



• **AMBIENTE CONTROLADO PARA  
PRODUCCIÓN AGRÍCOLA** •

**2022**

---

**AUTORES**

**Arroyo, Nicolás Gonzalo  
Turner, María Florencia**

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Elenco de documentos	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-ED-00
Profesores	Revisión	1
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

**Elenco de documentos**

<b>Nº</b>	<b>Denominación</b>	<b>Código</b>	<b>Revisión</b>
00	Elenco de documentos	PF-ED-00	1
01	Memoria descriptiva	PF-MD-01	2
02	Estudio de mercado	PF-EM-02	1
03	Estudio climático	PF-EC-03	2
04	Diseño del invernadero	PF-DI-04	2
05	Sistema de acondicionamiento térmico	PF-SAT-05	2
06	Sistema de riego	PF-SR-06	1
07	Sistema de iluminación	PF-SI-07	2
08	Sistema de automatización	PF-SA-08	1
09	Sistema de generación de energía	PF-SGE-09	2
10	Instalación de gas	PF-IG-10	1
11	Instalación eléctrica	PF-IE-11	2
12	Presupuesto	PF-P-12	3
13	Bibliografía	PF-B-13	2
14	Planos	PF-P-14	2

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Memoria descriptiva	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-MD-01
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

### Glosario

<b>Ambiente controlado</b>		Entorno en el que se establecen artificialmente las condiciones especiales, tales como la temperatura, humedad, luz y composición atmosférica, necesarias para el desenvolvimiento de procesos sensibles a la calidad de las mismas
<b>Calor</b>	<b>Q</b>	Energía térmica que se libera o se absorbe
<b>Calor específico</b>	<b>c</b>	Cantidad de calor que necesita un cuerpo por kilogramo para que su temperatura se eleve un grado centígrado
<b>Calor latente</b>	<b>Q</b>	Cantidad de energía calorífica necesaria por una sustancia para cambiar de estado
<b>Calor sensible</b>	<b>Q</b>	Energía calorífica que suministrada a un cuerpo, eleva su temperatura sin alterar su estructura molecular
<b>Caudal</b>	<b>Q</b>	Cantidad de fluido que circula a través de una sección por unidad de tiempo
<b>Conducción</b>		Mecanismo de transferencia de calor en el que la energía térmica se transfiere de un punto a otro por medio de la interacción entre los átomos o moléculas de la materia
<b>Conductividad</b>	<b><math>\sigma</math></b>	Propiedad natural de los cuerpos que permiten el paso de calor o electricidad a través de sí mismos
<b>Corriente</b>	<b>A</b>	Flujo de carga eléctrica que recorre un material
<b>Convección</b>		Transporte del calor por medio del movimiento de un fluido como consecuencia del movimiento real de las partículas calentadas
<b>Curva S</b>		Gráfico matemático que representa datos acumulativos de un proyecto, como el coste o las horas de trabajo en relación del tiempo
<b>Densidad</b>	<b><math>\rho</math></b>	Relación entre la masa y volumen de una sustancia
<b>Diagrama de flujo</b>		Representación gráfica de un algoritmo o proceso
<b>Diagrama de Gantt</b>		Herramienta gráfica para exponer el cronograma de un proyecto
<b>Eficiencia</b>	<b><math>\eta</math></b>	Razón de energía útil que proporciona una máquina o dispositivo
<b>Evapotranspiración</b>	<b>ET</b>	Cantidad de agua que vuelve a la atmósfera como consecuencia de la evaporación y transpiración de las plantas
<b>Flujo luminoso</b>	<b><math>\Phi</math></b>	Es la potencia emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible

<b>Frecuencia</b>	<b>f</b>	Número de repeticiones por unidad de tiempo de cualquier evento periódico
<b>Hidroponía</b>		Método de cultivo utilizando disoluciones minerales en vez de suelo agrícola
<b>Humedad</b>		Cantidad de agua, vapor de agua o cualquier otro líquido que está presente en la superficie, en el aire o el interior de un cuerpo
<b>Humedad absoluta</b>	<b>a</b>	Cantidad de vapor de agua por unidad de volumen de aire
<b>Humedad relativa</b>	<b>HR</b>	Relación entre la cantidad de vapor de agua que tiene una masa de aire y la máxima que podría tener
<b>Iluminancia</b>	<b>E</b>	Densidad angular, rectangular y superficial de flujo luminoso que incide, atraviesa o emerge de una superficie siguiendo una dirección determinada
<b>índice refractivo</b>	<b>n</b>	Cociente de la velocidad de luz en el vacío y la velocidad de la luz en el medio cuyo valor se calcula
<b>Ladder</b>		Lenguaje gráfico de programación en escalera/diagrama de contactos
<b>Lámpara LED</b>		Lámpara de estado sólido que emplea LEDs como fuente lumínica
<b>LED</b>		Diodo emisor de luz
<b>Lúmen</b>	<b>lm</b>	Unidad de medida del flujo luminoso
<b>Lux</b>	<b>lx</b>	Unidad de medida de la iluminancia o nivel de iluminación
<b>Módulo de tracción</b>	<b>E</b>	Parámetro que caracteriza el comportamiento de un material elástico, según la dirección en la que se le aplica un esfuerzo
<b>Permeabilidad</b>	<b>k</b>	Capacidad de un material de permitir el paso de un fluido sin alterar su composición
<b>Permitividad</b>	<b>ε</b>	Parámetro físico de los materiales que describe cuánto son afectados por un campo eléctrico
<b>pH</b>		Coefficiente que indica el grado de acidez o basicidad de una solución acuosa
<b>PLC</b>		Computadora utilizada para la automatización de procesos
<b>Potencia</b>	<b>P</b>	Proporción por unidad de tiempo con la cual la energía eléctrica es transferida por un circuito eléctrico
<b>Presión</b>	<b>P</b>	Magnitud física que mide la proyección de fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie



<b>Presión absoluta</b>	$P_{abs}$	Presión real que se ejerce sobre un punto dado y que está relacionada a la presión cero de referencia
<b>Presión atmosférica</b>	$P_{atm}$	Fuerza por unidad de superficie que ejerce el aire que forma la atmósfera sobre la superficie terrestre
<b>Presión manométrica</b>	$P_m$	Es la diferencia entre la presión absoluta o real y la presión atmosférica
<b>Sensor</b>		Dispositivo que convierte el efecto de una causa física en otro tipo de señal, normalmente eléctrica
<b>Señal analógica</b>		Señal generada por algún tipo de fenómeno electromagnético y que se transmite con información representada en una función matemática continua
<b>Señal digital</b>		Señal discreta cuantificada que se expresa en un número finito de amplitudes
<b>Sistema on-grid</b>		Instalación que se encuentra alimentada por la red eléctrica y en paralelo existe una generación de energía alternativa, sin uso de un banco de baterías
<b>Radiación</b>		Energía que viaja en forma de ondas electromagnéticas o partículas de alta velocidad
<b>Refracción</b>		Cambio de dirección y lentitud que experimenta una onda al pasar de un medio a otro con distinto índice refractivo
<b>Resistencia a la tracción</b>	$\sigma_R$	Esfuerzo de tracción máximo con el que se puede someter a carga un material
<b>Temperatura</b>	$T$	Grado o nivel térmico de un cuerpo o de la atmósfera
<b>Tensión</b>	$V$	Magnitud física que cuantifica la diferencia de potencial entre dos puntos
<b>Topología</b>		Formato del mapa físico o lógico de una red
<b>Ventilación forzada</b>		Renovación de aire en el interior de un local por medio de equipos electromecánicos
<b>Ventilación natural</b>		Renovación de aire interior en el interior de un local sin la intervención de equipos electromecánicos

## Índice

<b>Glosario</b>	<b>3</b>
<b>1. Descripción del proyecto</b>	<b>7</b>
<b>2. Alcance</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes	7
2.2. Delimitación del tema	8
2.3. Objetivos	8
2.3.1. Objetivo general	8
2.3.2. Objetivos específicos	8
2.4. Población	8
2.5. Ubicación	9
2.6. Áreas de conocimiento involucradas	9
<b>3. Fundamentación</b>	<b>9</b>
<b>4. Plan de trabajo</b>	<b>11</b>

## 1. Descripción del proyecto

El presente proyecto consiste en un ambiente controlado destinado a la producción agrícola, emplazado en el cinturón rururbano o zona de chacras de la ciudad de Río Gallegos. El mismo requiere de una inversión de \$ 7 945 345,04 conformada principalmente por:

- Un invernadero tipo elíptico modular de 840 [m<sup>2</sup>], con una estructura de acero perfil H y cubierta de polietileno de larga duración con efecto térmico y antigoteo  
\$ 1 533 731,17
- Un sistema de acondicionamiento térmico conformado por 1 equipo generador de aire caliente de 136 000 [Kcal/h] marca Ciroc y 131,80 [m] de conductos de calefacción, 2 ventiladores de extracción y 4 ventiladores de circulación  
\$ 1 398 006,36
- Una línea interna de gas natural de 67 [m] y sus accesorios  
\$ 162 018,52
- Un sistema de riego compuesto por 4 bombas de 1,5 [HP], 1 bomba dosificadora de 0,5 [HP], 1 tanque principal de hormigón y 3 tanques de PVC de mezcla de solución nutritiva, 638 [m] de tuberías y sus accesorios, 2 312 [m] de canales de riego  
\$ 1 955 746,80
- Un sistema de iluminación con 48 bocas para la superficie de cultivo y 7 bocas para las zonas de tránsito  
\$ 147 927,56
- Un sistema de automatización por un PLC y sus módulos, sensores de temperatura, humedad, oxígeno, CO<sub>2</sub>, caudal, pH y luz  
\$ 392 093,04
- Una instalación eléctrica con 1 tablero principal y 2 seccionales, elementos de maniobra y protección, 620 [m] de conductores y sus accesorios  
\$ 383 159,97
- Un sistema de generación de energía que cuenta con 10 paneles fotovoltaicos de tipo policristalino de 265 [W] marca Risen, 5 soportes de aluminio, 1 inversor de 3 000 [W] de marca Growatt, 1 grupo electrógeno de 12 000 [W] marca Fenk, 45 [m] de conductores  
\$ 900 923,77
- 890 horas-hombre como mano de obra total  
\$ 796 793,56
- 68 días corridos de plazo contados a partir de la firma del contrato

## 2. Alcance

### 2.1. Antecedentes

Según datos de encuestas y censos realizados por el INTA en 2019 ([1], PF-B-13), se estima que existen alrededor de 7 000 a 9 000 hectáreas bajo cubierta en el país, de las cuales el 80% se destinan a la horticultura, el 11% a la floricultura y el resto se dedica a viveros y plantas aromáticas, entre otros cultivos. Si bien la mayor parte se concentra en la provincia de Buenos Aires, es posible encontrar estructuras en todo el país.

La zona sur de la Patagonia Argentina, compuesta por Santa Cruz y Tierra del Fuego e Islas del Atlántico Sur, cuenta con una superficie dedicada a la agricultura bajo cubierta de 8,35 [Ha] (Siendo para TF: 1,15 [Ha] y SC: 7,2 [Ha]). Representando un 0,1% de la superficie dedicada a la agricultura bajo cubierta total del país.

La producción local aporta solo un 5% a la demanda de productos de Río Gallegos en el período de producción que comprende los meses de Octubre - Marzo, el faltante de primavera verano y los meses de invierno son cubiertos por producción del norte del país. Aumentando de manera considerable la huella de carbono de los productos agrícolas consumidos en la zona sur de la Patagonia Argentina.

## **2.2. Delimitación del tema**

El proyecto trata sobre la automatización de procesos agrícolas mediante el diseño de un ambiente controlado y autosustentable.

## **2.3. Objetivos**

### **2.3.1. Objetivo general**

En líneas generales, se busca el diseño y modelización de una instalación agrícola cubierta automatizada y controlada mediante un PLC (Controlador Lógico Programable), con el objeto de que en su interior se puedan intervenir todos los aspectos del entorno de cultivo y se logre simular el ambiente óptimo para su crecimiento.

En vista de las leyes 27.191 y 27.424 que rigen en el país, se incorpora también un sistema de generación por energía fotovoltaica.

### **2.3.2. Objetivos específicos**

Los parámetros que se establecen para el correcto direccionamiento del proyecto son:

- Control de iluminación, temperatura y humedad.
- Automatización y control del sistema de bombeo de agua.
- Control del sistema de riego.
- Control de concentración de CO<sub>2</sub>.
- Autoabastecimiento energético por generación solar.

## **2.4. Población**

En el proyecto se verán involucrados los productores de materias primas de origen vegetal que se encuentren interesados en implementar este sistema de automatización.

Se crearán nuevos puestos de trabajo, tanto profesional como no profesional, en el levantamiento del proyecto, para la cosecha de las plantaciones y mantenimiento del ambiente una vez puesto en marcha.

## 2.5. Ubicación

El emplazamiento del proyecto tendrá lugar en la zona de chacras de la ciudad.



*Figura 1. Franja rurbana de Río Gallegos  
(Fuente: autores del proyecto)*

## 2.6. Áreas de conocimiento involucradas

1. Ingeniería y sociedad.
2. Programación en computación.
3. Electrónica industrial.
4. Mecánica de los fluidos y máquinas fluidodinámicas.
5. Automatización y control industrial.

## 3. Fundamentación

En Santa Cruz, la actividad agrícola presenta un débil desarrollo dado que la explotación de la zona se centra, de manera predominante, en la ganadería, en la industria petrolera y en la minería extractiva.

En la actualidad, el contexto geográfico de la capital de la provincia presenta predios discontinuos con mediana a baja explotación agropecuaria y un lento crecimiento de las áreas bajo cultivo a causa de factores ambientales limitantes; los cuales resultan totalmente adversos o por lo menos obstaculizantes para el desarrollo de la actividad agrícola. La problemática no solo afecta al abastecimiento de la población, sino que también a la expansión de la oferta en el mercado.

Las bajas temperaturas, la presencia de solo dos estaciones bien definidas, la violencia del viento, las escasas precipitaciones y el déficit hídrico reflejan la limitación del crecimiento tanto de vegetación natural como de cultivos.

A pesar de que no existe una intención generalizada por las prácticas agrícolas, a lo largo de los últimos años se incrementó la cantidad de interesados por aplicar la técnica de cultivo bajo invernaderos convencionales. Sin embargo, las esporádicas nevadas, las heladas y las escarchas durante el año perjudican a las plantaciones aún cuando están protegidas. Las siembras y cosechas se paralizan durante los meses de abril a octubre debido a que las heladas afectan considerablemente los cultivos.

Hoy en día, la agricultura en ambientes controlados se desenvuelve como una de las mejores alternativas que resultan viables para satisfacer la demanda de productos agrícolas frente a un entorno hostil.

Si se recurre a la implementación de estas tecnologías de producción, los cultivos podrán ser aislados de las duras condiciones climáticas patagónicas dentro de un recinto en el que el clima se modifique por actuaciones artificiales, tales como calefacción y ventilación. La temperatura podrá gobernarse por un sistema de calefacción por convección o radiación, en conjunto con un sistema de ventilación dispuesto para la eliminación de aire húmedo, regulación de la temperatura, control de flujo de aire y para mantener los niveles apropiados de concentración de gas.

Es posible controlar la floración de los cultivos regulando el tiempo durante el cual absorben luz, ya que las variaciones requeridas a lo largo del día pueden satisfacerse con un sistema de iluminación LED; por su eficiencia y las ventajas medioambientales que ofrece.

La implementación de un sistema hidropónico disminuye la huella hídrica en relación al cuidado ambiental. Esto, igualmente, representa un aspecto económico importante, ya que está relacionado directamente con el consumo hídrico de la instalación y por lo tanto, con el dimensionamiento de las cisternas. A la hora de diseñar el espacio, se tendrá en cuenta el consumo de energía requerido para el establecimiento de las condiciones climáticas con el fin de conseguir un rendimiento eficaz.

En este proyecto se prevé una alimentación de energía ininterrumpida al sistema eléctrico, por medio de la conexión a la red eléctrica y, en caso de ausencia de la misma, por un grupo electrógeno. Y se contempla un sistema de generación fotovoltaica capaz de reducir el consumo de energía.

La automatización y control en el clima dentro de un invernadero beneficia el desarrollo de las plantas en todo su ciclo vegetativo ya que se generan las condiciones óptimas para su crecimiento. Esto ayudará a promover el avance de la actividad agrícola en las zonas desfavorables, aún en condiciones climáticas adversas y fuera de época, procurando una producción intensiva segura, confiable y continua.

#### **4. Plan de trabajo**

Item	Descripción	Plazo en días																																																																									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68						
<b>PLANIFICACIÓN</b>																																																																											
1	Objetivos	100%																																																																									
2	Gestión de tiempo	50%	100%																																																																								
3	Antecedentes, limitación y alcance	100%																																																																									
4	Estudio del mercado	33%	66%	100%																																																																							
<b>DISEÑO DEL PROYECTO</b>																																																																											
5	Estudio climático				50%	100%																																																																					
6	Relevamiento del terreno				100%																																																																						
7	Diseño del invernadero																																																																										
8	Cálculo de estructura				25%	50%	75%	100%																																																																			
9	Selección de materiales																																																																										
10	<b>Sistema de acondicionamiento térmico</b>																																																																										
11	Balance térmico								33%	66%	100%																																																																
12	Selección tipo sistema de calefacción											100%																																																															
13	Selección equipo de calefacción											100%																																																															
14	Selección equipo de ventilación											100%																																																															
15	Cálculo de instalación de gas											100%																																																															
14	<b>Sistema de riego</b>																																																																										
15	Dimensionamiento sistema de bombeo											33%	66%	100%																																																													
16	Dimensionamiento tanques											100%																																																															
17	Dimensionamiento sistema de tuberías											50%	100%																																																														
18	<b>Sistema de iluminación</b>																																																																										
19	Análisis plantación															100%																																																											
20	Cálculo flujo luminoso															50%	100%																																																										
21	Selección de luminarias															100%																																																											
22	<b>Sistema de automatización</b>																																																																										
23	Selección de sensores																	100%																																																									
24	Selección del PLC																	100%																																																									
25	Diagrama de flujo y de contacto																	33%	66%	100%																																																							
26	<b>Instalación eléctrica</b>																																																																										
27	Dimensionamiento del cableado																					50%	100%																																																				
28	Selección protecciones																					100%																																																					
29	Síntesis y distribución de cargas																					100%																																																					
30	<b>Sistema de generación de energía</b>																																																																										
31	Dimensionamiento sistema renovable																					100%																																																					
32	Selección de equipos G. renovable																					100%																																																					
33	Dimensionamiento del cableado																					50%	100%																																																				
34	Selección protecciones																					100%																																																					
<b>EJECUCIÓN</b>																																																																											
38	<b>Acondicionamiento del terreno</b>																																																																										
39	Desmonte y desmalezado																							33%	66%	100%																																																	
40	Retiro de escombros y residuos																							100%																																																			
41	Nivelación del terreno																							33%	66%	100%																																																	
42	Control de nivelación																							100%																																																			
43	<b>Cimentación</b>																																																																										
44	Mensura de ubicación del invernadero																							100%																																																			
45	Emplazamiento de zapatas																							100%																																																			
46	Construcción de zapatas																							20%	40%	60%	80%	100%																																															
47	Colocación de anclajes																										33%	66%	100%																																														
48	Construcción de balsa de riego																							20%	40%	60%	80%	100%																																															
49	Construcción de losas de cimentación																							20%	40%	60%	80%	100%																																															
50	<b>Excavación y relleno</b>																																																																										
51	Excavación de zanjas de cableado																							33%	66%	100%																																																	
52	Excavación de zanjas de tuberías																							33%	66%	100%																																																	
53	Tapado de zanjas de cableado																																																				25%	50%																					
54	Tapado de zanjas de tuberías																																																				25%	50%																		75%	100%		
55	<b>Instalación de estructura</b>																																																																										
56	Colocación de columnas																																					33%	66%	100%																																			
57	Colocación de líneas laterales																																								50%	100%																																	





Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Estudio de mercado	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-EM-02
Profesores	Revisión	1
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Producto</b>	<b>4</b>
<b>3. Mercado potencial del proyecto</b>	<b>4</b>
<b>4. Entorno competitivo</b>	<b>4</b>
<b>5. Análisis F.O.D.A.</b>	<b>4</b>

## 1. Introducción

En el presente apartado se analiza el panorama comercial en el que se verá embebido el proyecto, teniendo en cuenta el producto a ofrecer y el escenario competitivo.

## 2. Producto

El producto está dado por el desarrollo de un invernadero automatizado, compuesto por tres módulos de 7 x 40 [m] cada uno. El mismo abarca el control de riego hidropónico, temperatura, humedad, iluminación, ventilación natural y forzada, regulación de niveles de CO<sub>2</sub>, autogeneración por medios renovables y grupo electrógeno.

## 3. Mercado potencial del proyecto

El proyecto se enfoca principalmente en la región patagónica. Sin embargo, cuenta con la versatilidad de poder adaptarse a cualquier entorno por su naturaleza. El mismo está destinado a inversionistas interesados en el desarrollo del sector agrícola en el sur del país o bien, a productores que busquen automatizar los procesos que engloba la actividad agrícola en un invernadero.

## 4. Entorno competitivo

Actualmente, en Santa Cruz, si bien existen invernaderos convencionales que dependen de las condiciones climáticas del momento, no existe competencia para este tipo de proyecto que relaciona la tecnología de automatización industrial con invernaderos; por lo cual se puede suponer el aventajamiento en el mercado.

## 5. Análisis F.O.D.A.

Fortalezas	Oportunidades	Debilidades	Amenazas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Innovación tecnológica</li> <li>• Zonas productivas que abastecen el mercado fuera de estacionalidad</li> <li>• Predictibilidad en las ganancias</li> <li>• Desarrollo sustentable del sector agrícola</li> <li>• Bajo consumo hídrico</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mercado no explotado</li> <li>• Tendencia a un consumo responsable</li> <li>• Disponibilidad del espacio físico en la Patagonia</li> <li>• Mercado con tendencia al crecimiento</li> <li>• Apoyo del gobierno que incentiva las energías renovables</li> <li>• Posibilidad de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Gran inversión inicial</li> <li>• Costos de mantenimiento</li> <li>• Consumo eléctrico</li> <li>• Consumo de gas natural</li> <li>• Mayor necesidad de especialización</li> <li>• Requerimientos de agua de buena calidad</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Volatilidad en las políticas de importación de productos tecnológicos</li> <li>• Aumento constante de la inflación</li> <li>• Cotización del dólar</li> <li>• Inexistencia de competencia (no se sabe cómo reaccionará el mercado)</li> </ul>

comercializar el  
proyecto nacional e  
internacionalmente

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Estudio climático	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-EC-03
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**



## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Temperatura</b>	<b>4</b>
<b>3. Nubosidad</b>	<b>5</b>
<b>4. Precipitación</b>	<b>5</b>
<b>5. Sol</b>	<b>6</b>
<b>6. Humedad</b>	<b>6</b>
<b>7. Viento</b>	<b>7</b>
<b>8. Período de cultivo</b>	<b>8</b>

## 1. Introducción

El clima afecta la construcción del invernadero y la posterior producción hortícola. Sin embargo, cuando se ejecuta el cultivo bajo condiciones controladas, no resulta ser un factor determinante como puede ser sobre un cultivo exterior o un invernadero convencional.

El estudio se basa en datos promedio anuales para días representativos de las diferentes estaciones en Río Gallegos (51°38'S 69°14'O).

## 2. Temperatura

La estación cálida dura 4 meses (del 14 de noviembre al 17 de marzo) y la temperatura máxima promedio diaria supera los 16°C. El día más caluroso del año es en enero, con una media máxima de 19 °C y una media mínima de 9 °C. La estación fría dura 3 meses (del 21 de mayo al 18 de agosto) y la temperatura máxima promedio diaria es inferior a 7 °C. El día más frío del año es en julio, con una mínima media de -1 °C y una máxima media de 4 °C.

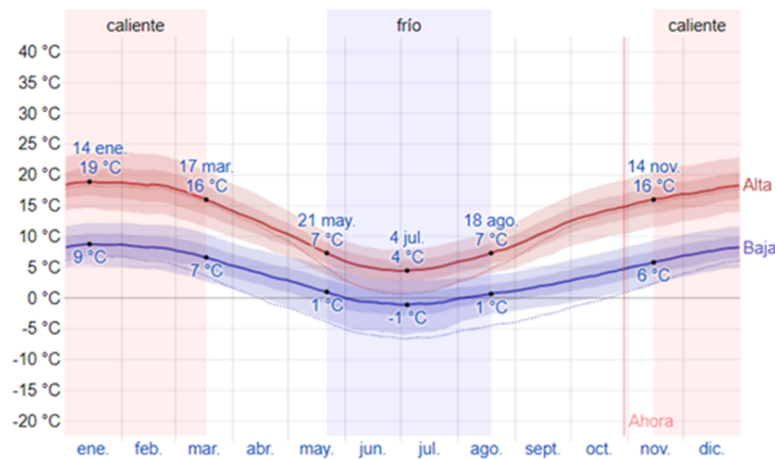


Figura 1. Temperatura máxima y mínima promedio  
([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

En la figura 2 pueden observarse las temperaturas promedio por hora de todo el año.

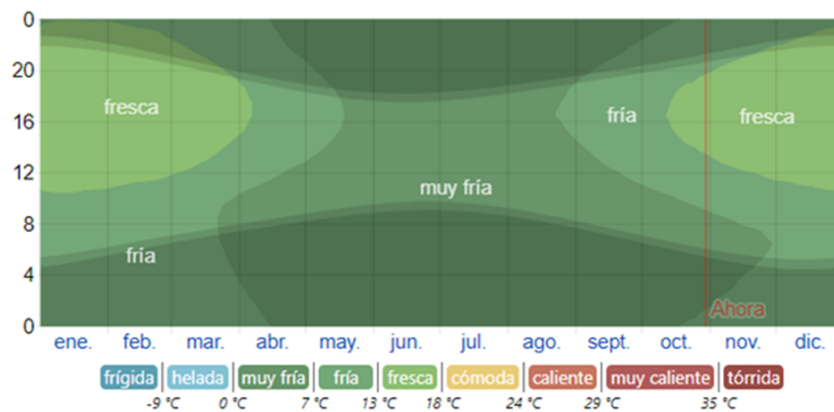


Figura 2. Temperatura promedio por hora.  
([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

### 3. Nubosidad

En febrero se presenta el día más despejado del año y en mayo el día más nublado del año.

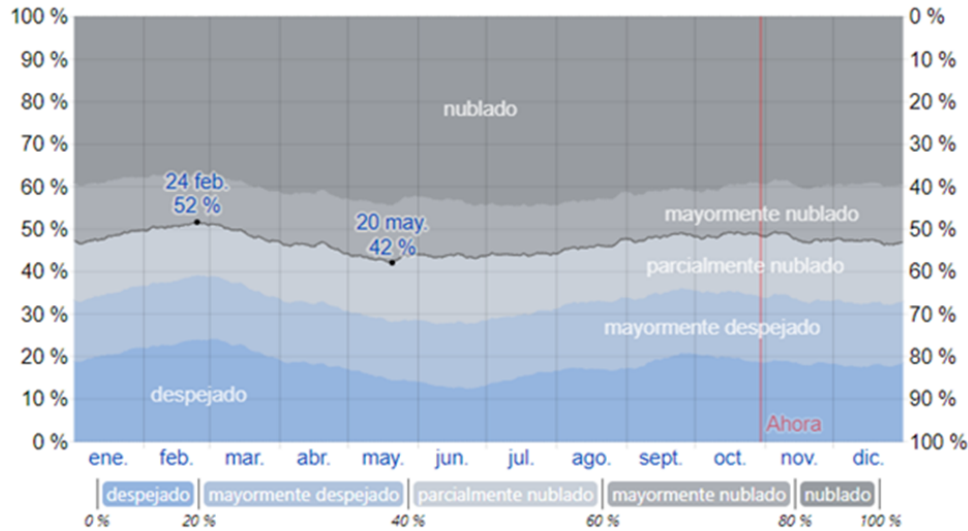


Figura 3. Nubosidad.

([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

### 4. Precipitación

La temporada con mayor influencia pluvial dura 7 meses (19 de noviembre al 13 de junio) con una probabilidad de más del 14% de precipitación y la temporada más seca dura 5 meses (del 13 de junio al 19 de noviembre) donde la probabilidad mínima de un día con precipitación es del 8%.

El tipo más común de precipitación durante el año es sólo lluvia, con una probabilidad máxima del 20% en marzo.

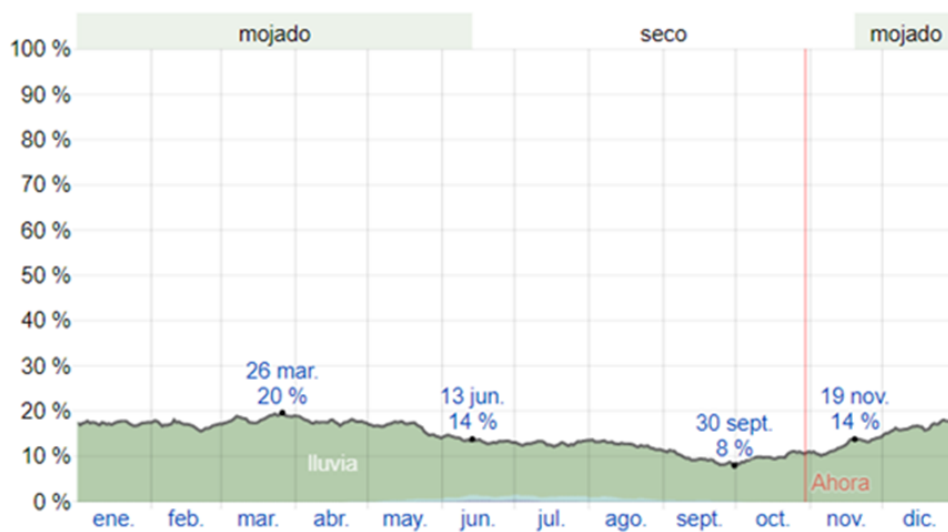


Figura 4. Probabilidad diaria de precipitación.

([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

## 5. Sol

La duración del día más corta se da en junio con un promedio de 7 horas y 48 minutos de luz natural, mientras que el día más largo tiene lugar en diciembre con 16 horas y 40 minutos de luz natural.

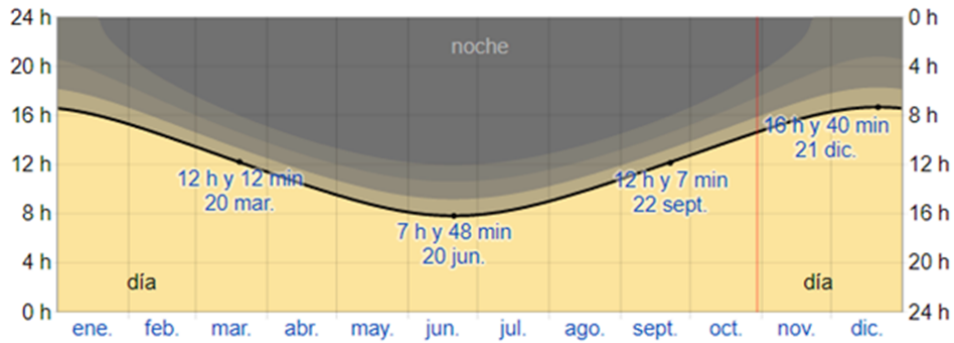


Figura 5. Horas de sol y crepúsculo.  
([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

La salida del sol más temprana es a las 5:13 en diciembre y la más tardía es a las 9:44 en junio.

La puesta de sol más temprana es a las 17:30 en junio y la más tardía es a las 21:57 en diciembre.

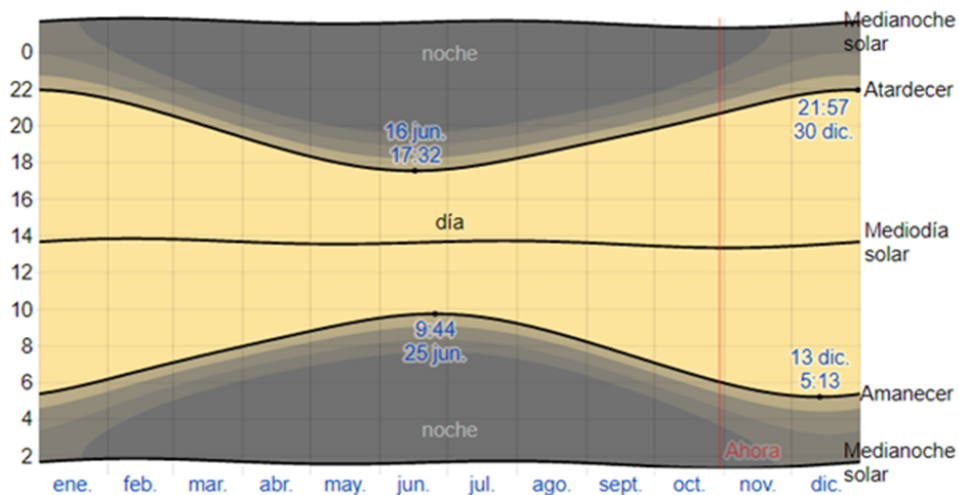


Figura 6. Salida de sol y puesta del sol con crepúsculo.  
([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

## 6. Humedad

Los meses con la humedad relativa más alta son junio y julio (81%). El mes con la humedad relativa más baja es diciembre (53%).

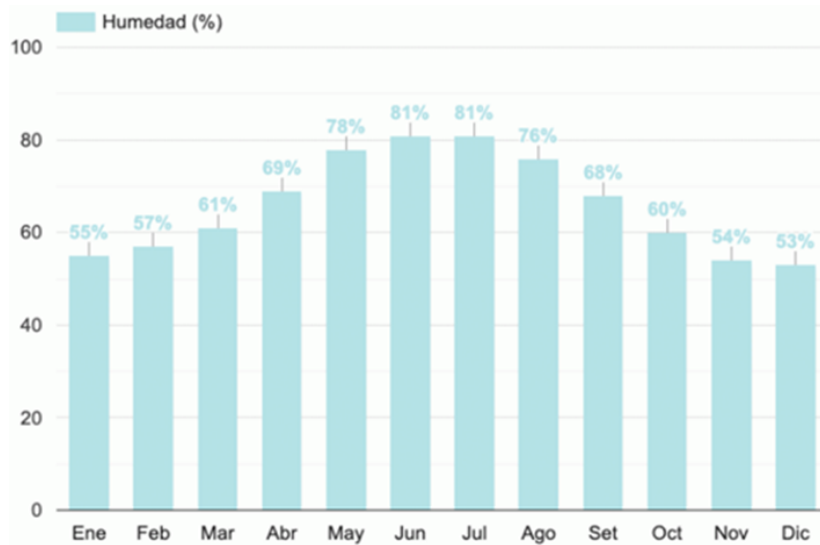


Figura 7. Humedad media.

([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

## 7. Viento

La velocidad promedio del viento por hora tiene variaciones estacionales leves a lo largo del año. La parte más ventosa dura casi medio año (16 de octubre al 28 de marzo) con velocidades promedio del viento de más de 24,6 km/h. El día más ventoso del año se da en noviembre con una velocidad promedio del viento de 27 km/h.

La menor velocidad promedio del viento se registra en junio, siendo ésta de 22,2 km/h.

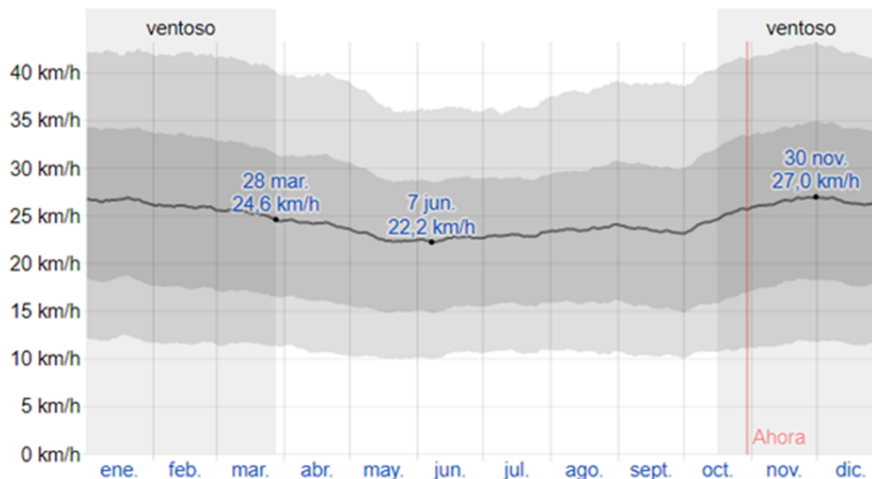


Figura 8. Velocidad promedio del viento.

