UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA SEDE VIÑA DEL MAR – JOSÉ MIGUELCARRERA

DISEÑO DE ILUMINACIÓN Y CONTROL PARA LA MEJORA DE LA PRODUCCIÓN DEL CULTIVO DE CANNABIS MEDICINAL.

Trabajo de Titulación para optar al Título de Técnico Universitario en Electricidad.

Alumnos:
Aldo Daniel Biggio Rodríguez.
Alexis Ignacio Carriel Vargas.

Profesor Guía:
Ing. Denis Riquelme Sandoval

Profesor Correferente:
Ing. Marcelo Morales Soto

2023

RESUMEN

KEYWORDS: Iluminación, control, cannabis.

Un invernadero es un recinto, cubierto y acondicionado para proteger a las plantas de las inclemencias del clima, en este caso se utiliza para la crianza de las plantas de cannabis a modo medicinal, estas requieren de un ambiente específico para cada una de sus etapas de crecimiento, ya sea desde su inicio como semilla, siguiendo por su fase vegetativa, continuando con la floración y finalmente el proceso de secado. Cada una de estas etapas requiere de distintas características en el ambiente, la humedad, el regadío, la temperatura, la ventilación y la luz que recibe por cada proceso. Al ser tantos procesos y muy distintos, cada uno necesita un sistema de control distinto para que se pueda obtener un crecimiento idóneo para la planta. Un proceso de control puede ser desarrollado por muchas plataformas de programación, pero en esta ocasión se especificará en la placa de desarrollo Arduino Mega para generar todo el proceso de control necesario, buscando lograr la mayor eficiencia posible por su gran gama de sensores compatibles con esta placa.

ÍNDICE

RESUMEN
SIGLAS Y SIMBOLOGÍA
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES
ÍNDICE DE GRÁFICOS
INTRODUCCION……...1
1. IDENTIFICAR LAS VARIABLES QUE DETERMINAN LA PRODUCTIVIDAD DE UN CULTIVO DE CANNABIS 3
1.1. RESEÑA DEL CANNABIS....3
1.1.1. Cannabis sativa SSP Sativa....4
1.1.2. Cannabis sativa SSP Indica....4
1.1.3. Cannabis sativa SSP Ruderalis 4
1.1.4. Híbridas....4
1.2. HISTORIA DEL CANNABIS EN CHILE....5
1.3. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO MEDICINAL EN CHILE 7
1.4. CULTIVO DEL CANNABIS....7
1.4.1. Propagación a través de semillas 8
1.4.2. Propagación Vegetal en el Suelo 9
1.5. VARIABLES DEL CULTIVO....9
1.5.1. Luz 10
1.5.2. Riego y Humedad....10
1.5.3. Temperatura 10
1.5.4. Nivel de dióxido de carbono....10
1.6. PROPUESTA....11
1.6.1. Marco legal y normativo 13

1.6.2. Cuarto de germinación y clonación 13
1.6.3. Cuarto de plantas madre 14
1.6.4. Cuarto de crecimiento y floración 14
1.6.5. Cuarto de secado 15
1.7. Objetivo General 16
1.7.1. Objetivos Específicos 16
2. DISEÑO ELÉCTRICO LUMÍNICO DEL INVERNADERO 18
2.1. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LUMINARIAS 18
2.1.1. Sala de Germinación y Clonación 19
2.1.2. Sala de Plantas Madre 19
2.1.3. Sala de crecimiento y floración 20
2.1.4. Sala de Secado 20
2.2. DISEÑO LUMÍNICO 20
2.2.1. Sala de germinación y clonación 20
2.2.2. Sala de plantas madre 23
2.2.3. Sala de crecimiento y floración 25
2.2.4. Sala de secado 27
2.3. DISEÑO ELÉCTRICO 27
2.3.1. Circuitos de alumbrado 27
2.3.2. Circuito de calefacción 31
2.3.3. Circuito de fuerza 35
2.3.4. Transformador y generador 38
2.4. DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIONES 39
2.4.1. Circuitos de alumbrado 39

2.4.2. Circuitos de calefacción 42
2.4.3. Circuitos de fuerza 44
2.4.4. Malla puesta a tierra 46
2.5. CÁLCULOS UTILIZADOS 49
3. ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA MEJORA PRODUCTIVA DEL CULTIVO MEDICINA 53
3.1. CRITERIOS DE ELECCIÓN DE APARATOS DE CONTROL 53
3.1.1. Arduino 53
3.1.2. Sensor DHT22 55
3.1.3. Sensor FC-28 56
3.1.4. Sensor VL53L0X 58
3.1.5. Sensor de calidad de aire MQ-135 60
3.1.6. Módulo de reloj en tiempo real MCI RTC 62
3.1.7. Transmisor Ethernet Shield W5100 63
3.2. ACTUADORES 65
3.2.1. Módulo Relé 8 Canales 65
3.2.2. Módulo Relé 6 Canales 66
3.2.3. Módulo Relé 67
3.2.4. Contactor Monofásico 68
4. COSTOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO 71
4.1. GASTOS DEL INVERNADERO 71
4.1.1 Costos para la sala de germinación y clonación 71
4.1.2 Costos para la sala de plantas madre 72
4.1.3 Costos para la sala de crecimiento y floración 74
4.1.4 Costos para la sala de secado 75

4.1.5 Costos para el tablero general 76
4.1.6 Costos para los materiales de control 77
4.1.7 Costos para la malla puesta a tierra 78
4.1.8. Costo para transformador y generador 79
4.1.9 Costo total de materiales 79
4.2. CARTA GANTT 80
4.3. COSTO TOTAL DEL PROYECTO 82
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 83
BIBLIOGRAFÍA 84

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1 VISUALIZACIÓN DE INVERNADERO INDOOR 8
FIGURA 1-2. EJEMPLO DE PLANTACIÓN DE ESQUEJES 9
FIGURA 1-3 PROPUESTA DE INVERNADERO 15
FIGURA 2- 1. SENSIBILIDAD ESPECTRAL DE LOS PRINCIPALES PROCESOS FOTOBIOLÓGICOS DE LAS PLANTAS. 19
FIGURA 2- 2 LAMPARA TUBO FLUORESCENTE ESCOGIDO PARA EL DISEÑO. 22
FIGURA 2- 3. LUMINARIA CAMPANA LED 23
FIGURA 2- 4 ÁREA OPTIMA DE LA LUMINARIA 24
FIGURA 2- 5. LUMINARIA PANEL LED BLACK DOG. 25
FIGURA 2- 6. LUMINARIA PANEL LED DELIGHT 26
FIGURA 2- 7. CIRCUITOS DE ALUMBRADO DEL INVERNADERO 31
FIGURA 2- 8. CIRCUITOS DE CALEFACCIÓN DEL INVERNADERO 35
FIGURA 2- 9. CIRCUITOS DE FUERZA DEL INVERNADERO 38
FIGURA 2- 10.TRANSFORMADOR Y GENERADOR DEL INVERNADERO 39
FIGURA 2- 11. DISEÑO DE MALLA PUESTA A TIERRA 49
FIGURA 3- 1. PLACA DE ARDUINO MEGA 2560 54
FIGURA 3- 2. SENSOR DHT22 56
FIGURA 3- 3. SENSOR FC-28 58
FIGURA 3- 4. SENSOR VL53L0X 60
FIGURA 3- 5. SENSOR MQ-135 62
FIGURA 3- 6. MÓDULO RELOJ EN TIEMPO REAL MCI RST 63
FIGURA 3- 7.TRANSMISOR ETHERNET SHIELD W5100. 64
FIGURA 3- 8. MÓDULO RELÉ DE 8 CANALES CON OPTOACOPLADOR 66
FIGURA 3- 9. MÓDULO RELÉ DE 6 CANALES 67
FIGURA 3- 10. MÓDULO RELÉ DE 1 CANAL 68
FIGURA 3- 11. CONTACTOR MONOFÁSICO DE 24[V] 69

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1- 1. COMPARATIVA DE CEPAS DE CANNABIS CBD GALARDONADAS.....12
TABLA 2- 1. TABLA DE RESUMEN DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE GERMINACIÓN Y CLONACIÓN.....28
TABLA 2- 2. TABLA DE RESUMEN DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE PLANTAS MADRE.....29
TABLA 2- 3. TABLA DE RESUMEN DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE CRECIMIENTO Y FLORACIÓN.....29
TABLA 2- 4. TABLA DE RESUMEN DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE SECADO.....30
TABLA 2- 5.TABLA DE RESUMEN DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE GERMINACIÓN Y CLONACIÓN.....32
TABLA 2- 6. TABLA DE RESUMEN DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE PLANTAS MADRE.....33
TABLA 2- 7. TABLA DE RESUMEN DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE CRECIMIENTO Y FLORACIÓN.....33
TABLA 2- 8. TABLA DE RESUMEN DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE SECADO.....34
TABLA 2- 9. TABLA DE RESUMEN DE FUERZA PARA LA SALA DE PLANTAS MADRE.....36
TABLA 2- 10. TABLA DE RESUMEN DE FUERZA PARA LA SALA DE CRECIMIENTO Y FLORACIÓN.....37
TABLA 2- 11. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE GERMINACIÓN Y CLONACIÓN.....40
TABLA 2- 12. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE PLANTAS MADRE.....40
TABLA 2- 13. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE CRECIMIENTO Y FLORACIÓN.....41
TABLA 2- 14. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE ALUMBRADO PARA LA SALA DE SECADO.....42

TABLA 2- 15. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE GERMINACIÓN Y CLONACIÓN....42
TABLA 2- 16. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE PLANTAS MADRE....43
TABLA 2- 17. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE CRECIMIENTO Y FLORACIÓN....43
TABLA 2- 18. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE CALEFACCIÓN PARA LA SALA DE SECADO....44
TABLA 2- 19. TABLA DE RESUMEN DE FUERZA PARA LA SALA DE PLANTAS MADRE....45
TABLA 2- 20. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES DE FUERZA PARA LA SALA DE CRECIMIENTO Y FLORACIÓN....45
TABLA 2- 21. TABLA DE RESUMEN DE PROTECCIONES GENERALES PARA EL INVERNADERO....46
TABLA 4- 1. COSTOS PARA LA SALA DE GERMINACIÓN Y CLONACIÓN....72
TABLA 4- 2. COSTOS PARA LA SALA DE PLANTAS MADRE....73
TABLA 4- 3. COSTOS PARA LA SALA DE CRECIMIENTO Y FLORACIÓN....74
TABLA 4- 4. COSTOS PARA LA SALA DE SECADO....76
TABLA 4- 5. COSTOS PARA EL TABLERO GENERAL....77
TABLA 4- 6. COSTOS PARA LOS MATERIALES DE CONTROL....78
TABLA 4- 7. COSTOS PARA LA MALLA PUESTA A TIERRA....78
TABLA 4- 8. COSTO DE TRANSFORMADOR Y GENERADOR....79
TABLA 4- 9. COSTO TOTAL DE LOS MATERIALES....80
TABLA 4- 10. CARTA GANTT....81
TABLA 4- 11. COSTO TOTAL DEL PROYECTO....82

ÍNDICE DE GRAFICOS

GRÁFICO 1-1. COMPARACIÓN DE TEMPERATURAS ENTRE CIUDADES DE LA V REGIÓN.....12
GRÁFICO 2- 1. COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA LUMINARIA VS EL DE LOS PROCESOS FOTOBIOLÓGICOS.....24
GRÁFICO 2- 2. COMPARACIÓN DE DISTRIBUCIÓN ESPECTRAL DE LA LUMINARIA VS EL DE LOS PROCESOS FOTOBIOLÓGICOS.....26

SIGLAS Y SIMBOLOGÍA

SIGLAS

SEC: Superintendencia de Electricidad y Combustible
NCh: Norma Chilena
LED: Diodo emisor de luz
SAG: Servicio Agrícola y Ganadero
PFFD: Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos
PPFDr: PPFD requeridos
D.S: Decreto Supremo
CO2: Dióxido de Carbono
LED: Diodo emisor de luz
THC: Tetrahidrocannabinol
CBD: Cannabidiol
AWG: Calibre de alambre estadounidense
NA: Normalmente abierto
NC: Normalmente cerrado

SIMBOLOGÍA

m: Metros

(ºC): Temperatura en grados Celsius

(µmol/m²/s): Densidad de Flujo de Fotones Fotosintéticos

%: Porcentaje

m²: Metros Cuadrados

In: Intensidad nominal[A]

P: Potencia[W]

V: Voltaje[V]

$\Phi(\lambda)$: Flujo radiante espectral.

λ: Longitud de onda en metros.

Na: Constante de Avogadro, 6.022 x1023.

h: Constante de Planck (6.626 x 10-34 joule-segundos).

c: Velocidad de la luz, (2.998 x 108 m / s).

N: Número de luminarias.

E: Iluminancia

F: Factor de conversión de lux a PPFD.

In1ϕ: Intensidad nominal monofásica[A]

Cosφ: Relación entre potencia activa y reactiva

η: Rendimiento del motor

S: Sección del conductor[mm2]

ρ: Coeficiente del material conductor[m/(Ω·mm²)]

L: Longitud de la línea[m]

I: Intensidad de corriente[A]

ΔV: Caída de tensión [%]

r: Resistencia real[Ω/km]

X: Resistencia imaginaria[Ω/km]

Fp: Factor de potencia

ρ: Resistividad de estratos [Ω-m]

B: Lado menor de la malla [m]

K_1 - K_2: coeficientes relacionados con la geometría de la malla

Rpt: Resistencia puesta a tierra

Hz: Frecuencia

Mm: milímetros

INTRODUCCIÓN

Este proyecto se focaliza en la creación e implementación teórica de un proceso automatizado para cumplir con todas las características necesarias para el crecimiento de la planta cannabis a modo medicinal en cada una de sus etapas de formación, esto se logra generando ambientes controlados para suplir todas las necesidades que tienen las plantas al momento de crecer, repartiendo estas etapas en cuatro salas, donde cada una tendrá especificaciones diferentes según los requerimientos de cada etapa, ya sea a modo de tamaño de la sala, la iluminación requerida, la humedad en el ambiente, el CO2 que necesite la planta para crecer, el tiempo de regadío, el tiempo de ventilación, la temperatura de cada sala y el tiempo de iluminación necesario por etapa. Todos estos parámetros son controlados por una placa electrónica llamada Arduino Mega, esta comanda los sensores instalados para cada necesidad y se activan los actuadores que se encargan de realizar cada necesidad anteriormente mencionada, buscando un mayor rendimiento de las plantas al momento de producir su flor.

CAPÍTULO 1: IDENTIFICAR LAS VARIABLES QUE DETERMINAN LA PRODUCTIVIDAD DE UN CULTIVO DE CANNABIS

1. IDENTIFICAR LAS VARIABLES QUE DETERMINAN LA PRODUCTIVIDAD DE UN CULTIVO DE CANNABIS

1.1. RESEÑA DEL CANNABIS

El cannabis es una planta originaria de las cordilleras del Himalaya en Asia, la cual se ha cultivado desde tiempos prehistóricos, ya que esta contiene una gran variedad de usos en los cuales se destacó desde sus inicios como fibra textil, para extraer aceite de sus semillas, de uso recreacional y para uso medicinal. Esto último es gracias a los componentes y estructura química que contiene, los cuales son:

- Los cannabinoides endógenos o endocannabinoides, producidos naturalmente por los mamíferos.
- Los cannabinoides sintéticos, es decir, aquellos que son creados en un laboratorio.
- Los Fito cannabinoides: Son aquellos sintetizados naturalmente por la planta de cannabis.

En la actualidad se han identificado cerca de cien. De ellos, los más comunes o relevantes son:

- Delta-9-tetrahidrocannabinol (THC). Es el principal componente estimulante de la planta. Actúa como euforizante, analgésico, antiemético y antiinflamatorio.
- Cannabidiol (CBD). Reduce el efecto psicoactivo del THC. Actúa como ansiolítico, antipsicótico, analgésicos y antiespasmódico.
- Cannabinol (CBN). Se produce al oxidarse el THC. Actúa como sedante, anticonvulsivo, antibiótico y antiinflamatorio.
- Cannabicromeo (CBC). Se cree que actúa intensificando el efecto del THC. Actúa como antiinflamatorio, antimicótico y analgésico

La planta de cannabis también contiene diversas subespecies, las cuales se pueden identificar por su estructura y efectos que proporcionan al ser consumidas además de poseer características medicinales, estas subespecies son:

1.1.1. Cannabis sativa SSP Sativa

Esta subespecie es originaria de América, Asia y África. Se caracteriza por poseer una gran altura y poco follaje, con hojas alargadas y un periodo de floración más extenso que el de otras variedades.

1.1.2. Cannabis sativa SSP Indica

Esta subespecie es originaria del sur de Asia y del subcontinente indio, de ahí su nombre, a diferencia de la variedad Cannabis Sativa, estas son plantas que no alcanzan gran altura durante su crecimiento y con mucho follaje además de poseer un periodo de floración corto: de seis a nueve semanas.

1.1.3. Cannabis sativa SSP Ruderalis

Subespecie originaria del norte de Europa y Asia, se caracteriza por ser un espécimen pequeño y con un período de floración corto, ya que, a diferencia de las variedades Indica y Sativa, su periodo de floración no depende de los ciclos de luz. Es por lo que esta subespecie ha sido utilizada para modificar la genética de las subespecies ya descritas, produciendo así plantas híbridas conocidas como autoflorecientes o automáticas, es decir, que tienen un ciclo de vida corto, de aproximadamente 10 semanas.

