



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

AUTOMATIZACIÓN DE UN SISTEMA DE BIORREACTORES DE INMERSIÓN
TEMPORAL PARA MULTIPLICACIÓN DE SEMILLAS

AUTOR: DIEGO MAURICIO CAMPUÉS TULCÁN

DIRECTOR: MSc. COSME DAMIÁN MEJÍA ECHEVERRÍA.

Ibarra-Ecuador

2023



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE OBRA.

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, la cual pongo a disposición la siguiente información

DATOS DEL AUTOR			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1003485909		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Campués Tulcán Diego Mauricio		
DIRECCIÓN:	Ibarra, Santa Rosa del Tejar		
EMAIL:	dmcampues@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	625-018	TELÉFONO MÓVIL:	0952958836
DATOS DEL OBRA			
TÍTULO:	Automatización de un sistema de biorreactores de inmersión temporal para multiplicación de semillas		
AUTOR (ES):	Campués Tulcán Diego Mauricio		
FECHA:	2023-03-13		
SÓLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	PREGRADO		
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA		
DIRECTOR:	MSc. Cosme Mejía.		

2. CONSTANCIAS.

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 14 días del mes de Marzo del 2023.

EL AUTOR:



Campués Tulcán Diego Mauricio

1003485909

3. CERTIFICACIÓN.

En calidad de tutor del presente Trabajo de Grado titulado: "Automatización de Sistema de Inmersión Temporal de Biorreactores para la Multiplicación de Semillas", certifico que fue desarrollado por el señor Campués Tulcán Diego Mauricio, bajo mi supervisión.

A handwritten signature in blue ink is written over a horizontal dotted line. The signature is stylized and appears to be 'Cosme Mejía'.

MSc. Cosme Mejía.

DIRECTOR DEL PROYECTO

Dedicatoria

Este trabajo está dedicado a toda mi familia, padres hermanos, quienes me han apoyado en todas en todas las instancias de mi vida, quienes me motivaron hasta poder conseguir una meta muy importante para mi vida profesional, todo el esfuerzo será recompensado, Gracias Familia.

Mauricio

Agradecimientos

Agradezco a todas las personas que formaron parte de mi paso por mi etapa universitaria, compañeros, docentes, personal administrativo de la carrera, quienes hasta ultimo día me ofrecieron predisposición para poder culminar mi carrera universitaria.

Un agradecimiento especial a quien fue mi tutor, Ing. Iván Iglesias, quien me guio en gran parte para la culminación de este trabajo junto con mis asesores. A mi madre quien fue un gran apoyo moral durante los momentos más difíciles que pase.

RESUMEN

La unión de la biotecnología vegetal y la automatización industrial, ha tenido un gran crecimiento en los últimos años, las implementaciones de sistemas de inmersión temporal (SIT), representan un gran avance frente a los métodos de cultivo tradicional in vitro, para la propagación y cultivo de especies vegetales a gran escala. Sin embargo, con el fin de obtener una mejor optimización de recursos económicos y de talento humano, estos sistemas SIT son adaptables a la implementación de nuevas tecnologías y nuevos dispositivos electrónicos disponibles en la actualidad.

En el presente trabajo consiste en implementar un sistema automatizado para el control de los procesos de un SIT, control de tiempos de inmersión, la frecuencia de inmersión, control de tiempo de iluminación en los cultivos del SIT, los cuales son parámetros de gran importancia para los procesos de cultivo de especies de forma masiva.

Utilizando dispositivos eléctricos y electrónicos como el controlador lógico programable PLC, una interfaz humana máquina HMI para el control y monitoreo de los parámetros a automatizar en el sistema SIT, logrando así un sistema resistente y de fácil configuración para el usuario.

En los capítulos a continuación se detallará las investigaciones previas sobre principios de funcionalidad de los sistemas SIT, selección de materiales considerando funcionabilidad, accesibilidad y costo económico, y finalmente se realizará pruebas de funcionalidad para análisis de resultados.

