



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

Proyecto de automatización de un invernadero de
producción de tomates

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Industrial

AUTOR/A: Izquierdo Úbeda, Hugo

Tutor/a: Trull Domínguez, Óscar

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

RESUMEN

En este proyecto se realizará una propuesta de automatización a un invernadero de producción de tomates ubicado en Navajas, Castellón. Para ello se propondrá la instalación de una serie de actuadores y sensores que traten de replicar las condiciones climatológicas idóneas para el cultivo de tomates los cuales estarán controlados mediante un PLC que dispondrá además de una pantalla HMI en el propio invernadero.

El principal objetivo de este trabajo fin de master es el de mejorar la competitividad de los agricultores locales mediante la implantación de tecnologías autónomas haciendo la instalación y la producción agrícola más rentables económicamente.

Palabras Clave: invernadero, PLC, autómeta, HMI, tomates.

RESUM

En aquest projecte es realitzarà una proposta d'automatització a un hivernacle de producció de tomaques situat a Navajas, Castelló. Per a això es proposarà la instal·lació d'una sèrie d'actuadors i sensors que tracten de replicar les condicions climatològiques idònies per al cultiu de tomaques els quals estaran controlats mitjançant un PLC que disposarà a més d'una pantalla HMI en el propi hivernacle.

El principal objectiu d'aquest treball fi de màster és el de millorar la competitivitat dels agricultors locals mitjançant la implantació de tecnologies autònomes fent la instal·lació i la producció agrícola més rendibles econòmicament.

Paraules Clau: hivernacle, PLC, autòmat, HMI, tomaques.

ABSTRACT

In this project, an automation proposal will be made for a tomato production greenhouse located in Navajas, Castellón. For this, the installation of a series of actuators and sensors that try to replicate the ideal weather conditions for the cultivation of tomatoes will be proposed, which will be controlled by a PLC that will also have an HMI screen in the greenhouse itself.

The main objective of this master's thesis is to improve the competitiveness of local farmers through the implementation of autonomous technologies, making the installation and agricultural production more economically profitable.

Keywords: greenhouse, PLC, automaton, HMI, tomatoes.

Contenido

I	Memoria.....	10
1	Introducción	10
1.1	Objeto del proyecto	10
2.1	Alcance	10
3.1	Invernaderos y su situación en España	11
2	Antecedentes	12
1.1	Características del invernadero.....	12
2.1.1	Estructura	12
2.1	Requisitos climáticos de diseño	15
2.2.1	Temperatura.....	15
2.2.2	Humedad.....	16
2.2.3	Radiación	17
2.2.4	Otras variables.....	19
2.2.4.1	PH	19
2.2.4.2	Abono e insecticidas.....	19
3.1	Análisis de alternativas.....	20
3	Diseño del proyecto de automatización	21
1.1	Sistema de actuadores	21
3.1.1	Sistema de riego.....	21
3.1.2	Sistema humidificador.....	23
3.1.3	Sistema de ventilación	23
3.1.4	Sistema de regulación del PH, abono e insecticidas	25
3.1.5	Sistema de radiación	26
3.1.5.1	Estructura necesaria para alojar los LED	28
2.1	Sistema de sensores	28
3.2.1	Luminosidad	28
3.2.2	Humedad del terreno.....	28
3.2.3	Temperatura y humedad relativa del ambiente	29
3.2.4	Velocidad del viento exterior	30

3.1	Control automático del invernadero.....	30
3.3.1	Resumen relación sensores – actuadores.....	31
3.3.2	Elección del autómeta.....	31
3.3.3	Elección del HMI.....	33
4	Proyecto de automatización	34
1.1	Variables del proceso	34
4.1.1	Tabla de Salidas	34
4.1.2	Tabla de Entradas	35
2.1	Guía Gemma.....	36
3.1	Estados seleccionados de la guía GEMMA.....	37
4.1	Graficets del proceso	37
4.4.1	Graficet de emergencia.....	39
4.4.2	Graficet mantenimiento.....	40
4.4.3	Graficet automático	40
4.4.4	Graficet manual.....	43
5.1	Solución en TIA PORTAL	43
4.5.1	Programa ladder.....	43
4.5.2	HMI.....	43
II	Planos.....	46
1	Programa Ladder	46
2	Eléctricos	47
III	Presupuesto	49
1	Cuadro de precios: Mano de obra.....	49
2	Cuadro de precios: Materiales	49
3	Cuadro de precios unitarios	50
4	Cuadro de precios descompuestos	50
5	Presupuesto base de licitación.....	53
IV	Bibliografía	54

Índice de figuras:

Figura 1. Fuente: https://www.google.es/maps	12
Figura 2. Invernadero en Navajas, vista lateral. Fuente: Propia.	12
Figura 3. Invernadero en Navajas, vista frontal. Fuente: Propia.....	13
Figura 4. Invernadero en Navajas, vista lateral. Fuente: Propia.	13
Figura 5. Invernadero en Navajas, interior. Fuente: Propia.....	14
Figura 6. Invernadero en Navajas, interior. Fuente: Propia.....	14
Figura 7. Invernadero en Navajas, interior. Fuente: Propia.....	14
Figura 8. Temperatura máxima y mínima promedio en Navajas. Fuente: WeatherSpark.com. 16	
Figura 9. Niveles de comodidad de la humedad en Navajas. Fuente: WeatherSpark.com.	17
Figura 10. Cultivo de tomates en invernadero con tecnología LED. Fuente:Philips (4).....	18
Figura 11. Horas de luz natural y crepúsculo en Navajas. Fuente: WeatherSpark.com.	18
Figura 12. Manómetro de glicerina. Fuente: Mundoriego (13).	22
Figura 13. Bomba de riego. Fuente: Suministros Rome (14)	22
Figura 14. Manómetro de glicerina. Fuente: Suministros Rome (15).....	22
Figura 15. Nebulizador de cuatro vías. Fuente: Traxco (16)	23
Figura 16. Electroválvula PGV. Fuente: Leroy Merlin (17)	23
Figura 17. Dirección del viento anual. Fuente: WeatherSpark.com.	24
Figura 18. Extractor de aire KH213. Fuente: Cable Matic (18).....	25
Figura 19. Inyector Venturi. Fuente: Gncgarden (19)	25
Figura 20. Esquema by-Pass. Fuente: Gncgarden (19).....	26
Figura 21. Cultivo de tomates con el modelo SE1000W. Fuente: Spiderfarmer (20)	27
Figura 22. Instalación del modelo SE1000W. Fuente: Spiderfarmer (20).....	27
Figura 23. Sensor LS100. Fuente: Zwave (21).	28
Figura 24. Tensiómetro de la marca Hunter. Fuente: Jardinería Ferromar (22).....	29
Figura 25. Sensor temperatura y humedad relativa. Fuente: Bricogeek (24).....	29
Figura 26. Anemómetro de la marca SHLMV. Fuente: Fruugo (25)	30
Figura 27. Relación sensores – actuadores. Fuente: Propia.	31
Figura 28. PLC Siemens SIMATIC S7-1200, CPU 1215C. Fuente: Wiautomation (26)	32
Figura 29. Módulo de ampliación. Fuente: Wiautomation (27).....	32

Figura 30. HMI Siemens SIMATIC KPT700 Basic. Fuente: Wiautomation (28).....	33
Figura 31. Guía GEMMA. Fuente:Slideserve (29).....	36
Figura 32. Estados guía GEMMA seleccionados. Fuente: Propia.	37
Figura 33. Equivalencia de entradas: dirección vs notación en GRAFCETSTUDIO. Fuente: Propia.	38
Figura 34. Equivalencia de salidas: dirección vs notación en GRAFCETSTUDIO. Fuente: Propia.	38
Figura 35. Grafcet G0. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.....	39
Figura 36. Grafcet G1. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.....	40
Figura 37. Grafcet G2. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.....	41
Figura 38. Grafcet Riego. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.	41
Figura 39. Grafcet LED. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.	42
Figura 40. Grafcet Humidificación. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.	42
Figura 41. Grafcet Ventilación. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.	42
Figura 42. Grafcet G3. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.....	43
Figura 43. Pantalla Principal HMI. Fuente: Propia con TIA PORTAL V17.....	44
Figura 44. Variables Internas HMI. Fuente: Propia con TIA PORTAL V17	44

Índice de tablas:

Tabla 1. Salidas. Fuente: Propia.	34
Tabla 2. Entradas. Fuente: Propia.	35
Tabla 3. Cuadro de precios: Mano de obra. Fuente: Propia.	49
Tabla 4. Cuadro de precios: Materiales. Fuente: Propia.	50
Tabla 5. Cuadro de precios unitarios. Fuente: Propia.	50
Tabla 6. Cuadro de precios descompuestos UD01. Fuente: Propia.	50
Tabla 7. Cuadro de precios descompuestos UD02. Fuente: Propia.	51
Tabla 8. Cuadro de precios descompuestos UD03. Fuente: Propia.	52
Tabla 9. Cuadro de precios descompuestos UD04. Fuente: Propia.	52
Tabla 10. Presupuesto Base de Licitación. Fuente: Propia.	53



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO DE PRODUCCIÓN DE TOMATES

I Memoria

I Memoria

1 Introducción

1.1 Objeto del proyecto

Este proyecto tiene como objeto la automatización de un invernadero, a partir de la necesidad de la industria de reducir costes mediante la automatización de los procesos productivos de un invernadero que cultiva tomates a la vez que el objetivo de conseguir un producto de la más alta calidad.

El invernadero para el cual proyectaremos la automatización está ubicado en la localidad de Navajas, Castellón. La mayor parte del tiempo se utiliza para la producción de tomate por lo que este trabajo se centrará en su cultivo específicamente.

Está especialmente diseñado para la producción durante el otoño y la primavera, no obstante, se quiere conseguir mediante la adición de diversos sistemas, como el de iluminación LED, que el cultivo se amplie a la totalidad del año dotándoles a los agricultores locales la competitividad necesaria para seguir progresando en un mercado fuertemente competitivo a nivel global mediante la modernización de las tecnologías empleadas en sus invernaderos.

Esta modernización requerirá una gran inversión inicial que, en teoría, y mirando a países punteros en la tecnología agrícola como Holanda donde se están implementando grandes y tecnológicos invernaderos que muestran importantes aumentos en la rentabilidad de sus productos al aumentar la calidad, cantidad y periodicidad de sus cultivos.

2.1 Alcance

En este proyecto se analizará la situación inicial y se propondrá una integración de la automatización de los sistemas necesarios para el cultivo mediante la utilización de autómatas y PLCs.

De este modo será necesario determinar los procesos donde se planteará la automatización. A partir de sus conclusiones, propondrá un proyecto de automatización, que contemplará la memoria, pliego, planos y presupuesto.

Así el agricultor podrá fijar o modificar las variables climáticas de interés mediante el uso de una pantalla HMI ubicada en el invernadero.

Para el desarrollo del proyecto se utilizarán un abanico de software variado compuesto por herramientas avanzadas de programación de autómatas como en este caso el TIA Portal de Siemens o GRAFCET-STUDIO.

3.1 Invernaderos y su situación en España

En España, las especies hortofrutícolas desempeñan un papel fundamental en la producción agrícola, representando aproximadamente la mitad de la misma. Esto se debe en gran medida a las favorables condiciones climáticas de la región mediterránea, que permiten obtener altos rendimientos y extender los períodos de venta, satisfaciendo así una demanda constante y fuera de temporada.

El crecimiento de la superficie cultivada en invernaderos, junto con los avances tecnológicos continuos en las explotaciones, han sido factores determinantes en esta evolución. En España, se concentran alrededor de 57.000 hectáreas de especies hortícolas cultivadas bajo cubierta de plástico y esta cifra no para de incrementarse puesto que la superficie destinada a invernaderos ha crecido un 42% en la última década, según el INE. Este se debe al increíble rendimiento donde una hectárea bajo el abrigo de un invernadero produce el doble de pimientos que una al aire libre y tres veces más pepino o fresas. (1)

En el sector hortícola, se han producido numerosos avances tecnológicos, especialmente en los cultivos intensivos. En España, los invernaderos han adoptado una amplia gama de innovaciones, y aunque los sistemas más simples y económicos, como el invernadero plano, siguen siendo importantes, actualmente coexisten diferentes niveles tecnológicos que dependen de los grados de automatización incorporados. Estos avances permiten a los agricultores optimizar la productividad, mejorar la eficiencia y mantenerse a la vanguardia en un mercado competitivo.

El término "invernadero" se refiere a una estructura cubierta diseñada para controlar el ambiente interno, gracias al uso de materiales transparentes que permiten el paso de la luz solar. Este tipo de construcción proporciona protección a los cultivos establecidos. De hecho, los horticultores utilizan los invernaderos para modificar el clima local y así satisfacer de manera óptima las necesidades de sus cultivos como el tomate, pimiento, fresa, entre otros, durante todas las estaciones del año.

El papel principal de los invernaderos varía según el clima. En primer lugar, se busca mejorar las condiciones de temperatura necesarias para producir fuera de temporada, lo que permite intensificar la producción al prolongar el período de cultivo intensivo. Además, los invernaderos también permiten un uso más eficiente del agua disponible, lo cual es de suma importancia. Este efecto no debe ser subestimado, ya que puede mejorar considerablemente la producción agrícola.

La cubierta de los invernaderos desempeña un papel crucial al reducir la evapotranspiración de los cultivos. Según el profesor Zwart, un reputado investigador que ha llevado numerosas investigaciones acerca de la reducción del consumo de agua mediante el uso de invernaderos estima que, con un metro cúbico de agua, se consiguen producir nueve kilogramos de tomates en campo abierto, 13 kilogramos en un invernadero convencional y hasta 80 kilogramos en un invernadero cerrado. (2)

2 Antecedentes

1.1 Características del invernadero

2.1.1 Estructura

El invernadero sobre el que trabajaremos mide 56 metros de largo por 30 metros dando una superficie útil de cultivo 1680 m² de ancho configurado según la caracterización de invernadero de forma de túnel o semicilíndrica. La cubierta se conforma de cuatro estructuras de cubierta semicilíndrica unidas entre sí y a la estructura.



Figura 1. Fuente: <https://www.google.es/maps>.



Figura 2. Invernadero en Navajas, vista lateral. Fuente: Propia.



Figura 3. Invernadero en Navajas, vista frontal. Fuente: Propia.



Figura 4. Invernadero en Navajas, vista lateral. Fuente: Propia.

Esta tipología constructiva se caracteriza por la forma de su cubierta y su estructura completamente metálica. Su popularidad está en aumento debido a su capacidad superior para controlar los factores climáticos, su resistencia a vientos fuertes y su instalación rápida gracias a sus estructuras prefabricadas.

Los soportes de este invernadero son tubos de hierro galvanizado. La altura máxima varía entre 3 y 4,25 metros, mientras que en los laterales se adoptan alturas de 3 metros. La ventilación se logra mediante telas de red que permiten pasar el aire, ubicadas en la parte frontal y posterior del invernadero.



Figura 5. Invernadero en Navajas, interior. Fuente: Propia.



Figura 6. Invernadero en Navajas, interior. Fuente: Propia.



Figura 7. Invernadero en Navajas, interior. Fuente: Propia.

2.1 Requisitos climáticos de diseño

Con el fin de conocer que procesos son interesantes de cara a la automatización del proceso es necesario sobre las variables que afectan al crecimiento del cultivo. El resultado que se obtiene de este análisis tiene el objetivo por un lado de conocer las necesidades del proceso y adecuarlas posteriormente a las condiciones óptimas mediante el uso de una serie de actuadores que regularán estas variables con el apoyo de una batería de sensores dentro del proceso automático.

No obstante, pese a que se identificarán las consignas de los valores a perseguir, el agricultor tendrá la oportunidad de modificarlos in-situ mediante el uso de la pantalla HMI que se ubicará en el invernadero con el fin de dotarlo de mayor autonomía y rango de actuación.

Los tomates son plantas que tienen una temporada de crecimiento relativamente corta, pero hay una gran demanda de ellos durante todo el año. Esta es una de las principales razones por las que los agricultores de todo el mundo optan por cultivar tomates en invernaderos.

La capacidad de controlar factores como la temperatura, la humedad y la iluminación en un invernadero permite a los agricultores crear condiciones de cultivo ideales durante todo el año.

2.2.1 *Temperatura*

Mantener una temperatura adecuada es una de las funciones fundamentales de los invernaderos, independientemente de su nivel de tecnología o sofisticación. Proporcionar temperaturas óptimas permite que las plantas absorban y descompongan los nutrientes de manera eficiente, lo que acelera el crecimiento y desarrollo de los frutos. Si las condiciones son demasiado frías o calurosas, las plantas pueden sufrir estrés, lo que afecta negativamente su crecimiento y la calidad de los frutos.

Las temperaturas ideales para el cultivo del tomate:

- Diurna – 20-25°C
- Nocturna – 15-18°C

Se puede observar, en la Figura 8, que las temperaturas máximas y mínimas de la localidad donde se ubicará el invernadero son más extremas que las requeridas por lo que en los meses más frescos será necesario retener el calor, en cambio en los meses más calurosos, por el día habrá que enfriar el invernadero y por las noches no se requeriría acción.

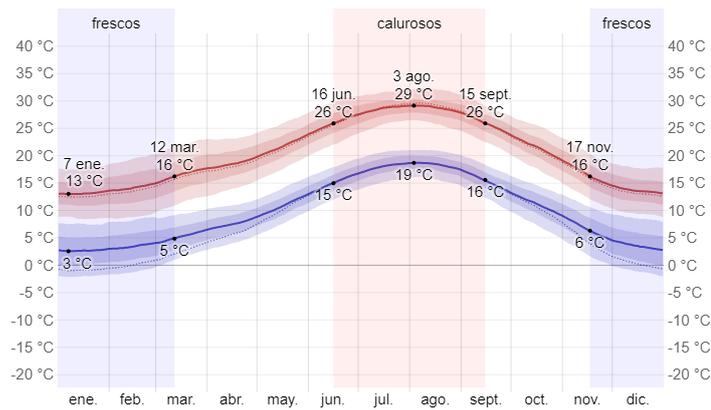


Figura 8. Temperatura máxima y mínima promedio en Navajas. Fuente: WeatherSpark.com.

2.2.2 Humedad

La humedad juega un papel crucial en el crecimiento, desarrollo, rendimiento y calidad de las plantas de tomate, al igual que la temperatura. Mantener un nivel adecuado de humedad relativa es esencial para que las plantas alcancen su máximo potencial.

Cuando la humedad relativa está fuera del rango ideal, las plantas pueden enfrentar dificultades en sus procesos fisiológicos, como la absorción de nutrientes y la fotosíntesis.

El nivel óptimo de humedad relativa para los tomates se encuentra entre el 60% y el 85%. Sin embargo, es posible mejorar aún más su crecimiento al establecer diferentes niveles de humedad relativa para el día y la noche.

Durante el día, las plantas de tomate pueden beneficiarse de niveles más altos de humedad relativa, entre el 80% y el 85%. Durante la noche, cuando las plantas están menos activas, es ideal mantener niveles de humedad entre el 65% y el 75%.

Humedad relativa y VPD ideales para el cultivo del tomate (3):

- Durante el día – 60-80% RH
- Noche – 65-75% HR

El clima seco de Navajas obligará a la instalación a incrementar la humedad relativa de la instalación durante todo el año de forma continua ya que el valor mínimo de humedad relativa requerida por la instalación es del 60% y el entono más húmedo durante el año en la localidad muestra una humedad relativa del 36% como se ve en la Figura 9.

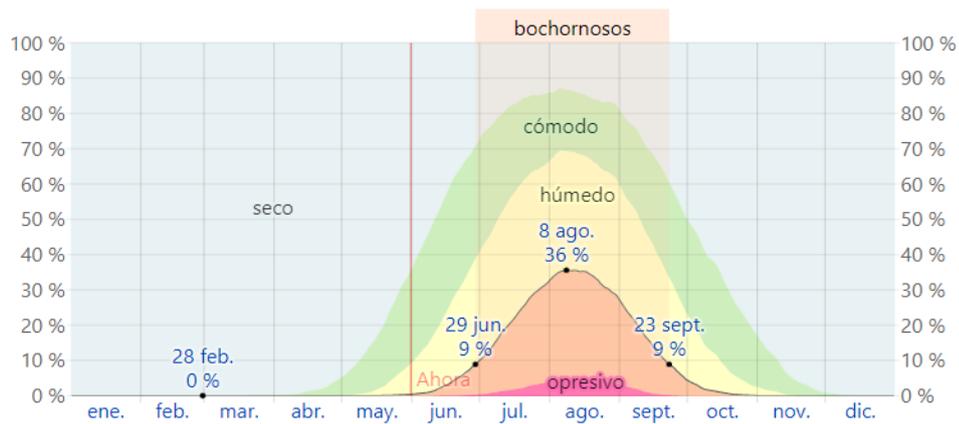


Figura 9. Niveles de comodidad de la humedad en Navajas. Fuente: WeatherSpark.com.

2.2.3 Radiación

El tomate es un cultivo que no se ve afectado por el fotoperíodo. Sin embargo, requiere una buena iluminación para su crecimiento óptimo. Cuando la iluminación es limitada, la fotosíntesis neta se reduce, lo que implica una mayor competencia por los productos asimilados y afecta el desarrollo y la producción. Es preferible tener una mayor intensidad de iluminación durante un período de tiempo más corto en lugar de una iluminación más débil durante un período prolongado.

Por lo general, para los tomates, se recomienda usar una potencia de iluminación de 270 $\mu\text{mol/s.m}^2$ durante 16 a 18 horas al día. La conversión de 270 $\mu\text{mol/s.m}^2$ da alrededor de 60 W/m^2 con lo que utilizaremos ese valor como parámetro de diseño.

Para conseguir un mayor rendimiento un estudio desarrollado por la WUR (Universidad de Wageningen) en Bleiswijk concluye que el apoyo de iluminación aumenta el rendimiento de los cultivos en términos de sabor y rendimiento ya que permite más horas de iluminación y mayores intensidades de luz. También demuestra que no hay apenas variación entre usar una iluminación basada en tecnología LED, HPS O híbrida. (4) (5)

En una investigación llevada a cabo por el Centro de Hannover para Tecnologías Ópticas de la Universidad de Hannover en Alemania se compararon los costos del ciclo de vida de las lámparas de sodio de alta presión tradicionales con las lámparas LED utilizadas para la iluminación en invernaderos. Los resultados son claros y evidencian las ventajas de las luces LED.

Según los cálculos realizados, el costo acumulado de las lámparas de sodio de alta presión supera el costo de los LED en tan solo 7 años, y después de 16 años, el costo acumulado de las lámparas de sodio de alta presión es más del doble del costo equivalente de los LED.

Esto demuestra que, a largo plazo, los sistemas de iluminación con LED son más rentables y económicos en comparación con las lámparas de sodio de alta presión. Estos hallazgos respaldan la idea de que los agricultores pueden recuperar el costo inicial de invertir en sistemas de iluminación LED en un período razonable de tiempo.

También podemos referirnos al caso de Wim Peters, un productor de tomate en invernaderos de Holanda, quien ha optado por equipar invernaderos de una superficie total de 11 hectáreas con sistemas de iluminación LED para cultivar durante todo el año mostrando unos indicadores de calidad y de rendimiento en términos de tonelada por metro cuadrado mejores respecto a invernadero que no usan esta tecnología LED, pues también tiene en propiedad invernaderos que no usan de esta tecnología. (6)



Figura 10. Cultivo de tomates en invernadero con tecnología LED. Fuente: Philips (4)

Por lo tanto, y pese a que la inversión inicial será muy importante, se optará por proponer al agricultor de dotar al invernadero de esta tecnología de iluminación.

El funcionamiento de la iluminación será necesario siempre que la luz natural no sea mayor a $270 \mu\text{mol/s.m}^2$ lo cual es alrededor de 60 W/m^2 .

Como se ve en la Figura 11 las horas de luz natural diarias incluso no llegan a alcanzar las 16 horas que los tomates en situación óptima requieren para su crecimiento lo cual no hace más que ratificar la validez de la propuesta de un sistema de iluminación LED.

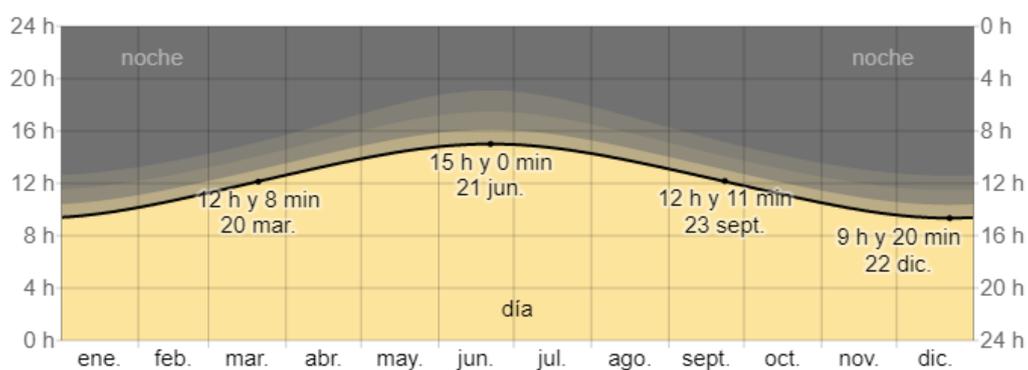


Figura 11. Horas de luz natural y crepúsculo en Navajas. Fuente: WeatherSpark.com.

2.2.4 Otras variables

2.2.4.1 PH

Los tomates pueden crecer en una amplia variedad de suelos siempre que tengan un buen drenaje y una estructura adecuada. Sin embargo, para obtener cosechas óptimas, es necesario asegurar una buena nutrición, y esto se logra en suelos más fértiles.

El pH óptimo del suelo para los tomates se encuentra entre 6,0 y 6,5. Si el pH es inferior a 5,5, la disponibilidad de magnesio y molibdeno disminuirá, mientras que un pH superior a 6,5 puede causar deficiencias de zinc, manganeso y hierro. Mantener el pH dentro de este rango es esencial para asegurar una adecuada absorción de nutrientes y un crecimiento saludable de los tomates. (7)

El pH de las aguas subterráneas de Navajas es de 7.60 según unos análisis realizados por parte de la estudiante Raquel Ramos Hernández en su trabajo final de carrera "Estudio de la calidad del agua de las fuentes de agua subterránea del Alto Palancia". (8)

Por lo tanto, será necesario acidificar el agua de riego ligeramente.

2.2.4.2 Abono e insecticidas

El objetivo primordial de los agricultores es lograr el máximo rendimiento de la cosecha, con frutas o vegetales de buen calibre y coloración, ya que esto influye directamente en su comercialización. Por tanto, es fundamental considerar y evaluar cuidadosamente la aplicación de fertilizantes para promover el engorde de los tomates, así como el uso de bioestimulantes especializados según las necesidades específicas de las plantas.

La aplicación oportuna de fertilizantes adecuados contribuye al suministro de nutrientes esenciales para el crecimiento y desarrollo de los tomates, favoreciendo el aumento de su tamaño y calidad. Estos fertilizantes pueden ser seleccionados y dosificados según los requerimientos nutricionales específicos de los tomates, teniendo en cuenta las condiciones del suelo y otros factores ambientales

Además, los bioestimulantes también desempeñan un papel relevante en la mejora de la producción y calidad de los tomates. Estos productos contienen ingredientes activos que estimulan los procesos fisiológicos de las plantas, mejorando su resistencia al estrés, aumentando la absorción de nutrientes y promoviendo el desarrollo de raíces más fuertes.

Los agricultores más exigentes entienden la importancia de ir más allá de la simple aplicación de nutrientes minerales en un momento puntual. Ellos buscan asegurar no solo el tamaño de los frutos en la campaña actual, sino también preservar la salud y la fertilidad del suelo para garantizar el éxito en futuras cosechas.

En el caso específico de los tomates, los fertilizantes para promover su engorde son más efectivos cuando combinan materia orgánica con un alto contenido de potasio. Algunos

productos especializados incluso incluyen ácidos fúlvicos y húmicos, vitaminas y microelementos, que aportan un valor adicional.

De esta manera los agricultores logran mejorar la calidad de los suelos, aprovechando de manera óptima los nutrientes presentes y promoviendo una mejor absorción de los fertilizantes aplicados. Esto no solo favorece el tamaño de los frutos en la campaña actual, sino también la fertilidad del suelo para futuras cosechas.

Además, se ha demostrado en un cultivo de tomate variedad Serengeti que, con un uso de 60 litros por hectárea aplicados en el agua de riego con intervalo de 7 días en comparación con un sistema de riego sin abonado, el tiempo de la recolección de los primeros frutos se adelantó hasta en 21 días, el rendimiento aumentó de 115 Tn/ha a 165 Tn/ha, la coloración en los frutos aumentó un 15% y el contenido en azúcares pasó de un 4% a un 5,4%. El fertilizante utilizado durante este proceso es el Terrasei Engorde el cual tomaremos como referencia en este trabajo. (9)

3.1 Análisis de alternativas

Además de todo lo presentado en el marco de las condiciones climáticas ideales, hay que decir que no existe un consenso ni una norma pues la evolución es constante y los enfoques son varios.

Por ejemplo si nos fijamos en el artículo (10) se habla de la importancia de los fertilizantes orgánicos para cultivo de tomates en invernaderos. En este otro artículo (11) se compara el crecimiento del tomate de invernadero en seis diferentes sistemas orgánicos. Y finalmente en el artículo (12) se trata sobre la respuesta del tomate cultivado en invernadero a la irrigación y fertilización.

Por lo tanto, se puede extraer que existen más alternativas en comparación con la que se ha escogido para este trabajo. Estas alternativas se podrían ir añadiendo a la solución inicial del proyecto una vez se valide el correcto funcionamiento de éste

3 Diseño del proyecto de automatización

1.1 Sistema de actuadores

3.1.1 Sistema de riego

Según las condiciones climáticas, se estima que una planta de tomate adulta requiere un consumo diario de agua entre 1,5 y 2 litros. Es importante regar lo suficiente para humedecer entre los 15 y 40 cm del suelo dependiendo de la etapa de cultivo. La frecuencia de riego será de 3 días.

El riego por goteo, aunque implica un costo inicial más elevado en comparación con otros métodos de riego utilizados en el cultivo de tomate, es conocido por su uso óptimo y racional del agua. Se estima que puede ahorrar hasta un 50% de agua en comparación con el riego por aspersión. Es especialmente adecuado para el riego de tomates en invernaderos, con lo cual el sistema de riego se adoptará por goteo.

La entrada de agua al sistema proviene de una acequia con suficiente caudal y suministro regular para los requerimientos de riego. La red de distribución del riego se realizará mediando un solo punto de salida desde el punto de suministro.

Es importante tener en cuenta que el riego nocturno puede propiciar condiciones favorables para la aparición de hongos, ya que estos crecen en ambientes húmedos y a temperaturas frescas. Por lo tanto, es recomendable evitar el riego durante la noche y optar por regar durante el día, cuando las temperaturas son más altas. Esto ayuda a reducir el riesgo de enfermedades fúngicas en las plantas de tomate. Por lo tanto, la hora de riego se fijará a las 7:00h.

En cuanto a las tuberías del sistema de riego se ha optado por utilizar la tubería de polietileno PE como solución, debido a su alta resistencia y capacidad para soportar la exposición solar. Esta tubería ha demostrado un excelente rendimiento en diámetros pequeños, que es precisamente el tamaño requerido para nuestro proyecto. La otra opción más viable era la de utilizar tubería de PVC, no obstante, se decidió la de PE puesto que la de PVC se deteriora bajo la radiación solar.