([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

La dirección del viento promedio por hora predominante en Río Gallegos es del oeste durante el año.

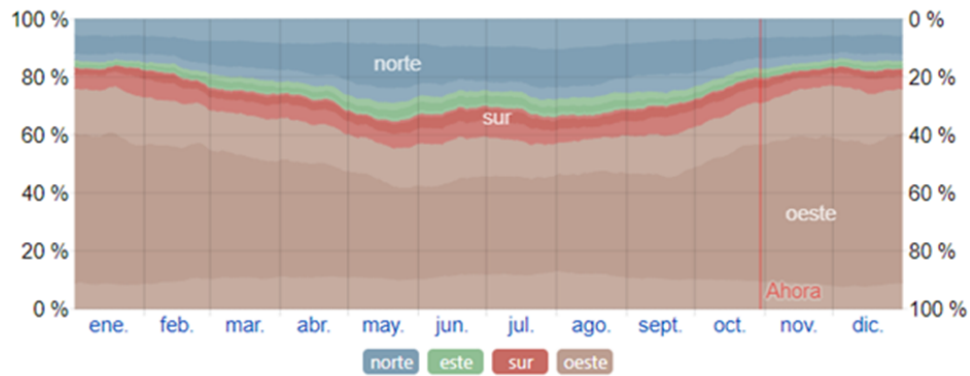


Figura 9. Dirección del viento.  
([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

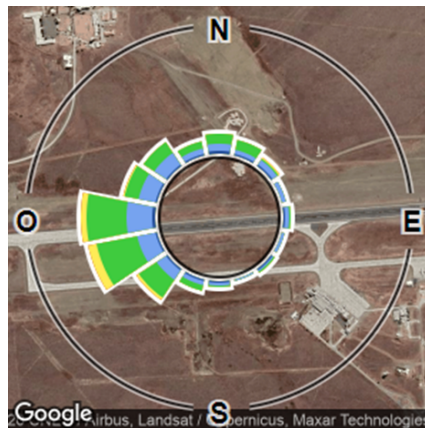


Figura 10. Distribución de la dirección y fuerza del viento.  
([En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>)

## 8. Período de cultivo

El período de cultivo se define como el tiempo continuo más largo de temperaturas sin heladas ( $> 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). El período de cultivo en Río Gallegos dura 5 meses y rara vez comienza antes de septiembre o después de noviembre, e inusualmente termina antes de marzo o después de mayo.

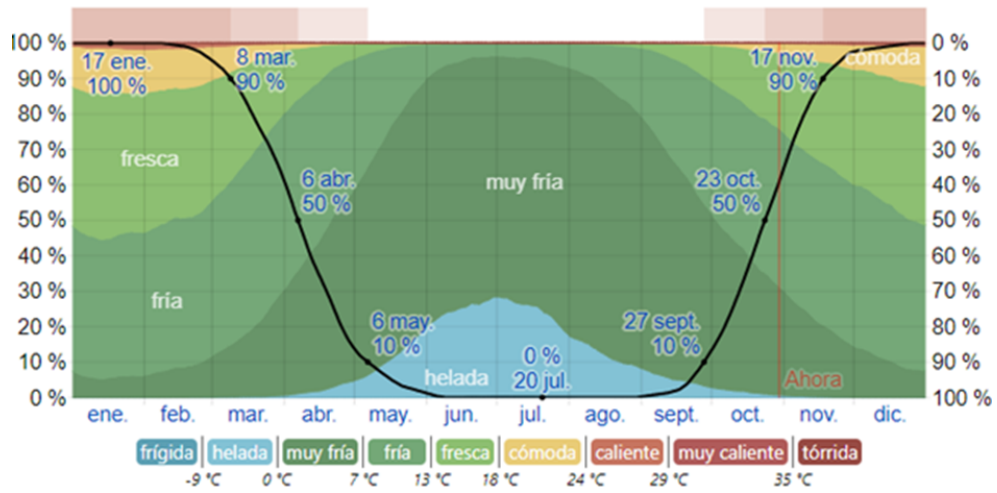


Figura 11. Tiempo que se pasa en diferentes bandas de temperatura y el período de cultivo. (En línea). Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Diseño del invernadero	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-DI-04
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026



**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Selección de orientación</b>	<b>4</b>
<b>3. Dimensionamiento</b>	<b>4</b>
<b>4. Cálculo de la estructura</b>	<b>5</b>
4.1. Carga de viento	5
4.2. Carga de nieve	8
<b>5. Selección de materiales</b>	<b>9</b>
5.1. Estructura	9
5.2. Cobertura	11
5.3. Suelo	12
5.4. Superficie de cultivo	13
5.5. Cortina cortavientos	16
<b>Anexo A - Tablas y gráficos para el cálculo de carga de viento</b>	<b>17</b>
<b>Anexo B - Tablas y gráficos para el cálculo de carga de nieve</b>	<b>21</b>

## 1. Introducción

En este documento se procede a describir y calcular los elementos que componen al invernadero.

## 2. Selección de orientación

Para definir la orientación del invernadero, se considera principalmente que se presente la menor superficie posible expuesta a los vientos desfavorables y contar con la mayor obtención de radiación solar para el desarrollo de los cultivos.

En función del análisis del clima, se establece la orientación este - oeste (E-O) que facilita la captación de la radiación y la capacidad de acumulación de calor.

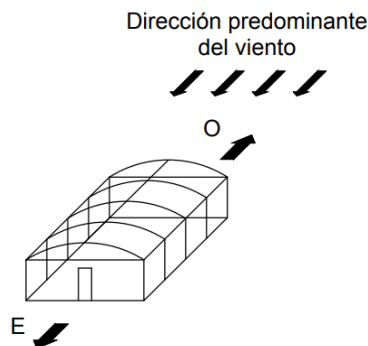


Figura 1. Orientación del invernadero.  
(Fuente: autores del proyecto)

## 3. Dimensionamiento

La relación largo-ancho define la superficie del invernadero que estará expuesta al medio exterior. Para zonas frías, según el INTA ([1], PF-B-13) se aconsejan invernaderos no menores de 12 metros de ancho y no mayores de 24 metros.

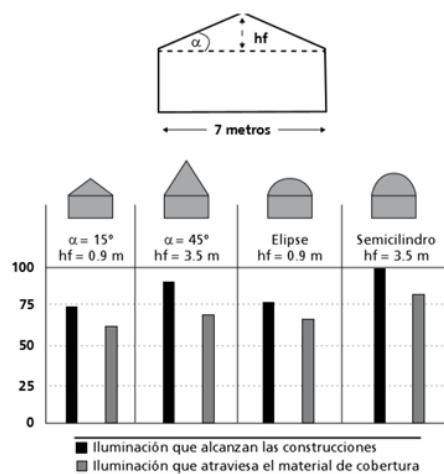


Figura 2. Cantidad de luz recibida por un invernadero en relación a la forma del techo.  
(Fuente: [1], PF-B-13)

Evaluando las condiciones climáticas de la zona (PF-EC-03), se determina que la forma de techo a implementar en este proyecto es elíptica. Aunque esto signifique un aumento de uso de material en un 6%, y por ende, una mayor superficie para el intercambio de calor con el exterior, se tiene por ventaja una mayor resistencia a los fuertes vientos de la región patagónica por su forma aerodinámica, y por lo tanto una mayor vida útil de la instalación. Igualmente, como se observa en la figura 2, la forma elíptica se encuentra con un rendimiento medio en cuanto a la iluminación recibida.

Se estipula que el emplazamiento va a comprender un invernadero de 3 módulos de 7 [m], es decir de un total de 21 [m] de ancho, y 40 [m] de largo. La superficie total cubierta es de 840 m<sup>2</sup>.

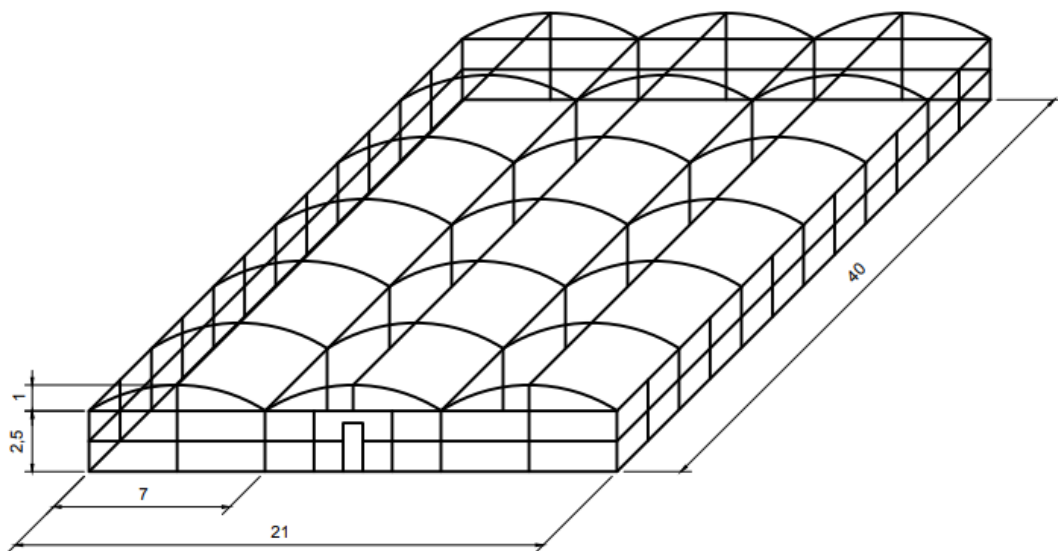


Figura 3. Características generales del invernadero.  
(Fuente: autores del proyecto)

#### 4. Cálculo de la estructura

La selección de los elementos estructurales constitutivos del invernadero, se realiza a partir del cálculo de las cargas o acciones que deben soportar.

La normativa a seguir es:

- CIRSOC 102 - Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones.
- CIRSOC 104 - Reglamento argentino de acción de la nieve y del hielo sobre las construcciones.

##### 4.1. Carga de viento

Siguiendo el procedimiento de cálculo presentado por el reglamento CIRSOC (Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles), la fuerza del viento está dada por la ecuación:

$$q_z = 0,613 K_z K_{zt} K_d V^2 I \quad [N/m^2]$$

Siendo:

- $q_z$  la presión dinámica efectiva del viento.
- $K_z$  el coeficiente de exposición a la presión dinámica que refleja el cambio de velocidad del viento con la altura y rugosidad del terreno (Tabla A-5).
- $K_{zt}$  el factor topográfico que contempla la aceleración del viento sobre colinas o escarpas.
- $K_d$  el factor de direccionalidad del viento (Tabla A-2).
- $V$  la velocidad básica del viento, que es la velocidad de ráfaga de 3 segundos a 10 metros sobre el nivel del terreno (Tabla A-1).
- $I$  el factor de importancia que ajusta la velocidad del viento a asociada con una probabilidad anual de 0,02 (Tabla A-3).

Teniendo en cuenta que la presión del viento aumenta con la altura, se efectúa un cálculo iterativo de  $K_z$  para estudiar el impacto a diferentes niveles de la estructura.

Altura [m]	V [m/s]	$K_d$	$I$	$K_z$	$q_z$ [N/m <sup>2</sup> ]
0,00	60,00	0,85	0,87	0,00	0,00
1,25	60,00	0,85	0,87	0,64	1 044,40
2,50	60,00	0,85	0,87	0,74	1 207,60
3,50	60,00	0,85	0,87	0,80	1 305,50

Tabla 1. Presión dinámica efectiva a lo largo de la estructura

Con la presión dinámica efectiva del viento se calcula la incidencia de carga de viento sobre el invernadero, denominada presión de viento de diseño, que tiene en cuenta:

1. La proporción entre las aberturas y la superficie lateral.
2. La rigidez o flexibilidad de la instalación.

$$p = q_z G C_p - (q_i G C_{pi}) \quad [N/m^2]$$

Siendo:

- $p$  la presión de viento de diseño
- $q_z$  la presión dinámica efectiva del viento.
- $q_i$  valor de  $q_z$  a la altura del coronamiento del edificio.
- $q_h$  valor de  $q_z$  a la altura del coronamiento del edificio.
- $G$  el factor de ráfaga.
- $C_p$  el coeficiente de presión externa (Tabla A-7).
- $G C_{pi}$  el coeficiente de presión interna (Tabla A-6).

Altura [m]	$q_z$ [N/m <sup>2</sup> ]	G	$C_p$	$q_i$ [N/m <sup>2</sup> ]	GC <sub>pi</sub>	p [N/m <sup>2</sup> ]
0,00	0,00	0,85	0,80	1305,50	0,18	-234,99
1,25	1044,40	0,85	0,80	1305,50	0,18	475,20
2,50	1207,60	0,85	0,80	1305,50	0,18	586,17
3,50	1305,50	0,85	0,80	1305,50	0,18	652,75

Tabla 2. Presión de viento a barlovento a lo largo de la estructura

Altura [m]	$q_h$ [N/m <sup>2</sup> ]	G	$C_p$	$q_i$ [N/m <sup>2</sup> ]	GC <sub>pi</sub>	p [N/m <sup>2</sup> ]
0,00	1305,50	0,85	-0,30	1305,50	-0,18	-97,91
1,25	1305,50	0,85	-0,30	1305,50	-0,18	-97,91
2,50	1305,50	0,85	-0,30	1305,50	-0,18	-97,91
3,50	1305,50	0,85	-0,30	1305,50	-0,18	-97,91

Tabla 3. Presión de viento a sotavento a lo largo de la estructura

Para determinar si el edificio es flexible o rígido se debe calcular el período de oscilación del edificio:

$$T = 0,08 \frac{h}{\sqrt{L}} \sqrt{\frac{h}{L+h}}$$

Donde:

- T es el tiempo que tarda el edificio en realizar una oscilación completa expresado en segundos.
- h es la altura total del edificio expresada en metros.
- L es la longitud en planta en metros.

$$T = 0,08 \frac{3,5}{\sqrt{40}} \sqrt{\frac{40}{3,5+40}}$$

$$T = 0,012 \Rightarrow \text{Si } T \leq 1 \text{ el edificio es rígido}$$

Si el edificio es rígido, según la norma el factor de ráfaga G es 0,85.

Altura [m]	Barlovento [N/m <sup>2</sup> ]	Sotavento [N/m <sup>2</sup> ]	Acción conjunta [N/m <sup>2</sup> ]	Área de influencia [m <sup>2</sup> ]	Fuerza horizontal [kN]
0,00	234,99	97,91	332,90	0,00	0,00
1,25	475,20	97,91	573,11	26,25	15,04
2,50	586,17	97,91	684,08	52,50	35,91
3,50	652,75	97,91	750,66	73,50	55,17

Tabla 4. Influencia de la fuerza horizontal resultante del viento contra el invernadero

- Verificación de esbeltez

$$\lambda = \frac{\text{altura}}{\text{lado menor}} = \frac{3,5 [m]}{21 [m]} = 0,16 < 10 \text{ (reglamento)} \Rightarrow \text{verifica}$$

- Verificación de rigidez

$$\frac{\text{lado mayor}}{\text{lado menor}} = \frac{40 [m]}{21 [m]} = 1,90 < 5 \text{ (reglamento)} \Rightarrow \text{verifica}$$

## 4.2. Carga de nieve

Respetando el procedimiento de cálculo presentado por el reglamento CIRSOC (Centro de Investigación de los Reglamentos Nacionales de Seguridad para las Obras Civiles), la carga de nieve sobre una cubierta está dada por:

$$p_s = C_s p_f \quad [kN/m^2]$$

Siendo:

- $p_s$  la carga de nieve sobre una cubierta con pendiente.
- $C_s$  el factor de pendiente de la cubierta que depende de la calidez, curvatura y multiplicidad.
- $P_f$  es la carga de nieve sobre una cubierta plana.
- $C_t$  es el factor térmico, que determina si una cubierta es fría o cálida.

Según la tabla B-1, el factor térmico  $C_t$  es 0,85.

Las cubiertas constituidas por bóvedas cilíndricas continuas deben tener un coeficiente  $C_s = 1$ , sin reducción en la carga de nieve debido a la pendiente. Entonces  $p_s = p_f$ .

La carga de nieve,  $p_f$ , sobre una cubierta con pendiente igual o menor que 5°, se debe determinar utilizando la siguiente expresión:

$$p_f = 0,7 C_e C_t I p_g \quad [kN/m^2]$$

Siendo:

- $C_e$  el factor de exposición.
- $p_g$  la carga de nieve a nivel del terreno.
- $C_t$  el factor térmico.

- I el factor de importancia.

Parámetro	Tabla	Valor	Unidad
$p_g$	B-1	0,45	[kN/m <sup>2</sup> ]
$C_t$	B-2	0,85	[-]
$C_e$	B-3	0,90	[-]
I	B-4	0,80	[-]
$P_f$	-	0,19	[kN/m <sup>2</sup> ]

Tabla 5. Valores adoptados para el cálculo de la carga de nieve

Con el valor de  $C_s$  se obtiene la curva correspondiente de cargas balanceadas.



Figura 4. Carga de nieve balanceada para cubierta curva  
(Fuente: [4], PF-B-13)

## 5. Selección de materiales

La selección de materiales se lleva a cabo conociendo las propiedades físico-mecánicas, ópticas y térmicas para su posterior evaluación en base al tipo de invernadero y las condiciones externas.

### 5.1. Estructura

La estructura del invernadero está compuesta por los elementos mostrados en la figura 5.

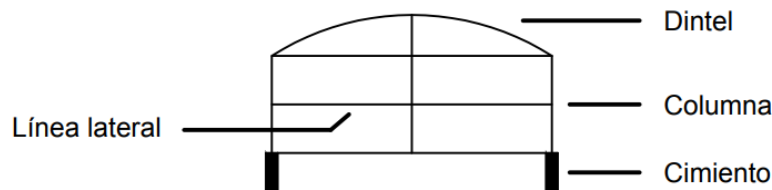


Figura 5. Elementos estructurales  
(Fuente: autores del proyecto)

Sobre la base de los cálculos realizados en el apartado anterior, procurando la resistencia a las cargas a las que se podrá ver sometido el recinto agrícola, se eligen los componentes apropiados. Los mismos se indican en la tabla 6.



Partes	Material
Dintel	Barra de hierro perfil doble T IPN 100
Columna	Barra de hierro perfil doble T IPN 100
Línea lateral	Barra lisa rectangular de hierro
Cimiento	Hormigón H17
Canales	Plástico PVC

Tabla 6. Materiales de la estructura

La fijación del cerramiento plástico se realiza mediante resortes zig-zag unidos a los perfiles y líneas laterales del invernadero.

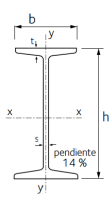
	IPN	Dimensiones				Sección	Peso
		h [mm]	b [mm]	s [mm]	t [mm]	s [cm <sup>2</sup> ]	G [kg/m]
	100	100,00	50,00	4,50	6,80	10,60	8,30

Tabla 7. Características del perfil doble T IPN 100  
([En línea] Disponible en: <https://www.acindar.com.ar/>)

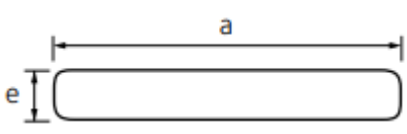
	Dimensiones	
	a [mm]	e [mm]
	25,40	3,20

Tabla 8. Características de la barra lisa rectangular de hierro  
(Fuente: Athena)



Figura 6. Medio de sujeción de la cobertura a las columnas  
(Fuente: Athena)

El invernadero cuenta con canales de plástico PVC entre las uniones de los módulos, con la finalidad de evitar tanto el estancamiento de agua como filtraciones.

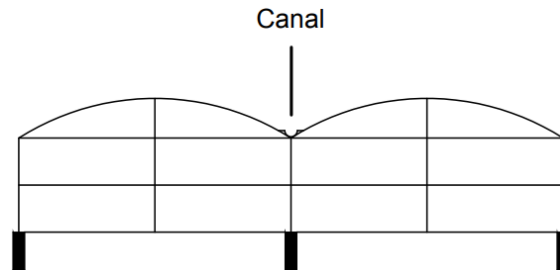


Figura 7. Canal entre módulos  
(Fuente: autores del proyecto)

## 5.2. Cobertura

En este proyecto se busca aumentar la transmisividad y reducir el ataque de enfermedades a los cultivos por lo que se selecciona el PE de baja densidad (PEBD) y de larga duración con efecto térmico y antigoteo. A continuación se presentan sus propiedades en las tablas 9, 10, 11 y 12.

Ancho [m]	Espesor [ $\mu$ ]	Largo [m]
3,60	100 y 150	100
4,20	100 y 150	100
7,20	100 y 150	50
8,00	100 y 150	50
9,00	100 y 150	50
12,00	150 y 200	50

Tabla 9. Características de extensión y espesor de los films de PEBD LD Térmico Antigoteo disponibles en Argentina en forma estándar  
(Fuente: [1], PF-B-13)

<b>Alargamiento a la rotura [%]</b>	400
<b>Módulo de tracción [GPa]</b>	0,1 a 0,3
<b>Resistencia a la tracción [MPa]</b>	5 a 25

Tabla 10. Propiedades mecánicas del PEBD LD Térmico Antigoteo  
([En línea]. Disponible en: <https://grupo-ap.com.ar/>)

<b>Calor específico [J K<sup>-1</sup> kg<sup>-1</sup>]</b>	1900
<b>Coefficiente de expansión térmica [x10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>]</b>	100 a 200
<b>Conductividad térmica a 23°C [W m<sup>-1</sup> K<sup>-1</sup>]</b>	0,33
<b>Temperatura máxima de utilización [°C]</b>	50 a 90
<b>Temperatura mínima de utilización [°C]</b>	-60

Tabla 11. Propiedades térmicas del PEBD LD Térmico Antigoteo  
([En línea]. Disponible en: <https://grupo-ap.com.ar/>)

<b>Absorción de agua en 24 horas [%]</b>	0,015
<b>Densidad [g cm<sup>-3</sup>]</b>	0,92
<b>índice refractivo</b>	1,51
<b>Resistencia a los rayos UV</b>	Aceptable
<b>índice de oxígeno límite [%]</b>	17

Tabla 12. Propiedades físicas del PEBD LD Térmico Antigoteo  
([En línea]. Disponible en: <https://grupo-ap.com.ar/>)

### 5.3. Suelo

Por factores térmicos se opta por cubrir el suelo con geotextil PAVCO, una malla no tejida de polipropileno.

<b>Propiedad</b>	<b>Norma</b>	<b>Unidad</b>	<b>Valor</b>
Elongación Resistencia a la tensión	ASTM D4632	[N] %	450 >50
Resistencia al punzonamiento	ASTM D6241	[kN]	1,2
Resistencia al rasgado trapezoidal	ASTM D4533	[N]	190

Tabla 13. Propiedades mecánicas del geotextil PAVCO  
([En línea]. Disponible en: <https://grupo-ap.com.ar/>)

Propiedad	Norma	Unidad	Valor
Tamaño de apertura aparente	ASTM D4751	[mm]	0,180
Permeabilidad	ASTM D4491	[cm/s]	46 x 10 <sup>-2</sup>
Permitividad	ASTM D4491	[s]	2,9
Tasa de flujo	ASTM D4491	[l/min/m <sup>2</sup> ]	8109
Retención de asfalto	ASTM D6140	[L/m <sup>2</sup> ]	N.A.

Tabla 14. Propiedades hidráulicas del geotextil PAVCO  
([En línea]. Disponible en: <https://grupo-ap.com.ar/>)

Propiedad	Norma	Unidad	Valor
Espesor	ASTM D5199	[mm]	1,6
Resistencia UV @ 500 hr	ASTM D4355	[%]	>70
Punto de fusión	ASTM D276	[°C]	N.A.
Ancho	Medido	[m]	4,0
Largo	Medido	[m]	90 105 120 160 200
Área	Calculado	[m <sup>2</sup> ]	360 420 480 640 800

Tabla 15. Propiedades físicas del geotextil PAVCO  
([En línea]. Disponible en: <https://grupo-ap.com.ar/>)

#### 5.4. Superficie de cultivo

Se aplica el sistema de láminas de agua (NFT) que consiste en la circulación continua de una fina capa (2 a 3 [mm]) de solución nutritiva a través de las raíces, mediante una serie de canales de PVC perforados cada cierta distancia.

En la siguiente tabla se pueden observar las medidas estándares ([12], PF-B-13) a implementar para las mesas de cultivo:

Parámetro	Valor	Unidad
Ancho	1,60 a 2,00	[m]
Longitud	hasta un máximo de 12	[m]
Altura	0,70 a 1,00	[m]
Pasillos	0,70	[m]
Pendiente	3,00	[%]
Distancia entre plantas	0,20 a 0,25	[m]
Diámetro de canal de riego	3,00	[pulg]

Tabla 16. Medidas recomendadas para mesas de cultivo  
(Fuente: [12], PF-B-13)

En la figura 8 se expresan las magnitudes selectas para este proyecto.

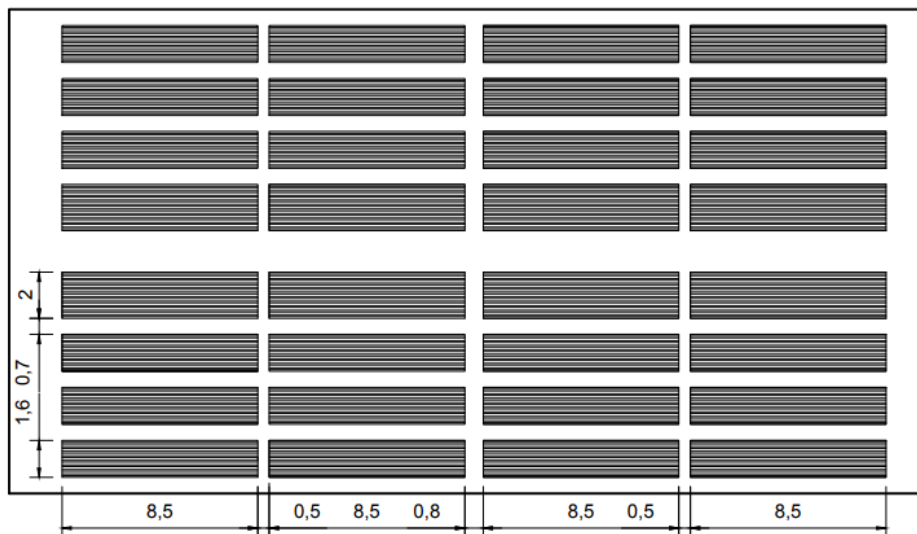


Figura 8. Distribución de mesas de cultivo  
(Fuente: autores del proyecto)

Las medidas tienen fundamento en facilitar que el personal pueda operar cómodamente, tanto así en la cosecha como en el tránsito dentro del recinto.

La longitud de la mesa de cultivo es crítica ya que involucra la oxigenación nutritiva de las plantas. Si supera los 12 metros, ésta última comienza a reducirse provocando alteraciones perjudiciales en los cultivos ([14], PF-B-13).

El intervalo entre cada orificio de los canales de cultivo es de 20 [cm] para permitir el crecimiento de las plantas sin obstrucciones ([14], PF-B-13).

La pendiente es la que va a permitir la recirculación del agua de riego en el sistema, mediante la recogida por drenajes.

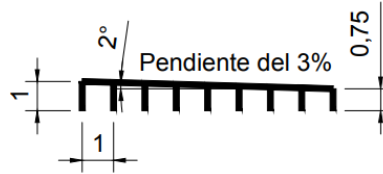


Figura 9. Características de las mesas de cultivo  
(Fuente: autores del proyecto)

Las mesas de cultivo consisten en soportes metálicos hechos con tubos estructurales de sección cuadrada de 2 x 2", como se muestra en la figura 10. Los canales de riego se fijan a los soportes mediante grapas omega.

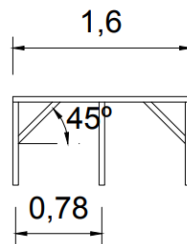


Figura 10. Soporte de madera  
(Fuente: autores del proyecto)

A continuación se indican los materiales empleados en la superficie de cultivo:

Elemento	Material
Soportes	Tubo estructural metálico
Canales de riego	Tubo PVC cilíndrico
Medio de sujeción de canales	Grapas omega

Tabla 17. Materiales de las mesas de cultivo

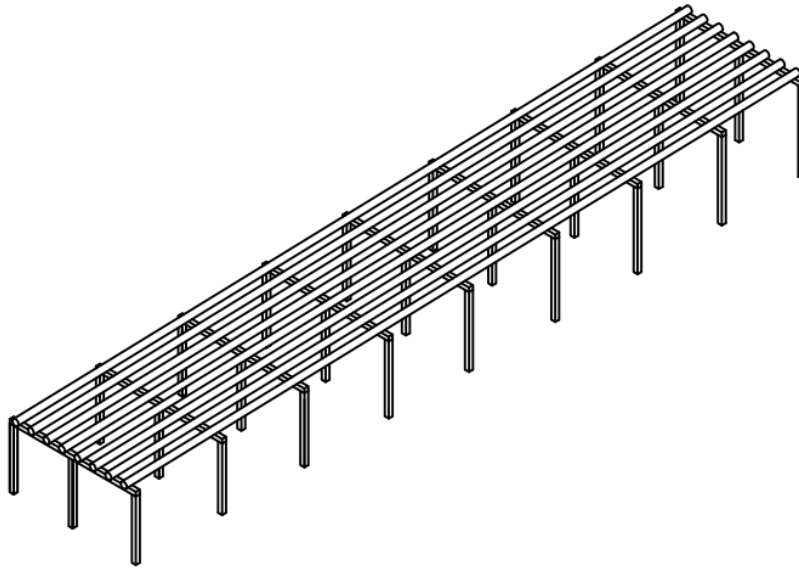


Figura 11. Vista en perspectiva de la mesa de cultivo.  
(Fuente: autores del proyecto)

### 5.5. Cortina cortavientos

Se coloca una cortina cortavientos a 4 [m] de la cara oeste de la estructura, que es la que se ve principalmente sometida a los esfuerzos ocasionados por el viento. La misma se construye con una malla tejida de PVC y pilares de madera dispuestos a 2 [m] de distancia cada uno.

<b>Material cortina</b>	Malla tejida de PVC
<b>Material pilares</b>	Viga de madera
<b>Altura h [m]</b>	3,6
<b>Largo [m]</b>	22

Tabla 18. Características de la cortina cortavientos

## Anexo A - Tablas y gráficos para el cálculo de carga de viento

Debido a la naturaleza académica del proyecto se ha considerado de utilidad reproducir las tablas y gráficos utilizados en los cálculos. Las tablas y gráficos anexados a continuación provienen del CIRSOC 102.

CIUDAD	V (m/s)
BAHIA BLANCA	55,0
BARILOCHE	46,0
BUENOS AIRES	45,0
CATAMARCA	43,0
COMODORO RIVADAVIA	67,5
CORDOBA	45,0
CORRIENTES	46,0
FORMOSA	45,0
LA PLATA	46,0
LA RIOJA	44,0
MAR DEL PLATA	51,0
MENDOZA	39,0
NEUQUEN	48,0
PARANA	52,0
POSADAS	45,0
RAWSON	60,0
RESISTENCIA	45,0
RIO GALLEGOS	60,0
ROSARIO	50,0
SALTA	35,0
SANTA FE	51,0
SAN JUAN	40,0
SAN LUIS	45,0
SAN MIGUEL DE TUCUMAN	40,0
SAN SALVADOR DE JUJUY	34,0
SANTA ROSA	50,0
SANTIAGO DEL ESTERO	43,0
USHUAIA	60,0
VIEDMA	60,0

Tabla A-1. Velocidades básicas del viento por ciudades, V



Tipo de estructura	Factor de direccionalidad $K_d$ *
Edificios	
Sistema principal resistente a la fuerza de viento	0,85
Componentes y revestimientos	0,85
Cubiertas abovedadas	0,85
Chimeneas, tanques y estructuras similares	
Cuadradas	0,90
Hexagonales	0,95
Redondas	0,95
Carteles llenos	0,85
Carteles abiertos y estructura reticulada	0,85
Torres reticuladas	
Triangular, cuadrada, rectangular	0,85
Toda otra sección transversal	0,95

Tabla A-2. Factor de direccionalidad,  $K_d$

Categoría	$I$
I	0,87
II	1,00
III	1,15
IV	1,15

Tabla A-3. Factor de importancia,  $I$

Exposición	$\alpha$	$z_g$ (m)	$\hat{a}$	$\hat{b}$	$\bar{\alpha}$	$\bar{b}$	$c$	$\ell$ (m)	$\bar{\varepsilon}$	$z_{min}$ (m)
A	5,0	457	1/5	0,64	1/3,0	0,30	0,45	55	1/2,0	18,3
B	7,0	366	1/7	0,84	1/4,0	0,45	0,30	98	1/3,0	9,2
C	9,5	274	1/9,5	1,00	1/6,5	0,65	0,20	152	1/5,0	4,6
D	11,5	213	1/11,5	1,07	1/9,0	0,80	0,15	198	1/8,0	2,1

Tabla A-4. Constante de exposición del terreno,  $z_g$ .

Tabla 5		Coeficientes de exposición para la presión dinámica, $K_h$ y $K_z$					
Altura sobre el nivel del terreno, $z$ (m)	Exposición (Nota 1)						
	A		B		C	D	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Casos 1 y 2	Casos 1 y 2	
0 – 5	0,68	0,33	0,72	0,59	0,87	1,05	
6	0,68	0,36	0,72	0,62	0,90	1,08	
7,50	0,68	0,39	0,72	0,66	0,94	1,12	
10	0,68	0,44	0,72	0,72	1,00	1,18	
12,50	0,68	0,48	0,77	0,77	1,05	1,23	
15	0,68	0,51	0,81	0,81	1,09	1,27	
17,50	0,68	0,55	0,84	0,84	1,13	1,30	
20	0,68	0,57	0,88	0,88	1,16	1,33	
22,50	0,68	0,60	0,91	0,91	1,19	1,36	
25	0,68	0,63	0,93	0,93	1,21	1,38	
30	0,68	0,68	0,98	0,98	1,26	1,43	
35	0,72	0,72	1,03	1,03	1,30	1,47	
40	0,76	0,76	1,07	1,07	1,34	1,50	
45	0,80	0,80	1,10	1,10	1,37	1,53	
50	0,83	0,83	1,14	1,14	1,40	1,56	
55	0,86	0,86	1,17	1,17	1,43	1,59	
60	0,89	0,89	1,20	1,20	1,46	1,61	
75	0,98	0,98	1,28	1,28	1,53	1,68	
90	1,05	1,05	1,35	1,35	1,59	1,73	
105	1,12	1,12	1,41	1,41	1,64	1,78	
120	1,18	1,18	1,46	1,46	1,69	1,82	
135	1,23	1,23	1,51	1,51	1,73	1,86	
150	1,29	1,29	1,56	1,56	1,77	1,89	

Notas:

- Caso 1:**
  - Todos los componentes y revestimientos.
  - Sistema principal resistente a la fuerza del viento en edificios de baja altura diseñados usando la Figura 4.
- Caso 2:**
  - Todos los sistemas principales resistentes a la fuerza de viento con excepción de aquellos en edificios de baja altura diseñados usando la Figura 4.
  - Todos los sistemas principales resistentes a la fuerza de viento en otras estructuras.

2. El coeficiente de exposición para la presión dinámica se puede determinar mediante la siguiente expresión:

Para  $5 \text{ m} \leq z \leq z_g$ :  $K_z = 2,01(z/z_g)^{2/\alpha}$

Para  $z < 5 \text{ m}$ :  $K_z = 2,01(5/z_g)^{2/\alpha}$

Tabla A-5. Coeficiente de exposición a la presión dinámica,  $K_z$

Clasificación de cerramiento	(GCpi)
Edificios abiertos	0,00
Edificios parcialmente cerrados	+0,55 -0,55
Edificios cerrados	+0,18 -0,18

Tabla A-6. Coeficiente de presión interna, GCpi.