1.1.4. Híbridas

Son llamadas así las variedades de cannabis con un componente genético diferente a su original, mediante la cruza de diferentes variedades o cepas. De esta forma se ha logrado obtener

distintas características en las nuevas plantas híbridas, con variados porcentajes de cannabinoides como el THC o el CBD, y diversas presencias de terpenos (moléculas aromáticas producidas por la planta).

En la actualidad existe una gran variedad de cepas híbridas con múltiples combinaciones de características. Por lo general, las plantas de cannabis híbridas son buenas productoras de flores con altos porcentajes de cannabinoides y terpenos, lo que permite seleccionar cepas que se adecúan de mejor manera a las necesidades terapéuticas de la patología a tratar.

Cada subespecie del cannabis como se logró observar anteriormente se puede utilizar para tratar distintas enfermedades y dolencias que nos puedan afligir en el día a día.

1.2. HISTORIA DEL CANNABIS EN CHILE

Chile y su historia relacionada al cannabis tiene un valor muy grande en base al transcurso de los hechos históricos ocurridos en América y el mundo. Martínez (2019) refiere que Chile fue uno de los primeros países en América que hizo crecer las plantas de cannabis en sus tierras, esto se logró gracias a las acciones de Juan Bautista Pastene. Él cual fue un navegante genovés que se incursionó por las costas del Pacífico, finalmente arribando en Chile como lugarteniente de Pedro de Valdivia, a él se le encomendó un grupo de indios y un pedazo de tierra, con los que, con el paso del tiempo, hoy en día es conocido como Curacaví, comenzó a plantar cannabis y con su fibra logró crear una fábrica de frazadas y jarcias (amarras de navegación) en el año 1550. Este hombre fue una inspiración para muchos campesinos de la zona, los cuales comenzaron a imitarlo y así generaban más ingresos gracias a esta planta.

Fue así como en los siglos XVI, XVII y XVIII, la marihuana creció abundante en los campos, tanto así fueron los beneficios del cultivo que los reyes de España regalaban terrenos vacíos con la condición de que se cultivara cáñamo o lino. Esto dio paso a la creación de una pequeña industria que ya no solo generaban frazadas y jarcias, sino que también producían mechas para las armas del ejército y muchos otros productos a base de cáñamo. Tanto fue la buena

producción y recepción a esta planta que Chile se convirtió en el principal productor de semillas de cannabis y velas para barcos del imperio español.

Durante el siglo XIX, la producción de cáñamo en Chile disminuyó a causa de una crisis económica general, la guerra, la independencia y a las migraciones al norte en búsqueda de nuevas oportunidades en la minería. pero O'Higgins fue quien incentivó y logró resurgir el cultivo de marihuana en el país, al firmar un decreto llamado "Contrato de Cáñamo propuesto y aceptado por el gobierno", que disminuía radicalmente los impuestos a su compra y venta de la marihuana. Este decreto dio paso a que los gobiernos conservadores del siglo fomentaran la producción de cáñamo, proporcionando máquinas a los agricultores que estaban instalando sus propias pequeñas empresas. Tanta fue la calidad del cáñamo producido, que fue catalogado como el mejor del mundo.

Pero a pesar de todo esto siglo XX el cáñamo tenía los días contados en Chile. En 1937, se multó su cultivo en Estados Unidos, ya que se vinculó su consumo con crímenes que se cometían y estados alternados de la conciencia sobre los que se empezaron a generar estudios. Todo esto hizo un remesón gigantesco en el todo mundo, pues su comercio se ilegalizó y nació la mafia ligada al narcotráfico.

En Chile, el movimiento hippie comenzó a fumar marihuana en los 60s, esto jamás había sucedido antes en la historia del país. Por consecuencia a todo lo anterior el cáñamo como fibra comenzó a ser reemplazo por el nylon, además que los pocos cultivos que quedaban en la zona central eran robados por aquellos que vendían marihuana para uso recreativo. Finalmente, el gobierno de Salvador Allende ilegalizó el cannabis en 1973. Generándose así la ley 20.000 la cual es la reguladora y penalizadora de la marihuana en Chile.

Pero todos estos antecedentes dan a conocer que el auge del cannabis en Chile ha existido desde casi toda su historia, produciendo trabajo, riquezas y un reconocimiento mundial, actualmente está hierba es motivo de estudios y un incesante avance en base a sus usos e implementaciones tanto recreativa como medicinal, siendo en el año 2014 gracias al permiso otorgado a Fundación Daya para un cultivo medicinal, esto marcó el comienzo del nuevo auge del cannabis en Chile.

1.3. DESCRIPCIÓN DEL CULTIVO MEDICINAL EN CHILE

Si bien en Chile está catalogado como delito el tráfico de cannabis, esto no impide su cultivo para investigación y uso medicinal como afirma:

> El que, careciendo de la debida autorización, siembre, plante, cultive o coseche especies vegetales del género cannabis u otras productoras de sustancias estupefacientes o sicotrópicas, incurrirá en la pena de presidio menor en su grado máximo a presidio mayor en su grado mínimo y multa de cuarenta a cuatrocientas unidades tributarias mensuales, a menos que justifique que están destinadas a su uso o consumo personal exclusivo y próximo en el tiempo. (LEY 20.000, art.8)

A partir del primer cultivo de cannabis para uso medicinal en Chile autorizado por el SAG en el año 2014, este organismo ha cuantificado más de 47 solicitudes hasta la fecha, siendo la mayor parte empresas nacionales como Daya, Agrofina, entre otras, pero también ha llamado la atención de grandes firmas canadiense como Espectrum, Global People Solution y Tilray siendo este último con estándares internacionales afirma "Nosotros nos regimos con estándares de laboratorios internacionales. Nuestro cultivo es indoor, en invernadero" Nudman, 2018. No obstante, la gran mayoría de los cultivos de Chile son en exterior, esto limita a Chile como competencia dentro de la industria del cannabis medicinal, ya que no demuestra la misma calidad y cantidad al producir la materia prima en comparación con el resto del mercado extranjero.

1.4. CULTIVO DEL CANNABIS

El cannabis es una especie anual y se puede cultivar a partir de semillas o esquejes vegetales en condiciones interiores y exteriores. El cultivo interior en condiciones ambientales controladas puede generar tres o cuatro cultivos por año, dependiendo del rendimiento de biomasa por planta requerida; El cultivo al aire libre está limitado a un cultivo por año. La selección del

material de partida o variedad depende de la composición de los ingredientes activos requeridos en el producto final



Fuente: https://www.marijuanaventure.com/the-led-switch/

Figura 1-1 Visualización de Invernadero Indoor

La Figura 1-1 aprecia un Indoor con plantas en etapa de Floración con iluminación LED.

1.4.1. Propagación a través de semillas

Método tradicional. Las semillas se pueden sembrar en pequeñas macetas biodegradables que contienen tierra con buena aireación y se deben mantener húmedas regando con un aerosol ligero cuando la superficie superior comienza a sentirse seca. Durante el invierno, se puede usar una estera térmica debajo de las macetas para aumentar la temperatura del suelo y mejorar la germinación. Normalmente, las semillas comienzan a germinar al cuarto día de la plantación, y la mayoría de las semillas viables germinan en 15 días. La variación en la tasa de germinación de semillas depende de la variedad, la edad de las semillas, las condiciones de almacenamiento y las temperaturas del suelo y del agua. Las plántulas germinadas se pueden mantener bajo luz fluorescente fría con un fotoperíodo de 18 h hasta que las plántulas sean lo suficientemente grandes como para trasplantarlas a macetas más grandes.

1.4.2. Propagación Vegetal en el Suelo

La industria farmacéutica requiere consistencia en los ingredientes activos del material fuente. Usar el cannabis como materia prima fuente sigue siendo especialmente desafiante. A pesar de haberse cultivado a partir de semillas derivadas de una sola planta madre de cannabis, se puede observar un grado considerable de variación en la composición química de las plantas juveniles. Por lo tanto, el cribado de las plantas femeninas de alto rendimiento y la propagación masiva de clones vegetativos es la forma más adecuada de satisfacer la demanda de uniformidad del producto final.

Una vez que se selecciona un clon femenino como mejor candidato con un perfil químico específico, se escoge una rama que contenga al menos dos nodos para la propagación vegetativa, añadiéndole hormonas y dejándolas en una habitación de 8 a 14 días mientras crecen las raíces de los esquejes.



Fuente: https://www.tilray.com

Figura 1-2. Ejemplo de plantación de esquejes

La Figura 1-2 aprecia la plantación de esquejes o clones de las plantas madre.

1.5. VARIABLES DEL CULTIVO

Un cultivo de alta calidad si bien debe estar nutrido por una buena cantidad de agua y luz, esto no basta por sí solo, debido a que la ecuación de la fotosíntesis también contempla una parte importante de dióxido de carbono, además es necesario el control y administración de otras variables, ya que por la variabilidad de la genética de las plantas provoca que no todas tengan la misma tolerancia al agente de su entorno como luz, agua, humedad y temperatura.

1.5.1. Luz

La luz es un componente vital para la fotosíntesis en las plantas. Una calidad de luz adecuada, una intensidad de luz óptima y un fotoperíodo deseable son importantes en el cultivo de cannabis en interiores. Se pueden utilizar diferentes fuentes de luz como lo son: fluorescentes, bombillas de halogenuros metálicos, lámparas de sodio de alta presión, bombillas convencionales y diodos emisores de luz. Un fotoperíodo de 18 h es óptimo para el crecimiento vegetativo; Se recomiendan 12 h para el inicio de la floración.

1.5.2. Riego y Humedad

La cantidad de agua y la frecuencia de riego varían con la etapa de crecimiento, el tamaño de las plantas y macetas, la temperatura de crecimiento, la humedad y muchos otros factores. El riego se debe realizar en función de los requisitos de la planta en teniendo en cuenta de su etapa de crecimiento y el tamaño del contenedor.

1.5.3. Temperatura

Dependiendo del hábitat de crecimiento original y la composición genética, la respuesta de temperatura de la fotosíntesis varía con la variedad de cannabis.

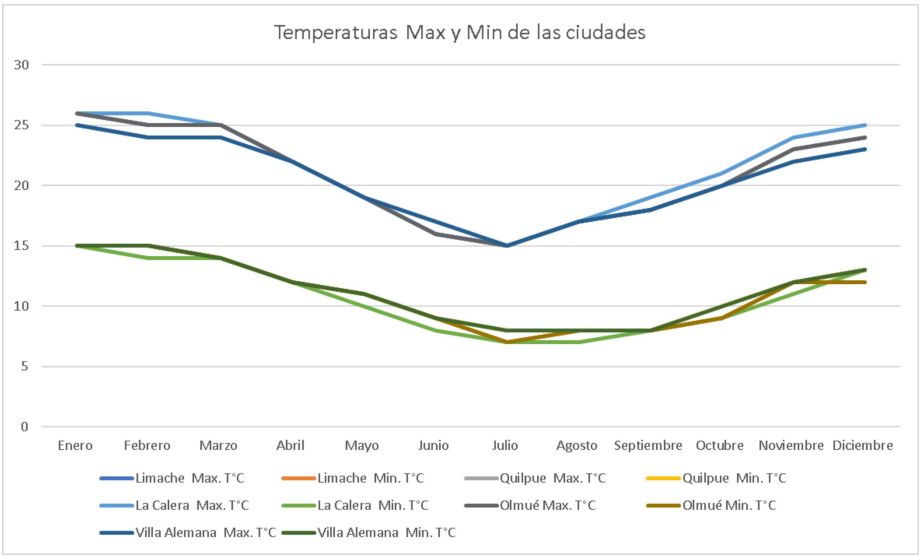
1.5.4. Nivel de dióxido de carbono

La circulación de aire en la sala de cultivo es otro factor importante y es necesario para el cultivo en interiores de plantas sanas. Un nivel de CO2 elevado mejora la asimilación de carbono fotosintético y, por lo tanto, puede acelerar el crecimiento y mejorar la productividad.

1.6. PROPUESTA

En base a todos los antecedentes recopilados anteriormente, se concluye que se presentan falencias en el cultivo implementado generalmente en Chile, ya que este mayoritariamente es en exterior, aprovechando la luz del sol, este sistema tradicional es confiable, pero ello deja muchos factores a la azar del clima como lo puede ser una lluvia inesperada que genere hongos o algún cúmulo de nubes que reduzca la producción o incluso la mal intencionada mano de algún ladrón, por esto si se quiere tener una materia prima de alta calidad y una mayor cantidad en su producción, además de un menor índice de plagas y una mayor seguridad o discreción en el cultivo se debería implementar un sistema Indoor, refiérase a esto como un cultivo en interior, con un ambiente ideal para la siembra del cannabis gracias a los distintos sistemas de control y aparataje eléctrico del mercado.

La propuesta sugerida es diseñar un sistema de cultivo en interior dividido en 4 habitaciones repartidas en un área de 2000 m^2, cada una de estas secciones contara con un habitad distinto este se ideará en función de las necesidades que requiera cada parte del ciclo de la planta, para así obtener la mayor producción posible. Este diseño contempla la Quinta Región como ubicación geográfica más específicamente la comuna de Limache, pero a su vez en este caso que requiera podrá ser aplicado en las comunas de Quilpué, Villa Alemana, La Calera, Hijuelas y Olmué. Debido a que cuentan con similitudes geográficas y ambientales.



Fuente: Creación Propia, con datos de la página www.cuandovisitar.cl

Gráfico 1-1. Comparación de Temperaturas entre ciudades de la V región

El Gráfico 1-1 aprecia la comparación entre las temperaturas de distintas ciudades situadas en la V región.

Este diseño también contempla que no todas las cepas de cannabis son iguales genéticamente, además de que no todas las variedades del mercado están destinadas a la industria medicinal y farmacéutica, en este caso se centralizara solo en plantas hibridas.

Tabla 1- 1. Comparativa de Cepas de cannabis CBD galardonadas

nombre de la cepa	banco de semillas	Altura media [m]	Floración en interior [Dias]	THC [%]	CBD [%]	Producción en interior [gr/m²]	Feminizada
CBD Critical Cure	Barney´s Farm	0,8 - 0,9	55 - 65	5.5	8	500/560	si
Early Amnesia CBD	Dinafem	3	60	9,5	11	600	si
Painkiller XL	Royal Queen Seeds	1,35	55-65	9	9	550	si
Sweet Pure CBD	Sweet Seeds	1,5	63	0,4-1	8-15	400-500	si
TNT Kush CBD	Eva Seeds	0,8 -1	55-60	10	10	400-500	si
OG Kush CBD	Medical Seeds	3	49-56	12	12	450-500	si
Dinamed CBD Plus	Dinafem	3	55-60	0.5-1	15-20	500	si
Elixir Vitae CBD	Medical Seeds	1 - 2	63	0,15 - 0,25	9 - 14	400	si
Red Cross CBD	Medical Seeds	1,5	56	0,2	6 - 9	400	si
CBD Charlotte´s Angel	Dutch Passion	0,9 - 1	63	1	10 - 16	400 - 500	si
CBD Skunk Haze	Dutch Passion	0,9 - 2	63	7,5	7,5	400 - 500	si
Black Jack CBD	Sweet Seeds	1 - 1,5	56 - 63	10 - 18	9 - 17	400 - 600	si
Green Poison CBD	Sweet Seeds	1,5 - 2	49	5 - 9	5 - 12	500 - 650	si
Ice Cool CBD	Sweet Seeds	1,5 - 2	56 - 63	5 - 12	9 - 13	400 - 600	si
Chem Beyond Diesel CBD	Sweet Seeds	1 - 1,5	56	5 - 12	8-15	400 - 550	si
Green Crack	Humboldt Seeds	1 - 3	56 - 63	6	12	400 - 600	si
CBD Girl Scout Cookies	CBD Crew	1 - 1,5	56	5,29	11,4	400 - 500	si
CBD SkarkShock	CBD Crew	0,8 -1	56	6,33	7,28	400	si
promedio		1,50	58	6,1	11	480	

Fuente: Elaboración Propia, con datos de los bancos Barney's Farm, Dinafem, Royal Queen Seeds, Eva Seeds, Medical Seeds, Sweet Seeds, Humboltdt Seeds, Duch Passion y CBD Crew.

La tabla 1-1 aprecia la comparativa en base a la producción, altura, componentes, días de floración y bancos de semillas.

1.6.1. Marco legal y normativo

Este diseño no requiere normativas de SAG debido a que el SAG regula el cultivo y no instalaciones eléctricas, por lo que este proyecto se rige por las siguientes normativas:

- NCH Elec. 4/2003.
- D.S. N° 594.
- Pliegos técnicos RIC

1.6.2. Cuarto de germinación y clonación

En esta instancia el cuarto de 6,56 metros de largo y un ancho 21,7 metros debería contar con los siguientes factores, mantener un fotoperíodo de 18 horas con luz fluorescente frío, por otra parte, se debe diseñar para mantener una temperatura con un rango entre los 25 y 30 °C, además de una humedad alrededor del 75% y una tasa de CO2 al 30%.