Se ubicará un conducto por cada línea de tomateras que estarán espaciadas cada 40 cm coincidiendo con la distancia entre los puntos de riego de cada conducto.

Para el control de la presión de la red de riego se utilizarán manómetros ubicados en puntos clave. Las instalaciones de riego por goteo necesitan poca presión para funcionar correctamente, aproximadamente 1.2 bares (13). El modelo escogido es un manómetro inoxidable de glicerina cuyo rango de presiones es de 0 a 2,5 bares.



Figura 12. Manómetro de glicerina. Fuente: Mundoriego (13).

Estos manómetros no estarán controlados por el autómata puesto que su función será la de comprobar el correcto funcionamiento de la instalación por el operario.

Por último, la bomba que impulsa el agua de riego por los conductos de goteo se ha escogido la bomba BM-100/4 (14) que puede trasegar del orden de 4300 litros por hora venciendo una altura manométrica de 25 metros contando con 750 W. Además, se le instalará un regulador de presión, el AQUACONTROL PLUS-MC (15), cuya función es la de mantener conectada la bomba a una presión constante para el caudal requerido. Ambos elementos son de la misma marca, BCN bombas.



Figura 13. Bomba de riego. Fuente: Suministros Rome (14)



Figura 14. Manómetro de glicerina. Fuente: Suministros Rome (15)

3.1.2 Sistema humidificador

El proceso de evaporación del agua en el aire produce un efecto de enfriamiento, absorbiendo aproximadamente 560 calorías por cada gramo de agua. Además, la técnica utilizada para el enfriamiento también puede aplicarse para humidificar los invernaderos.

El nebulizador escogido está diseñado para usos agrícolas, es una nebulizador de cuatro salidas como se puede ver en la siguiente imagen y se instalarán 3 nebulizadores a lo largo del invernadero para garantizar una correcto enfriamiento y humidificación del ambiente para cuando se requiera. (16)



Figura 15. Nebulizador de cuatro vías. Fuente: Traxco (16)

La regulación del conjunto de dispositivos se regulará mediante una electroválvula regulada por el autómeta. La electroválvula escogida es la PGV 24V de la marca HUNTER.



Figura 16. Electroválvula PGV. Fuente: Leroy Merlin (17)

3.1.3 Sistema de ventilación

El objetivo principal del sistema de ventilación es el de regular las variaciones de temperatura que puedan ocurrir durante el crecimiento de los cultivos.

Es importante destacar que este sistema no se utiliza para reducir drásticamente la temperatura, sino para mitigar el impacto de los cambios bruscos de temperatura en las plantas. Funciona reduciendo el aumento de temperatura mediante la convección. Además, se encarga de recircular el aire dentro del invernadero para mantener una temperatura constante y eliminar cualquier sustancia liberada por las plantas, como el dióxido de carbono. Operan con grandes caudales de aire a bajas velocidades, evitando así la deshidratación de las plantas.

Se utilizan durante todo el año, tanto en épocas frías para prevenir la acumulación excesiva de humedad dentro del invernadero, como en épocas calurosas para evitar temperaturas excesivas.

El sistema de ventilación se realizará mediante ventilación forzada que consiste en la instalación de equipos impulsores o extractores de aire en el invernadero. Estos equipos se colocan en uno de los extremos del invernadero para permitir la entrada de aire y crear una corriente adecuada.

Este método es muy efectivo, aunque consume energía eléctrica. Por lo tanto, es recomendable instalar los equipos teniendo en cuenta las corrientes de aire predominantes en la zona la cual en la época de cultivo del tomate será predominantemente sur-oeste como se ve en la Figura 17.

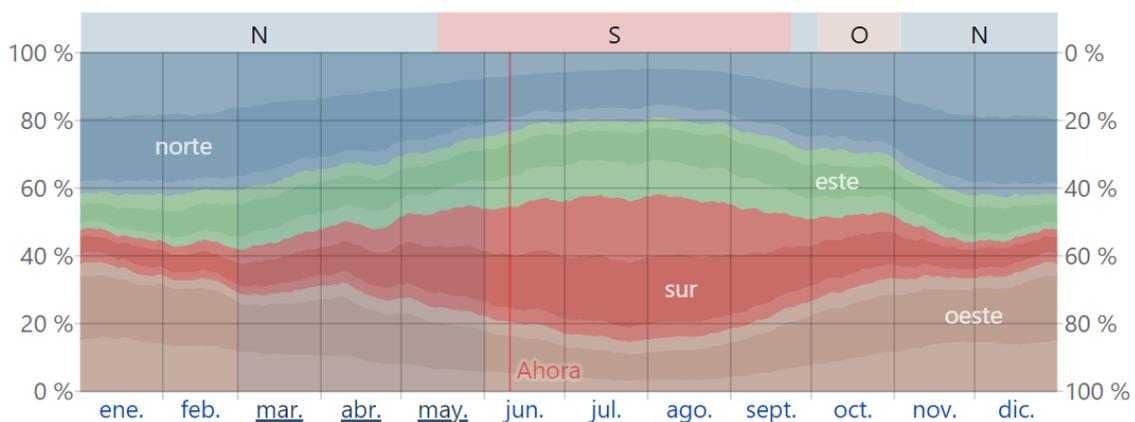


Figura 17. Dirección del viento anual. Fuente: WeatherSpark.com.

En nuestra instalación los equipos impulsores estarán ubicado en la cara sur del invernadero y los extractores en la cara norte y simétricamente colocados respecto la línea central longitudinal.

El modelo de extractor de aire es el KH213 con un caudal máximo de 6420 m³/h con una potencia de 420 W.



Figura 18. Extractor de aire KH213. Fuente: Cable Matic (18)

Para saber cuántos ventiladores son necesarios y suponiendo unas 10 renovaciones de aire por hora:

$$Q \left(\frac{m^3}{h} \right) = V_{inv} * N = (1680 * 3) * 10 = 50400 \frac{m^3}{h}$$

$$N^{\circ} \text{ ventiladores} = \frac{Q}{q_{\text{ventiladores}}} = \frac{50400}{6420} = 7.85 \approx 8$$

Por lo que serán necesarios 8 ventiladores que se ubicarán 4 en la cara sur inyectando aire y 4 en la cara norte extrayendo aire.

3.1.4 Sistema de regulación del PH, abono e insecticidas

La regulación del PH, del abono y de los insecticidas, en formas líquida, si fueran necesarios se realizará mediante el uso de un inyector Venturi el cual, a través de su caudalímetro permite dosificar con precisión la cantidad deseada de fertilizante en litros por hora. Soporta los caudales de funcionamiento, así como las presiones de trabajo. Se puede ver en la Figura 19, una imagen del elemento en cuestión:



Figura 19. Inyector Venturi. Fuente: Gncgarden (19)

Con el fin de no mezclar elementos se usarán 3 inyectores Venturi diferentes. La regulación de este elemento se realizará de forma semiautomática siendo solamente necesario referenciar la consigna por parte del agricultor girando una válvula que permite pasar más o menos flujo.

En el caso del PH como presenta ínfimas variaciones a lo largo del año no será necesaria sensorizar el valor del PH a lo largo del tiempo. El caso del abono e insecticidas es completamente diferente ya que su dosificación es dependiente de la etapa de crecimiento de las plantas por lo que será necesario actualizar su consigna de forma manual de forma semanal por parte del agricultor.

Este dispositivo funciona sin necesidad de energía externa, ya que utiliza únicamente la presión proveniente de la red de riego. La instalación se puede realizar en serie en la red de riego para caudales pequeños, o en paralelo formando un by-Pass para caudales de riego más grandes. En el caso de este proyecto se realizará la conexión mediante un by-Pass como se observa en la Figura 20 (19):

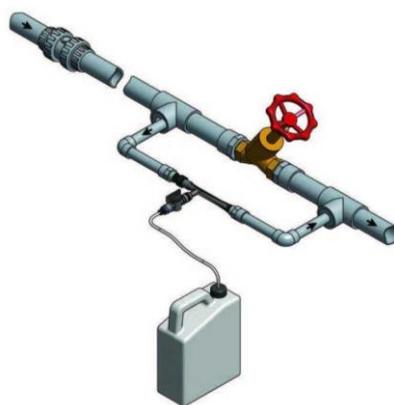


Figura 20. Esquema by-Pass. Fuente: Gncgarden (19)

3.1.5 Sistema de radiación

La superficie de cultivo útil es de unos 1680 m² definidos por una superficie de 56 metros de largo y 30 metros de ancho

Por lo general, para los tomates, se recomienda usar una potencia de entre 170 a 270 $\mu\text{mol/s.m}^2$ durante 16 a 18 horas al día. Con el objetivo de reducir la inversión inicial se usará el término mínimo de potencia de 170 $\mu\text{mol/s.m}^2$ cuya conversión da alrededor de 37 W/m² con lo que utilizaremos ese valor como parámetro de diseño.

El modelo que se utilizará es el más barato que se ha encontrado en el mercado, el modelo es el SE1000W LED GROW LIGHTTING de la marCa Spider Farmer, de geometría cuadrada de lados de 1,15 metros que dan lugar a una potencia nominal de 1030 W. Cabe destacar que lleva integrado un regulador de intensidad para cada panel.

Como se ve en la siguiente imagen, cuenta con un sistema de 10 barras que proporciona una cobertura lumínica uniforme y completa contando con 3710 diodos Samsung LM301B. El

espectro emitido es completo ya que la onda de la luz emitida oscila entre los 3200-4200 K, los 4800-5000 K y 650-665 nm con el fin de adaptarse a cada etapa de crecimiento del cultivo. Como era de esperar es resistente al agua pues está diseñado para ubicarse en entornos de alta humedad como en los invernaderos. (20)

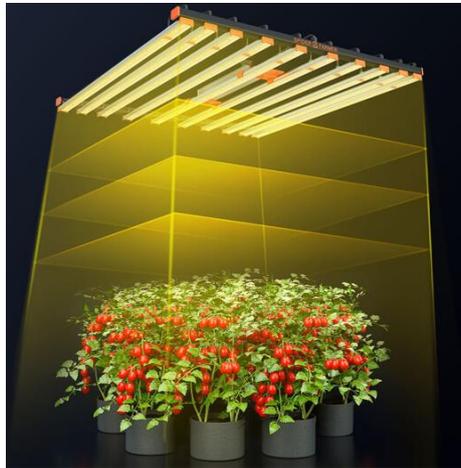


Figura 21. Cultivo de tomates con el modelo SE1000W. Fuente: Spiderfarmer (20)

La instalación requiere de una estructura adecuada para resistir sus 15 kg de peso por unidad que se abordará a continuación. La bandeja se conecta con la estructura mediante 4 cables de acero como se observa en la Figura 22.

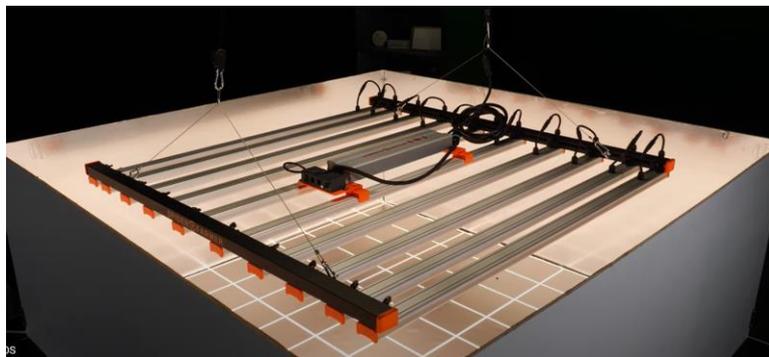


Figura 22. Instalación del modelo SE1000W. Fuente: Spiderfarmer (20)

$$N^{\circ}LED = \frac{Potencia\ requerida * Superficie}{Potencia\ LED} = \frac{170 * 1680}{2995} = 95.36 \approx 96$$

Por lo que el número de elementos a utilizar será de 96, su instalación se realizará de forma que la radiación en la superficie de cultivo sea lo más constante posible. Además como posteriormente se verá en el apartado de la automatización el encendido de la instalación de radiación LED se efectuará por fases encendiéndose el primer tercio de la instalación cuando la

radiación solar sea menor a 30 W/m^2 , sumándose el segundo tercio cuando la radiación solar sea menor a 20 W/m^2 y encendiéndose por completo cuando la radiación solar sea menor a 10 W/m^2 .

3.1.5.1 Estructura necesaria para alojar los LED

Como cada unidad del bloque LED pesa alrededor de unos 15 kg será necesario la instalación de una estructura portante que soporte las 96 unidades lo cual suman 1440 kg. Como este proyecto está dedicado a la parte de automatización no se va a resolver este problema sino que se subcontratará a una empresa externa.

2.1 Sistema de sensores

3.2.1 Luminosidad

Para parametrizar la activación del sistema de radiación LED habrá que conocer la luminosidad existente dentro del invernadero. Por lo tanto, se instalará el modelo LS100 como sensor de luminosidad de la marca GCE Electronics. (21)



Figura 23. Sensor LS100. Fuente: Zwave (21).

3.2.2 Humedad del terreno

Para saber la cantidad exacta de agua a la hora de regar se utilizará una sonda para medir la humedad del suelo con lo que el tiempo de riego más adecuado será aquel que logre humedecer la profundidad de suelo requerida, evitando el exceso de humedad y el lavado de nutrientes por escorrentía.

Para ello se utilizará un tensiómetro de humedad de suelo de la marca Hunter el cual envía una señal al autómatas cuando se alcanza el nivel de humedad deseado. Se instalarán 3 tensiómetros

a 15, 25 y 40 cm de profundidad ya que el riego es dependiente de la fase de crecimiento de las plántulas. (22) (23)



Figura 24. Tensiómetro de la marca Hunter. Fuente: Jardinería Ferromar (22)

3.2.3 Temperatura y humedad relativa del ambiente

Se utilizarán sensores de temperatura para prevenir la congelación de las plantas y evitar temperaturas excesivas dentro del invernadero. Además, es necesario conocer los niveles de humedad relativa para adecuarlos a las condiciones óptimas de cultivo.

Se ha encontrado un sensor capaz de medir humedad y temperatura presentando una precisión en el sensado de la temperatura de 0.5°C y del 2.5% de humedad relativa. El sensor se ubicará en el centro geométrico del invernadero. El modelo escogido es el SHT10 de acero inoxidable el cual se puede ver en la Figura 25. (24)



Figura 25. Sensor temperatura y humedad relativa. Fuente: Bricogeek (24)

3.2.4 Velocidad del viento exterior

Se decide instalar este sensor para recabar información en el caso que no se alcanzara la temperatura deseada en el invernadero. Además, se decide a instalar para mitigar posibles problemas con los ventiladores para regímenes de velocidades elevados.

Como la mayor parte del tiempo los vientos procederán del sur el anemómetro se instalará en el pórtico sur. El modelo elegido es de la marca SHLMV. (25)



Figura 26. Anemómetro de la marca SHLMV. Fuente: Fruugo (25)

3.1 Control automático del invernadero

Dependiendo de la estación del año los requerimientos del invernadero serán diferentes y opuestas:

- Durante el invierno, la función principal de un invernadero, es crear un efecto invernadero que limite la variación de temperatura entre el día y la noche, especialmente las bajas temperaturas nocturnas que puede limitar el cultivo de plantas que requieren calor, interrumpiendo la producción y afectando negativamente a su calidad.
- En verano, el papel del invernadero se vuelve más complejo. A pesar de que la protección reduce significativamente la radiación solar incidente (efecto de sombreado), la temperatura dentro del invernadero puede resultar difícil de mantener dentro de los límites óptimos para el cultivo. Este es actualmente uno de los desafíos más importantes en la técnica de los invernaderos.

3.3.1 Resumen relación sensores – actuadores

En la Figura 27 se resume la relación entre los sensores y actuadores, es decir, que sensores activarán ciertos actuadores cuando se cumplan ciertas condiciones. Esta relación está explicada y razonada en los títulos: Sistema de actuadores y Sistema de sensores.



Figura 27. Relación sensores – actuadores. Fuente: Propia.

3.3.2 Elección del autómata

El controlador del sistema desempeña un papel crucial en la gestión de todo el sistema de distribución. Su función principal es leer todas las entradas o inputs, analizar sus valores y, en función de ellos, realizar diversas funciones en los actuadores o salidas correspondientes.

Para solucionar el problema del control del sistema, se ha dirimido entre tres tipos de dispositivos de control:

1. Sistema basado en microprocesador.
2. Sistema basado en autómata programable.
3. Sistema basado en PC.

La elección del tipo de dispositivo se basa en una serie de criterios, como el coste económico, el rendimiento del equipo en relación a las necesidades del sistema a automatizar, la capacidad de entrada y salida, la modularidad, la facilidad de instalación y la conectividad.

Tras considerar todos estos aspectos, se ha optado por la segunda alternativa: un sistema controlado por un autómata programable o PLC. Esta elección se ha realizado debido a sus características y beneficios, que se ajustan de manera clara y sencilla a las necesidades específicas del sistema.

En el mercado actual, existe una amplia variedad de PLC de diversas marcas, tanto reconocidas como menos conocidas. La mayoría de estas marcas ofrecen PLC con las características y componentes necesarias para llevar a cabo el control de este sistema.

En nuestro caso y ya que trabajaremos con la versión TIA PORTAL V17 de Siemens se escoge un PLC de la misma marca. Se ha optado por trabajar con el PLC Siemens SIMATIC S7-1200. (26)

Dentro de la gama del S7-1200, se elija la CPU 1215C que dispone de 14 entradas digitales y 10 salidas digitales.

Este PLC lleva incorporada mediante relé la fuente de alimentación por lo que se podrá conectar mediante una protección a la línea eléctrica.



Figura 28. PLC Siemens SIMATIC S7-1200, CPU 1215C. Fuente: Wiautomation (26)

Como utilizamos 27 entradas y 12 salidas se dispondrá de un módulo de ampliación, el módulo utilizado es el modelo 6ES7223-1BL32-0XB0, también de la marca Siemens. Dicho módulo dispone de 16 entradas digitales y 16 salidas digitales con lo que será suficiente para este proyecto.



Figura 29. Módulo de ampliación. Fuente: Wiautomation (27)

3.3.3 Elección del HMI

La pantalla HMI escogida es el modelo SIMATIC KPT700 Basic, en concreto el modelo 6AV2123-2GA03-0AX0. Se ha elegido el HMI de la marca Siemens de cara a facilitar la integración de los elementos que conforman la instalación pues el PLC es también de la marca Siemens.



Figura 30. HMI Siemens SIMATIC KPT700 Basic. Fuente: Wiautomation (28)

4 Proyecto de automatización

1.1 Variables del proceso

Las variables se almacenarán en direcciones de memoria de la siguiente manera: %X0.0.

Donde “X” se sustituirá por una “I” para las entradas y por una “Q” para las salidas. El primer número hará referencia al número de byte referido y el segundo número hará referencia al número del bit donde se almacene la información.

4.1.1 Tabla de Salidas

SALIDA	DESCRIPCIÓN	TIPO	DIRECCIÓN
LED_VERDE	Indicador luminoso (sistema funcionando correctamente)	BOOL	Q0.0
LED_AMARILLO	Indicador luminoso (sistema rearmándose)	BOOL	Q0.1
LED_ROJO	Indicador luminoso (sistema en estado de emergencia)	BOOL	Q0.2
LED_TENSIOMETRO_15	Indicador luminoso (15 cm de profundidad de riego alcanzada)	BOOL	Q0.3
LED_TENSIOMETRO_25	Indicador luminoso (25 cm de profundidad de riego alcanzada)	BOOL	Q0.4
LED_TENSIOMETRO_40	Indicador luminoso (40 cm de profundidad de riego alcanzada)	BOOL	Q0.5
BOMBA_RIEGO	Señal monoestable que activa la bomba de riego	BOOL	Q0.6
ELECTROVALV_NEBULIZADORES	Señal monoestable que activa la electroválvula de los nebulizadores	BOOL	Q0.7
VENTILADORES	Señal monoestable que activa los ventiladores	BOOL	Q1.0
RADIACION_DEBIL	Señal monoestable que activa la radiación LED a 1/3 de la instalación	BOOL	Q1.1
RADIACION_MEDIA	Señal monoestable que activa la radiación LED a 2/3 de la instalación	BOOL	Q2.0
RADIACION_FUERTE	Señal monoestable que activa la radiación LED a toda la instalación	BOOL	Q2.1

Tabla 1. Salidas. Fuente: Propia.

4.1.2 Tabla de Entradas

ENTRADA	DESCRIPCIÓN	TIPO	DIRECCIÓN	NOTACIÓN GRAFCET
SETA EMERGENCIA	Seta con enclavamiento (biestable) de la consola de control de emergencia	BOOL	I0.0	BTN_EMER
PULSADOR REARME	Pulsador (monoestable) de la consola de control de rearme	BOOL	I0.1	BTN_REAR
PULSADOR MARCHA	Pulsador (monoestable) de la consola de control de marcha	BOOL	I0.2	BTN_MARCHA
PULSADOR MANTENIMIENTO	Pulsador (monoestable) de la consola de control de modo mantenimiento	BOOL	I0.3	BTN_MANT
SELECTOR AUTOMÁTICO	Pulsador (monoestable) de la consola de control para selección de modo automático	BOOL	I0.4	BTN_AUT
SELECTOR MANUAL	Pulsador (monoestable) de la consola de control para selección de modo manual	BOOL	I0.5	BTN_MAN
ACTIVACIÓN SISTEMA DE RIEGO	Pulsador (monoestable) de la consola de control para activación del sistema de riego	BOOL	I0.6	BTN_RIEGO
ACTIVACIÓN SISTEMA LED	Pulsador (monoestable) de la consola de control para activación de 1/3 del sistema LED	BOOL	I0.7	BTN_LED_1/3
ACTIVACIÓN SISTEMA LED	Pulsador (monoestable) de la consola de control para activación de 2/3 del sistema LED	BOOL	I1.0	BTN_LED_2/3
ACTIVACIÓN SISTEMA LED	Pulsador (monoestable) de la consola de control para activación de 3/3 del sistema LED	BOOL	I1.1	BTN_LED_3/3
ACTIVACIÓN SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN	Pulsador (monoestable) de la consola de control para activación del sistema de humidificación	BOOL	I1.2	BTN_HUM
ACTIVACIÓN SISTEMA DE VENTILACIÓN	Pulsador (monoestable) de la consola de control para activación del sistema de ventilación	BOOL	I1.3	BTN_VENT
TARGET_Ta_DIURNA	Valor objetivo de la temperatura ambiente en el interior del invernadero	V.INTERNA HMI	I1.4	Ta_DIURNA
TARGET_Ta_NOCTURNA	Valor objetivo de la temperatura ambiente en el interior del invernadero	V.INTERNA HMI	I1.5	Ta_NOCTURNA
TARGET_HR_DIURNA	Valor objetivo de la humedad relativa ambiente en el interior del invernadero	V.INTERNA HMI	I2.0	HR_DIURNA
TARGET_HR_NOCTURNA	Valor objetivo de la humedad relativa ambiente en el interior del invernadero	V.INTERNA HMI	I2.1	HR_NOCTURNA
SELECTOR_PROFUNDIDAD_RIEGO_15	Pulsador (monoestable) de la consola de control	BOOL	I2.2	TARGET_RIEGO_15
SELECTOR_PROFUNDIDAD_RIEGO_25	Pulsador (monoestable) de la consola de control	BOOL	I2.3	TARGET_RIEGO_25
SELECTOR_PROFUNDIDAD_RIEGO_40	Pulsador (monoestable) de la consola de control	BOOL	I2.4	TARGET_RIEGO_40
SENSOR_Ta_AMB	Señal analógica que indica el valor de la temperatura en el interior del invernadero	ANALOGICA	I2.5	Ta_AMB
SENSOR_HR_AMB	Señal analógica que indica el valor de la humedad relativa en el interior del invernadero	ANALOGICA	I2.6	HR_AMB
SENSOR_LUMINOSIDAD	Señal analógica que indica el valor de la luminosidad en el interior del invernadero	ANALOGICA	I2.7	LUM
SENSOR_ANEMOMETRO	Señal analógica que indica el valor de la velocidad horizontal del viento exterior	ANALOGICA	I3.0	V_VIENTO
SENSOR_TENSIOMETRO_15	Señal binaria que indica que ya se ha alcanzado el nivel de humedad relativa requerida a 15 cm de profundidad	BOOL	I3.1	RIEGO_15
SENSOR_TENSIOMETRO_25	Señal binaria que indica que ya se ha alcanzado el nivel de humedad relativa requerida a 25 cm de profundidad	BOOL	I3.2	RIEGO_25
SENSOR_TENSIOMETRO_40	Señal binaria que indica que ya se ha alcanzado el nivel de humedad relativa requerida a 40 cm de profundidad	BOOL	I3.3	RIEGO_40

Tabla 2. Entradas. Fuente: Propia.

2.1 Guía Gemma

Un sistema automatizado está definido por: un sistema de producción y un control de dicho sistema, en nuestro caso el PLC.

El sistema puede encontrarse en tres situaciones diferentes: en funcionamiento, detenido (o en proceso de detenerse) o en estado de defecto.

La GEMMA, una representación gráfica, utiliza rectángulos para representar cada una de las tres situaciones que se agrupan bajo:

- Grupo F, Procedimientos de funcionamiento: engloba todos los modos de funcionamiento necesarios para la obtención de la producción, tanto los modos de funcionamiento normal (F1 a F3) como los modos de prueba y verificación (F4 a F6).
- Grupo A, Procedimientos de parada: incluye todos los modos en los que el sistema está detenido (A1 y A4), los modos que conducen a la detención del sistema (A2 y A3) y los modos que permiten pasar del estado de defecto al estado de detención (A5 a A7). Estos modos corresponden a todas las paradas causadas por factores externos al proceso.
- Grupo D, Procedimientos de defecto: Este grupo contiene todos los modos en los que el sistema presenta algún defecto, ya sea mientras está produciendo (D3), cuando está detenido (D1) o durante el diagnóstico y tratamiento del defecto (D2). Estos modos corresponden a todas las paradas causadas por factores internos al proceso.

En la Figura 31 se muestra el esquema de la guía GEMMA:

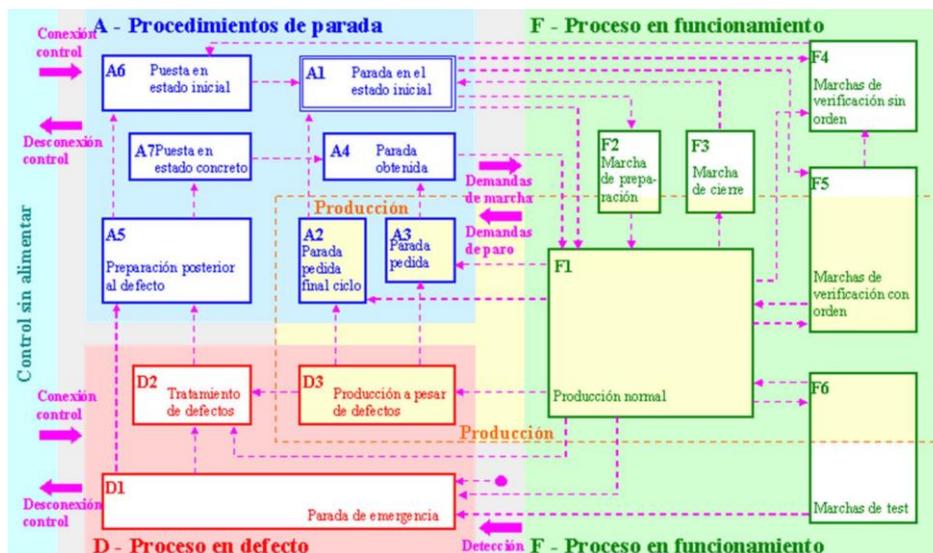


Figura 31. Guía GEMMA. Fuente:Slideserve (29)

Para el proceso del invernadero se utilizarán tantos procedimientos como se necesite puesto que no siempre es necesario, sobre todo en instalaciones pequeñas, el configurar todos los procedimientos pues se caería en la redundancia.

3.1 Estados seleccionados de la guía GEMMA

Los estados seleccionados relativos a la guía GEMMA para este proyecto se encuentran en la Figura 32.

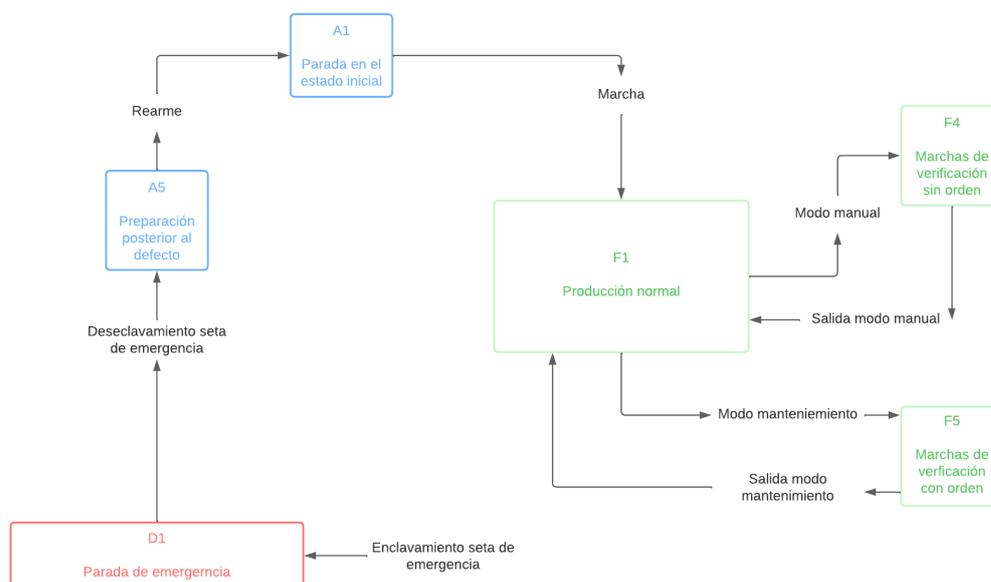


Figura 32. Estados guía GEMMA seleccionados. Fuente: Propia.

4.1 Graficets del proceso

Con el fin de simplificar la programación del PLC se elabora un conjunto de diagramas graficet nexados entre sí mediante el esquema de la guía GEMMA. Esto es debido a que la programación que se le introducirá al autómatas es en lenguaje Ladder, o diagrama de contactos con lo que los graficet son de gran utilidad ya que se pueden traducir a diagrama de contactos fácilmente.

Como GRAFCETSTUDIO trabaja con entradas y salidas que las cataloga desde el número cero en adelante, en lugar de trabajar con las direcciones que se utilizarán para el PLC y el módulo de ampliación escogido, en la Figura 33 se puede observar la equivalencia entre las entradas y en la Figura 34 la equivalencia entre salidas.