**Coeficientes de presión en paredes,  $C_p$**

Superficie	$L/B$	$C_p$	Usar con
Pared a barlovento	Todos los valores	0,8	$q_z$
	0 – 1	-0,5	
Pared a sotavento	2	-0,3	$q_h$
	$\geq 4$	-0,2	
Paredes laterales	Todos los valores	- 0,7	$q_h$

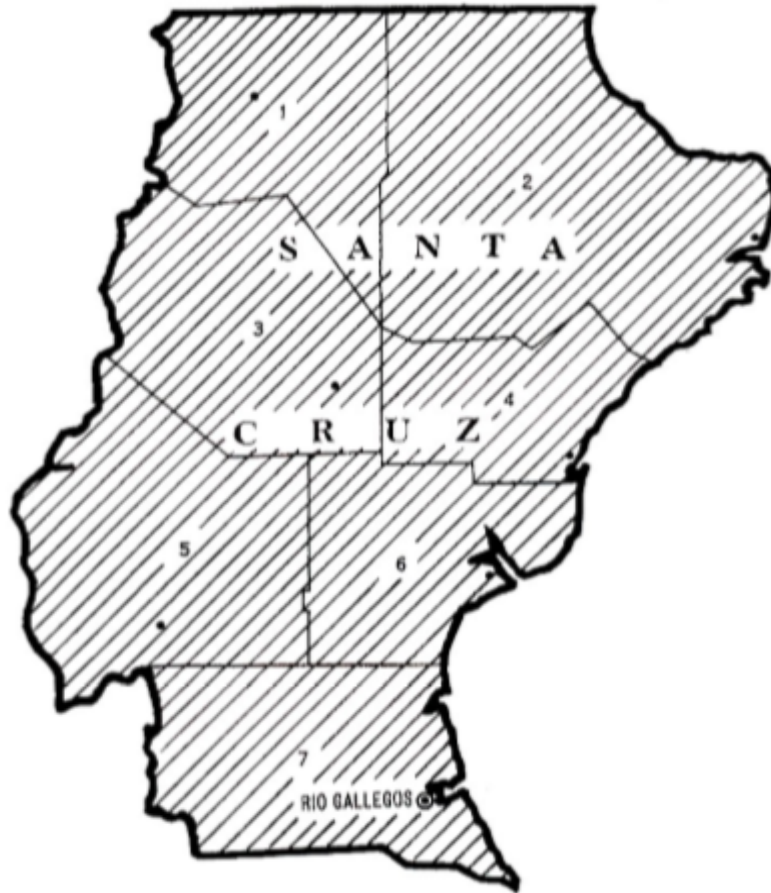
Tabla A-7. Coeficiente de presión en paredes,  $C_p$ .

## Anexo B - Tablas y gráficos para el cálculo de carga de nieve

Las tablas y gráficos anexados a continuación provienen del CIRSOC 104.

Condición Térmica (*)	$C_t$
Todas las estructuras excepto las que se indican a continuación	1,0
Estructuras mantenidas justo por encima del congelamiento y otras con cubiertas frías ventiladas en las cuales la resistencia térmica, $R$ , entre el espacio ventilado y el espacio calefaccionado sea $> 4,4 \text{ K m}^2/\text{W}$ (kelvin metro cuadrado por watt)	1,1
Estructuras no calefaccionadas y estructuras intencionalmente mantenidas debajo del punto de congelamiento	1,2
Invernaderos continuamente calefaccionados (**) con una cubierta con resistencia térmica, $R$ , $< 0,4 \text{ K m}^2/\text{W}$ (kelvin metro cuadrado por watt)	0,85
<p>(*) Estas condiciones deben ser representativas de aquellas previstas para los inviernos durante la vida de la estructura.</p> <p>(**) Los invernaderos continuamente calefaccionados son aquellos con una temperatura interior constantemente mantenida de <math>10^\circ \text{C}</math> ó más, en cualquier punto a <b>1 m</b> sobre el nivel de piso durante los inviernos y que tengan un asistente de mantenimiento constante, o un sistema de alarma de temperaturas para avisar en caso de falla de la calefacción.</p> <p><math>1 \text{ K m}^2 / \text{W} = 1^\circ \text{C m}^2 / \text{W}</math></p>	

Tabla B-1. Factor térmico,  $C_t$ .



N°	LOCALIDAD	DEPARTAMENTO	HSNM	$p_g$ (kN/m <sup>2</sup> )
5	El Calafate	Lago Argentino	225	1,2
3	Gobernador Gregores	Río Chico	280	2,0
1	Perito Moreno	Lago Buenos Aires	410	3,2
2	Puerto Deseado	Deseado	13	0,3
4	Puerto San Julián	Magallanes	19	0,4
6	Puerto Santa Cruz	Corpen Aike	40	0,4
7	Río Gallegos	Güer Aike	16	0,45

Tabla B-2. Provincia de Santa Cruz, Carga de nieve a nivel del terreno  $p_g$ .

Categoría de terreno	Exposición de la cubierta <sup>(7)</sup>		
	totalmente expuesta	parcialmente expuesta	protegida
A (ver Apéndice A)	N/A	1,1	1,3
B (ver Apéndice A)	0,9	1,0	1,2
C (ver Apéndice A)	0,9	1,0	1,1
D (ver Apéndice A)	0,8	0,9	1,0
Encima de la línea de árboles en áreas montañosas barridas por el viento	0,7	0,8	N/A

Tabla B-3. Factor de exposición, *C<sub>e</sub>*.

Categoría *	<i>I</i>
I	0,8
II	1,0
III	1,1
IV	1,2

\* Ver Apéndice B

Tabla B-4. Factor de importancia, *I*.

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Sistema de acondicionamiento térmico	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-SAT-05
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**



## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Balance térmico</b>	<b>4</b>
2.1. Radiación neta	4
2.2. Calor perdido por conducción-convección	5
2.3. Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior	6
2.4. Calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo	8
2.5. Flujo de calor perdido por conducción a través del suelo	9
2.6. Energía calorífica que se necesita aportar o eliminar del invernadero	9
<b>3. Selección de equipo de calefacción</b>	<b>10</b>
<b>4. Dimensionamiento de conductos</b>	<b>11</b>
<b>5. Selección de equipos de ventilación</b>	<b>13</b>
<b>Anexo A - Ábacos para el diseño de conductos</b>	<b>15</b>

## 1. Introducción

El invernadero se concibe para proteger al cultivo de los efectos adversos del medio, generando un microclima diferente del exterior. Mediante la implementación de un sistema de calefacción y de ventilación natural y forzada se asiste a la instalación en cuanto a los cambios de temperatura, humedad y concentración de dióxido de carbono en el ambiente. Las condiciones iniciales se definen a partir del balance térmico para conocer las ganancias y pérdidas existentes.

Los valores adoptados para los coeficientes utilizados en el cálculo del balance térmico, se extraen del manual técnico “Ahorro y eficiencia energética en Invernaderos” producido por el IDAE ([13], PF-B-13).

## 2. Balance térmico

$$R_n + Q_{cli} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{eva} + Q_{sue}$$

Siendo:

- $R_n$ : radiación neta.
- $Q_{cli}$ : energía calorífica que es necesario aportar ( $Q_{cal}$ ) o eliminar ( $Q_{ref}$ ) del invernadero.
- $Q_{cc}$ : calor perdido por conducción-convección.
- $Q_{ren}$ : calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior.
- $Q_{eva}$ : calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo.
- $Q_{sue}$ : flujo de calor perdido por conducción a través del suelo.

### 2.1. Radiación neta

Interesa, principalmente, el control de temperatura mínimas. Teniendo en cuenta la temperatura mínima media mensual y temperatura mínima absoluta anual.

$$R_n = \sigma S_{inv} P (t_i^4 - t_e^4) [W]$$

Donde:

- $R_n$  es la radiación neta
- $\sigma$  es la constante de Stefan  $5,67 \times 10^{-8} [W / m^2 K^4]$ .
- $S_{inv}$  es la superficie del invernadero en  $[m^2]$ .
- $P$  es la permeabilidad de las radiaciones (polietileno = 0,8).
- $t_i$  y  $t_e$  son las temperaturas absolutas interior y exterior respectivamente.

Parámetros	Valor	Unidad
$S_{inv}$	840	$[m^2]$
$P$	0,80	$[-]$
$t_i$	291,15	$[K]$
$t_e$	272,15	$[K]$

$R_n$	64 772	[W]
	55 693	[kcal / h]

Tabla 1. Valores adoptados para el cálculo de  $R_n$

## 2.2. Calor perdido por conducción-convección

En los intercambios energéticos por conducción-convección entre interior del invernadero y el ambiente exterior, el calor que pasa por unidad de superficie de cubierta ( $m^2$ ) y por unidad de tiempo (s), puede expresarse mediante las siguientes expresiones:

$$Q_{cc} = S_d K_{cc} (t_i - t_e) [W]$$

Siendo:

- $Q_{cc}$ : el calor perdido por conducción-convección.
- $S_d$ : superficie desarrollada cubierta del invernadero [ $m^2$ ].
- $t_i$ : temperatura interior [ $^{\circ}C$ ].
- $t_e$ : temperatura exterior [ $^{\circ}C$ ].
- $K_{cc}$ : coeficiente global de pérdidas de calor por conducción-convección [ $W / m^2 K$ ].

$$K_{cc} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_c}{\lambda_c} + \frac{1}{h_e}}$$

Donde:

- $e_c$ : espesor del material de cobertura [m].
- $\lambda_c$ : conductibilidad térmica del material de cobertura [ $W / m K$ ] (tabla 13).
- $h_e$ : coeficiente superficial de convección para el ambiente exterior del invernadero [ $W / m^2 K$ ] (tabla 13).
- $h_i$ : coeficiente superficial de convección para el ambiente interior del invernadero [ $W / m^2 K$ ] (tabla 13).

En donde  $h_i$  puede ser:

$$h_i = 1,95 (T_c - T_i)^{0,3} \quad \text{para } (T_c - T_i) \leq 11,1^{\circ}C$$

$$h_i = 7,2 \quad \text{para } (T_c - T_i) > 11,1^{\circ}C$$

Y  $h_e$  se obtiene de una ecuación empírica:

$$h_e = 0,95 + 6,76 V^{0,49}$$

Parámetro	Valor	Unidad
$h_i$	7,20	[W / $m^2 K$ ]
$h_e$	18,28	[W / $m^2 K$ ]

$e_c$	0,00015	[m]
$\lambda_c$	0,33	[W / m K]
$K_{cc}$	5,1533	[W / m <sup>2</sup> K]
$Q_{cc}$	<b>82 247</b>	<b>[W]</b>
	<b>70 719</b>	<b>[kcal/h]</b>

Tabla 2. Valores utilizados para determinar  $Q_{cc}$

### 2.3. Calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior

La circulación de aire supone una pérdida o ganancia de energía según las diferencias de temperatura y humedad en el exterior.

$$Q_{ren} = \frac{V_{in} R}{3600 \rho [c_{pa} (t_i - t_e) + \lambda_o (x_i - x_e) + c_{pv} (x_i t_i - x_e t_e)]} [W]$$

Donde:

- $Q_{ren}$  es el calor sensible y latente perdido por la renovación del aire interior
- $V_{inv}$  es el volumen del invernadero.
- $C_{pa}$  es el calor del aire.
- $C_{pv}$  es el calor específico del vapor recalentado.
- $x_i, x_e$  son la humedad absoluta interior y exterior respectivamente. Son función de la humedad relativa.

$$x = \frac{0,6219 HR e_s}{p - HR e_s}$$

- $e_s$  es la presión parcial del vapor de saturación.

$$e_s = 6,1078 e^{\left[ \frac{17,269 t}{t + 237,3} \right]} [hPa]$$

- $\rho$  es la densidad del aire en función de la temperatura y la presión.

$$\rho = \frac{1000 p}{1,01287 + (t + 279,16)}$$

- $p$  es la presión dentro del invernadero que se puede considerar igual a la presión atmosférica.

$$p_{atm} = 101,3 \left[ \frac{293 - 0,0065 z}{293} \right]^{5,26}$$

- $\lambda_o$  es el calor latente de vaporización.

$$\lambda_o = 2502535,259 - 2385,76424 t \quad [Jkg^{-1}]$$

- R es la tasa de renovación de aire por infiltración a través de la estructura.

$$R = 3\,600 [sh^{-1}] \frac{G}{V_{inv}}$$

- G es el caudal de aire que entra y sale del invernadero, combinando los efectos de diferencia de temperatura y el viento. g: es la aceleración de la gravedad [ $m/s^2$ ],  $h_{12}$  la diferencia de altura entre las aperturas de ventilación lateral y cenital [m],  $s_1$  es la superficie efectiva de ventilación lateral [ $m^2$ ],  $s_2$  es la superficie efectiva de ventilación cenital [ $m^2$ ] y  $c_v$  es el coeficiente adimensional de efecto del viento.

$$G = C_d \sqrt{2g \frac{h_{12} \Delta T}{T_e \left( \frac{1}{s_1^2} + \frac{1}{s_2^2} \right)} + \left( \frac{s_1 + s_2}{2} \right)^2 C_v V^2} \quad [m^3 s^{-1}]$$

- $C_d$  es el coeficiente de caída de presión a través de una ventana con mallas anti-insectos y depende del coeficiente de pérdida de carga F. Para invernaderos sin mallas existen datos para las diferentes geometrías de ventanas.

$$C_d = F^{-1/2}$$

Parámetro	Valor	Unidad
$V_{in}$	2 520	[ $m^3$ ]
R	0,75	[ $h^{-1}$ ]
$C_{pa}$	1 006,92	[ $W kg^{-1} ^\circ C^{-1}$ ]
$C_{pv}$	1 875,68	[ $W / kg ^\circ C$ ]
$x_i$	0,50	[kg / kg]
$x_e$	0,41	[kg / kg]
$\rho$	1,20	[kg / $m^3$ ]
$\lambda_o$	2,25	[ $W / kg$ ]
$Q_{ren}$	<b>29 045</b>	<b>[W]</b>
	<b>24 974</b>	<b>[kcal / h]</b>

Tabla 3. Datos empleados para calcular  $Q_{ren}$

## 2.4. Calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas y el suelo

$$Q_{evp} = \lambda_o ET_c \quad [W]$$

Siendo:

- $Q_{evp}$  es el calor latente consumido en la evapotranspiración de las plantas
- $\lambda_o$  el calor latente de vaporización.
- $ET_c$  es la evapotranspiración del cultivo.

$$ET_c = k_c ET_o$$

- $ET_o$  es la evapotranspiración potencial dentro del invernadero.

$$ET_o = \frac{0,408 \Delta (R_n - Q_{sue}) + \frac{37\gamma}{T_i} uDPV_c}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u)}$$

- $\Delta$  es la pendiente de la curva de presión de vapor.

$$\Delta = 4098 \frac{0,61078 e^{-\frac{17,269 t}{t + 237,3}}}{(t + 237,3)^2} \quad [kPa C^{-1}]$$

- $\gamma$  es la constante psicrométrica en función de la presión atmosférica, la capacidad calorífica del aire y el calor latente de vaporización.

$$\gamma = \frac{C_{pa} p_{atm}}{0,6219 \lambda_o}$$

- $k_c$  es la constante del cultivo, estimada en función del índice de área foliar del cultivo.

$$k_c = k_{cini} + \frac{k_{cmid} + k_{cini}}{3} LAI$$

Parámetro	Valor	Unidad
$\lambda_o$	2,25	[W / kg]
$ET_c$	9 755,50	[mm día <sup>-1</sup> ]
$Q_{evp}$	<b>21 949,87</b>	<b>[W]</b>
	<b>18 873,49</b>	<b>[kcal / h]</b>

Tabla 4. Datos para el cálculo de  $Q_{evp}$

## 2.5. Flujo de calor perdido por conducción a través del suelo

$$Q_{sue} = \frac{K_s S_c (t_i - t_s)}{p} \quad [W]$$

Donde:

- $Q_{sue}$  es el flujo de calor perdido por conducción a través del suelo.
- $k_s$  es el coeficiente de intercambio térmico a través del suelo [ $W/m^2 \text{ } ^\circ C$ ].
- $T_s$  es la temperatura del suelo del invernadero [ $^\circ C$ ].
- $p$  es la profundidad a la que se estima la diferencia de temperatura [m].

Se considera nulo el término de flujo de calor perdido por conducción a través del suelo ya que se utiliza ground cover PAVCO, siendo  $K_s = 0$ .

## 2.6. Energía calorífica que se necesita aportar o eliminar del invernadero

Finalmente, el calor que es necesario suministrar mediante el sistema de calefacción o que hay que eliminar con los sistemas de refrigeración se deduce como:

$$Q_{cli} = Q_{cc} + Q_{ren} + Q_{evp} + Q_{sue} - R_n$$

Parámetro	Valor	Unidad
$R_n$	64 772	[W]
$Q_{cc}$	82 247	[W]
$Q_{ren}$	29 045	[W]
$Q_{evp}$	21 952	[W]
$Q_{sue}$	-	[W]
$Q_{cli}$	<b>68 472</b>	<b>[W]</b>
	<b>58 875</b>	<b>[kcal / h]</b>

Tabla 5. Energía calorífica necesaria considerando una temperatura exterior media de  $-1 \text{ } ^\circ C$

Parámetro	Valor	Unidad
$R_n$	104 575	[W]
$Q_{cc}$	152 460	[W]
$Q_{ren}$	57 013	[W]
$Q_{evp}$	21 952	[W]

$Q_{sue}$	-	[W]
$Q_{cli}$	126 850	[W]
	109 071	[kcal / h]

Tabla 6. Energía calorífica necesaria considerando una temperatura exterior de -15 °C

### 3. Selección de equipo de calefacción

En base al cálculo de la energía calorífica exigida en las condiciones climáticas más desfavorables de la zona (temperatura exterior de -15 °C), se elige la calefacción por generación de aire caliente a gas natural. En la tabla 7 y en la figura 1 se presentan las características más relevantes del equipo.

<b>Marca</b>	Ciroc
<b>Modelo</b>	CC-125
<b>Potencia térmica [kcal / h]</b>	136 000
<b>Rendimiento [%]</b>	89
<b>Potencia eléctrica [W]</b>	2 100
<b>Caudal de aire [m<sup>3</sup> / h]</b>	9 100
<b>Consumo de GN [m<sup>3</sup> / h]</b>	14,6
<b>Peso [kg]</b>	259
<b>Altura [mm]</b>	1925
<b>Ancho [mm]</b>	765
<b>Profundidad [mm]</b>	1085
<b>Diámetro de chimenea [mm]</b>	200
<b>Alimentación [V]</b>	380

Tabla 7. Especificaciones técnicas del equipo de calefacción





Figura 1. Generador de aire caliente Ciroc CC-125.  
(Fuente: Ciroc)

#### 4. Dimensionamiento de conductos

La repartición uniforme de aire caliente sobre la superficie del local se efectúa por conductos de aire.

El gráfico A-1 determina el diámetro del conducto en función del caudal de aire que circula a través del mismo.

Como los conductos se fabrican de manera cuadrada/rectangular, se refiere a la tabla A-2 para convertir el diámetro del conducto a medidas de base y altura:

Tramo	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Caudal [m <sup>3</sup> /min]	Diámetro [cm]	Altura [cm]	Base [cm]	Perímetro [m]	Área (Perímetro x Largo) [m <sup>2</sup> ]
Principal	9100,00	151,67	80,00	80	70	3,00	60,00
1-2	3 033,30	50,5	50,00	45	45	1,8	29,65
2-3	2 654,13	44,23	45,00	40	40	1,6	26,36
3-4	2 274,96	37,92	40,00	35	35	1,4	23,06
4-5	1 895,79	31,59	37,50	32	32	1,28	21,01
5-6	1 516,62	25,27	32,50	30	30	1,2	19,77
6-7	1 137,45	18,96	28,00	25	25	1	16,47
7-8	758,28	12,64	22,50	20	20	0,8	13,18
8-9	379,17	6,32	16,00	15	15	0,6	9,88
							159,38

Tabla 8. Dimensionamiento de los conductos de calefacción

9	8	7	6	5	4	3	2	1	
6,3 m³/min	12,6 m³/min	18,9 m³/min	25,52 m³/min	31,5 m³/min	37,9 m³/min	44,2 m³/min	50,5 m³/min		PRINCIPAL

Figura 2. Caudal por tramos de conducto  
(Fuente: autores del proyecto)

El largo total de los conductos es de 131,8 [m] y son ocho tramos con diferentes secciones, como indica la tabla 9.

Los difusores se determinan dividiendo el flujo de los conductos por un coeficiente empírico de 150 [m/min], y para obtener los lados por  $\sqrt{2}$ . Siendo entonces:

Tramo	Ecuación	Difusores [m]
1-2	$\frac{Q_{1-2} [m^3/min]}{150 [m/min]} \sqrt{2}$	0,47 x 0,47
2-3	$\frac{Q_{2-3} [m^3/min]}{150 [m/min]} \sqrt{2}$	0,41 x 0,41
3-4	$\frac{Q_{3-4} [m^3/min]}{150 [m/min]} \sqrt{2}$	0,35 x 0,35
4-5	$\frac{Q_{4-5} [m^3/min]}{150 [m/min]} \sqrt{2}$	0,29 x 0,29
6-7	$\frac{Q_{6-7} [m^3/min]}{150 [m/min]} \sqrt{2}$	0,17 x 0,17
7-8	$\frac{Q_{7-8} [m^3/min]}{150 [m/min]} \sqrt{2}$	0,11 x 0,11
8-9	$\frac{Q_{8-9} [m^3/min]}{150 [m/min]} \sqrt{2}$	0,05 x 0,05

Tabla 9. Dimensionamiento de los difusores cuadrados

Los difusores cuadrados van ubicados en el ramal intermedio del ducto de calefacción debido a que distribuye el aire a ambos lados, mientras que los difusores rectangulares están sobre los conductos que rodean las paredes ya que solo necesitan inyectar el aire en una sola dirección.

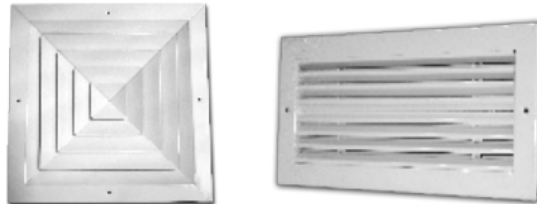


Figura 3. Difusor cuadrado y rectangular.  
(Fuente: Suref)

## 5. Selección de equipos de ventilación

Las plantas requieren una concentración de CO<sub>2</sub> de 700 a 1 000 [ppm] ([1], PF-B-13). Sin embargo, la concentración en el exterior está en torno a 350-380 [ppm] ([1], PF-B-13), y en el interior del invernadero puede llegar incluso a niveles inferiores de 100 [ppm] ([1], PF-B-13), si no se produce una correcta ventilación. El ingreso de dióxido de carbono a la instalación agrícola se controla por rejillas de ventilación regulables.

Las renovaciones/hora se calcula como ([7], PF-B-13):

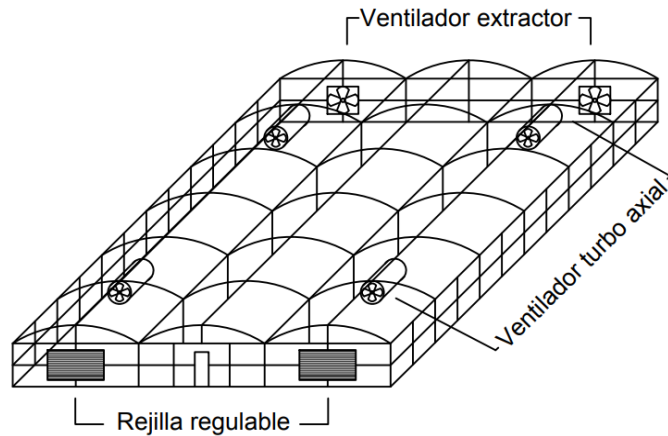
$$\frac{36^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}}{1/2^{\circ}\text{C}} = 12 [\text{renovaciones/hora}]$$

El caudal total del aire a suministrar es de:

$$2\,520 [m^3] \cdot 12 = 30\,240 [m^3/h]$$

Los factores a tener en cuenta en el diseño son:

- Dejar una distancia entre extractores comprendida entre los 8 y los 10 metros para asegurar la uniformidad en el flujo de aire.
- Debe existir una distancia a cualquier obstáculo no inferior a 1,5 veces el diámetro del equipo.
- La velocidad de aire de entrada no debe superar la de trabajo del ventilador.



*Figura 4. Circulación de aire en el invernadero  
(Fuente: autores del proyecto)*

Las ventanas se posicionan una en cada extremo del invernadero, como se muestra en la figura 4. Su apertura se realiza mediante el enrollamiento de la película de polietileno sobre una barra continua y guiada, con cortavientos en sus extremos. El accionamiento se efectúa mediante un motor eléctrico bajo las órdenes del sistema de automatización.

## Anexo A - Ábacos para el diseño de conductos

Debido a la naturaleza académica del proyecto se ha considerado de utilidad reproducir las tablas y gráficos utilizados en los cálculos. Las tablas y gráficos anexados a continuación provienen del libro de N. P. Quadri, "Manual de Aire Acondicionado y Calefacción".

NESTOR QUADRI - MANUAL DE AIRE ACONDICIONADO Y CALEFACCIÓN

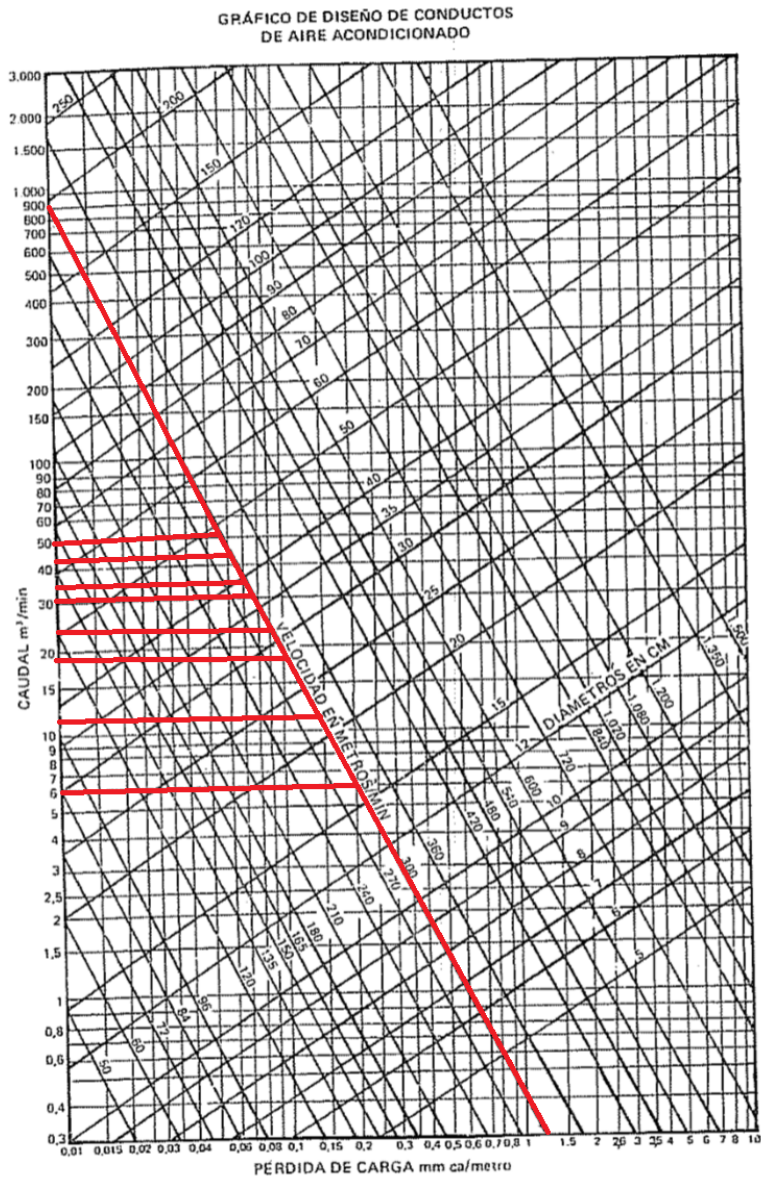


Gráfico A-1. Diseño de conductos.

ABACO PARA CONVERSIÓN DE CONDUCTOS CIRCULARES EN CUADRADOS O RECTANGULARES

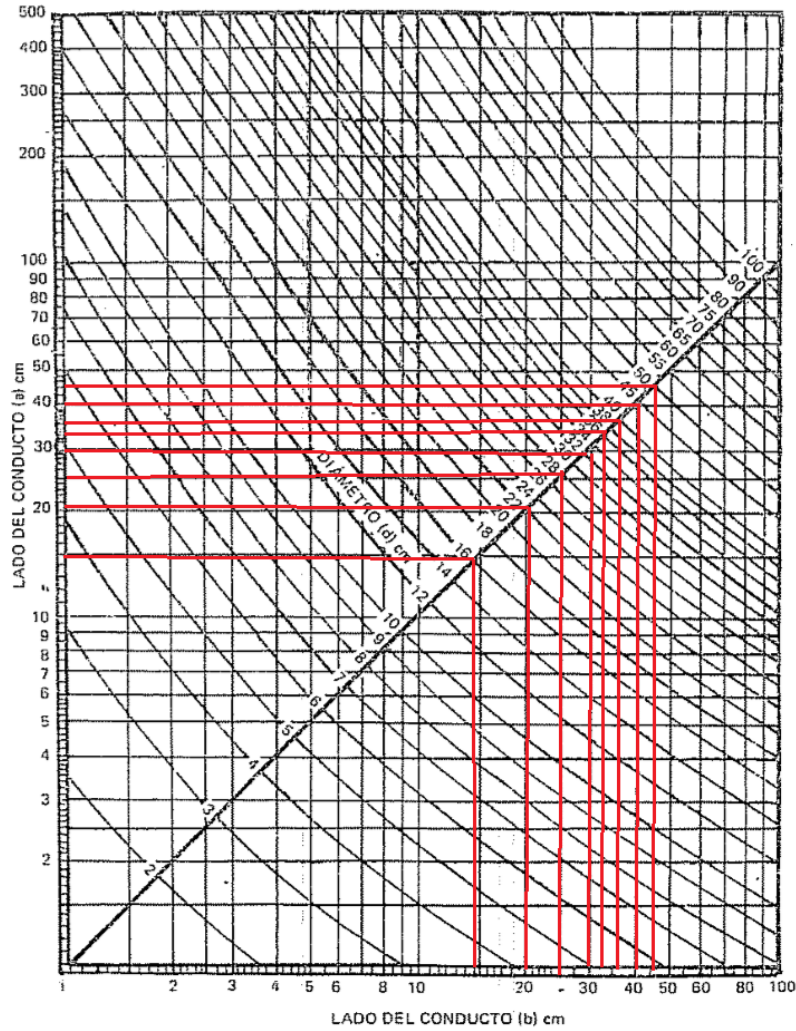


Gráfico A-2. Ábaco para conversión de conductos circulares en cuadrados o rectangulares.

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Sistema de riego	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-SR-06
Profesores	Revisión	1
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**



## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Dimensionamiento del sistema de bombeo</b>	<b>4</b>
2.1. Bomba de tanque principal	4
2.2. Bomba dosificadora de tanques de reserva	5
<b>3. Dimensionamiento de tanques</b>	<b>6</b>
<b>4. Dimensionamiento del sistema de tuberías</b>	<b>7</b>
<b>5. Verificación del flujo de riego</b>	<b>10</b>
<b>6. Verificación de la NPSH</b>	<b>11</b>
<b>Anexo A - Tablas y gráficos para el cálculo de tuberías de riego</b>	<b>14</b>

## 1. Introducción

En el presente documento se procede a dimensionar la red de irrigación de la superficie de cultivo; comprendiendo el sistema de tuberías, los tanques de almacenamiento y mezcla de solución nutritiva, y la selección de las bombas de riego.

## 2. Dimensionamiento del sistema de bombeo

### 2.1. Bomba de tanque principal

El dimensionamiento de la bomba se realiza a partir del producto entre la cantidad de los canales de riego y el caudal a erogar por cada uno de ellos. En hidroponía N.F.T (Nutrient Film Technique) se recomienda que sea de 1,5 a 2,5 [L/min] ([12], PF-B-13).

$$Q = n^{\circ} \text{ de canales} \times (Q/\text{canal} + 50\% \text{ pérdidas}) \quad [L/\text{min}]$$

Se considera un 50% de caudal para contrarrestar la altura manométrica, las pérdidas por accesorios y el retorno al tanque.

En la siguiente tabla se muestra la información de la canalización de riego disponible en las mesas y la determinación del caudal demandado:

Elemento	Cantidad	Unidad
Mesas tipo A (1,60 x 8,50 con 8 canales)	24	[ud.]
Mesas tipo B (2,00 x 8,50 con 10 canales)	8	[ud.]
Canales totales	272	[ud.]
Consumo por canal	1,50	[L / min]
Margen de pérdida del 50%	0,75	[L / min]
Consumo total	612	[L / min]

Tabla 1. Caudal de riego necesario

Con el resultado del consumo total del sistema, se escoge repartir el caudal en partes iguales entre cuatro bombas. En la siguiente tabla se presentan los datos de operación de las mismas:

<b>Marca</b>	Komasa
<b>Modelo</b>	KB3
<b>Tipo de bomba</b>	Centrífuga
<b>Potencia [hp]</b>	1,5
<b>Peso [kg]</b>	22

<b>Presión de trabajo [bar]</b>	4,5
<b>Diámetro de entrada [pulg]</b>	1
<b>Diámetro de salida [pulg]</b>	1
<b>Altura máxima [m]</b>	28
<b>Altura máxima de succión [m]</b>	7
<b>Caudal máximo [L / min]</b>	160
<b>Velocidad de giro [r.p.m]</b>	2 850

*Tabla 2. Datos de operación de las bombas  
(Fuente: Komasa)*



*Figura 1. Bomba centrífuga Komasa KB3, 1,5HP  
(Fuente: Komasa)*

## 2.2. Bomba dosificadora de tanques de reserva

La bomba dosificadora cumple la función de inyectar pequeñas cantidades de un fluido químico en otro líquido. En este proyecto, cada tanque de reserva está comunicado a través de tuberías con el tanque principal para mantener constante el nivel de concentración de solución nutritiva requerida por el cultivo.

<b>Marca</b>	DOSIVAC
<b>Modelo</b>	EMD PLUS
<b>Potencia [hp]</b>	0,50
<b>Caudal mínimo [L / h]</b>	0,01

<b>Caudal máximo [L / h]</b>	1,5
<b>Entrada de señal [mA]</b>	4 a 20

*Tabla 3. Datos de operación de la bomba dosificadora  
(Fuente: Dosivac)*



*Figura 2. Bomba dosificadora Serie EMD Plus  
(Fuente: Dosivac)*

### 3. Dimensionamiento de tanques

Se dota al sistema hidráulico de cuatro tanques de solución nutritiva: el principal y tres de reserva, el primero de ellos enterrado y el resto a nivel del suelo sobre una plataforma de cemento. El tanque principal cumple la función de almacenar la mezcla que se utiliza para el riego; el mismo cuenta con un salto de altura en la desembocadura del drenaje de recirculación con el propósito de generar una turbulencia necesaria para oxigenar el agua. Y el tanque de reserva, como su nombre lo indica, tiene la finalidad de contar con la solución nutritiva y adosar la cantidad necesaria al tanque principal cuando éste lo requiera.

Alrededor de los tanques se dispone de un vallado perimetral de cemento de 0,5 [m] de altura, como medio de protección contra posibles accidentes.

<b>Parámetro</b>	<b>Valor</b>	<b>Unidad</b>
Ancho	1,00	[m]
Longitud	1,50	[m]
Altura	2,50	[m]
Volumen	3500	[L]
Espesor	150	[mm]

Material	Cemento	[-]
----------	---------	-----

Tabla 4. Características del tanque principal

Parámetro	Valor	Unidad
Diámetro	71	[cm]
Altura	85	[cm]
Volumen	300	[L]
Material	PVC	[-]

Tabla 5. Características de los tanques de reserva

#### 4. Dimensionamiento del sistema de tuberías

Contando con el caudal total de riego y los individuales por cada canal, y habiendo definido la cantidad de bombas, se divide la superficie de cultivo en cuatro partes como se señala en la figura 48. Es decir, cada bomba va a alimentar 8 mesas de cultivo.