1.6.3. Cuarto de plantas madre

Este cuarto de 16,58 metros de largo y un ancho 21,7 metros, se ideará para mantener un constante proceso vegetativo ya que aquí se criarán las plantas madre para la posterior creación de clones. Para ello se debe mantener un fotoperíodo de 18 horas continuas de luz con un PFFD de 300 a 500[µmol/m²/s], estas podrán ser halogenuro metálico o led, también se debe considerar un porcentaje de humedad del 55 y 60%, manteniendo una temperatura alrededor de los 25 y 30 °C, además de un 30% de CO2 en el ambiente (Chandra, 2017). Esto por sí solo no basta para la crianza de las madres también debe contar con un sistema de control de riego, una altura de la laminaria en función de la altura del cultivo, además de otro factor. Chandra (2017) refiere unas plantas saludables deben contar con un sistema de circulación de aire.

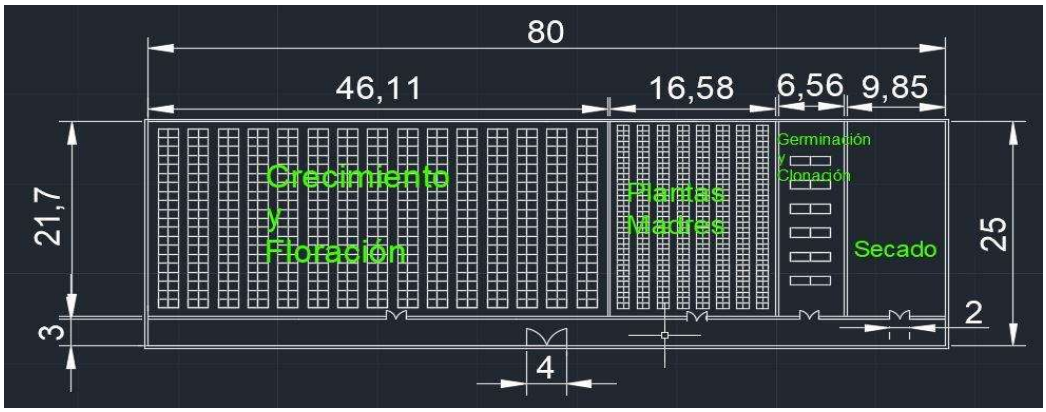
1.6.4. Cuarto de crecimiento y floración

Este cuarto de 46,11 metros de largo y un ancho de 21,7 metros se ideará para obtener un crecimiento y posterior floración idónea de las plantas que serán utilizadas para la cosecha. Para lograr esto se debe mantener un fotoperíodo de 18 horas en fase de crecimiento y de 12 horas para floración, con un PFFD es de 500 a 1500 [µmol/m²/s], estas podrán ser LED, ya que si bien se puede utilizar halogenuro metálico para el proceso vegetativo y sodio de alta presión para la floración el led cubre ambas necesidades sin una modificación en el equipo en este caso un cambio de ampolleta, con un porcentaje de humedad del 55 y 60%, manteniendo una temperatura alrededor de los 25 y 30 °C, además de un 30% de CO2 en el ambiente (Chandra, 2017). Esto por sí solo no basta para la crianza de las madres también debe contar con un sistema de riego, una altura de la laminaria en función de la altura del cultivo, además de otro factor. Chandra (2017) refiere unas plantas saludables deben contar con un sistema de circulación de aire.

1.6.5. Cuarto de secado

El cuarto está pensado con un largo 9,85 metros y un ancho de 21,7 metros, en el ciclo final de la producción la materia prima, debería ser almacenar con un bajo nivel de humedad siendo este idealmente menor 50% y no superior al 45% para así prevenir la aparición de hongos y otros patógenos que pueden degradar e incluso dejar inutilizable la biomasa además debe contar con una temperatura alrededor de los 27 y 18 °C y este a su vez debe contar con una iluminación de baja intensidad debido a que la luz degrada parte de los cannabinoides de la planta.

Este diseño de cuarto puede variar según las necesidades del demandante, la oferta presente en el párrafo anterior esta ideada para mantener la mayor cantidad de compuestos intactos de la planta.



Fuente: Creación Propia

Figura 1-3 Propuesta de Invernadero

La Figura1-3 aprecia el diseño del invernadero con todos sus cuartos seccionados.

1.7. Objetivo General

- Diseñar un circuito de iluminación y control para mejorar la calidad y producción del cannabis medicinal

1.7.1. Objetivos Específicos

- Identificar las variables necesarias que determinan la productividad de un cultivo de cannabis
- Diseño eléctrico y lumínico del invernadero
- Establecer un sistema de control para la mejora productiva del cultivo medicinal
- Costos para la realización del proyecto

CAPÍTULO 2: DISEÑO ELÉCTRICO LUMÍNICO DEL INVERNADERO

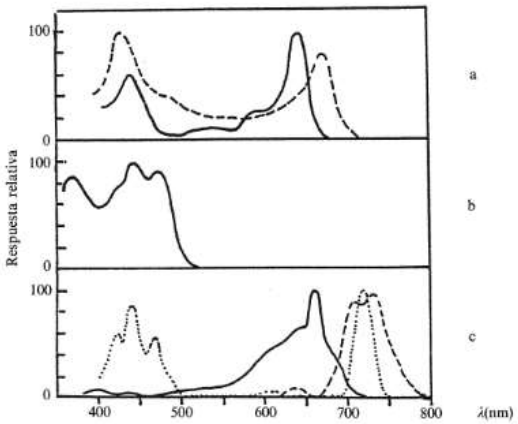
2. DISEÑO ELÉCTRICO LUMÍNICO DEL INVERNADERO

2.1. CRITERIO DE SELECCIÓN DE LUMINARIAS

Como se planteó en el capítulo anterior la iluminación es un factor importante, debido a que esta es fundamental, para que la planta realice la fotosíntesis e inducir una respuesta fotomorfogénica, este último se refiere al control que ejerce la luz sobre el crecimiento y el desarrollo de las plantas. Para ello la luminaria debe cumplir con algunos parámetros específicos, los cuales son:

PPFD. Es la densidad de fotones fotosintéticos los cuales están expresados en µmol/m²/s este valor en el caso de la Cannabis varía desde los 100 hasta los 1500 [µmol/m²/s], este valor está en función de la etapa que se encuentre la planta y de las condiciones ambientales que se encuentre la misma

PAR. Es la radiación fotosintéticamente activa y, aunque coincide bastante con el rango de luz visible para el ser humano, que va de los 400 a 700 nanómetros no es exactamente igual. Todos los fotones producidos dentro de este rango pueden ser absorbidos por la planta y contribuir a la fotosíntesis, fotomorfogénica, entre otros procesos fotobiológicos, aunque no todas las longitudes de onda tienen la misma probabilidad de ser absorbidas. Mientras que la visión humana es especialmente sensible a los amarillos y verdes, en las plantas se activan mucho más con los rojos y azules.



a) Fotosíntesis (- - -); síntesis de la clorofila (——)
b) Fototropismo
c) Inducción fotomorfogénica (——); reversibilidad de la inducción fotomorfogénica (---), puesta de alta energía (.....).

Fuente: Alpi. Publicado en el libro Cultivo en invernadero. 115.

Figura 2- 1. Sensibilidad espectral de los principales procesos fotobiológicos de las plantas.

La Figura 2-1 aprecia la sensibilidad espectral para algunos de los principales procesos fotobiológicos en las plantas; como se ve los fenómenos son inducidos nen la practica por cada longitud de onda en el campo de lo visible.

2.1.1. Sala de Germinación y Clonación

Para la sala de germinación y clonación, se debe tener en cuenta que tanto los clones como las semillas, para crecer y lograr expandir sus raíces necesitan de 100 a 200 [µmol/m²/s], con un fotoperiodo de 18horas.

2.1.2. Sala de Plantas Madre

En la sala de plantas madre, para mantener un constante proceso vegetativo y obtener una crianza optima de las plantas madre, para la posterior creación de clones, se debe mantener un fotoperíodo de 18 horas, con un PFFD de 300 a 500[µmol/m²/s].

2.1.3. Sala de crecimiento y floración

En la sala de crecimiento y floración se debe tener un ambiente idóneo para el crecimiento y su posterior floración de las plantas que serán usadas como medicina, para lograr esto se debe mantener un fotoperíodo de 18 horas continuas de luz en la fase de crecimiento, mientras que para la fase de floración se debe contar con un fotoperiodo de 12, además de tener una cantidad de PFFD que va desde los 500 hasta un máximo de 1500[µmol/m²/s].

2.1.4. Sala de Secado

Para el cuarto de secado, se necesita tener una obscuridad absoluta, evitar las exposiciones muy largas a la luz, pero si tener acceso a ella para poder inspeccionarlas y no interferir en el secado de las flores.

2.2. DISEÑO LUMÍNICO

En esta parte se abordará el diseño, selección y cantidad de luminarias necesarias para cada habitación en función de los criterios abordados en la parte 2.1 de la memoria.

2.2.1. Sala de germinación y clonación

Se diseño con 144 lámparas fluorescentes Octron/841XP/Ecologic de 32[W], con una temperatura de color de 4100K, vida útil promedio es de 36.000horas, estas lámparas se montan en Luminaria de GEOLUX, estanca para tubo fluorescente , montaje sobrepuesto o colgante, de IP 65, para tubos de rosca T8, con capacidad para 2 tubos, repartidas en 12 bandejas de 1x2m, con 3 canoas dobles por cada bandeja, está luminaria se escogió en base a la cantidad de PPFD requerido, siendo estos entre 100 y 200 [µmol/m²/s]. además, para seleccionar estas luminarias se utilizó un factor de conversión para obtener el cambio de Lux a PPFD, este factor se obtuvo aplicando una formula en función de la distribución de espectro lumínico de la lampara.

$$\text{PPF/nm} = 10^{-9} \times [V(\lambda)\Phi(\lambda)]/(\text{Nahc}) \rightarrow$$
$$8{,}359 * \sum (400 - 700)\,[V\lambda\Phi(\lambda)\Delta\lambda] = 0{,}0135$$

Donde:

- $\Phi(\lambda)$: Flujo radiante espectral.
- $V(\lambda)$: Es la función de eficiencia luminosa a la longitud de onda λ.
- λ: Longitud de onda en metros.
- Na: Constante de Avogadro, 6.022 x1023.
- h: Constante de Planck (6.626 x 10-34 joule-segundos).
- c: Velocidad de la luz, (2.998 x 108 m / s).

Ahora bien, ya obtenido el factor se hace el cálculo de la cantidad de luminarias necesarias, para satisfacer los requerimientos de la sala

$$N = \frac{PPFDr}{E * F} = \frac{100}{2850 * 0{,}0135} = 2.59$$

Donde:

- N: Número de luminarias.
- PPFDr: PPFD requeridos.
- E: Iluminancia.
- F: Factor de conversión de lux a PPFD.



Fuente: catálogo de OSRAM 2009 – 2010, página 4.04

Figura 2- 2 Lampara tubo fluorescente escogido para el diseño.

La Figura 2-2 aprecia él tuvo fluorescente de la marca OSRAM modelo Octron/841XP/Ecologic seleccionado para iluminar los clones.

Por otra parte, para la selección de las luminarias del techo en esta sala, se tomó un criterio de Em=150 [lx], en base a esto, la sala se diseñó con la luminaria Campana Industrial UFO 100[W], Chip LED OSRAM, SOLID POWER SSD, esta posee una temperatura de color de 4000K, con un flujo luminoso de 9500 [lm] y un IP 65, se plantean 4 unidades de esta luminaria esparcidas equitativamente a lo largo del cuarto.



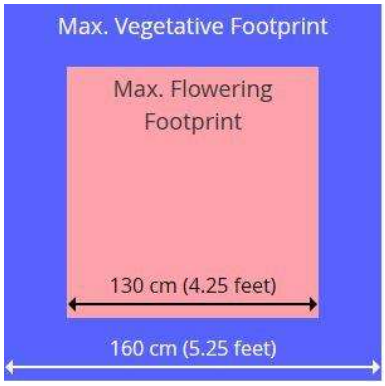
Fuente: https://www.ledbox.es/campanas-led-industriales/campana-industrial-ufo-100w-smd-ic-6000k-solid-power-ssd

Figura 2- 3. Luminaria campana LED

La Figura 2-3 aprecia la luminaria de la marca LED BOX, modelo Campana Industrial UFO 100[W].

2.2.2. Sala de plantas madre

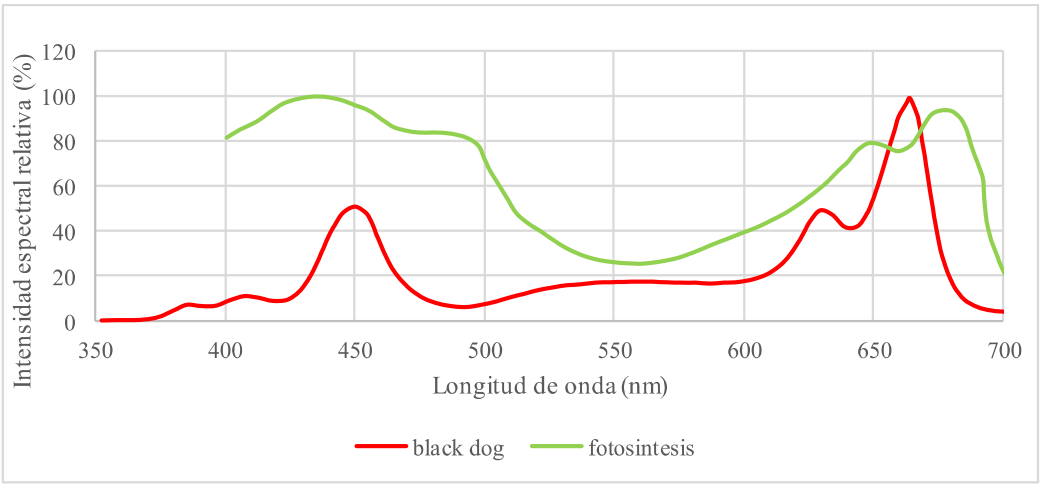
En este cuarto se eligió un total de 150 luminarias modelo PhytoMAX-2 de la compañía Black Dog LED de 400[W] de potencia y un promedio de 327 [µmol/m²/s], además un área optima de iluminación de 130 x130 [cm], estando así dentro del rango de 300 a 500 [µmol/m²/s].



Fuente: https://www.blackdogled.com//products-led/led-grow-lights/phytomax2-400.html

Figura 2- 4 Área optima de la luminaria

La Figura 2-4 aprecia el área optima de iluminación de la luminaria elegida.



Fuente: Creación Propia, con datos de la página www.blackdogled.com

Gráfico 2- 1. Comparación de distribución espectral de la luminaria vs el de los procesos fotobiológicos.

El Grafico 2-1 aprecia la comparación entre la distribución espectral de la luminaria vs la de los procesos fotobiológico demostrando que la mayoría del espectro es útil para los periodos fotobiológicos.



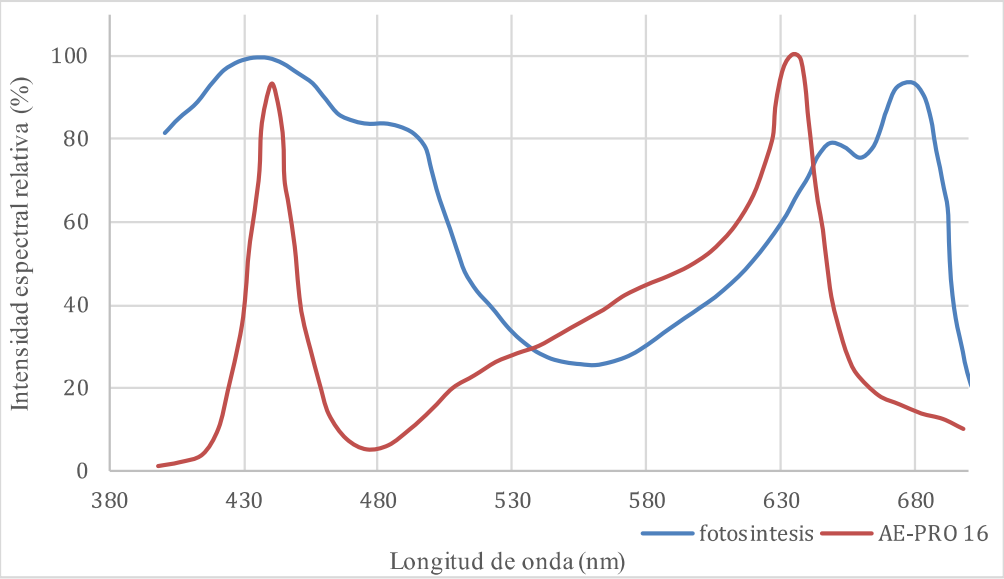
Fuente: https://www.blackdogled.com//products-led/led-grow-lights/phytomax2-400.html

Figura 2- 5. Luminaria panel LED Black Dog.

La Figura 2-5 aprecia la luminaria elegida para el cultivo de plantas madre de la marca Black Dog modelo PhytoMAX-2 de 400[W].

2.2.3. Sala de crecimiento y floración

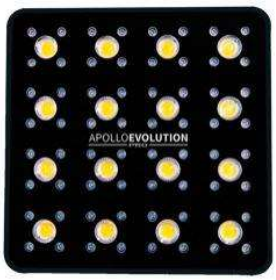
Para esta sala se optó por 600 luminarias de la marca DELIGHT modelo AE-PRO 16, con una potencia de 480[W], mientras que en iluminación cuenta con un promedio de 900 [µmol/m²/s], un mínimo en los extremos de 410 [µmol/m²/s] y un máximo de 1010-2000[µmol/m²/s], además de una área optima de iluminación de 100 x100 [cm], estando así dentro del rango de 1000 a 1500 [µmol/m²/s].



