/900 = 10,33 - 2750/900 = 7.27 \text{ m. (0,989 kg/cm}^2\text{)}.$$

La altura geométrica de aspiración ( $H_a$ ) vale 0,4 metros, según los datos de partida. La pérdida de carga originada en el tramo de la aspiración ( $P_{ca}$ ) también ya ha sido calculada de valor,  $P_{ca} = 0,157$  metros.

Los otros parámetros de la expresión anterior que faltan toman los siguientes valores:

- $P_v = 0,0238 \text{ kg/cm}^2$  (presión de vapor del agua a 20°C, "Peso específico y tensión de vapor del agua"; ver Anexo I (Tabla 4).
- $\gamma = 0,9982 \text{ kg/dm}^3$  (peso específico del agua a 20°C, "Peso específico y tensión de vapor del agua"; ver Anexo I (Tabla 4).

**Tabla 5.11.** NPSHr (requerido) - El NPSHd (disponible).

Parámetro	Ecuación	Resultado
NPSHr (requerido)	(Fig. 5.3)	NPSHr = 2,00 m.
NPSHd (disponible)	Ec. 4.19	NPSHd = 6.49 m.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

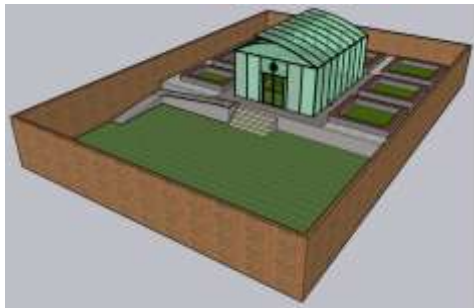
De acuerdo con los datos de la tabla 5.11., el NPSHr se obtiene de la figura 5.3., y el NPSHd de acuerdo a la temperatura del agua, peso específico y tensión de vapor. Además para que la bomba funcione sin cavitación debe de cumplirse la relación siguiente, se le añade 0.5 metros de seguridad. Por lo tanto, se cumple que:  $NPSHd \geq NPSHr + 0,5 \text{ m.}$

No existe riesgo de cavitación.  $6.49 \geq 2,0 + 0,5 \text{ m.}$

### 5.2.5. Diseño en SketchUp

Para nuestro diseño de cultivo de forraje verde hidropónico se realizó en el software de modelado 3D SketchUp, para dimensionar todas las partes complementarias de nuestro proyecto como el diseño: del invernadero, anaquel, bandejas, sistema de tuberías, bomba centrífuga, tanque de almacenamiento y partes estéticas del sistema, para la ejecución del diseño estructural que ayudara en tiempo, calidad y rendimiento de producción de FVH.

### 5.2.6. Diseño en SketchUp

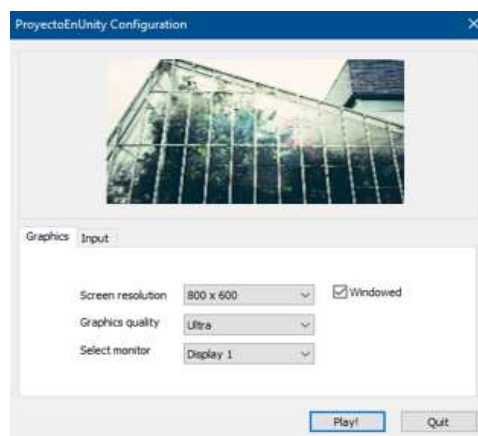


**Figura 5.4.** Diseño Estructural para la producción de FVH.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

### 5.2.7. Simulación - Ejecutable en Unity

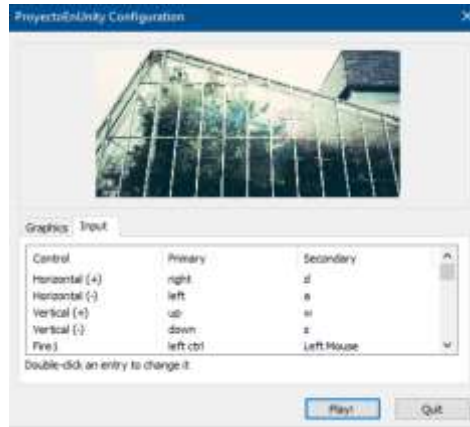
Unity nos ayuda a realizar la simulación de nuestro invernadero de tal forma que podamos interactuar en él, mediante un panel HMI, también incluye una función llamada compilación dependiente de la plataforma, que le permiten particionar sus scripts compilando y ejecutando una sección de código exclusivamente para una de las plataformas compatibles.



**Figura 5.5.** Menú principal en la pestaña Graphics.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Esta aplicado para una resolución de pantalla de 800 x 600 píxeles, con una calidad de gráficos en opción Ultra y selección de monitor en (display 1), además se puede elegir la pestaña de ventana o pantalla completa, y finalmente se da clic en (play) para iniciar la simulación en modo juego del ejecutable de Unity.



**Figura 5.6.** Menú principal en la pestaña Input.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

A continuación se detalla la configuración del teclado para el ejecutable del Unity.

**Tabla 5.12.** Configuración del teclado.

<b>Control</b>	<b>Primary</b>	<b>Secondary</b>
Horizontal (+)	right	d
Horizontal (-)	left	a
Vertical (+)	up	w
Vertical (-)	down	s
Fire1	left ctrl	Left Mouse
Fire2	left alt	Right Mouse
Fire3	left Shift	Middle Mouse
Jump	space	-
Horizontal	Joystick 0 axis 0	-
Vertical	Joystick 0 axis 1	-
Fire1	joystick 0 button 0	-
Fire2	joystick 0 button 1	-
Jump	joystick 0 button 3	-
Submit	return	joystick button 0
Submit	enter	space
Cancel	escape	joystick button 1
Double-click an entry to change it		

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Se observa en la figura 5.7., el área exterior del modelo de cultivo de FVH, se logra visualizar en tiempo real el sistema, mediante el software compilado para ordenador PC, (Play Mode), en el cual se aplicó códigos para navegar e interactuar por la planta de producción de cultivo.



**Figura 5.7.** Diseño virtual – área exterior.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Se observa en la figura 5.8., el área de cultivo de FVH en el interior del invernadero, para la producción de masa forrajera, que se logra visualizar el proceso inicial y final del sistema.



**Figura 5.8.** Diseño virtual – área interior.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Se observa en la figura 5.9., el panel HMI mediante el cual el usuario puede interactuar y maniobrar parámetros que abarca todos los puntos como: visualización de las variables humedad y temperatura enviadas desde el módulo DTH22, además conectado el módulo ESP8266 y enlazado con el Arduino UNO por el puerto serial COM, en base a estos datos enviados para la activación del Set Point de 25°C para el ventilador, sistema de riego con

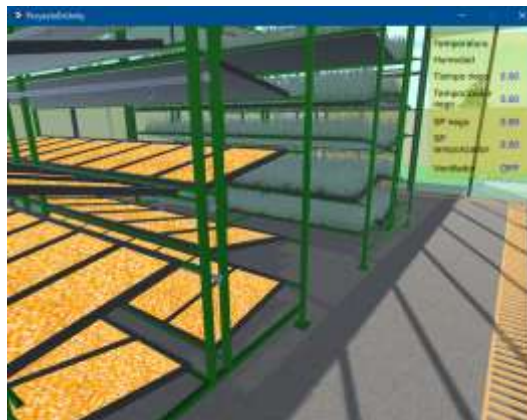
Timer y un control on/off para el filtrado de la malla, del mismo modo el apagado del sistema principal.



**Figura 5.9.** Panel HMI.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Se observa en la figura 5.10., una réplica del panel HMI principal de las variables, Tiempo de riego, temporizador de riego, en consecuencia sus respectivos Set Point, además el estado del ventilador on/off. Y se aprecia la visualización del entorno del sistema.



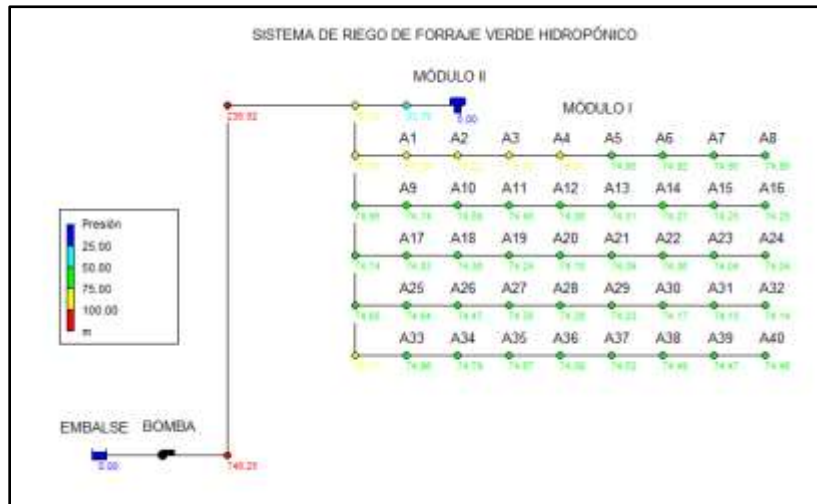
**Figura 5.10.** Panel secundario HMI.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

### 5.2.8. Simulación en EPANET

Para nuestro proyecto del sistema de riego esta simulado en EPANET, para el análisis del sistema hidráulico. Una de las opciones más frecuentes se debe calibrar las líneas de conexión; longitud, diámetro, rugosidad y para los nudos de conexión; cota y demanda base según el método de Hazen-Williams, para el análisis del sistema hidráulico.

Se detalla en la figura 5.11., los valores obtenidos de las presiones en los nudos de conexión.



**Figura 5.11.** Simulación en EPANET- Presión.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

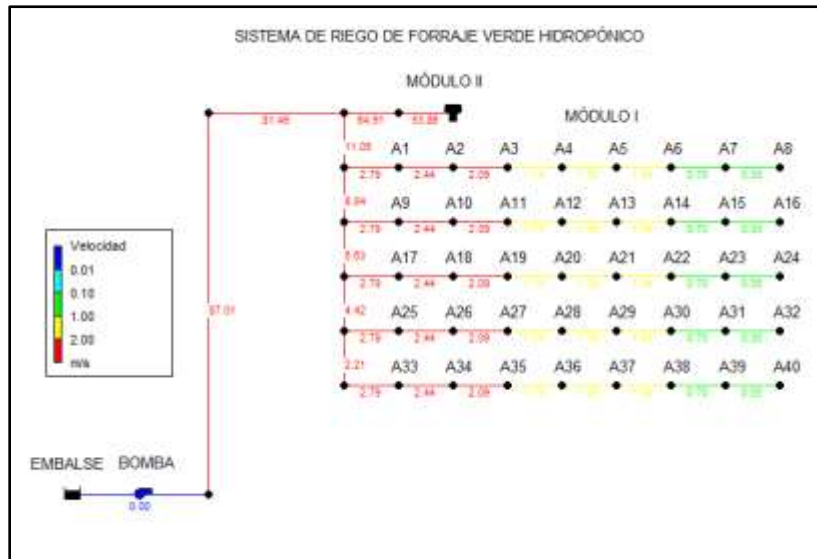
Se detalla en la figura 5.12., los valores obtenidos de los caudales en las líneas de conexión.



**Figura 5.12.** Simulación en EPANET- Caudal.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

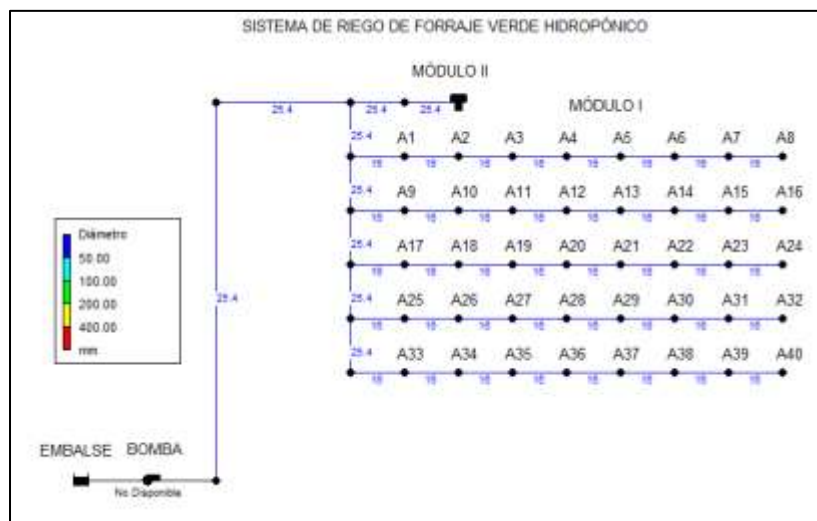
Se detalla en la figura 5.13., los valores obtenidos de las velocidades en las líneas de conexión.



**Figura 5.13.** Simulación en EPANET- Velocidad.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Se detalla en la figura 5.14., los valores obtenidos de los diámetros de las tuberías en las líneas de conexión.



**Figura 5.14.** Simulación en EPANET- Diámetro.

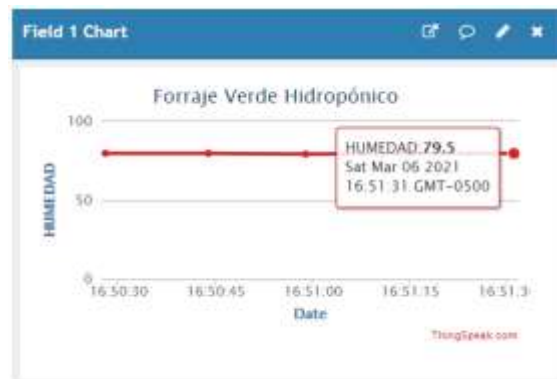
**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

### 5.2.9. Plataforma ThingSpeak

ThingSpeak es una plataforma de Internet of Things (IoT) de código abierto, que permite recoger y almacenar datos del sensor DTH22 en la nube, mediante los módulos Arduino

UNO y ESP8266. ThingSpeak también ofrece aplicaciones que permiten analizar y visualizar los datos en Excel.