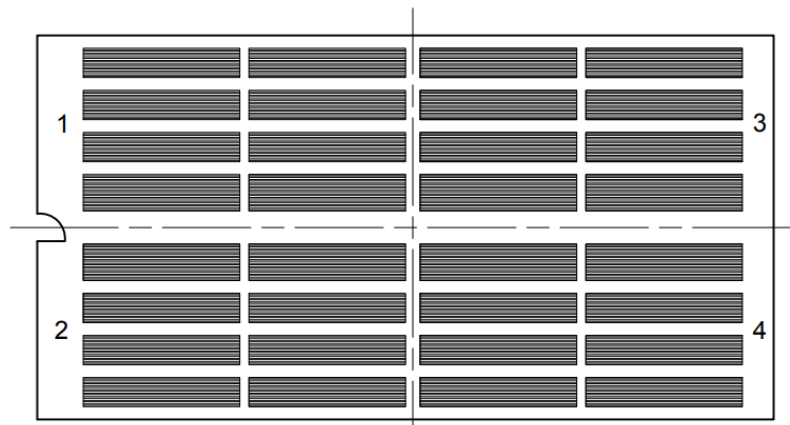


Figura 3. Distribución de secciones de bombeo  
(Fuente: autores del proyecto)

Para establecer el diámetro de las tuberías, en función de los caudales de riego necesarios, se recurre a la ecuación de velocidad del fluido:

$$v = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} \quad [m/s]$$

$$D = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}}$$

En este proyecto se fija una velocidad de circulación del fluido de 1 [m/s] ([12], PF-B-13). En la figura 4 se puede ver la clasificación de las tuberías destinadas al riego.

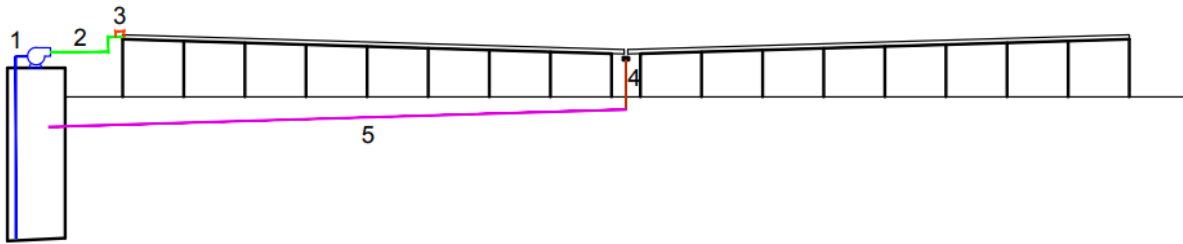


Figura 4. 1) Tubería primaria. 2) Tubería secundaria. 3) Tubería terciaria. 4) Tubería de recirculación primaria. 5) Tubería de recirculación terciaria.  
(Fuente: autores del proyecto)

Se designa con el nombre de tubería primaria a la que va desde el tanque hasta la bomba.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]
Q	153	[L / min]
	0,00255	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,05641	[m]
D <sub>seleccionado</sub>	2,00	[pulg]

Tabla 6. Selección de diámetro de la tubería principal

La tubería secundaria es la que va desde la bomba hacia las mesas de cultivo.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]
Q	19,12	[L / min]
	0,0031	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,01986	[m]
D <sub>seleccionado</sub>	3/4	[pulg]

Tabla 7. Selección de diámetro de la tubería secundaria

La tubería terciaria es la que va desde la tubería de la mesa de los cultivos hacia las mangueras conectadas a los canales.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]

Q	2,25	[L/min]
	0,00375	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,0069	[m]
D <sub>seleccionado</sub>	1/4	[pulg]

Tabla 8. Selección de diámetro de la tubería terciaria

La tubería de recirculación primaria para las mesas tipo A (10 canales) es la que va desde el par de mesas de cultivo hacia la tubería de recirculación secundaria.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]
Q	45	[L / min]
	0,00075	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,03090	[m]
D <sub>seleccionado</sub>	1 1/4	[pulg]

Tabla 9. Selección de diámetro de la tubería de recirculación primaria

La tubería de recirculación primaria para las mesas tipo B (8 canales) es la que va desde el par de mesas de cultivo hacia la tubería de recirculación secundaria.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]
Q	36	[L / min]
	0,0006	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,02763	[m]
D <sub>seleccionado</sub>	1,00	[pulg]

Tabla 10. Selección de diámetro de la tubería de recirculación primaria

La tubería de recirculación secundaria es la que va desde las ocho mesas de cultivo hacia la tubería de recirculación terciaria.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]

Q	153	[L / min]
	0,00255	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,05698	[m]
D <sub>seleccionado</sub>	2,00	[pulg]

Tabla 11. Selección de diámetro de la tubería de recirculación secundaria

La tubería de recirculación terciaria es en la que desembocan las cuatro tuberías de recirculación secundarias al tanque principal.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]
Q	612	[L / min]
	0,0102	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,11396	[m]

Tabla 12. Aproximación de diámetro de la tubería de recirculación terciaria

En vista de que el diámetro resultante para la tubería de recirculación terciaria es alto, se divide la red en dos partes y cada una recolecta la solución nutritiva de 16 mesas.

Parámetro	Valor	Unidad
v	1,00	[m / s]
Q	306	[L / min]
	0,0051	[m <sup>3</sup> / s]
D	0,0805	[m]
D <sub>seleccionado</sub>	3,00	[pulg]

Tabla 13. Selección de diámetro de la tubería de recirculación terciaria

## 5. Verificación del flujo de riego

El flujo de riego lo caracteriza su comportamiento turbulento para la oxigenación de la solución nutritiva recirculante. Aplicando la ecuación para determinar el número de Reynolds:

$$Re = \frac{v D \rho}{\mu}$$



Donde:

- $v$  es la velocidad del fluido.
- $D$  es el diámetro de la tubería.
- $\rho$  es la densidad del fluido.
- $\mu$  es la viscosidad cinemática.

Para el cálculo se supone que para el riego se emplea una mezcla típica en un sistema de riego N.F.T ([14], PF-B-13), realizada en los 3 tanques de 300 [L] cada uno, compuesta por: 15 [kg] de nitrato de calcio  $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ; 10 [kg] nitrato de potasio  $\text{KNO}_3$ ; 8 [kg] sulfato de magnesio  $\text{MgSO}_4$ ; 24 [g] sulfato de cobre  $\text{CuSO}_4$ ; 40 [g] sulfato de manganeso  $\text{MnSO}_4$ , 600 [g] quelato de hierro; con una densidad de 2 334 [ $\text{kg}/\text{m}^3$ ].

Parámetro	Valor	Unidad
$v$	1,25	[m / s]
$D_{\text{succión}}$	0,0508	[m]
$D_{\text{descarga}}$	0,0762	[m]
$\rho$	2 334	[kg / m <sup>3</sup> ]
$\mu$	0,0026	[Pa s]
$\text{Re}_{\text{succión}}$	45 602	[-]
$\text{Re}_{\text{descarga}}$	85 505	[-]

Tabla 14. Comportamiento del flujo en la succión y en la descarga

## 6. Verificación de la NPSH

La carga de succión neta disponible ( $\text{NPSH}_D$ ) debe estar por arriba de la requerida. La norma ANSI (Instituto Americano de Estándares) fija este valor en un 10% como mínimo. Es decir:

$$\text{NPSH}_D \geq 1,10 \text{NPSH}_R$$

$$\text{NPSH} = \frac{P_1 - P_2}{\gamma} + Z_1 - Z_2 - h_s - \frac{V_s^2}{2g}$$

Donde:

- $P_1$  es la presión del tanque.
- $P_2$  es la presión de vapor del fluido.
- $\gamma$  es el peso específico.
- $Z_1$  es la altura de referencia (Figura 50).
- $Z_2$  es la altura de la bomba con respecto a  $Z_1$ .
- $h_s$  es la pérdida de carga en la succión.
- $V_s$  es la velocidad de succión.

- g es la aceleración de la gravedad.

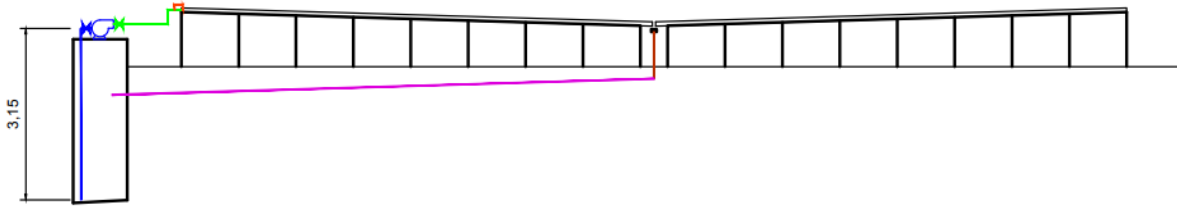


Figura 5. Altura de referencia  
(Fuente: autores del proyecto)

Parámetro	Valor	Unidad
P <sub>1</sub>	1,00	[bar]
P <sub>2</sub>	0,05	[bar]
γ	22,87	[kN / m <sup>3</sup> ]
Z <sub>1</sub>	0,00	[m]
Z <sub>2</sub>	3,15	[m]
h <sub>s</sub>	0,185	[m]
V <sub>s</sub>	1,25	[m / s]
g	9,81	[m / s <sup>2</sup> ]
NPSH <sub>Disponible</sub>	3,37	[m]

Tabla 15. Valores adoptados para el cálculo de NPSH

$$h_s = f \frac{V_s^2}{2g} [n^{\circ}codos (L/D)_c + n^{\circ}valv (L/D)_v] + f \left( \frac{L}{D} \right) \left( \frac{V_s^2}{2g} \right)$$

Siendo:

- N° de codos (L/D)<sub>c</sub> es un factor extraído de la tabla A-1.
- N° de válvulas (L/D)<sub>v</sub> es un factor extraído de la tabla A-2.
- f el coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach.

$$f = \frac{0,25}{\left[ \log \left( \frac{1}{3,7 (D / \epsilon)} \right) + \frac{5,74}{Re_{succión}^{0,9}} \right]^2}$$

Donde:

- D/ε la relación entre el diámetro y la rugosidad del material de la cañería (PVC).

- $Re_{\text{succión}}$  el número de Reynolds en la succión.

Parámetro	Valor	Unidad
$D/\varepsilon$	33 866	[-]
$Re_{\text{succión}}$	45 602	[-]
f	0,00962	[-]

Tabla 16. Valores adoptados para el cálculo del coeficiente de resistencia de Darcy-Weisbach.

Parámetro	Valor	Unidad
$V_s$	1,25	[m / s]
f	0,00962	[-]
g	9,80	[m / s <sup>2</sup> ]
n° codos	30,00	[-]
n° válvulas	150,00	[-]
L/D	62,00	[-]
$h_s$	0,185	[m]

Tabla 17. Valores adoptados para el cálculo de la pérdida de carga en la succión

Extrayendo la NPSH requerida de la curva de rendimiento (gráfico A-3) proporcionada por el fabricante de la bomba, se verifica el cálculo por lo que no existe riesgo de cavitación.

$$NPSH_D \geq 1,10 NPSH_R$$

$$3,37 [m] \geq 2,2 [m]$$

### Anexo A - Tablas y gráficos para el cálculo de tuberías de riego

Debido a la naturaleza académica del proyecto se ha considerado de utilidad reproducir las tablas y gráficos utilizados en los cálculos.

	$L_e / D$
Codo 90°	30
Codo 90° (gran radio)	20
Codo 90° de calle	50
Codo de 45°	16
Codo de 45° de calle	25
T, flujo en el tramo	20
T, flujo en rama	60

Tabla A-1. N° de codos (L/D)<sub>c</sub>  
(Fuente: [15], PF-B-13)

	$L_e / D$	
Válvula de globo abierta	340	
Válvula de ángulo abierta	150	
Válvula de compuerta	abierta	8
	75% a	35
	50% a	160
	25% a	900
Válvula de bola abierta	150	
Válvula de mariposa abierta	45	

Tabla A-2. N° de válvulas (L/D)<sub>v</sub>  
(Fuente: [15], PF-B-13)

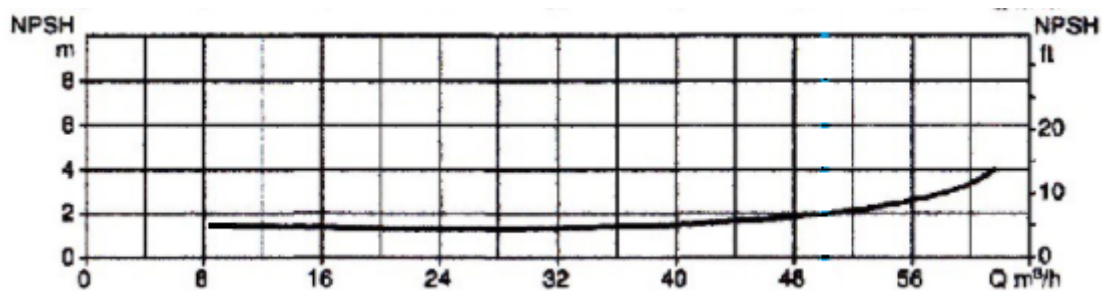


Tabla A-3. NPSH Requerido  
(Fuente: Komasa)

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Sistema de iluminación	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-SI-07
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Características requeridas</b>	<b>4</b>
<b>3. Cálculo de flujo luminoso y cantidad de luminarias</b>	<b>5</b>
<b>4. Emplazamiento de las luminarias</b>	<b>7</b>
<b>Anexo A - Tablas para el cálculo de luminarias</b>	<b>9</b>

## 1. Introducción

El proyecto tiene en cuenta dos tipos de colores en cuanto a la iluminación artificial: blanca y roja. Esto es debido a que las plantas en invierno es necesario despertarlas simulando la luz rojiza del amanecer y así cumplimentar con una dosis diaria mínima de incidencia de luz en sus hojas por doce horas, y lo mismo para el atardecer ([16], PF-B-13).

Se hace uso del *método de los lúmenes*, para establecer el número de luminarias necesario en la instalación de cultivo.

## 2. Características requeridas

Se acude a las dimensiones del invernadero y la altura promedio del plano de trabajo, el cual corresponde al de las mesas de cultivo.

Parámetro	Valor	Unidad
Altura del local (h')	2,50	[m]
Ancho del local (a)	21,00	[m]
Longitud del local (b)	41,00	[m]
Altura plano de trabajo	0,85	[m]

Tabla 1. Dimensiones del invernadero para el cálculo de la iluminación

El nivel de iluminancia media ( $E_m$ ) depende del tipo de actividad a realizar y se halla tabulado. Para áreas de circulación y pasillos es de 50 [lux], y para el caso de los cultivos el sugerido por el INTA es de 75 a 100 [lux] ([16], PF-B-13) en instalaciones de producción agrícola.

Se selecciona el empleo de tecnología LED y se combinan los colores rojo y blanco para lograr el espectro de luz requerido para el ciclo vegetativo de las plantas ([16], PF-B-13).

El sistema de alumbrado en esta aplicación es vertical directo, por ende todo el flujo de las lámparas va dirigido hacia el suelo. La iluminación está compuesta por dos tipos, uno focalizado al rendimiento del cultivo y el otro a la iluminación general.

La altura de suspensión de las luminarias se fija mediante la figura 1 y la tabla A-1.

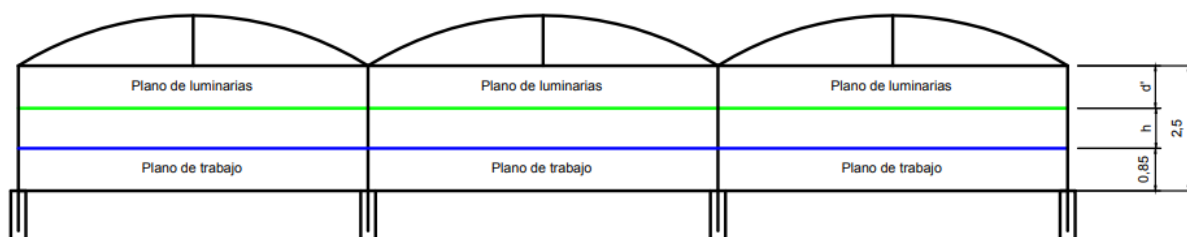


Figura 1. Altura de suspensión de luminarias  
(Fuente: autores del proyecto)



$$h = 0,8 (h' - 0,85) = 1,32 [m]$$

Siendo:

- h la altura de las luminarias.
- h' la altura del invernadero.

Con la tabla A-2, se calcula el índice del local k:

$$k = \frac{a b}{h (a+b)} = 10$$

El coeficiente de reflexión para el techo y las paredes, según tabla A-3 es  $P = 0,7$  y para el suelo  $P = 0,1$ .

El factor de utilización se determina en función de el P y el k, siendo  $\eta = 0,72$ .

El factor de mantenimiento o conservación de la instalación  $f_m$ , depende del grado de suciedad ambiental y de la frecuencia de la limpieza de la instalación. Por la tabla A-4 se toma el valor  $f_m = 0,8$ .

### 3. Cálculo de flujo luminoso y cantidad de luminarias

$$\Phi_T = \frac{E S}{\eta f_m}$$

Donde:

- $\Phi_T$  es el flujo luminoso total.
- E es la iluminancia media deseada.
- S es la superficie del plano de trabajo.
- $\eta$  es el factor de utilización.
- $f_m$  es el factor de mantenimiento.

Parámetro	Valor	Unidad
$E_m$	100	[lux]
S	462,40	[m <sup>2</sup> ]
$\eta$	0,72	[-]
$f_m$	0,80	[-]
$\Phi_T$	80 278	[lm]

Tabla 2. Valores para el cálculo del flujo luminoso total en la superficie de cultivo

Parámetro	Valor	Unidad
$E_m$	50	[lux]
S	119,20	[m <sup>2</sup> ]
$\eta$	0,72	[-]
$f_m$	0,80	[-]
$\Phi_T$	10 348	[lm]

Tabla 3. Valores para el cálculo del flujo luminoso total en la superficie de tránsito

El número de luminarias está dado por:

$$N = \frac{\Phi_T}{n \Phi_L}$$

Siendo:

- N el número de luminarias.
- $\Phi_T$  el flujo luminoso total.
- $\Phi_L$  el flujo luminoso de una lámpara.
- n el número de lámparas por luminaria.

En este caso, para la iluminación del sector destinado a la superficie de cultivo se instalan tiras de 60 LEDs por metro.

Parámetro	Valor	Unidad
$\Phi_T$	80 278	[lm]
$\Phi_L$	7,00	[lm]
n	510	[ud.]
N	22	[ud.]

Tabla 4. Valores para el cálculo de la cantidad de luminarias en la superficie de cultivo

Por otro lado, para la iluminación de la zona correspondiente a la superficie de tránsito se instalan luminarias LED tipo casquete de plástico.

Parámetro	Valor	Unidad
$\Phi_T$	10 348	[lm]
$\Phi_L$	1 800	[lm]
n	1	[ud.]
N	7	[ud.]

Tabla 5. Valores para el cálculo de la cantidad de luminarias en la superficie de tránsito

#### 4. Emplazamiento de las luminarias

En este local de planta rectangular, las luminarias se reparten de manera uniforme en filas paralelas a los ejes de simetría.

$$N_{\text{ancho}} = \sqrt{\frac{N_{\text{Total}} a}{b}}$$

$$N_{\text{largo}} = N_{\text{ancho}} \left( \frac{b}{a} \right)$$

Donde:

- $N_{\text{Total}}$  es el número de luminarias.
- b es el largo del invernadero.
- a es el ancho del invernadero.

En base a las ecuaciones y la tabla A-5 se seleccionan las distancias entre las luminarias, como se muestra en la figura 2.

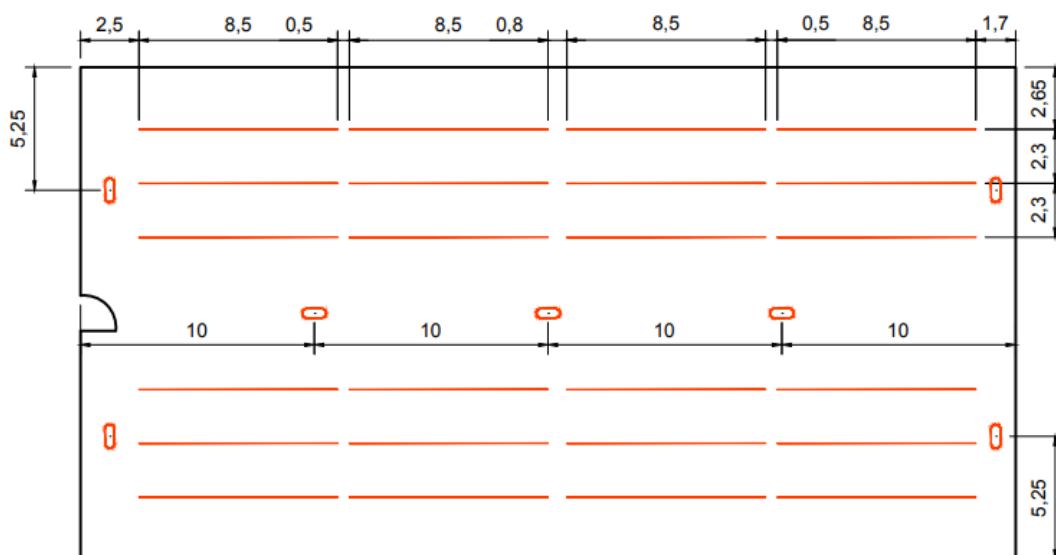


Figura 2. Distancia de separación entre luminarias  
(Fuente: autores del proyecto)

A continuación se efectúa la comprobación de la validez del valor de iluminancia media resultante:

- Superficie de cultivo

$$E_m = \frac{n \phi_L \eta f_m}{S} \geq E_{tablas}$$
$$142 [lux] \geq 75 \text{ a } 100 [lux]$$

- Zona de tránsito

$$E_m = \frac{n \phi_L \eta f_m}{S} \geq E_{tablas}$$
$$60,83 [lux] \geq 50 [lux]$$

## Anexo A - Tablas para el cálculo de luminarias

Debido a la naturaleza académica del proyecto se ha considerado de utilidad reproducir las tablas y gráficos utilizados en los cálculos. Las tablas de este anexo se extraen de la norma IRAM AADL J20 05/06.

	Altura de las luminarias
Locales de altura normal (oficinas, viviendas, aulas...)	Lo más altas posibles
Locales con iluminación directa, semidirecta y difusa	Mínimo: $h = \frac{2}{3} (h'-0.85)$ Óptimo: $h = \frac{4}{5} (h'-0.85)$
Locales con iluminación indirecta	$d \approx \frac{1}{4} \cdot (h'-0.85)$ $h \approx \frac{3}{4} \cdot (h'-0.85)$

Tabla A-1. Altura de las luminarias, h

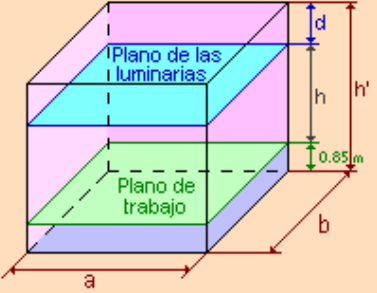
	Sistema de iluminación	Índice del local
	Iluminación directa, semidirecta, directa-indirecta y general difusa	$k = \frac{a \cdot b}{h \cdot (a + b)}$
	Iluminación indirecta y semiindirecta	$k = \frac{3 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (h + 0.85) \cdot (a + b)}$

Tabla A-2. Índice del local, k

	Color	Factor de reflexión ( $\rho$ )
Techo	Blanco o muy claro	0.7
	claro	0.5
	medio	0.3
Paredes	claro	0.5
	medio	0.3
	oscuro	0.1
Suelo	claro	0.3
	oscuro	0.1

Tabla A-3. Coeficiente de reflexión, P

Ambiente	Factor de mantenimiento ( $f_m$ )
Limpio	0.8
Sucio	0.6

Tabla A-4. Factor de mantenimiento,  $f_m$

Tipo de luminaria	Altura del local	Distancia máxima entre luminarias
intensiva	> 10 m	$e \leq 1.2 h$
extensiva	6 - 10 m	$e \leq 1.5 h$
semiextensiva	4 - 6 m	
extensiva	$\leq 4 m$	$e \leq 1.6 h$
distancia pared-luminaria: $e/2$		

Tabla A-5. Distancia máxima entre luminarias,  $e$

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Sistema de automatización	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-SA-08
Profesores	Revisión	1
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**



## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Sensor de pH</b>	<b>4</b>
<b>3. Sensor de temperatura</b>	<b>5</b>
<b>4. Sensor de humedad</b>	<b>6</b>
<b>5. Sensor de dióxido de carbono</b>	<b>7</b>
<b>6. Sensor de oxígeno</b>	<b>7</b>
<b>7. Sensor de caudal</b>	<b>8</b>
<b>8. Sensor de intensidad de luz</b>	<b>9</b>
<b>9. Sensor de nivel</b>	<b>10</b>
<b>10. Selección de PLC</b>	<b>11</b>
<b>11. Diagramas de flujo</b>	<b>12</b>
<b>12. Diagramas de contacto</b>	<b>17</b>

## 1. Introducción

En la instalación agrícola se instala un sistema de automatización que posibilita el control de las variables climáticas internas, de manera que se reproduzcan las condiciones óptimas para el cultivo. La lógica de accionamiento de todos los elementos se implementa mediante el uso de un Controlador Lógico Programable (PLC).

## 2. Sensor de pH

El sistema de almacenamiento de agua está compuesto por cuatro depósitos: tres tienen la función de contener nutrientes químicos disueltos y uno es el que se encarga de distribuir la mezcla final. En éste último es en el que se instala un sensor de potencial de hidrógeno con el objetivo de verificar continuamente la idoneidad de las condiciones de la mezcla, cuyo pH normalmente está comprendido entre 5,5 y 6,8 ([17], PF-B-13).

El equipo escogido para esta aplicación (figura 1), así como sus atributos, se presentan en la tabla 1.



Figura 1. Controlador y electrodos de pH  
(Fuente: FLSmith)

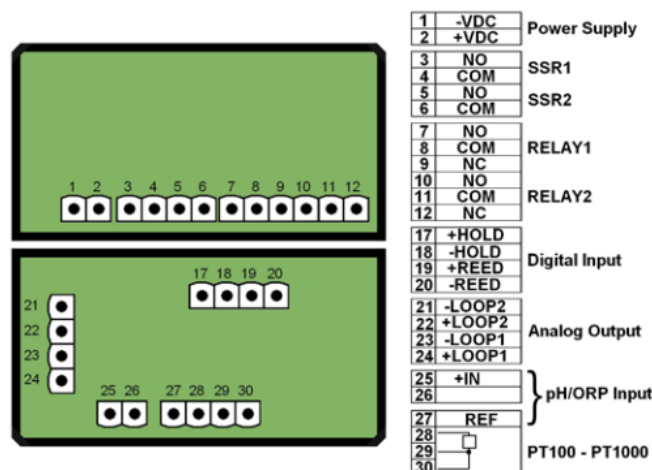


Figura 2. Conexiones del terminal controlador  
(Fuente: FLSmith)

<b>Marca</b>	FLSmidth
<b>Modelo</b>	M9.06
<b>Fuente de alimentación [V]</b>	110 a 230
<b>Entrada de sensor</b>	pH/ORP
<b>Salida</b>	2x 2 - 20mA; 2x S.S.R; 2x relé mec.
<b>Rango de medición de pH</b>	0 a 14
<b>Resolución de medición de pH</b>	± 0,01
<b>Rango de entrada de ORP [mV]</b>	-2000% +2000
<b>Frecuencia de refresco [s]</b>	1
<b>Temperatura de funcionamiento [°C]</b>	-20 a 70

Tabla 1. Datos técnicos del sensor de pH  
(Fuente: FLSmidth)

### 3. Sensor de temperatura

En este proyecto se instala un sensor de temperatura interior, ubicado dentro del conducto de retorno en el invernadero.

El aparato elegido y sus propiedades técnicas, pueden observarse en la figura 2 y la tabla 2.



Figura 2. Sensor de temperatura  
(Fuente: Teksor)

<b>Marca</b>	Teksor
<b>RTD</b>	PT 100
<b>Precisión [°C]</b>	± 0,15

<b>Rango de temperatura [°C]</b>	-50 a +300
<b>Vaina</b>	AISI 304
<b>Diámetro [mm]</b>	5
<b>Frecuencia de refresco [s]</b>	1

*Tabla 2. Datos técnicos del sensor de temperatura  
(Fuente: Teksor)*

#### 4. Sensor de humedad

Para regular el factor de transpiración de cultivo se recurre a la ventilación del ambiente y a la disminución de los niveles de humedad relativa máximo en el que se pueda encontrar.

El valor de humedad relativa a fijar dentro del local es de 50%, siguiendo la recomendación del INTA ([1], PF-B-13).

El aparato seleccionado y sus propiedades técnicas se muestran en la figura 3 y la tabla 3 respectivamente.



*Figura 3. Sensor de humedad  
(Fuente: Carel)*

<b>Marca</b>	Carel
<b>Modelo</b>	ASWH100000
<b>Tipo</b>	Sensor capacitivo
<b>Rango de medición HR [%]</b>	10 a 90
<b>Señal de salida [mA]</b>	4 a 20
<b>Índice de protección</b>	IP 54
<b>Alimentación [V<sub>cc</sub>]</b>	8 a 32
<b>Precisión</b>	± 2,00

**Categoría (inmunidad contra sobretensiones)**

2

*Tabla 3. Datos técnicos del sensor de humedad  
(Fuente: Carel)*

## 5. Sensor de dióxido de carbono

Se controla la calidad del aire en el invernadero con la monitorización automática que facilita la dosificación de CO<sub>2</sub>, en conjunto con el sistema de ventilación, a valores aceptables de entre 700 y 1 000 [ppm] ([1], PF-B-13).

El equipo seleccionado y sus datos técnicos se pueden visualizar en la figura 4 y la tabla 4.



*Figura 4. Sensor de dióxido de carbono  
(Fuente: COMET)*

<b>Marca</b>	COMET
<b>Modelo</b>	T 5714
<b>Rango [ppm]</b>	0 a 5000
<b>Precisión [ppm]</b>	± 50
<b>Resolución [ppm]</b>	1
<b>Alimentación [V<sub>cc</sub>]</b>	5 a 5,4
<b>Salida [mA]</b>	4 a 20
<b>índice de protección</b>	IP 30

*Tabla 4. Datos técnicos del sensor de dióxido de carbono  
(Fuente: COMET)*

## 6. Sensor de oxígeno

Se realiza la medición del oxígeno en el agua del tanque principal que va a alimentar los canales de riego, ya que está en contacto directo con la zona radicular de las plantas y

resulta determinante en la respiración y la absorción de nutrientes. Generalmente, la cantidad de oxígeno debe oscilar entre 7,1 y 9,1 [ppm] ([18], PF-B-13).

El equipo seleccionado y sus datos técnicos se pueden visualizar en la figura 5 y la tabla 5.



Figura 5. Sensor de oxígeno  
(Fuente: Hamilton)

<b>Marca</b>	Hamilton
<b>Modelo</b>	VisiFerm DO Arc
<b>Señal de salida [mA]</b>	4 a 20
<b>Sensor CAP</b>	H0 Cap
<b>Longitud [mm]</b>	120
<b>Rango de medición [ppm]</b>	0,004 a 25
<b>Precisión</b>	± 0,05%

Tabla 5. Datos técnicos del sensor de oxígeno  
(Fuente: Hamilton)

## 7. Sensor de caudal

Se emplea un caudalímetro en el retorno, con la finalidad de medir la velocidad de la mezcla de solución nutritiva a través de la conducción para conocer la cantidad real de producto que circula, ya que en caso de haber una pérdida no considerada pueda informar al PLC y éste al sistema.

El equipo escogido para esta aplicación se observa en la figura 6 y sus atributos, en la tabla 6.

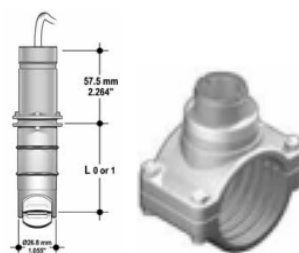


Figura 6. Sensor de caudal  
(Fuente: FLOWX3)

<b>Marca</b>	FLOWX3
<b>Modelo</b>	F3.00.H
<b>Rango [m / s]</b>	0,15 a 8
<b>Precisión [m / s]</b>	± 0,05
<b>Número de Reynolds mínimo requerido</b>	4 500
<b>Alimentación [V<sub>cc</sub>]</b>	5 a 24
<b>Salida [mA]</b>	4 a 20
<b>índice de protección</b>	IP 68

*Tabla 6. Datos técnicos del sensor de caudal  
(Fuente: FLOWX3)*

## 8. Sensor de intensidad de luz

Se recurre a un sensor de intensidad de luz para el control de la calidad de iluminación, con el objeto de mantener el crecimiento de las plantas en diferentes períodos. La luz artificial pretende alargar la duración del día cuando hay poca o nula luz natural en los meses de invierno.

El dispositivo se presenta en la figura 7, junto con sus especificaciones técnicas en la tabla 7.



*Figura 7. Sensor de intensidad de luz  
(Fuente: KIMO)*

<b>Marca</b>	KIMO
<b>Modelo</b>	LR110
<b>Rango [lux]</b>	0 a 10 000

<b>Precisión [lux]</b>	± 2,00
<b>Resolución [lux]</b>	1
<b>Alimentación [V<sub>cc</sub>]</b>	16 / 30
<b>Salida [mA]</b>	4 a 20
<b>índice de protección</b>	IP 65

*Tabla 7. Datos técnicos del sensor de intensidad de luz  
(Fuente: KIMO)*

## 9. Sensor de nivel

En los cuatro depósitos del sistema hidráulico se introducen sensores de nivel (flotantes) para la transmisión de la medición de la cantidad de líquido disponible en ellos.

En la figura 8 se puede visualizar el dispositivo seleccionado y en la tabla 8 sus características.



*Figura 8. Sensor de nivel  
(Fuente: Viyilant)*

<b>Marca</b>	Viyilant
<b>Modelo</b>	TI hermético
<b>Largo cable [m]</b>	3
<b>Grado de protección</b>	IP 68
<b>Salida</b>	On/Off

*Tabla 8. Datos técnicos del sensor de nivel  
(Fuente: Viyilant)*



## 10. Selección de PLC

El PLC se dimensiona en base a la cantidad de entradas y salidas, analógicas como digitales, que tiene que controlar. A continuación se presenta una tabla con la cantidad de E/S y su clasificación según su naturaleza.