ENTRADA	DIRECCIÓN	NOTACIÓN GRAF CETSTUDIO
SETA EMERGENCIA	I0.0	I0
PULSADOR REARME	I0.1	I1
PULSADOR MARCHA	I0.2	I2
PULSADOR	I0.3	I3
SELECTOR AUTOMÁTICO	I0.4	I4
SELECTOR MANUAL	I0.5	I5
ACTIVACIÓN SISTEMA DE	I0.6	I6
ACTIVACIÓN SISTEMA LED	I0.7	I7
ACTIVACIÓN SISTEMA LED	I1.0	I8
ACTIVACIÓN SISTEMA LED	I1.1	I9
ACTIVACIÓN SISTEMA DE HUMIDIFICACIÓN	I1.2	I10
ACTIVACIÓN SISTEMA DE VENTILACIÓN	I1.3	I11
TARGET_Ta_DIURNA	I1.4	I12
TARGET_Ta_NOCTURNA	I1.5	I13
TARGET_HR_DIURNA	I2.0	I14
TARGET_HR_NOCTURNA	I2.1	I15
SELECTOR_PROFUNDIDAD_R IEGO_15	I2.2	I16
SELECTOR_PROFUNDIDAD_R IEGO_25	I2.3	I17
SELECTOR_PROFUNDIDAD_R IEGO_40	I2.4	I18
SENSOR_Ta_AMB	I2.5	I19
SENSOR_HR_AMB	I2.6	I20
SENSOR_LUMINOSIDAD	I2.7	I21
SENSOR_ANEMOMETRO	I3.0	I22
SENSOR_TENSIOMETRO_15	I3.1	I23
SENSOR_TENSIOMETRO_25	I3.2	I24
SENSOR_TENSIOMETRO_40	I3.3	I25

Figura 33. Equivalencia de entradas: dirección vs notación en GRAFCETSTUDIO. Fuente: Propia.

SALIDA	DIRECCIÓN	NOTACIÓN GRAF CETSTUDIO
LED_VERDE	Q0.0	Q0
LED_AMARILLO	Q0.1	Q1
LED_ROJO	Q0.2	Q2
LED_TENSIOMETRO_15	Q0.3	Q3
LED_TENSIOMETRO_25	Q0.4	Q4
LED_TENSIOMETRO_40	Q0.5	Q5
BOMBA_RIEGO	Q0.6	Q6
ELECTROVALV_NEBULIZADO RES	Q0.7	Q7
VENTILADORES	Q1.0	Q8
RADIACION_DEBIL	Q1.1	Q9
RADIACION_MEDIA	Q2.0	Q10
RADIACION_FUERTE	Q2.1	Q11

Figura 34. Equivalencia de salidas: dirección vs notación en GRAFCETSTUDIO. Fuente: Propia.

4.4.1 Grafcet de emergencia

El primer grafcet, Figura 35, lo ocupa aquel que posee la capacidad de ejercer control sobre los demás GRAFCET. Esto implica que puede influir en el estado de cualquier otro GRAFCET, pero no puede ser influenciado por ninguno de ellos.

El término "forzado" se refiere a la relación de control jerárquico entre un GRAFCET maestro y otro esclavo. En esta relación, el GRAFCET maestro tiene la autoridad para obligar al GRAFCET esclavo a adoptar un estado específico.

En este caso el grafcet G0 de emergencia forzará la parada o el funcionamiento de los grafcet G1, G2 y G3 que respectivamente son los casos de funcionamiento en modo mantenimiento, automático y manual.

Desde el estado inicial hasta que se presione el botón de marcha y se elija el modo de funcionamiento de mantenimiento, manual o automático los Grafkets estarán congelados. Dependiendo del modo escogido por el usuario se activará el grafcet respectivo estando en todo momento disponible la transición de emergencia mediante la activación del botón de emergencia.

Este grafcet por un lado responde al estado D1 de la guía GEMMA en la parte de emergencia y por otro lado responde al modo F1 de funcionamiento normal.

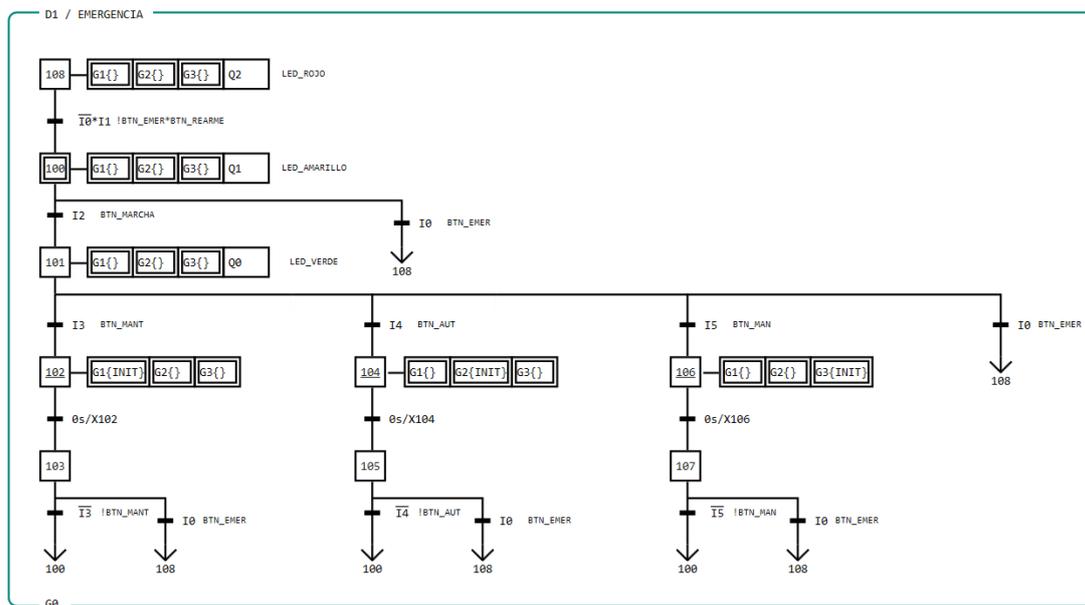


Figura 35. Grafcet G0. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

4.4.2 Grafcet mantenimiento

Con el fin de garantizar un mantenimiento correcto de la instalación se crea un grafcet denominado G1 dedicado a las labores de mantenimiento donde solo se podrá activar una salida al mismo tiempo.

Este grafcet se corresponde al bloque F4 de la guía GEMMA. Cuando no esté activa ninguna salida el led amarillo estará encendido mientras que cuando una salida esté activa estará encendido el led verde.

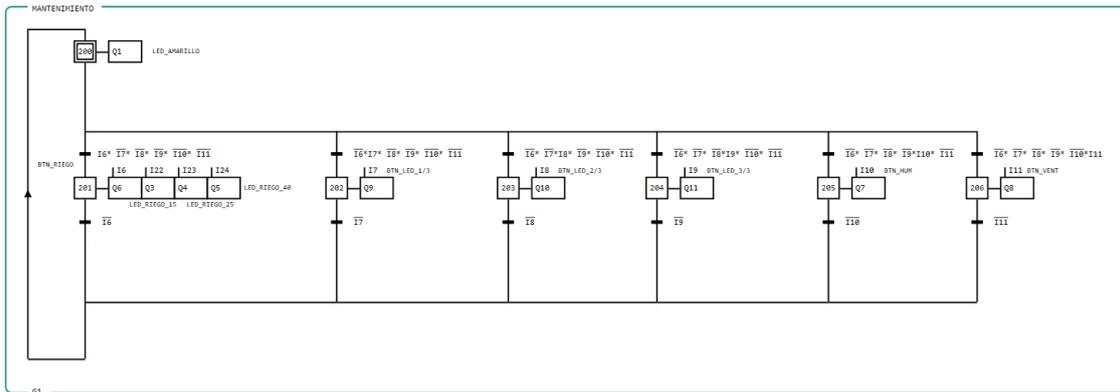


Figura 36. Grafcet G1. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

4.4.3 Grafcet automático

En este grafcet G2 relativo al modo automático los sistemas climáticos del invernadero funcionan de forma independiente, pudiendo estar activas o no de forma aislada. Cuando no esté activa ninguna salida el led amarillo estará encendido mientras que cuando las salidas estén activas estará encendido el led verde.

Se puede observar en la Figura 37 como los sistemas de riego, de radiación led, de humidificación y de ventilación se encuentran encapsulados. Por ejemplo, dentro del encapsulado del sistema de riego, la etapa inicial se encontrará activada mientras no se requiera del riego. Lo cual implica que pese que el encapsulado del sistema de riego esté activo la bomba de riego puede o no estar activa.

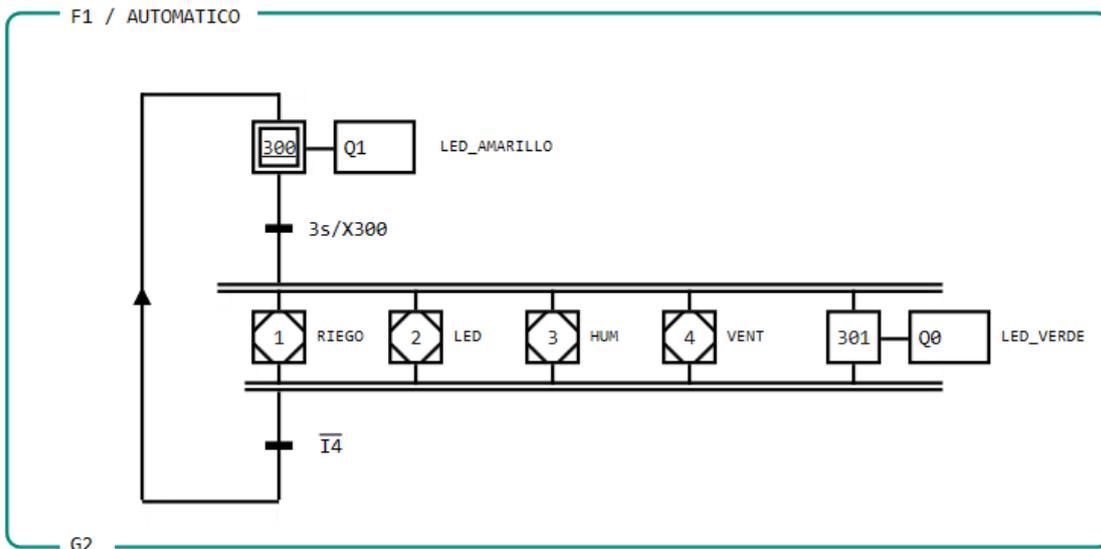


Figura 37. Grafcet G2. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

En la Figura 38 se observa el sistema de riego donde lo más remarcable es que se solo se puede empezar a regar a las 7:00 de la mañana. Como se pretende regar cada 3 días se pone como condición de la transición de la etapa 11 a la etapa 10 un temporizador de 3 días.

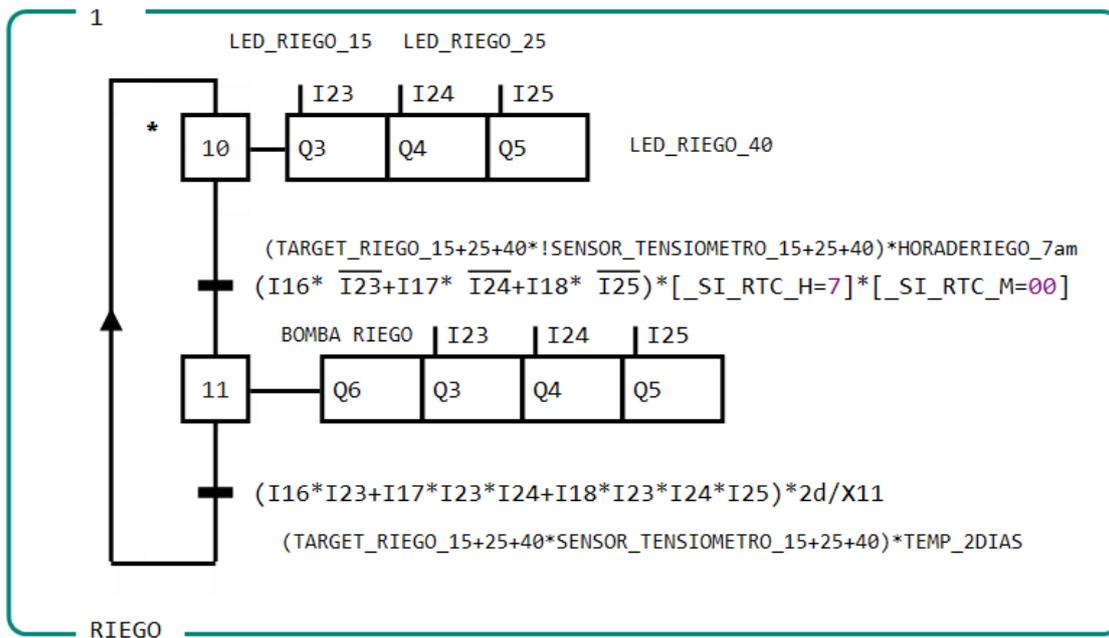


Figura 38. Grafcet Riego. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

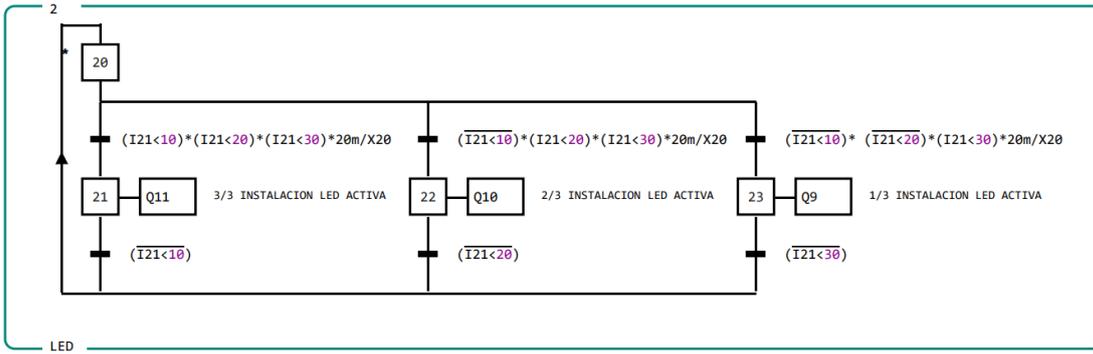


Figura 39. Grafcet LED. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

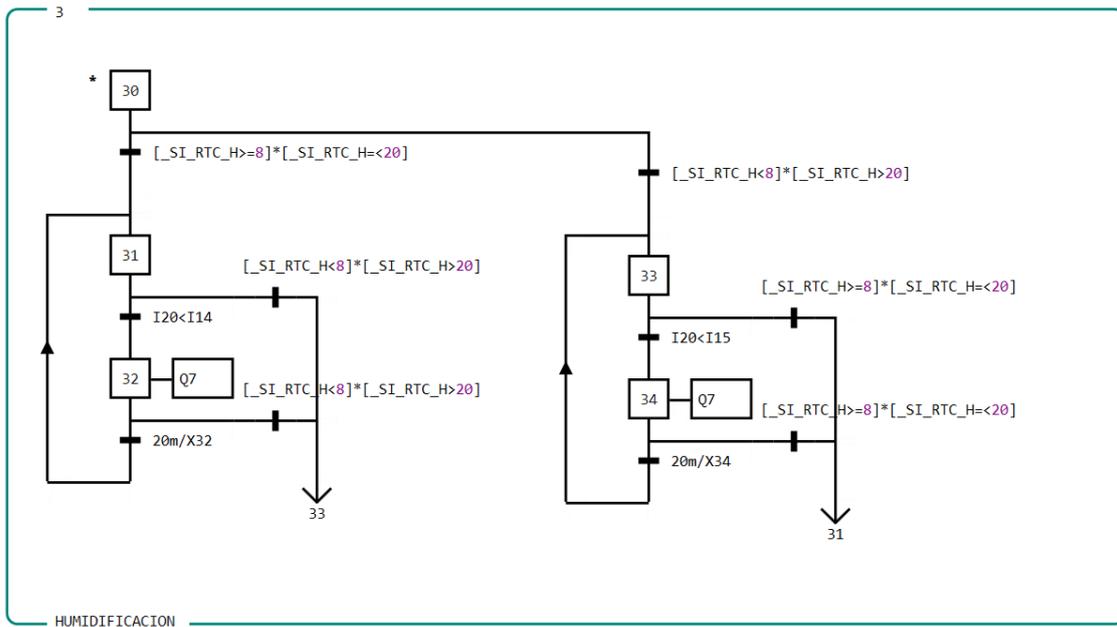


Figura 40. Grafcet Humidificación. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

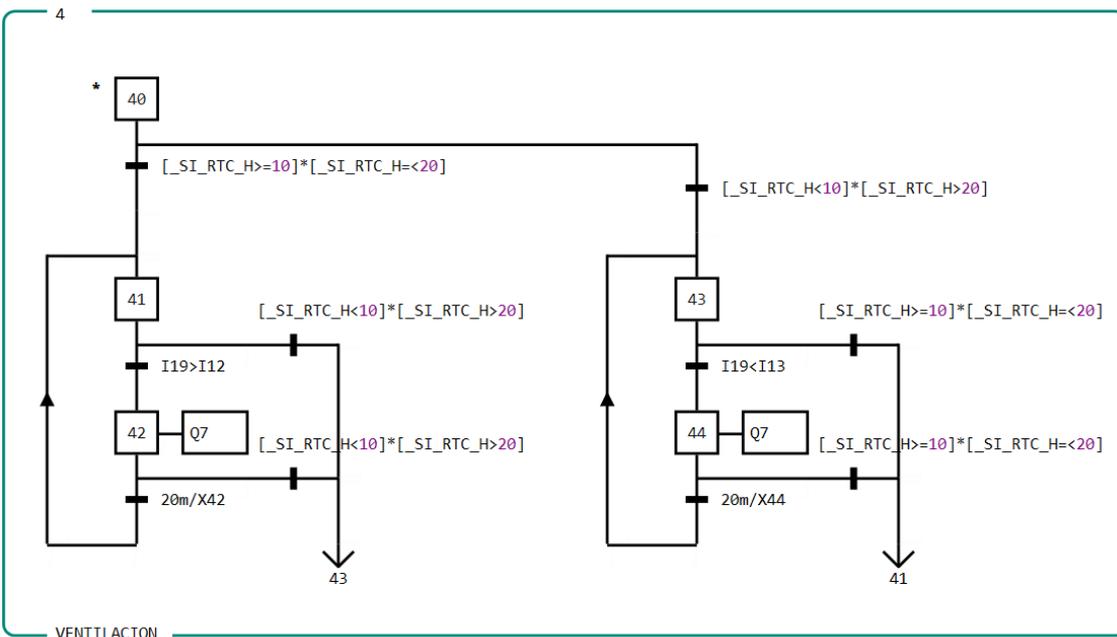


Figura 41. Grafcet Ventilación. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

4.4.4 Grafcet manual

En el modo manual pueden estar activos tantos sistemas, a diferencia del modo mantenimiento, como se soliciten mediante el uso de la botonera. Cuando no esté activa ninguna salida el led amarillo estará encendido mientras que cuando una o más salidas estén activas estará encendido el led verde.

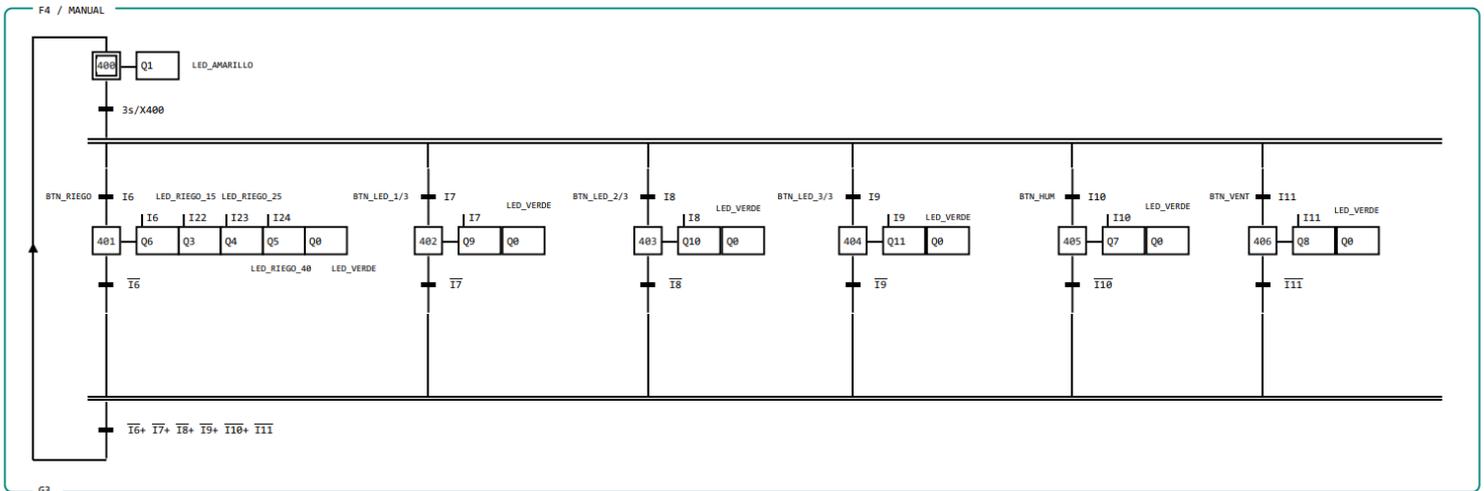


Figura 42. Grafcet G3. Fuente: Propia con GRAFCET STUDIO.

5.1 Solución en TIA PORTAL

4.5.1 Programa ladder

Para crear el programa ladder se ha utilizado el software TIA PORTAL v17. El programa está incluido en el anexo de planos debido a su extensión.

4.5.2 HMI

El HMI se ha configurado de manera que hay dos imágenes a las cuales el agricultor podrá acceder. La primera es la pantalla principal y la segunda es la relativa a las variables internas.

Como se muestra en la Figura 43 que muestra la pantalla principal, se puede apreciar en la parte izquierda de la pantalla principal los botones de marcha emergencia y rearme. En la parte central superior se puede observar 3 leds verde, amarillo y rojo los cuales se encienden dependiendo del modo seleccionado. En la parte central inferior se observan 3 selectores de modo mantenimiento, manual o automático donde solamente puede estar activo uno gracias a la configuración realizada. Por último en la parte derecha se observan los indicadores relativos al sistema de riego, de radiación LED, de humidificación y de ventilación.

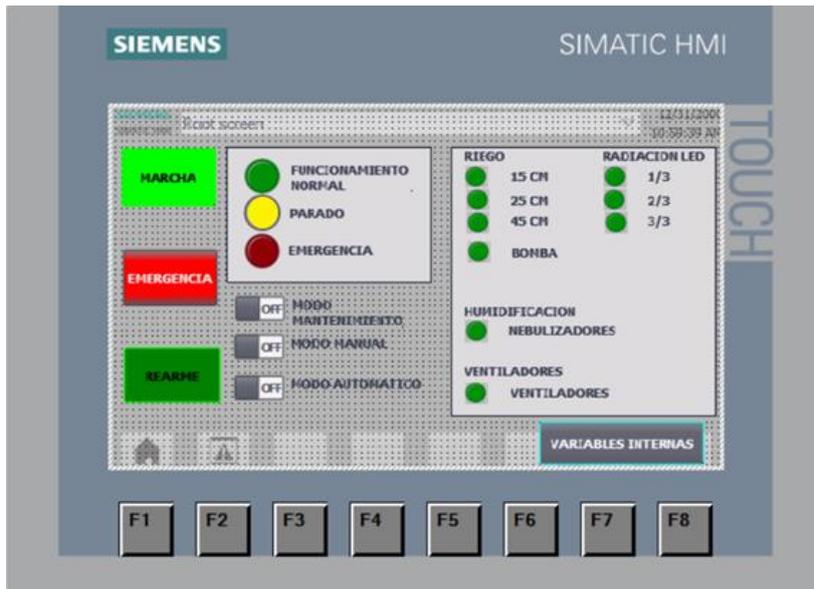


Figura 43. Pantalla Principal HMI. Fuente: Propia con TIA PORTAL V17.

En esta segunda pantalla, relativa a las variables internas que el agricultor introducirá de manera manual en el HMI se encuentran la humedad relativa diurna y nocturna y la temperatura diurna y nocturna que se quiere alcanzar en el invernadero.

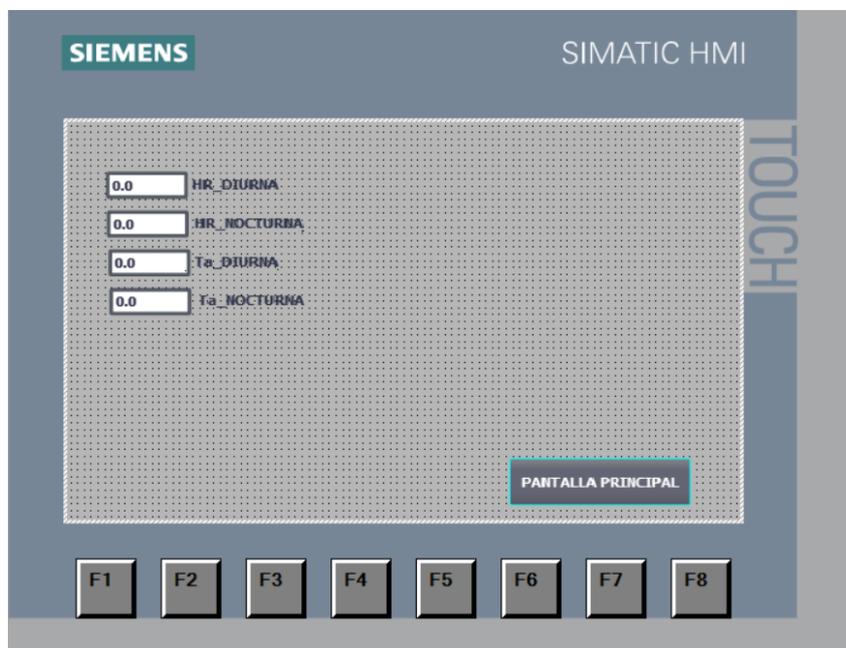


Figura 44. Variables Internas HMI. Fuente: Propia con TIA PORTAL V17



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO DE PRODUCCIÓN DE TOMATES

II Planos

II Planos

1 Programa Ladder

Table of contents

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly]	3 - 1
Program blocks	
Main [OB1]	4 - 1
Startup [OB126]	5 - 1
G0 [FC1]	6 - 1
G1 [FC2]	7 - 1
G3 [FC4]	8 - 1
FECHAHORA [DB11]	9 - 1
G2 [FB1]	10 - 1
System blocks	
Program resources	
0s/X102 [DB1]	11 - 1
3s/X200 [DB2]	12 - 1
3s/X300 [DB3]	13 - 1
IEC_Counter_0_DB [DB4]	14 - 1
IEC_Timer_0_DB [DB5]	15 - 1
CONT_1 [DB6]	16 - 1
CONT_2 [DB7]	17 - 1
CONT_3 [DB8]	18 - 1
2OMINS [DB9]	19 - 1
3s/X400 [DB10]	20 - 1
Technology objects	21 - 1
PLC tags	
Default tag table [127]	
PLC tags	22 - 1
User constants	23 - 1
PLC data types	
System data types	
Receive_Conditions	24 - 1
P2P_RcStart	25 - 1
P2P_Rc_Seq	26 - 1
P2P_RcEnd	27 - 1
P2P_RcGeneral	28 - 1
Watch and force tables	
Force table	29 - 1
Traces	30 - 1
Measurements	31 - 1
Combined measurements	32 - 1
OPC UA communication	

Owner	Project name	Project name	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 2 - 1	

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly] / Program blocks

Main [OB1]

Main Properties

General

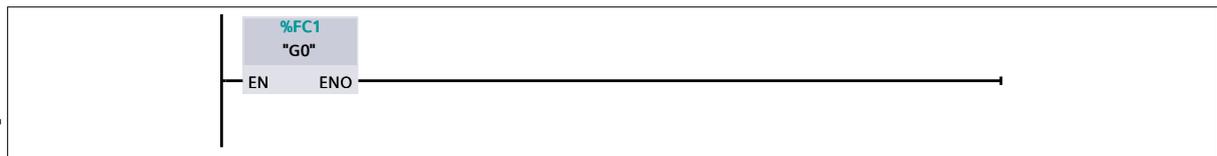
Name	Main	Number	1
Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic		

Information

Title	"Main Program Sweep (Cycle)"	Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	

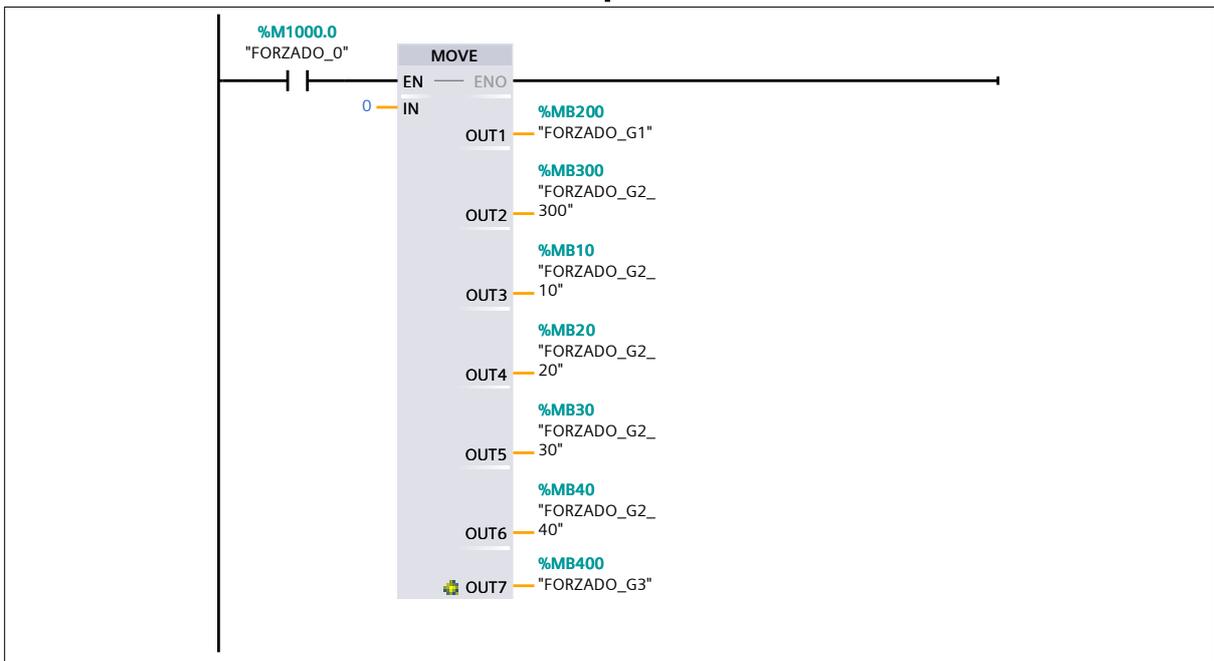
Name	Data type	Default value
▼ Input		
Initial_Call	Bool	
Remanence	Bool	
Temp		
Constant		