- Web: <https://thingspeak.com/channels/1147596>
- Channel ID: 1147596
- Author: LlugshayMoreno2021
- Access: Public



**Figura 5.15.** Gráfico del campo 1 para la Humedad (%).

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Mediante la figura 5.15., obtenida en la web ThingSpeak, se detalla en el gráfico de campo 1 la humedad relativa del aire como una variable importante, en un rango límite de 40 a 80 % de humedad con un set-point de 60 %, para humedades altas afecta al cultivo de plagas y enfermedades, además las humedades bajas podrían reducir el crecimiento de las plantas.

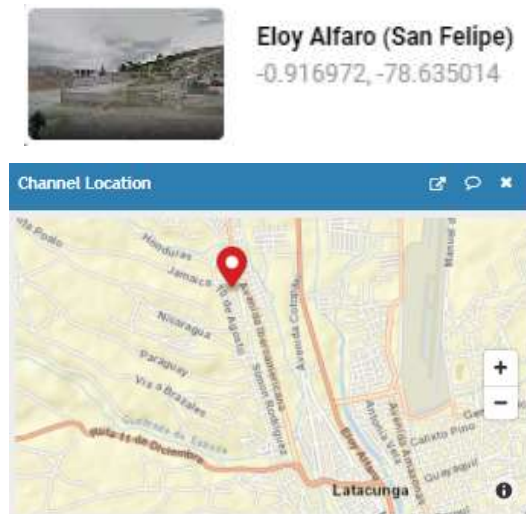


**Figura 5.16.** Gráfico del campo 2 para la Temperatura (°C).

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

De acuerdo a la figura 5.16., obtenida en la web ThingSpeak, hace relevancia a la temperatura como una de las más indispensables, para el control del ambiente dentro de un invernadero, en un rango límite de 10 a 30 °C de temperatura con un set-point de 25 °C, para el cultivo de FVH, por debajo de 5 °C de temperatura las plantas empiezan a encoger severamente su crecimiento, y para un rango de 30 °C de temperatura las plantas empiezan deshidratarse y por ende no rendirían la biomasa forrajera.

Se detalla en el ThingSpeak el canal de Ubicación y punto de coordenadas.



**Figura 5.17.** Ubicación del canal.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Se observa la figura 5.17., la ubicación de la propuesta tecnológica en la provincia de Cotopaxi, Cantón Latacunga, barrio San Felipe, esta propuesta para zonas áridas del sector, para la población encaminada al campo agrícola.



**Figura 5.18.** Canal de video.

**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

Y finalmente se aprecia la figura 5.18., el canal de video del proyecto de FVH, ejecutado en Unity de modo juego, en el cual se aprecian ciertos parámetros de control dentro de un invernadero para el cultivo de FVH, que ayudara a la contribución de alimento para animales de corral del sector mencionado.

#### **5.2.10. Propuesta Tecnológica**

Finalmente el proyecto de la propuesta tecnológica: “Diseño de un módulo de cultivos hidropónico FVH para la crianza de animales de corral basado en Iot”. Se queda planteado en diseño y simulación, en caso de querer implementarlo se deberá tomar énfasis acorde a los análisis de resultados obtenidos, para la realización del proyecto.

Además en el siguiente capítulo se detalla el presupuesto y análisis de impacto que servirá de guía en caso de ser el objetivo, para la implementación del proyecto propuesto.

## 6. PRESUPUESTO Y ANÁLISIS DE IMPACTO

El proyecto va a tratar acerca de los costos de los materiales y equipos a emplearse en caso de querer implementarlo ya que hasta el momento solo queda en simulación. En cada tabla se representa cada uno de los costos de los materiales, mano de obra y transporte.

### 6.1. Cotización de los materiales, mano de obra y transporte del proyecto FVH.

Se presentan las siguientes cotizaciones para la construcción de la estructura del invernadero y anaquel, el cual se cotizó en tubería galvanizada en caliente para evitar la corrosión por el agua y los nutrientes, que va a estar expuesto en el proceso del cultivo.

En la Tabla 6.1. Se observa la cotización para tubos cuadrados de Acero galvanizado de 2", el cual será de utilidad para la estructura del invernadero.

**Tabla 6.1.** Costos de la estructura del invernadero.

CANT.	LONGIT UD. C/U	PRODUCTO	UNID.	VR. UNIT.	VR. TOTAL
27	3m	(Pilares) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2"	27	\$ 11,30	\$ 305,10
2	6m	(Soportes horizontales_ F-P)	4	\$ 11,30	\$ 113,00
2	9m	(Soportes horizontales_ LD-LI) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2"	6		
9	5m	(Arcos soportes 1)	15	\$ 11,30	\$ 305,10
9	4m	(Arcos soportes 2) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2"	12		
4	2m	(Soportes para puerta y ventilador) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4"	3	\$ 11,30	\$ 33,90
				<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$ 757,10</b>
				<b>IVA 12%</b>	<b>\$ 90,85</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 847,95</b>

En la Tabla 6.2., se observa la cotización para tubos cuadrados de acero galvanizado de 1 1/4", el cual será de utilidad para la estructura del anaquel para FVH.

**Tabla 6.2.** Costos de la estructura del anaquel.

CANT.	LONGIT UD. C/U	PRODUCTO	UNID.	VR. UNIT.	VR. TOTAL.
12	2.15m	(Pilares)	9		
12	2m	(Soportes verticales) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4"	8	\$ 9,80	\$ 166,60
80	1.60m	(Soportes horizontales) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4"	43	\$ 9,80	\$ 421,40
12	1,20m	(Soportes laterales) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4"	5	\$ 9,80	\$ 58,80
12	0.15m	(Arcos soportes) ANSI Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2"	1		
12	15x15x 2cm	(Soportes base) ANSI Plancha de Acero A36	12	\$ 4,00	\$ 48,00
				<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$ 694,80</b>
				<b>IVA 12%</b>	<b>\$ 83,38</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 778.18</b>

En la Tabla 6.3., se observa la cotización del plástico, filtro de malla, que será de utilización del recubrimiento de un área de 90m<sup>2</sup> para el invernadero, y también se plantea el costo de las charolas para la producción de FVH.

**Tabla 6.3.** Costos del plástico para exteriores, interiores y charolas.

CANT	PRODUCTO	UNID.	VR. UNIT.	VR. TOTAL
90 m <sup>2</sup>	Plástico para Exteriores	1	\$ 1,25	\$ 112,50
90 m <sup>2</sup>	Filtro de malla	1	\$ 1,00	\$ 90,00
160	Charolas de poliéster	1	\$ 1,75	\$ 280,00
			<b>SUB TOTAL</b>	\$ 482,50
			IVA 12%	\$ 57,90
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 540.40</b>

En la Tabla 6.4., se presenta la cotización para el sistema de ventilación.

**Tabla 6.4.** Costos del sistema de ventilación.

CANT.	PRODUCTO	UNID.	VR. UNIT.	VR. TOTAL
1	Ventilador tipo extractor	1	\$ 638,84	\$ 638,84
			<b>SUB TOTAL</b>	\$ 638,84
			IVA 12%	\$ 76,66
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 715.50</b>

En la Tabla 6.5., se presenta la cotización para el sistema eléctrico y electrónico.

**Tabla 6.4.** Cotización para el sistema eléctrico y electrónico.

CANT.	PRODUCTO	UNID.	VR. UNIT.	VR. TOTAL
1	Timer digital	1	\$ 13,69	\$ 13,69
1	Disyuntor Riel DIN 3P 30A	1	\$ 24,67	\$ 24,67
1	Contactador Trifásico 32A	1	\$ 14,99	\$ 14,99
1	Relé Térmico 23-32A	1	\$ 7,39	\$ 7,39
1	Pulsadores Verde - Rojo	2	\$1,40	\$1,40
1	Cable sólido # 10 (5m)	1	\$1,95	\$9,75
1	Sensor TDH22	1	\$ 4.50	\$ 4.50
1	Arduino Uno	1	\$ 14.20	\$ 14.20
1	ESP8266	1	\$ 8.90	\$ 8.90
			<b>SUB TOTAL</b>	\$ 100,89
			IVA 12%	\$ 12,10
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 112.99</b>

En la Tabla 6.6., se presenta la cotización para el sistema de riego, con sus kits y accesorios para el riego de producción de FVH.

**Tabla 6.6.** Costos del sistema de riego.

<b>CANT</b>	<b>PRODUCTO</b>	<b>UNID.</b>	<b>VR. UNIT</b>	<b>VR. TOTAL</b>
1	Tubería de riego por goteo de polietileno Ø 16 mm x 100 metros	1	\$ 45,00	\$ 45,00
10	Riegolux Goteo Tapón Final Línea 16 mm	1	\$ 0,30	\$ 3,00
80	TEE de Goteo 16 mm-Blíster	1	\$ 0,50	\$ 40,00
80	Aspersores (MICROJET) DE 25 LPH	1	\$ 2,90	\$ 232,00
2	Codo reductor roscable PVC de 1" a 16mm	1	\$ 2,70	\$ 5,40
8	TEE reductor roscable PVC de 1" a 16mm	1	\$ 2,95	\$ 23,60
2	Codo roscable PVC de 1"	1	\$ 2,90	\$ 5,80
1	TEE roscable PVC de 1"	1	\$ 3,10	\$ 3,10
3	Unión universal roscable PVC de 1"	1	\$ 2,20	\$ 6,60
1	Unión universal roscable PVC de 1 1/2" a 1"	1	\$ 3,20	\$ 3,20
2	Tubería PVC de 1"	1	\$ 13,00	\$ 26,00
1	Bomba Para Riego 1 1/2 HP	1	\$ 140,00	\$ 140,00
1	Filtro de bomba de agua	1	\$ 13,17	\$ 13,17
4	Unión universal roscable PVC de 1 1/2"	1	\$ 3,20	\$ 12,80
1	Codo roscable PVC de 1 1/2"	1	\$ 3,40	\$ 3,40
1	Llave tipo bola de 1 1/2"	1	\$ 7,00	\$ 7,00
1	Sensor nivel flotador	1	\$ 20,00	\$ 20,00
			<b>SUB TOTAL</b>	<b>\$ 590,07</b>
			<b>IVA 12%</b>	<b>\$ 70,80</b>
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 660.88</b>

En la Tabla 6.7., se presenta la cotización para la mano de obra.

**Tabla 6.7.** Costos de la mano de obra.

<b>CANT</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>JORNAL/HR</b>	<b>COSTO HORA</b>	<b>REND. H/U</b>	<b>COSTO</b>
1	Profesional Tercer Nivel	\$ 2,81	\$ 15,81	\$ 0,90	\$ 2,53
5	Técnico Mantenimiento	\$ 2,46	\$ 12,30	\$ 0,80	\$ 9,84
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 12.40</b>

En la Tabla 6.8. Se presenta la cotización deseable para el transporte.

**Tabla 6.8.** Costos del transporte.

<b>CANT</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>COSTO / KM</b>	<b>TARIFA</b>	<b>COSTO</b>
1	Pago gasolina vehículo	5	-	-	\$ 25,00
1	Alquiler camioneta	5	\$ 2,50	\$ 8	\$ 100,00
1	Alquiler camioneta	5	\$ 2,50	\$ 4	\$ 50,00
1	Pasajes traslado	5	\$ 4,50	\$ 1	\$ 20,00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 195.00</b>

Finalmente, el costo total del proyecto del módulo de cultivo hidropónico FVH, está definido en la Tabla 6.9.

**Tabla 6.9.** Presupuesto total del proyecto.

<b>N.-TABLA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>VALOR</b>
6.1.	Costos de la estructura del invernadero.	\$ 847.95
6.2.	Costos de la estructura del anaquel.	\$ 778.18
6.3.	Costos del plástico para exteriores, interiores y charolas.	\$ 540.40
6.4.	Costos del sistema de ventilación.	\$ 715.50
6.5.	Cotización para el sistema eléctrico y electrónico.	\$ 112.99
6.6.	Costos del sistema de riego.	\$ 660.88
6.7.	Costos de la mano de obra.	\$ 12.40
6.8	Costos del transporte	\$195.00
<b>VALOR TOTAL PROPUESTO</b>		<b>\$ 3863.30</b>

El costo del proyecto en caso de que el propietario pueda implementar el MÓDULO DE CULTIVOS HIDROPÓNICOS FVH puede ser financiado ya que no es muy elevando en comparación a módulos ya preestablecidas.

### **Análisis del valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno TIR**

**Tabla 6.10.** Análisis VAN y TIR.

	<b>Inversión</b>	<b>Año 1</b>	<b>Año 2</b>	<b>Año 3</b>	<b>Año 4</b>	<b>Año 5</b>	<b>Año 6</b>
	3.863,30						
<b>Ingreso</b>		3.392	3.664,36	3.936,73	4.209,10	4.481,47	4.753,84
<b>Egreso</b>		2.190,34	2.190,34	2.190,34	2.190,34	2.190,34	2.190,34
<b>Total</b>	-3.863,30	1.201,66	1.474,02	1.746,39	2.018,76	2.291,13	2.563,50

<b>Valor Actual Neto (VAN)</b>	\$4.007,89
--------------------------------	------------

<b>Tasa</b>	10,00%
-------------	--------

<b>Tasa interna de retorno (TIR)</b>	36%
--------------------------------------	-----

La inversión se recuperará en tres años y un mes teniendo en cuenta los gastos previos que puedan encontrarse en el proceso de ahí solo abra un porcentaje significativo de ganancias para verificar los resultados obtenido se hace un análisis del VAN y del TIR

Para el análisis del valor actual neto VAN se ha tomado como inversión inicial al costo del proyecto que es de 3.863,30 dólares, con una tasa de inflación anual del 5%, para un plazo de 6 años, en todos los años existe un egreso de 1670 dólares, ya que se ha tomado en cuenta que en el mercado nacional existen productores que se dedican a la venta de FVH, por el precio de que una tonelada cuesta 315,06 dólares, ahora sacando la cantidad de FVH que se utilice en un año y multiplicando por su precio en toneladas sale un gasto de 1.670,34 dólares anuales, los 520 dólares que faltan para completar el gasto de 2.190,34 se deben a gastos por transporte y mantenimiento.