ENTRADAS				SALIDAS			
ANALÓGICAS		DIGITALES		ANALÓGICAS		DIGITALES	
1	S. PH	7	S. Luz	7	B. Dosificadora	9	B. TK. Principal1
2	S. Temperatura retorno	8	S. Nivel	8	M. de enrollamiento	10	B. TK. Principal2
3	S. Humedad					11	B. TK. Principal3
4	S. CO <sub>2</sub>					12	B. TK. Principal4
5	S. Oxígeno H <sub>2</sub> O	-	-	-	-	13	B. Dosificadora
6	S. Caudal	-	-	-	-	14	Calefacción
-		-	-	-	-	15	Ventiladores
-		-	-	-	-	16	LED blanca
-		-	-	-	-	17	LED roja
<b>6</b>		<b>2</b>		<b>2</b>		<b>9</b>	

Tabla 9. Entradas analógicas y digitales del proyecto

## 11. Diagramas de flujo

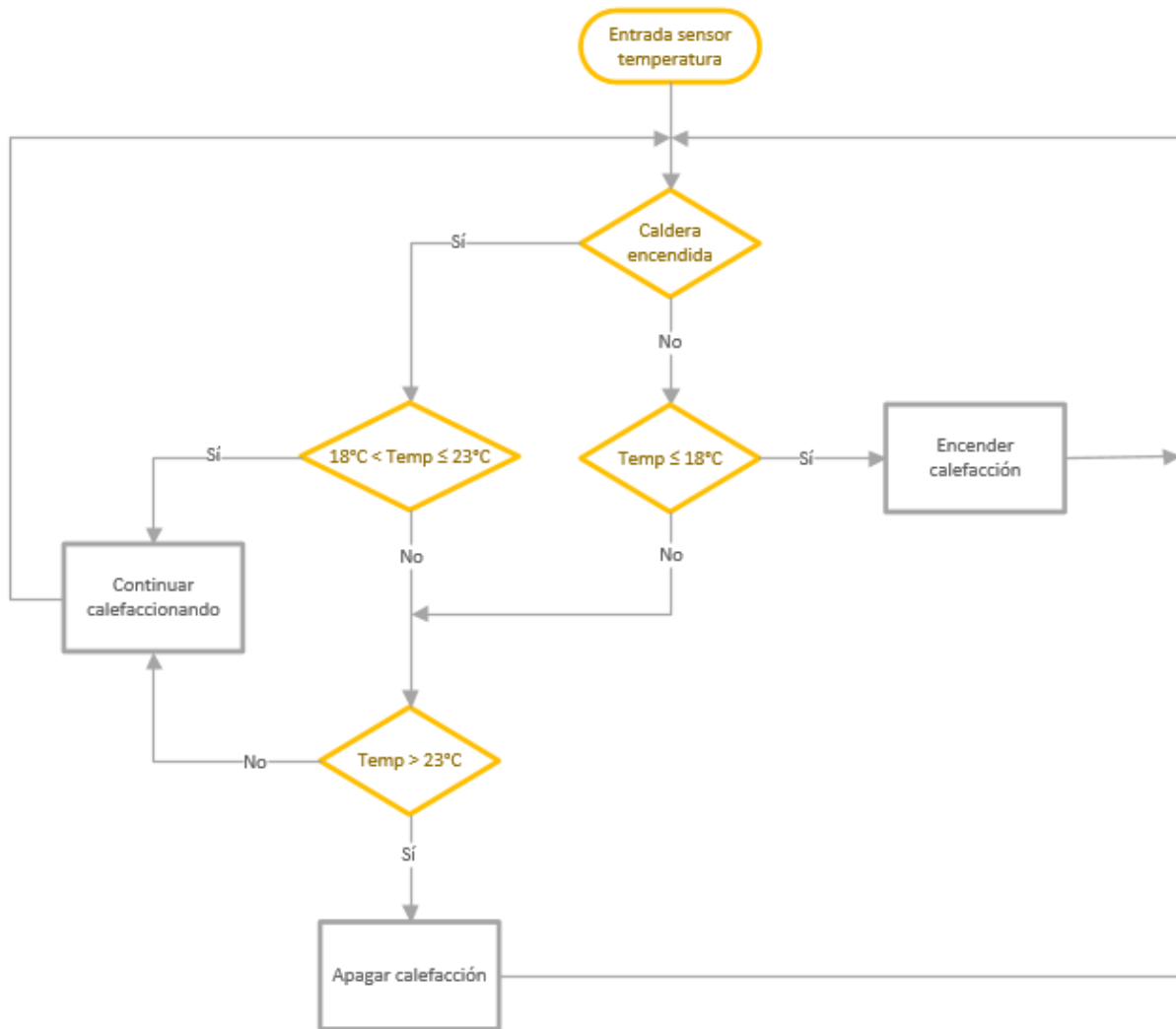


Figura 9. Diagrama de flujo del control de temperatura  
 (Fuente: autores del proyecto)

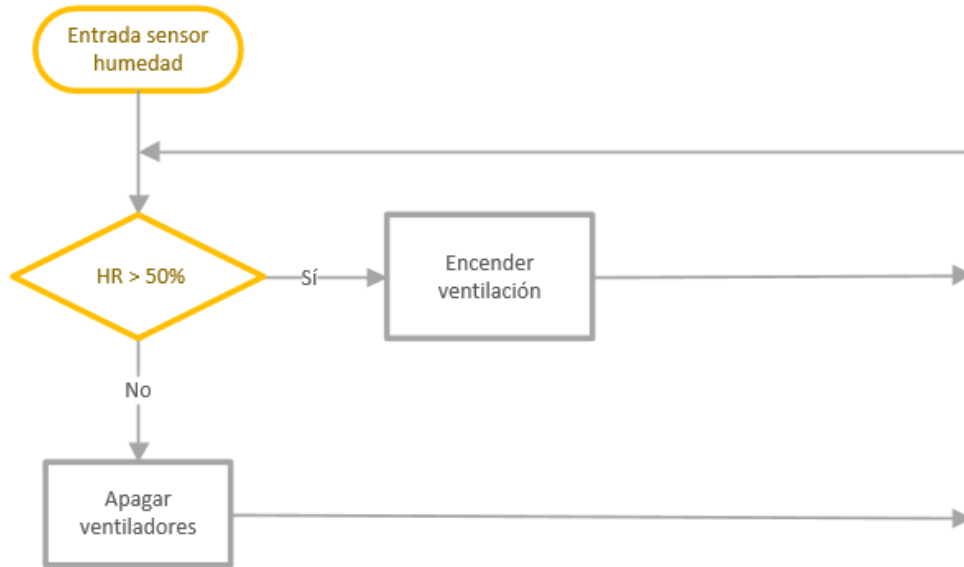


Figura 10. Diagrama de flujo del control de humedad  
(Fuente: autores del proyecto)

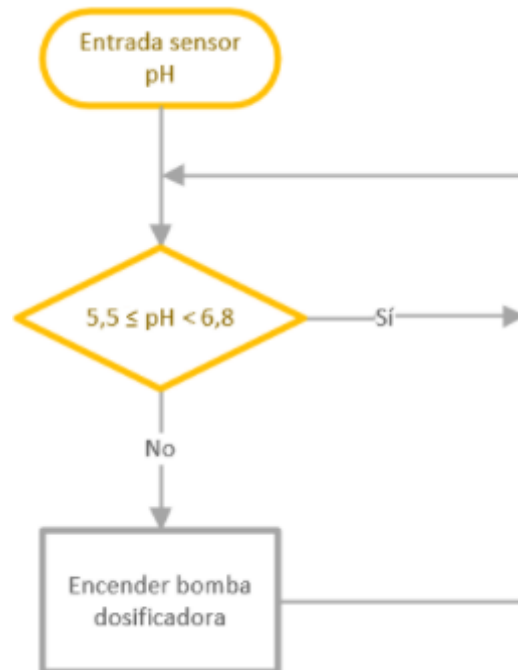


Figura 11. Diagrama de flujo del control pH  
(Fuente: autores del proyecto)

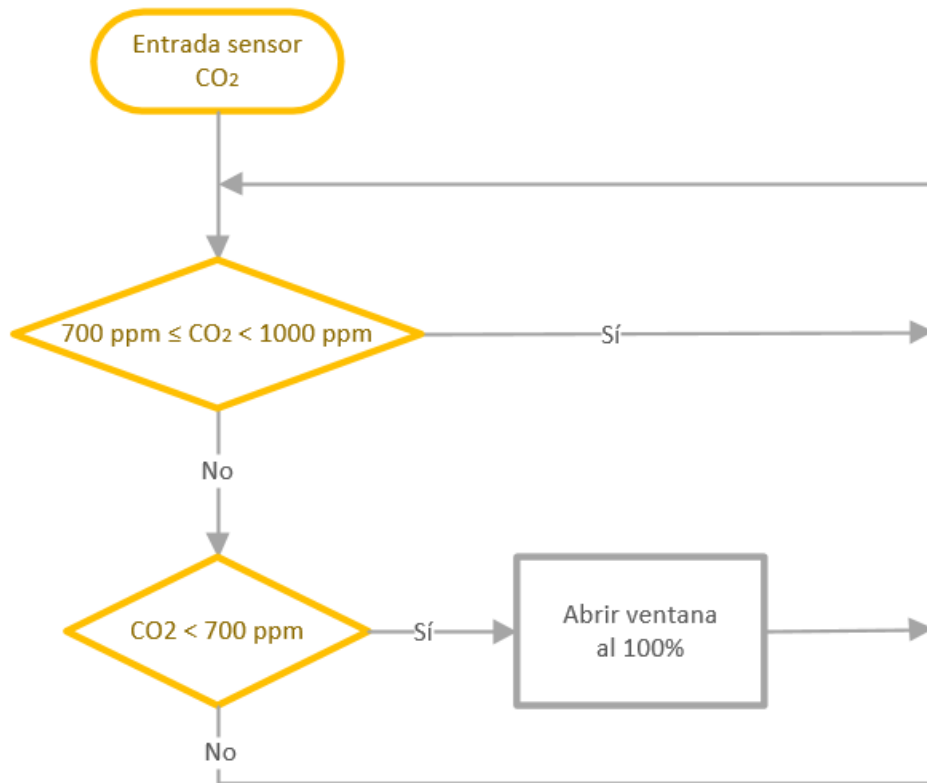


Figura 12. Diagrama de flujo del control de dióxido de carbono  
(Fuente: autores del proyecto)

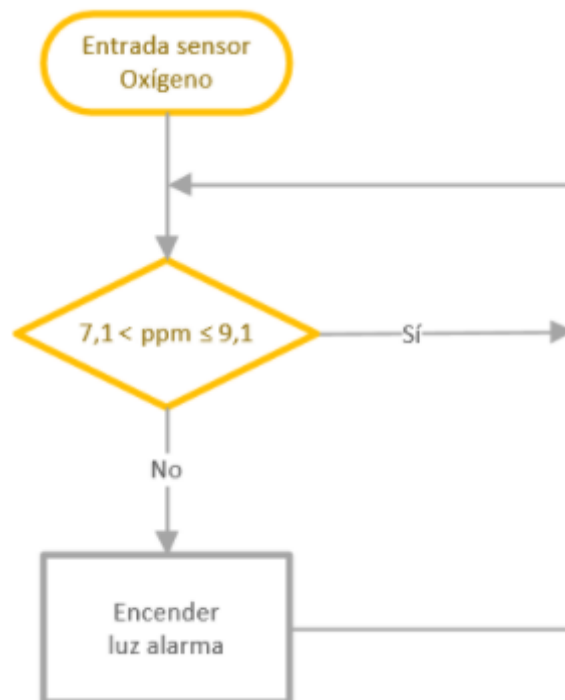


Figura 13. Diagrama de flujo del control del nivel de oxígeno en la solución de riego  
(Fuente: autores del proyecto)

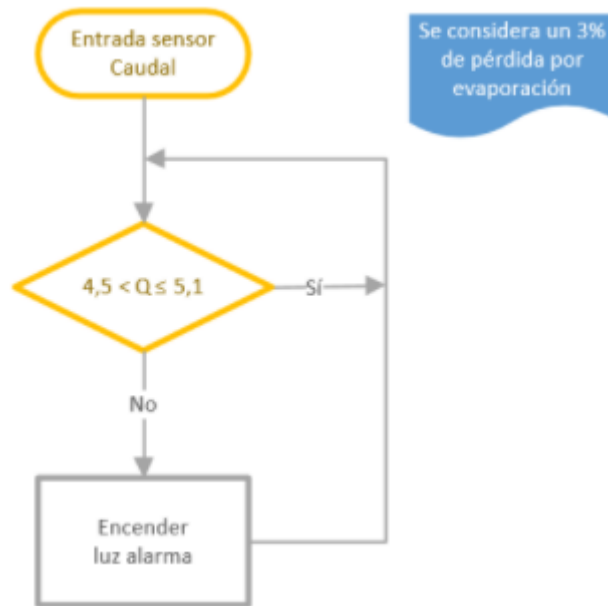


Figura 14. Diagrama de flujo del control de caudal  
(Fuente: autores del proyecto)

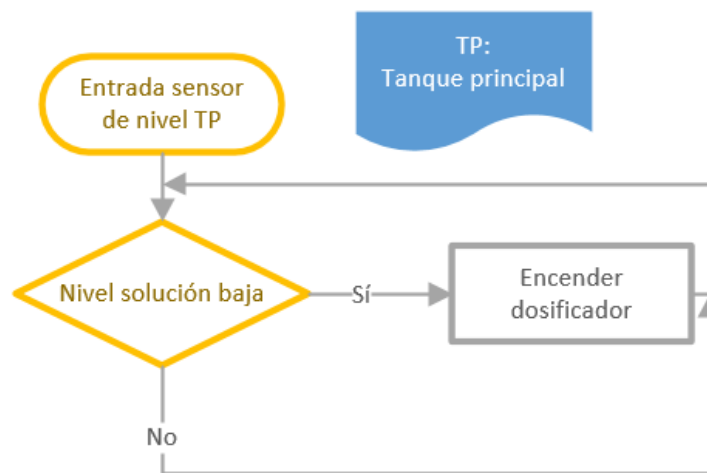


Figura 15. Diagrama de flujo del control de nivel del tanque principal  
(Fuente: autores del proyecto)

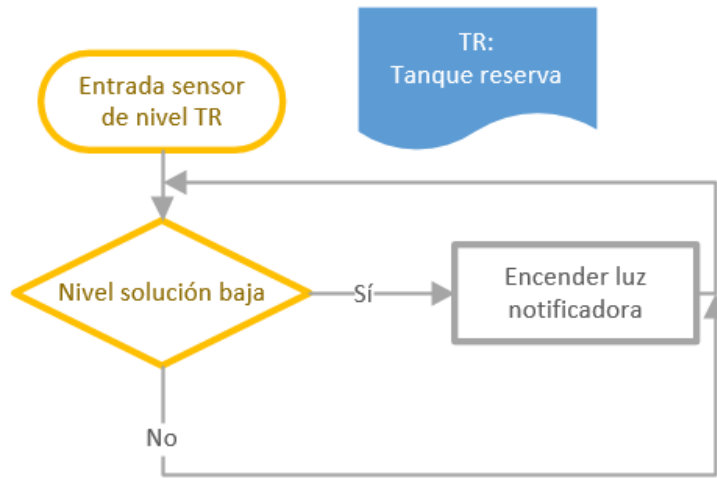


Figura 16. Diagrama de flujo del control de nivel de los tanques de reserva  
(Fuente: autores del proyecto)

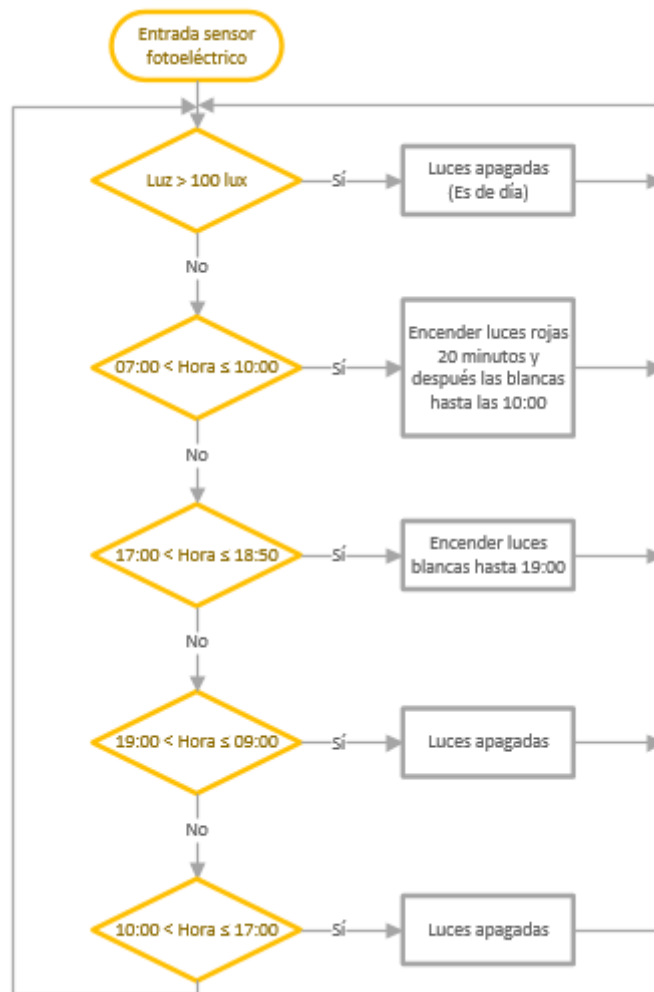


Figura 17. Diagrama de flujo del control de iluminación  
(Fuente: autores del proyecto)

## 12. Diagramas de contacto

(\*Programación PLC\*)

(\*Sistema de calefacción\*)

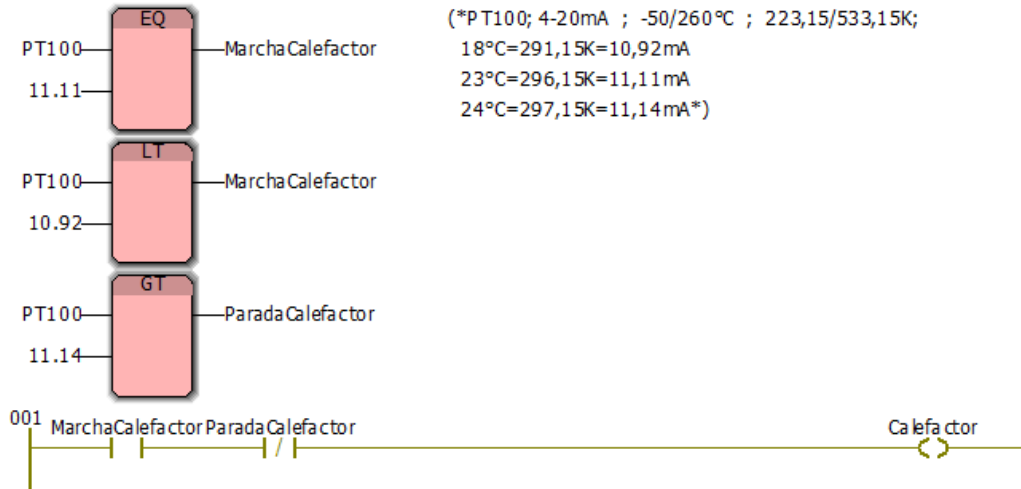
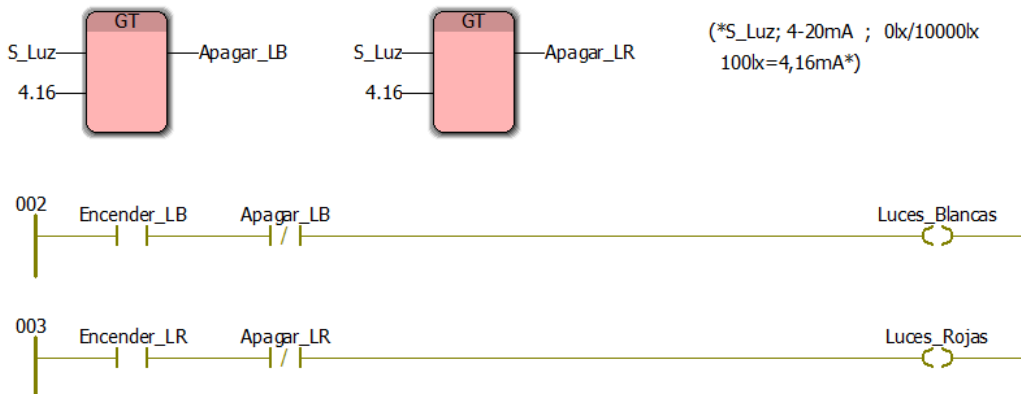
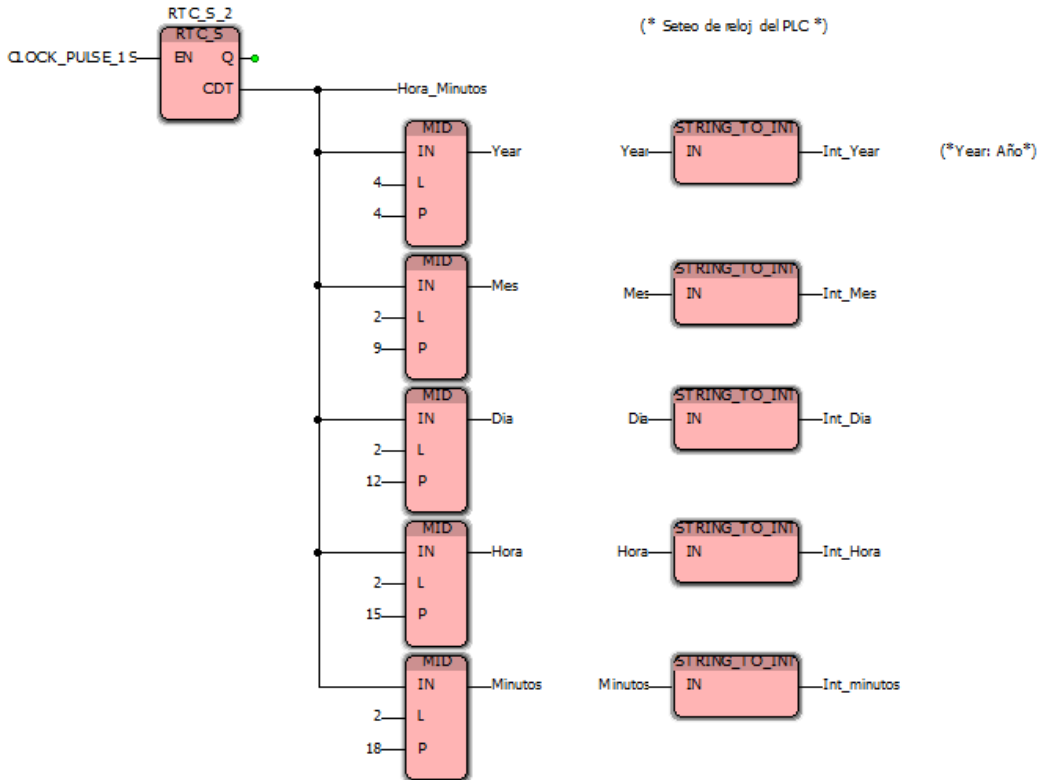


Figura 18. Diagrama de contacto del sistema de calefacción  
(Fuente: autores del proyecto)

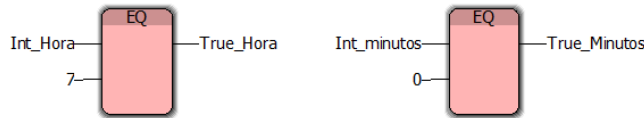
(\*Sistema Iluminación \*)



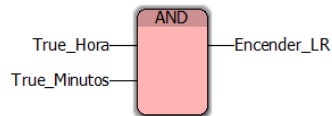


(\* AMANECER \*)

(\*Comparación de Hora y Minutos \*)



(\*Si se cumple que "True\_Hora" y "True\_Minutos", se activa "Encender\_LR"\*)



(\*Se apagan las luces rojas luego de 20 minutos = 1200 segundos\*)



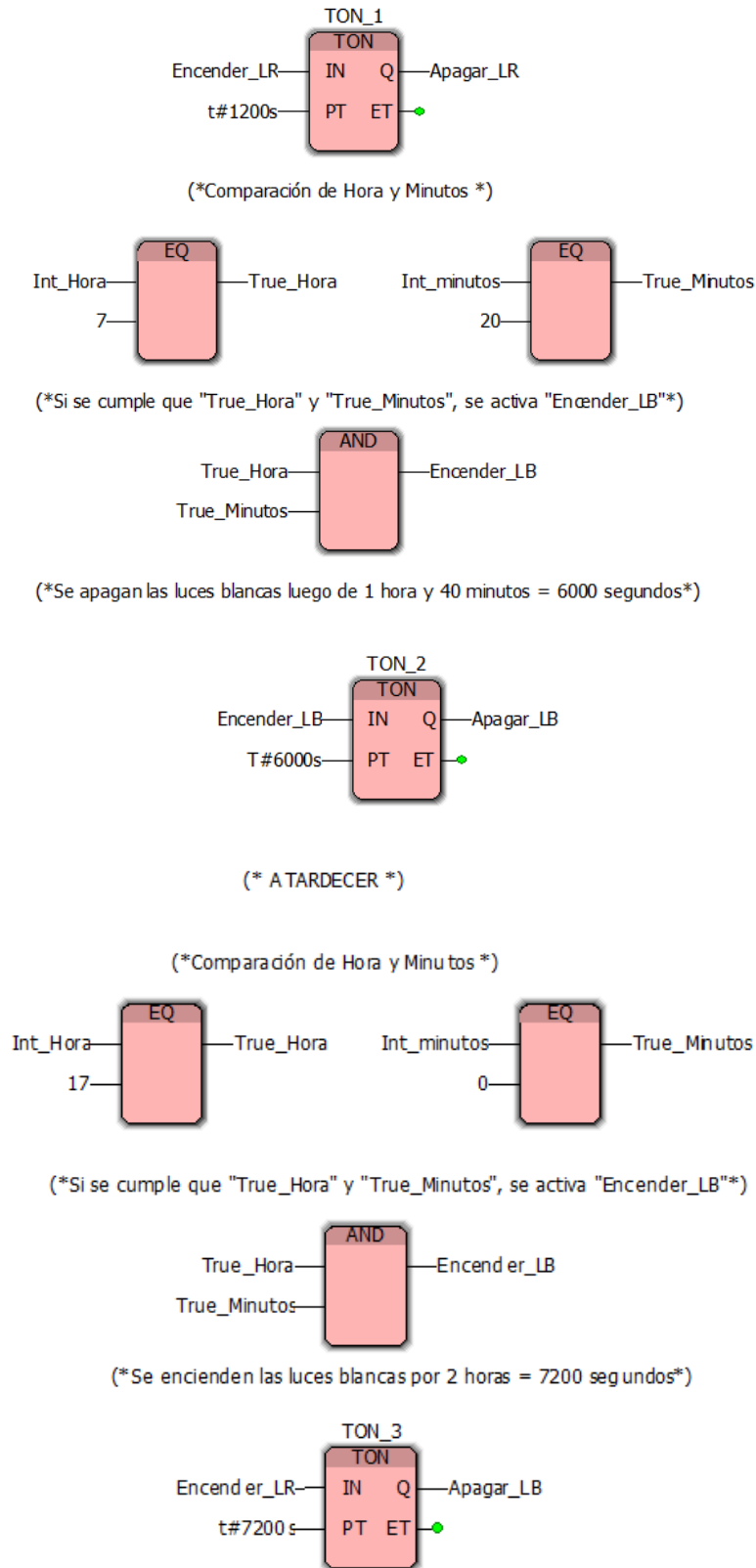


Figura 19. Diagrama de contacto del sistema de iluminación  
(Fuente: autores del proyecto)

(\*Programación PLC\*)

(\*Sistema de pH\*)

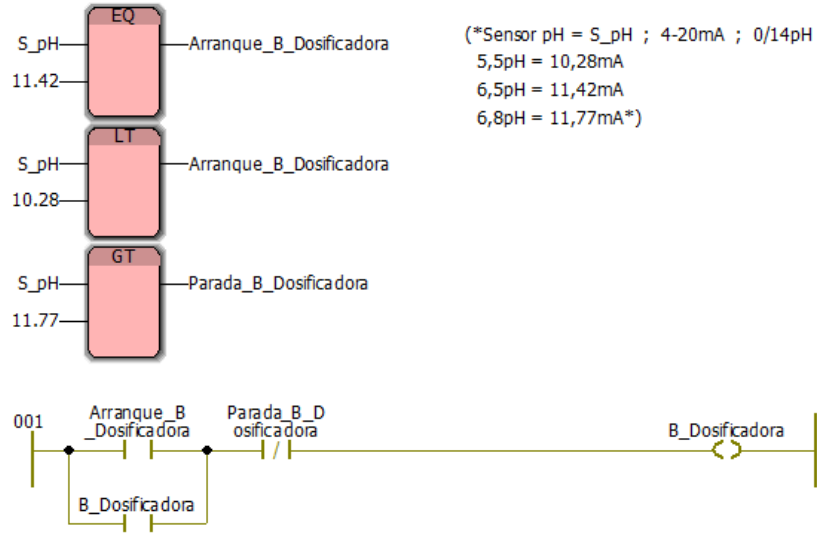


Figura 20. Diagrama de contacto del control de pH  
(Fuente: autores del proyecto)

(\*Sistema de Ventilación\*)

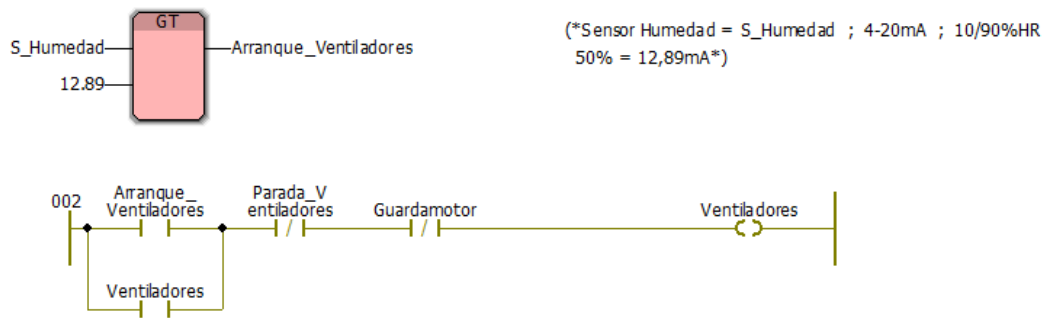


Figura 21. Diagrama de contacto del control de humedad  
(Fuente: autores del proyecto)

(\*Sistema de Dioxido de Carbono (CO2)\*)

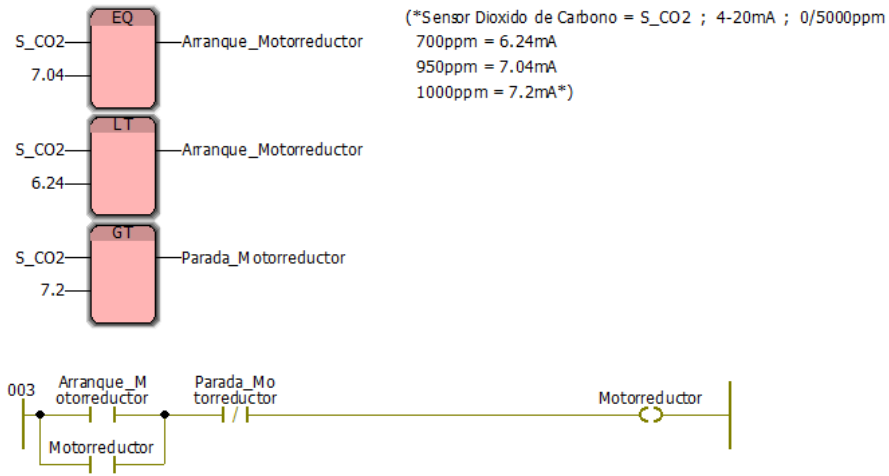


Figura 22. Diagrama de contacto del control de CO<sub>2</sub>  
(Fuente: autores del proyecto)

(\*Sistema de Oxigeno\*)

(\*Sensor Oxigeno = S\_O2 ; 4-20mA ; 0,004/25ppm  
7,1ppm = 8,54mA  
9,1ppm = 9,82mA\*)

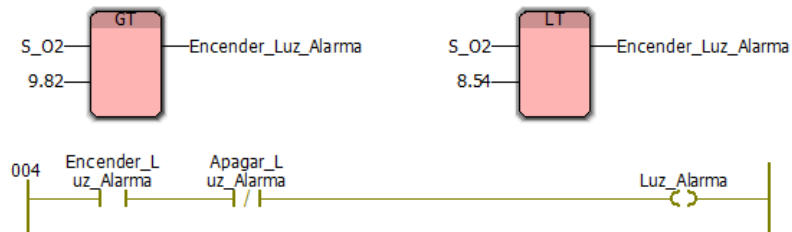


Figura 23. Diagrama de contacto del control de oxigeno  
(Fuente: autores del proyecto)

(\*Sistema de control de caudal \*)

(\*Caudalímetro = S\_Caudal ; 4-20mA ; 0,15/8 m/s  
4,5 m/s = 13mA  
5,1 m/s = 14,2mA\*)

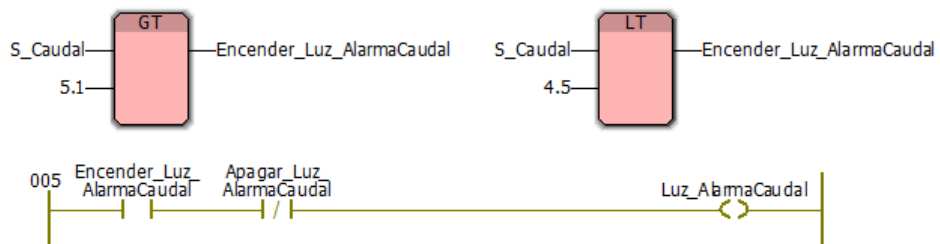


Figura 24. Diagrama de contacto del control de caudal  
(Fuente: autores del proyecto)

(\*Sistema de control de nivel del Tanque Principal\*)

(\*Si flotante bajo: Encender dosificador  
Si flotante alto: Apagar dosificador\*)

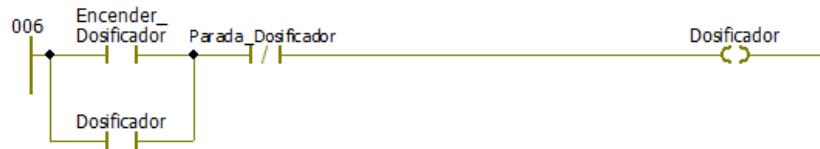


Figura 25. Diagrama de contacto del control de nivel de tanque principal  
(Fuente: autores del proyecto)

(\*Sistema de control de nivel de los Tanques de Reserva\*)

(\*Si flotante bajo: Encender luz notificadora  
Si flotante alto: Apagar luz notificadora\*)



Figura 26. Diagrama de contacto del control de nivel de tanques de reserva  
(Fuente: autores del proyecto)

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Sistema de generación eléctrica	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-SGE-09
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico</b>	<b>4</b>
2.1. Selección de paneles solares	4
2.2. Inclinação y orientación de los paneles solares	6
2.3. Selección de inversor	6
<b>3. Grupo electrógeno</b>	<b>7</b>
<b>4. Dimensionamiento de conductores</b>	<b>8</b>
<b>5. Selección de protecciones</b>	<b>10</b>
<b>Anexo A - Tablas y gráficos para el diseño del sistema de generación eléctrica</b>	<b>12</b>

## 1. Introducción

El invernadero incorpora un sistema de generación de energía por medios renovables debido a la existencia de la Ley 27 191 de “Régimen de fomento nacional para el uso de fuentes renovables de energía”.

Se implementa un sistema on grid cuyo conexionado entre la red y la instalación de generación se efectúa en conformidad con la normativa reglamentaria según la Ley 27 424.

En el sistema se combina la fuente de energía convencional con un grupo electrógeno para responder a las necesidades energéticas del invernadero. De esta manera se procura la electrificación del local para dar lugar a su funcionamiento ininterrumpido.

Cabe destacar que solo se permite el suministro de energía desde una de las fuentes, dependiendo del estado de la red. Para cumplir esta condición la instalación cuenta con enclavamiento eléctrico.

## 2. Dimensionamiento del sistema solar fotovoltaico

El consumo total de energía en la instalación agrícola se ve reflejado en la tabla A-1, suponiendo el caso de mayor uso de los artefactos.

Considerando la utilización de un 20% por autogeneración, la cantidad de energía total a generar por el equipamiento fotovoltaico es de 2 378 [Wh]. Este valor se redondea en 2 500 [Wh].

La cantidad de paneles necesarios para satisfacer parte de la demanda de consumo diario, está dada por la siguiente expresión:

$$Cant. \text{ paneles} = \frac{C_d \cdot 1,3}{HSP \cdot W_p}$$

Donde:

- $C_d$  es el consumo diario [Wh]
- HSP es la cantidad de hora solar pico
- $W_p$  es la potencia del panel solar [W]

### 2.1. Selección de paneles solares

Se eligen los paneles solares de la figura 1. Estos cumplen con la certificación de las normas IRAM 210013-17, IEC 61215-1/2:2016 e IEC 61215:2005. Sus características técnicas se muestran en la tabla 1.

Por cálculo, se instalan 10 paneles solares conectados en serie.





*Figura 1. Panel solar policristalino  
(Fuente: Risen)*

<b>Marca</b>	Risen
<b>Modelo</b>	SPY265
<b>Tipo</b>	Policristalino
<b>Tensión de salida [V]</b>	38,00
<b>Corriente de salida [A]</b>	8,58
<b>Potencia máxima [W]</b>	265,00
<b>Altura x Longitud [m]</b>	1 x 1,66
<b>Regulador de energía</b>	No

*Tabla 1. Especificaciones técnicas de los paneles solares  
(Fuente: Risen)*

## 2.2. Inclinación y orientación de los paneles solares

Se determina la inclinación ( $\beta$ ) de los paneles solares a  $\approx 51^\circ$  respecto a la horizontal, y un acimut de  $+30^\circ$  para la ciudad de Río Gallegos en función del disco de irradiación (gráfico A-1).

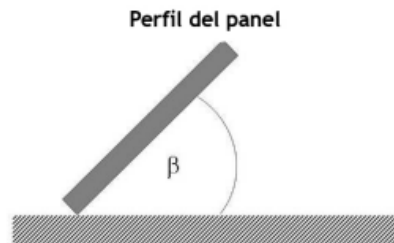


Figura 2. Inclinación del panel solar  
(Fuente: [11], PF-B-13)

Los paneles se disponen a nivel del suelo sobre soportes de aluminio (figura 3) que aseguran una inclinación que coincida con la latitud de su ubicación.