Network 1: INICIALIZACION_G0

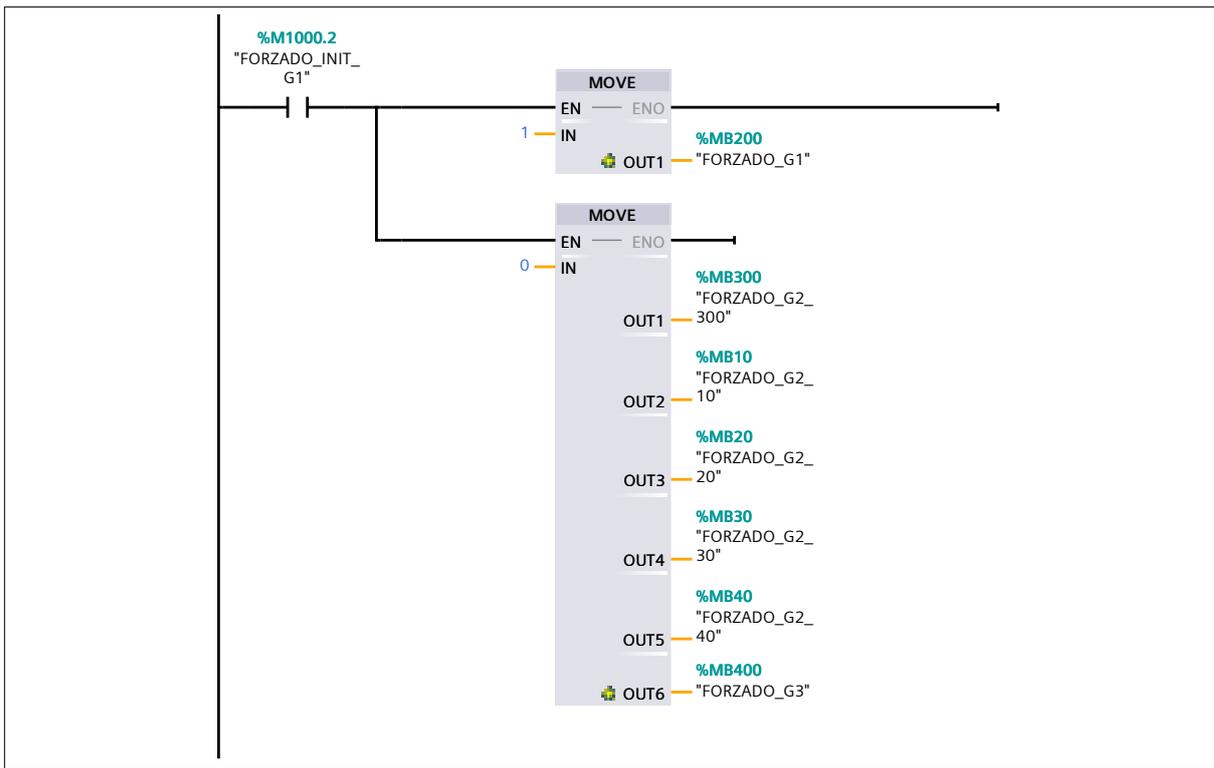


Network 2: FORZADO_0

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 4 - 1	

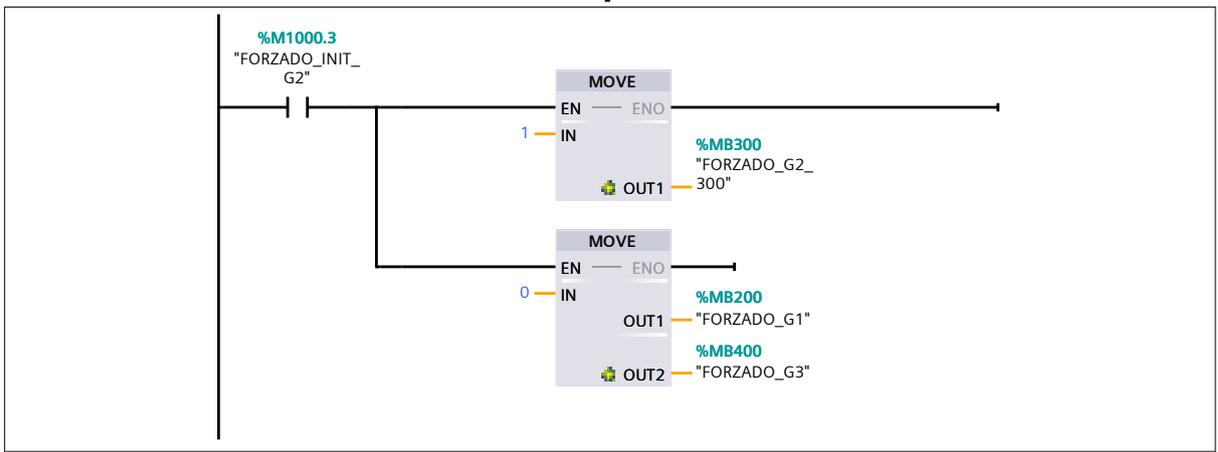


Network 3: FORZADO_INIT_G1

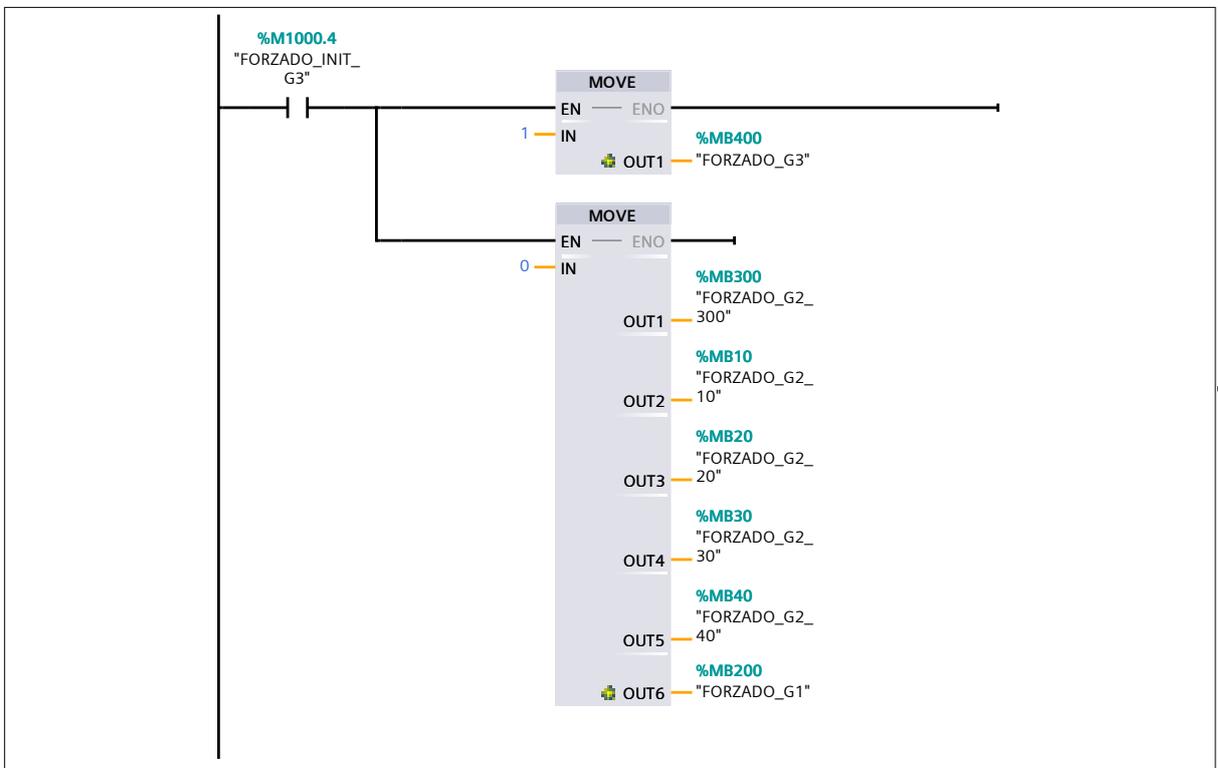


Network 4: FORZADO_INIT_G2

Owner	Project name		Projecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator		Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By		Location			
Checked By		Description 1st		Language	
Approved By		Description 2nd		en-US	
		1st View		Version	
				Sheet 4 - 2	



Network 5: FORZADO_INIT_G1



Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 4 - 3	

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly] / Program blocks

Startup [OB126]

Startup Properties

General

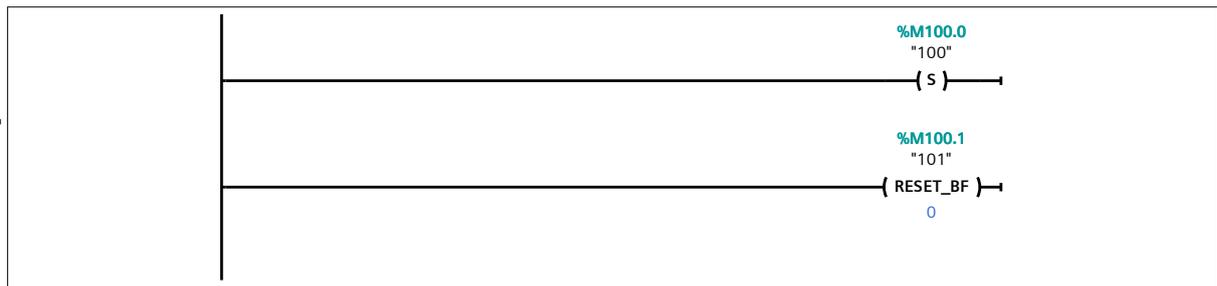
Name	Startup	Number	126
Type	OB	Language	LAD
Numbering	Automatic		

Information

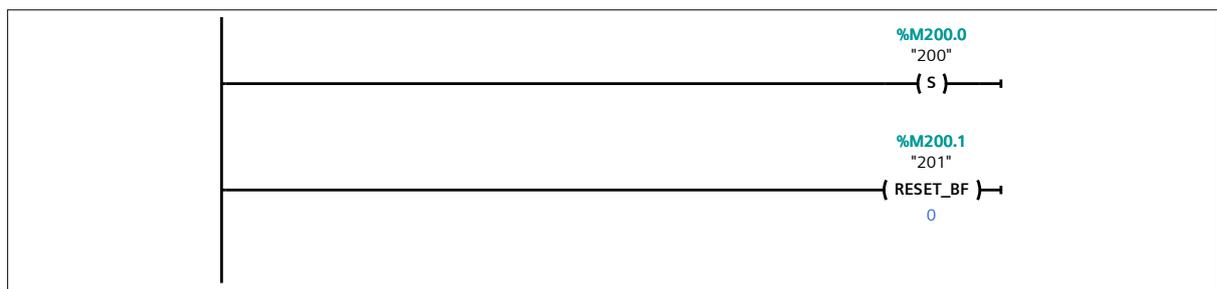
Title	"Complete Restart"	Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
▼ Input		
LostRetentive	Bool	
LostRTC	Bool	
Temp		
Constant		

Network 1: INICIALIZACIÓN G0



Network 2: INICIALIZACIÓN G1



Network 3: INICIALIZACIÓN G2

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 5 - 1	

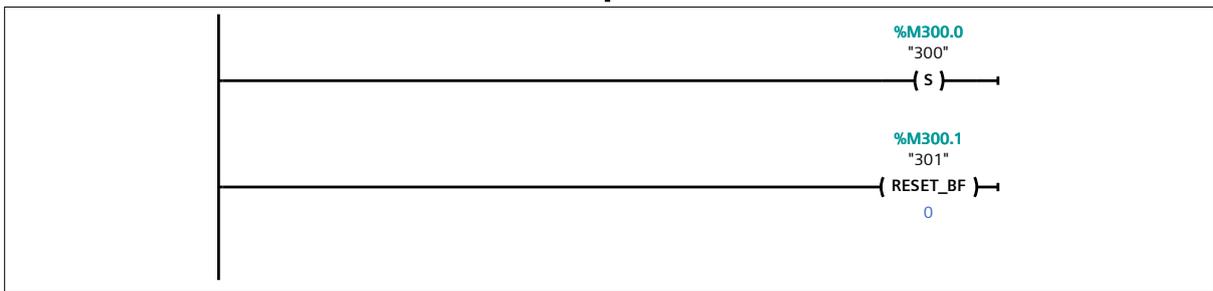
1

2

3

4

A



Network 4: INICIALIZACIÓN G3

B



C

D

E

F

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 5 - 2	

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly] / Program blocks

GO [FC1]

GO Properties

General

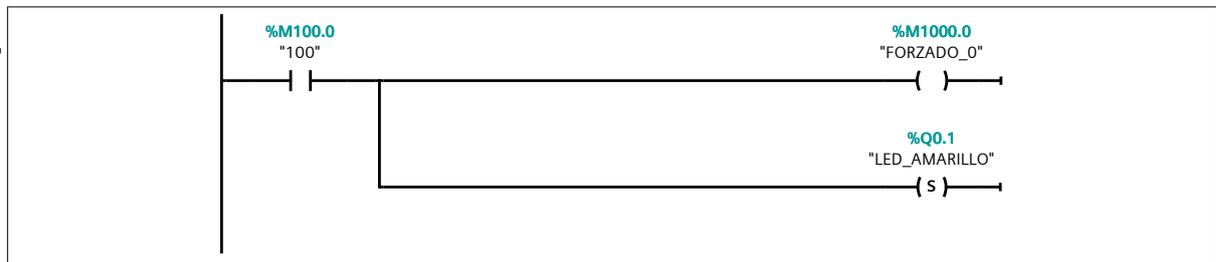
Name	GO	Number	1
Type	FC	Language	LAD
Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	

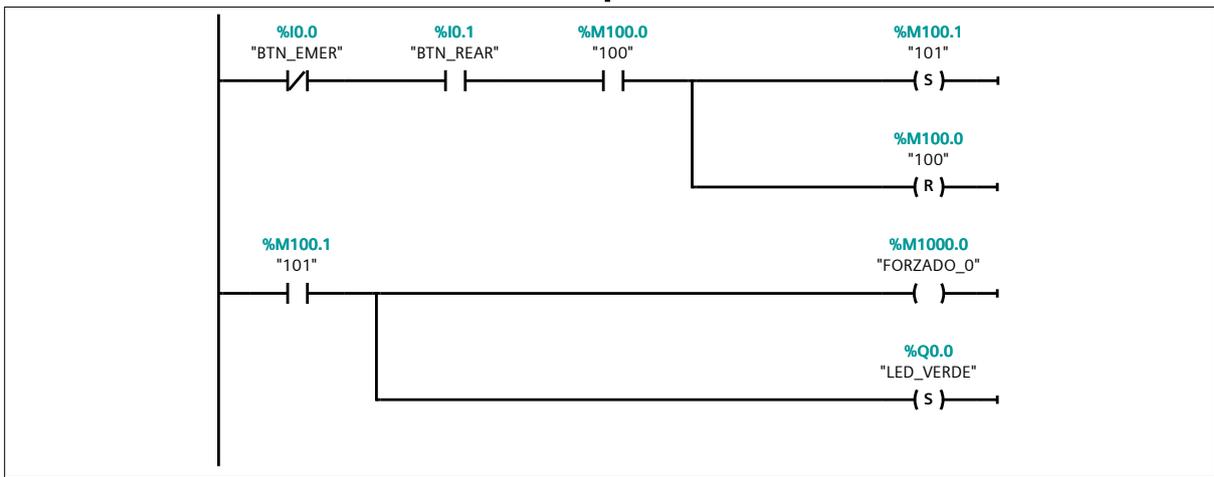
Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
GO	Void	

Network 1: ETAPA 100

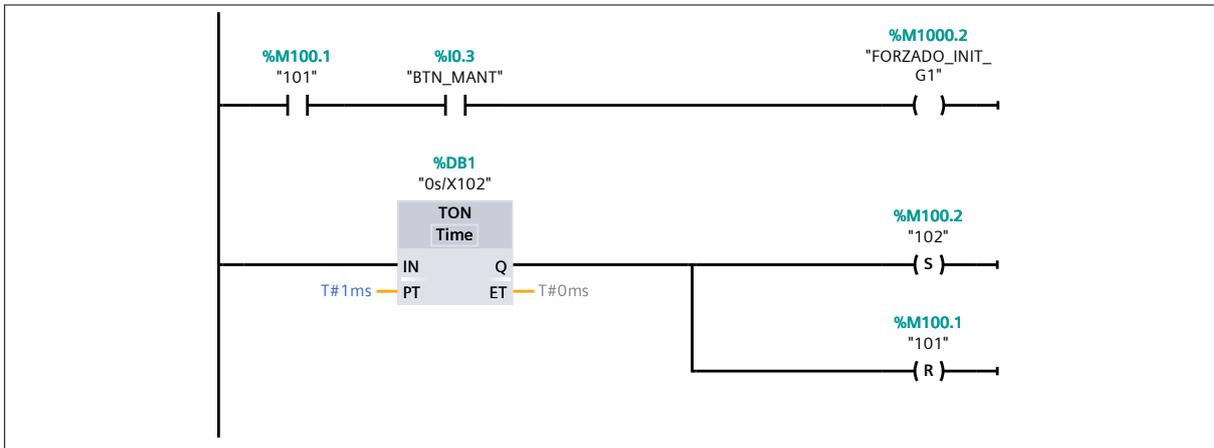


Network 2: ETAPA 101

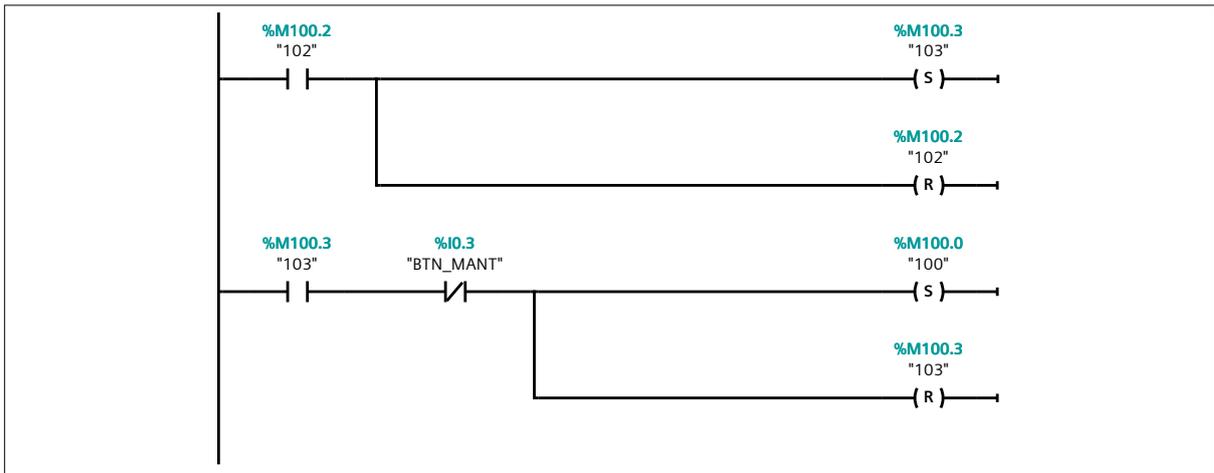
Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 6 - 1	



Network 3: ETAPA 102

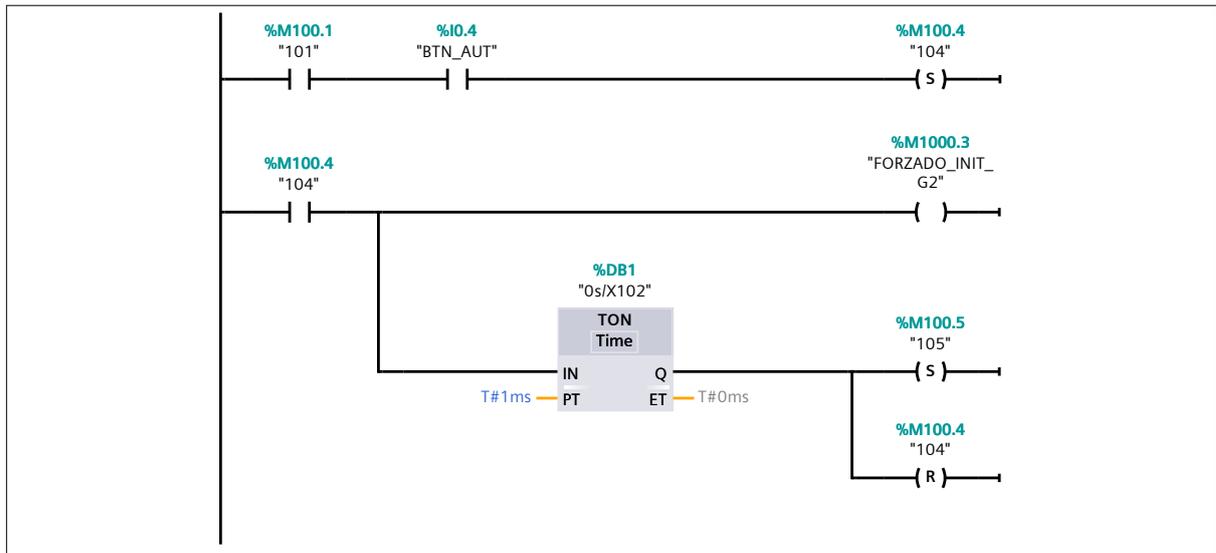


Network 4: ETAPA 103

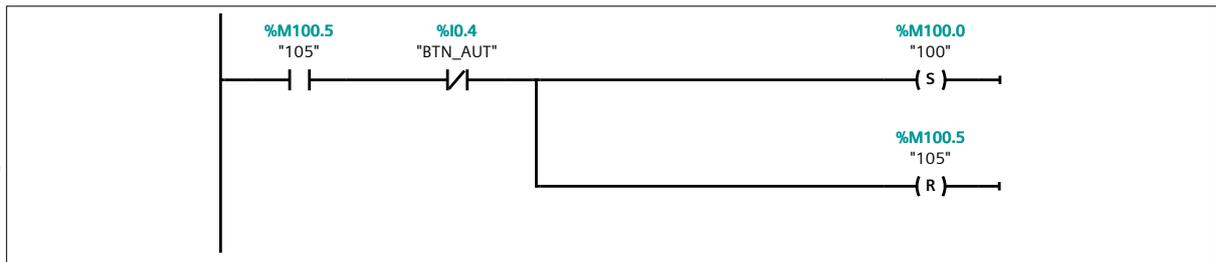


Owner	Project name Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas		Date 07/22/2023
	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Operator	Location		
Designed By	Description 1st		
Checked By	Description 2nd	Language en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 6 - 2

Network 5: ETAPA 104

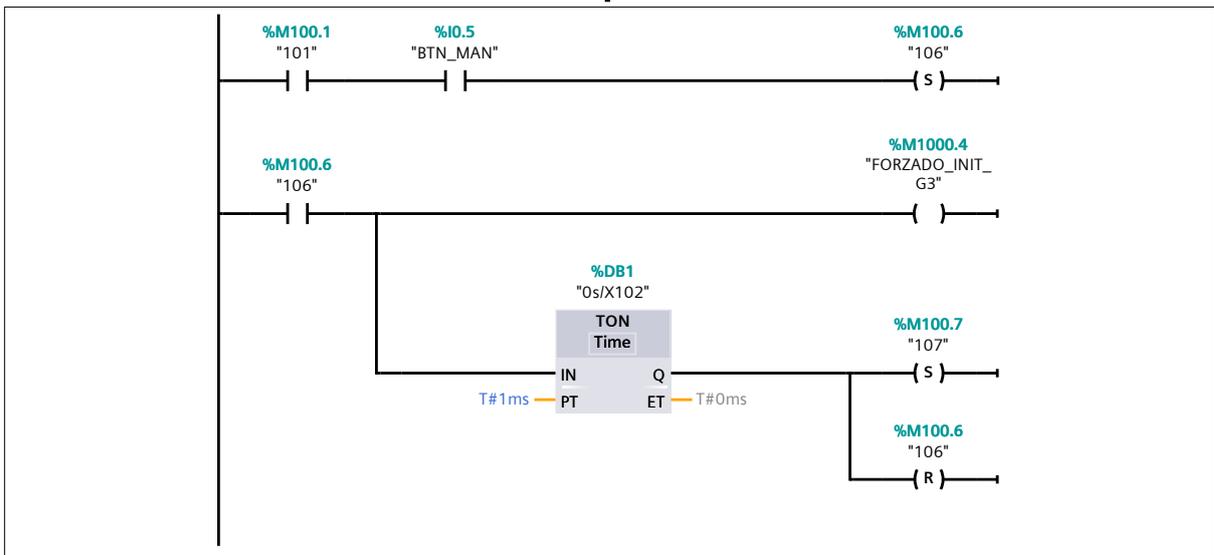


Network 6: ETAPA 105

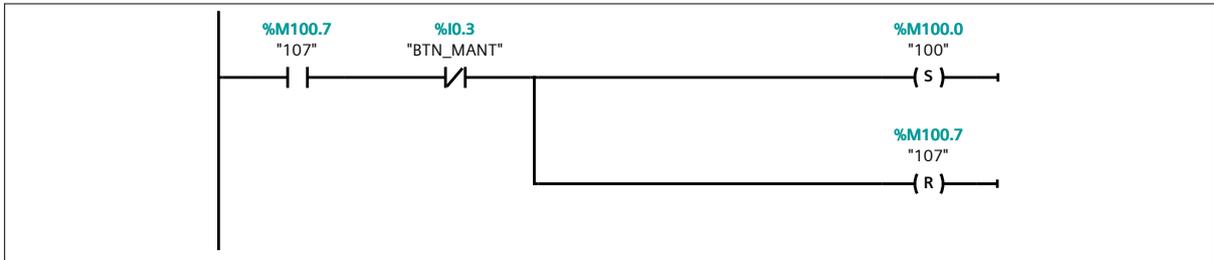


Network 7: ETAPA 106

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	
	1st View		Sheet 6 - 3	



Network 8: ETAPA 107



Owner	Project name		Projecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator		Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By		Location			
Checked By	Description 1st		Language		
	Description 2nd		en-US		
Approved By	1st View		Version	Sheet 6 - 4	

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly] / Program blocks

G1 [FC2]

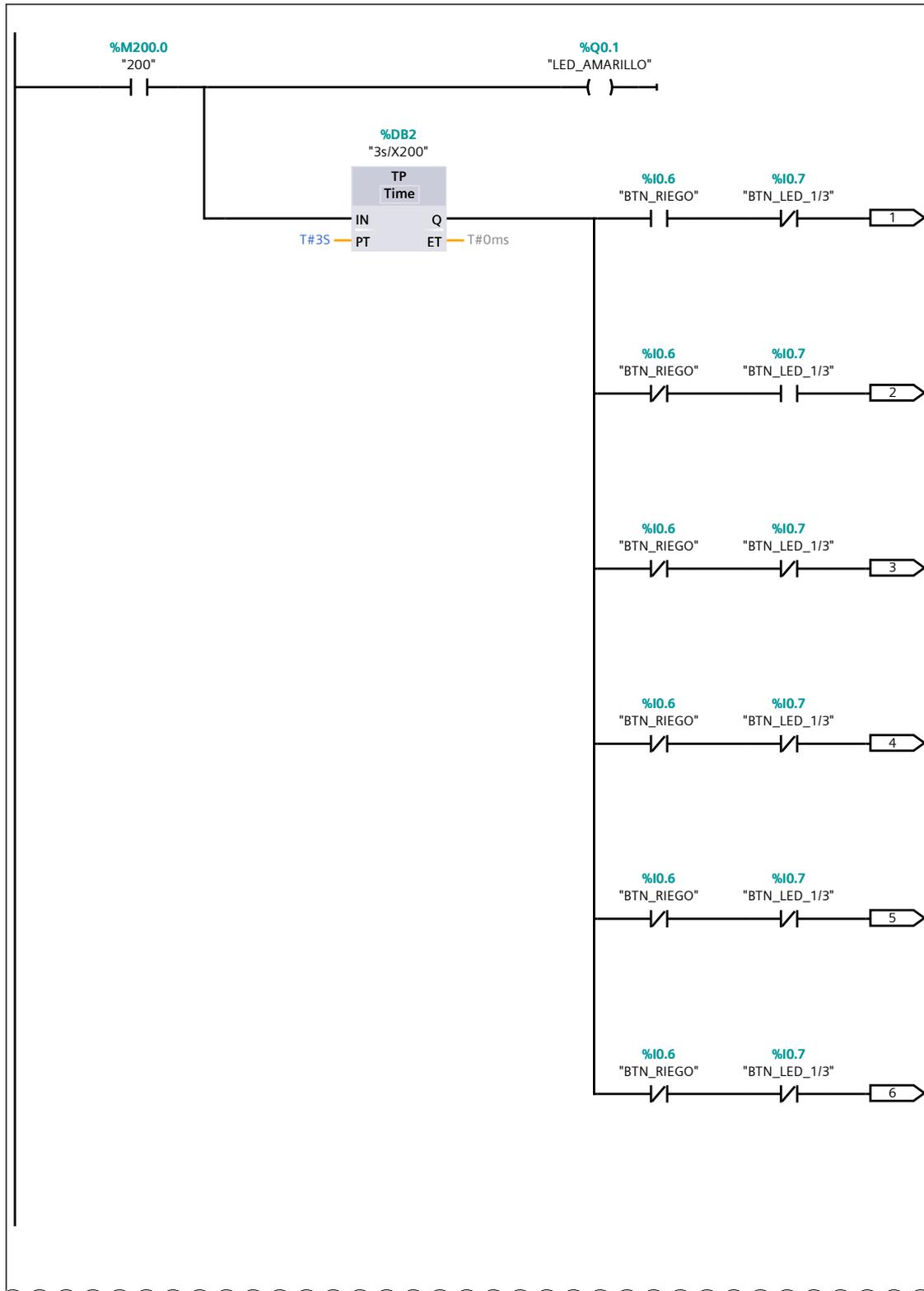
G1 Properties			
General			
Name	G1	Number	2
Type	FC	Language	LAD
Numbering	Automatic		
Information			
Title		Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
G1	Void	

Network 1: ETAPA 200

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 7 - 1	

Network 1: ETAPA 200 (1.1 / 2.1)

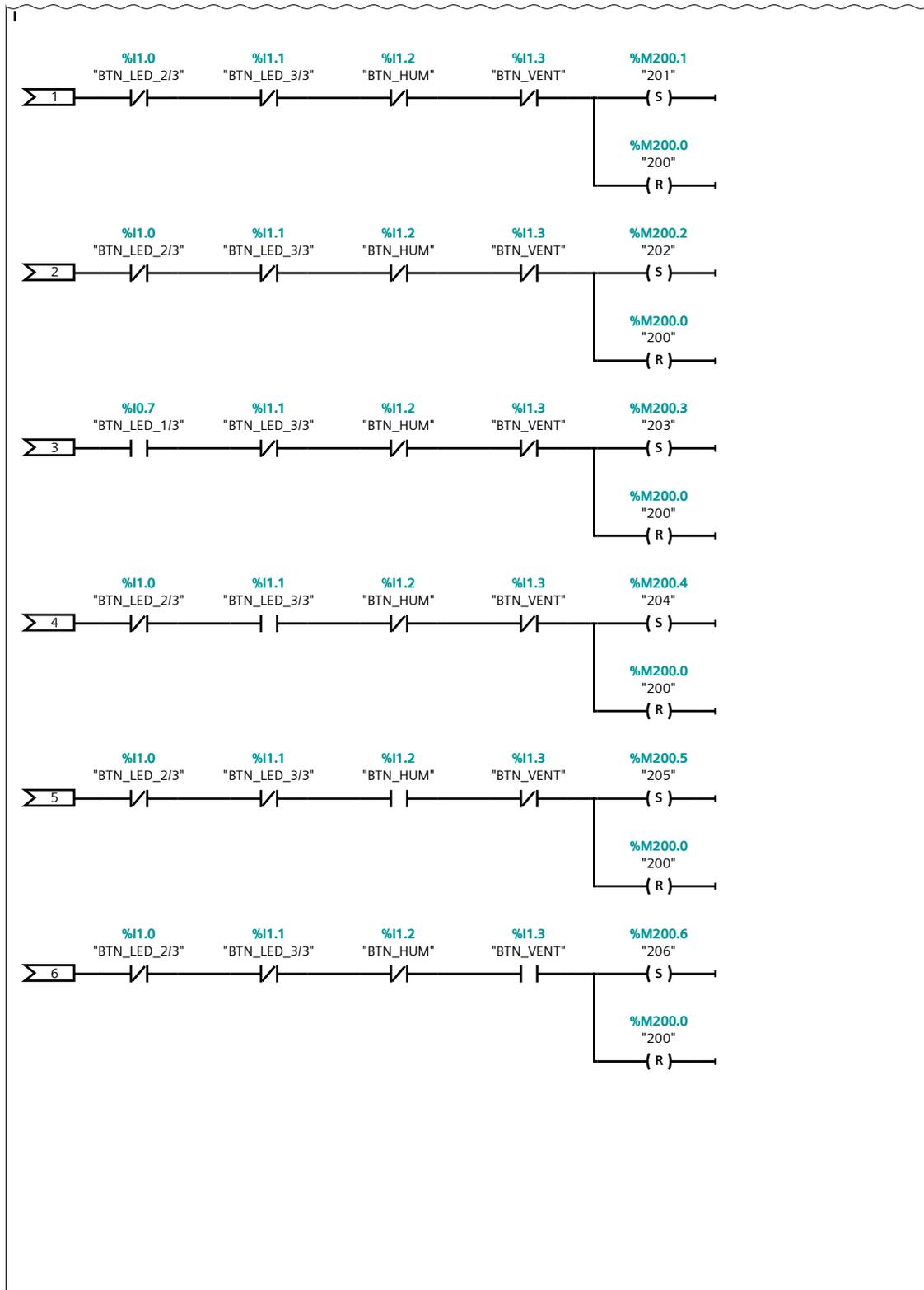


2.1 (Page7 - 3)