Para el análisis de la tasa única de retorno TIR se ha partido del valor actual neto VAN anteriormente calculado, de acuerdo a los datos, se procede al ingreso de la función para el

cálculo del TIR en el software Excel, que ha arrojado un valor de la tasa de retorno del 36% de la inversión anualmente. Con esto se puede decir que el proyecto es factible ya que existe una cantidad considerable de retorno anual, más aun tomando en cuenta que el FVH no se la puede producir a mayor escala y solo se gastaría el dinero del traslado de la misma, reduciendo los gastos en el mejor de los casos de hasta un 40%, lo cual generara una tasa de retorno más elevada y conveniente.

## **6.2. Análisis de impactos**

### **6.2.1. Impacto práctico**

El diseñado y la automatización está para cumplir requerimientos y necesidades específicas de generar una producción de calidad en corto tiempo, esto genera un control de las variables las cuales mejoraran el proceso de producción del FVH.

### **6.2.2. Impacto tecnológico**

El diseño y la automatización posee dos sistemas automatizados mediante sensores de temperatura, humedad, los cuales están controlados por un ESP8266, que nos ayuda con el Iot y la estructura está diseñada de forma que podamos aprovechar cada uno de los recursos.

### **6.2.3. Impacto ambiental**

El diseño y la automatización del invernadero de FVH al tener una variable de control de la humedad relativa, reduce el desperdicio de agua y manteniendo a la producción con una adecuada humedad, la automatización de procesos, tiene como objetivo principal la reducción de costes mediante la integración de aplicaciones que sustituyen a los procesos manuales, acelerando el tiempo de ejecución de las tareas y eliminando los posibles errores humanos que pueden cometerse al trabajar de forma manual evitando así el desperdicio de los recursos naturales.

## **7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **7.1. CONCLUSIONES**

- Se consultó bibliografía relevante para el diseño de un módulo de cultivos hidropónico automatizado mediante IoT, donde se identificaron conceptos principales como el proceso de la hidroponía del FVH, invernaderos, automatización y control de las variables, la interconexión de los módulos DTH22, el ESP8266 y el Arduino UNO, además de la plataforma del ThingSpeak.
- Se diseñó un módulo de cultivo de FVH automatizado, dentro de los márgenes requeridos para el óptimo crecimiento y germinación de las semillas, siguiendo el manual de la FAO y así obtener un control de las variables dentro del invernadero.
- Se utilizó sistemas de lazos cerrados, para el control de temperatura y humedad del cultivo de FVH, mediante el tipo de semillas seleccionadas permitirán tener un set-point deseado de las variables, para evitar la proliferación de plagas, deshidratación y quemaduras en el cultivo.
- Con la simulación en Unity del diseño de la planta de producción de FVH, se observó de manera virtual la instalación de los módulos dentro del invernadero tipo capilla, así como el panel HMI para visualizar el comportamiento de las variables de temperatura y humedad por ende un set-point para activar la ventilación, control de riego gracias a un Timer y además el control on-off del filtrado de la malla, en si este software nos permite tener una percepción clara del entorno que se desarrolló dentro del invernadero.
- Con la interacción del ThingSpeak, se logró monitorear las dos variables en tiempo real, verificando el correcto funcionamiento de los sistemas de nuestro módulo de cultivo FVH.

## **7.2. RECOMENDACIONES**

- Se recomienda el uso de criterios, en base a obtener ponderaciones altas para la correcta elección del material y recubrimiento de módulos de FVH.
- Se recomienda el riego por aspersión en donde el agua que sale sea apropiadamente nebulizada, para así tener una correcta oxigenación hacia las plantas, del mismo modo sea absorbido el agua y los nutrientes.
- Se recomienda el uso del software Unity por su serie de rutinas de programación que permite el diseño, la creación y el funcionamiento de un entorno interactivo.
- Es recomendable seleccionar los sistemas de riego, control de las variables, más adecuados para un invernadero automatizado, que permita garantizar los resultados previamente planteados de la producción de FVH.
- Es recomendable el uso de la plataforma del ThingSpeak por ser un software gratuito y confiable ya que los datos que recopila son tomados en tiempo real a diferencia de otros.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] SKOS, «3103.07 Cultivos forrajeros,» [En línea]. Available: <https://skos.um.es/unesco6/310307/html>. [Último acceso: 10 Septiembre 2020].
- [2] Agrotendencia, «Hidroponía,» 2020. [En línea]. Available: <https://agrotendencia.tv/agropedia/el-cultivo-hidroponico/>. [Último acceso: 6 Septiembre 2020].
- [3] J. Pérez, L. López y R. Romero, Automatización de invernadero para cultivos hidropónicos en El Salvador, La Libertad: ESCUELA ESPECIALIZADA EN INGENIERÍA ITCA-FEPADE, 2016.
- [4] F. Garduño, Modelo de producción de Forraje Verde mediante Hidroponía, México D.F.: Instituto Politécnico Nacional, 2011.
- [5] MENDOZA, «Automatización de los Procesos de un Huerto Hidropónico para el Control de Variables, utilizando Sistemas basados en Microcontroladores.,» 20 Marzo 2017. [En línea]. Available: <file:///C:/Users/Personal/Downloads/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-58.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [6] S. Guanochanga y V. Betancourth, Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa dedicada a la producción y comercialización de lechugas hidropónicas en la ciudad de Quito, Quito: Universidad Politécnica Salesiana, 2010.
- [7] A. Cajo, PRODUCCIÓN HIDROPÓNICA DE TRES VARIETADES DE LECHUGA (*Lactuca sativa* L), BAJO EL SISTEMA NFT, CON TRES SOLUCIONES NUTRITIVAS, Cevallos: UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, 2016.
- [8] hidroponia, «¿CONOCES EL SISTEMA HIDROPÓNICO NGS?,» 18 Diciembre 2014. [En línea]. Available: <https://hidroponia.mx/conoces-el-sistema-hidroponico-ngs/>. [Último acceso: 23 Julio 2020].

- [9] S. Morales, Producción de forraje verde hidropónico como alternativa de suplemento para ganado caprino durante la época seca de la región Lagunera, Coahuila, México: Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro", 2013.
- [10] J. Murcia y L. Chacón, Diseño de un sistema automático de cultivo hidropónico para forraje verde, Bogota: Universidad de La Salle, 2018.
- [11] C. Guamán, Manual Forraje Verde Hidropónico, 2017.
- [12] D. Martínez, Invernaderos para producción de forraje verde hidropónico, tipos y características, Saltillo: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA, 2006.
- [13] HORTICULTIVOS, «Principales Tipos de Invernaderos,» 26 Julio 2017. [En línea]. Available: <https://www.horticultivos.com/featured/principales-tipos-invernaderos/>. [Último acceso: 23 Julio 2020].
- [14] E. A. A. García, «<http://www.redicces.org.sv/jspui/bitstream/10972/2926/1/2016%20DUA%20Automatizacion%20Invernadero%20ENA.pdf>,» 2016. [En línea].
- [15] L. F. F. Cruz, «Red de sensores para monitoreo de variables,» 18 Abril 2017. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/14239/1/UPS-CT007001.pdf>.
- [16] Arrow, «<https://www.arrow.com/es-mx/research-and-events/articles/implementing-iot-sensors>,» Arrow, 12 Enero 2018. [En línea].
- [17] C. Flores, «Iot conexiones de la placa a la nube,» 30 Agosto 2016. [En línea]. Available: <https://desarrolloweb.com/articulos/1617.php>.
- [18] L. d. V. Hernández, «Programarfacil,» [En línea]. Available: <https://programarfacil.com/podcast/esp8266-wifi-coste-arduino/>. [Último acceso: Enero 2021].

- [19] ArduinoBlocks, «Publicar y almacenar datos en Internet con ThingSpeak,» 2019. [En línea]. Available: <https://arduinoblocks.blogspot.com/2019/02/publicar-y-almacenar-datos-en-internet.html>. [Último acceso: 19 Septiembre 2020].
- [20] J. Pérez, Calidad de servicios en la nube en combinación con el internet de las cosas: revisión sistemática de la literatura y modelo de calidad, Cuenca: Universidad de Cuenca, 2017.
- [21] C. Riba, Diseño concurrente, España: ETSEIB - UPC, 2002.
- [22] Senninger, «MAXIJET MAX-ONE SPRAY JETS,» 2020. [En línea]. Available: <https://www.senninger.com/es/product/maxijet-max-one-spray-jets>. [Último acceso: 26 Agosto 2020].
- [23] Bombas Volum, S.L, «Tipos de Bombas,» [En línea]. Available: <http://www.bombasvolum.com/MH.php>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [24] Thingspeak, «ThingSpeak para proyectos de IoT,» [En línea]. Available: <https://thingspeak.com/channels/1147596>. [Último acceso: 19 Septiembre 2020].
- [25] CLIMATE-DATA.ORG, «Latacunga: Tiempo - Clima,» 2020. [En línea]. Available: <https://es.climate-data.org/america-del-sur/ecuador/provincia-de-cotopaxi/latacunga-2966/t/octubre-10/#climate-table-month>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [26] Hidrostral, «BOMBA CENTRIFUGA ISO 2858,» 2015. [En línea]. Available: <http://www.hidrostral.com.pe/pdf/catalogos/L1/CATALOGO%20LINEA-1%20EjeLibre2858.pdf>. [Último acceso: Septiembre 2020].
- [27] H. R. Galbarro, «Cálculo de Instalaciones de bombeo de agua,» [En línea]. Available: <https://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn206.html>. [Último acceso: 20 12 2020].
- [28] Y. Cengel y J. Cimbala, Mecánica de Fluidos - Fundamentos y Aplicaciones, México D.F.: McGraw - Hill, 2006.

## ANEXOS

### ANEXO I. TABLA DE PÉRDIDAS DE CARGAS LOCALES:

La siguiente tabla da algunos de los valores de  $K$  para diferentes tipos de punto singulares:

**Tabla 1.** Pérdida de carga en accesorios.

Diámetro del tubo	25	32	40	50	65	80	100	125	150	200	250	300	350	400	500	600	700
Curva 90°	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1	1,2	1,8	2	3	5	5	6	7	8	14	16
Codo 90°	0,3	0,4	0,6	0,7	0,9	1,3	1,7	2,5	2,7	4	5,5	7	8,5	9,5	11	19	22
Cono difusor	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Válvula de pie	6	7	8	9	10	12	15	20	25	30	40	45	55	60	75	90	100
Válvula de retención	4	5	6	7	8	9	10	15	20	25	30	35	40	50	60	75	85
V. Compuerta Abierta	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1,5	2	2	2	2,5	3	3,5	4	5
V. Compuerta <sup>3</sup> / <sub>4</sub> Abierta	2	2	2	2	2	2	4	4	6	8	8	8	10	12	14	16	20
V. Compuerta <sup>1</sup> / <sub>2</sub> Abierta	15	15	15	15	15	15	30	30	45	60	60	60	75	90	105	120	150

Fuente: [27].

**Tabla 2.** Pérdidas de cargas locales.

Tipo de singularidad	K
Válvula de compuerta totalmente abierta	0,2
Válvula de compuerta mitad abierta	0,6
Curva de 90°	1,0
Curva de 45°	0,4
Válvula de pie	2,5
Emboque (entrada en una tubería)	0,5
Salida de una tubería	1,0
Ensanchamiento brusco	$(1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2)^2$
Reducción brusca de sección (Contracción)	$0,5(1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2)^2$

Fuente: [28].

**Tabla 3.** Tabla de pérdidas de carga (Tubería de PVC/ Polietileno).

## INFORMACIÓN TÉCNICA

### Tabla de pérdidas de carga (Tuberías de PVC / Polietileno)

Por rozamiento del agua en las tuberías, expresada en metros por cada 100 m de tubería recta.

Q(l/h)	Diámetro interior de la tubería en mm.											
	14	19	25	32	38	50	63	75	89	100	125	150
Metros de columna de agua por 100 m de recorrido recto												
500	8,9	2,1	0,6									
800	20,2	4,7	1,3	0,4								
1000	29,8	7	1,9	0,6								
1500		14,2	3,9	1,2	0,5							
2000		23,5	6,4	2	0,9							
2500			9,4	2,9	1,3	0,4						
3000			13	4	1,8	0,5	0,2					
3500			17	5,3	2,3	0,6	0,2					
4000			21,5	6,6	2,9	0,8	0,3	0,1				
4500				8,2	3,6	1	0,3	0,1				
5000				9,8	4,3	1,2	0,4	0,2				
5500				11,6	5,1	1,4	0,5	0,2				
6000				13,5	6	1,6	0,5	0,2				
6500				15,5	6,9	1,9	0,6	0,3				
7000				17,7	7,8	2,1	0,7	0,3				
8000				22,4	9,9	2,7	0,9	0,4	0,2			
9000					12,1	3,3	1,1	0,5	0,2			
10000					14,6	4	1,3	0,6	0,3	0,1		
12000					20,1	5,5	1,8	0,8	0,4	0,2		
15000					29,7	8,1	2,7	1,2	0,5	0,3		
18000						11,1	3,7	1,6	0,7	0,4	0,1	
20000						13,3	4,5	1,9	0,9	0,5	0,2	
25000						19,7	6,6	2,9	1,3	0,7	0,3	
30000							9	4	1,8	1	0,3	9,1
35000							11,8	5,2	2,3	1,3	0,5	0,2
40000							15	6,5	2,9	1,7	0,6	0,2
45000							18,4	8	3,6	2	0,7	0,3
50000								9,7	4,3	2,5	0,9	0,4
60000								13,3	5,9	3,4	1,2	0,5
70000									7,7	4,4	1,5	0,6
80000									10,4	5,6	1,9	0,8
90000									12,9	7,3	2,4	1
100000										8,9	2,9	1,2
125000											4,5	1,8
150000											6,3	2,6
175000											8,4	3,5
200000											10,7	4,4
250000												6,7
300000												9,3

Para otras tuberías recomendamos multiplicar los valores obtenidos en la tabla por los siguientes coeficientes:  
 Tuberías de fibrocemento: 1,2  
 Tuberías de hierro galvanizado: 1,5

Fuente: [27].