Fuente: Creación Propia, con datos de la página https://delightchile.cl/

Gráfico 2- 2. Comparación de distribución espectral de la luminaria vs el de los procesos fotobiológicos

El Grafico 2-2 aprecia la comparación entre la distribución espectral de la luminaria vs la de los procesos fotobiológico demostrando que la mayoría del espectro es útil para los periodos fotobiológicos.



Fuente: https://delightchile.cl/apollo-evolution-pro/1124-apollo-evolution-pro-16.html

Figura 2- 6. Luminaria panel LED DELIGHT.

La Figura 2-6 aprecia la luminaria elegida para el cultivo crecimiento y floración marca DELIGHT y modelo AE-PRO 16 de 480[W].

2.2.4. Sala de secado

Para la sala de secado se eligió la luminaria Campana Industrial UFO 100[W], Chip LED OSRAM, SOLID POWER SSD y de la marca LEDBOX, con un flujo luminoso de 9500 [lm], una temperatura de color de 4000 [K] y IP 65.

2.3. DISEÑO ELÉCTRICO

El diseño eléctrico estará diseñado en función de las exigencias de NCH Elec. 4/2003 para así garantizar la seguridad, funcionabilidad y flexibilidad en la operación más optima.

Los alimentadores y sub alimentadores de cada circuito se implementó el conductor RZ1 25mm

2.3.1. Circuitos de alumbrado

Los circuitos se diseñaron con un circuito general, del cual se subdividirán en otros circuitos, a función de las cargas de cada sala.

Sala de clonación y germinación: Esta sala cuenta con dos circuitos, el circuito uno alimenta 144 lámparas fluorescentes Octron/841XP/Ecologic de 32[W], que van ubicadas en las bandejas para los esquejes y clonaciones, tiene una potencia de 4608[W] y una corriente de 20,94[A]. El conductor diseñado para la alimentación de estas luminarias es de 3.31[mm], canalizados en una moldura de 20x10mm. El segundo circuito, alimenta 4 luminarias Chip LED OSRAM, SOLID POWER SSD de 100[W], las cuales iluminan el ambiente de la sala, ubicadas en el techo, tiene una potencia de 400[W] y una corriente de 1.82[A]. El conductor disñado para la alimentación de estas luminarias es de 3.31 [mm], canalizados por PVC de 25[mm]. La sala

tiene una potencia total de 5008[W] y una corriente total de 22,76[A]. El conductor diseñado para la alimentación es de 5.26[mm], considerando el punto más desfavorable. Canalizado por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 1. Tabla de resumen de alumbrado para la sala de germinación y clonación

Luminarias N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
				Moldura 20x10x3000[mm]
			3.31[mm]	Tubería PVC 25[mm]
148	5008	22,76	5.26[mm]	e.p.c. 100[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-1 aprecia el total tanto de luminarias, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de germinación y clonación del invernadero.

Sala de plantas madre: Esta sala se diseñó con ocho circuitos, de los cuales, cada uno de ellos alimenta 17 luminarias PhytoMAX-2 de la compañía Black Dog LED de 400 [W], repartidas una cada cuatro plantas, para mantener un proceso vegetativo constante en las estas mismas, cada circuito tiene una potencia de 6800[W] y una corriente de 30,91[A]. El conductor diseñado para la alimentación de las luminarias es de 6[mm²]. La sala tiene una potencia total de 54400[W] y una potencia total de 87.00[A]. El conductor diseñado para la alimentación es de 16[mm²], considerando el punto más desfavorable. Todos estos circuitos serán canalizados por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 2. Tabla de resumen de alumbrado para la sala de plantas madre

Luminarias N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
136	54400	87.00	6[mm²] 16[mm²]	Escalerilla porta conductora 100[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-2 aprecia el total tanto de luminarias, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de plantas madre del invernadero.

Sala de crecimiento y floración: Esta sala se diseñó con sesenta circuitos, de los cuales, cada uno de ellos alimenta 10 luminarias DELIGHT modelo AE-PRO 16, con una potencia de 480 [W], ubicadas una por planta, para lograr un crecimiento y posterior floración idónea para la planta, cada circuito posee una potencia de 4800[W] y una corriente de 21.82[A]. El conductor utilizado para la alimentación de las luminarias es 5.26[mm]. La sala tiene una potencia total de 288000[W] y una corriente total de 460.6[A]. El conductor utilizado para la alimentación es de 3/0[AWG], considerando el punto más desfavorable. Todos estos circuitos serán canalizados por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 3. Tabla de resumen de alumbrado para la sala de crecimiento y floración

Luminarias N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
600	288000	460,6	5.26[mm] 3/0[AWG]	Escalerilla portaconductora 100[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-3 aprecia el total tanto de luminarias, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de crecimiento y floración del invernadero.

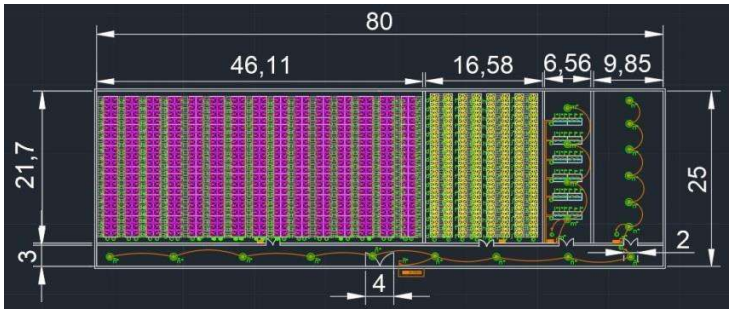
Sala de secado: Esta sala se diseñó con dos circuitos, el primer circuito alimenta seis luminarias para la iluminación ambiental de la sala de secado, con una potencia de 600[W] y una corriente de 2,73[A]. Canalizados por tuberías t.p.r de 16mm. El segundo circuito alimenta nueve luminarias para la iluminación del pasillo, con una potencia de 900[W] y una corriente de 4,09[A]. El conductor diseñado para la alimentación de estas luminarias es de 2.08[mm]. Todas estas luminarias son Campana Industrial UFO 100[W], Chip LED OSRAM, SOLID POWER SSD. La sala tiene una potencia total de 1500[W] y una corriente total de 6,82[A]. El conductor diseñado para la alimentación es de 3.31[mm], considerando el caso más desfavorable. Canalizado por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 4. Tabla de resumen de alumbrado para la sala de secado

Luminarias N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
15	1500	6,82	2.08[mm] 3.31[mm]	Tubería PVC 16[mm] e.p.c. 100[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-4 aprecia el total tanto de luminarias, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de secado del invernadero.



Fuente: Creación Propia

Figura 2- 7. circuitos de alumbrado del invernadero

La Figura 2-7 aprecia todos los circuitos de iluminación dentro del invernadero.

La fórmula que se utilizó para calcular la corriente nominal de cada circuito y las salas fue la siguiente:

$$In = \frac{P}{V}$$

Donde:

- In: Intensidad nominal[A]
- P: Potencia[W]
- V: Voltaje[V]

2.3.2. Circuito de calefacción

Sala de germinación y clonación: Esta sala se diseñó con dos circuitos, de los cuales, el primer circuito alimenta dos ventiladores V-FloFan T6D40K3M81160 de 200[W], para la ventilación de la sala y control de temperatura, con una potencia de 400[W] y una corriente de 1,82[A]. El segundo circuito, alimenta un extractor Airmax 24wf de 340[W], para la extracción de

aire, con una potencia de 340[W] y una corriente de 1,55[A]. El conductor con el cual se diseñó para la alimentación de los ventiladores es de 2.08[mm], canalizados por tuberías PVC de 25mm. La sala tiene una potencia total de 740[W] y una corriente total de 3,36[A]. El conductor con el cual se diseñó para la alimentación es de 5.26[mm], considerando el caso más desfavorable. Canalizado por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 5.Tabla de resumen de calefacción para la sala de germinación y clonación

Artefactos N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
3	740	3,36	2.08[mm] 5.26[mm]	Tubería PVC 25[mm] e.p.c. 100[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-5 aprecia el total tanto de artefactos, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de germinación y clonación del invernadero.

Sala de plantas madre: Esta sala se diseñó con dos circuitos, el primer circuito alimenta dieciocho ventiladores V-FloFan T6D40K3M81160 de 200[W], para la ventilación de la sala y control de temperatura, con una potencia de 3600[W] y una corriente de 16,36[A], el conductor con el cual se diseñó para la alimentación de los ventiladores es de 3.31[mm], canalizados por tuberías PVC de 25mm. El segundo circuito alimenta dos extractores Airmax 24wf de 340[W], para la extracción de aire, con una potencia de 680[W] y una corriente de 3,09[A], el conductor con el cual se diseñó para la alimentación de los ventiladores es de 3.31[mm], canalizados por escalerilla portaconductores de 100[mm]. La sala tiene una potencia total de 4280[W] y una corriente total de 19,45[A]. El conductor diseñado para la alimentación es de 16[mm], considerando el caso más desfavorable. Canalizados por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 6. Tabla de resumen de calefacción para la sala de plantas madre

Artefactos N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
20	4280	19,45	3.31[mm] 16[mm]	e.p.c. 100x100x3000[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-6 aprecia el total tanto de artefactos, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de plantas madre del invernadero.

Sala de crecimiento y floración: Esta sala se diseñó con cuatro circuitos, el primer y el segundo circuito, cada uno alimentan dieciséis ventiladores V-FloFan T6D40K3M81160 de 200[W], para la ventilación de la sala y control de temperatura., la potencia por circuito es de 3200[W] y la corriente por circuito es de 14,55[A], el conductor con el cual se diseñó para la alimentación de los ventiladores es de 3.31[mm], canalizados escalerilla portaconductores de 100x100x3000[mm]. El tercer y cuarto circuito, cada uno alimentan dos extractores Airmax 24wf de 340[W], para la extracción de aire, la potencia por circuito es de 680[W] y con una corriente por circuito de 3,09[A], el conductor con el cual se diseñó para la alimentación de los ventiladores es de 3.31[mm], canalizados por escalerilla portaconductores de 100x100x3000[mm]. La sala tiene una potencia total de 7760[W] y una corriente total de 35,27[A]. El conductor con el cual se diseñó la alimentación es de 3/0[AWG], considerando el caso más desfavorable. Canalizado por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 7. Tabla de resumen de calefacción para la sala de crecimiento y floración

Artefactos N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
36	7760	35,27	3.31[mm] 3/0[AWG]	EPC[100x100x3000mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-7 aprecia el total tanto de artefactos, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de crecimiento y floración del invernadero.

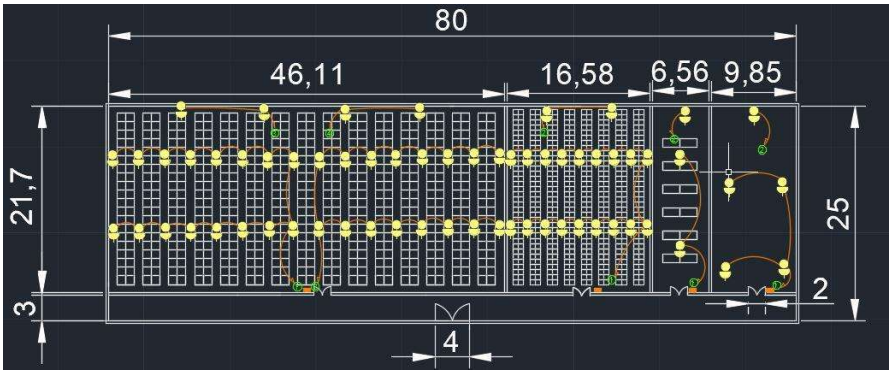
Sala de secado: Esta sala se diseñó con dos circuitos, el primer circuito alimenta cuatro ventiladores V-FloFan T6D40K3M81160 de 200[W], para la ventilación de la sala y control de temperatura, con una potencia de 800[W] y una corriente de 3,64[A], el conductor con el cual se diseñó para la alimentación de los ventiladores es de 2.08[mm], canalizados por tuberías PVC de 25mm. El segundo circuito alimenta un extractor Airmax 24wf de 340[W], para la extracción de aire, con una potencia de 340[W] y una corriente de 1,55[A], el conductor con el cual se diseñó para la alimentación de los ventiladores es de 2.08[mm], canalizados por tuberías PVC de 25mm. La sala tiene una potencia total de 1240[W] y una corriente total de 5,64[A]. El conductor con el cual se diseñó la alimentación es de 3.31[mm], considerando el caso más desfavorable. Canalizado por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 8. Tabla de resumen de calefacción para la sala de secado

Artefactos N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
5	1240	5,64	2,08[mm] 3.31[mm]	Tubería PVC 25[mm] e.p.c. 100[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-8 se muestra el total tanto de artefactos, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de secado del invernadero.



Fuente: Creación Propia

Figura 2- 8. Circuitos de calefacción del invernadero

La Figura 2-8 muestra todos los circuitos de calefacción dentro del invernadero.

La fórmula utilizada para el cálculo de las corrientes nominales de los circuitos y las salas fue la siguiente:

$$In = \frac{P}{V}$$

Donde:

- In: Intensidad nominal[A]
- P: Potencia[W]
- V: Voltaje[V]

2.3.3. Circuito de fuerza

Sala de plantas madre: Esta sala se diseñó con siete circuitos, de los cuales, del primer al cuarto circuito, cada uno alimenta cuatro motores monofásicos de 2 HP corriente alterna Siemens,

para controlar la altura de las luminarias instaladas y así obtener la absorción adecuada de PPF para el crecimiento vegetativo de la planta, con una potencia de 5968[W] y una corriente de 36,17[A] cada circuito. El quinto circuito, alimenta una electrobomba CENT. PEDROLLO CP 200-ST4 3HP, para el regadío de las plantas, con una potencia de 3432[W] y una corriente de 20,80[A]. El conductor diseñado para la alimentación de los motores y bomba de agua es de 8.37[mm], considerando el punto más desfavorable, canalizados por una escalerilla porta conductora de 100x100x3000[mm]. Cada motor será protegido por un relé de protección térmico. El sexto circuito alimenta un humidificador de 500[W], para el control de la humedad de la sala, con una potencia de 500[W] y una corriente de 3,03|[A]. El séptimo circuito alimenta dos Kit Evolution CO2 Completo Propano, para controlar los niveles de CO2 que existen dentro de la sala, con una potencia de 2400[W] y una corriente de 10,91[A]. Estos circuitos se diseñaron con un conductor de 8.37[mm²] para la alimentación de los humidificadores y los Kit Evolution CO2 completo propano, canalizados por una escalerilla portaconductora de 100x100x3000[mm]. La sala tiene una potencia total de 30204[W] y una corriente total de 55,29[A]. El conductor con el cual se diseñó la alimentación es de 16[mm], considerando el caso más desfavorable. Canalizado por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 9. Tabla de resumen de fuerza para la sala de plantas madre

Artefactos N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
22	30204	55,29	8.37[mm] 16[mm]	Escalerilla portaconductora 100[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-9 se muestra el total tanto de artefactos, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de plantas madre del invernadero.

Sala de crecimiento y floración: Esta sala se diseñó con trece circuitos, de los cuales, del primero al décimo, cada uno alimenta tres motores monofásicos de 2 HP corriente alterna Siemens,

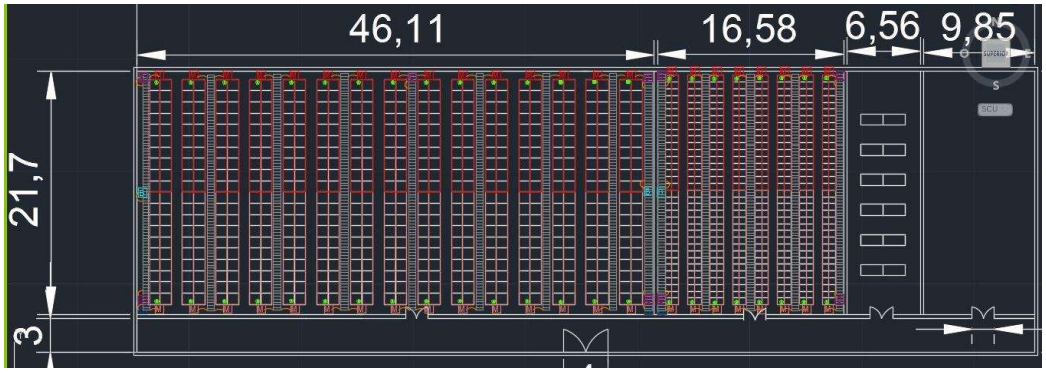
para controlar la altura de las luminarias instaladas y así obtener la absorción adecuada de PPF para el crecimiento vegetativo y posterior floración de la planta, con una potencia de 4476[W] y una corriente de 27,13[A] cada circuito. El onceavo circuito, alimenta dos electrobombas CENT. PEDROLLO CP 200-ST4 3HP, para el regadío de las plantas, con una potencia de 6864[W] y una corriente de 41,60[W]. El conductor diseñado para la alimentación de los motores y bomba de agua es de 8.37[mm], considerando el punto más desfavorable, canalizados por una escalerilla portaconductora de 100x100x3000[mm]. Cada motor será protegido por un relé térmico. El doceavo circuito, alimenta dos humidificadores de 500[W], para el control de la humedad de la sala, con una potencia de 1000[W] y una corriente de 4,55[A]. El treceavo circuito alimenta cinco Kit Evolution CO2 Completo Propano, para controlar los niveles de CO2 que existen dentro de la sala con una potencia de 3000[W] y una corriente de 13,64[A]. Estos circuitos se diseñaron con un conductor de 2,5[mm²] para la alimentación de los humidificadores y los Kit Evolution CO2 completo propano, canalizados por una escalerilla portaconductora de 100x100x3000[mm]. La sala tiene una potencia total de 55624[W] y una corriente total de 101,82[A]. El conductor con el cual se diseñó la alimentación es de 3/0[AWG], considerando el caso más desfavorable. Canalizado por una escalerilla porta conductora de 100[mm].