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
	Description 2nd		en-US	
Approved By	1st View		Version	Sheet 7 - 2

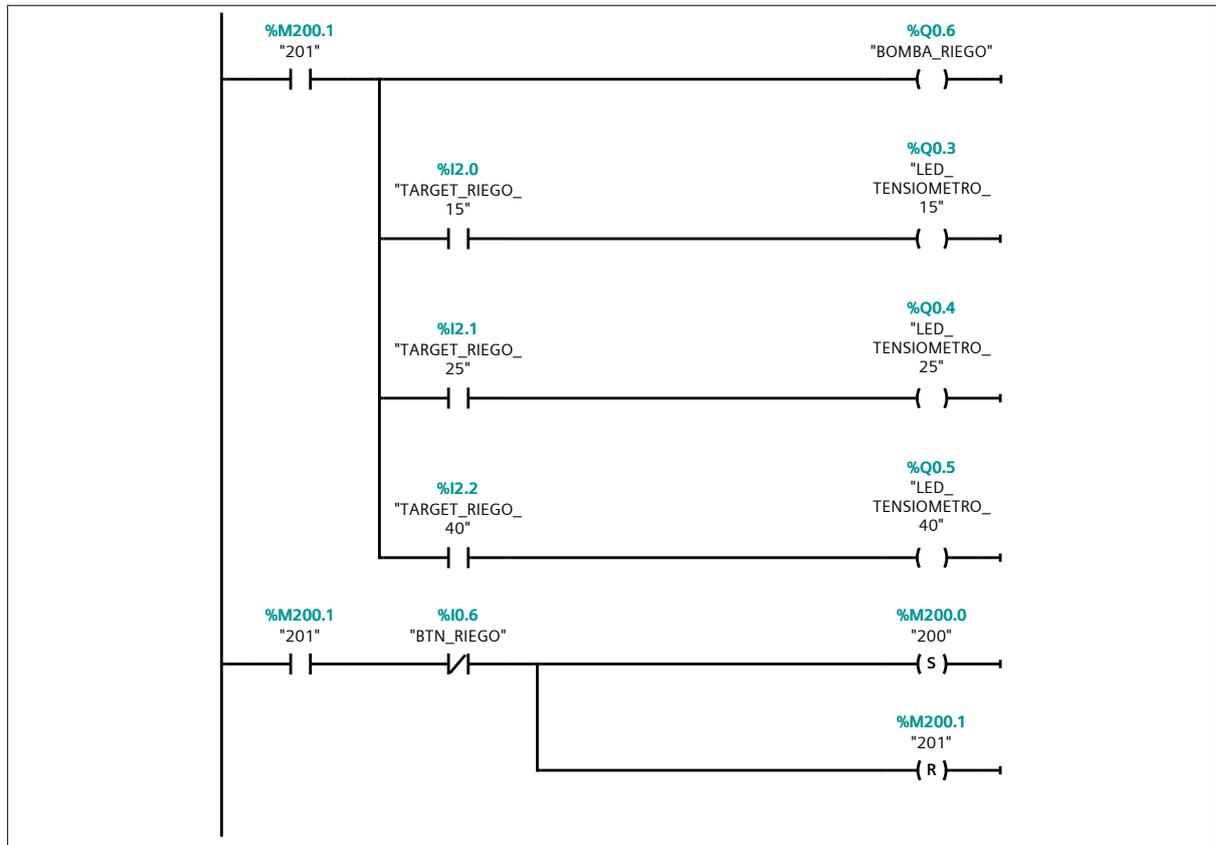
Network 1: ETAPA 200 (2.1 / 2.1)

1.1 (Page7 - 2)

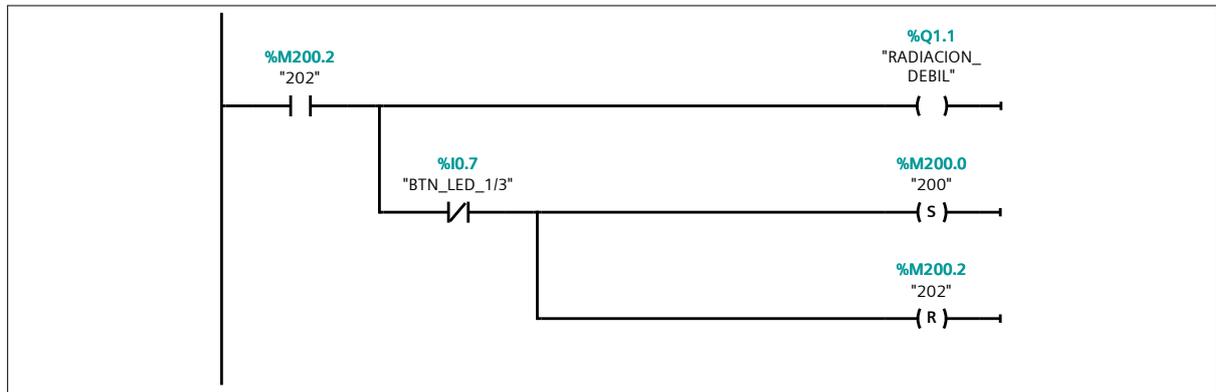


Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
		Location		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd		Language en-US	
Approved By	1st View		Version	Sheet 7 - 3

Network 2: ETAPA 201

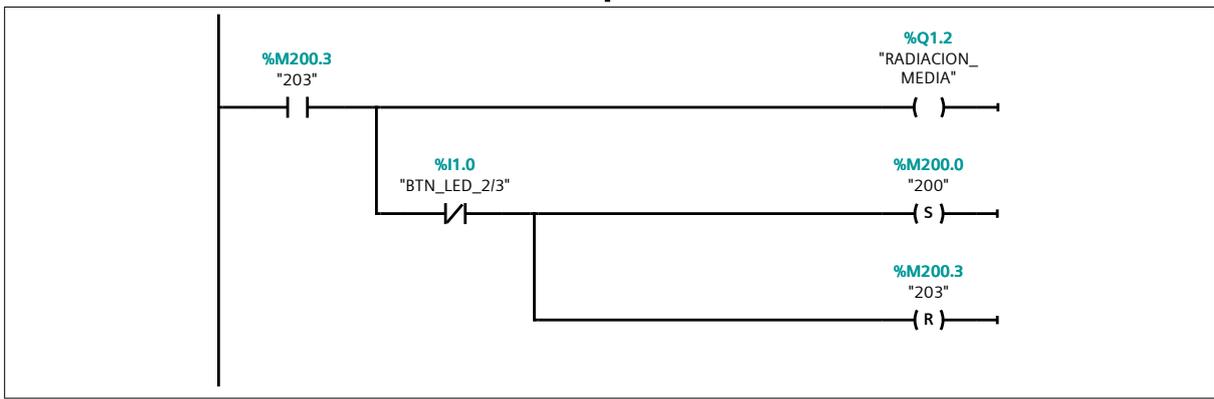


Network 3: ETAPA 202

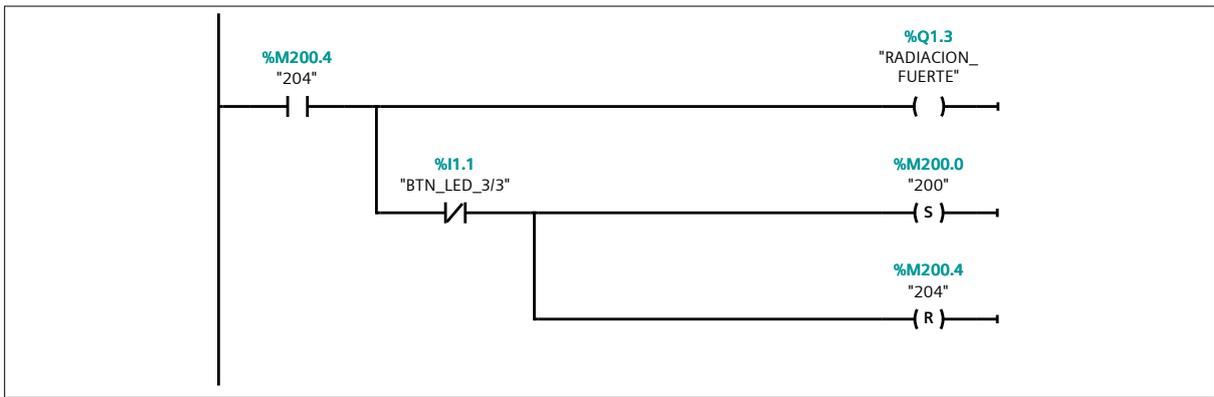


Network 4: ETAPA 203

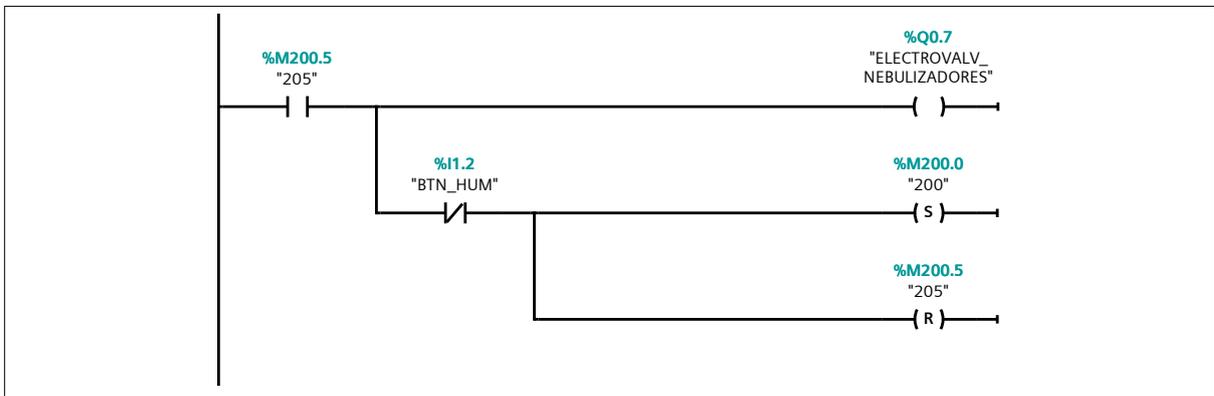
Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 7 - 4



Network 5: ETAPA 204



Network 6: ETAPA 205



Network 7: ETAPA 206

Owner	Project name		Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas		Date	07/22/2023				
	Operator	Project path						C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Location										
Designed By	Description 1st									
Checked By	Description 2nd				Language				en-US	
Approved By	1st View				Version		Sheet 7 - 5			

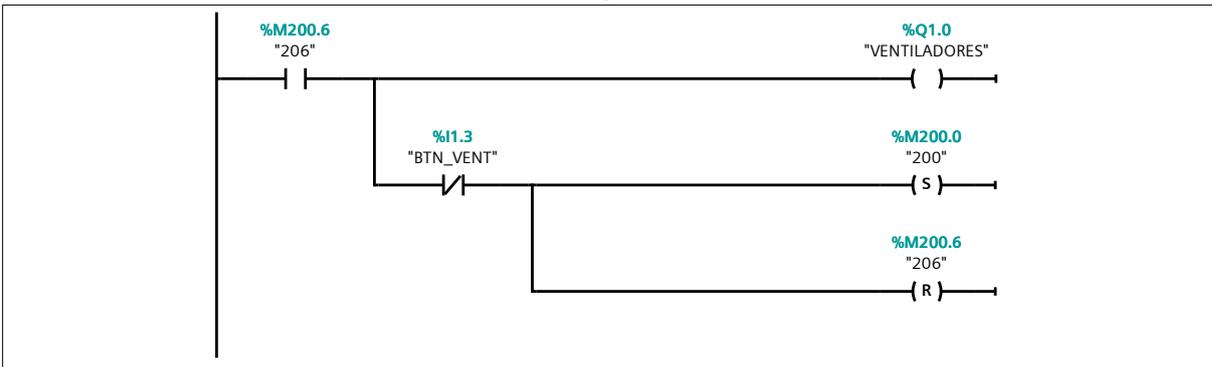
1

2

3

4

A



B

C

D

E

F

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 7 - 6	

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly] / Program blocks

G3 [FC4]

G3 Properties

General

Name	G3	Number	4
Type	FC	Language	LAD
Numbering	Automatic		

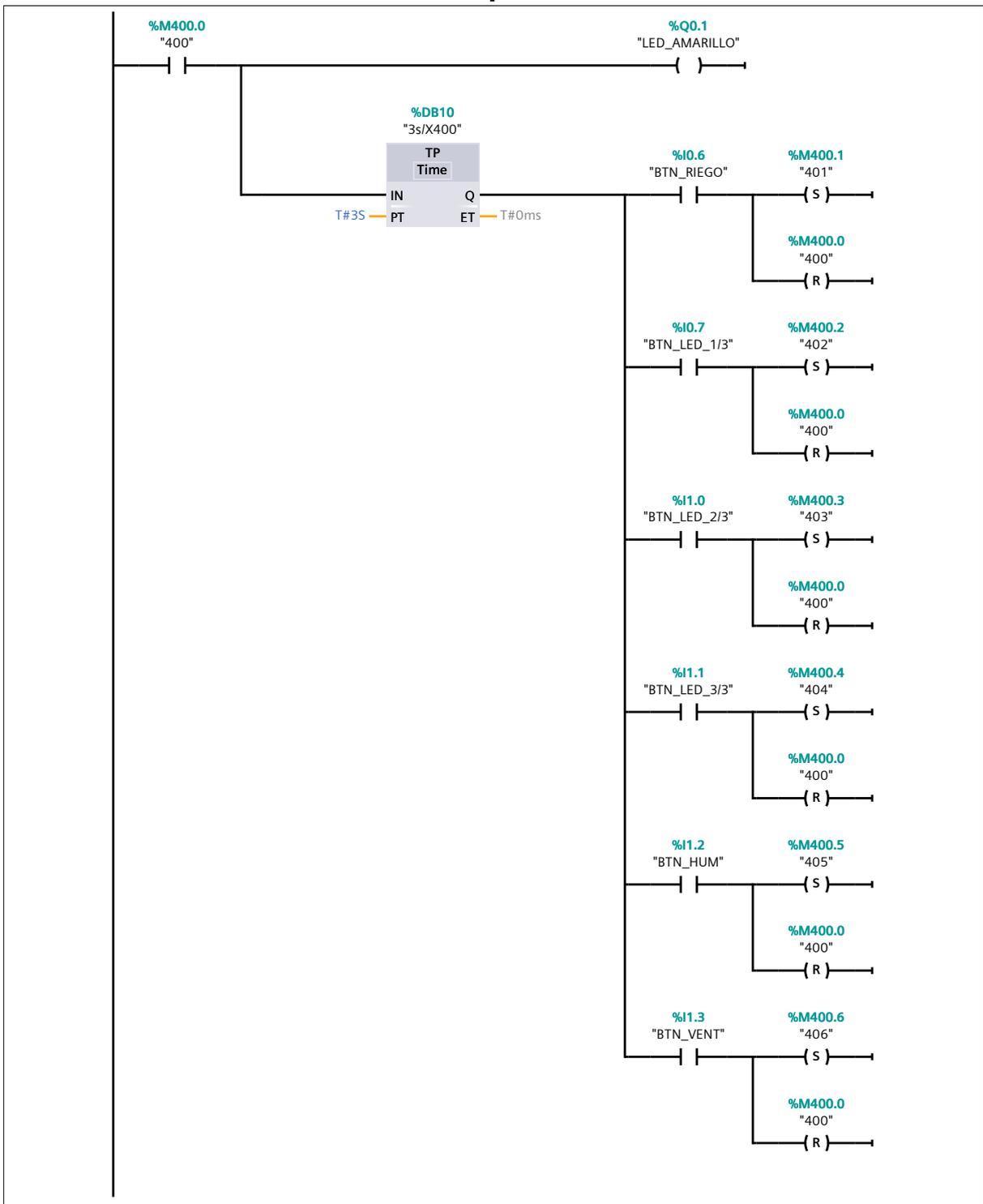
Information

Title		Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value
Input		
Output		
InOut		
Temp		
Constant		
▼ Return		
G3	Void	

Network 1: ETAPA 400

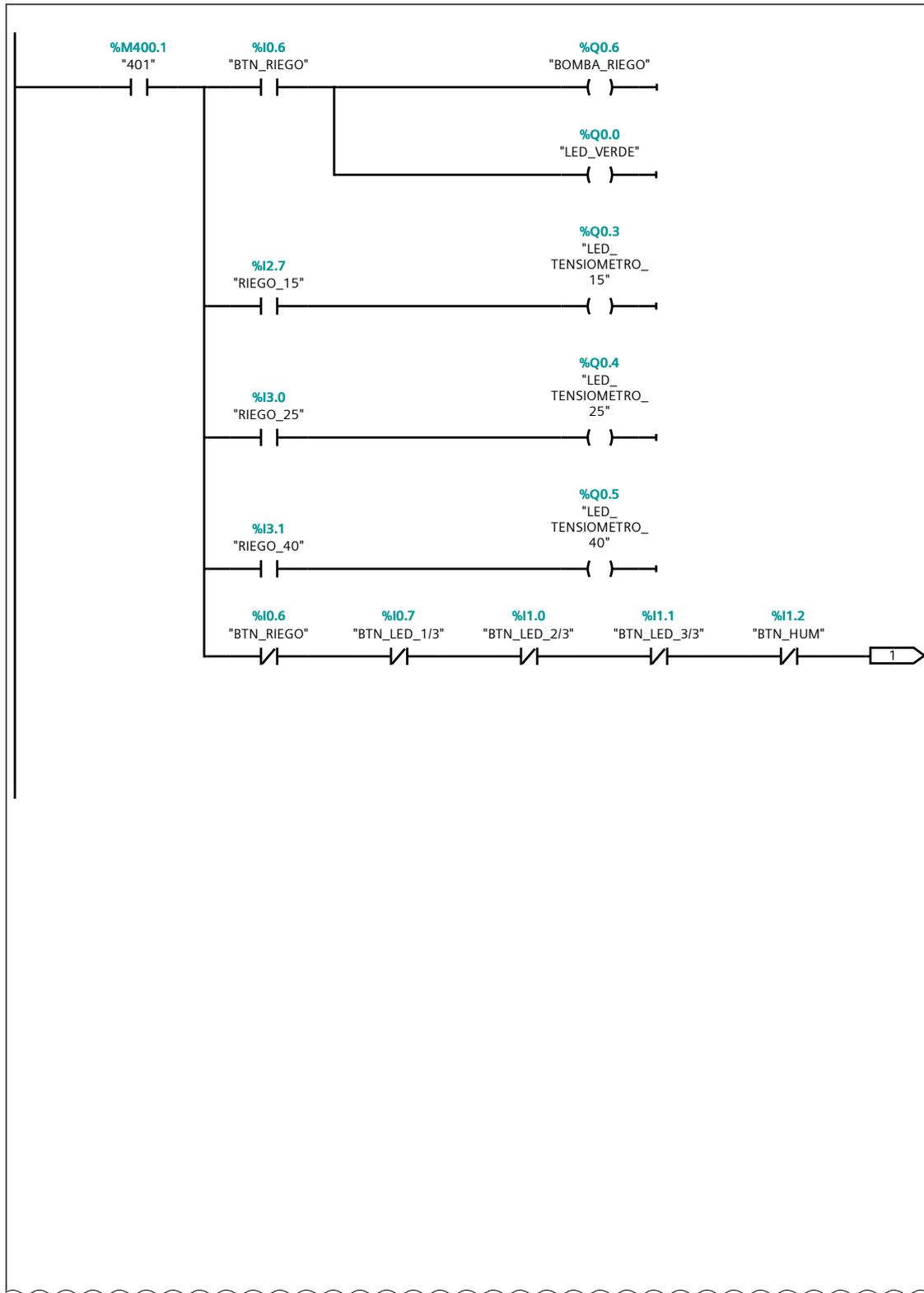
Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 8 - 1	



Network 2: ETAPA 401

Owner	Project name Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas		Date 07/22/2023
	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Operator	Location		
Designed By	Description 1st		
Checked By	Description 2nd	Language en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 8 - 2

Network 2: ETAPA 401 (1.1 / 2.1)

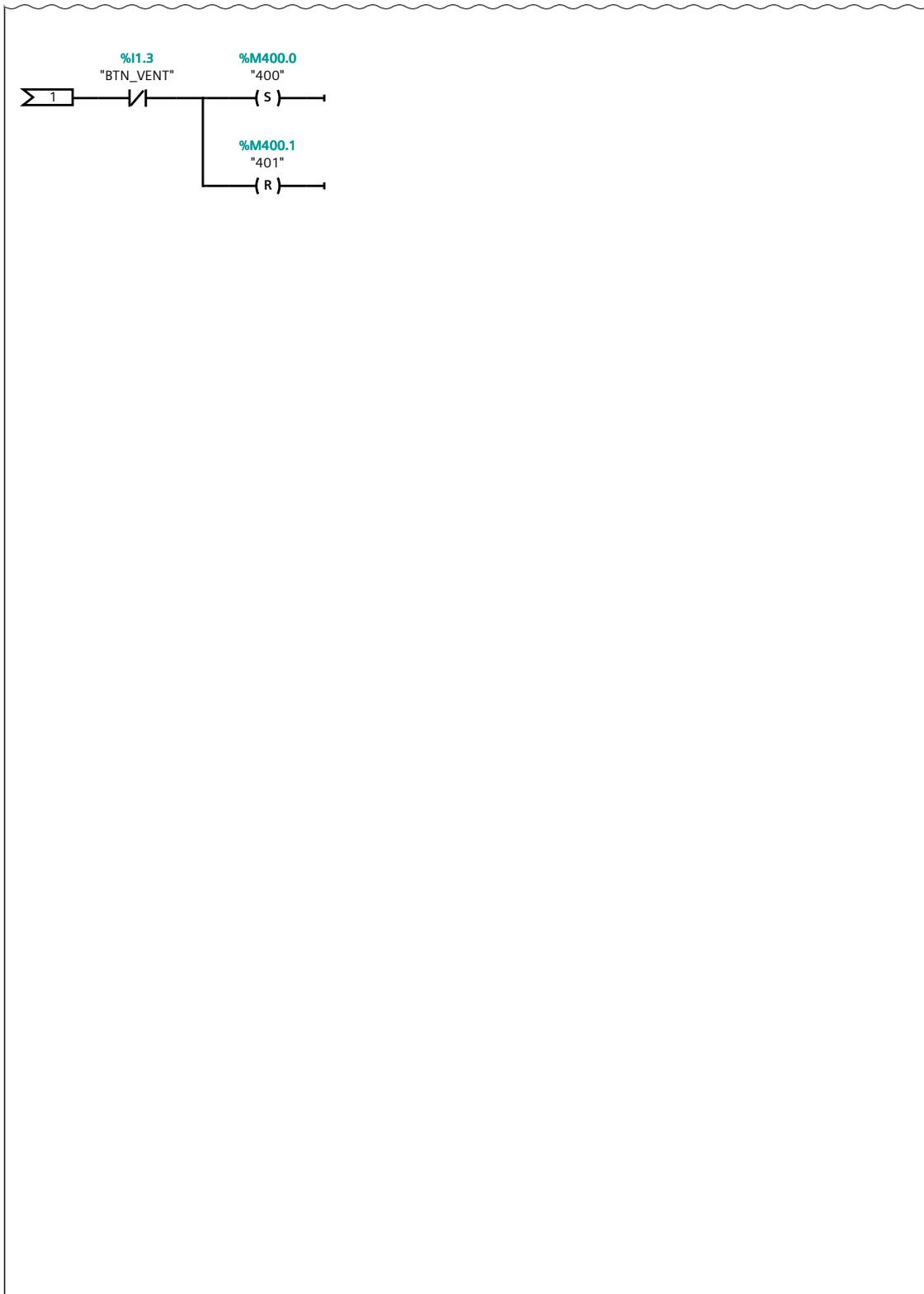


2.1 (Page8 - 4)

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 8 - 3

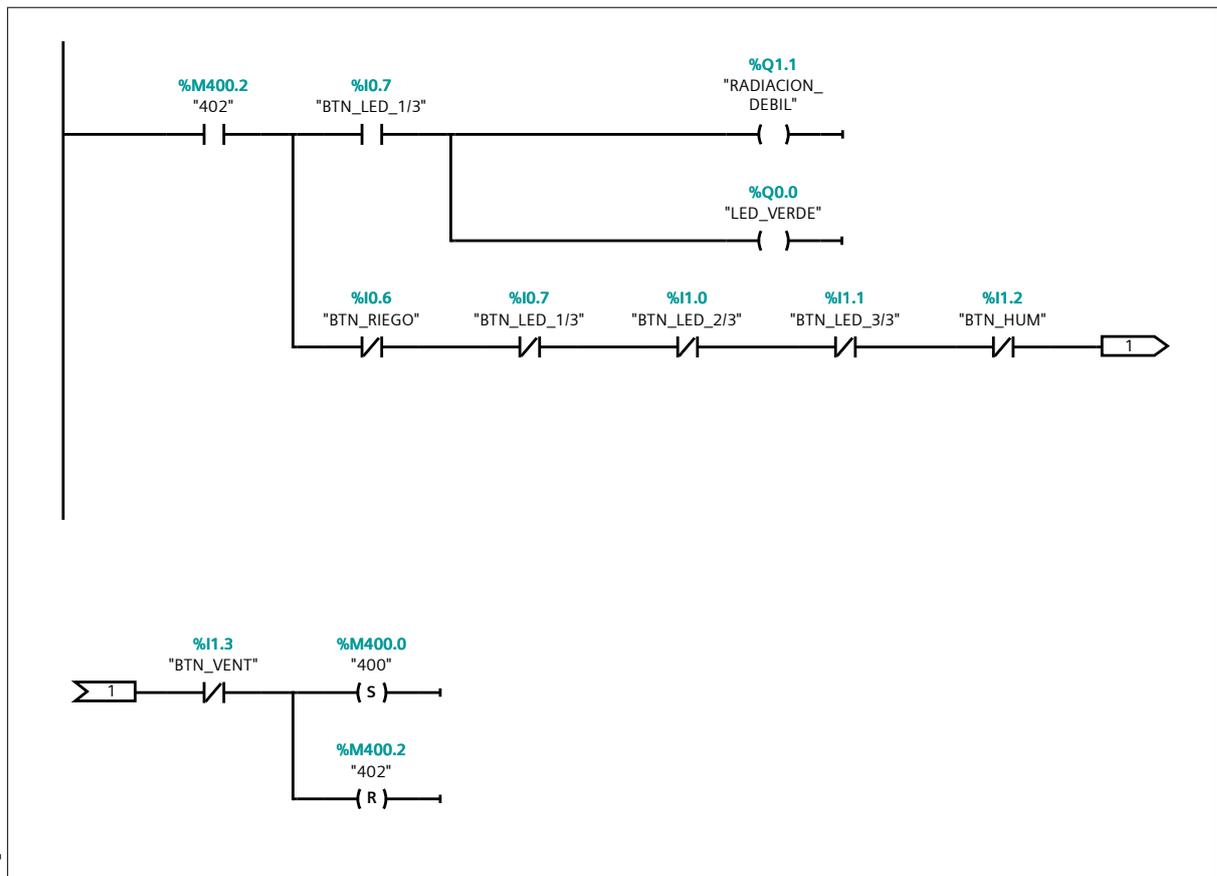
Network 2: ETAPA 401 (2.1 / 2.1)

1.1 (Page8 - 3)



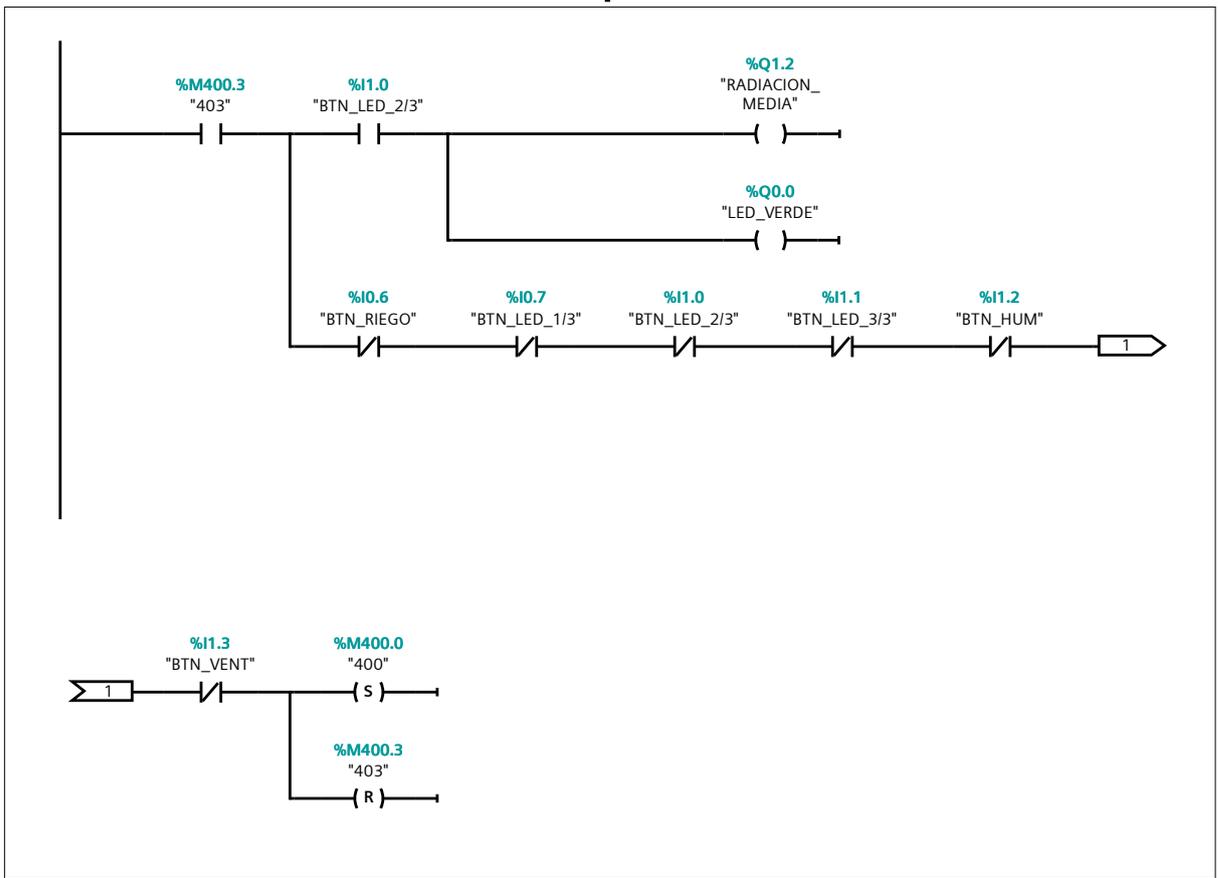
Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	Sheet 8 - 4
	1st View			