**Tabla 4.** Peso específico y tensión de vapor del agua.

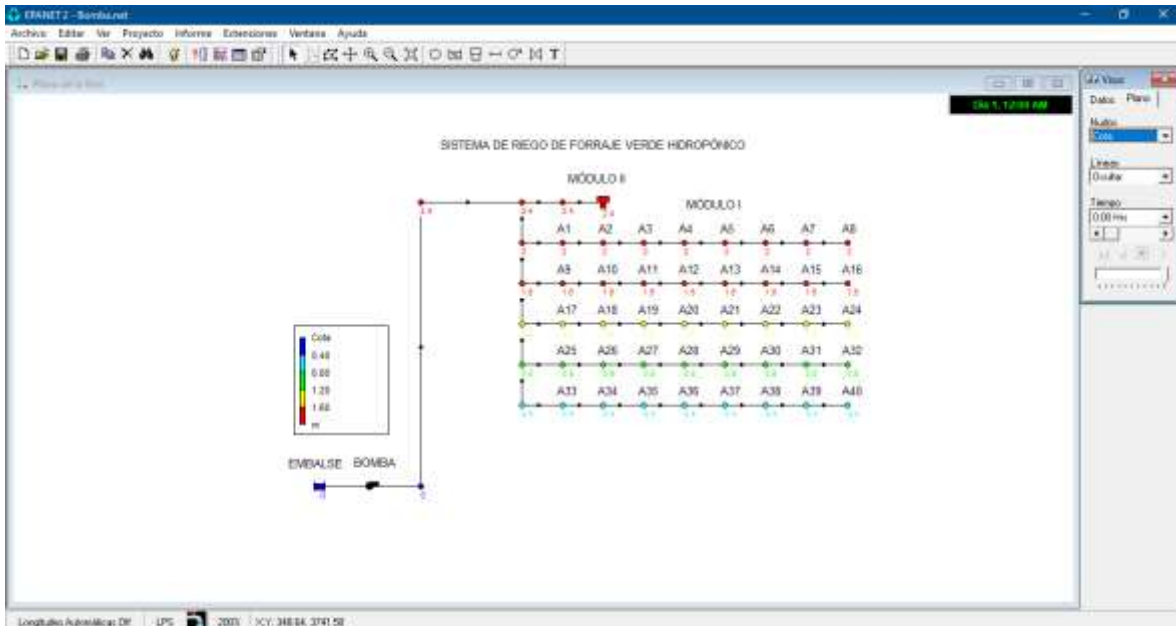
t °C	T <sub>v</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	γ Kg/dm <sup>3</sup>	t °C	T <sub>v</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	γ Kg/dm <sup>3</sup>	t °C	T <sub>v</sub> Kg/cm <sup>2</sup>	γ Kg/dm <sup>3</sup>
0	0,0062	0,9998	92	0,7710	0,9640	122	2,1561	0,9414
10	0,0125	0,9996	94	0,8307	0,9625	124	2,2947	0,9398
20	0,0238	0,9982	96	0,8942	0,9611	126	2,4404	0,9381
30	0,0432	0,9955	98	0,9616	0,9596	128	2,5935	0,9365
40	0,0752	0,9921	100	1,0332	0,9583	130	2,7544	0,9348
50	0,1258	0,9880	102	1,1092	0,9568	135	3,192	0,9305
60	0,2031	0,9831	104	1,1898	0,9554	140	3,685	0,9260
70	0,3177	0,9777	106	1,2751	0,9540	145	4,237	0,9216
75	0,3931	0,9748	108	1,3654	0,9525	150	4,854	0,9169
80	0,4829	0,9718	110	1,4609	0,9510	155	5,540	0,9121
82	0,5234	0,9705	112	1,5618	0,9495	160	6,302	0,9073
84	0,5667	0,9693	114	1,6684	0,9479	165	7,146	0,9023
86	0,6129	0,9680	116	1,7809	0,9464	170	8,076	0,8973
88	0,6623	0,9667	118	1,8995	0,9448	175	9,101	0,8920
90	0,7149	0,9653	120	2,0245	0,9431	180	10,225	0,8869
$T_v \text{ (m.c.l.)} = T_v \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times 10/\gamma$ $T_v \text{ (m.c.a.)} = T_v \text{ (kg/cm}^2\text{)} \times 10$								

**Fuente:** [27].

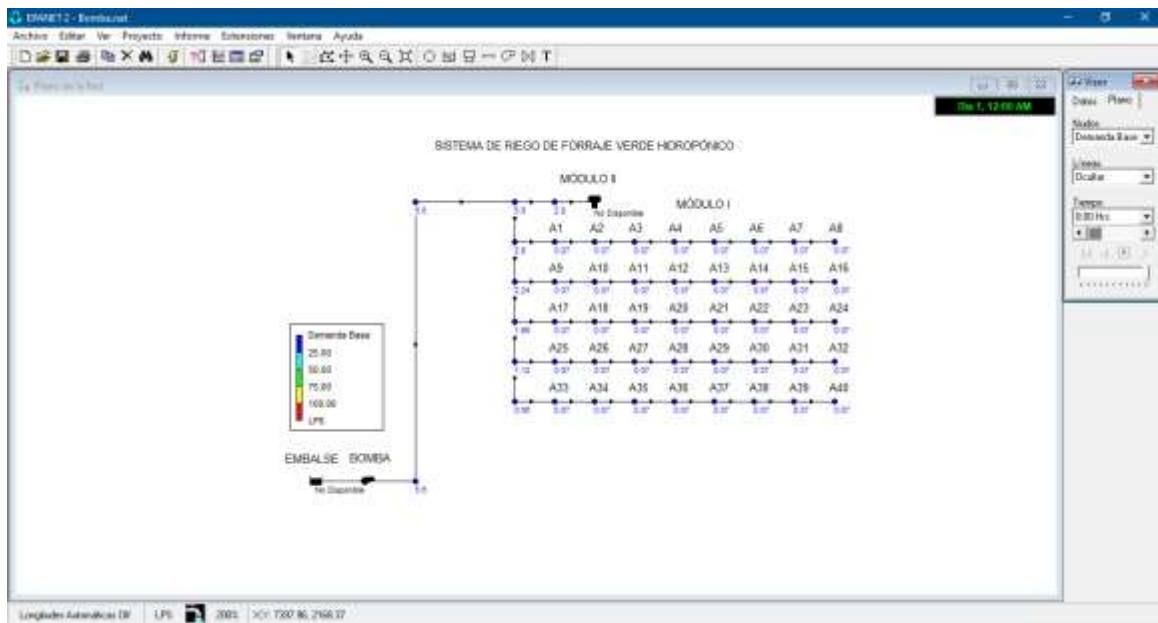


### ANEXO III. ANÁLISIS DIMENSIONADOS EN EPANET Y PROYECCIONES DE PERSPECTIVAS DE LAS TUBERÍAS DE RIEGO PARA FVH.

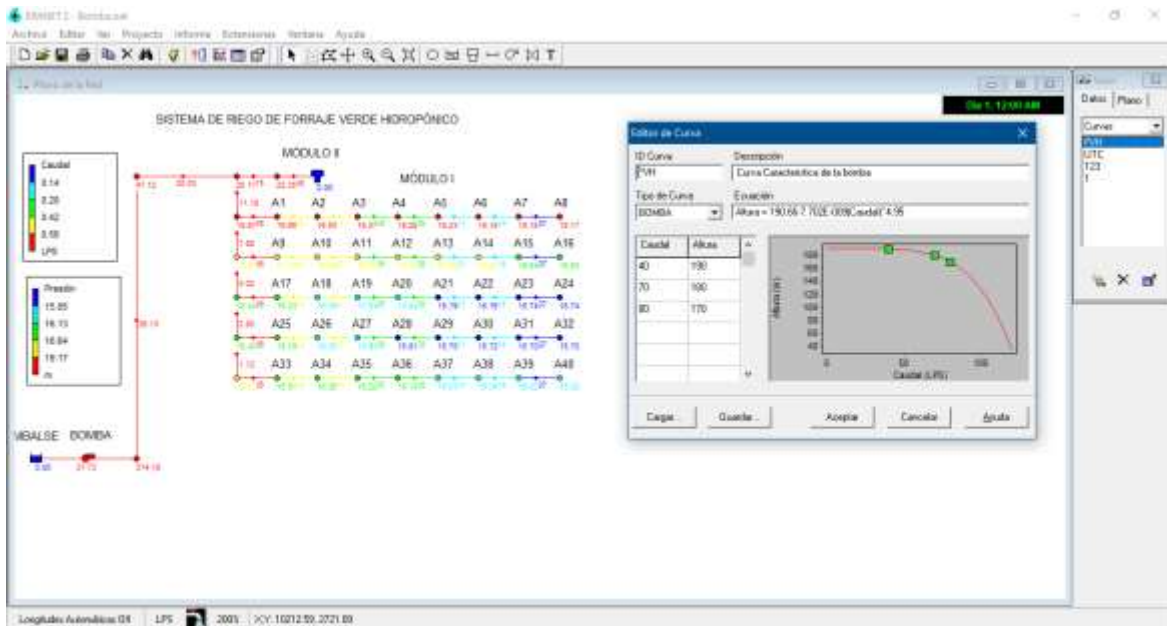
Análisis del dimensionamiento del recorrido del agua para el riego FVH:



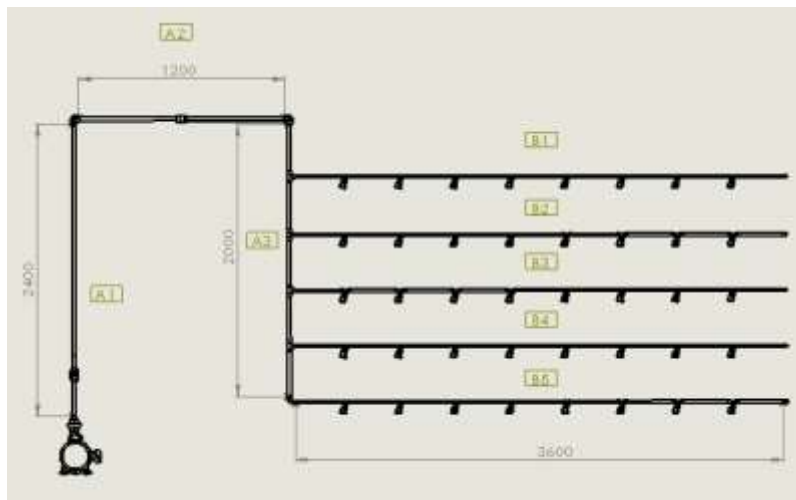
**Figura 1.** Análisis del dimensionamiento de las cotas.  
**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.



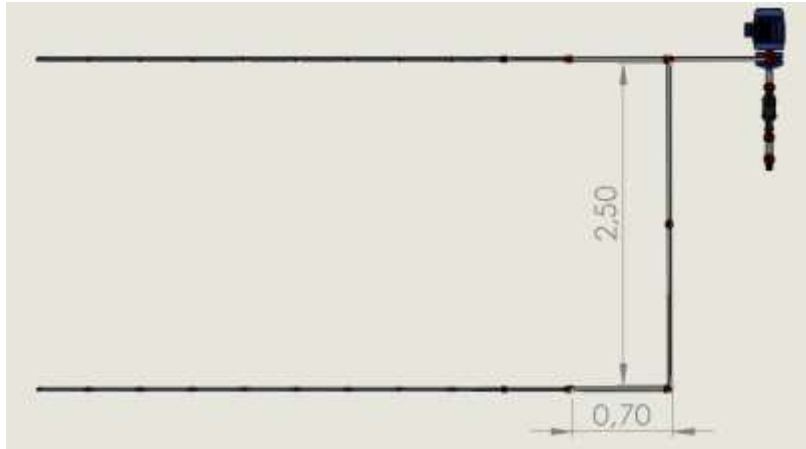
**Figura 2.** Análisis del dimensionamiento de demanda base.  
**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.



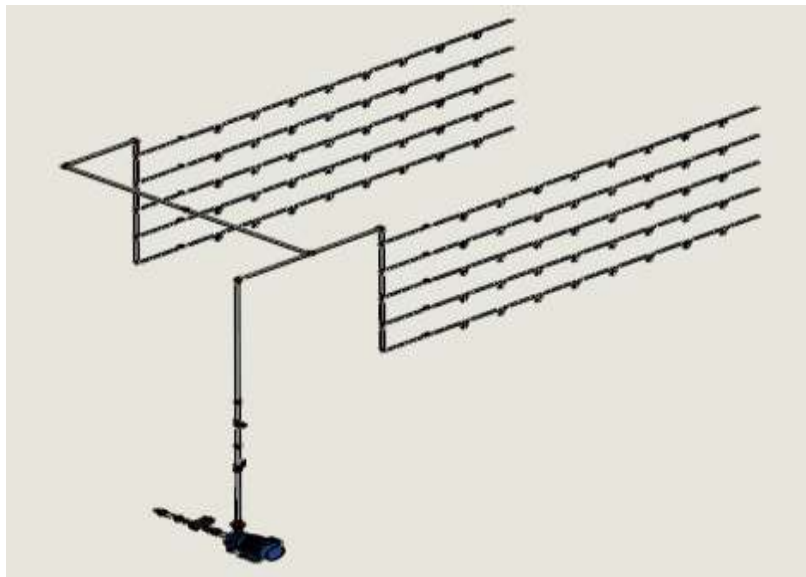
**Figura 3.** Análisis del dimensionamiento de P-Q-Curva Característica.  
**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.



**Figura 4.** Proyección lateral de las tuberías del sistema de riego.  
**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.



**Figura 5.** Proyección superior de las tuberías del sistema de riego.  
**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.