Tabla 2- 10. Tabla de resumen de fuerza para la sala de crecimiento y floración

Artefactos N°	Potencia [W]	Corriente [A]	Conductor	Canalización
			8.37[mm]	
			2,5[mm]	Escalerilla porta conductora
39	55624	101,82	3/0[AWG]	100x100x3000[mm]

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-10 se muestra el total tanto de artefactos, potencia y corriente, además del conductor y la canalización a utilizar dentro de la sala de crecimiento y floración del invernadero.



Fuente: Creación Propia

Figura 2- 9. Circuitos de fuerza del invernadero.

La Figura 2-9 muestra todos los circuitos de fuerza dentro del invernadero.

Las fórmulas que se utilizaron para calcular la intensidad nominal de los motores en estas salas son las siguientes:

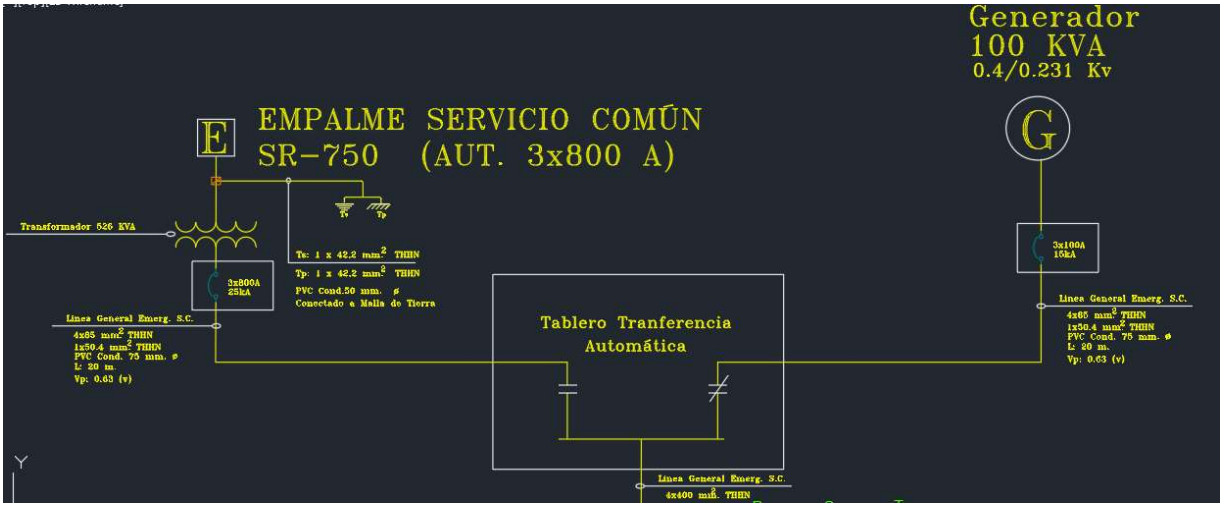
$$In1\phi = \frac{P}{V\ x\ \eta\ x\ cos\varphi}$$

Donde:

- In1ϕ: Intensidad nominal monofásica[A]
- P: Potencia[W]
- V: Voltaje[V]
- cosφ: Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente
- η: Rendimiento del motor

2.3.4. Transformador y generador

El transformador y generador con el cual se diseñó la instalación son de 500[KVA] y 100[KVA] respectivamente, para obtener un funcionamiento idóneo tanto en el proceso normal como en caso de falla.



Fuente: Creación Propia

Figura 2- 10.Transformador y generador del invernadero.

La Figura 2-10 muestra el transformador y el generador que se implementó en el invernadero.

2.4. DIMENSIONAMIENTO DE PROTECCIONES

Las protecciones estarán dimensionadas en función de la corriente nominal y los artefactos que contenga el circuito, además se considerara si el circuito es mono fásico o trifásico

2.4.1. Circuitos de alumbrado

Para las protecciones de los circuitos de alumbrado se planteó un total de 46 disyuntores distribuidos por cada sala, además de uno general, que considera todos los circuitos de alumbrado:

Sala de clonación y germinación: Para esta sala se planteó un total de 2 disyuntores termomagnéticos uno de 25[A] y otro de 6[A] ambos curva C y un disyuntor general 2x32[A] curva c.

Tabla 2- 11. Tabla de resumen de protecciones de alumbrado para la sala de germinación y clonación

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuito 1	1x25	C	2x25x30
circuito 2	1x6	C	2x25x30
General	2x32	C	2x25x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-11 se aprecian todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de alumbrado de la sala de germinación y clonación.

Sala de plantas madre: Para esta sala se planteó un total de 8 disyuntores termomagnéticos de 35[A] curva D y un disyuntor trifásico general de 4x100[A].

Tabla 2- 12. Tabla de resumen de protecciones de alumbrado para la sala de plantas madre

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuitos 1-8	1x35	D	2x40x30
General	4x100	DRX	4x100x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-12 se aprecian todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de alumbrado de la sala de plantas madre.

Sala de crecimiento y floración: Esta sala se planteó un total de 60 disyuntores termomagnéticos de 25[A] D y un disyuntor trifásico general de 4x500[A].

Tabla 2- 13. Tabla de resumen de protecciones de alumbrado para la sala de crecimiento y floración

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuitos 1-60	1x25	D	2x25x30
General	4x500	DRX	4x500x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-13 se aprecian todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de alumbrado de la sala de crecimiento y floración.

Sala de secado y pasillo: Esta sala se planteó un total de 2 disyuntores termomagnéticos ambos de 6[A] curva C y un disyuntor general de 2x10 [A].

Tabla 2- 14. Tabla de resumen de protecciones de alumbrado para la sala de secado

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuitos 1-2	1x6	C	2x25x30
General	2x10	C	2x25x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-14 se aprecian todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de alumbrado de la sala de secado.

2.4.2. Circuitos de calefacción

Para las protecciones de los circuitos de calefacción se planteó un total de 14 disyuntores distribuidos por cada sala, además de uno general, que considera todos los circuitos de calefacción:

Sala de clonación y germinación: Para esta sala se planteó un total de 2 disyuntores termomagnéticos ambos de 6 [A] curva C, además de un disyuntor general 2x10[A] curva C.

Tabla 2- 15. Tabla de resumen de protecciones de calefacción para la sala de germinación y clonación

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuitos 1-2	1x6	C	2x25x30
General	2x10	C	2x25x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-1 aprecia todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de calefacción de la sala de germinación y clonación.

Sala de plantas madre: Para esta sala se planteó un total de 2 disyuntores termomagnéticos uno de 20[A] y el otro de 6[A] ambos de curva C y un disyuntor general de 2x20[A].

Tabla 2- 16. Tabla de resumen de protecciones de calefacción para la sala de plantas madre

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuito 1	1x20	C	2x25x30
circuito 2	1x6	C	2x25x30
General	2x20	C	2x30x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-16 aprecia todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de calefacción de la sala de plantas madre.

Sala de crecimiento y floración: Esta sala se planteó un total de 4 disyuntores termomagnéticos dos de ellos de 20[A] y los otros 2 de 6[A], además de un disyuntor 2x40[A].

Tabla 2- 17. Tabla de resumen de protecciones de calefacción para la sala de crecimiento y floración

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuito 1-2	1x20	C	2x25x30
circuito 3-4	1x6	C	2x25x30
General	2x40	C	2x50x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-17 aprecia todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de calefacción de la sala de crecimiento y floración.

Sala de secado y pasillo: Esta sala se planteó un total de 2 disyuntores termomagnéticos 6 [A] c y un disyuntor general de 2x10 [A].

Tabla 2- 18. Tabla de resumen de protecciones de calefacción para la sala de secado

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]
circuitos 1-2	1x6	C	2x25x30
General	2x10	C	2x25x300

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-18 aprecia todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de calefacción de la sala de secado.

2.4.3. Circuitos de fuerza

Para las protecciones de los circuitos de fuerza se planteó un total de 22 disyuntores distribuidos por cada sala, además de uno general, que considera todos los circuitos de fuerza:

Sala de plantas madre: Para esta sala se planteó un total de 7 disyuntores termomagnéticos cuatro de ellos de 40[A] curva D, uno de 25[A], uno de 6[A] y por último uno de 16[A], todos son curva C, además de un disyuntor trifásico general de 4x50 [A] curva D.

Tabla 2- 19. Tabla de resumen de fuerza para la sala de plantas madre

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]	Relé térmico [A]
circuito 1-4	1x40	D	-	8.5
circuito 5	1x25	C	-	8.5
circuito 6	1x6	C	-	8.5
circuito 7	1x16	C	-	8.5
General	4x50	DRX	4x63x300	

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-19 aprecia todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de fuerza de la sala de plantas madre.

Sala de crecimiento y floración: Esta sala se planteó un total de 13 disyuntores termomagnéticos 10 de 32[A], curva D y los tres restantes de 50[A], 6[A] y 16 [A], además de un disyuntor trifásico general de 4x125[A] curva D.

Tabla 2- 20. Tabla de resumen de protecciones de fuerza para la sala de crecimiento y floración

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva	Diferencial [mA]	Relé térmico [A]
circuito 1-10	1x32	D	-	8.5
circuito 11	1x50	C	-	8.5
circuito 12	1x6	C	-	8.5
circuito 13	1x16	C	-	8.5
General	4x125	DRX	4x125x300	

Fuente: Creación Propia

La Tabla 2-20 aprecia todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para la sección de fuerza de la sala de crecimiento y floración.

La protección general de toda la instalación se diseñó con un disyuntor termomagnético tetrapolar de 4x800[A], y por sala correspondiente son, en crecimiento y floración un disyuntor termomagnético tetrapolar de 4x500[A]. Plantas madre un disyuntor termomagnético tetrapolar de 4x160[A]. Germinación y clonación un disyuntor bipolar de 2x40[A] y en la sala de secado y pasillo un disyuntor bipolar de 2x20[A].

Tabla 2- 21. Tabla de resumen de protecciones generales para el invernadero

Protecciones	Disyuntor [A]	Curva
Crecimiento y floración	4x500	DRX
Plantas madre	4x160	DRX
Germinación y clonación	2x40	DRX
Secado y pasillo	2x20	DRX
General	4x800	DRX

La Tabla 2-21 aprecia todas las protecciones con sus respectivas curvas de accionamiento, que son empleadas para el tablero general de todo el invernadero.

2.4.4. Malla puesta a tierra

La malla puesta a tierra se diseñó con unas dimensiones de 20x20 [m], con un conductor de cobre desnudo de 70mm, para obtener una resistividad adecuada para la instalación, pero al realizar los cálculos se observó que esta no sería viable por temas de costo, tiempo y tamaño, así que se optó por implementar una protección diferencial en cada circuito para complementar la malla puesta a tierra. Los cálculos utilizados fueron los siguientes:

$$S = L * a$$

$$r = \sqrt{\frac{S}{\pi}}$$

$${r_0}^2 = r^2 - b^2$$

$${Q_0}^2 = 2 * r(r + b)$$

$$X = 4 * {Q_0}^2 * {r_0}^2$$

$${V_1}^2 = [({Q_0}^2 + {r_0}^2 + {h_1}^2) - \sqrt{({Q_0}^2 + {r_0}^2 + {h_1}^2)^2 - X}]$$

$${V_2}^2 = [({Q_0}^2 + {r_0}^2 + {h_2}^2) - \sqrt{({Q_0}^2 + {r_0}^2 + {h_2}^2)^2 - X}]$$

$$F_1 = \sqrt{1 - \frac{{V_1}^2}{{r_0}^2}}$$

$$F_2 = \sqrt{1 - \frac{{V_2}^2}{{r_0}^2}}$$

$$Qeq = \frac{1}{\frac{F_1 - F_0}{\delta_1} + \frac{F_2 - F_1}{\delta_2} + \frac{F_3 - F_2}{\delta_3}}$$

$$K_1 = 1{,}43 - 2{,}3\frac{h}{\sqrt{S}} - 0{,}044\frac{A}{B}$$

$$K_2 = 5{,}5 - 8\frac{h}{\sqrt{S}} + (0{,}15 - \frac{h}{\sqrt{S}})\frac{A}{B}$$

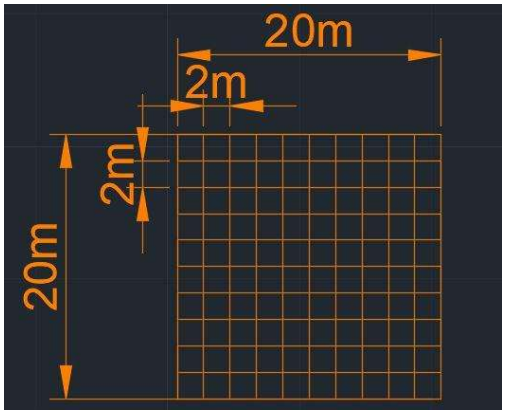
$$Rg = \frac{\rho}{\pi + Lc}\left[Ln(\frac{2Lc}{\sqrt{hd}}) + K_1\frac{Lc}{\sqrt{S}} - K_2\right]$$

$$Rpt = \frac{Vs}{I_o}$$

$$I_o = K * In$$

Donde:

- S: Área que cubre la malla [m2]
- A: Lado mayor de la malla [m]
- ρ: Resistividad de estratos [Ω-m]
- B: Lado menor de la malla [m]
- K_1 - K_2: coeficientes relacionados con la geometría de la malla
- Lc: Longitud total conductor de la malla [m]
- h, b: Profundidad de enterramiento malla [m]
- Rpt: Resistencia puesta a tierra
- Vs: Voltaje de seguridad
- K: Constante de tabla
- In: Intensidad nominal



Fuente Creación propia

Figura 2- 11. Diseño de malla puesta a tierra

La Figura 2-11 aprecia cómo queda la malla que se diseñó en base a los cálculos realizados anteriormente.

2.5. CÁLCULOS UTILIZADOS

Para el cálculo de conductores subalimentadores monofásicos, se utilizó la siguiente formula:

$$S = \frac{2 \text{ x } \rho \text{ x L x I x } \cos\varphi}{\Delta V}$$

Donde:

- S: Sección del conductor[mm2]
- ρ: Coeficiente del material conductor[m/(Ω·mm²)]
- L: Longitud de la línea[m]

- I: Intensidad de corriente[A]
- ΔV: Caída de tensión desde el principio hasta el final de la línea[V]
- 2: Constante monofásica

Para el cálculo de conductores alimentadores trifásicos, el alimentador general es de 4x253mm2, se utilizó la siguiente formula:

$$S = \frac{\sqrt{3}\ x\ \rho \text{ x L x I x } \cos\varphi}{\Delta V}$$

Donde:

- S: Sección del conductor[mm2]
- ρ: Coeficiente del material conductor[m/(Ω·mm²)]
- L: Longitud de la línea[m]
- cosφ: Es la relación entre la potencia activa y la potencia aparente
- I: Intensidad de corriente[A]
- ΔV: Caída de tensión desde el principio hasta el final de la línea[V]
- √3: Transformación voltaje de fase a voltaje de línea

Para el cálculo de caída de tensión monofásica, se utilizó la siguiente formula:

$$\Delta V = \frac{380}{\sqrt{3}\text{ x L x } [(\text{ r x fp}) + (\text{X x sen}\varphi)]}\ x\ 100$$

Donde:

- ΔV: Caída de tensión [%]
- 380: Voltaje de línea[V]
- L: Largo del conductor[m]

- r: Resistencia real[Ω/km]
- X: Resistencia imaginaria[Ω/km]
- Fp: Factor de potencia
- senφ: Es la relación entre la potencia reactiva y la potencia aparente
- √3: Transformación voltaje de fase a voltaje de línea
- 100: transformación a porcentaje

Para el cálculo de caída de tensión trifásica, se utilizó la siguiente formula:

$$\Delta V = \frac{\sqrt{3}\ \text{x L x I x [(r x fp) + (X x sen}\varphi)]}{380}\ x\ 100$$

Donde:

- ΔV: Caída de tensión [%]
- 380: Voltaje de línea[V]
- L: Largo del conductor[m]
- r: Resistencia real[Ω/km]
- X: Resistencia imaginaria[Ω/km]
- Fp: Factor de potencia
- senφ: Es la relación entre la potencia reactiva y la potencia aparente
- √3: Transformación voltaje de fase a voltaje de línea
- 100: transformación a porcentaje

CAPÍTULO 3: ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA MEJORA PRODUCTIVA DEL C___IVO MEDICINA

3. ESTABLECER UN SISTEMA DE CONTROL PARA LA MEJORA PRODUCTIVA DEL CULTIVO MEDICINA

3.1. CRITERIOS DE ELECCIÓN DE APARATOS DE CONTROL

Para este capítulo se focaliza en la forma de realizar un proceso eficiente de control, con el cual se cumplan todas las variables y procesos que se tienen diseñados, como lo son el control de luminarias, humedad, ventilación, regadío y temperatura.