La estructura de los soportes se emplaza en un par de cimientos de hormigón armado tipo H17 de  $0,3 \times 0,3 \times 1$  [m].



Figura 3. Soporte de paneles solares  
(Fuente: Kit Solar)

## 2.3. Selección de inversor

Con los datos de la tabla A-2, se elige el inversor. En la tabla 2 se presentan sus características.

<b>Marca</b>	Growatt
<b>Modelo</b>	3000TL3-S
<b>Tensión mínima de entrada [V]</b>	140
<b>Tensión máxima de entrada [V]</b>	1000

<b>Tensión mínima de salida [V]</b>	220
<b>Tensión máxima de salida [V]</b>	400
<b>Máxima corriente entrada [A]</b>	11
<b>Máxima corriente salida [A]</b>	5,1
<b>Potencia pico [W]</b>	3 600
<b>Frecuencia [Hz]</b>	50/60
<b>Eficiencia [%]</b>	97,5
<b>Topología</b>	Sin transformador
<b>Protección contra sobrecorriente</b>	Sí
<b>Protección contra sobretensión</b>	Sí

*Tabla 2. Especificaciones técnicas del inversor  
(Fuente: Growatt)*



*Figura 4. Inversor Growatt  
(Fuente: Growatt)*

### 3. Grupo electrógeno

Se presentan las características del grupo electrógeno seleccionado para suministrar energía ante un corte de suministro de la red en la tabla 3.



Figura 5. Grupo electrógeno Fenk BS15000T  
(Fuente: Fenk)

<b>Marca</b>	Fenk
<b>Modelo</b>	BS15000T
<b>Combustible</b>	Nafta, propano
<b>Fases</b>	Trifásico
<b>Voltaje [V]</b>	380
<b>Potencia [W]</b>	12 000
<b>Peso del equipo [kg]</b>	100
<b>Tipo de arranque</b>	eléctrico y manual
<b>Largo [cm]</b>	78
<b>Ancho [cm]</b>	70
<b>Altura [cm]</b>	54
<b>Consumo por hora [L]</b>	3,9
<b>Capacidad del tanque [L]</b>	22

Tabla 3. Características técnicas del grupo electrógeno  
(Fuente: Fenk)

#### 4. Dimensionamiento de conductores

Se proyectan las secciones de los conductores respetando las condiciones exigidas por el reglamento electrotécnico de baja tensión: no superar la intensidad máxima admisible y no superar la máxima caída de tensión permitida entre 2 puntos (3%).

La ecuación para el cálculo de sección de cable para corriente continua es:

$$S = \frac{2 \cdot L \cdot I \cdot \gamma}{V_A - V_B}$$

Donde:

- L es la longitud de la conducción [L]
- I es la corriente [A]
- $\gamma$  es la resistividad o resistencia específica [Wmm<sup>2</sup>/m]
- $V_A - V_B$  es la caída de tensión máxima admisible [V]

Circuito	Sección nominal [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>z</sub> [A]
Seccional I	6,00	32
Generador fotovoltaico al inversor	4,00	28
Grupo electrógeno al TS	4,00	25

Tabla 4. Secciones nominales de los conductores

Se aplican los factores de corrección por temperatura de 1,19, por agrupamiento de 2 conductores 0,80 y 3 conductores 0,70; según las tablas A-6 y A-7 (PF-IE-11).

Circuito	I <sub>z</sub> [A]	I <sub>z</sub> corregido [A]
Seccional I	32	26,65
GFV a Inversor	25	20,82
GE al TS	25	20,82

Tabla 5. Corrección de I<sub>z</sub>

La fórmula para que se cumpla la máxima caída de tensión permitida en corriente continua es:

$$\Delta U (\%) = \frac{2 \cdot I \cdot L}{\gamma \cdot S} 100\%$$

Tramo	Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	I [A]	$\Delta U$ [V/A Km]	$\Delta U$ [%]	$\Delta U < 3\%$
Seccional I	6,00	10,33	25,58	6,5	0,45	Verifica
GFV a TS	4,00	5,20	8,58	10	0,38	Verifica
GE a TS	4,00	5,31	17,00	0,0135 (GDC)	0,30	Verifica

Tabla 6. Verificación de la caída de tensión

## 5. Selección de protecciones

Con las corrientes que atraviesan los diferentes circuitos se elige el calibre de las protecciones contra corrientes de sobrecarga. Éstas se expresan en la tabla 7.

Circuito	$I_z$ [A]	$I_n$ [A]	Curva de respuesta
Inversor al TS	20,82	16	C
GFV a Inversor	20,82	10	C
GE a TS	20,82	16	C

Tabla 7. Selección de protección contra corrientes de sobrecarga



Figura 6. Interruptor termomagnético Schneider Electric DC C 10  
(Fuente: Schneider Electric)



Figura 7. Contactor Schneider Electric 25 [A]  
(Fuente: Schneider Electric)

Realizando la verificación de  $I_B \leq I_n \leq I_z$ :

Circuito	$I_B$ [A]	Condición	$I_n$ [A]	Condición	$I_z$ [A]	Resultado
Inversor a TS	8,58	$\leq$	16	$\leq$	20,82	Verifica
GFV a Inversor	8,58	$\leq$	10	$\leq$	20,82	Verifica
GE a TS	17,00	$\leq$	16	$\leq$	20,82	Verifica

Tabla 8. Verificación de protecciones

Siguiendo el procedimiento de cálculo del documento PF-IE-11, se verifica la regla de poder de corte y de tiempo de corte para la protección contra cortocircuitos por medio de los interruptores termomagnéticos. Y además, se comprueba la resistencia a la intensidad de cortocircuito mínima ya que las longitudes máximas para el rango de corrientes de cortocircuitos son mayores a las longitudes de los circuitos.

Por último, para la protección contra contactos directos del grupo electrógeno se selecciona un interruptor diferencial de 40 [A] con una sensibilidad de 30 [mA] y para el generador fotovoltaico uno de 16 [A] con una sensibilidad de 30 [mA].



Figura 8. Interruptor diferencial de 40 [A]  
(Fuente: Schneider Electric)

## Anexo A - Tablas y gráficos para el diseño del sistema de generación eléctrica

Debido a la naturaleza académica del proyecto se ha considerado de utilidad reproducir las tablas y gráficos utilizados en los cálculos.

Artefacto	Fases	Cant.	Potencia unitaria [W]	Potencia total [W]	Factor de pico	Pico de P peor caso [W]	Horas uso/día	Energía [Wh]
Bomba de riego	1.00	4.00	1 177.00	4 708.00	1.70	8 003.60	12.00	96 043.20
Bomba dosificadora	1.00	1.00	372.85	372.85	1.70	633.85	0.17	107.75
Generador de aire caliente	3.00	1.00	2 100.00	2 100.00	1.70	3 570.00	8.00	28 560.00
Ventilador extractor	3.00	2.00	673.85	1 347.70	1.70	2 291.09	2.00	4 582.18
Ventilador de circulación	3.00	4.00	280.00	1 120.00	1.70	1 904.00	2.00	3 808.00
Motor enrollamiento	1.00	2.00	14.00	28.00	1.70	47.60	0.08	3.95
Tira LED	1.00	48.00	40.80	1 958.40	1.00	1 958.40	5.00	9 792.00
Lámpara LED	1.00	7.00	20.00	140.00	1.00	140.00	4.00	560.00
PLC	1.00	1.00	100.00	100.00	1.30	130.00	24.00	3 120.00
Controladores y sensores	1.00	10.00	5.00	50.00	1.30	65.00	24.00	1 560.00
			<b>Total</b>	<b>11 890.00</b>		<b>18 743.54</b>		<b>148 137.08</b>

Tabla A-1. Consumo de energía en el invernadero  
(Fuente: autores del proyecto)

Parámetros	
Tensión de trabajo CC $V_{sis}$ [V]	24.00
Frecuencia de salida $f_{sis}$ [Hz]	50.00
Tensión de salida $V_o$ [V]	380.00
Potencia nominal requerida $P_n$ [W] (20%)	2378.00
Potencia pico requerida $P_{pk}$ [W] (20%)	3548.71
Rendimiento $\eta$	0.97

Tabla A-2. Parámetros para la selección del inversor  
(Fuente: autores del proyecto)



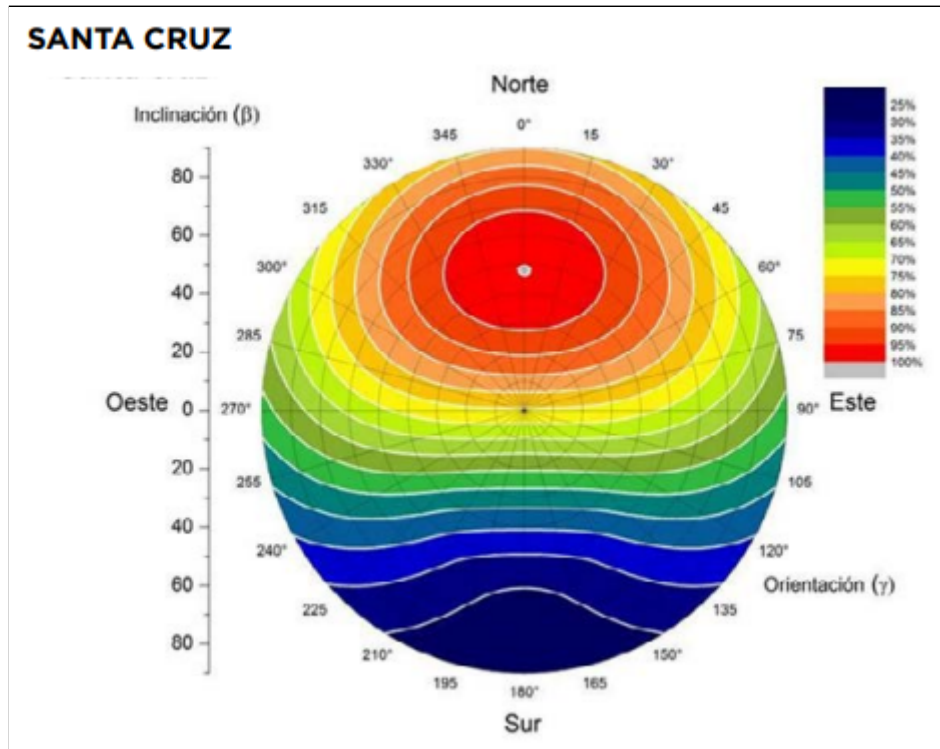


Gráfico A-1. Disco de irradiación solar  
(Fuente: [11], PF-B-13)

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Instalación de gas	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-IG-10
Profesores	Revisión	1
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Pérdida de carga</b>	<b>4</b>
<b>3. Cantidad y tipo de accesorios</b>	<b>5</b>
<b>4. Verificación de diámetro</b>	<b>6</b>
<b>Anexo A - Tablas para el cálculo de la instalación de gas</b>	<b>7</b>

## 1. Introducción

En este apartado se utiliza como guía el método de cálculo proporcionado por el libro “Instalaciones de Gas” de N. P. Quadri, respetando la normativa establecida en la NAG 200.

## 2. Pérdida de carga

Se analiza la tubería por la que circula el gas, como se indica en la figura 1.

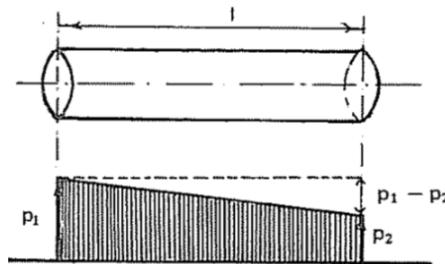


Figura 1. Pérdida de carga en la cañería.  
(Fuente: [6], PF-B-13)

$$p_1 - p_2 = L R$$

Donde:

- $p_1$  es la presión inicial [kg/m<sup>2</sup> o mmca]
- $p_2$  es la presión final [kg/m<sup>2</sup> o mmca]
- R es la pérdida de carga por metro o gradiente [mmca/m]
- L es la longitud del tramo de cañería [m]

El siguiente esquema representa el recorrido de la instalación:

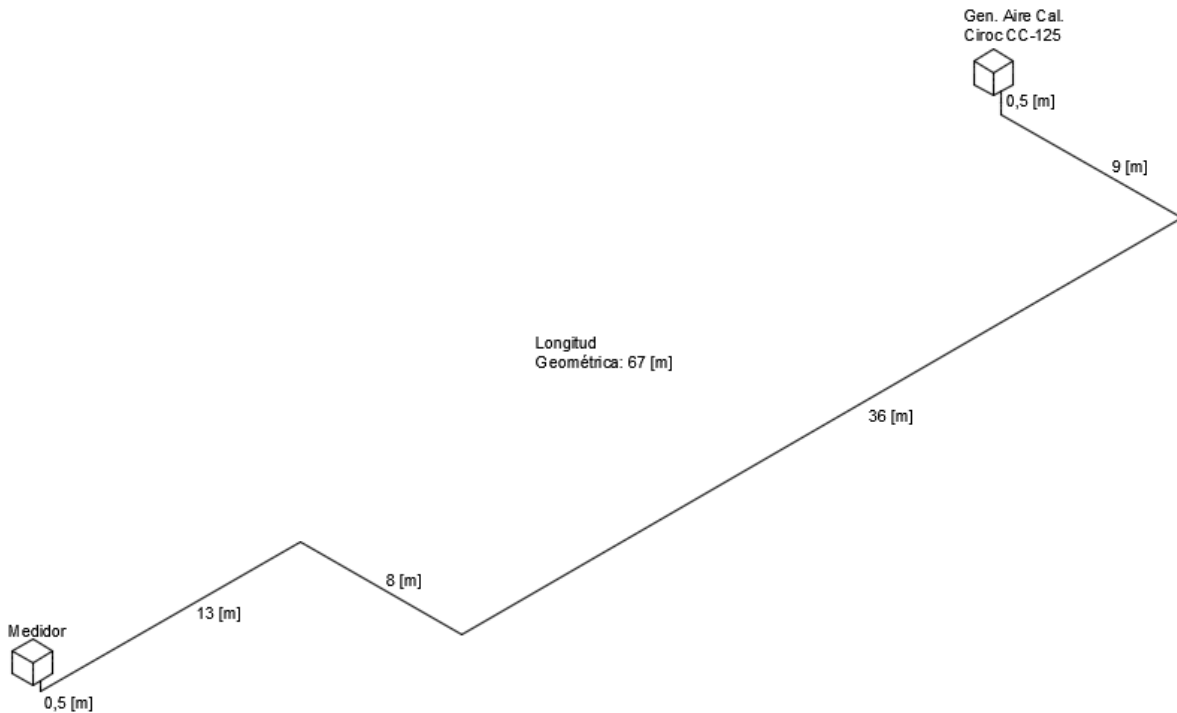


Figura 2. Esquema de la instalación de gas  
(Fuente: autores del proyecto)

La longitud geométrica desde el medidor hasta el consumo, que es el generador de aire caliente con una demanda de  $14,62 \text{ [m}^3\text{/h]}$  de G.N, es de  $67 \text{ [m]}$ . Con este valor, mediante la tabla A-1, se pre obtiene el diámetro de la tubería  $d = 2 \text{ [pulg]}$ .

### 3. Cantidad y tipo de accesorios

Las pérdidas producidas en los distintos accesorios que integran la instalación se señalan en la tabla A-2. El sistema en el invernadero está compuesto por los siguientes accesorios:

Accesorios	Cantidad	Ecuación	Longitud equivalente [m]
Codos a $90^\circ$	7	30d	10,66
Válvula globo	2	333d	33,83

Tabla 1. Accesorios de la instalación y equivalencia

#### 4. Verificación de diámetro

Se le agregan las pérdidas lineales a la longitud geométrica para obtener la longitud de cálculo, y posteriormente se verifica que el diámetro es correcto.

Longitud [m]			Consumo [m <sup>3</sup> /h]	Diámetro [pulg]
Geométrica	Accesorios	Cálculo		
67	44,49	111,50	14,6	2

Tabla 2. Verificación del diámetro de la tubería

### Anexo A - Tablas para el cálculo de la instalación de gas

Debido a la naturaleza académica del proyecto se ha considerado de utilidad reproducir las tablas y gráficos utilizados en los cálculos. Las tablas anexadas a continuación provienen del libro de N. P. Quadri, "Instalaciones de gas".

Longitud de la cañería en metros	DIÁMETROS DE LA CAÑERÍA EN MILÍMETROS								
	9,5 (3/8")	13 (1/2")	19 (3/4")	25 (1")	32 (1 1/4")	38 (1 1/2")	51 (2")	63 (2 1/2")	76 (3")
42	380	780	2.155	4.420	7.720	12.180	25.005	43.277	68.267
44	370	765	2.105	4.320	7.545	11.900	24.430	42.279	66.692
46	360	745	2.060	4.220	7.375	11.635	23.885	41.349	65.227
48	355	730	2.015	4.135	7.225	11.395	23.395	40.478	63.852
50	350	715	1.975	4.035	7.075	11.165	22.920	39.660	62.560
55	330	685	1.885	3.860	6.750	10.845	21.850	37.815	59.650
60	315	655	1.805	3.695	6.460	10.190	20.920	36.205	57.109
65	305	630	1.730	3.550	6.210	9.695	20.105	34.784	54.870
70	295	605	1.670	3.420	5.980	9.430	19.360	33.521	52.876
75	285	585	1.615	3.310	5.780	9.115	18.715	32.383	51.081
80	275	565	1.565	3.200	5.595	8.830	18.120	31.354	49.459
85	265	550	1.515	3.105	5.425	8.555	17.565	30.419	47.984
90	260	535	1.470	3.015	5.270	8.315	17.070	29.563	46.634
95	250	520	1.435	2.940	5.135	8.100	16.630	28.774	45.389
100	245	505	1.400	2.865	5.005	7.895	16.205	28.043	44.237
110	235	485	1.330	2.730	4.770	7.530	15.460	26.738	42.178
120	225	460	1.275	2.615	4.570	7.210	14.800	25.600	40.384
130	215	445	1.225	2.515	4.390	6.930	14.225	24.896	38.800
140	205	430	1.180	2.420	4.230	6.670	13.695	23.701	37.387
150	200	415	1.140	2.340	4.090	6.450	13.340	22.898	36.120
160	195	400	1.105	2.265	3.955	6.240	12.815	22.170	34.972
170	190	390	1.070	2.195	3.835	6.050	12.425	21.509	33.929
180	185	380	1.045	2.135	3.730	5.890	12.085	20.902	32.972
190	175	370	1.015	2.070	3.625	5.730	11.765	20.344	32.092
200	170	360	990	2.025	3.540	5.580	11.460	19.830	31.230

Tabla A-1. Diámetros de la cañería

Codo a 45°	14 d
Codo a 90°	30 d
Curva	20 d
Te flujo a través	20 d
Reducciones	10 d menor
Te flujo a 90°	60 d
Válvula globo	333 d
Válvula esclusa	7 d
Válvula macho	100 d

Tabla A-2. Longitudes equivalentes de accesorios a rosca



Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Instalación eléctrica	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-IE-11
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Determinación de grado de electrificación</b>	<b>4</b>
<b>3. Número mínimo de circuitos</b>	<b>4</b>
<b>4. Demanda máxima de potencia simultánea</b>	<b>4</b>
<b>5. Dimensionamiento del cableado</b>	<b>5</b>
<b>6. Elementos de maniobra y protección</b>	<b>8</b>
6.1. Protección contra corrientes de sobrecarga	8
6.2. Protección contra corrientes de cortocircuito	10
<b>7. Selectividad</b>	<b>11</b>
<b>8. Síntesis de los circuitos del tablero seccional</b>	<b>12</b>
<b>9. Distribución de cargas</b>	<b>13</b>
<b>Anexo A - Tablas para el diseño de la instalación eléctrica</b>	<b>14</b>

## 1. Introducción

La instalación eléctrica está basada en la norma AEA 90364 - Parte 7: Reglas particulares para la ejecución de las instalaciones eléctricas en inmuebles - sección 771: Viviendas, oficinas y locales (unitarios), por ser la más compatible para este proyecto.

## 2. Determinación de grado de electrificación

Según la tabla A-1, y los 840 m<sup>2</sup> con los que cuenta el invernadero, el grado de electrificación es medio. Teniendo una demanda de potencia máxima simultánea calculada de hasta 10 kVA.

## 3. Número mínimo de circuitos

Para el grado medio (Tabla A-2), son cuatro circuitos: dos de iluminación de uso general, uno de tomacorrientes de uso general, y el cuarto es un circuito de iluminación o de tomacorrientes de uso especial.

## 4. Demanda máxima de potencia simultánea

Se calcula la demanda de potencia máxima simultánea (DPS), tomando para cada circuito los valores de la tabla A-3.

Categoría	Artefacto	Cant.	Potencia unitaria	Potencia	Unidad
Sistema hidráulico	Bomba de riego	4	1 177,00	4 708,00	[W]
	Bomba dosificadora	1	372,85	372,85	[W]
Sistema de calefacción y ventilación	Generador de aire caliente	1	2 100,00	2 100,00	[W]
	Ventilador extractor	2	673,75	1 347,50	[W]
	Ventilador circulación	4	280,00	1 120,00	[W]
	Motor enrollamiento	2	14,00	28,00	[W]
Sistema de iluminación	Tira LED	48	40,80	1 958,40	[W]
	Lámpara LED	7	20,00	140,00	[W]
Sistema de automatización	PLC	1	100,00	100,00	[W]
	Controladores y sensores	10	5,00	50,00	[W]
<b>Potencia total</b>				11 890	[W]

Tabla 1. Potencia de los equipos del invernadero

Cant. de circuitos	Tipo de circuito	Máxima cantidad de bocas por circuito	Elementos	Cantidad de bocas
1	TUG	15	1x PLC 1x Bomba dosificadora 1x Display sensor pH 1x Display sensor CO <sub>2</sub> 1x Display sensor de intensidad luz	5
5	IUG	15	48x Tiras LED 7x Lámparas LED	55
1	TUE	12	2x Ventiladores de extracción 4x Ventiladores de circulación	6
5	ACU	No corresponde	4x Bomba de riego 1x Calefacción	5
1	APM	15	2x Motorreductor	2

Tabla 2. Resumen de los circuitos eléctricos del invernadero

Calculando la DPS:

$$DPS = 2\,200 [VA] + (5 \cdot 150 [VA]) + 3\,300 [VA] + (4 \cdot 1\,177 [VA]) + 2\,210 [VA] + 400 [VA]$$

$$DPS = 13\,568 [VA]$$

Aplicando el coeficiente de simultaneidad para un grado de electrificación medio:

$$DPMS = 13\,568 [VA] \cdot 0,9 = 12\,211 [VA]$$

Como la DPMS  $\geq 10$  [kVA], no se verifica el grado de electrificación inicialmente planteado por lo que se cambia a superior.

## 5. Dimensionamiento del cableado

Se determina la corriente de proyecto o intensidad proyectada de la corriente de carga  $I_B$  para los circuitos a través de la ecuación:

$$I_B = \frac{DPMS}{U_L}$$

Circuito	DPMS [VA]	$I_B$ [A]
TUG	2 200	10,00
IUG1	150	0,68
IUG2	150	0,68
IUG3	150	0,68
IUG4	150	0,68
IUG5	150	0,68
TUE	3 300	8,68
ACU1	1 177	5,35
ACU2	1 177	5,35
ACU3	1 177	5,35
ACU4	1 177	5,35
ACU5	2 210	5,81
APM	400	1,18
<b>Total</b>		<b>50,48</b>

Tabla 3. Corriente de carga  $I_B$  para cada circuito

En base a lo estipulado en la tabla A-4 se consideran las secciones nominales mínimas de los cables y mediante la tabla A-5 se establece la intensidad de corriente admisible en régimen permanente por los cables a proteger ( $I_z$ ).

Circuito	Sección nominal [mm <sup>2</sup> ]	I <sub>z</sub> [A]
Seccional II	25,00	77
IUG1-5	2,50	21
TUG	2,50	21
TUE	4,00	25
ACU1-4	2,50	21
ACU5	2,50	21
APM	2,50	21

Tabla 4. Secciones nominales mínimas para el proyecto

Se aplican los factores de corrección por temperatura de 1,19, por agrupamiento de 2 conductores 0,80 y 3 conductores 0,70; según las tablas A-6 y A-7.

Circuito	I <sub>z</sub> [A]	I <sub>z</sub> corregido [A]
Seccional	77	64,14
IUG	21	19,49
TUG	21	19,99
TUE	25	20,82
ACU1-4	21	19,99
ACU5	21	19,99
APM	21	19,99

Tabla 5. Corrección de I<sub>z</sub>

La caída de tensión entre los bornes de salida del tablero principal y cualquier punto de utilización no debe superar el 3%. Se emplea la tabla A-8 y para cada valor de tensión se aplica la expresión para líneas monofásicas:

$$\Delta U (\%) = \frac{\Delta U \cdot I \cdot L}{U_L \cdot 1000} 100\%$$

Para líneas trifásicas:

$$\Delta U (\%) = \frac{GDC \cdot I \cdot L}{S}$$

Tramo	Sección [mm <sup>2</sup> ]	Longitud [m]	I [A]	$\Delta U$ [V/A Km]	$\Delta U$ [%]	$\Delta U < 3\%$
TP a TS	25	10	50,48	0,0175 (GDC)	0,35	Verifica
TS a Terminal IUG	2,5	64	3,41	15	1,48	Verifica
TS a Terminal TUG	2,5	9	10	15	0,61	Verifica
TS a Terminal TUE	4,0	83	8,68	0,0135 (GDC)	2,43	Verifica
TS a Terminal ACU1-4	2,5	8	5,35	15	0,29	Verifica
TS a Terminal ACU5	2,5	38	5,81	0,0135 (GDC)	1,19	Verifica
TS a Terminal APM	2,5	13	1,18	15	0,10	Verifica

Tabla 6. Verificación de la caída de tensión

## 6. Elementos de maniobra y protección

En este apartado del proyecto se establecen los elementos de maniobra y protección con los que debe contar toda instalación eléctrica.

### 6.1. Protección contra corrientes de sobrecarga

Se satisface la siguiente condición de funcionamiento para los dispositivos de protección:

$$I_B \leq I_n \leq I_z$$

Por consiguiente, se fija la corriente asignada o nominal del dispositivo de protección  $I_n$  correspondiente a cada circuito.

Para cada circuito se eligen los dispositivos de protección adecuados: en el caso de los de IUG, TUG, TUE y APM se emplean interruptores termomagnéticos; y los de ACU se instalan guardamotors magnetotérmicos y un contactor clase AC-3 de 9 [A]. Para el sistema de automatización, en los IUG se colocan contactores clase AC-1 de 6 [A] y en el TUE un contactor clase AC-3 de 9 [A].



Circuito	$I_z$ [A]	$I_n$ [A]	Curva de respuesta
Seccional	49,14	63	C
IUG	19,99	10	C
TUG	19,99	16	C
TUE	20,82	6 a 10	-
ACU	19,99	6 a 10	-
APM	19,99	5	C

Tabla 7. Selección de protección contra corrientes de sobrecarga

Realizando la verificación térmica:

Circuito	$I_B$ [A]	Condición	$I_n$ [A]	Condición	$I_z$ [A]	Resultado
Seccional	44,67	$\leq$	63	$\leq$	64,14	Verifica
IUG	3,41	$\leq$	10	$\leq$	19,99	Verifica
TUG	10	$\leq$	16	$\leq$	19,99	Verifica
APM	1,18	$\leq$	5	$\leq$	19,99	Verifica
TUE	8,68	$\leq$	10	$\leq$	20,82	Verifica
ACU	5,35	$\leq$	6	$\leq$	19,99	Verifica

Tabla 8. Verificación de protecciones



Figura 1. Interruptores termomagnéticos C 50 y C 16 bipolar y tetrapolar  
(Fuente: Schneider Electric)



Figura 2. Guardamotor termomagnético 6 a 10 [A] y contactor AC3 de 9 [A]  
(Fuente: Schneider Electric)

## 6.2. Protección contra corrientes de cortocircuito

La empresa distribuidora proporciona la intensidad de corriente máxima de cortocircuito en los bornes del medidor y en los bornes de toma primaria.

Según la regla de poder de corte, el interruptor de cabecera debe ser capaz de interrumpir la corriente de cortocircuito de un valor mayor o igual a 3 500 [A]. Verificando el cumplimiento en el conductor de 16 [mm<sup>2</sup>] para alcanzar los 250 °C en un tiempo de 0,1 [s]:

$$I \leq k \cdot \frac{S}{\sqrt{t}}$$

$$I \leq 143 \cdot \frac{16}{\sqrt{0,1}} = 1\,808,80 \text{ [A]}$$

Como 1 808,80 [A] < 3 500 [A], el cable no verifica frente a la corriente de cortocircuito máxima. Es por ello que se eligen interruptores automáticos limitadores.

El circuito seccional que alimenta al tablero seccional está protegido por un interruptor termomagnético de 50 [A] curva tipo C, entonces por regla de tiempo de corte:

$$k^2 S^2 \geq (I^2 t)$$

Donde:

- t es la duración de la interrupción o tiempo de desconexión en segundos (válido entre 0,1 y 5 [s])
- S es la sección del conductor en mm<sup>2</sup>
- I es la intensidad de corriente de cortocircuito en amperios, expresada como valor eficaz
- k es un factor que toma en cuenta la resistividad, el coeficiente de temperatura y capacidad térmica del conductor, y las temperaturas inicial y final del mismo

$$k^2 S^2 = 143^2 16^2$$

$$k^2 S^2 = 5\,234\,944$$

Se selecciona un interruptor con una capacidad de ruptura de 6 000 [A], y por la tabla A-11 se sabe que  $I^2 t$  es 55 000 [ $A^2 s$ ]:

$$k^2 S^2 \geq (I^2 t)$$

$$5\,234\,944 \geq 55\,000$$

En el caso de la verificación por intensidad de cortocircuito mínima, se toma la longitud máxima de cables del circuito seccional (entre el tablero principal y el seccional) y de los circuitos terminales (entre el tablero seccional y la boca o dispositivo utilizador) que establecen la corriente de cortocircuito mínima que asegura la actuación instantánea de la protección. Tomando como referencia la tabla A-12, se concluye que las longitudes máximas para el rango de corrientes de cortocircuito presuntas en el TS son muy superiores a las longitudes de los alimentadores, es decir que los cables están protegidos contra las corrientes mínimas de cortocircuito que se esperan.

## 7. Selectividad

En este proyecto se concreta la selectividad total en el TS II. Para la protección contra contactos directos se selecciona un interruptor diferencial de 63 [A] con una sensibilidad de 30 [mA].



Figura 3. Interruptor diferencial de 63 [A]  
(Fuente: Schneider Electric)

## 8. Síntesis de los circuitos del tablero seccional

Por consiguiente, se dispone una tabla de resumen con los datos concernientes a la instalación eléctrica:

Tablero Seccional II					
Grado de electrificación	Medio				
Circuito	1	2	3	4	5
Designación	IUG	TUG	TUE	ACU	APM
Cantidad	5	1	1	4	1
Número de fases	1	1	3	1	1
DPMS [VA]	750	2 200	3 300	6 918	400
Tensión [V]	220	220	380	220	220
$I_B$ [A]	3,41	10,00	8,68	5,35	1,18
Sección $L_1$ , $L_2$ , $L_3$ y N [mm <sup>2</sup> ]	2,50	2,50	4	2,50	2,50
Sección PE [mm <sup>2</sup> ]	2,50	2,50	4	2,50	2,50
$I_z$ [A]	19,99	19,99	20,82	19,99	17,99
Curva de rta.	C	C	-	-	C
$I_n$ [A]	10	16	6 a 10	6 a 10	5
$I_{cc}$ [A]	3 500				
TS a circuito [m]	64	9	83	38	13
$\Delta U$ [%] TOTAL	1,48	0,61	2,43	1,31	0,10

Tabla 9. Síntesis de circuitos del tablero seccional

## 9. Distribución de cargas

Como este proyecto cuenta con una acometida aérea trifásica, se realiza una distribución simétrica de las cargas para cada una de las fases. A continuación se presenta una tabla con el reparto de las cargas para cada línea.

Carga	L <sub>1</sub> [W]	L <sub>2</sub> [W]	L <sub>3</sub> [W]
IUG1	-	-	490
IUG2	-	-	490
IUG3	-	-	490
IUG4	-	-	490
IUG5	-	140	-
ACU1	1 177	-	-
ACU2	1 177	-	-
ACU3	-	1 177	-
ACU4	-	1 177	-
TUG	-	-	488
TUE	1 522	1 522	1 522
APM	28	-	-
<b>Total</b>	<b>3 904</b>	<b>4 016</b>	<b>3 970</b>

Tabla 10. Distribución de cargas en las fases

## Anexo A - Tablas para el diseño de la instalación eléctrica

Debido a la naturaleza académica del proyecto se ha considerado de utilidad reproducir las tablas y gráficos utilizados en los cálculos. Las tablas anexadas a continuación provienen de la norma AEA 90364 - Parte 7.

Grado de electrificación	Superficie (límite de aplicación)
Mínimo	hasta 300 m <sup>2</sup>
Medio	más de 300 m <sup>2</sup> hasta 2000 m <sup>2</sup>
Elevado	más de 2000 m <sup>2</sup> hasta 5000 m <sup>2</sup>
Superior	más de 5000 m <sup>2</sup>

Tabla A-1. Resumen de los grados de electrificación

Grado de electrificación	Cantidad mínima de circuitos	Tipo de circuitos				
		Variante	Iluminación uso general (IUG)	Tomacorriente uso general (TUG)	Iluminación uso especial (IUE)	Tomacorriente uso especial (TUE)
Mínimo	3	Única	2	1	---	---
Medio	4	a)	2	1	1	---
		b)	2	1	---	1
		c)	3	1	---	---
		d)	2	2	---	---
Elevado	6	Única	3	2	---	1
Superior	8	Única	4	2	---	1



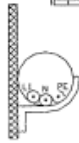
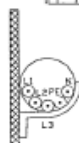
Tabla A-2. Número mínimo de puntos de utilización

Circuito	Valor mínimo de la potencia máxima simultánea	
	Viviendas	Oficinas y locales
Iluminación para uso general sin tomacorrientes derivados	66 % de la que resulte al considerar todos los puntos de utilización previstos, a razón de 150 VA cada uno.	100 % de la que resulte al considerar todos los puntos de utilización previstos, a razón de 150 VA cada uno.
Iluminación para uso general con tomacorrientes derivados	2200 VA por cada circuito.	
Tomacorrientes para uso general	2200 VA por cada circuito.	
Iluminación para uso especial	66 % de la que resulte al considerar todos los puntos de utilización previstos, a razón de 500 VA cada uno.	100 % de la que resulte al considerar todos los puntos de utilización previstos, a razón de 500 VA cada uno.
Tomacorrientes para uso especial	3300 VA por cada circuito.	