**Figura 6.** Proyección 3D de las tuberías del sistema de riego.  
**Elaborado por:** Llugsha y Moreno.

## ANEXO IV. MODELADO Y SIMULACIÓN EN UNITY 2019.0.2 f1

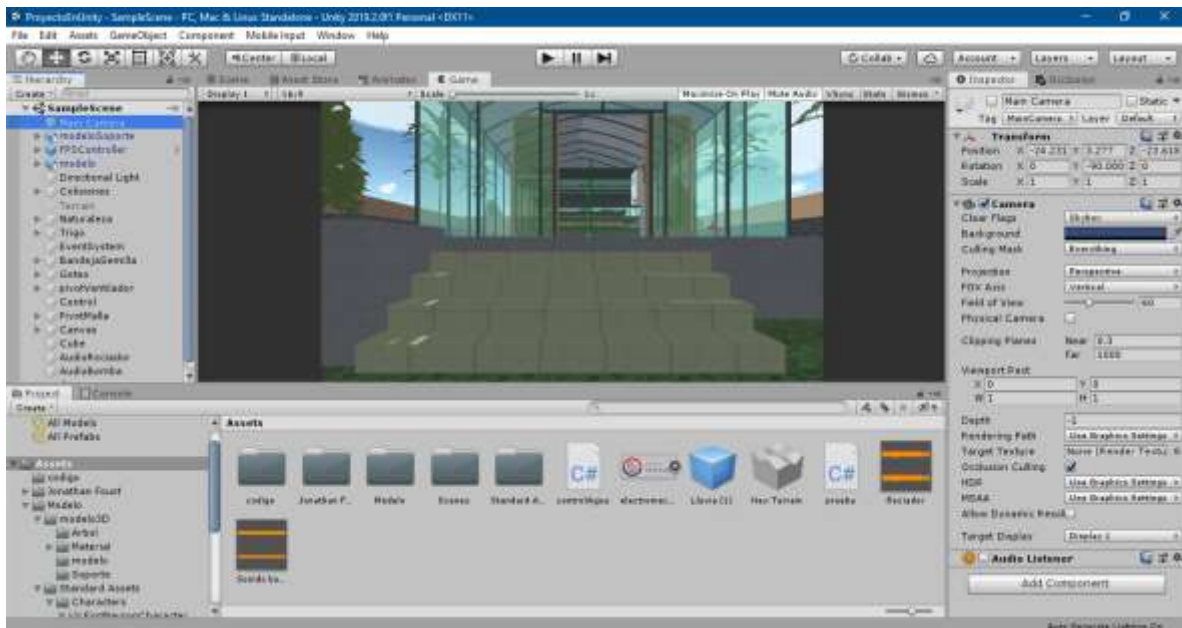


Figura 1. Simulación del sistema de FVH.

Elaborado por: Llugsha y Moreno.

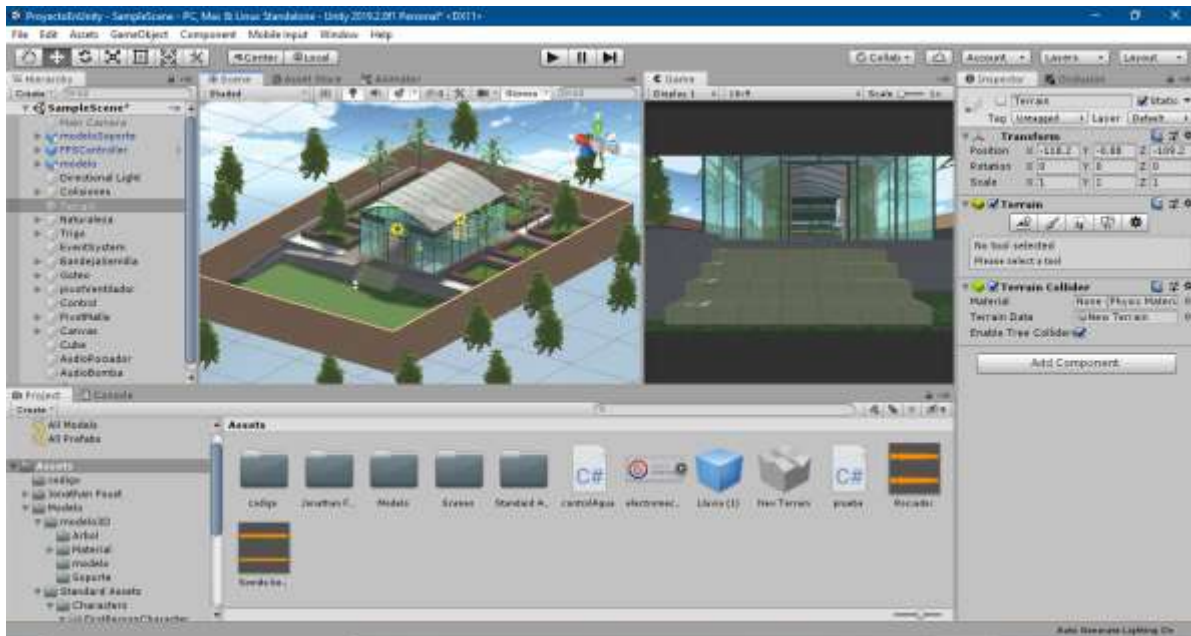


Figura 2. Diseño ejecutable de FVH.

Elaborado por: Llugsha y Moreno.

## ANEXO V. CODIFICACIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL SCRIPT EN UNITY.

```
using System.Collections;
using System.Collections.Generic;
using UnityEngine;
using UnityEngine.UI;
using System.IO.Ports;
using System.Threading;
using System;
using UnityStandardAssets.CrossPlatformInput;

public class Control : MonoBehaviour
{
    public GameObject Puerta1;
    public float Emi0 = 360f, Emi1 = 0.15f;
    private Vector3 rotacionAm = new Vector3(0, 0, 0);
    public float caliX = 0f, CaliY = 0f, CaliZ = 0f;
    public GameObject Malla;
    private int br0 = 0, br1 = 0;
    public float VMalla = 0.01f;
    private prueba Rocio;
    private int RociadorONOFF = 0;
    public AudioSource audioRociador, Ausiobomba;
    public InputField TiempoRpTxt;
    public InputField portCOM, T_RIEGO, T_REPITICION, SP_VENT;
    private string data_Triego = "0", data_Ttemp = "0", data_SPvent = "0";
    public InputField TiempoRrepeticionTxt;
    public string PuertoCOM;
    public bool esperarCOM = true, llavePuerto = false;
    SerialPort puerto;
    public string DatosTX, DatosRX;
    public string CV = "0";
    public string D = "0";
    char[] delimitador = { ' ', 'a' };
    //public string DatosRX;
    private string[] datosRecibidos;
    private int t1 = 0, t2 = 0;
    private float t3 = 0;
    public int fn1 = 0, fn2 = 0, fn3 = 0;
    private string Tem1, Hum1;
    public Text Tem, Hum, View_Tem, View_Hum, View_SPvent, View_Triego,
View_Ttemp, View_Spriego, View_Sptem, View_esVen;
    private int ON_OFF_sistema = 0;
    private int t_riego = 0, T_tempo = 0, SP_ven = 0;
    private float SensorTem = 0;
    public GameObject pantallaCanvas;
    private int esCanvas = 0;
    public void Arduino()
    {
        while (true)
        {
            //puerto.Write(DatosTX);
            //DatosRX = puerto.ReadLine();
        }
    }
}
```

```

void PP(string porr)
{
    PuertoCOM = porr;
}
void PP1(string porr1)
{
    data_Ttemp = porr1;
}
void PP2(string porr2)
{
    data_Triego = porr2;
}
void PP3(string porr3)
{
    data_SPvent = porr3;
}
private void Start()
{
    Rocio = FindObjectOfType<prueba>();
    portCOM.onEndEdit.AddListener(PP);
    T_REPITICION.onEndEdit.AddListener(PP1);
    T_RIEGO.onEndEdit.AddListener(PP2);
    SP_VENT.onEndEdit.AddListener(PP3);
    audioRociador.Stop();
    Aasiobomba.Stop();
    View_esVen.text = "OFF";
}
void Update()
{
    if (Input.GetKeyUp(KeyCode.R))
    {
        esCanvas += 1;
    }
    if (esCanvas > 1)
    {
        esCanvas = 0;
    }
    if (Input.GetKey(KeyCode.Return))
    {
        int.TryParse(data_Triego, out t_riego);
        int.TryParse(data_Ttemp, out T_tempo);
        int.TryParse(data_SPvent, out SP_ven);
        View_Spriego.text = data_Triego;
        View_Sptem.text = data_Ttemp;
    }
    if (esperarCOM && Input.GetKey(KeyCode.Return) && (PuertoCOM != ""))
    {
        puerto = new SerialPort(PuertoCOM, 9600);
        puerto.Open();
    }
    try
    {
        DatosRX = puerto.ReadLine();
        string[] datosRecibidos = DatosRX.Split("a"[0]); //Trama de datos
recibidos

```

```

        CV = datosRecibidos[0].Replace(".", ",");
        D = datosRecibidos[1].Replace(".", ",");
        float.TryParse(D, out SensorTem);
    }
    catch (System.Exception ex)
    {
        ex = new System.Exception();
    }
}
public string q, s;
private int estaCursor = 0;
private long tn1 = 0, tn2 = 0;
private string Segundos;
private int Relog, EsAntRelog = 0;
private int temRiego = 0, temTemp = 0;
private int brn0 = 0, brn1 = 0;
private string contrRiego, contTempo;
void FixedUpdate()
{
    if (esCanvas == 0)
    {
        pantallaCanvas.SetActive(true);
    }
    else
    {
        pantallaCanvas.SetActive(false);
    }
    Segundos = System.DateTime.Now.Second.ToString("00");
    int.TryParse(Segundos, out Relog);
    Tem.text = D;
    Hum.text = CV;
    View_Hum.text = CV;
    View_Tem.text = D;
    View_SPvent.text = data_SPvent;
    //print(SP_ven);
    if (ON_OFF_sistema == 1)
    {
        if (SensorTem >= SP_ven)
        {
            View_esVen.text = "ON";
            Emi0 = Emi0 + 10;
            if (Emi0 > 360)
            {
                Emi0 = 0;
            }
            Puerta1.transform.localEulerAngles = new Vector3(caliX, CaliY,
CaliZ);

            Emi0 = Mathf.Clamp(Emi0, 0, 360);
            Puerta1.transform.eulerAngles = new Vector3(0, 0, Emi0);
            Puerta1.transform.Rotate(rotacionAm);
            print("hola");
        }
        else
        {
            View_esVen.text = "OFF";

```

```

}
if (brn0 == 1)
{
    audioRociador.Play();
    Ausiobomba.Play();
    Rocio.ActRociador = 2;
    brn0 = 0;
}

if (Relog != EsAntRelog)
{
    View_Triego.text = temRiego.ToString();
    View_Ttemp.text = temTemp.ToString();
    temRiego -= 1;
    temTemp += 1;
    if (temTemp > T_tempo)
    {
        temTemp = 0;
        temRiego = t_riego;
        brn0 = 1;
        brn1 = 0;
    }
    if (temRiego < 0)
    {
        temRiego = 0;
        if (brn1 == 0)
        {
            audioRociador.Stop();
            Ausiobomba.Stop();
            Rocio.ActRociador = 0;
            brn1 = 1;
        }
    }
    EsAntRelog = Relog;
}
if (temRiego > t_riego)
{
    temRiego = t_riego;
}
}
if (br0 == 1)
{
    Emi1 += VMalla;
    if (Emi1 >= 1)
    {
        Emi1 = 1;
        br0 = 0;
    }
}
if (br1 == 1)
{
    Emi1 -= VMalla;
    if (Emi1 <= 0.15f)
    {
        Emi1 = 0.15f;
    }
}

```

```

        br1 = 0;
    }
}
Malla.transform.localScale = new Vector3(1.0f, Emi1, 1.0f);
}
public void subirMalla()
{
    br0 = 1;
    br1 = 0;
}
public void BajarMalla()
{
    br0 = 0;
    br1 = 1;
}
public void SistemaON()
{
    ON_OFF_sistema = 1;
    temRiego = t_riego;
    brn0 = 1;
}
public void SistemaOFF()
{
    ON_OFF_sistema = 0;
}
}

```

## ANEXO VI. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA EL MÓDULO ARDUINO UNO.

```
#include "DHT.h"
#define DHTPIN 2 // Digital pin connected to the DHT sensor
#define DHTTYPE DHT22 // DHT 22 (AM2302), AM2321
DHT dht(DHTPIN, DHTTYPE);
float h = 0;
float t = 0;
long t1 = 0, t2 = 0, t3 = 0, t4 = 0;

#include <SoftwareSerial.h>

SoftwareSerial mySerial(7, 8); // RX, TX

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  dht.begin();
  mySerial.begin(9600);
}

void loop() {
  t1 = millis();

  if (isnan(dht.readHumidity()) || isnan(dht.readTemperature())) {
    t = 0;
    h = 0;
    //return;
  }
  else {
    h = dht.readHumidity();
    t = dht.readTemperature();
  }

  if (t1 > (t3 + 50)) {
    Serial.print(h); Serial.print("a");
    Serial.println(t);
    t3 = t1;
  }
  if (t1 > (t4 + 1500)) {
    mySerial.print(h); mySerial.print(",");
    mySerial.println(t);
    t4 = t1;
  }
}
```