Para lograr todos estos objetivos, todo el proceso de control se diseñó en base a la implementación y programación de una placa llamada Arduino

3.1.1. Arduino

Arduino se creó en el año 2005, en el instituto de Diseño Interactivo en Ivrea (Italia). La idea principal de esta placa era poder implementarlas en las aulas de clase, siendo un dispositivo de bajo costo, sin embargo, el instituto se vio obligado a cerrar sus puertas en el mismo año, por lo que se tomó la decisión de liberar el proyecto y abrirlo para todo público, para que todo el mundo pudiese participar de la evolución del proyecto, proponiendo mejoras y sugerencias.

Esta es una plataforma de desarrollo, la cual se compone por una placa electrónica que tiene un hardware libre y con uso de dominio público, se incorpora por un microcontrolador re-programable y una serie de pines hembra que se utilizan como entradas o salidas, que permiten establecer conexiones entre microcontroladores, sensores y actuadores de una manera sencilla y accesible a cualquier persona.

Arduino es una placa electrónica PCB (Placa de circuito impreso), esta está compuesta por un material no conductor y distintas capas de material conductor que logran ser una forma compacta y estable de construir un circuito electrónico. La placa Arduino no es más que una PCB con una circuitería interna con un determinado diseño, esto es para que el usuario que utilice esta placa no tenga que preocuparse de las conexiones eléctricas internas que necesita el

microcontrolador para funcionar, por lo que puede comenzar directamente a desarrollar una variedad de aplicaciones electrónicas diferentes.

Cuando se habla de Arduino, se debería especificar el modelo al cual nos referimos en concreto, ya que se han fabricado diferentes modelos de placas que son Arduinos oficiales, cada una de estas pensada con un propósito diferente y características variadas. A pesar de la gran variedad de placas existentes, todas pertenecen a la misma familia de microcontroladores AVR marca Atmel, esto significa que comparten la mayoría de sus características de software, arquitectura, librerías y documentación.

Para este proyecto se diseñó con la placa de Arduino Mega 2560 esta es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM, 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, jack para alimentación DC, conector ICSP, conexión USB y un botón de reseteo.

La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de los componentes compatibles para Arduino UNO, siendo este la actualización y reemplazo para el Arduino Mega.



Fuente: https://arduino.cl/arduino-mega-2560/

Figura 3- 1. Placa de Arduino MEGA 2560

La Figura 3-1 aprecia una placa de Arduino MEGA 2560 con todas sus entradas y salidas respectivas.

3.1.2. Sensor DHT22

Las mediciones tanto de temperatura como de humedad ambiental, se realizará mediante un sensor diseñado para Arduino; El DHT22 es un sensor que a parte de su tamaño reducido, posee la ventaja de venir calibrado, es decir, que no existe la necesidad de componentes adicionales, tan solo basta con conectarlo para comenzar a tomar mediciones de humedad ambiental y temperatura, esto es lo que asegura una alta calidad y fiabilidad a lo largo del tiempo, ya que contiene un microcontrolador de 8 bits integrado.

Para medir la humedad, cuenta con dos electrodos con un sustrato en medio de ellos que retiene la humedad del ambiente, entonces cuando la humedad varía, la conductividad del sustrato y resistencia entre los electrodos también varía.

Para medirla temperatura, estos sensores cuentan con un termistor NTC, que consiste en una resistencia variable la cual cambia su valor conforme va cambiando la temperatura del ambiente. Esta resistencia disminuye a medida que la temperatura aumenta, tiene una respuesta rápida en las medidas necesarias.

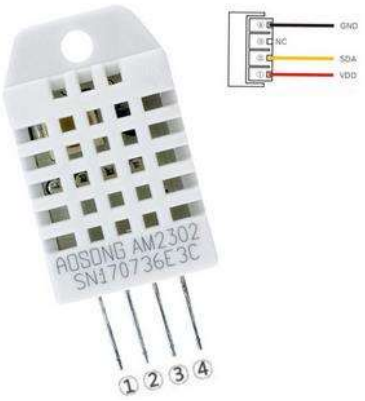
Puede medir la temperatura entre el rango -40ºC y 80ºC con una precisión de 0.5°C y la humedad entre el rango 0% hasta 100% aproximadamente con una precisión de entre 2-5%.

Las características del sensor son:

- Alimentación: 3.3Vdc ≤ Vcc ≤ 6Vdc
- Rango de medición de temperatura: -40°C a +80 °C
- Precisión de medición de temperatura: error de ±0.5 °C
- Resolución Temperatura: 0.1°C
- Rango de medición de humedad: De 0 a 100% RH
- Precisión de medición de humedad: 2% RH
- Resolución Humedad: 0.1%RH
- Tiempo de censado: 2s

La aplicación que tiene este sensor dentro del proyecto es la de medir la temperatura y humedad ambiental la cual se debe mantener en un rango no superior a 30°C y una humedad de 60% en las salas de crecimiento y floración y plantas madre (para el resto de las salas se especifican

los porcentajes de humedad en el capítulo uno), si se llegase a superar estos valores de temperatura y humedad, se accionan lo ventiladores instalados en el techo, al igual que los extractores por un tiempo de 60 minutos programados con un módulo reloj conectado al Arduino.



Fuente:https://www.primeirow.com/index.php?main_page=product_info&products_id=416389

Figura 3- 2. Sensor DHT22

La Figura 3-2 aprecia un sensor de temperatura y humedad del ambiente DHT22, señalizando sus pines de conexión.

3.1.3. Sensor FC-28.

Un higrómetro de suelo FC-28, es un sensor de humedad de suelo que resulta ser un módulo que utiliza la conductividad entre dos terminales para determinar ciertos parámetros relacionados al agua, líquidos y humedad del terreno, este no tiene la precisión suficiente para realizar una medición absoluta de la humedad del suelo, pero tampoco es necesario una medición tan exacta para controlar un sistema de riego.

El principio de funcionamiento de este dispositivo consiste en dos placas separadas entre sí por una distancia determinada, en donde ambas están recubiertas de una capa de material

conductor. Si existe humedad en el suelo se creará un puente entre una punta y otra, lo que será detectado por un circuito de control con un amplificador operacional LM393 que será el encargado de transformar la conductividad registrada a un valor analógico que podrá ser leído por Arduino, pero una vez que el terreno este seco, el puente entre las dos puntas del sensor desaparecerá, dando a conocer al Arduino que se debe regar el terreno medido con el sensor.

Este tipo de sensor posee dos tipos de salidas, una analógica y una digital.

La salida digital entregará un pulso bajo cuando haya conductividad suficiente entre cada una de las puntas. El umbral de disparo se puede establecer ajustando el potenciómetro del circuito de control.

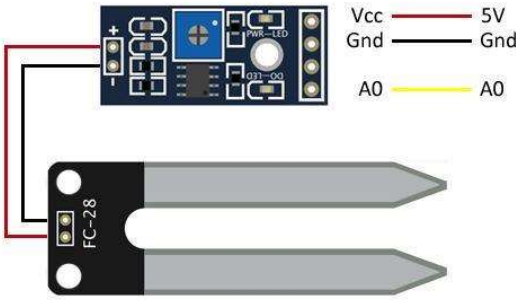
La salida analógica el nivel de voltaje dependerá directamente de cuanta humedad haya en el suelo, es decir, dependiendo de cuanta conductividad tengan las puntas del módulo debido al agua que hace contacto con ellas, así variará el valor entregado. Los valores pueden ser entre 0 y 1023, donde 0 corresponde a un suelo muy húmedo y 1023 suelo demasiado seco.

Normalmente un suelo ligeramente húmedo arroja valores típicos de 600-700, pero un suelo seco tendrá valores de 800-1023.

Las características del sensor son las siguientes:

- Los valores obtenidos van desde 0 sumergido en agua, a 1023 en el aire
- Un suelo ligeramente húmero daría valores típicos de 600-700.
- Un suelo seco tendrá valores de 800-1023.
- La salida digital
- Alimentación 5V

En base a lo anterior, cuando el sensor detecte una baja humedad dentro del terreno, se acciona una electrobomba de agua de 220[V], 2.2[HP] para que se genere un regadío automático, deteniéndose al cumplir un tiempo determinado por un módulo de reloj en tiempo real programado con Arduino (tiempo de regadío de 45 a 60min).



Fuente: https://www.luisllamas.es/arduino-humedad-suelo-fc-28/

Figura 3- 3. Sensor FC-28

La Figura 3-3 aprecia un sensor de humedad de terreno FC-28 con sus respectivos pines de conexión.

3.1.4. Sensor VL53L0X

El sensor VL53L0X es un sensor de distancia láser infrarrojo de última generación que se puede utilizar junto a un procesador como Arduino para así poder medir distancias de 5cm a 200cm de una forma precisa.

Este sensor es capaz de funcionar incluso con una luz ambiental, incorpora un sistema de compensación de la medición que le permite funcionar hasta detrás de un cristal protector.

El VL53L0X es uno de los mejores sensores de distancia disponibles en el mercado, tiene una precisión superior que los sensores ultrasónicos e infrarrojos, este sensor no se ve alterado por las condiciones ambientales como ecos o la reflectancia de los objetos.

El ángulo de medición es relativamente estrecho (25° logrando un área de medición de 0.44m a una distancia de 1m), esto es una ventaja en la mayoría de los casos donde se desea leer la distancia justo en frente del sensor, pero puede llegar a ser una desventaja a la hora de detectar obstáculos. Lo cual para este proyecto es idóneo utilizar este tipo de sensor, ya que solo se necesita ver la distancia entre la luminaria y la planta.

El VL53L0X es un sensor ToF (Time of Flight) el cual funciona enviando un pulso láser de luz infrarroja de 940nm (imperceptible para el ojo humano) y mide el tiempo necesario para que ese pulso de luz logre volver al sensor, así determina la distancia a la que está un objeto del sensor. Su precisión puede llegar a alcanzar ± 3% en el mejor de los casos, a más de ± 10% en condiciones menos favorables.

Las características básicas del sensor son las siguientes:

- Emisor Laser Infrarrojo: 940 nm
- Rango Máximo: 2cm – 2 m
- Resolución: 1 mm
- Voltaje operación: 2.6 a 3.5 V
- Consumo máximo sensor: 18 mA
- Temperatura de operación: -20 a 70°C
- Máximo tiempo de respuesta: 200ms
- Los Pines del sensor son los siguientes:
- VCC: Alimentación de 2,6 V a 5,5 V

  GND: Conexión a tierra (0 V)

  SDA: Línea de datos I²C: HIGH es VCC, LOW es 0 V

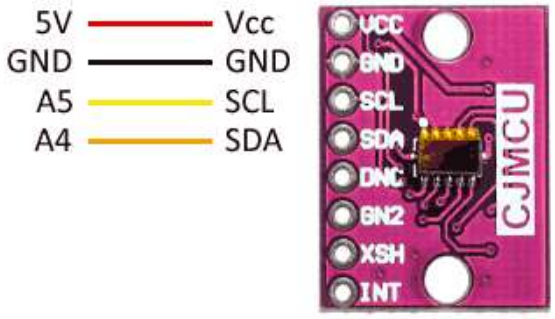
  SCL: Línea de reloj I²C: HIGH es VCC, LOW es 0 V

  DNC: Sin conexión

  XSH: Cuando se pone a LOW, sensor en modo espera

  INT: Salida de interrupción (Open drain).

La aplicación que tiene este sensor dentro del proyecto es para realizar la medición de distancia entre las plantas y las luminarias que las alimentan, siendo estas distancias de 50 centímetros para las plantas de la sala de crecimiento y floración y una distancia de 30 centímetros para la sala de plantas madre. Una vez que la planta aumente su tamaño o disminuya este se acciona un motor que se encarga de mantener la distancia establecida entre las plantas y las luminarias, subiendo o bajando estas mismas.



Fuente: https://www.luisllamas.es/arduino-sensor-distancia-vl53l0x/

Figura 3- 4. Sensor VL53L0X

La Figura 3-4 aprecia un sensor de distancia laser VL53L0X con sus respectivos pines de conexión.

3.1.5. Sensor de calidad de aire MQ-135

El sensor MQ-135 que controla la calidad de aire, es usado para la detección de contaminación en el medio ambiente, por lo general este tipo de sensor es implementado en circuitos de control como alarmas de casas, lugares en donde se desea prevenir altos niveles de contaminación en el aire, como lo son las industrias que manejan compuestos químicos, ya que estos pueden ser nocivos para la salud de las personas, además este tipo de sensor se implementa en equipos controladores de calidad de aire en edificios u oficinas.

Este sensor es electroquímico y varía su resistencia cuando se expone a determinados gases, internamente posee un calentador encargado de aumentar la temperatura interna del sensor, con esto se logra que se pueda reaccionar a los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia.

El calentador dependiendo del modelo de sensor, puede necesitar un voltaje entre 5 y 2 voltios, el sensor se comporta como una bobina, así que necesita una resistencia de carga (RL) para cerrar el circuito y con este hacer un divisor de tención y poder leerlo desde un

microcontrolador. Para obtener las características dadas por el fabricante y expresadas en el datasheet del sensor, es necesario que tenga un periodo de calentamiento, el cual debe ser entre 12 y 48 horas, dependiendo del modelo

Este sensor se encarga de la detección de concentración de gas en diversos porcentajes gracias a su terminal análogo.

La señal de salida que proporciona el MQ-135 es dual, es decir, este es de carácter analógico y digital.

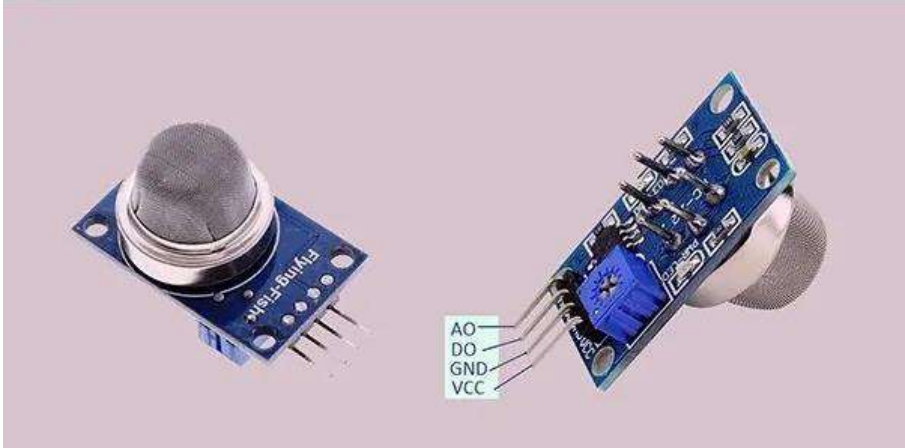
Respecto a la señal analógica proporcionada, esta viene a ser directamente proporcional al incremento de voltaje, detectando los gases desde que se energiza, llegando al punto de calentamiento requerido.

La señal digital internamente trabaja con un comparador y con la ayuda de un potenciómetro gracias a este se puede calibrar el umbral, con esto se logra interpretar la salida digital como presencia o ausencia del gas procesada por un microcontrolador.

Las características de este sensor son las siguientes:

- Voltaje de operación: 5V DC
- Corriente de operación: 150mA
- Potencia de consumo: 800mW
- Tiempo de precalentamiento: 20 segundos
- Resistencia de carga: Potenciómetro (Ajustable)
- Detección de partes por millón: 10ppm~1000ppm
- Concentración detectable: Amoniaco, sulfuro, benceno, humo
- Concentración de oxígeno: 2%~21%
- Humedad de operación: <95%RH
- Temperatura de operación: -20°C~70°C

La aplicación que tendrá este sensor dentro de este proyecto será la de detectar los niveles de CO_2 que existen en el ambiente y en base a la medida arrojada, mantener estos niveles siempre en el parámetro deseado el cual sea mayor a 400 ppm y menor a 700ppm. Si el valor de ppm de CO_2 es menor a 400, se accionan los ventiladores por 30 minutos para que el CO_2 se esparza por el ambiente y logre llegar a todas las plantas.



Fuente:https://www.codrey.com/electronic-circuits/how-to-use-mq-135-gas-sensor/

Figura 3- 5. Sensor MQ-135

La Figura 3-5 aprecia un sensor de detección de gases MQ-135, con sus respectivos pines de conexión.

3.1.6. Módulo de reloj en tiempo real MCI RTC

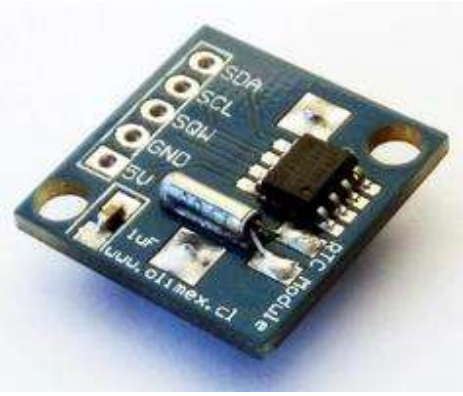
Este es un módulo de reloj en tiempo real que utiliza el integrado DS1307. El módulo viene completamente ensamblado. Incluye una batería de Litio (CR1225 41mAh) la cual permite el funcionamiento del módulo por un mínimo de 9 años, típicamente tiene una vida útil de 17 años sin necesidad de alimentación externa de 5V.