Network 3: ETAPA 402



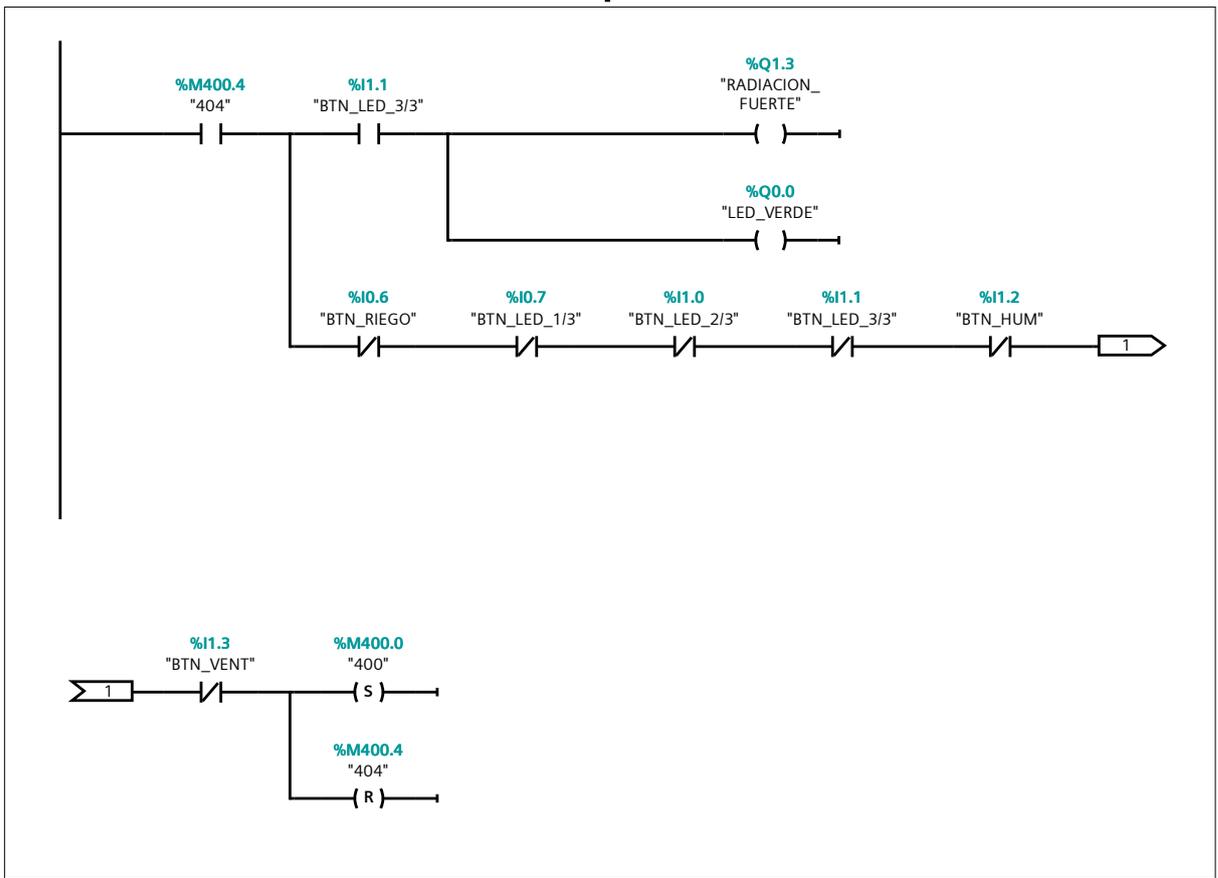
Network 4: ETAPA 403

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	
	1st View		Sheet 8 - 5	



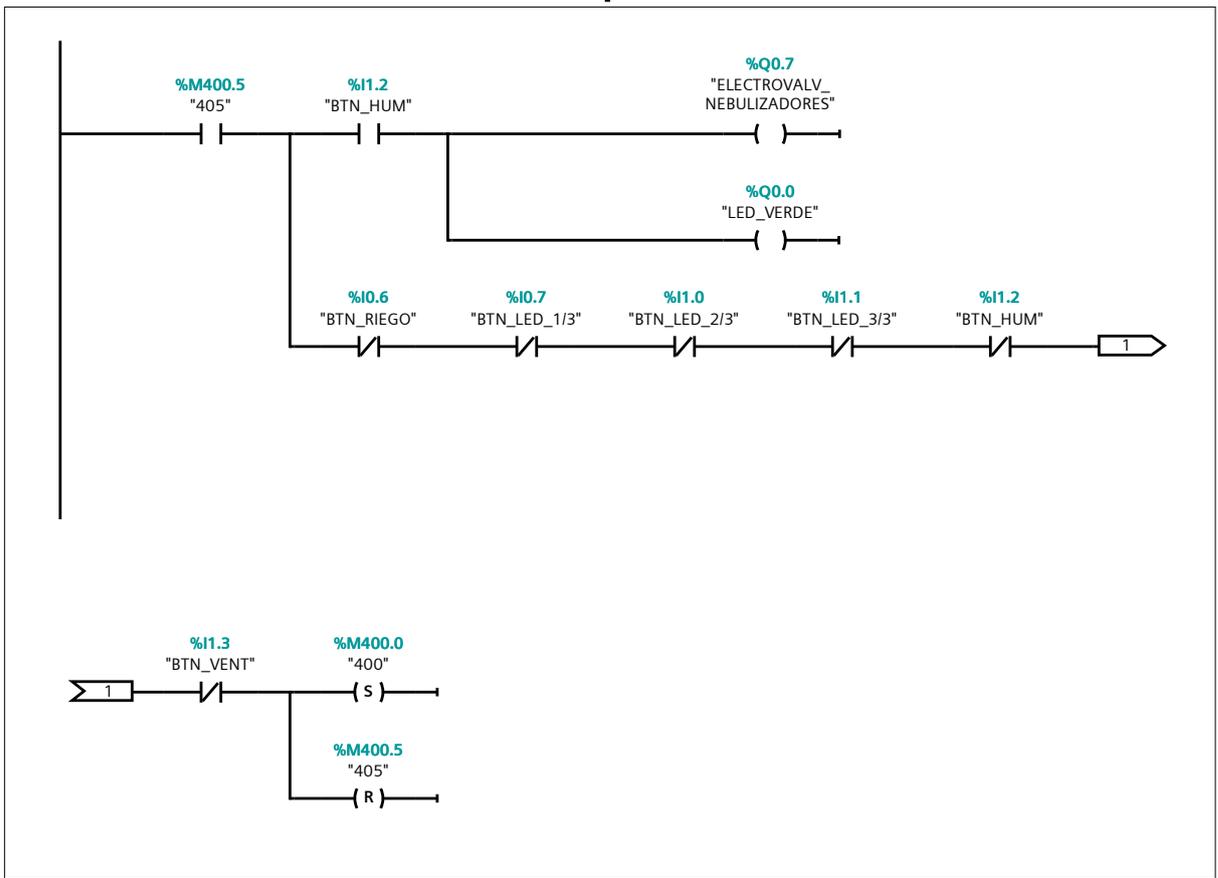
Network 5: ETAPA 404

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	Sheet 8 - 6
	1st View			



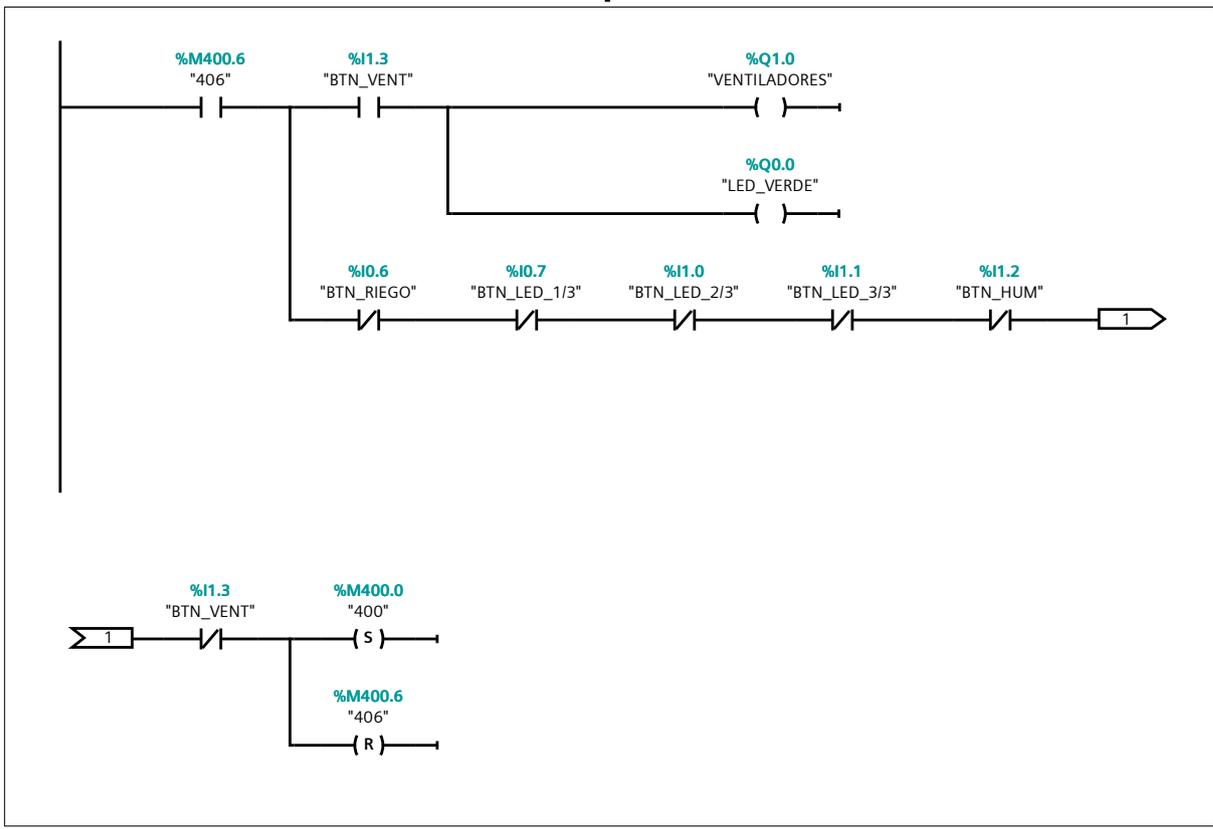
Network 6: ETAPA 405

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	Sheet 8 - 7
	1st View			



Network 7: ETAPA 406

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	
	1st View		Sheet 8 - 8	



Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	Sheet 8 - 9
	1st View			

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly] / Program blocks

FECHAHORA [DB11]

FECHAHORA Properties

General

Name	FECHAHORA	Number	11
Type	DB	Language	DB
Numbering	Automatic		

Information

Title		Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Start value	Retain
▼ Static			
Lecturas	DTL	DTL#1970-01-01-00:00:00	False

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 9 - 1	

PLC_1 [CPU 1215C DC/DC/Rly] / Program blocks

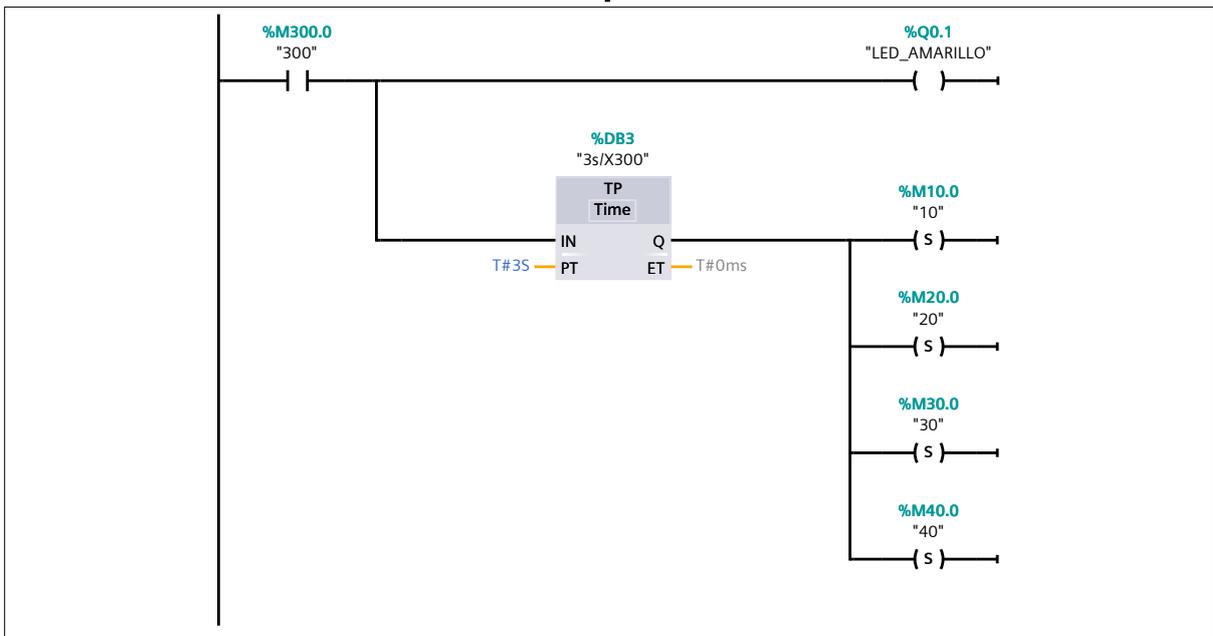
G2 [FB1]

G2 Properties			
General			
Name	G2	Number	1
Type	FB	Language	LAD
Numbering	Automatic		
Information			
Title		Author	
Comment		Family	
Version	0.1	User-defined ID	

Name	Data type	Default value	Retain
▼ Input			
LUM	Int	0	Non-retain
HR_AMB	Int	0	Non-retain
HR_DIURNA	Int	0	Non-retain
HR_NOCTURNA	Int	0	Non-retain
Ta_AMB	Int	0	Non-retain
Ta_DIURNA	Int	0	Non-retain
Ta_NOCTURNA	Int	0	Non-retain
Output			
InOut			
Static			
Temp			
Constant			

Network 1: ETAPA 300

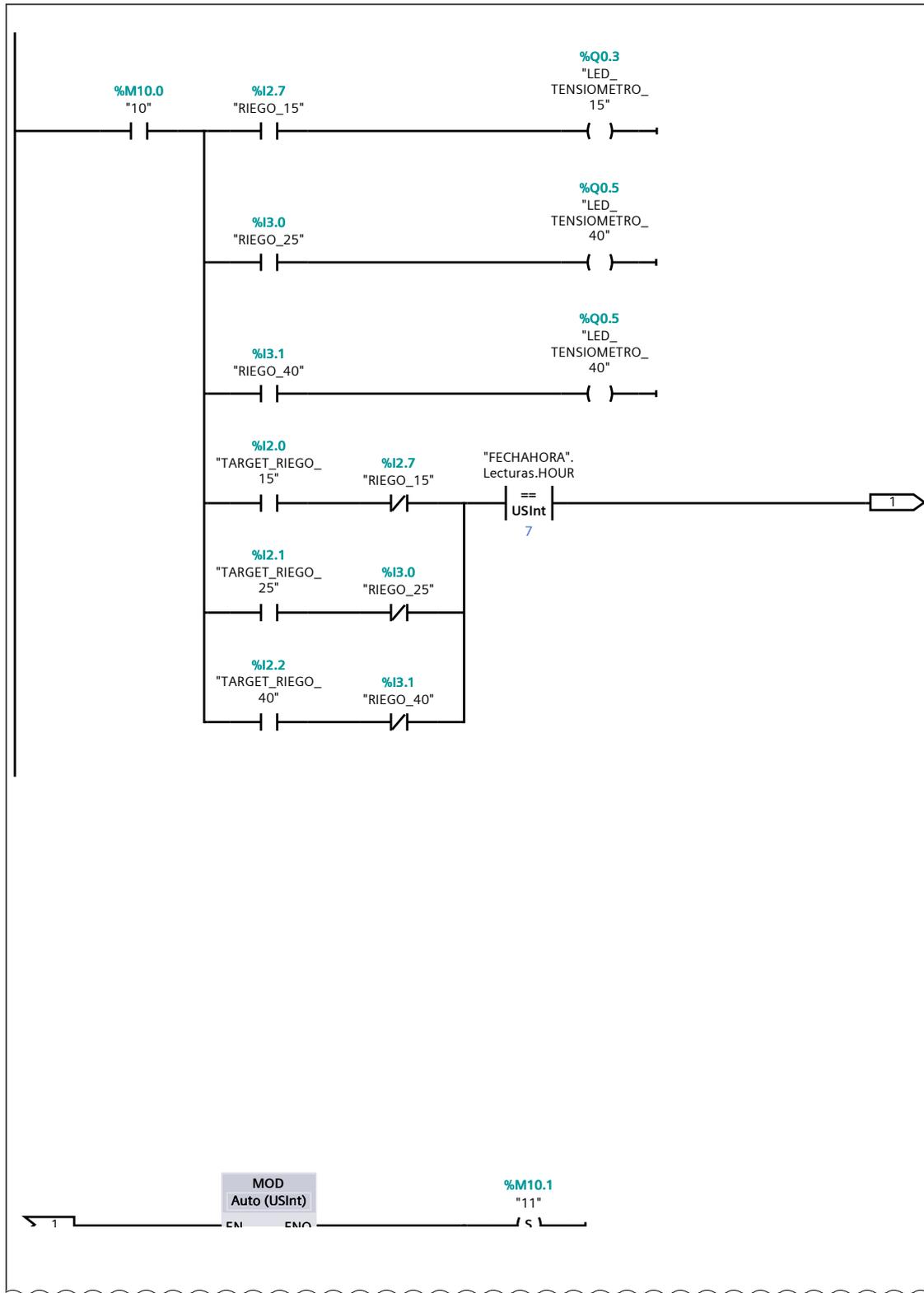
Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
	Location			
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 10 - 1	



Network 2: RIEGO_1_ETAPA 10

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	Sheet 10 - 2
	1st View			

Network 2: RIEGO_1_ETAPA 10 (1.1 / 2.1)

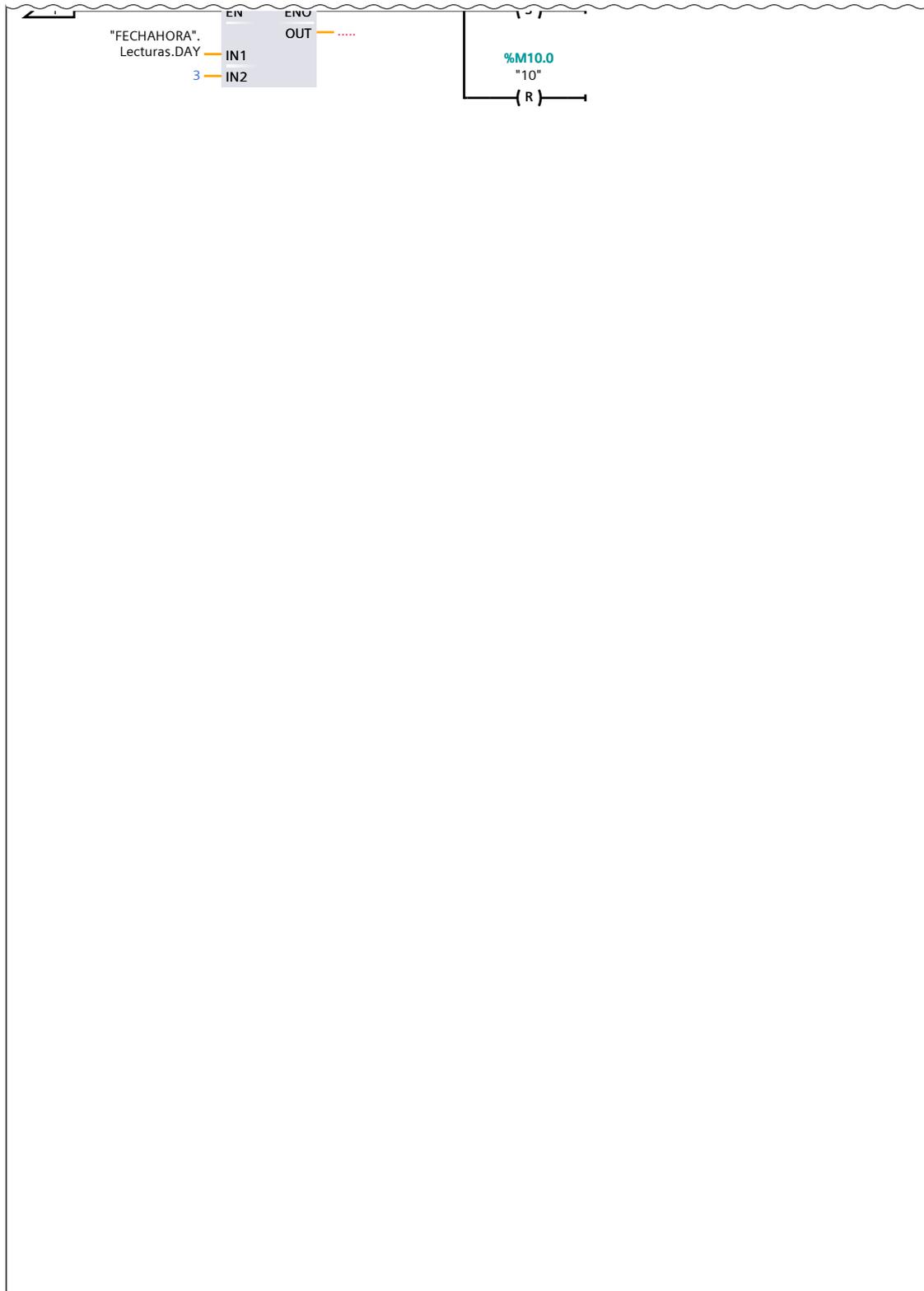


2.1 (Page10 - 4)

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 10 - 3

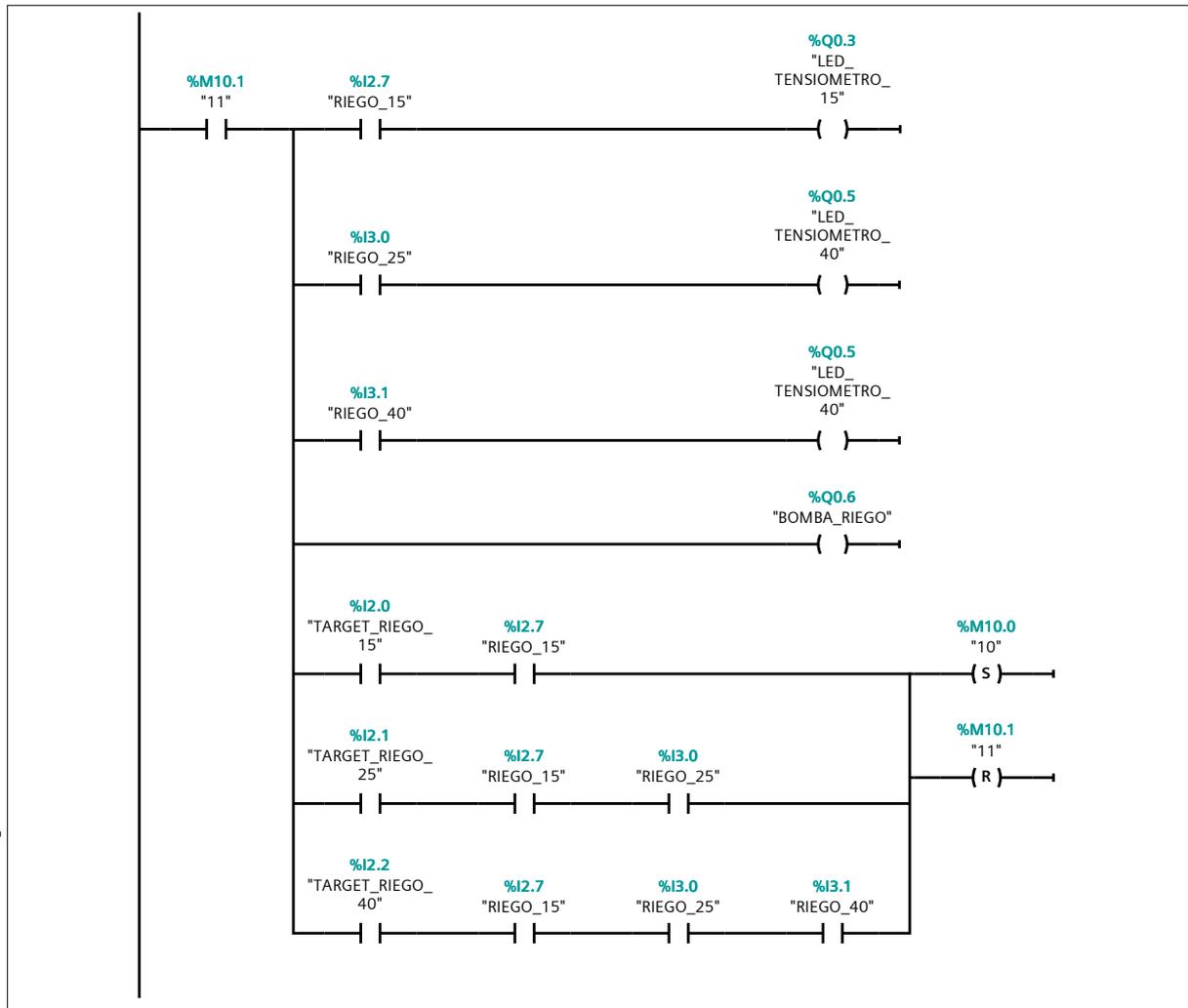
Network 2: RIEGO_1_ETAPA 10 (2.1 / 2.1)

1.1 (Page10 - 3)



Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language en-US	
Approved By	Description 2nd		Version	Sheet 10 - 4
	1st View			

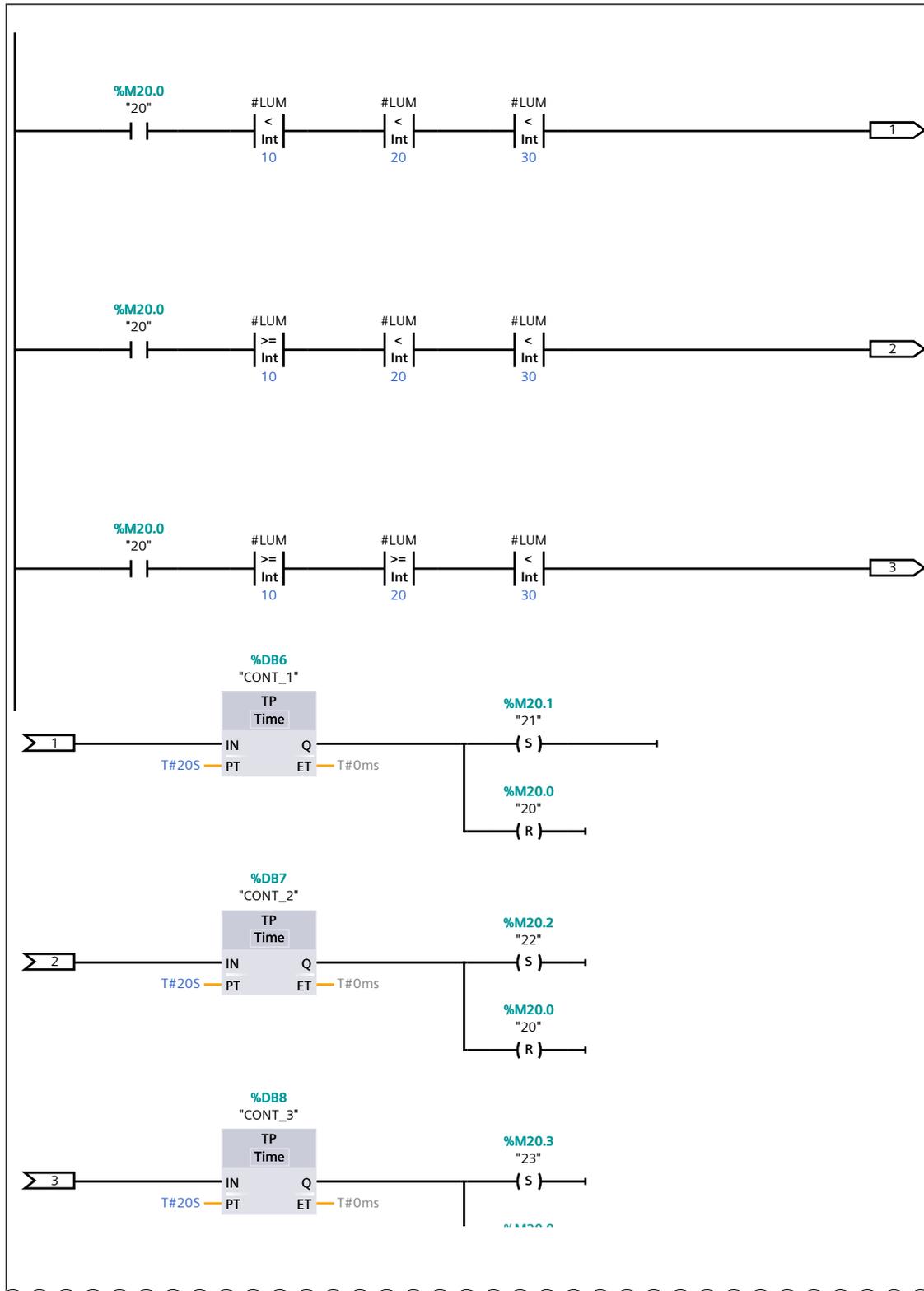
Network 3: RIEGO_1_ETAPA 11



Network 4: LED_2_ETAPA 20

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 10 - 5

Network 4: LED_2_ETAPA 20 (1.1 / 2.1)



2.1 (Page10 - 7)

Owner	Project name	Projecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 10 - 6	

1

2

3

4

A

Network 4: LED_2_ETAPA 20 (2.1 / 2.1)

1.1 (Page10 - 6)

%M20.0

"20"

(R)

B

C

D

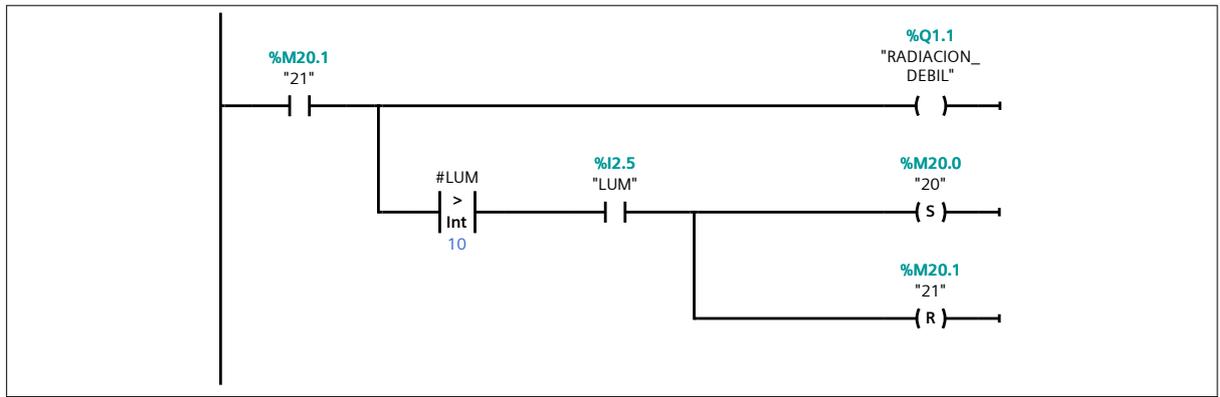
E

F

Owner	Project name	Projecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 10 - 7	