## ANEXO VII. CÓDIGO DE PROGRAMACIÓN PARA EL MÓDULO ESP8266.

```
#include <ESP8266WiFi.h>
String apiKey = "0C7LHCKGYO8CC8HV";
const char* ssid = "Ivan";
const char* password = "1820115_3a";
const char* server = "api.thingspeak.com";
WiFiClient client;

String str = "";
const char separator = ',';
const int dataLength = 3;
float data[dataLength];
float h = 0;
float t = 0;
void setup() {
    Serial.begin(9600);

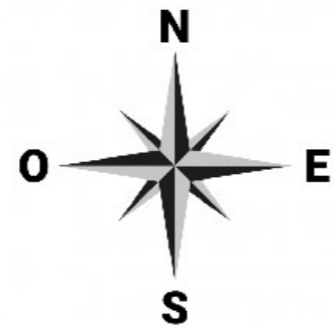
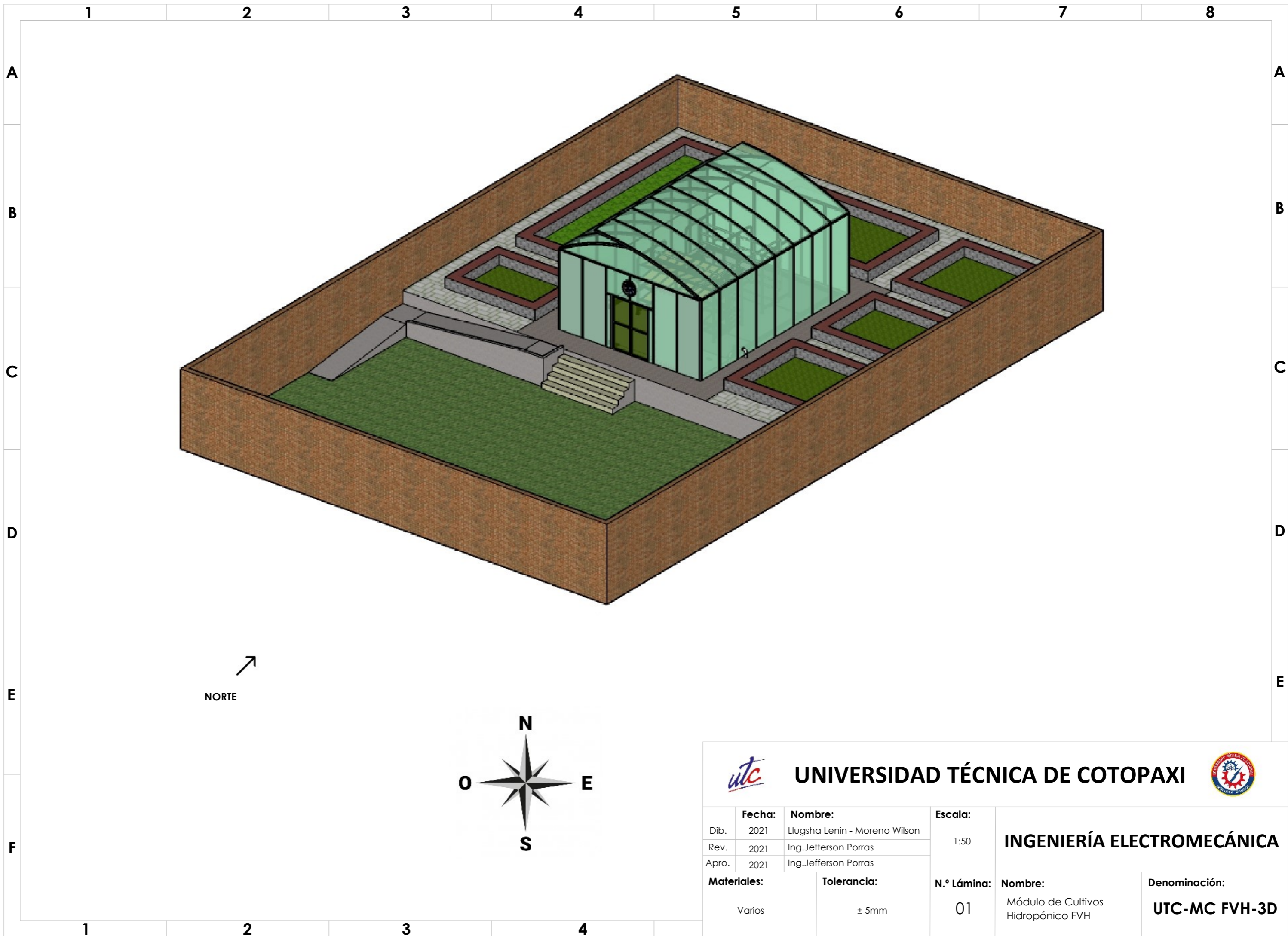
    WiFi.begin(ssid, password);
    Serial.println();
    Serial.println();
    Serial.print("Connecting to ");
    Serial.println(ssid);
    WiFi.begin(ssid, password);

    while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
        delay(500);
        Serial.print(".");
    }
    Serial.println("");
    Serial.println("WiFi connected");
}

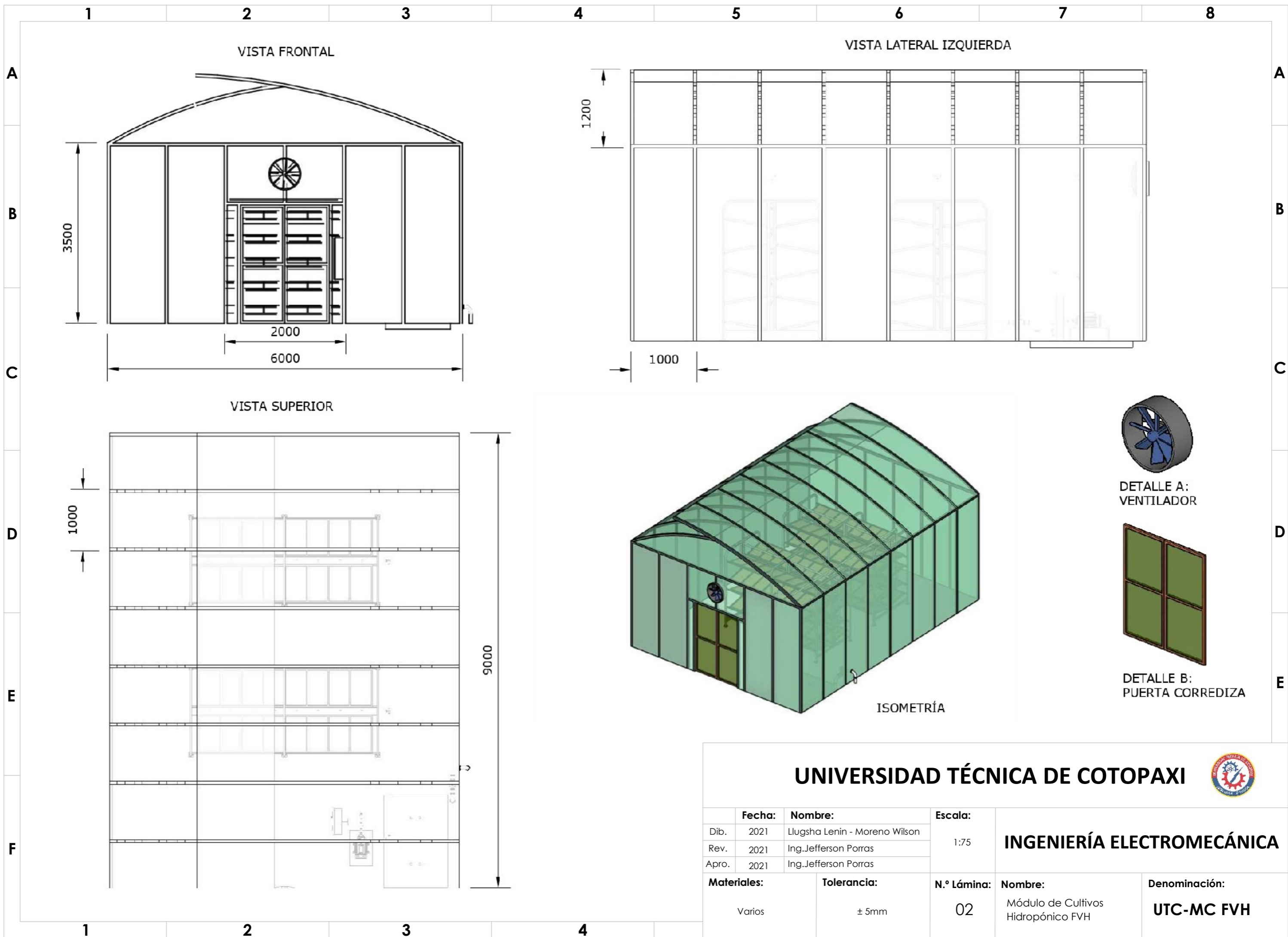
long t1 = 0, t2 = 0, t3 = 0;
void loop() {
    t1 = millis();

    if (Serial.available() > 0)
    {
        str = Serial.readStringUntil('\n'); // cadena de recepcion en
        modulo esp8266
        for (int i = 0; i < dataLength; i++) {
            int index = str.indexOf(separator);
            data[i] = str.substring(0, index).toFloat();
            str = str.substring(index + 1 );
        }
        h = data[0];
        t = data[1];
    }
    if (t1 > (t2 + 1000)) {
        if (client.connect(server, 80)) {
            String postStr = apiKey;
            postStr += "&field1=";
            postStr += String(h);
            postStr += "&field2=";
            postStr += String(t);
        }
    }
}
```

```
postStr += "\r\n\r\n";
client.print("POST /update HTTP/1.1\n");
client.print("Host: api.thingspeak.com\n");
client.print("Connection: close\n");
client.print("X-THINGSPEAKAPIKEY: " + apiKey + "\n");
client.print("Content-Type: application/x-www-form-urlencoded\n");
client.print("Content-Length: ");
client.print(postStr.length());
client.print("\n\n");
client.print(postStr);
Serial.println("% send to Thingspeak");
yield();
}
client.stop();
t2 = t1;
}
}
```



		<b>UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI</b> 			
				<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Fecha:	Nombre:	Escala:			
Dib. 2021	Llugsha Lenin - Moreno Wilson	1:50			
Rev. 2021	Ing. Jefferson Porras				
Apro. 2021	Ing. Jefferson Porras				
<b>Materiales:</b>		<b>Tolerancia:</b>	<b>N.º Lámina:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Denominación:</b>
Varios		± 5mm	01	Módulo de Cultivos Hidropónico FVH	<b>UTC-MC FVH-3D</b>



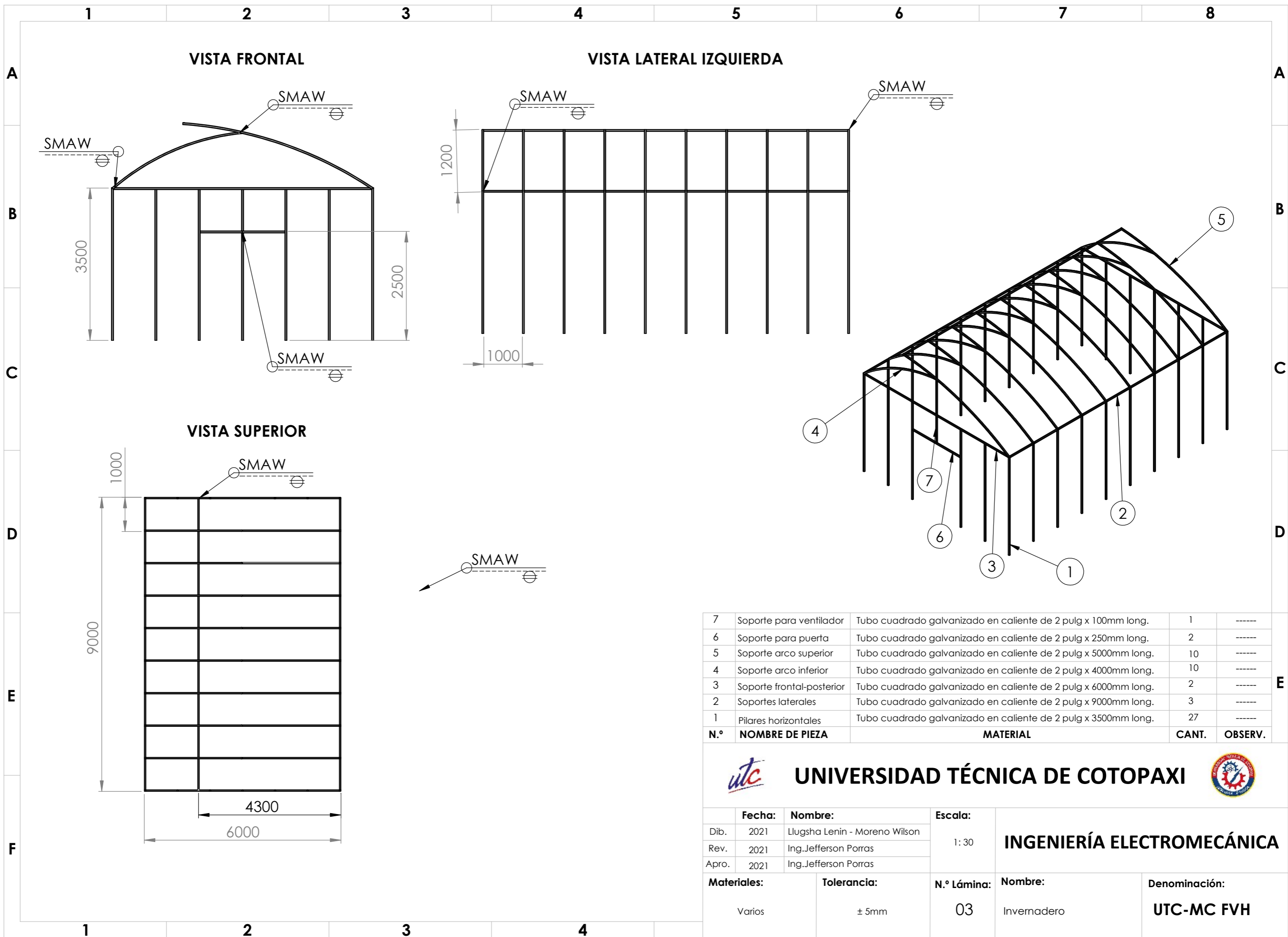
# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:	Nombre:	Escala:
Dib. 2021	Llugsha Lenin - Moreno Wilson	1:75
Rev. 2021	Ing. Jefferson Porras	
Apro. 2021	Ing. Jefferson Porras	

## INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

Materiales:	Tolerancia:	N.º Lámina:	Nombre:	Denominación:
Varios	± 5mm	02	Módulo de Cultivos Hidropónico FVH	<b>UTC-MC FVH</b>