Tabla A-3. Demanda máxima de potencia simultánea

Líneas principales	4,00 mm <sup>2</sup>
Circuitos seccionales	2,50 mm <sup>2</sup>
Circuitos terminales para iluminación de usos generales (con conexión fija o a través de tomacorrientes)	1,50 mm <sup>2</sup>
Circuitos terminales para tomacorrientes de usos generales	2,50 mm <sup>2</sup>
Circuitos terminales para iluminación de usos generales que incluyen tomacorrientes de usos generales	2,50 mm <sup>2</sup>
Líneas de circuito para usos especiales	2,50 mm <sup>2</sup>
Líneas de circuito para uso específico (excepto MBTF)	2,50 mm <sup>2</sup>
Líneas de circuito para uso específico (alimentación a MBTF)	1,50 mm <sup>2</sup>
Alimentaciones a interruptores de efecto	1,50 mm <sup>2</sup>
Retornos de los interruptores de efecto	1,50 mm <sup>2</sup>
Conductor de protección	2,50 mm <sup>2</sup>

Tabla A-4. Secciones mínimas de los conductores

	Termoplástico	
	PVC / LS0H IRAM NM 247-3 / IRAM 62267 B52-2 B1	PVC / LS0H IRAM NM 247-3 / IRAM 62267 B52-4 B1
		
		
Cobre [mm <sup>2</sup> ]	2x	3x
1,5	15	14
2,5	21	18
4	28	25
6	36	32
10	50	44
16	66	59
25	88	77
35	109	96
50	131	117
70	167	149
95	202	180
120	234	208
150	261	228
185	297	258
240	348	301
300	398	343

En la tabla se deben considerar las siguientes referencias:  
2x = 2 conductores cargados + PE  
3x = 3 conductores cargados + N + PE (ver nota 3)

Tabla A-5. Intensidad de corriente admisible a 40 °C

Temperatura ambiente [°C]	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80
PVC	1,4	1,34	1,29	1,22	1,15	1,08	1	0,91	0,82	0,7	0,57				
XLPE / EPR	1,26	1,23	1,19	1,14	1,1	1,05	1	0,96	0,9	0,84	0,78	0,71	0,64	0,55	0,45

Tabla A-6. Factor de corrección de temperatura

Circuitos en un mismo caño	o número de conductores cargados	Factor	Se aplica a Tabla 771.16.I
2 monofásicos	Hasta 4	0,80	Columna 1
3 monofásicos	Hasta 6	0,70	Columna 1
2 trifásicos	Hasta 6	0,80	Columna 2
3 trifásicos	Hasta 9	0,70	Columna 2

Tabla A-7. Factor de corrección por agrupamiento de conductores



Sección nominal	Caída de tensión	Sección nominal	Caída de tensión	Sección nominal	Caída de tensión	Sección nominal	Caída de tensión
mm <sup>2</sup>	V/A km	mm <sup>2</sup>	V/A km	mm <sup>2</sup>	V/A km	mm <sup>2</sup>	V/A km
1,5	26	6	6,5	25	1,6	70	0,6
2,5	15	10	3,8	35	1,2	95	0,5
4	10	16	2,4	50	0,8	120	0,4

Tabla A-8. Caída de tensión en líneas monofásicas

Tipo de sistema	Sección de los conductores	Gradiente de caída (GDC)	
		Arranque de motores $\cos \varphi = 0.3$	
		Cobre	Aluminio
Monofásico	De 1.5 a 25 mm <sup>2</sup>	0.0160	0.0250
	De 35 a 70 mm <sup>2</sup>	0.0205	0.0290
Trifásico	De 1.5 a 25 mm <sup>2</sup>	0.0135	0.0215
	De 35 a 70 mm <sup>2</sup>	0.0175	0.0255

Tabla A-9. Caída de tensión en líneas trifásicas

<i>k</i>							
Aislación de los conductores	PVC ≤ 300 mm <sup>2</sup>	PVC > 300 mm <sup>2</sup>	EPR / XLPE	Goma 60 °C	Mineral		
					PVC	Desnudo	
Temperatura inicial °C	70	70	90	60	70	105	
Temperatura final °C	160	140	250	200	160	250	
Material conductor	Cobre	115	103	143	141	115	135 / 115 <sup>a</sup>
	Aluminio	76	68	94	93	--	93
	Uniones estañadas en conductor de cobre	115	--	--	--	--	--

<sup>a</sup> Este valor debe ser empleado para cables desnudos expuestos al contacto

 Tabla A-10. Valores de *k* para los conductores de línea

Poder de corte asignado [A]	Clases de limitaciones de energía				
	1	2		3	
	$I^2 \cdot t$ máx. [A <sup>2</sup> s]	$I^2 \cdot t$ máx. [A <sup>2</sup> s]		$I^2 \cdot t$ máx. [A <sup>2</sup> s]	
	Tipos B y C	Tipo B	Tipo C	Tipo B	Tipo C
3000	Sin límite Especificado	40 000	50 000	18 000	22 000
4500		80 000	100 000	32 000	39 000
6000		130 000	160 000	45 000	55 000
10000		310 000	370 000	90 000	110 000

Tabla A-11. Máxima energía específica pasante.

Corriente de cortocircuito en tablero [A]		1 500	3 000	4 000	5 000	6 000	7 000	8 000	9 000	10 000	
Sección del conductor Cu [mm <sup>2</sup> ]	Intensidad nominal del interruptor automático		Longitud máxima de los conductores para la actuación instantánea de la protección [m]								
	IEC 60898-1	CDI*									
1,5	10	B	160	163	163	164	164	164	164	164	165
		C	77	80	81	81	81	81	82	82	82
		D	36	38	39	40	40	40	40	40	40
2,5	16	B	163	167	169	169	170	170	170	171	171
		C	77	81	83	83	84	84	84	85	85
		D	33	38	39	40	41	41	41	41	42
4	25	B	162	170	172	173	174	174	175	175	175
		C	73	81	83	84	85	86	86	86	87
		D	29	37	39	40	41	41	42	42	42
6	32	B	185	197	200	201	203	203	204	204	205
		C	81	93	95	97	98	99	100	100	101
		D	29	40	43	45	46	47	48	48	49
10	40	B	248	268	273	276	278	279	280	281	282
		C	104	124	129	132	134	135	136	137	138
		D	32	52	57	60	62	63	64	65	66
16	50	B	300	332	340	345	348	350	352	353	354
		C	118	150	158	163	166	168	170	171	172
		D	27	59	67	72	75	77	79	80	81
25	63	B	349	398	411	418	423	427	429	431	433
		C	125	174	187	194	199	203	205	207	209
		D	13	63	75	82	87	91	93	95	97
35	80	B	357	427	444	455	462	467	470	473	476
		C	109	179	196	206	213	218	222	225	227
		D	15	55	72	82	89	94	98	101	103

Tabla A-12. Corriente de cortocircuito mínima

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Presupuesto	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-P-12
Profesores	Revisión	3
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>4</b>
<b>2. Presupuesto</b>	<b>4</b>
2.1 Estructura del invernadero	4
2.2. Instalación de riego	4
2.3. Instalación de calefacción	5
2.4. Instalación de gas	5
2.5. Instalación de iluminación	6
2.6. Instalación de automatización	6
2.7. Instalación eléctrica	7
2.8. Instalación de generación de energía	7
2.9. Mano de obra	8
2.10. Resumen	8
<b>3. Curva de inversión</b>	<b>10</b>
<b>4. Análisis de costo-beneficio</b>	<b>11</b>
4.1. TIR y VAN del ambiente controlado	11
4.2. TIR y VAN del invernadero convencional	14
4.3. Comparación de eficiencia económica	15
<b>5. Análisis de sensibilidad</b>	<b>16</b>

## 1. Introducción

El presupuesto se encuentra dividido por categorías de acuerdo a la naturaleza de la aplicación.

Se efectúa el análisis de costo-beneficio a fines de determinar la viabilidad económica del proyecto, teniendo en cuenta la Tasa Interna de Retorno (TIR) y el Valor Actual Neto (VAN). Por otra parte, se realiza una comparación económica entre un invernadero convencional de hidroponía, y el presentado en este proyecto.

## 2. Presupuesto

### 2.1 Estructura del invernadero

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Barra de hierro perfil doble T IPN 100 ACINDAR	m	526	\$ 1 758,33	\$ 924 881,58
Barra lisa rectangular de hierro GRAMABI 25,4 x 3,20 [mm]	m	242	\$ 171,67	\$ 41 544,14
Perfil Zig Zag 2 [m] x 3 [cm] x 10 ud	Ud	5	\$ 3 861,00	\$ 19 305,00
Canaleta de PVC desagüe pluvial	m	80	\$ 930,00	\$ 74 400,00
Rollo PEBD con efecto térmico y antigoteo 4,0 x 100,0 [m]	Ud	5	\$ 23 343,09	\$ 116 715,45
Rollo de alfombra de invernadero geotextil PAVCO 4 x 120 [m]	Ud	1	\$ 60 700,00	\$ 60 700,00
Rollo de alfombra de invernadero geotextil PAVCO 4 x 105 [m]	Ud	1	\$ 45 600,00	\$ 45 600,00
Malla tejida de PVC 4 [m] de ancho	m	25	\$ 899,80	\$ 22 475,00
Rollo PEBD con efecto térmico y antigoteo 4 x 100 [m]	Ud	2	\$ 21 432,00	\$ 42 864,00
Viga de madera perfil cuadrado 4 x 4 [pulg]	m	80	\$ 1 250,0	\$ 100 000,00
Arena de hormigón H17 por sacos de 1350 [kg]	Ud	3	\$ 11 709,00	\$ 35 127,00
Grava de hormigón H17 por sacos de 6 [m³]	Ud	1	\$ 23 439,00	\$ 23 439,00
Cemento de hormigón H17 por sacos de 50[kg]	Ud	29	\$ 920,00	\$ 26 680,00
<b>Total</b>				<b>\$ 1 533 731,17</b>

### 2.2. Instalación de riego

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Bomba Komasa KB3	Ud	4	\$ 19 899,00	\$ 79 596,00
Bomba dosificadora DOSIVAC EMD Plus	Ud	1	\$ 40 565,00	\$ 40 565,00
Tanque PVC 300 L	Ud	3	\$ 8 199,00	\$ 24 597,00
Bolsa de cemento 50 [kg] TK Principal 2,50 [m³]	Ud	16	\$ 954,00	\$ 15 264,00

Bolsa de cemento 50 [kg] Base TK Reserva 2,28 [m <sup>3</sup> ]	Ud	16	\$ 954,00	\$ 15 264,00
Tubo PVC IPS AGRO ¾ [pulg] x 100 [m]	Ud	3	\$ 11 667,00	\$ 35 001,00
Tubo PVC IPS AGRO 1,00 [pulg] x 100 [m]	Ud	1	\$ 15 667,00	\$ 15 667,00
Tubo PVC IPS AGRO 1 ¼ [pulg] x 100 [m]	Ud	1	\$ 22 167,00	\$ 22 167,00
Tubo PVC IPS AGRO 2,00 [pulg] x 100 [m]	Ud	1	\$ 45 700,00	\$ 45 700,00
Tubo PVC IPS 4x4 3,00 [pulg] x 100 [m]	Ud	1	\$ 46 880,00	\$ 46 880,00
Manguera ¼ [pulg] x 50 [m]	Ud	5	\$ 790,00	\$ 3 950,00
Codo PVC 90° 2,00 [pulg]	Ud	24	\$ 125,60	\$ 3 014,40
Codo PVC 90° ¾ [pulg]	Ud	32	\$ 401,45	\$ 12 846,40
Codo PVC 90° 3,00 [pulg]	Ud	4	\$ 3 566,00	\$ 14 264,00
Válvula esférica PVC	Ud	40	\$ 209,00	\$ 8 360,00
Tubo estructural metálico perfil cuadrado 2 x 2 [pulg]	m	1 024	\$ 260,00	\$ 266 240,00
Tubo PVC para canal de riego 3,00 [pulg]	m	2 312	\$ 565,00	\$ 1 306 280,00
<b>Total</b>				<b>\$ 1 955 746,80</b>

### 2.3. Instalación de calefacción

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Generador de aire caliente CIROC CC-125	Ud	1	\$ 763 006,74	\$ 763 006,74
Ventilador extractor MultiFAN V6D90A0M11036	Ud	2	\$ 58 346,99	\$ 116 693,98
Ventilador de circulación	Ud	4	\$ 34 236,66	\$ 136 946,64
Chapa galvanizada 1,22 x 2,44 [m]	Ud	161	\$ 1 967,00	\$ 316 687,00
Rejilla de ventilación 40 x 60 [cm]	Ud	3	\$ 6 506,00	\$ 19 517,00
Rejilla de ventilación 30 x 40 [cm]	Ud	6	\$ 2 999,00	\$ 17 994,00
Rejilla de ventilación 30 x 30 [cm]	Ud	3	\$ 2 499,00	\$ 7 497,00
Rejilla de ventilación 15 x 20 [cm]	Ud	3	\$ 2 619,00	\$ 7 857,00
Rejilla de ventilación 15 x 10 [cm]	Ud	3	\$ 1 769,00	\$ 5 307,00
Motorreductor 24 [V]	Ud	1	\$ 6 499,00	\$ 6 499,00
<b>Total</b>				<b>\$ 1 398 006,36</b>

### 2.4. Instalación de gas

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Caño para gas Epoxi 2 [pulg]	m	80	\$ 1 962,81	\$ 157 024,80

Codo 90° 2 [pulg]	Ud	7	\$ 186,96	\$ 1 308,72
Válvula globo	Ud	2	\$ 1 843,00	\$ 3 686,00
<b>Total</b>				<b>\$ 162 018,52</b>

## 2.5. Instalación de iluminación

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Lámpara LED luz blanca 20 [W]	Ud	7	\$ 301,63	\$ 2 111,41
Plafon tipo tortuga	Ud	7	\$ 471,45	\$ 3 300,15
Tira LED luz blanca 40 [W] 5 [m]	Ud	42	\$ 649,00	\$ 27 258,00
Tira LED luz roja 40 [W] 5 [m]	Ud	42	\$ 649,00	\$ 27 258,00
Tubo PVC 3 [pulg]	m	100	\$ 565,00	\$ 56 500,00
Cable de acero galvanizado	m	150	\$ 210,00	\$ 31 500,00
<b>Total</b>				<b>\$ 147 927,56</b>

## 2.6. Instalación de automatización

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Sensor de pH FLSmidth M9.06	Ud	1	\$ 29 000,00	\$ 29 000,00
Sensor de temperatura Teksor PT100	Ud	1	\$ 5 980,00	\$ 5 980,00
Sensor de humedad Carel ASWH100000	Ud	1	\$ 18 061,24	\$ 18 061,20
Sensor de CO <sub>2</sub> COMET T 5414	Ud	1	\$ 14 448,99	\$ 14 448,99
Sensor de oxígeno Hamilton VisiFerm DO Arc	Ud	1	\$ 7 519,06	\$ 7 519,06
Sensor de caudal FLOWX3 F3.00.H	Ud	1	\$ 6 444,06	\$ 6 444,06
Sensor de intensidad de luz KIMO LR110	Ud	1	\$ 12 938,88	\$ 12 938,88
Sensor de nivel Viyilant TI hermético	Ud	4	\$ 859,00	\$ 3 436,00
PLC AXC 1050	Ud	1	\$ 151 181,94	\$ 151 181,94
Módulos de entrada AXL F DI 4/1	Ud	1	\$ 21 597,42	\$ 21 597,42
Módulos de salida AXL F DO 16/1	Ud	1	\$ 37 795,49	\$ 37 795,49
Módulos de entrada AXL F AI 8/1	Ud	1	\$ 43 194,84	\$ 43 194,84
Módulos de salida AXL F AO 4/1 1H	Ud	1	\$ 40 495,16	\$ 40 495,16
<b>Total</b>				<b>\$ 392 093,04</b>



## 2.7. Instalación eléctrica

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Cable SINTENAX VALIO 4 x 25 [mm <sup>2</sup> ]	m	20	\$ 644,40	\$ 12 888,00
Cable XLPE 3 x 4 [mm <sup>2</sup> ]	m	100	\$ 268,50	\$ 26 850,00
Cable XLPE 3 x 2,5 [mm <sup>2</sup> ]	m	500	\$ 161,10	\$ 80 550,00
Tablero principal 12 polos IP65 30 x 20 x 12 [cm]	Ud	1	\$ 7 622,00	\$ 7 622,00
Tablero seccional I 24 polos IP40 28 x 32 x 11,5 [cm]	Ud	1	\$ 3 353,99	\$ 3 353,99
Tablero seccional II 80 polos IP65 45 x 75 x 12 [cm]	Ud	1	\$ 20 401,00	\$ 20 401,00
Interruptor termomagnético Schneider Electric C 63	Ud	1	\$ 9 945,00	\$ 9 945,00
Interruptor termomagnético Schneider Electric C 16	Ud	1	\$ 1 300,00	\$ 1 300,00
Interruptor termomagnético Schneider Electric C 10	Ud	5	\$ 1 427,00	\$ 7 135,00
Interruptor termomagnético Schneider Electric C 5	Ud	1	\$ 1 207,00	\$ 1 207,00
Guardamotor termomagnético Schneider Electric 6 - 10 [A]	Ud	6	\$ 10 324,00	\$ 61 944,00
Contactador Schneider Electric AC3 9 [A]	Ud	6	\$ 2 724,00	\$ 16 344,00
Contactador Schneider Electric AC3 6 [A]	Ud	2	\$ 4 832,00	\$ 9 664,00
Interruptor diferencial Schneider Electric 63 [A]	Ud	1	\$ 18 641,00	\$ 18 641,00
Tomacorrientes y tapa de llave Schneider Electric	Ud	5	\$ 219,00	\$ 1 095,00
Caja octogonal PVC 9 x 9 [cm]	Ud	31	\$ 56,58	\$ 1 753,98
Caja rectangular PVC 5 x 10 [cm]	Ud	5	\$ 58,20	\$ 291,00
Caño PVC GENROD 25 [mm]	m	500	\$ 188,33	\$ 94 165,00
Conector PVC GENROD x 10 [Ud] 25 [mm]	Ud	5	\$ 435,00	\$ 2 175,00
Codo para caño de bajada GENROD x 10 [Ud] 25 [mm]	Ud	10	\$ 583,60	\$ 5 835,00
<b>Total</b>				<b>\$ 383 159,97</b>

## 2.8. Instalación de generación de energía

Descripción	Ud	Cant.	Prec. Unit.	Subtotal
Cable SINTENAX VALIO 4 x 6 [mm <sup>2</sup> ]	m	20	\$ 377,95	\$ 7 559,00
Cable SINTENAX 3 x 4 [mm <sup>2</sup> ]	m	15	\$ 268,50	\$ 4 027,50
Cable Fotovoltaico 2 x 4 [mm <sup>2</sup> ]	m	10	\$ 269,00	\$ 2 690,00
Interruptor selector 16 [A]	Ud	2	\$ 2 093,00	\$ 4 186,00
Interruptor termomagnético Schneider Electric C 16	Ud	2	\$ 1 300,00	\$ 2 600,00

Interruptor termomagnético CD Schneider Electric C 10	Ud	1	\$ 1 457,00	\$ 1 457,00
Interruptor diferencial Schneider Electric 40 [A]	Ud	1	\$ 9 945,00	\$ 9 945,00
Interruptor diferencial Schneider Electric 16 [A]	Ud	1	\$ 3 792,00	\$ 3 792,00
Contactador AC3 25 [A]	Ud	1	\$ 6 900,00	\$ 6 900,00
Grupo electrógeno Fenk 12 000 [W]	Ud	1	\$ 446 558,69	\$ 446 558,69
Panel fotovoltaico 265 [W]	Ud	10	\$ 14 595,00	\$ 145 950,00
Inversor trifásico	Ud	1	\$ 222 034,00	\$ 222 034,00
Soporte para paneles solares	Ud	5	\$ 9 421,50	\$ 47 105,00
<b>Total</b>				<b>\$ 900 923,77</b>

## 2.9. Mano de obra

Los valores adoptados para el costo de la mano de obra son extraídos de la página web de la UOCRA (Unión Obrera de la Construcción de la República Argentina).

Descripción	Cant.	Cant. horas	Costo unitario por hora	Costo total
Oficial electricista	1	40	\$ 364,35	\$ 14 574,00
Oficial esp. en soldadura	3	56	\$ 380,68	\$ 63 954,24
Oficial albañil	2	200	\$ 237,35	\$ 94 940,00
Ayudante electricista	3	88	\$ 294,13	\$ 77 650,32
Ayudante albañil	4	296	\$ 198,86	\$ 235 450,24
Ingeniero	2	210	\$ 738,63	\$ 310 224,60
<b>Total</b>				<b>\$ 796 793,56</b>

## 2.10. Resumen

Se calcula el costo total del proyecto considerando los gastos en mano de obra y materiales. Al costo de los materiales se le aplica un aumento del 4% por gastos misceláneos.

ítem	Designación de las obras	Importe
1	Estructura del invernadero	\$ 1 533 731,17
2	Instalación de riego	\$ 1 955 746,80
3	Instalación de calefacción	\$ 1 398 006,36
4	Instalación de gas	\$ 162 018,52
5	Instalación de iluminación	\$ 147 927,56

6	Instalación de automatización	\$ 392 093,04
7	Instalación eléctrica	\$ 383 159,97
8	Instalación de generación de energía	\$ 900 923,77
	<b>Total de gastos en materiales + 4%</b>	<b>\$ 7 148 551,48</b>
9	Mano de obra	\$ 796 793,56
	<b>Total</b>	<b>\$ 7 945 345,04</b>

A continuación se presenta un gráfico circular en el que se muestra la incidencia de cada ítem en el costo total del proyecto.

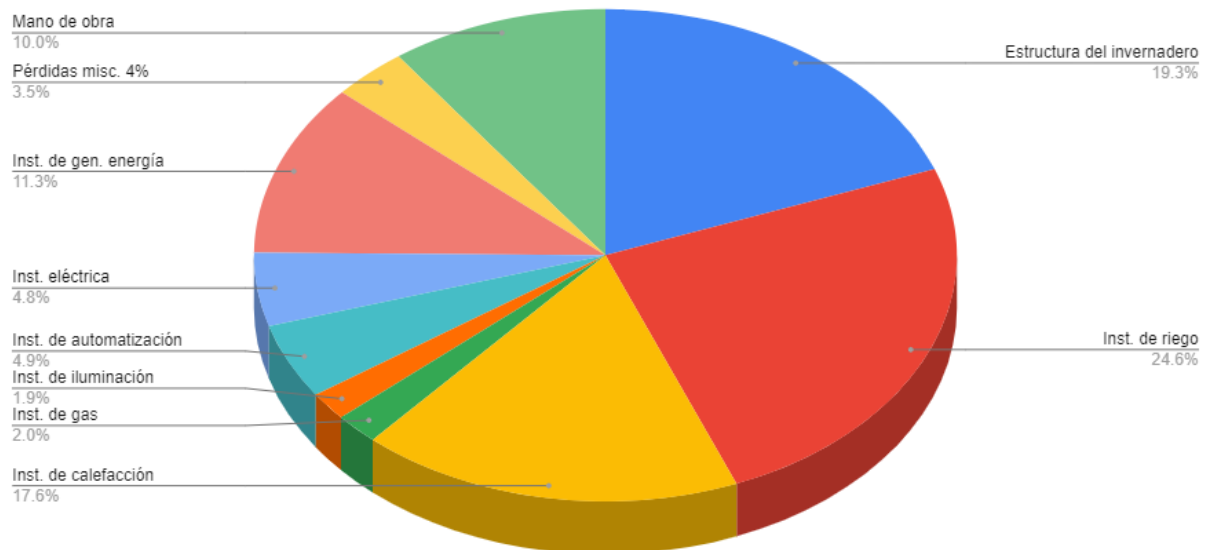


Figura 1. Gráfico circular del presupuesto  
(Fuente: autores del proyecto)

### 3. Curva de inversión



*Figura 2. Curva de inversión  
(Fuente: autores del proyecto)*

## 4. Análisis de costo-beneficio

### 4.1. TIR y VAN del ambiente controlado

Se procede a medir la relación entre el costo por unidad producida de un producto agrícola generado en el invernadero y el beneficio obtenido por su venta, frente a la amortización de la inversión inicial.

El proyecto cuenta con 272 canales para la plantación del producto agrícola que se desee. Si se considera que el cultivo es de lechuga, contando con un total de 34 plantines disponibles por canal y 9 248 en todo el recinto, estimando que el producto se comercializa a \$ 160 por cada 200 [g] (peso promedio de una planta de lechuga) se suponen tres escenarios posibles para la cosecha.

- Caso favorable: cosecha cada 30 días (12 cosechas al año), con una ganancia de \$ 17 756 160,00 (Tabla 1).
- Caso probable: cosecha cada 45 días (8 cosechas al año), con una ganancia de \$ 11 837 440,00 (Tabla 2).
- Caso desfavorable: cosecha cada 70 días (5 cosechas al año), con una ganancia de \$ 7 398 400,00 (Tabla 3).

Se calculan el TIR y el VAN para los casos de estudio.

$$VAN = -A + \sum_{T=0}^n \frac{FNC}{(1+TIR)^T}$$

$$TIR = \sum_{T=0}^n \frac{F_n}{(1+i)^T}$$

Donde:

- VAN es el valor actual neto.
- TIR es la tasa interna de retorno.
- A es el valor de inversión inicial.
- FNC es el flujo de caja en el período.

## Considerando:

- El peor escenario de consumo de energía eléctrica para todos los meses por igual (148 137 [Wh/día]). El gasto por mes en energía eléctrica, si \$ 4,27 por [kWh], es de \$ 18 976. Más IVA del 21%, es  
\$ 22 961,00
- El costo del servicio de agua potable equivale al 50% del valor por el consumo mensual de electricidad. Por lo tanto, se invierten al mes  
\$ 11 480,00
- Un gasto de \$ 33 880 cada 15 días en químicos para la irrigación. Un total por mes de  
\$ 67 760,00
- Cuatro trabajadores encargados del trasplante, cosecha, cuidado de la mezcla de los tanques y cuidado general de la instalación, por cuatro horas por día hábil, donde el sueldo por hora es \$ 503,24, y se considera un 40% más por cuestiones impositivas que tienen que ver con el empleador. Al mes da un costo total de  
\$ 236 724,10
- El peor escenario de consumo de gas natural para todos los meses por igual (116,8 [m<sup>3</sup>/h/día]). El gasto por mes en gas natural, si \$ 4,77 [m<sup>3</sup>/h], es de \$ 16 714. Teniendo en cuenta un subsidio por la zona del 54% e impuestos del IVA del 21%, es  
\$ 9 303,00
- Para gastos misceláneos, que comprenden el mantenimiento general del invernadero, se destina un 10% del total mensual.
- Gasto total mensual  
\$ 383 050,91
- Gasto total anual  
**\$ 4 596 610,92**

	Inversión inicial	Flujos de caja					
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Gasto	7 945 345.04	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92
Ingresos	0	17 756 160.00	17 756 160.00	17 756 160.00	17 756 160.00	17 756 160.00	17 756 160.00
Flujo efectivo neto	- 7 945 345.04	13 159 549.08	13 159 549.08	13 159 549.08	13 159 549.08	13 159 549.08	13 159 549.08
Tasa de interés	15.00%						
VAN	41 856 740.71						
TIR	165%						

*Tabla 1. TIR y VAN para el caso favorable*

	Inversión inicial	Flujos de caja					
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Gasto	7 945 345.04	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92
Ingresos	0	11 837 440.00	11 837 440.00	11 837 440.00	11 837 440.00	11 837 440.00	11 837 440.00
Flujo efectivo neto	- 7 945 345.04	7 240 829.08	7 240 829.08	7 240 829.08	7 240 829.08	7 240 829.08	7 240 829.08
Tasa de interés	15.00%						
VAN	19 457 447.30						
TIR	89%						

*Tabla 2. TIR y VAN para el caso probable*

	Inversión inicial	Flujos de caja					
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Gasto	7 945 345.04	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92	4 596 610.92
Ingresos	0	7 398 400.00	7 398 400.00	7 398 400.00	7 398 400.00	7 398 400.00	7 398 400.00
Flujo efectivo neto	- 7 945 345.04	2 801 789.08	2 801 789.08	2 801 789.08	2 801 789.08	2 801 789.08	2 801 789.08
Tasa de interés	15.00%						
VAN	2 657 977.25						
TIR	27%						

*Tabla 3. TIR y VAN para el caso desfavorable*

Realizando una comparación entre los resultados obtenidos para una proyección de 6 años de funcionamiento, se observa que para cualquiera de los casos que se presente el proyecto es rentable.

Caso	TIR	VAN
Favorable	165%	41 856 740,71
Probable	89%	19 457 447,30
Desfavorable	27%	2 657 977,25

*Tabla 4. Comparación de TIR y VAN para los diferentes casos*

## 4.2. TIR y VAN del invernadero convencional

En un invernadero convencional de hidroponía, es decir sin tecnología aplicada, se tiene incertidumbre sobre el impacto que tendrá el medioambiente sobre los cultivos. Por estimaciones regionales y locales de las variables climáticas, en base al documento P-EC-03, se desprecian los meses de invierno ya que la actividad agrícola se ve paralizada. Se supone el caso de estudio más probable para la misma situación planteada en el apartado anterior: cosecha de lechuga cada 70 días (5 cosechas al año), con una ganancia de \$ 7 398 400,00.

Considerando:

- La inversión inicial concibe
  - La construcción del invernadero (con las dimensiones del presente proyecto) por un monto de \$ 1 533 731,17
  - El sistema de riego por \$ 1 813 319,80
  - El sistema de iluminación por \$ 5 411,56
  - La instalación eléctrica por \$ 118 040,06
  - Gastos en mano de obra por \$ 445 849,98

Dando un total de

**\$ 3 916 352,57**

- El peor escenario de consumo de energía eléctrica (las bombas de riego y la iluminación destinada al tránsito dentro del recinto) para todos los meses por igual (96 603 [Wh/día]). El gasto por mes en energía eléctrica, si \$ 4,27 por [kWh], es de \$ 12 374. Más IVA del 21%, es

**\$ 14 973,00**

- El costo del servicio de agua potable equivale al 50% del valor por el consumo mensual de electricidad. Por lo tanto, se invierten al mes

**\$ 7 486,50**

- Un gasto de \$ 33 880 cada 15 días en químicos para la irrigación. Un total por mes

**\$ 67 760,00**

- Cuatro trabajadores encargados del trasplante, cosecha, cuidado de la mezcla de los tanques y cuidado general de la instalación, por ocho horas por día hábil, donde el sueldo por hora es \$ 503,24 y se considera un 40% más por cuestiones impositivas que tienen que ver con el empleador. Al mes da un costo total de

**\$ 473 448,19**

- Para gastos misceláneos, que comprenden el mantenimiento general del invernadero, se destina un 5% del total mensual.

- Gasto total mensual:

**\$ 591 851,07**

- Gasto total anual:

**\$ 7 102 212,89**



	Inversión inicial	Flujos de caja					
		Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6
Gasto	3 916 352.57	7 102 212.89	7 102 212.89	7 102 212.89	7 102 212.89	7 102 212.89	7 102 212.89
Ingresos	0	7 396 400.00	7 396 400.00	7 396 400.00	7 396 400.00	7 396 400.00	7 396 400.00
Flujo efectivo neto	- 3 916 352.57	296 187.11	296 187.11	296 187.11	296 187.11	296 187.11	296 187.11
Tasa de interés	15.00%						
VAN	- 2 795 437.58						
TIR	-19%						

Tabla 5. TIR y VAN para el invernadero convencional

### 4.3. Comparación de eficiencia económica

En la tabla 6 se resume la comparación entre los invernaderos:

Caso	TIR	VAN
Convencional	-19%	-2 795 437,58
Ambiente controlado	89%	19 457 447,30

Tabla 6. Comparación de TIR y VAN para los diferentes tipos de invernadero

Como se observa, el caso de un invernadero convencional de las mismas dimensiones que el de ambiente controlado resulta inviable económicamente. Si bien la infraestructura es menos costosa, cabe destacar que la principal diferencia entre ambos invernaderos en cuanto a los gastos es la cantidad de horas-hombre necesarias.

El ambiente controlado ofrece una maximización del rendimiento de los cultivos con respecto al tiempo, dado que la producción tiene lugar a lo largo de todo el año; mientras que en un invernadero convencional el trabajo es estacional y depende de las condiciones climáticas.

## 5. Análisis de sensibilidad

Se analiza la sensibilidad de la rentabilidad del proyecto con respecto a la baja de productividad en el primer año de funcionamiento.

Cant. cosechas	Ingresos	VAN	TIR
12.00	17 756 160.00	7 494 794.09	123%
11.50	17 016 320.00	6 851 454.96	114%
11.00	16 276 480.00	6 208 115.83	105%
10.50	15 536 640.00	5 564 776.70	96%
10.00	14 796 800.00	4 921 437.57	86%
9.50	14 056 960.00	4 278 098.44	77%
9.00	13 317 120.00	3 634 759.31	68%
8.50	12 577 280.00	2 991 420.18	58%
8.00	11 837 440.00	2 348 081.05	49%
7.50	11 097 600.00	1 704 741.92	40%
7.00	10 357 760.00	1 061 402.79	30%
6.50	9 617 920.00	418 063.66	21%
6.00	8 878 080.00	- 225 275.47	12%
5.50	8 138 240.00	- 868 614.61	2%
5.00	7 398 400.00	- 1 511 953.74	-7%
4.50	6 658 560.00	- 2 155 292.87	-16%
4.00	5 918 720.00	- 2 798 632.00	-26%
3.50	5 178 880.00	- 3 441 971.13	-35%
3.00	4 439 040.00	- 4 085 310.26	-44%

Tabla 7. Análisis de sensibilidad

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Bibliografía	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-B-13
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

**PÁGINA EN BLANCO**

## Bibliografía

- [1] M. Lenscak y N. Iglesias, *"Invernaderos: Tecnología apropiada en las regiones productivas del territorio nacional argentino"*, INTA, IPAF Región Pampeana, Argentina, 2019.
- [2] El clima y el tiempo promedio en todo el año en Río Gallegos, Santa Cruz, Argentina. [En línea]. Disponible en: <https://es.weatherspark.com/>
- [3] *Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones*, Cirsoc 102, 2005.
- [4] *Reglamento argentino de acción de la nieve y del hielo sobre las construcciones*, Cirsoc 104, 2005.
- [5] *Disposiciones y normas mínimas para la ejecución de instalaciones de gas*, NAG 200, 2008.
- [6] N. P. Quadri, *Instalaciones de Gas*, Alsina, Buenos Aires, 1988.
- [7] N. P. Quadri, *Manual de Cálculo de Aire Acondicionado y Calefacción*, Alsina, Buenos Aires, 1987.
- [8] N. P. Quadri, *Instalaciones Eléctricas en Edificios*, Cesarini Hnos, Buenos Aires, 2007.
- [9] *Reglas particulares para la ejecución de las instalaciones eléctricas en inmuebles*, AEA 90 364 - 7 - 771, 2007.
- [10] *Sistemas solares fotovoltaicos, método de dimensionamiento simplificado*, IRAM 210012, 1994.
- [11] *Manual de generación distribuida solar fotovoltaica*, Subsecretaría de Energías Renovables y eficiencia energética, Secretaría de Energía, Ministerio de Hacienda, 2019.
- [12] M. Urrestarazu Gavilán, *Manual práctico del cultivo sin suelo de hidroponía*, Ed. Mundi Prensa, Madrid: España, 2015.
- [13] *"Ahorro y eficiencia energética en invernaderos"*, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Madrid: España, 2008.
- [14] Windsor y Schwarzs, *"Hydroponics - A Standard Methodology for Plant Biological Researches"*, Rijeka: Croacia, 2012.
- [15] N. P. Quadri, *Instalaciones Sanitarias*, Cesarini Hnos, Buenos Aires, 2007.
- [16] Luces artificiales. [En línea]. Disponible en: <https://inta.gob.ar/documentos/luces-artificiales>
- [17] *Manual de Fertirrigación*, Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA), Centro Regional de Intihuasi, 1998.
- [18] E. Carleton y M. W. Swaney, *"Cultivo hidropónico de las plantas"*, Ed. Interciencia, Madrid: España, 1967.