Este es el módulo que se encarga de hacer cumplir el tiempo designado para cada tarea, ya sea el tiempo de energización de ventiladores, electrobombas de agua o encendido y apagado de las luces.

Las características del módulo reloj en tiempo real son las siguientes:

- Interfaz I2C de dos hilos
- Hora: Minutos: Segundos AM / PM
- Día Mes, Fecha - Año

- Compensación de año bisiesto
- Calendario exacto hasta el año 2100
- Batería de respaldo incluida
- Pin de salida de 1Hz
- 56 bytes de memoria no volátil disponibles para el usuario
- Dimensiones: 20mm x 20mm



Fuente: https://www.mcielectronics.cl/shop/product/reloj-de-tiempo-real-mci-rtc-mci-electronics-9674

Figura 3- 6. Módulo reloj en tiempo real MCI RST

La Figura 3-6 aprecia el módulo de reloj en tiempo real físicamente.

3.1.7. Transmisor Ethernet Shield W5100

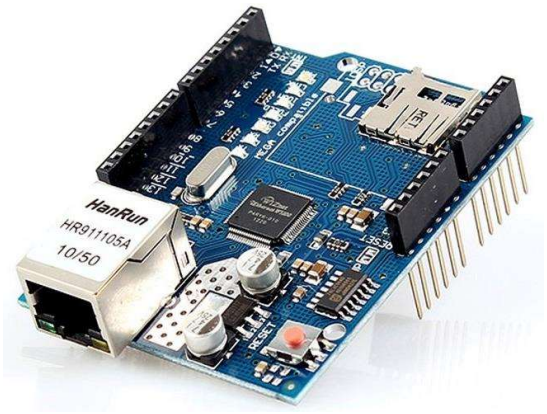
La placa Arduino Ethernet Shield permite a una placa Arduino conectarse a internet, gracias a un chip Ethernet Wiznet W5100, el cual proporciona una red y dirección IP. A su vez, la placa Arduino Ethernet Shield soporta hasta cuatro conexiones de socket simultáneas.

La última revisión de la placa Arduino Ethernet Shield W5100contiene una ranura para tarjetas micro-SD, la cual se puede utilizar para almacenar archivos a través de la red. Esta placa Arduino Ethernet Shield W5100 es compatible con las placas de Arduino Uno y Mega, utilizando

la librería Ethernet. Puede acceder a la ranura de la tarjeta SD utilizando la biblioteca SD que se incluye en la compilación actual de Arduino. Además, incluye un controlador de reset, para asegurarse de que el módulo Ethernet W5100 se restablezca correctamente en el encendido.

Arduino se comunica tanto con el W5100 y la tarjeta SD utilizando el bus SPI. Esto es en los pines digitales 50, 51, y 52 en el Arduino Mega que es el empleado en este proyecto, el pin 10 se utiliza para seleccionar el W5100 y el pin 4 para la tarjeta SD. El hardware pin SS, 53, no se utiliza para seleccionar el W5100 o la tarjeta SD, pero debe dejarse como salida o de lo contrario el pin SPI no funcionará.

Para este proyecto, la placa de Arduino Ethernet Shield W5100 se utiliza como transmisor entre los distintos Arduinos Mega repartidos por cada sala, logrando recaudar toda la información emitida por estos mismos en un solo lugar.



Fuente: https://www.dipmecatronica.com.mx/product/ethernet-shield-w5100/

Figura 3- 7.Transmisor Ethernet Shield W5100.

La Figura 3-7 muestra la placa de Arduino Ethernet Shield W5100.

3.2. ACTUADORES

Hay que destacar que los actuadores correspondientes al proceso de control no pueden conectarse directamente a la placa Arduino, ya que son de alimentación monofásica (220V), por lo que es necesario conectarlos mediante un relé, el cual cumple la función de energizar o des energizar los actuadores desde un PIN directo de Arduino hacia el relé, logrando así el control deseado del proceso.

Un relé es un interruptor digital para controlar tensiones y corrientes mucho más altas que las placas normales de Arduino, normalmente consiste en una bobina con un terminal común, un terminal normalmente cerrado y un terminal normalmente abierto. Cuando la bobina está energizada, el terminal común y el terminal normalmente abierto tendrán continuidad. Por todo esto es que cuando se desee activar o desactivar un dispositivo que atraiga más corriente o trabaje con un voltaje alto, tendrá que utilizar un relé para lograr el control deseado con Arduino.

Este proyecto se diseñó con los siguientes tipos de relé:

3.2.1. Módulo Relé 8 Canales

El módulo Relé de 8 canales permite conmutar cargas de potencia de hasta 10A con 250VAC y 10A con 30VDC. Las entradas de control se encuentran aisladas con optoacopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como un microcontrolador o un Arduino. Este módulo es ideal para conmutar cargas de corriente alterna conectadas a la red eléctrica, además que al poseer 8 módulo, se pueden realizar muchos procesos controlados por cada relé conectado. Las entradas del módulo relé serán IN1, IN2, IN3, IN4, IN5, IN6, IN7, IN8 respectivamente.
La entrada de alimentación VCC, GND, se puede suministrar por separado al terminal de entrada de alimentación del relé JD-VCC.

Este tipo de relé se aplica en el proceso de control para ajustar la distancia de las luminarias con las plantas en constante crecimiento, logrando que siempre se mantenga la distancia

adecuada entre ellas, activando motores que subirán o bajaran el nivel de las luminarias, gracias al cambio de giro de estos mismos, los cuales serán aplicados en la sala de plantas madre.



Fuente: https://es.aliexpress.com/item/32340914033.html

Figura 3- 8. Módulo relé de 8 canales con optoacoplador

La Figura 3-8 aprecia un módulo relé de 8 canales.

3.2.2. Módulo Relé 6 Canales

El módulo Relé de 6 canales permite conmutar cargas de potencia de hasta 10A con 250VAC y 10A con 30VDC. Las entradas de control se encuentran aisladas con optoacopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como un microcontrolador o un Arduino. Este módulo es ideal para conmutar cargas de corriente alterna conectadas a la red eléctrica, además que al poseer 6 módulo, se pueden realizar muchos procesos controlados por cada relé conectado. Las entradas del módulo relé serán IN1, IN2, IN3, IN4, IN5, IN6 respectivamente.
La entrada de alimentación VCC, GND, se puede suministrar por separado al terminal de entrada de alimentación del relé JD-VCC.

Este tipo de relé se aplica en el proceso de control para ajustar la distancia de las luminarias con las plantas en constante crecimiento, logrando que siempre se mantenga la distancia adecuada entre ellas, activando motores que subirán o bajaran el nivel de las luminarias, gracias al cambio de giro de estos mismos, los cuales serán aplicados en la sala de crecimiento y floración.



Fuente: https://es.aliexpress.com/item/32842074878.html

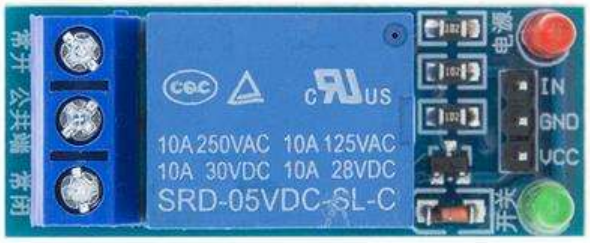
Figura 3- 9. Módulo relé de 6 canales

La Figura 3-9 aprecia un módulo relé de 6 canales.

3.2.3. Módulo Relé

El módulo Relé de 1 canal permite conmutar cargas de potencia de hasta 10A con 250VAC y 10A con 30VDC. Las entradas de control se encuentran aisladas con optoacopladores para minimizar el ruido percibido por el circuito de control mientras se realiza la conmutación de la carga. La señal de control puede provenir de cualquier circuito de control TTL o CMOS como un microcontrolador o un Arduino. Este módulo es ideal para conmutar cargas de corriente alterna conectadas a la red eléctrica. La entrada del módulo relé es IN1, además la alimentación VCC, GND, se puede suministrar por separado al terminal de entrada de alimentación del relé JD-VCC.

Este tipo de relé se aplica en el proceso de control para energizar los contactores que activan los ventiladores o electrobombas de agua cuando los sensores indiquen que sea necesario, estos relés serán aplicados en las salas de crecimiento y floración, plantas madre, germinación y clonación, y secado.



Fuente: https://es.aliexpress.com/item/32340914033.html

Figura 3- 10. Módulo relé de 1 canal

La Figura 3-10 aprecia un módulo relé de un canal.

3.2.4. Contactor Monofásico

El contactor es un aparato eléctrico de mando a distancia, el cual puede abrir y cerrar circuitos, ya sean en vacío o con carga. Este aparato es la pieza clave de la automatización en motores eléctricos. Siendo su principal aplicación la de efectuar maniobras de apertura y cierre de los circuitos eléctricos relacionados a las cargas conocidas como motores eléctricos. Un contactor se compone por una bobina y contactos que pueden estar abiertos o cerrados (NA y NC) y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente en los circuitos. La bobina es un electroimán que acciona los contactos cuando le llega corriente, abre los contactos cerrados y cierra los contactos abiertos. De esta forma se dice que el contactor está accionado o "enclavado". Cuando le deja de llegar corriente a la bobina los contactos vuelven a su estado anterior de reposo, esperando a ser energizada otra vez.

El contactor con el cual se diseñó este proyecto fue uno de 24[V], el cual necesita de una fuente externa al Arduino para lograr funcionar, siendo esta un transformador de voltaje de 220 a 24[V]. Este contactor será utilizado para energizar los motores que suben y bajan las luminarias, para así obtener una distancia adecuada entre las plantas y las luminarias, además energiza las electrobombas de agua para el regadío de las plantas y también energiza los ventiladores que se encuentran para mantener el ambiente estable.



Fuente: https://www.rhona.cl/producto/330/contactor.html

Figura 3- 11. Contactor monofásico de 24[V]

La Figura 3-11 aprecia un contactor de 24[V] de la marca Mitsubishi.

CAPÍTULO 4: COSTOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

4. COSTOS PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

4.1. GASTOS DEL INVERNADERO

Este capítulo tiene el fin de evidenciar los costos destallado y generales a los cuales se abarca el proyecto, ya sea su diseño, mano de obra, compra de materiales, artefactos y protecciones que se instalan dentro del invernadero, para lograr generar un valor necesario para la realización del proyecto planteado.

4.1.1 Costos para la sala de germinación y clonación

Para evidenciar los costos que genera el realizar esta sala, debemos tener en cuenta la cantidad de materiales que se utilizan dentro de esta misma, ya sean luminarias, humidificadores, ventiladores, extractores, molduras portaconductoras, conductores y protecciones.

Tabla 4- 1. Costos para la sala de germinación y clonación

COSTO DE MATERIALES					
ITEM	DETALLE	CANT.	UN.	V UNIT PESOS.	VALOR TOTAL .
I	**T.D.A**				
1.1	**Artefactos**				
1.1.1	F032/841XP/ECO	72	Un	7.290	524.880
1.1.2	Campana Industrial UFO 100W	4	Un	20.017	80.067
1.1.3	Interruptor simple (9/12) 16 A	1	Un	1.045	1.045
1.2	**Protecciones**				
1.2.1	Disyuntor 6A	2	Un	3.550	7.100
1.2.2	Disyuntor 25A	1	Un	2.850	2.850
1.2.2	Disyuntor 2x40A	1	Un	4.617	4.617
1.2.3	Disyuntor 2x32A	2	Un	8.075	16.150
1.2.4	Diferencial Legrand 2x40x30mA	1	Un	13.000	13.000
1.3	**Conductores y canalización**				
1.3.1	Cable 3x12AWG	133	m	1831	243.523
1.3.2	Moldura 50x16 2m	47	Un	797	37.477
II	**T.D.C**				
2.1	**Artefactos**				
2.1.1	T6D40K3M81160 ventilador	2	Un	379.080	758.160
2.1.2	extractro airmax 24wf	1	Un	680.000	680.000
2.2	**Protecciones**				
2.2.1	Disyuntor 6A	2	Un	3.550	7.100
2.2.2	Disyuntor 2x10A	2	Un	29.529	59.058
2.2.3	Diferencial 2x25x30mA	1	Un	9.200	9.200
2.3	**Conductores y canalización**				
2.3.1	Cable 3x14AWG	50,75	m	1357	68.868
2.3.2	t.p.r. 16mm	14	Un	500	7.000
2.4	**GABINETE**				
2.4.1	Caja Metalica 700x500x200 mm	1	Un	52.642	52.642
VALOR NETO				72,64 UF	

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-1 muestra el detalle de todos los materiales necesarios, según sus cantidades y el valor respectivo para la realización de la sala de germinación y clonación, dando un total de 72,64 UF.

4.1.2 Costos para la sala de plantas madre

Para evidenciar los costos que genera el realizar esta sala, debemos tener en cuenta la cantidad de materiales que se utilizan dentro de esta misma, ya sean luminarias, motores,

electrobombas, kits de CO2, humidificadores, ventiladores, extractores, escalerillas portaconductoras, conductores y protecciones

Tabla 4- 2. Costos para la sala de plantas madre

COSTO DE MATERIALES					
ITEM	**DETALLE**	**CANT.**	**UN.**	**V UNIT PESOS.**	**VALOR TOTAL .**
I	**T.D.A**				
1.1	**Artefactos**				
1.1.1	Enchufe Embutido Armado Doble	136	Un	1.612	219.218
1.1.2	Caja Plastica Chuqui	136	Un	611	83.061
1.1.3	PhytoMAX-2 400	136	Un	589.585	80.183.591
1.2	**Protecciones**				
1.2.1	disyuntor 4x100A	2	Un	44.441	88.882
1.2.1	disyuntor 4x160A	1	Un	168.819	168.819
1.2.2	disyuntor 32A	8	Un	3.150	25.200
1.2.3	Diferencial Legrand 2x40x30mA	8	Un	13.000	104.000
1.2.3	Diferencial Legrand 2x100x30mA	1	Un	12.142	12.142
1.3	**Conductores y canalización**				
1.3.1	cable 3x4mm	209,28	m	1.978	413.956
II	**T.D.C**				
2.1	**Artefactos**				
2.1.1	T6D40K3M81160 ventilador	18	Un	379.080	6.823.440
2.1.2	extractor airmax 24wf	2	Un	550.800	1.101.600
2.2	**Protecciones**				
2.2.1	disyuntor 6A	1	Un	3.550	3.550
2.2.2	disyuntor 20A	2	Un	2.850	5.700
2.2.3	disyuntor 2x20A	2	Un	4.617	9.234
2.2.4	diferencial 2x40x30mA	1	Un	13.000	13.000
2.3	**Conductores y canalización**				
2.3.1	cable 3x12awg	214,08	m	1.831	391.980
III	**T.D.F**				
3.1	**Artefactos**				
3.1.1	motor Q2-D18.	16	Un	86.900	1.390.400
3.1.2	bomba	1	Un	409.860	409.860
3.1.3	humidificador	1	Un	298.890	298.890
3.1.4	co2	4	Un	416.138	1.664.550
3.2	**Protecciones**				
3.2.1	disyuntor 4x50A	2	Un	72.819	145.638
3.2.2	disyuntor Legrand 6A	1	Un	3.550	3.550
3.2.3	disyuntor Legrand 16A	1	Un	2.650	2.650
3.2.4	disyuntor Legrand 25A	1	Un	4.617	4.617
3.2.5	disyuntor Legrand 40A	4	Un	24.219	96.876
3.2.6	diferencial Legrand 2x60x30mA	1	Un	165.645	165.645
3.2.7	Relé Térmico METASOL MT32 8.5A	16	Un	25.110	401.760
3.3	**Conductores y canalización**				
3.3.1	cable 3x8awg	214,08	Un	4.007	857.819
3.3.2	escalerilla porta conductora 100x100x3000mm	124	Un	55.000	6.820.000
3.4	**GABINETE**				
3.4.1	ARMARIO SAIME 1200X800X300MM	1	Un	204.849	204.849
VALOR NETO				2.883,05 UF	

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-2 muestra el detalle de todos los materiales necesarios, según sus cantidades y el valor respectivo para la realización de la sala de plantas madre, dando un total de 2.883,05 UF.

4.1.3 Costos para la sala de crecimiento y floración

Para evidenciar los costos que genera el realizar esta sala, debemos tener en cuenta la cantidad de materiales que se utilizan dentro de esta misma, ya sean luminarias, motores, electrobombas, kits de CO2, humidificadores, ventiladores, extractores, escalerillas portaconductoras, conductores y protecciones.