7	Soporte para ventilador	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2 pulg x 100mm long.	1	-----
6	Soporte para puerta	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2 pulg x 250mm long.	2	-----
5	Soporte arco superior	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2 pulg x 5000mm long.	10	-----
4	Soporte arco inferior	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2 pulg x 4000mm long.	10	-----
3	Soporte frontal-posterior	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2 pulg x 6000mm long.	2	-----
2	Soportes laterales	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2 pulg x 9000mm long.	3	-----
1	Pilares horizontales	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 2 pulg x 3500mm long.	27	-----
<b>N.º</b>	<b>NOMBRE DE PIEZA</b>	<b>MATERIAL</b>	<b>CANT.</b>	<b>OBSERV.</b>



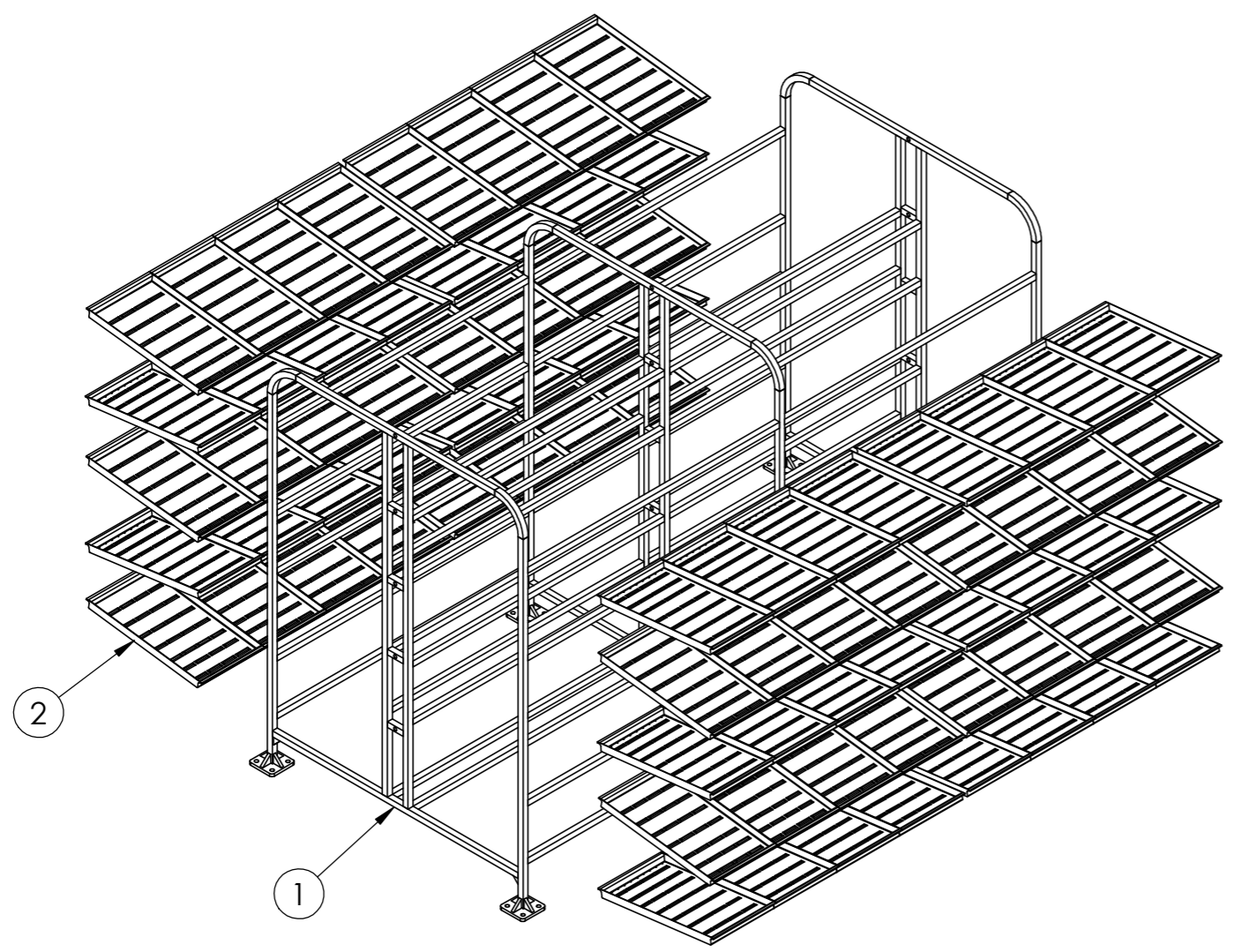
**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



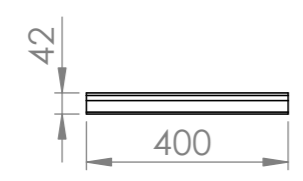
<b>Fecha:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Escala:</b>	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib. 2021	Llugsha Lenin - Moreno Wilson	1: 30		
Rev. 2021	Ing. Jefferson Porras			
Apro. 2021	Ing. Jefferson Porras			
<b>Materiales:</b>	<b>Tolerancia:</b>	<b>N.º Lámina:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Denominación:</b>
Varios	± 5mm	03	Invernadero	<b>UTC-MC FVH</b>

1 2 3 4 5 6 7 8

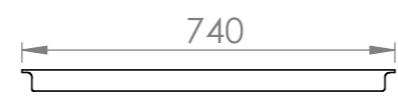
A  
B  
C  
D  
E  
F



VISTA FRONTAL

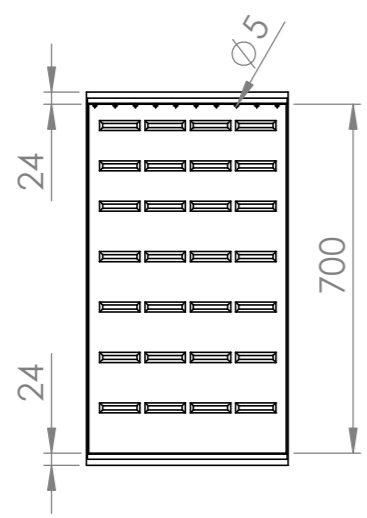


VISTA LATERAL IZQUIERDA



ISOMETRIA

VISTA SUPERIOR



ISOMETRIA

\* Anaquel de 5 niveles, para 80 Bandejas de 70 x 40 cm, para una producción aproximada de 700 kg de Biomasa Forrajera, con una pendiente de 10 grados de inclinación para el drenaje.

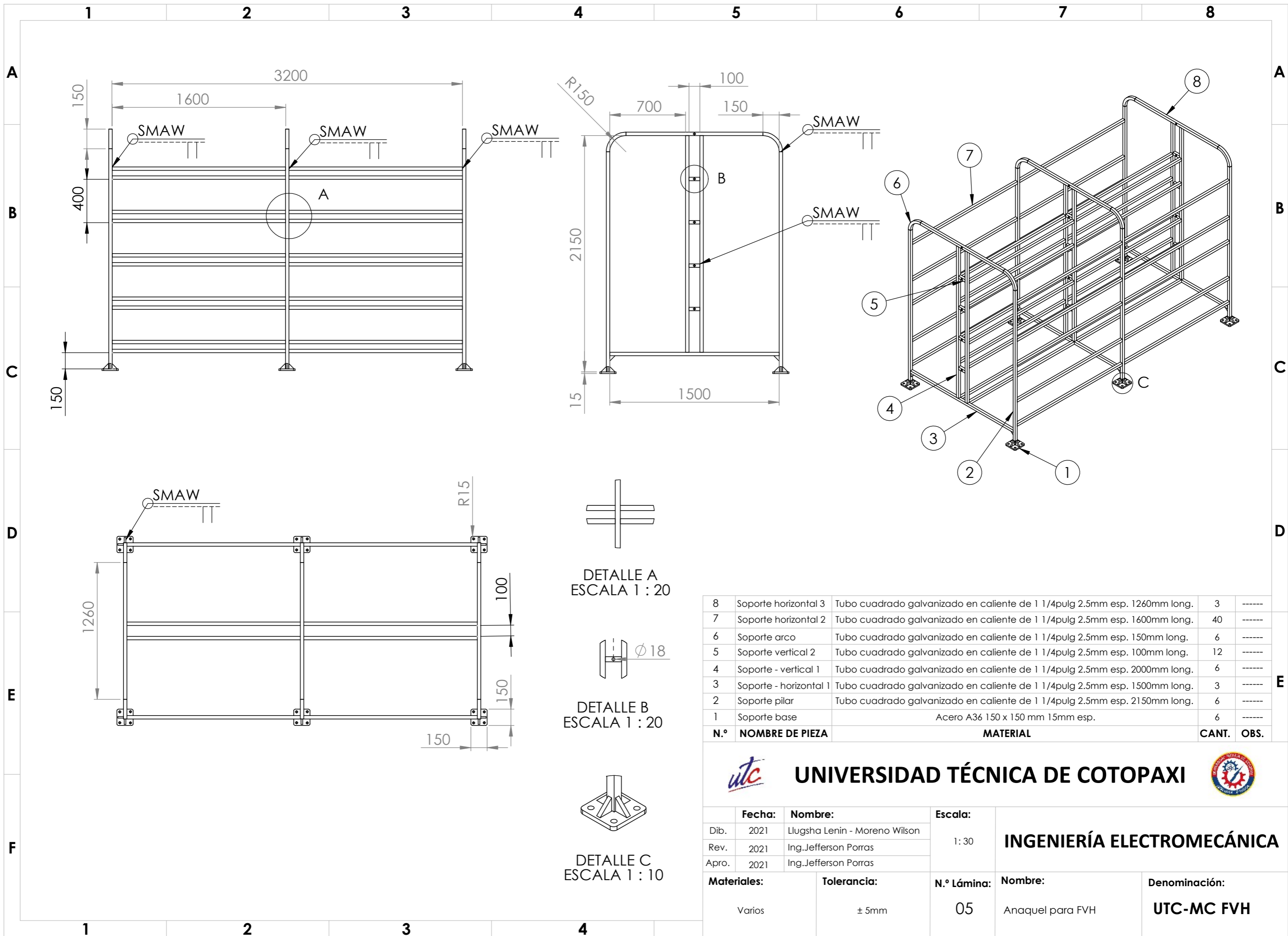
N.º	NOMBRE DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES
2	Bandeja para FVH	Poliester	160	-----
1	Anaqueles para FVH	Tubo cuadrado galvanizado de 1 1/4 pulg.	2	-----



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**



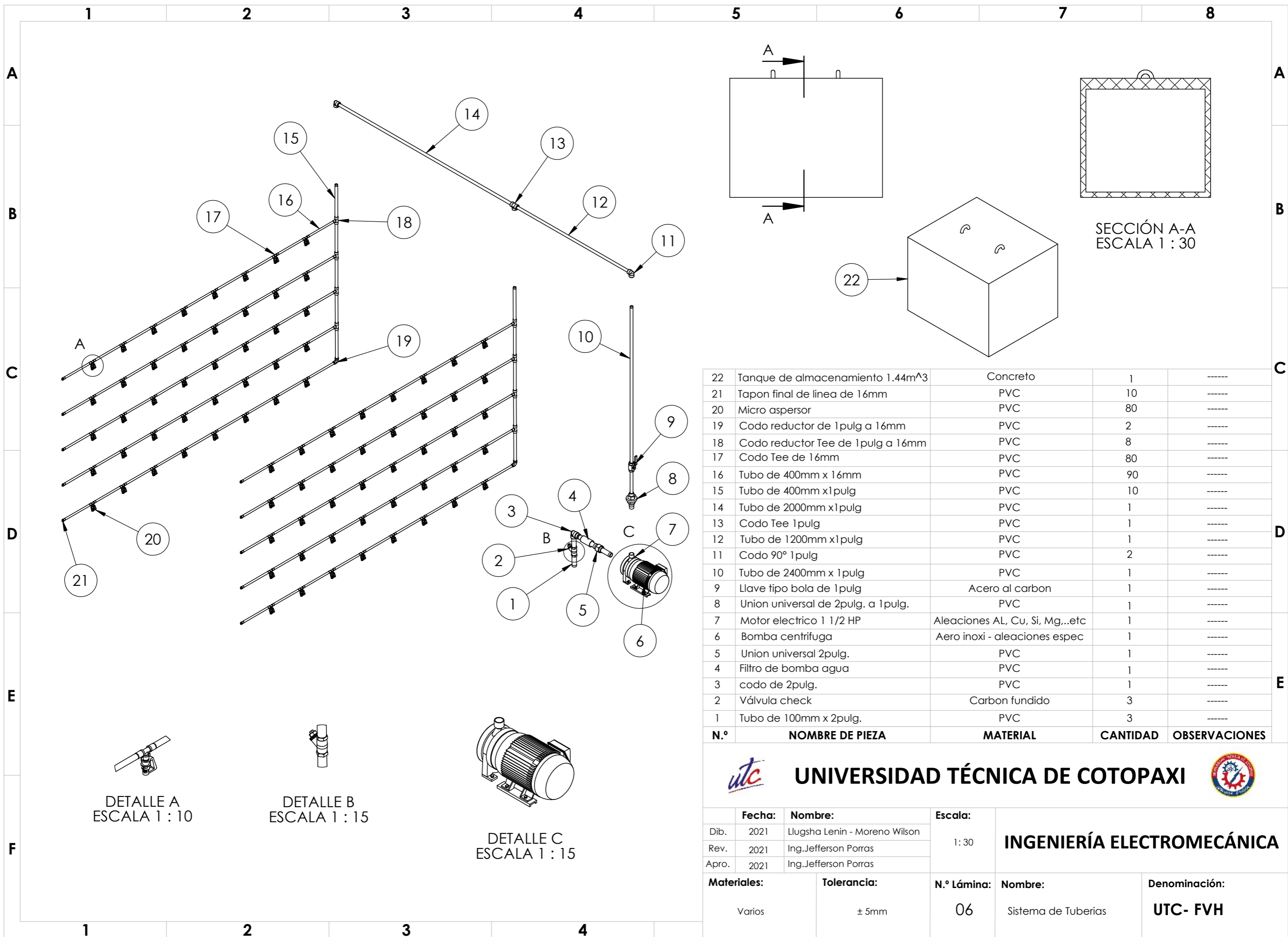
Fecha:	Nombre:	Escala:	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>		
Dib. 2021	Llugsha Lenin - Moreno Wilson	1:30			
Rev. 2021	Ing. Jefferson Porras				
Apro. 2021	Ing. Jefferson Porras				
<b>Materiales:</b>		<b>Tolerancia:</b>	<b>N.º Lámina:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Denominación:</b>
Varios		± 5mm	04	Módulo de Cultivos Hidropónico FVH	<b>UTC-MC FVH</b>



8	Soporte horizontal 3	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4pulg 2.5mm esp. 1260mm long.	3	-----
7	Soporte horizontal 2	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4pulg 2.5mm esp. 1600mm long.	40	-----
6	Soporte arco	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4pulg 2.5mm esp. 150mm long.	6	-----
5	Soporte vertical 2	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4pulg 2.5mm esp. 100mm long.	12	-----
4	Soporte - vertical 1	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4pulg 2.5mm esp. 2000mm long.	6	-----
3	Soporte - horizontal 1	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4pulg 2.5mm esp. 1500mm long.	3	-----
2	Soporte pilar	Tubo cuadrado galvanizado en caliente de 1 1/4pulg 2.5mm esp. 2150mm long.	6	-----
1	Soporte base	Acero A36 150 x 150 mm 15mm esp.	6	-----
N.º	NOMBRE DE PIEZA	MATERIAL	CANT.	OBS.