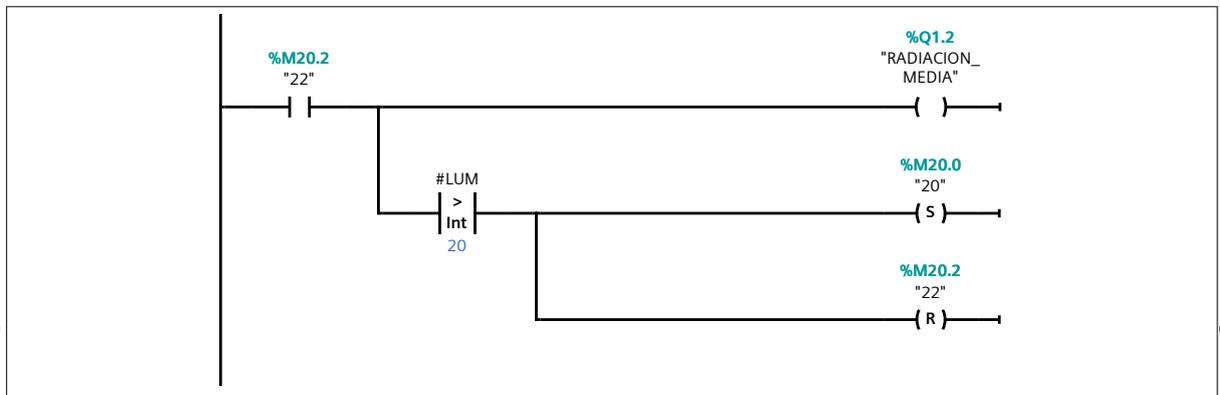
1 2 3 4

A **Network 5: LED_2_ETAPA 21**

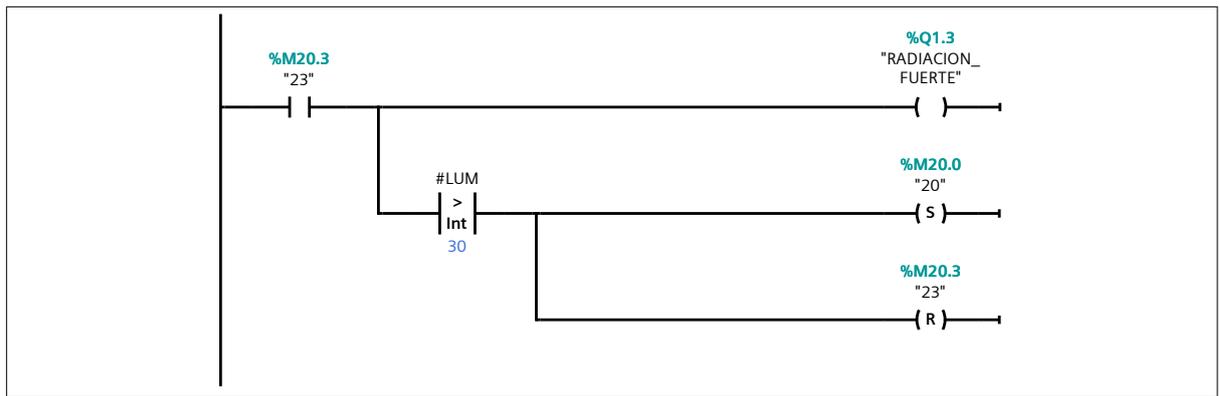


B

C **Network 6: LED_2_ETAPA 22**



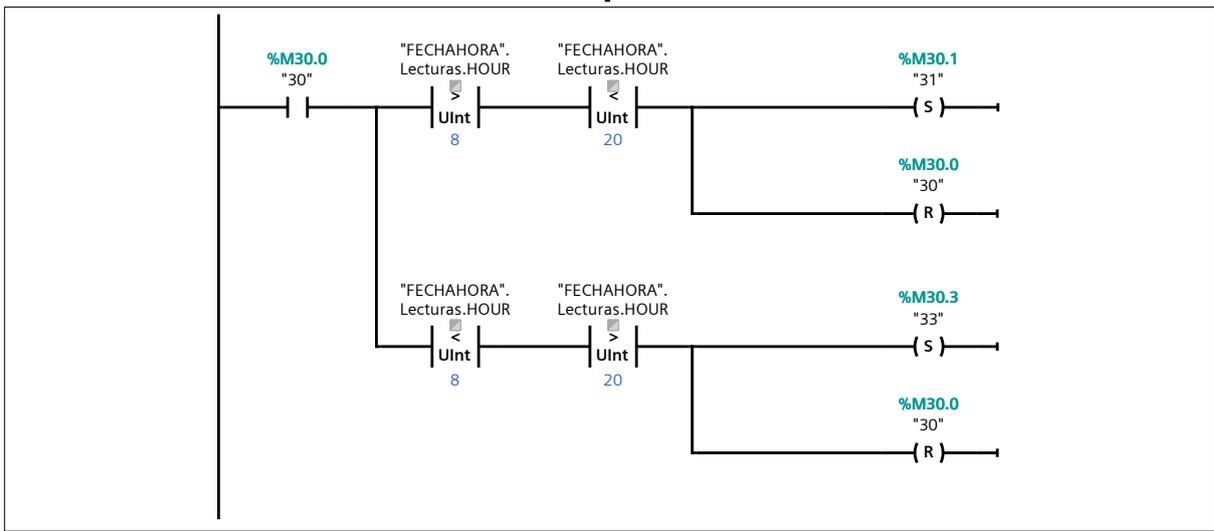
D **Network 7: LED_2_ETAPA 23**



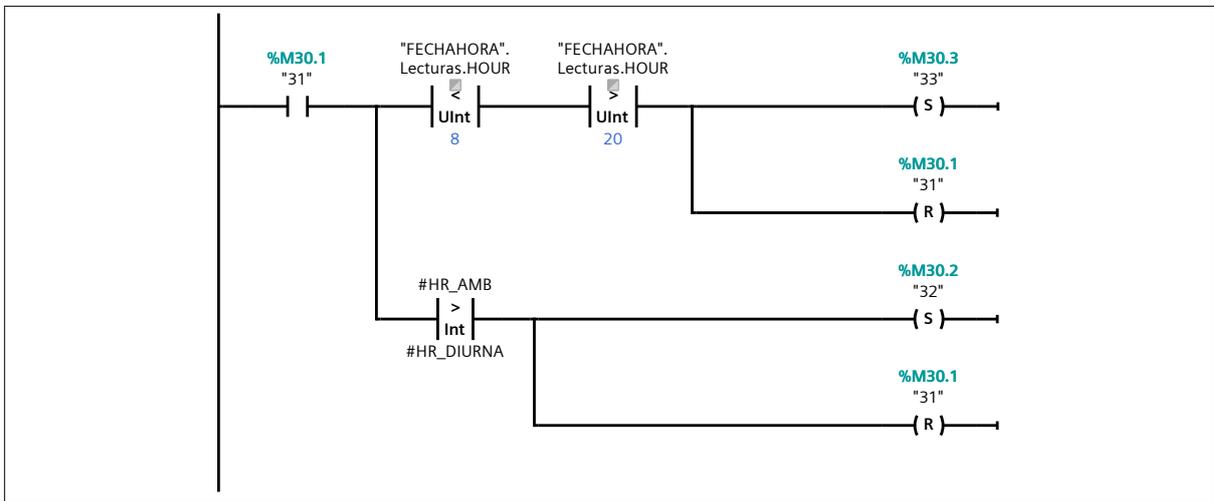
E **Network 8: HUMIDIFICACION_3_ETAPA 30**

Owner	Project name	Projecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
Operator	Project path	C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Description 1st			
Checked By	Description 2nd	Language	en-US	
Approved By	1st View	Version	Sheet 10 - 8	

F

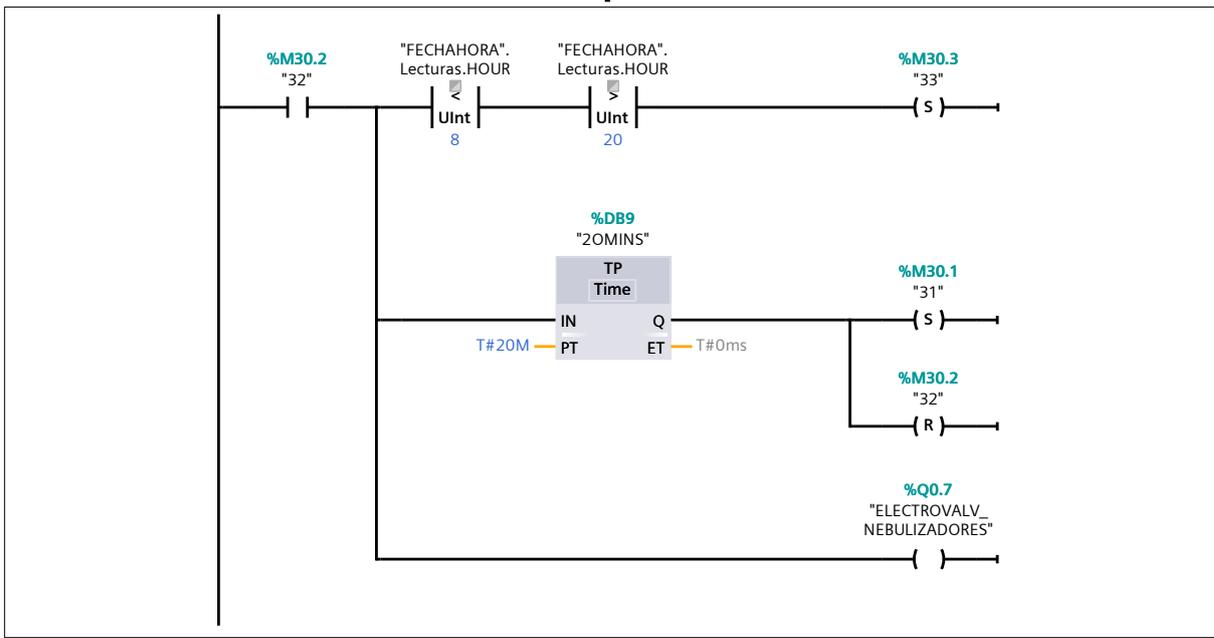


Network 9: HUMIDIFICACION_3_ETAPA 31

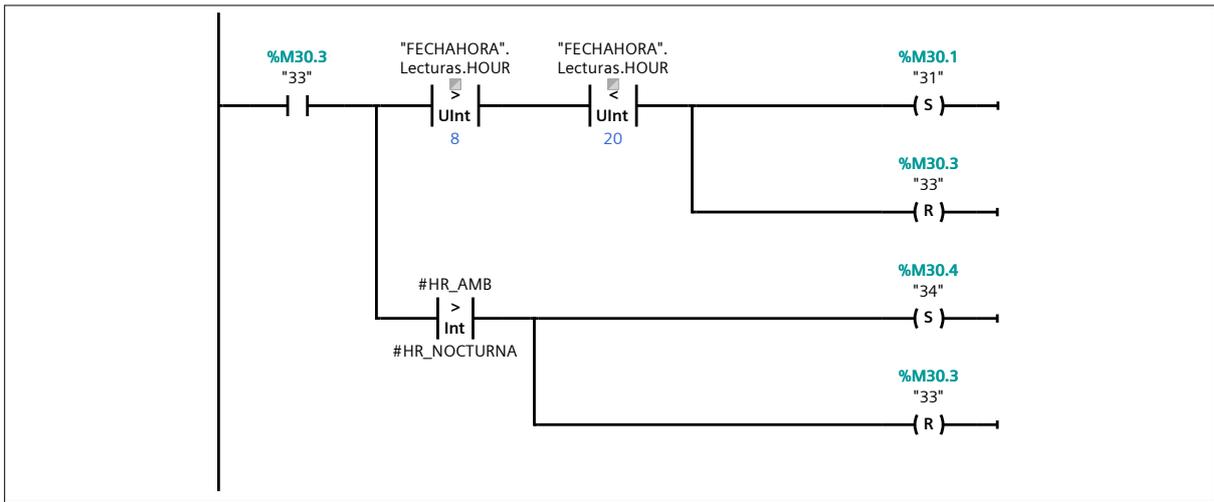


Network 10: HUMIDIFICACION_3_ETAPA 32

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 10 - 9

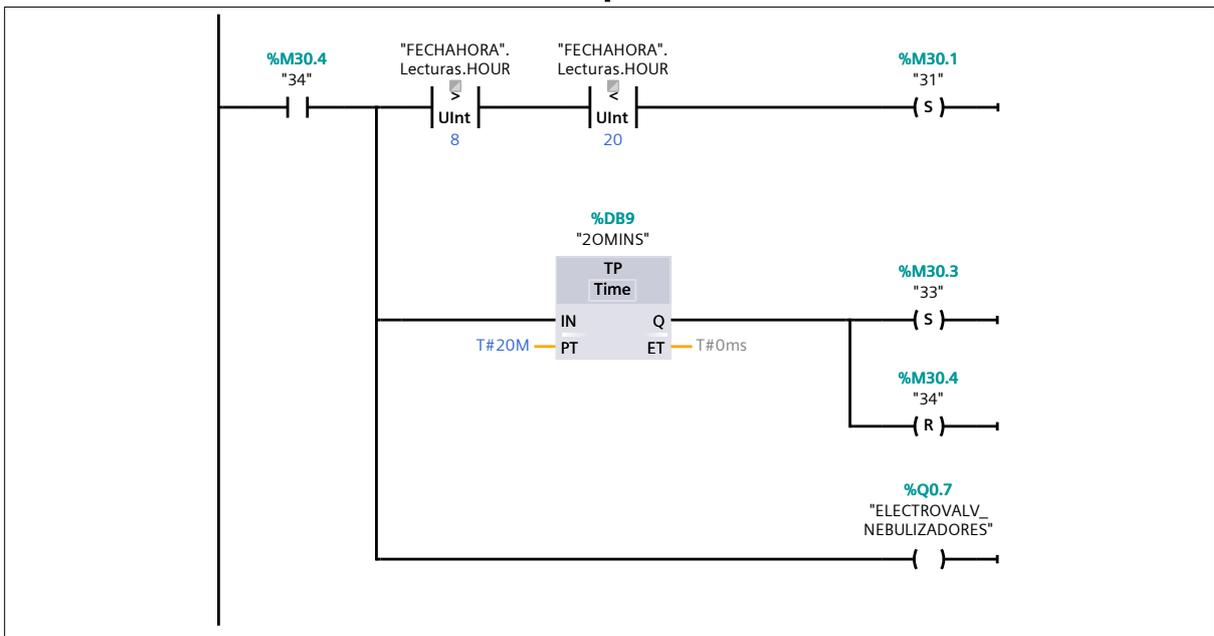


Network 11: HUMIDIFICACION_3_ETAPA 33

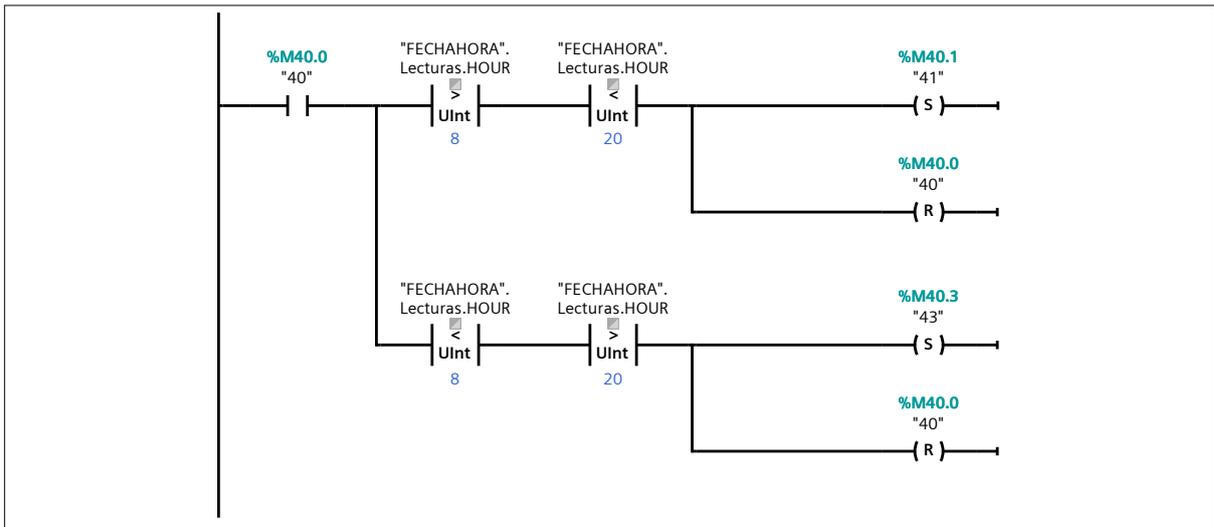


Network 12: HUMIDIFICACION_3_ETAPA 34

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 10 - 10

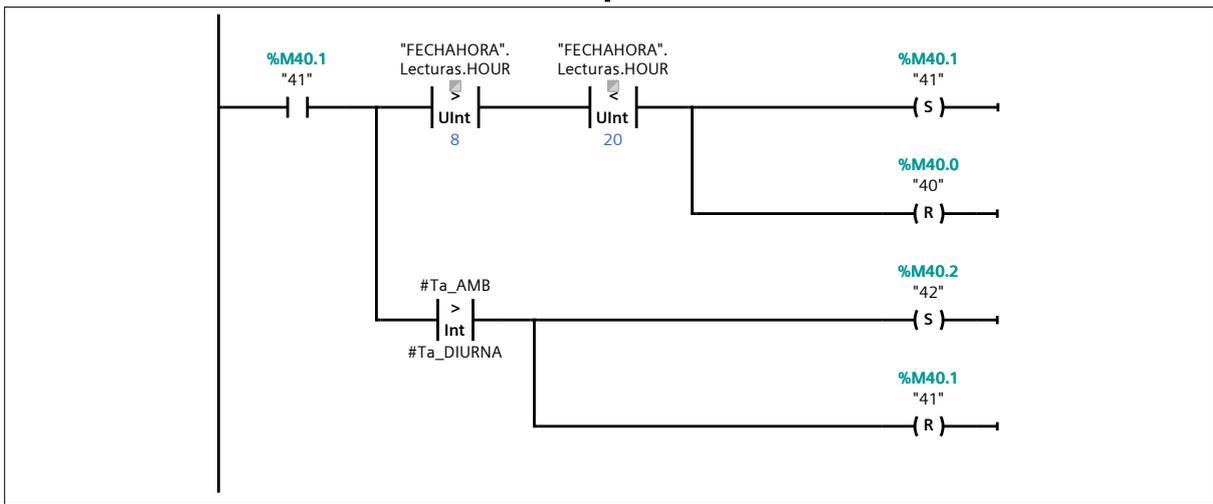


Network 13: VENTILACION_4_ETAPA 40

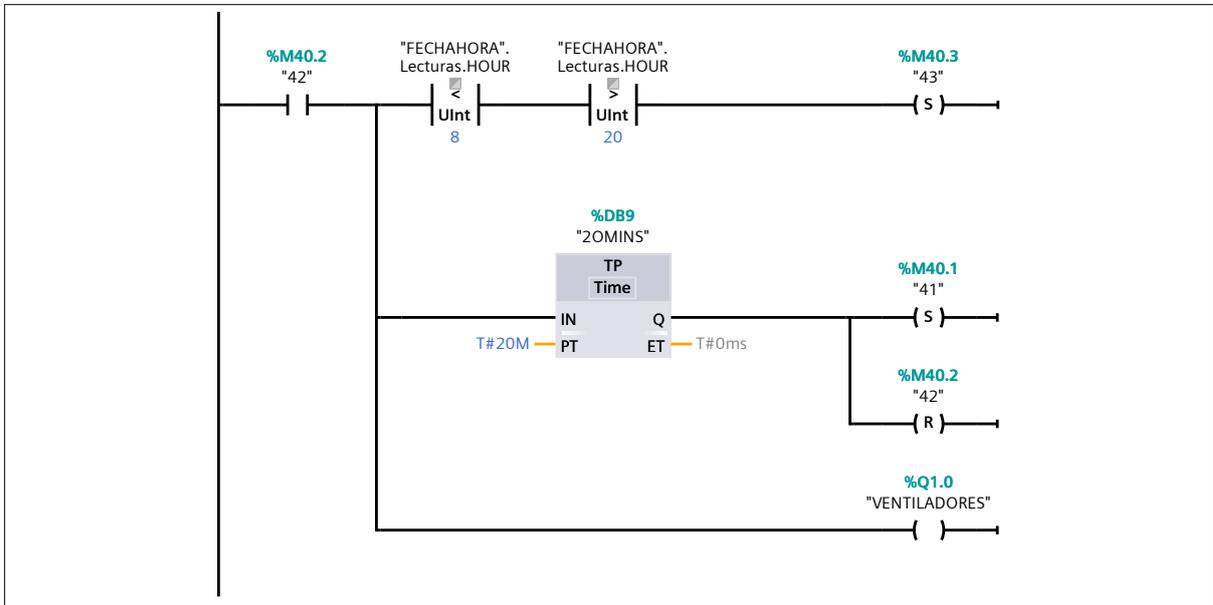


Network 14: VENTILACION_4_ETAPA 41

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
	Description 2nd		en-US	
Approved By	1st View		Version	Sheet
				10 - 11

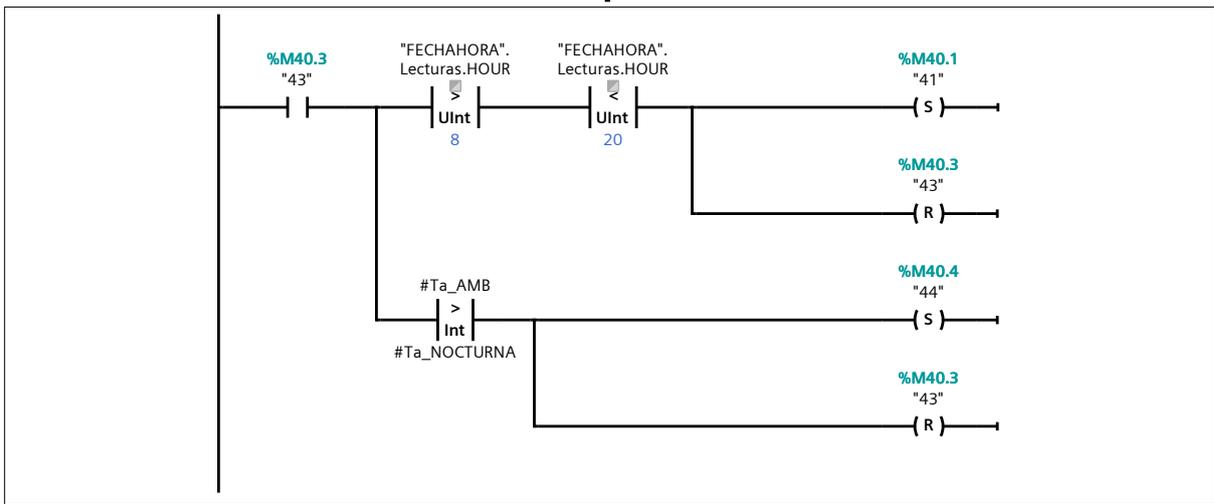


Network 15: VENTILACION_4_ETAPA 42

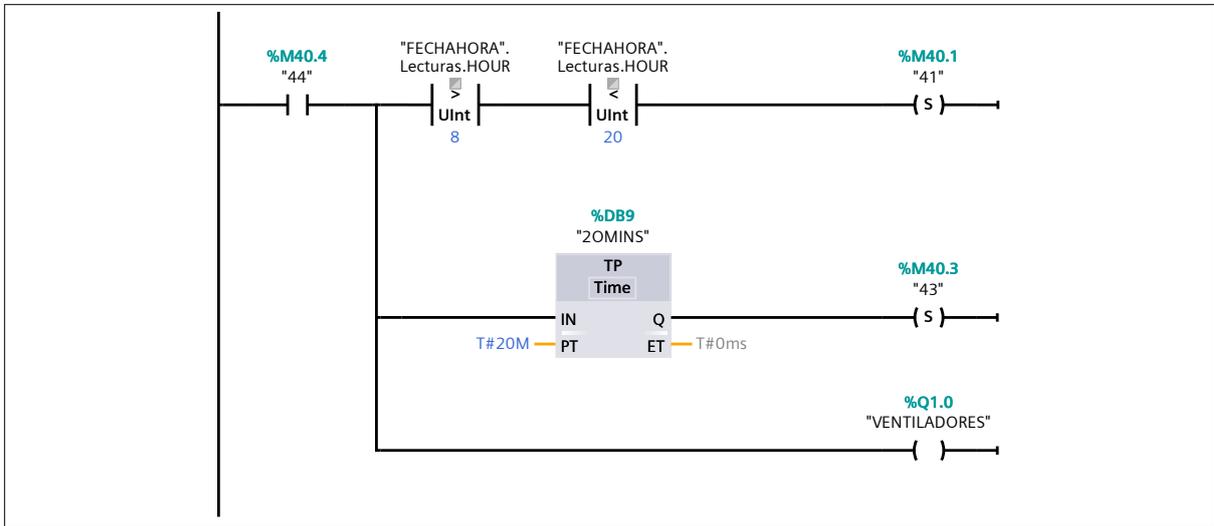


Network 16: VENTILACION_4_ETAPA 43

Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 10 - 12

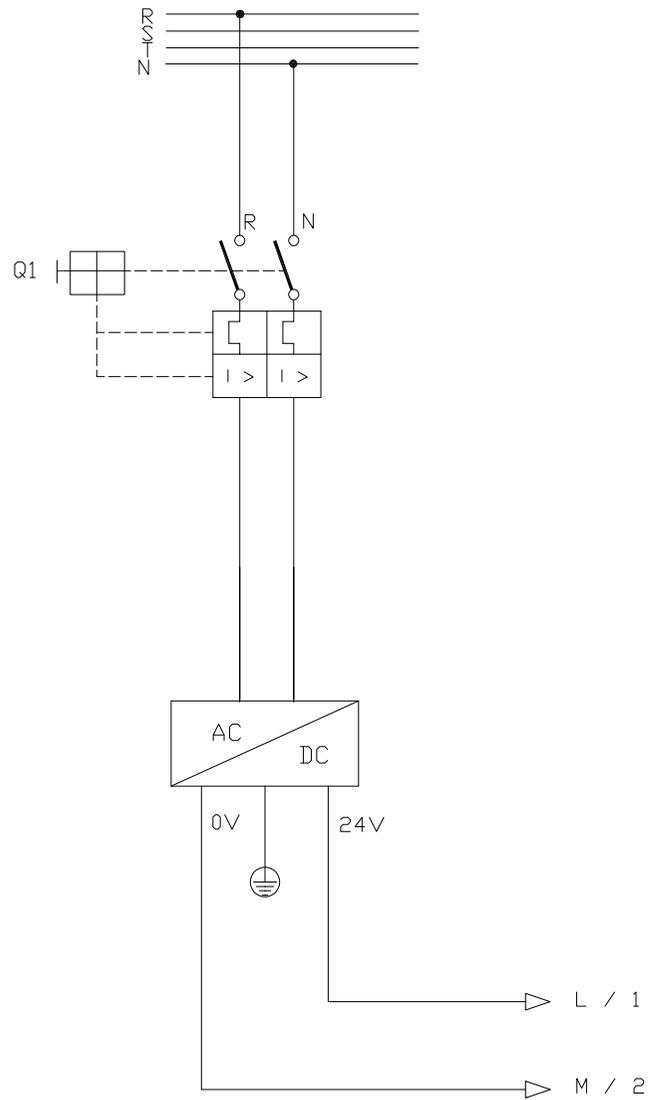


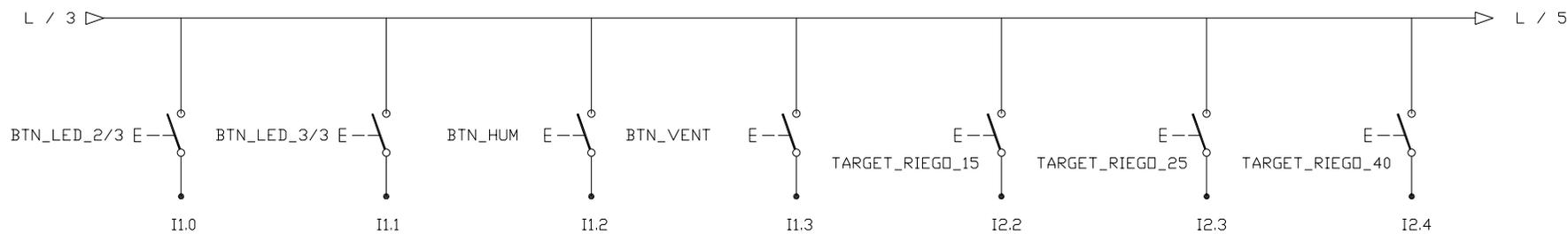
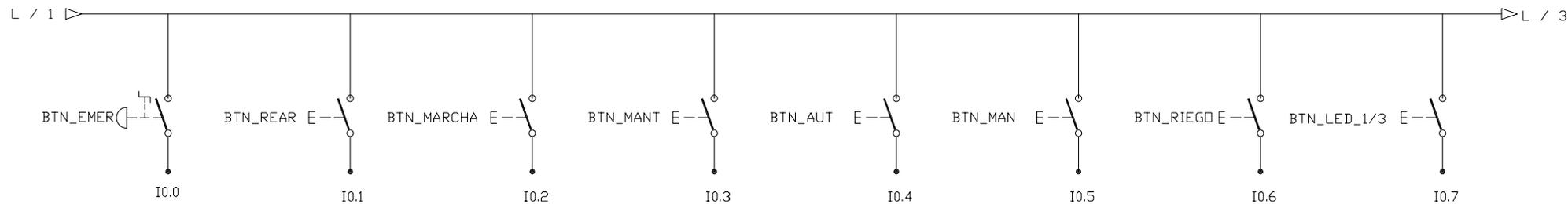
Network 17: VENTILACION_4_ETAPA 44