Proyecto final	Denominación	
Ingeniería electromecánica	Planos	
Ambiente controlado para producción agrícola		
2022	Código	PF-P-14
Profesores	Revisión	2
Ing. Idoyaga Oscar	Alumnos	Legajo
Ing. Sánchez Hugo	Arroyo Nicolás	3012
Ing. Lurbé Mario	Turner Florencia	3026

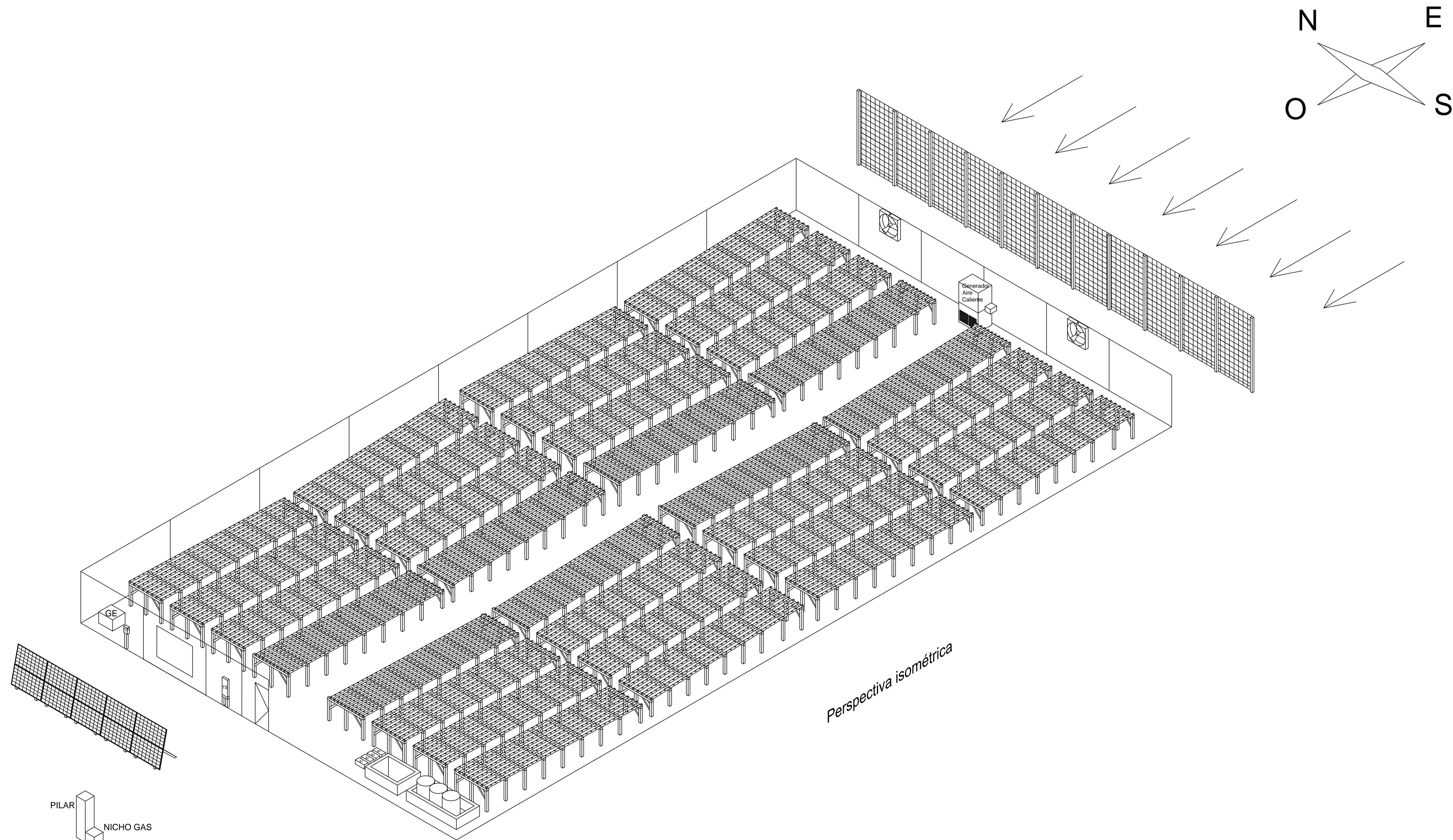
**PÁGINA EN BLANCO**

## Índice

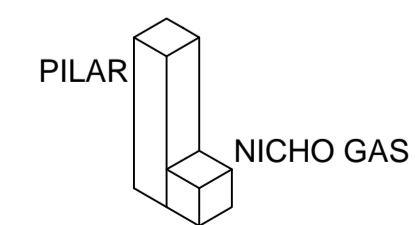
<b>1. Distribución del invernadero</b>	<b>4</b>
<b>2. Distribución de tuberías bajo tierra</b>	<b>5</b>
<b>3. Estructura del invernadero</b>	<b>6</b>
<b>4. Instalación eléctrica</b>	<b>7</b>
<b>5. Tableros eléctricos</b>	<b>8</b>



## 1. Distribución del invernadero

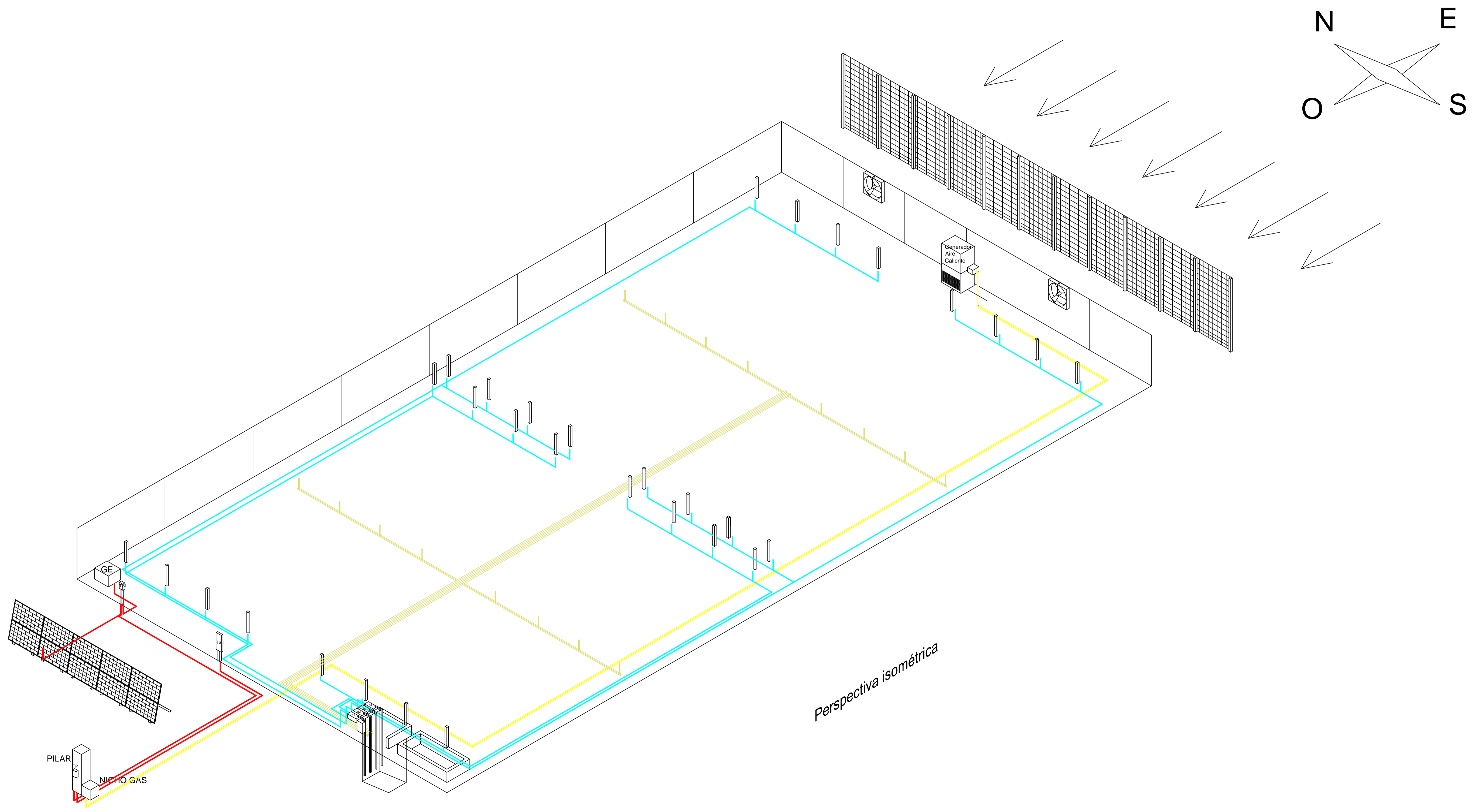


*Perspectiva isométrica*



	Fecha	Nombre	UTN Facultad Regional Santa Cruz
Dib.	26-03-12	Arroyo, Turner	
Rev.	26-03-12	Ing. Idoyaga	
Apr.	26-03-12	Ing. Idoyaga	
Esc.			
	Distribución del invernadero		
Toler.			
Rug.			

## 2. Distribución de tuberías bajo tierra

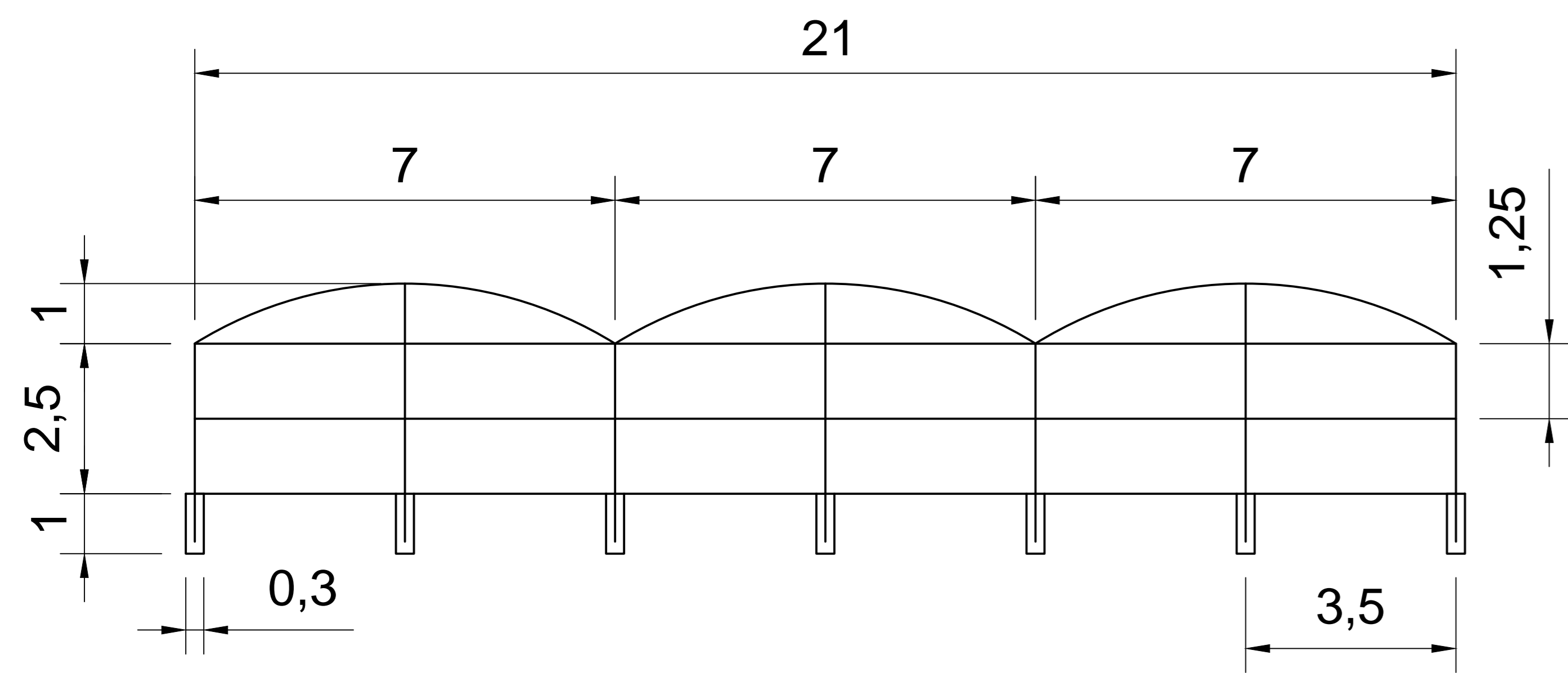


Perspectiva isométrica

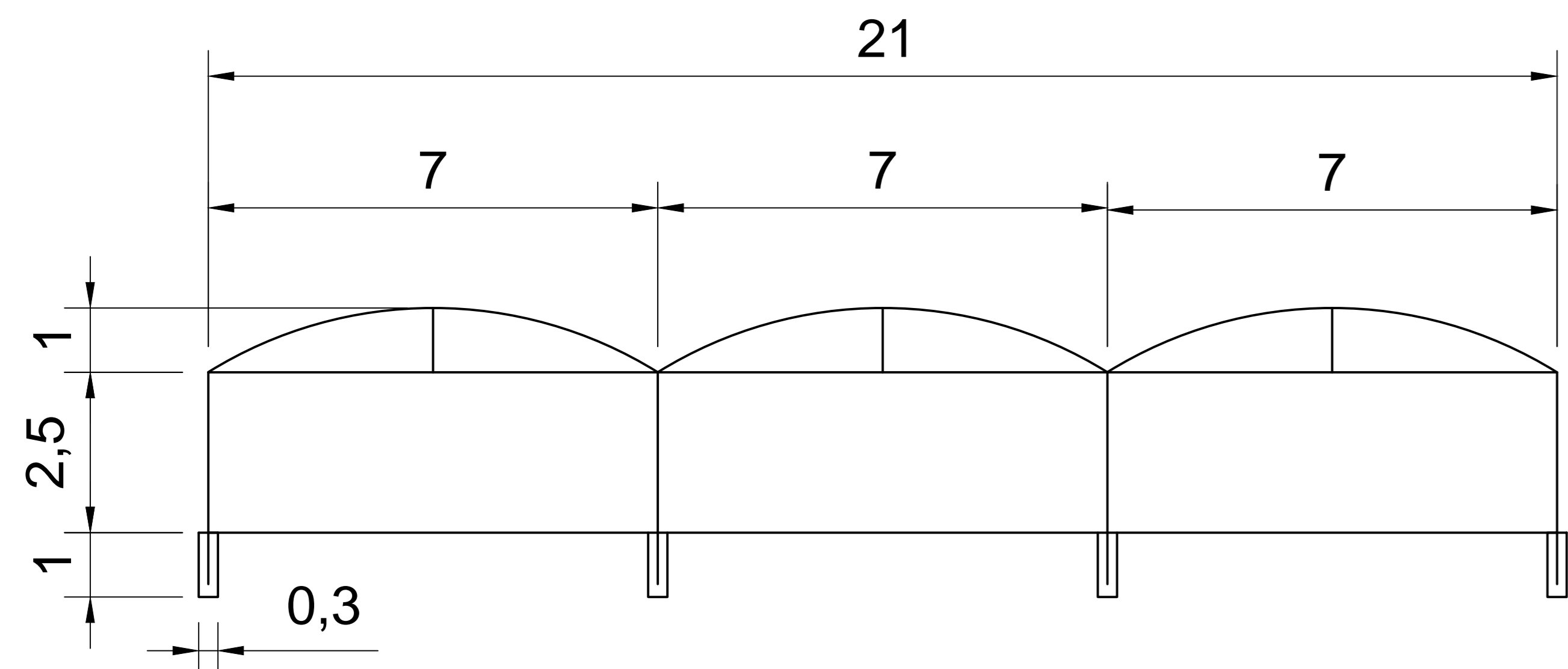
	Fecha	Nombre	UTN Facultad Regional Santa Cruz
Dib.	28-03-22	Arroyo, Turner	
Rev.	28-03-22	Ing. Idovago	
Apr.	28-03-22	Ing. Idovago	
Esc.			
Toler.			
Rug.			

Distribución de tuberías bajo tierra

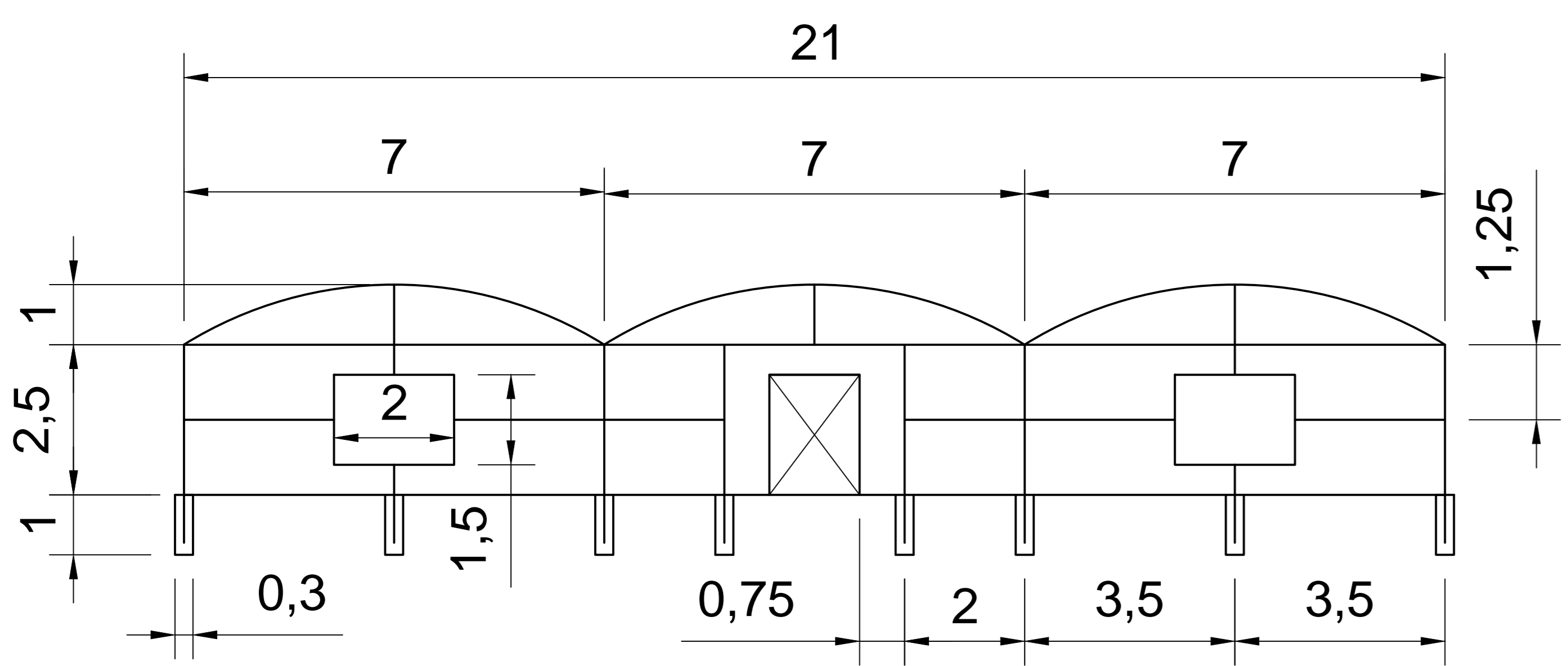
### 3. Estructura del invernadero



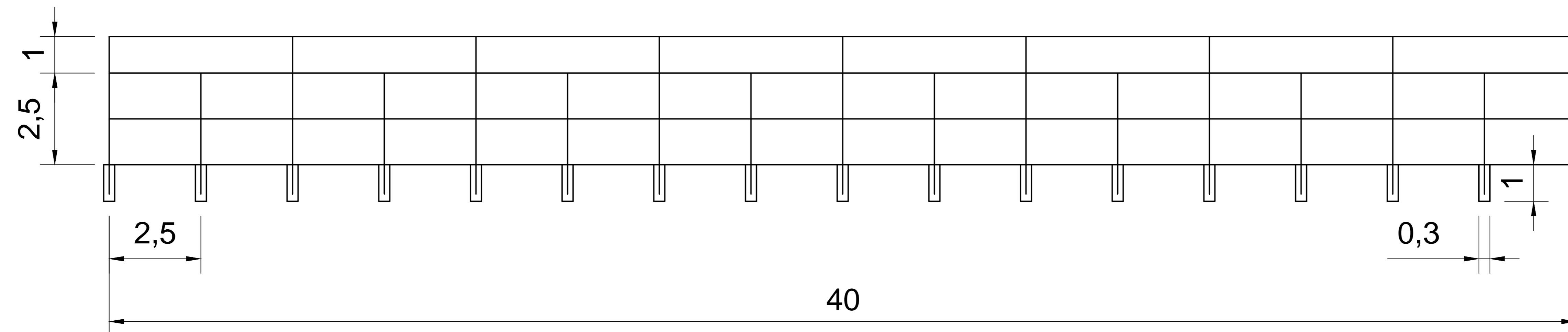
PÓRTICO ANTERIOR



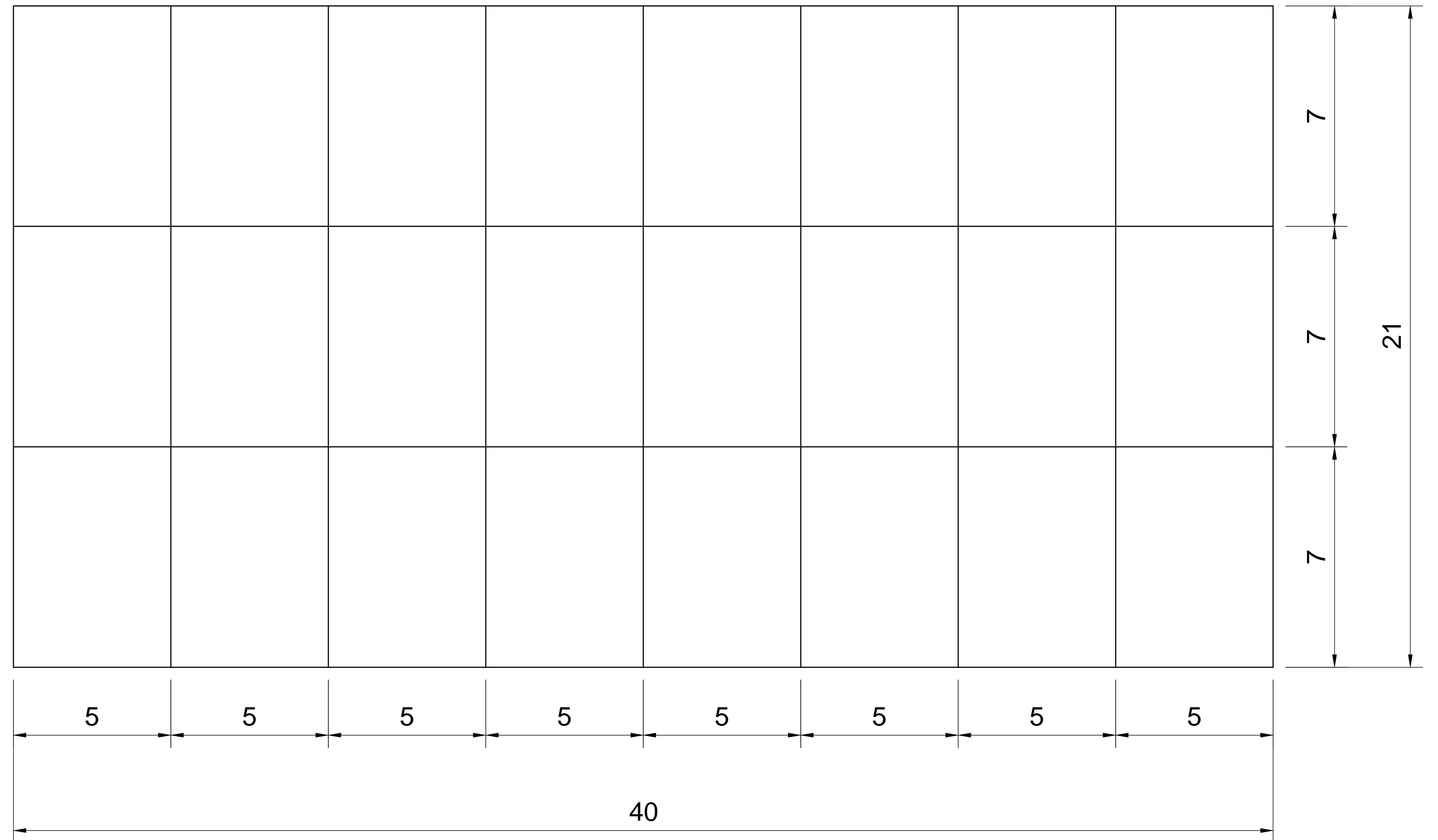
PÓRTICOS INTERMEDIOS



PÓRTICO FRONTAL



VISTA LATERAL IZQUIERDA



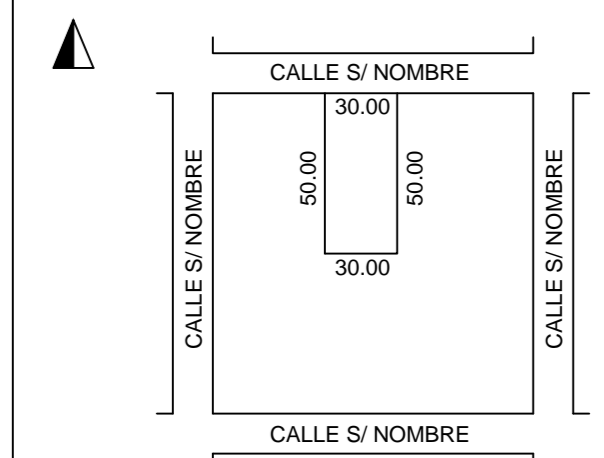
VISTA SUPERIOR

PLANO DE OBRA NUEVA

DESTINO: INVERNADERO  
PROPIEDAD DE:

CALLE: \_\_\_\_\_ DEPTO: GUER AIKE PARC: \_\_\_\_\_  
SECC: \_\_\_\_\_ CIRC: \_\_\_\_\_ LOTE: \_\_\_\_\_  
MANZANA: \_\_\_\_\_ SOLAR: \_\_\_\_\_ ESCALA: 1:100

UBICACIÓN



\_\_\_\_\_

DOMICILIO: \_\_\_\_\_

PROYECTO \_\_\_\_\_

ARQ: \_\_\_\_\_ MAT: \_\_\_\_\_

DOMICILIO: \_\_\_\_\_

ANTECEDENTES:

ARQ: \_\_\_\_\_ MAT: \_\_\_\_\_

DIRECCION \_\_\_\_\_

DOMICILIO: \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES:

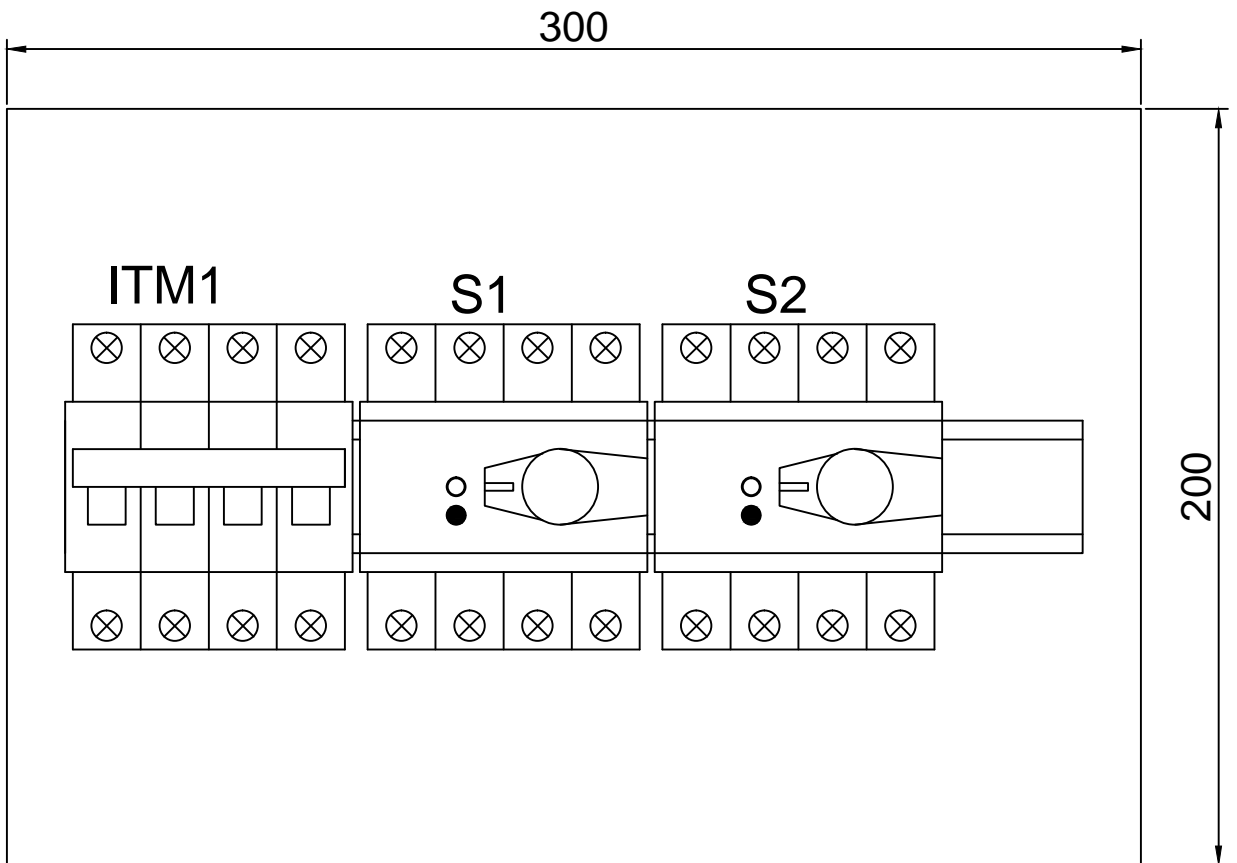
APROBACIÓN:


#### 4. Instalación eléctrica

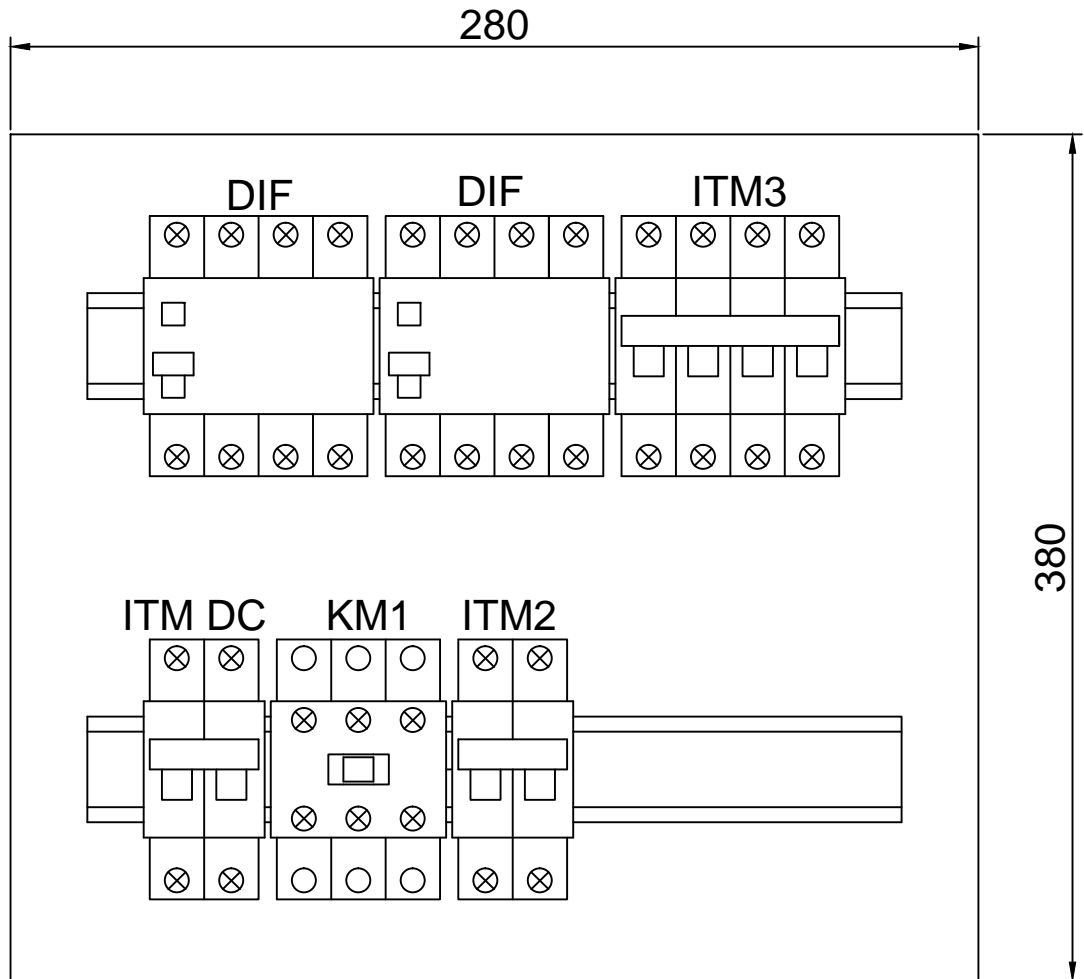





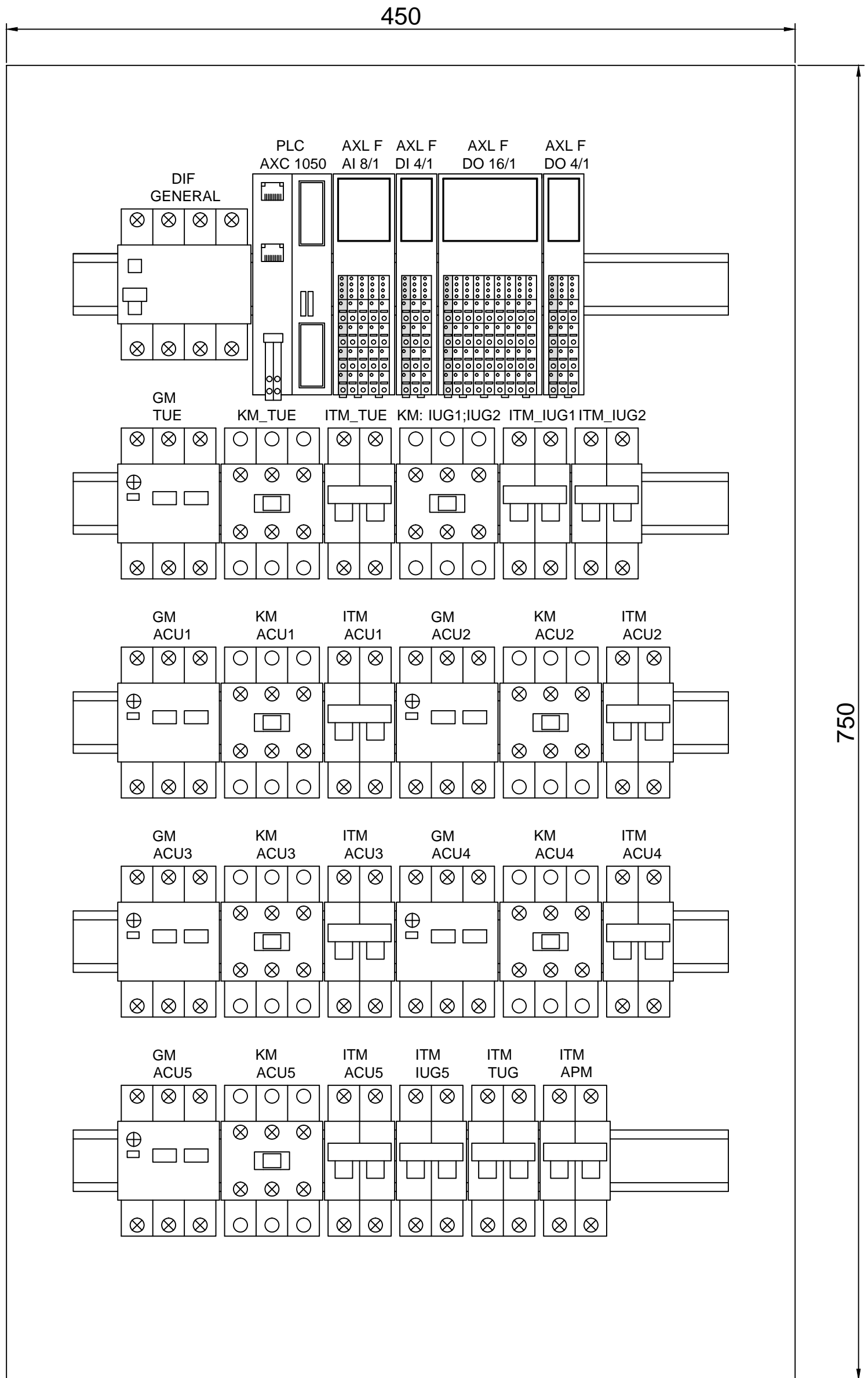
## 5. Tableros eléctricos


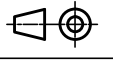


Obs.		Fecha	Nombre		<b>UTN</b> Facultad Regional Santa Cruz
	Dib.	26-03-22	Arroyo; Turner		
	Rev.	26-03-22	Ing. Idoyaga		
	Apr.	26-03-22	Ing. Idoyaga		
	Esc.	Tablero Principal			Esquema N° 1
					
Toler. Rug.					



Obs.		Fecha	Nombre		<p style="text-align: center;">UTN</p> <p style="text-align: center;">Facultad Regional Santa Cruz</p>
	Dib.	26-03-22	Arroyo; Turner		
	Rev.	26-03-22	Ing. Idoyaga		
	Apr.	26-03-22	Ing. Idoyaga		
	Esc.				
					
Toler. Rug.					



Obs.	Fecha	Nombre	<div style="text-align: center;">             Facultad Regional Santa Cruz             Esquema N° 3         </div>
	Dib.	26-03-22 Arroyo; Turner	
	Rev.	26-03-22 Ing. Idoyaga	
	Apr.	26-03-22 Ing. Idoyaga	
	Esc.		
	 Tablero Seccional II		
Toler.			
Rug.			