**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**


Fecha:	Nombre:	Escala:	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib. 2021	Llugsha Lenin - Moreno Wilson	1: 30		
Rev. 2021	Ing. Jefferson Porras			
Apro. 2021	Ing. Jefferson Porras			
<b>Materiales:</b>	<b>Tolerancia:</b>	<b>N.º Lámina:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Denominación:</b>
Varios	± 5mm	05	Anaqueles para FVH	<b>UTC-MC FVH</b>



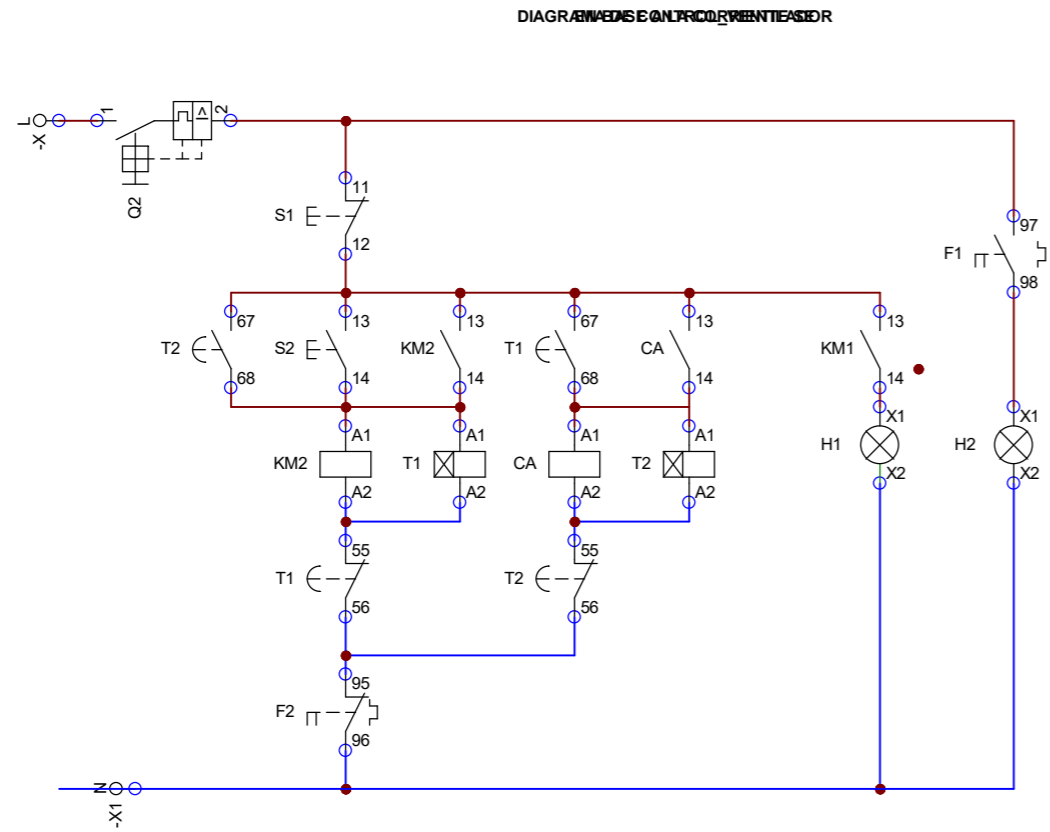
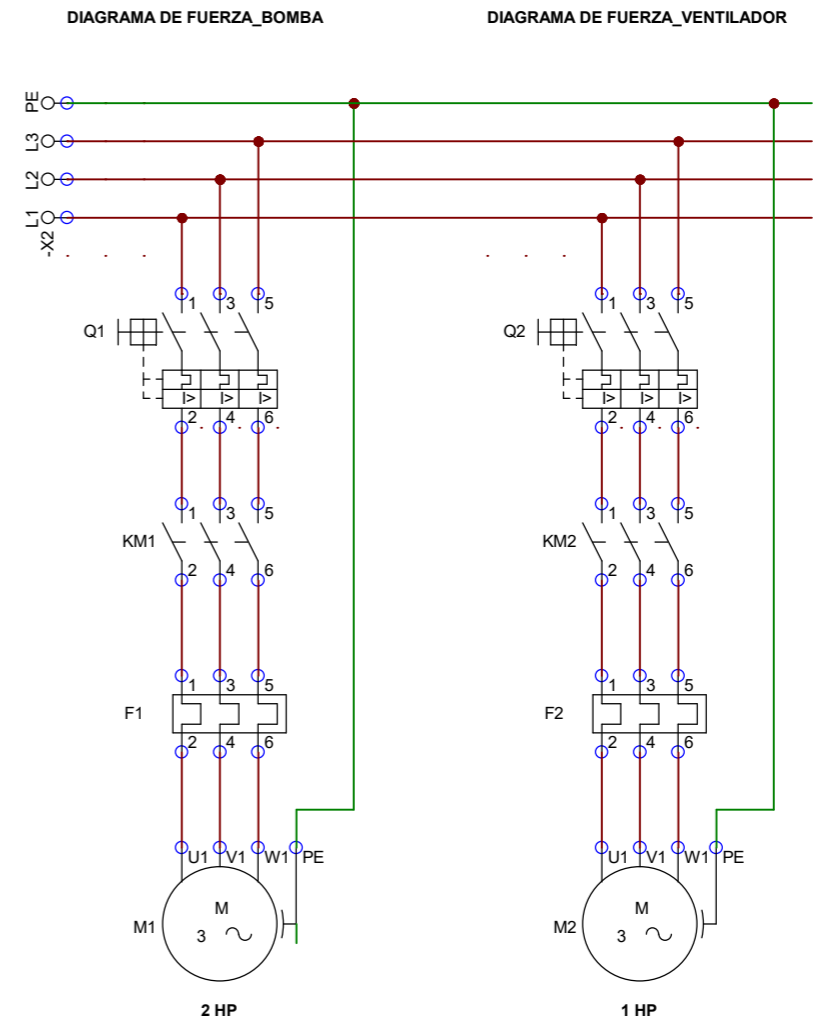
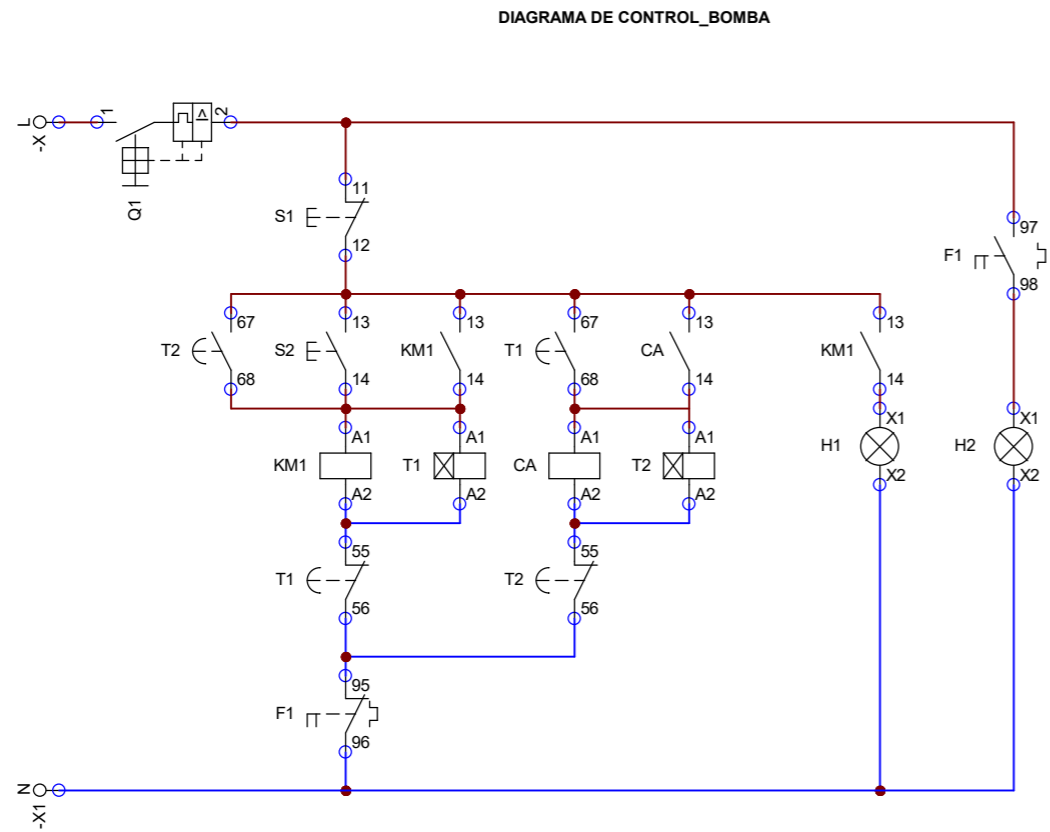
22	Tanque de almacenamiento 1.44m <sup>3</sup>	Concreto	1	----
21	Tapon final de linea de 16mm	PVC	10	----
20	Micro aspersor	PVC	80	----
19	Codo reductor de 1pulg a 16mm	PVC	2	----
18	Codo reductor Tee de 1pulg a 16mm	PVC	8	----
17	Codo Tee de 16mm	PVC	80	----
16	Tubo de 400mm x 16mm	PVC	90	----
15	Tubo de 400mm x1pulg	PVC	10	----
14	Tubo de 2000mm x1pulg	PVC	1	----
13	Codo Tee 1pulg	PVC	1	----
12	Tubo de 1200mm x1pulg	PVC	1	----
11	Codo 90° 1pulg	PVC	2	----
10	Tubo de 2400mm x 1pulg	PVC	1	----
9	Llave tipo bola de 1pulg	Acero al carbon	1	----
8	Union universal de 2pulg. a 1pulg.	PVC	1	----
7	Motor electrico 1 1/2 HP	Aleaciones AL, Cu, Si, Mg,..etc	1	----
6	Bomba centrifuga	Aero inoxi - aleaciones espec	1	----
5	Union universal 2pulg.	PVC	1	----
4	Filtro de bomba agua	PVC	1	----
3	codo de 2pulg.	PVC	1	----
2	Válvula check	Carbon fundido	3	----
1	Tubo de 100mm x 2pulg.	PVC	3	----
N.º	NOMBRE DE PIEZA	MATERIAL	CANTIDAD	OBSERVACIONES



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI



Fecha:	Nombre:	Escala:	<b>INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA</b>	
Dib. 2021	Llugsha Lenin - Moreno Wilson	1:30		
Rev. 2021	Ing. Jefferson Porras			
Apro. 2021	Ing. Jefferson Porras			
<b>Materiales:</b>	<b>Tolerancia:</b>	<b>N.º Lámina:</b>	<b>Nombre:</b>	<b>Denominación:</b>
Varios	± 5mm	06	Sistema de Tuberías	<b>UTC- FVH</b>



SIMBOLOGÍA	SIGNIFICADO
L1 - L2 - L3	Alimentación trifásica
PE	Puesta a Tierra
Q1 - Q2	Disyuntor
KM1 - KM2	Contacto
F1 - F2	Guardamotor
M1 - M2	Carga
L - N	Alimentación Monofásica
S1	Pulsador de Paro
S2	Pulsador de Marcha
T1 - T2	Contactos
CA	Contacto auxiliar
H1	Luz Piloto en Marcha
H2	Luz Piloto en falla

**DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR PARA LA BOMBA:**

$I = P / V$       HP A WATT  
 $I = 1492 / 220$        $P = 2 \times 746 = 1492 \text{ WATT}$   
 $I = 6.78 \text{ A}$

**DIMENSIONAMIENTO DEL CONDUCTOR PARA EL VENTILADOR:**

$I = P / V$       HP A WATT  
 $I = 746 / 220$        $P = 1 \times 746 = 746 \text{ WATT}$   
 $I = 3.39 \text{ A}$

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
<b>Calibre de cable</b>	<b>Amperaje soportado</b>		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

NOTA: EN BASE A LA CORRIENTE SE ELEGIRÁ LAS PROTECCIONES ELÉCTRICAS PARA CADA MOTOR

	Fecha	Nombre	Firmas	Entidad	Título	Fecha: FEB - 2020	Núm: 1 de 1
Dibujado	MARZO 2021	MORENO - LLUGSHA		UTC	DIAGRAMA ELÉCTRICO	Archivo: ARRANQUE DE MOTORES	
Comprobado	MARZO 2021	ING. PORRAS J.					