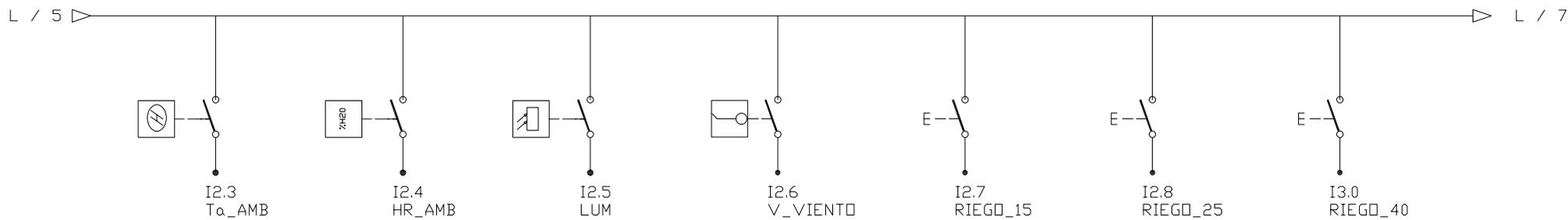


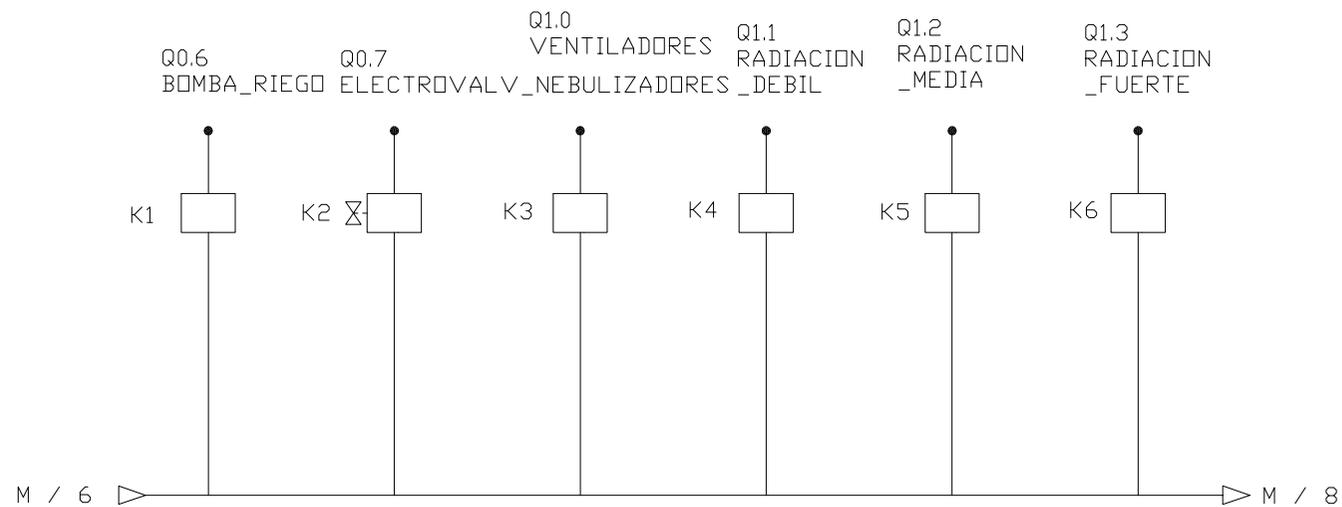
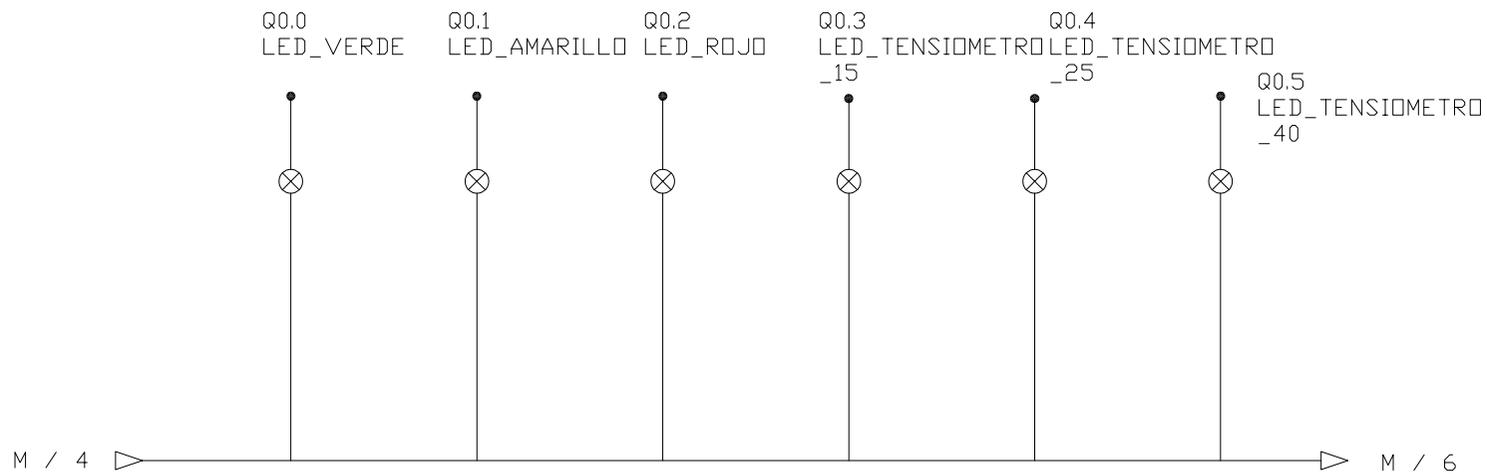
Owner	Project name	Proyecto_Automatizacion_Invernadero_Navajas	Date	07/22/2023
	Operator	Project path C:\Users\huugo\Escritorio\GITI & MASTER HUGO\2 MASTER\MASTER 2° 2° CUATRI\TFM		
Designed By	Location			
Checked By	Description 1st		Language	
Approved By	Description 2nd		en-US	
	1st View		Version	Sheet 10 - 13

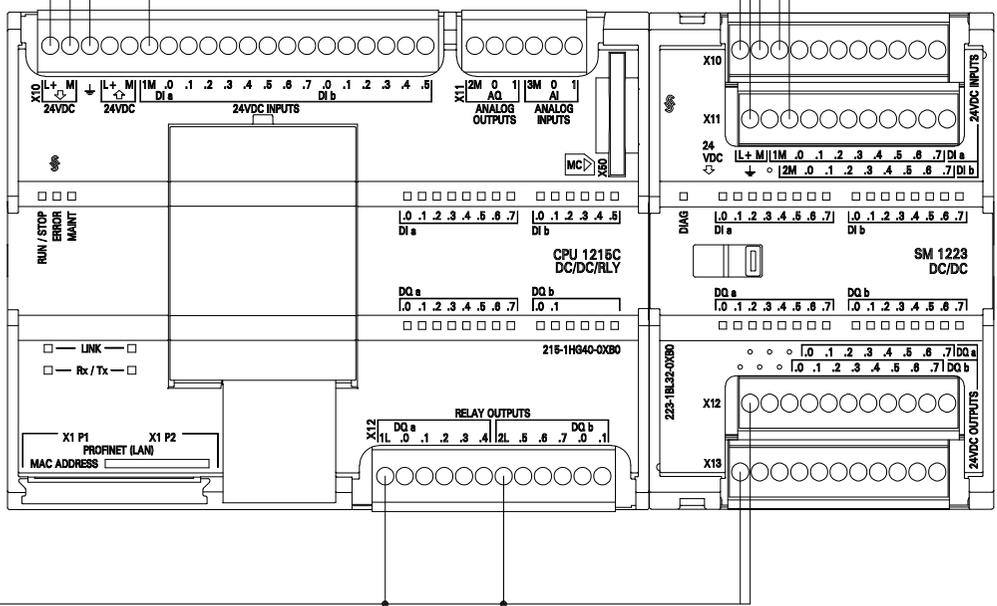
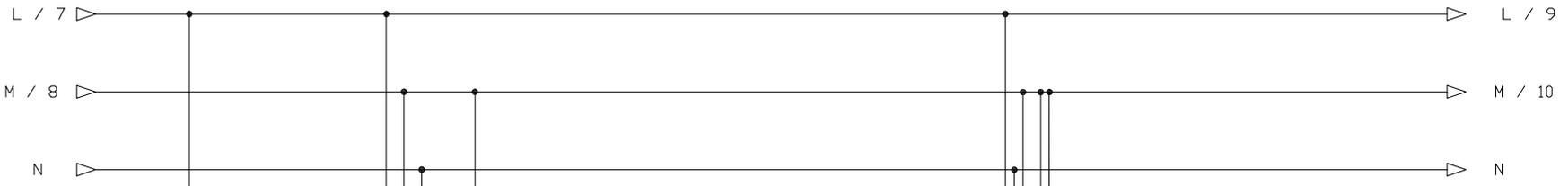
2 Eléctricos



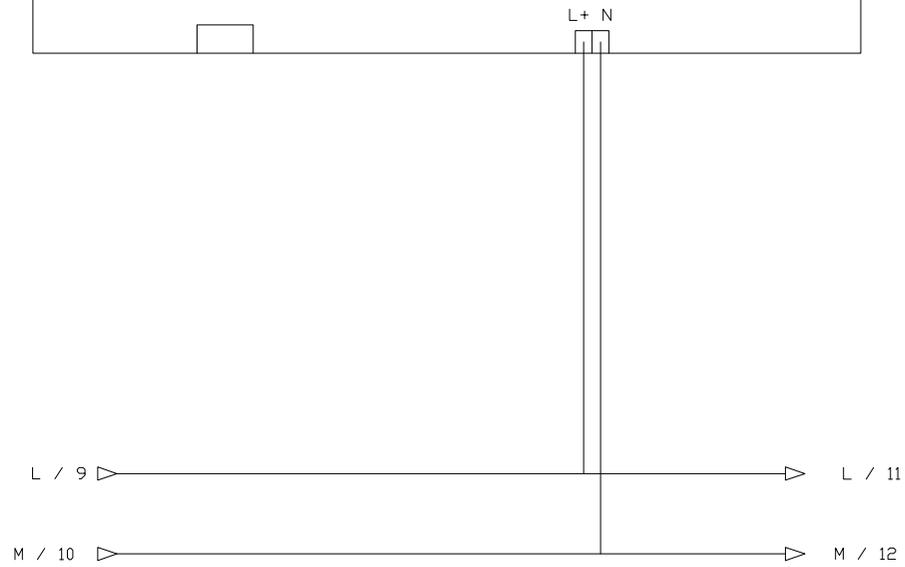


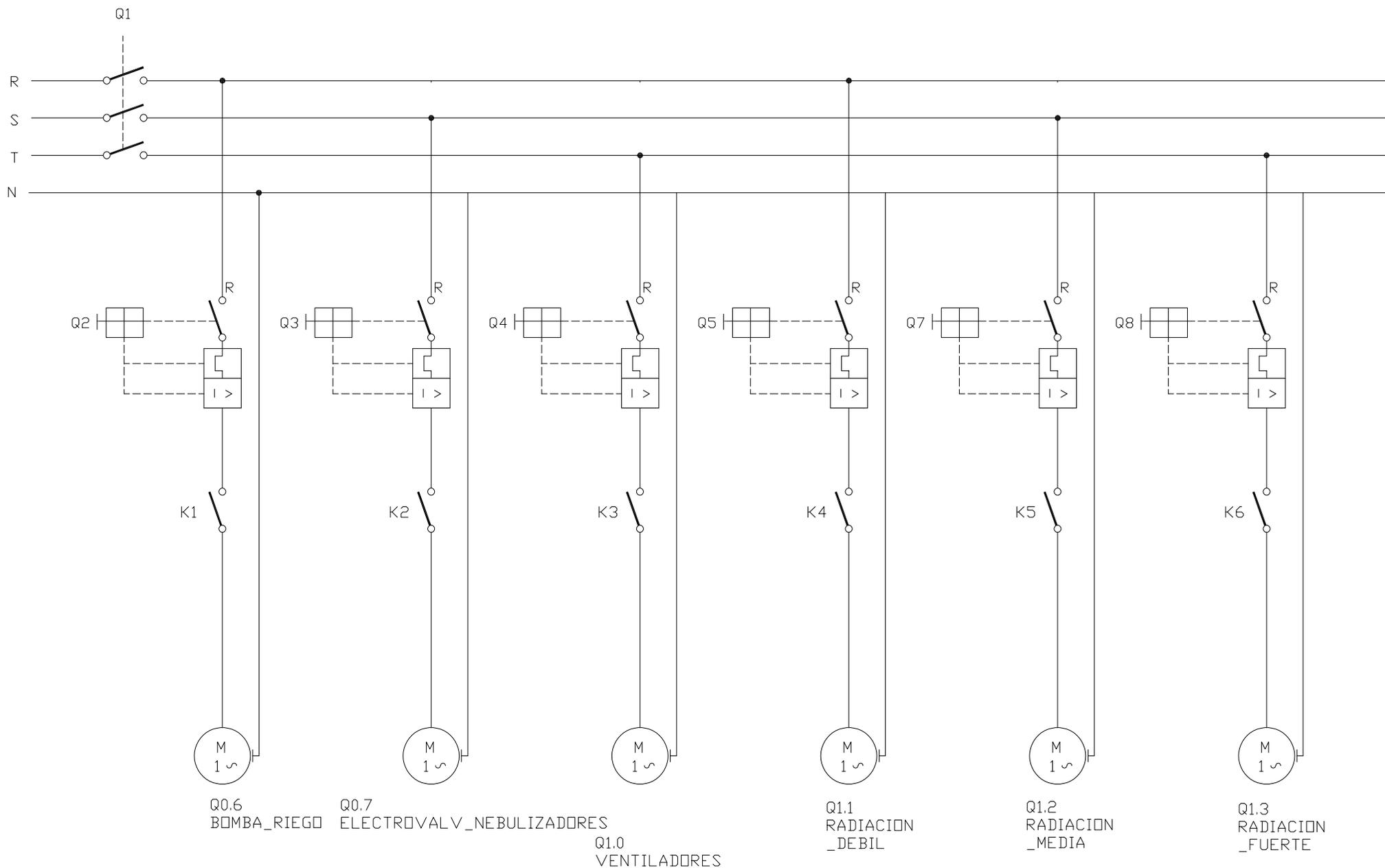


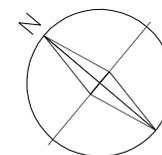
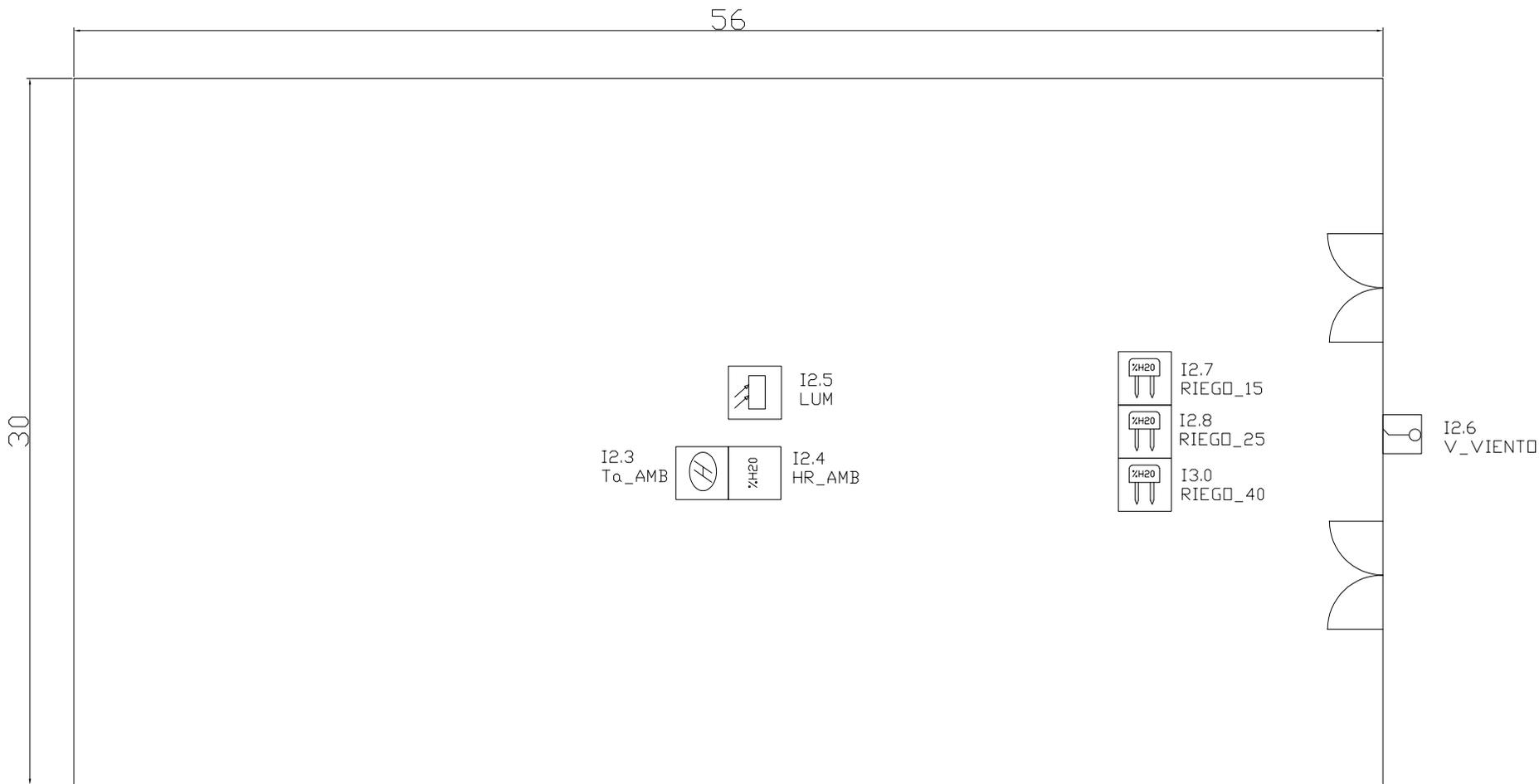




KPT700
BASIC









UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCUELA TÉCNICA
SUPERIOR INGENIEROS
INDUSTRIALES VALENCIA

PROYECTO DE AUTOMATIZACIÓN DE UN INVERNADERO DE PRODUCCIÓN DE TOMATES

III Presupuesto

III Presupuesto

1 Cuadro de precios: Mano de obra

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
MO01	h	Graduado en Master de Ingeniería en Tecnologías Industriales	25,00 €
MO02	h	Técnico superior eléctrico	14,00 €
MO03	h	Técnico superior mecánico	14,00 €

Tabla 3. Cuadro de precios: Mano de obra. Fuente: Propia.

2 Cuadro de precios: Materiales

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
MA01	ud	Material vario de riego: tuberías, juntas,...	100,00 €
MA02	ud	Manómetro glicerina	7,30 €
MA03	ud	Bomba de riego: BM/100-4	139,00 €
MA04	ud	Regulador de presión AQUACONTROL MC	37,95 €
MA05	ud	Nebulizador de cuatro salidas	3,96 €
MA06	ud	Electroválvula para riego HUNTER PGV	22,99 €
MA07	ud	Extractor de aire de tubo	187,23 €
MA08	ud	Inyector Venturi de fertilizante	68,50 €
MA09	ud	Spider Farmer SE 1000W LED Grow Light	719,99 €
MA10	ud	Sensor de luminosidad LS100	37,96 €
MA11	ud	Sensor de humedad Soil-Clik Hunter	46,80 €
MA12	ud	Sensor de temperatura y humedad SHT10	32,80 €

MA13	ud	Sensor de anemómetro de viento	69,00 €
MA14	ud	PLC Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1215C	577,00 €
MA15	ud	Material vario conexiones con el PLC	100,00 €
MA16	ud	Pantalla HMI SIMATIC KPT700 Basic	586,52 €

Tabla 4. Cuadro de precios: Materiales. Fuente: Propia.

3 Cuadro de precios unitarios

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
UD01	ud	Proyecto de ingeniería de automatización	5.000,00 €
UD02	ud	Instalación de actuadores y sensores	74.015,04 €
UD03	ud	Instalación del PLC, HMI y cableado	2.743,43 €
UD04	ud	Subcontratación de la estructura portante de los emisores de radiación LED	10.000,00 €

Tabla 5. Cuadro de precios unitarios. Fuente: Propia.

4 Cuadro de precios descompuestos

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO	IMPORTE
UD01	h	Proyecto de ingeniería de automatización			5.000,00 €
Incluye desde el tiempo empleado por el ingeniero en lo relativo al diseño del proyecto de automatización como a la gestión del proyecto de ingeniería					
MO01	h	Graduado en Master de Ingeniería en Tecnologías Industriales	200	25,00 €	5.000,00 €

Tabla 6. Cuadro de precios descompuestos UD01. Fuente: Propia.

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO	IMPORTE
UD02	h	Instalación de actuadores y sensores			74.156,15 €
Instalación de los actuadores y sensores con el fin de que sean operativos					
MO02	h	Técnico superior eléctrico	20	14,00 €	280,00 €
MO03	h	Técnico superior mecánico	20	14,00 €	280,00 €
MA01	ud	Material vario de riego: tuberías, juntas,...	1	100,00 €	100,00 €
MA02	ud	Manómetro glicerina	3	7,30 €	21,90 €
MA03	ud	Bomba de riego: BM/100-4	1	139,00 €	139,00 €
MA04	ud	Regulador de presión AQUACONTROL MC	1	37,95 €	37,95 €
MA05	ud	Nebulizador de cuatro salidas	3	3,96 €	11,88 €
MA06	ud	Electroválvula para riego HUNTER PGV	1	22,99 €	22,99 €
MA07	ud	Extractor de aire de tubo	8	187,23 €	1.497,84 €
MA08	ud	Inyector Venturi de fertilizante	3	68,50 €	205,50 €
MA09	ud	Spider Farmer SE 1000W LED Grow Light	96	719,99 €	69.119,04 €
MA10	ud	Sensor de luminosidad LS100	1	37,96 €	37,96 €
MA11	ud	Sensor de humedad Soil-Clik Hunter	3	46,80 €	140,40 €
MA12	ud	Sensor de temperatura y humedad SHT10	1	32,80 €	32,80 €
MA13	ud	Sensor de anemómetro de viento	1	69	69,00 €
	%	Costes directos complementarios	0,03	71.996,26 €	2.159,89 €

Tabla 7. Cuadro de precios descompuestos UD02. Fuente: Propia.

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO	IMPORTE
UD03	h	Instalación del PLC, HMI y cableado			3.028,74 €
Instalación del PLC y del HMI así como la conexión con los sensores y actuadores así como la puesta a punto de la instalación automatizada					
MO02	h	Técnico superior eléctrico	50	14,00 €	700,00 €
MO03	h	Técnico superior mecánico	50	14,00 €	700,00 €
MA14	ud	PLC Siemens SIMATIC S7-1200 CPU 1215C	1	577,00 €	577,00 €
MA15	ud	Material vario conexiones con el PLC	1	100,00 €	100,00 €
MA16	ud	Pantalla HMI SIMATIC KPT700 Basic	1	586,52 €	586,52 €
MA17	ud	Módulo 6ES7223-1BL32-0XB0	1	277,00 €	277,00 €
	%	Costes directos complementarios	0,03	2.940,52 €	88,22 €

Tabla 8. Cuadro de precios descompuestos UD03. Fuente: Propia.

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	RENDIMIENTO	PRECIO	IMPORTE
UD04	h	Subcontratación de la estructura portante de los emisores de radiación LED	1	10.000,00 €	10.000,00 €
Subcontratación de la estructura portante de los emisores de radiación LED llave en mano					

Tabla 9. Cuadro de precios descompuestos UD04. Fuente: Propia.

5 Presupuesto base de licitación

CÓDIGO	UNIDAD	DESCRIPCIÓN	PRECIO
UD01	h	Proyecto de ingeniería de automatización	5.000,00 €
UD02	ud	Instalación de actuadores y sensores	74.156,15 €
UD03	ud	Instalación del PLC, HMI y cableado	3.028,74 €
UD04	ud	Subcontratación de la estructura portante de los emisores de radiación LED	10.000,00 €
Presupuesto de Ejecución Material (PEM)			92.184,88 €
Gastos generales (%12*PEM)			11.062,19 €
Beneficio Industrial (7,5%*PEM)			6.913,87 €
Presupuesto de Ejecución por Contrata (PEC)			110.160,94 €
IVA (21%*PEC)			23.133,80 €
Presupuesto Base de Licitación			133.294,73 €

Tabla 10. Presupuesto Base de Licitación. Fuente: Propia.

Con lo cual el presupuesto base de licitación del proyecto de automatización del invernadero asciende a CIENTO TREINTA Y TRES MIL DOSCIENTOS NOVENTA Y CUATRO EUROS CON SETENTA Y TRES CÉNTIMOS.

IV Bibliografía

1. RTVE. [En línea] [Citado el: 15 de Mayo de 2023.] <https://www.rtve.es/noticias/20220817/espana-bajo-plastico-claves-boom-invernaderos/2396243.shtml>.
2. [En línea] [Citado el: 20 de Mayo de 2023.] <https://efeverde.com/mas-tomates-con-menos-agua/>.
3. Sembralia. [En línea] [Citado el: 15 de Mayo de 2023.] <https://sembralia.com/blogs/blog/tomate-en-invernadero>.
4. Philips. [En línea] [Citado el: 1 de Junio de 2023.] <https://www.lighting.philips.es/soporte/contacto/tendencias-en-iluminacion/horticultura/cultivar-tomates-de-excelente-sabor-con-iluminacion-led>.
5. Horti-growlight. [En línea] [Citado el: 23 de Mayo de 2023.] https://www.horti-growlight.com/content/files/PDFs/productPdfs/MTX/Grow_lights/CoolStack_horticultura_luces_superior_LED-Folleto_de_producto.pdf //aquí está el modelo a usar//.
6. Philips. [En línea] [Citado el: 29 de Mayo de 2023.] <https://www.lighting.philips.com/main/cases/cases/horticulture/wimpeterskwekerijen>.
7. Yara. [En línea] [Citado el: 28 de Mayo de 2023.]
8. Riunet UPV. [En línea] [Citado el: 6 de Junio de 2023.] <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/37854/Memoria.pdf>.
9. Seipasa. [En línea] [Citado el: 3 de Junio de 2023.] [https://www.seipasa.com/es/ensayos/terrasei-tomate/..](https://www.seipasa.com/es/ensayos/terrasei-tomate/)
10. *Organic Fertilizers for Greenhouse Tomatoes: Productivity and Substrate Microbiology*. Zhan, Zhengli. 2009.
11. *Plant development and harvest yields of greenhouse tomatoes in six organic growing systems*. Rippey, Jannet F. M. 2004.
12. *Response of greenhouse tomato to irrigation and fertigation*. Mahajan, Gulshan. 2006.
13. Mundoriego. [En línea] [Citado el: 1 de Junio de 2023.] [https://mundoriego.es/producto/manometro-0-25-bar-glicerina/..](https://mundoriego.es/producto/manometro-0-25-bar-glicerina/)
14. Suministros Rome. [En línea] [Citado el: 16 de Junio de 2023.] [https://www.suministrosrome.com/multicelulares/538-electrobomba-multicelular-1cv-bm-1004.html?lighthousefeed_utm_source=GS+-+Google+Shopping+\(Via+LighthouseFeed\)&lighthousefeed_utm_medium=cpc&lighthousefeed_utm_term=ES538&gad=1&gclid=CjwKCAjwp6CkBhB_EiwAl](https://www.suministrosrome.com/multicelulares/538-electrobomba-multicelular-1cv-bm-1004.html?lighthousefeed_utm_source=GS+-+Google+Shopping+(Via+LighthouseFeed)&lighthousefeed_utm_medium=cpc&lighthousefeed_utm_term=ES538&gad=1&gclid=CjwKCAjwp6CkBhB_EiwAl).

15. Suministros Rome. [En línea] [Citado el: 16 de Junio de 2023.] <https://www.suministrosrome.com/accesorios/574-regulador-de-presion-aquacontrol-mc.html>.
16. Traxco. [En línea] [Citado el: 6 de Junio de 2023.]
17. Leroy Merlin. [En línea] [Citado el: 26 de Junio de 2023.] https://www.leroymerlin.es/productos/jardin-y-terraza/riego/electrovalvulas/electrovalvula-para-riego-hunter-pgv-24v-rosca-macho-1-14096964.html?utm_campaign=LM_Conversion_AO_SmartShopping_Jardin/Exterior_Generica_Google_Conversion_OMD&gclid=CjwKCAjwp6CkB.
18. Cablematic. [En línea] [Citado el: 22 de Mayo de 2023.] https://cablematic.com/es/productos/extractor-de-aire-de-tubo-de-500-mm-para-ventilacion-industrial-1350-rpm-redondo-580x580x260-mm-plateado-KH213/?cr=EUR&ct=ES&gclid=CjwKCAjwvvpCkBhB4EiwAujULMiac9RCJkVuTsvhVEeE6d8-B8nuQFcCD2M3cNZH_Xds5XCC1iCCjBoCMjIQAvD_.
19. Gncgarden. [En línea] [Citado el: 2 de Junio de 2023.] https://gncgarden.com/es/inyectores-de-fertilizante/inector-venturi-de-fertilizante-250-3mm-con-llave-dosificadora.html?gad=1&gclid=CjwKCAjwvvpCkBhB4EiwAujULMuzGgIZ253kJCTRo4PYu3oqHpoDRumbfyL_a23CVkFgJYgixNV533xoCaywQAvD_BwE.
20. Spiderfarmer. [En línea] [Citado el: 7 de Junio de 2023.] <https://spiderfarmer.eu/products/se1000w-led-grow-light/>.
21. Zwave. [En línea] [Citado el: 29 de Mayo de 2023.] https://zwave.es/index.php?_route_=sensors/luxsensors/GCE-180640.
22. Jardineria Ferromar. [En línea] [Citado el: 23 de Junio de 2023.] <https://www.jardineriaferromar.com/sensor-de-humedad-soil-clik-hunter.html>.
23. Hunter industries. [En línea] [Citado el: 20 de Junio de 2023.] https://www.hunterindustries.com/sites/default/files/ss_soil-clik_es.pdf.
24. Tienda Bricogeek. [En línea] [Citado el: 22 de Junio de 2023.] https://tienda.bricogeek.com/sensores-temperatura/762-sensor-de-temperatura-y-humedad-sht10-acero-inox.html?gad=1&gclid=CjwKCAjwp6CkBhB_EiwAlQVyxUq2_ocLS2ZRNZ5kjQy-GwCtBPVTy9fF3Ef1ALhOQ3TyHsjukcf3BoCfD0QAvD_BwE.
25. Fruugo. [En línea] [Citado el: 24 de Junio de 2023.] https://www.fruugo.es/velocidad-del-sensor-del-anemometro-de-viento-anemometro-de-senal-de-pulso-de-salida/p-73341010-147384932?language=es&ac=ProductCasterAPI&utm_source=organic_shopping&utm_medium=organic.

26. Wiautomation. [En línea] [Citado el: 15 de Junio de 2023.]
https://es.wiautomation.com/siemens/plc-sistemas/simatic-s7/s7-1200/6ES72151HG400XB0?gclid=Cj0KCQjw7uSkBhDGARIsAMCZNJve7BcvfnraEy-p7RKAepEFM1P3Qtxxzapu-a3o-bOh4NIcTvIKniQaAgmhEALw_wcB..
27. Wiautomation. [En línea] [Citado el: 30 de Junio de 2023.]
<https://es.wiautomation.com/siemens/modulos/simatic-s7/s7-1200/6ES72231BL320XB0>.
28. Wiautomation HMI. [En línea] [Citado el: 30 de Junio de 2023.]
https://es.wiautomation.com/siemens/hmi-pc-industriales/simatic-hmi/6AV21232GA030AX0?gclid=CjwKCAjwkeqkBhAnEiwA5U-uMzLOF95so8mfmvvzDGfHky9uvYVno2uJT7iKt13WK12Wt32A752cxoCjuQQAuD_BwE.
29. Slideserve. [En línea] [Citado el: 04 de Junio de 2023.]
<https://www.slideserve.com/soren/aut-matas-programables>.
30. *UNE 155102*.