Tabla 4- 3. Costos para la sala de crecimiento y floración

COSTO DE MATERIALES					
ITEM	**DETALLE**	**CANT.**	**UN.**	**V UNIT PESOS.**	**VALOR TOTAL .**
I	**Artefactos**		Un		
1.1	Caja Plastica Chuqui	600	Un	611	366.444
1.1.1	Enchufe Embutido Armado Doble	600	Un	1.612	967.140
1.1.2	AE-PRO 16	600	Un	486.000	291.600.000
1.2	**Protecciones**				
1.2.1	disyuntor 4x630A	1	Un	600.097	600.097
1.2.1	disyuntor 4x500A	2	Un	327.028	654.056
1.2.2	disyuntor 25A/6kA	60	Un	2.850	171.000
1.2.3	Diferencial Legrand 2x25x30mA	60	Un	9.200	552.000
1.2.4	Diferencial Legrand 4x500x300mA	1	Un	117.555	117.555
1.3	**Conductores y canalización**				
1.3.1	Cable 3x10 AWG	402,12	m	1.500	603.180
II	**T.D.C**				
2.1	**Artefactos**				
2.1.1	T6D40K3M81160 ventilador	32	Un	379.080	12.130.560
2.1.2	extractro airmax 24wf	4	Un	550.800	2.203.200
2.2	**Protecciones**				
2.2.1	disyuntor 20A	2	Un	2.850	5.700
2.2.2	disyuntor 6A	2	Un	3.550	7.100
2.2.3	disyuntor 2x40A	2	Un	26.415	52.830
2.2.4	Diferencial Legrand 2x25x30mA	6	Un	9.200	55.200
2.2.5	Diferencial Legrand 2x40x30mA	1	Un	13.000	13.000
2.2	**Conductores y canalización**				
2.3	cable 3x4mm	402,12	m	1.978	795.393

III	**T.D.F**				
3.1	**Artefactos**				
3.1.1	motor Q2-D18.	30	Un	86.900	2.607.000
3.1.2	bomba	2	Un	409.860	819.720
3.1.3	humidificador	2	Un	298.890	597.780
3.1.4	co2	5	Un	416.138	2.080.688
3.2	**Conductores y canalización**				
3.2.1	cable 3x8awg	401,4	m	4.007	1.608.410
3.2.2	escalerilla porta conductora 100x100x3000mm	38	Un	55.000	2.090.000
3.3	**Protecciones**				
3.3.1	disyuntor 4x125A	2	Un	36.627	73.254
3.3.2	disyuntor Legrang 16A curva C	1	Un	2.650	2.650
3.4	disyuntor 6A curva C	1	Un	3.550	3.550
3.3.3	disyuntor Legrand 32A curva C	10	Un	3.150	31.500
3.3.4	disyuntor Legrand 50 Acurva C	1	Un	9.711	9.711
3.5	Diferencial Legrand 4x125x30mA	1	Un	94.927	94.927
3.3.5	Relé Térmico METASOL MT32 8.5A	30	Un	25.110	753.300
3.4	**GABINETE**				
3.4.1	ARMARIO SAIME 1400X800X350MM	1	Un	284.218	284.218
VALOR NETO				9.089,83 UF	

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-3 muestra el detalle de todos los materiales necesarios, según sus cantidades y el valor respectivo para la realización de la sala de crecimiento y floración, dando un total de 9.089,83 UF.

4.1.4 Costos para la sala de secado

Para evidenciar los costos que genera el realizar esta sala, debemos tener en cuenta la cantidad de materiales que se utilizan dentro de esta misma, ya sean luminarias, humidificadores, ventiladores, extractores, tuberías portaconductoras, conductores y protecciones.

Tabla 4- 4. Costos para la sala de secado

COSTO DE MATERIALES	DETALLE	CANT.	UN.	V UNIT PESOS.	VALOR TOTAL .
ITEM					
I	**T.D.A**				
1.1	**Artefactos**				
1.1.1	Campana Industrial UFO 100W	15	Un	20.017	300.251
1.2	**Protecciones**				
1.2.1	Disyuntor Legrand 2x10A curva D	2	Un	4.617	9.234
1.2.2	Disyuntor Legrand 6A curva D	2	Un	3.550	7.100
1.2.3	Diferencial 2x25x30mA	1	Un	9.200	9.200
1.3	**Conductores y canalización**				
1.3.1	cable 3x14awg	128,7	m	1.357	174.646
1.3.2	t.p.r. 16mm	35	m	500	17.500
II	**T.D.C**				
2.1	**Artefactos**				
2.1.1	T6D40K3M81160 ventilador	4	Un	379.080	1.516.320
2.1.2	extractro airmax 24wf	1	Un	550.800	550.800
2.2	**Conductores y canalización**				
2.2.1	cable 3x14awg	72,06	Un	1.357	97.785
2.2.2	t.p.r. 25mm	18		1.540	27.720
2.3	**Protecciones**				
2.3.1	disyuntor 2x10A curva C	2	Un	4.617	9.234
2.3.2	disyuntor 6A curva C	2	Un	3.550	7.100
2.3.3	diferencial 2x25x30mA	1	Un	9.200	9.200
2.4	**GABINETE**		Un		
2.4.1	Caja Metalica 600x500x200 mm	1	Un	56.668	56.668
VALOR NETO				78,85 UF	

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-4 muestra el detalle de todos los materiales necesarios, según sus cantidades y el valor respectivo para la realización de la sala de secado, dando un total de 78,85 UF.

4.1.5 Costos para el tablero general

Para evidenciar los costos relacionados a la realización del tablero general de toda la instalación, se debe tener en cuenta tanto las protecciones empleadas, los conductores utilizados como alimentadores de cada tablero ubicados en cada una de las salas, adema del gabinete utilizado para contener todo lo anteriormente mencionado.

Tabla 4- 5. Costos para el tablero general

COSTO DE MATERIALES	DETALLE	CANT.	UN.	V UNIT PESOS.	VALOR TOTAL .
ITEM	T.D.G				
I	Protecciones				
1.1	disyuntor 2x20A/25kA	1	Un	29.848	29.848
1.1.1	disyuntor 2x40A/25kA	1	Un	12.558	12.558
1.1.2	disyuntor 4x160A/25kA	1	Un	168.819	168.819
1.1.3	disyuntor 4x630A/25kA	1	Un	600.097	600.097
1.1.4	disyuntor 4x800A/50kA	1	Un	451.654	451.654
1.2	Conductores				
1.2.1	cable 3x10awg	21	m	2.918	61.278
1.2.2	cable 3x12awg	30	m	7.395	218.753
1.2.3	cable 3x16mm	14	m	9.000	126.000
1.2.4	cable 3/0awg	69	m	8.000	552.000
1.2.5	cable 500 MCM	80	m	42.000	3.360.000
VALOR NETO				157,57 UF	

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-5 muestra el detalle de todos los materiales necesarios, según sus cantidades y el valor respectivo para la realización del tablero general, dando un total de 157,57 UF.

4.1.6 Costos para los materiales de control

Para evidenciar los costos que conlleva la realización de todo el proceso de control, se debe tener en cuenta todos los artefactos utilizados, ya sean sensores, placas de comando y transmisores aplicados dentro del proyecto.

Tabla 4- 6. Costos para los materiales de control

COSTO DE MATERIALES	DETALLE	CANT.	UN.	V UNIT PESOS.	VALOR TOTAL .
ITEM	control				
I	MITSUBISHI ELECTRIC Contactor 24v ac	37	Un	13761,9	509190,3
1.1	Relé de 04 Canales	10	Un	13761,9	137.619
1.1.1	Sensor de distancia por ToF VL53L0X	14	Un	4851,9	67.927
1.1.2	Sensor de Temperatura y Humedad DHT22	20	Un	4050	81.000
1.1.3	Sensor Humedad Suelo Higrometro	14	Un	2025	28.350
1.1.4	Sensor Calidad Aire MQ135	14	Un	2835	39.690
1.1.5	Pantalla LCD 128×64	4	Un	7290	29.160
1.1.6	Arduino MKR1000 Wifi Original con Header Soldados	20	Un	29160	583.200
1.1.7	Arduino Mega Rev3 Original	24	Un	28350	680.400
1.1.8	Transformador 100 VA 220-380V/24V	4	Un	28350	113.400
1.1.9	Reloj de Tiempo Real MCI RTC	6	Un	8091,9	48.551
VALOR NETO				65,46 UF	

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-6 muestra el detalle de todos los materiales necesarios, según sus cantidades y el valor respectivo para la realización de los procesos de control, dando un total de 65,46 UF.

4.1.7 Costos para la malla puesta a tierra

Para evidenciar los costos asociados a la malla puesta a tierra, se debe tener en cuenta los distintos gastos que se realizan a desarrollarse esta actividad, ya sean la contratación de maquinaria pesada, la mano de obra empleada para el trabajo y el tiempo que conlleva la actividad.

Tabla 4- 7. Costos para la malla puesta a tierra

COSTO DE MATERIALES	DETALLE	CANT.	UN.	V UNIT PESOS.	VALOR TOTAL .
ITEM					
I	**Insumos**				
1.1	Carga Exotermica KIT COMPLETO	40	Un	8.282	331.290
1.2	**Conductores y canalización**				
1.2.1	Conductor Cobre Desnudo Duro 70 mm2 19H	726	m	8.029	5.829.054
VALOR NETO				173,93 UF	

Fuente: Creación propia

La tabla anterior muestra los valores requeridos para la realización de la malla puesta a tierra, dando un total de 173,93 UF.

4.1.8. Costo para transformador y generador

Para evidenciar los costos que conlleva la implementación de la demanda energética demandada y un sistema de respaldo en caso de fallas, debemos considerar los costos asociados al transformador junto con el generador

Tabla 4- 8. Costo de transformador y generador

COSTO DE MATERIALES	DETALLE	CANT.	UN.	V UNIT PESOS.	VALOR TOTAL .
1.1	Transformador 500Kva	1	Un	11.110.920	11.110.920
1.2	Generador 100Kva	1	Un	8.240.599	8.240.599
VALOR NETO				546,36 UF	

Fuente: Creación propia

La tabla 4-8 muestra los valores requeridos para la instalación del generador y transformador, dando un total de 546,36 UF.

4.1.9 Costo total de materiales

Para evidenciar los costos totales en relación con los materiales utilizados, debemos tener en cuenta cada espacio en los que son necesarios materiales, los cuales se muestran en los ítems anteriores, estos juntos generan un valor total.

Tabla 4- 9. Costo total de los materiales

COSTOS DE MATERIALES		
ITEM	**DETALLE**	**valor**
I	Costos por item	
1.1	sala clonacion y germinacion	72,64 UF
1.2	sala de plantas madre	2.883,12 UF
1.3	Sala de crecimiento floracion	9.090,04 UF
1.4	Sala de secado y pasillo	78,85 UF
1.5	T.D.G	157,58 UF
1.6	control	65,46 UF
1.7	puesta a tierra	173,93 UF
1.8	Empalme y generador	546,38 UF
VALOR NETO		**13.068,00 UF**

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-9 muestra el valor total neto que se genera al sumar todos los valores de los productos implementados anteriormente en cada sala del invernadero, logrando un total de 13.068,00 UF.

4.2. CARTA GANTT

Para evidenciar y determinar el valor de cada actividad, la mano de obra a utilizar y lo tiempos necesarios para cada momento de la obra se necesita confeccionar una carta Gantt, la cual se especializa en ser una guía paso a paso para todo el desarrollo del proyecto, desde su inicio hasta su término.

Tabla 4- 10. Carta Gantt

Actividad	Fecha de inicio	Fecha de finalización	Semana 01	Semana 02	Semana 03	Semana 04	Semana 05	Semana 06	Semana 07	Semana 08	Semana 09	Semana 10	Semana 11	Semana 12	Semana 13	Semana 14	Semana 15	Semana 16	Semana 17	Semana 18	Semana 19	Semana 20	Semana 21	Semana 22	Semana 23	Semana 24	Semana 25	Semana 26	Semana 27	Semana 28
Diseño del proyecto	Semana 01	Semana 08																												
Creación de Planos electricos	Semana 01	Semana 04																												
cotización	Semana 08	Semana 10																												
destinar empresas	Semana 10	Semana 12																												
Compra de materiales "situación pandemia"	Semana 12	Semana 14																												
Distribución de materiales	Semana 14	Semana 14																												
Urbanización de Faena	Semana 14	Semana 14																												
PARTE ELECTRICA	Semana 14	Semana 26																												
Montaje de canalizaciones	Semana 14	Semana 17																												
Cableado de circuitos	Semana 17	Semana 20																												
Montaje de Artefactos	Semana 20	Semana 23																												
Armado de tableros	Semana 23	Semana 26																												
Realización de Malla puesta a tierra	Semana 14	Semana 18																												
FINALIZACIÓN DE LA OBRA	Semana 26	Semana 28																												
Prueba de protecciones	Semana 26	Semana 26																												
Prueba de procesos de control	Semana 27	Semana 27																												
Entrega de la obra	Semana 28	Semana 28																												

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-10 muestra el calendario de actividades del proyecto, señalizando desde el diseño del proyecto, pasando por todos los trámites, trabajos a realizar en la parte eléctrica y por último la entrega de la obra terminada, lo cual se ideo con un total de 28 semanas para la realización completa de la obra.

4.3. COSTO TOTAL DEL PROYECTO

Para evidenciar el costo total que se tiene al realizar todo este proyecto se debe tener en cuenta todos los parámetros anteriormente expuestos dentro de este capítulo, con los cuales se puede llegar a un monto total y final del proyecto.

Tabla 4- 11. Costo total del proyecto

Valor UF del día		
UF (19/02/23)		35.418,85
Calculo Diseño (UF)		112
HH		224
Valor HH (UF)		0,5
VALOR DEL PROTECTO		
Diseño del Proyecto		
Proyectistas	$	3.210.649
Ejecución del Proyecto		
Materiales	$	462.842.490
Mano de Obra	$	88.257.229
Imprevistos (1%)		
Sub Total	$	583.380.826
IVA (19%)	$	110.842.357
VALOR DEL PROTECTO	**$**	**785.691.060**
VALOR DEL PROTECTO (UF)		**22.183,38**

Fuente: Creación propia

La Tabla 4-11 evidencia los valores totales a los que está sujeto este proyecto, teniendo en cuenta todos los factores necesarios, arrojando un valor total de 22.183,38 UF para la completa realización de este proyecto.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Luego de todo lo que se estudió y se desarrolló en base al proyecto se puede concluir que, todos los objetivos planteados fueron abarcados y superados de la mejor manera, se logró diseñar un invernadero con las condiciones idóneas para el cultivo medicinal, en base a estudios realizados en diferentes universidades, con condiciones de cultivo similares o idénticas a las planteadas. En este estudio, se observa que el diseño de indoor, tiene el potencial de acelerar el crecimiento y aumentar el rendimiento de la cosecha hasta un 30%, esto se debe a que el control de las variables que generan la fotosíntesis y otros procesos de la planta, como lo son la temperatura, humedad, riego, ventilación, CO_2 e iluminación sean de manera más eficiente y eficaz, además de que se logró realizar el programa necesario para la automatización en base a la placa Arduino Mega, lo cual favorece al proyecto, ya que al ser sus componentes mucho más baratos que los normalmente utilizados en los procesos de control (PLC), se genera una proporción de precio/calidad de las mejores del mercado, alcanzando la automatización requerida y esperada por las expectativas del proyecto y por último se generaron los costos necesarios para la realización del proyecto.

Por otro lado, para realizar un invernadero con las características planteadas anteriormente, no solo basta con conocer una sola área de especialización que en este caso es la electricidad, sino que se necesita un conocimiento mucho más amplio, en especial en el área de control y dimensionamiento de los artefactos a utilizar, ya que, para obtener el resultado mostrado en los capítulos, se recaudó información tanto de electrónica y agronomía.

A modo de recomendación, se sugiere que el horario de encendido de las luces sea después de las 23:00 horas, para así evitar un sobrecargo en la tarifa horas punta de invierno, además debido a la disminución de temperatura en ese horario y el calor irradiado por las luminarias y artefactos del invernadero, se logra disminuir los costos operacionales en calefacción de este.

Por temas de dinero, tiempo, accesibilidad y tamaño, se diseñó cada circuito de la instalación con un disyuntor diferencial con sensibilidad de 30 [mA], para así poder complementar la malla puesta a tierra y obtener una protección adecuada y segura para el invernadero.

BIBLIOGRAFÍA

- Ministerio de Hacienda. Normas técnicas de Instalaciones Eléctricas, CODIGO ELÉCTICO, INSALACIONES DE CONSUMO EN BAJA TENSIÓN. NCh Elec. 4/2003. GALAS EDICIONES, 1ª edición noviembre 2018. 298p.
- Ministerio de Salud. Decreto supremo N°594 APRUEBA REGLAMENTOS SOBRE CONDICIONES SANITARIAS Y AMBIENTALES BASICAS EN LOS LUGARES DE TRABAJO. D.S. N° 594. 29 abril 2000, última modificación 07 noviembre 2003.3p.
- LEY 20.000: SANCIONA EL TRÁFICO ILÍCITO DE ESTUPEFACIENTES Y SUSTANCIAS SICOTRÓPICAS Y SUSTITUYE LA LEY Nº 19.366. Publicado en el Diario Oficial de 19.02.08 Chile, Santiago, 8 de agosto de 2007. 12p.
- Jorge Cervantes, MARIGUANA: horticultura del cannabis La biblia del cultivador MÉDICO de Interior y exterior. 1ª edición. 2007. 544p. ISBN-13: 978-1-878823-24-3
- Alpi A., Tognoni F. Cultivo en invernadero. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid: M.- 33.690-1991. 333p. ISBN: 84-7114-347-X
- Suman Chandra, Hemant Lata, Mahmoud A. ElSohly. The Botany of Cannabis sativa L. 490p. ISBN-13: 978-3319545639
- FUNDACION DAYA. [en línea]. http://www.fundaciondaya.org/.
- LUIS LLAMAS. [en línea]. https://www.luisllamas.es/.
- COMUNIDA ARDUINO. [en línea]. https://www.arduino.cc/.