Palabras clave: *sistemas de inmersión temporal (SIT), automatización industrial, interfaz humano máquina HMI, controlador lógico programable PLC.*

ABSTRACT

The union of plant biotechnology and industrial automation has had a great growth in recent years, the implementation of temporary immersion systems (SIT), represent a great advance over traditional in vitro culture methods for the propagation and cultivation of plant species on a large scale. However, in order to obtain a better optimization of economic resources and human talent, these SIT systems are adaptable to the implementation of new technologies and new electronic devices currently available.

In the present work consists of implementing an automated system for the control of the processes of a SIT, control of immersion times, immersion frequency, control of illumination time in the SIT cultures, which are of great importance for the processes of cultivation of species in a massive way.

Using electrical and electronic devices such as the PLC programmable logic controller, a human machine interface HMI for the control and monitoring of the parameters to be automated in the SIT system, thus achieving a robust system and easy configuration for the user.

In the following chapters we will detail the previous research on the principles of functionality of the SIT systems, selection of materials considering functionality, accessibility and economic cost, and finally we will perform functionality tests to analyze the results.

Keywords: *Temporary Immersion Systems (SIT), industrial automation, human machine interface HMI, PLC programmable logic controller.*

Tabla de contenido

RESUMEN	7
ABSTRACT	8
Tabla de contenido	9
Índice de tablas.....	13
Índice de Figuras	14
Introducción.....	16
Problemática	16
Objetivos	17
Objetivo General	17
Objetivos Específicos.....	17
Justificación e Importancia.....	17
Antecedentes	19
Alcance	21
CAPÍTULO I.....	22
Marco Teórico.....	22
1.1 Método de propagación de Cultivo.....	22
1.2 Explante Vegetal.....	22
1.3 Cultivo In Vitro.....	23
1.4 Medio de Cultivo	23
1.5 Recipientes biorreactores de inmersión temporal	23
1.6 Sistemas Inmersión Temporal SIT	24
1.6.1 Tipos Sistemas de Inmersión Temporal	25
1.6.2 Recipiente de Inmersión Temporal Automatizado RITA	25
1.6.3 Biorreactores de Inmersión Temporal BIT	26

1.6.4	Biorreactores de Inmersión por Gravedad BIG.....	27
1.7	Comparación de Modelos de Inmersión Temporal.....	27
1.8	Automatización aplicada a los procesos de cultivo vegetal.....	28
1.9	Dispositivos de control.....	29
1.10	PLC LOGO 8 OBA8 230.....	31
1.10.1	Software LOGO SOFT V8.3.....	32
1.11	Interfaz Humano Maquina HMI.....	33
1.11.1	Normativa para interfaces graficas ANSI/ISA-101.01-2015.....	34
1.11.2	HMI Kinco GL043E.....	35
1.1.1	Software Kinco DTools V 3.3.....	36
1.2	Protocolo de comunicación PLC-HMI.....	37
1.3	Switch de cable Ethernet RJ45.....	38
1.4	Actuador Electroválvula Neumática.....	39
1.5	Fuente neumática.....	40
1.5.1	Compresor neumático.....	40
1.5.2	Unidad de mantenimiento FRL.....	41
CAPÍTULO II.....		43
Materiales y Métodos de Construcción.....		43
2.1	Selección Recipientes biorreactores BIT.....	43
2.2	Tubos distribuidores de presión de aire.....	46
2.3	Microfiltro de Aire.....	47
2.4	Requerimientos del sistema neumático SIT.....	48
2.5	Parámetros adicionales para controlar.....	50
2.5.1	Control de iluminación.....	50
2.6	Descripción del proceso sistema SIT.....	51

2.7 Diagrama neumático SIT.....	54
2.7 Comunicación HMI Kinco GL043 E y PLC logo 8 230 RCE	56
2.8 Parametrización del PLC con Software LOGO SOFT V8.3.	57
2.9 Control de secuencias de activación.....	57
2.10 Control frecuencias de inmersión del sistema SIT	60
2.11 Interfaz gráfica HMI Kinco GL043E – Sistema SIT.....	60
2.11.1 Ventana 1-Inicio Sistema SIT	61
2.11.2 Ventana 2- Selección a las secciones del sistema SIT	62
2.11.3 Ventana 3-Registro de Inmersión SIT	63
2.11.4 Ventana 4- Sección SIT 1	63
2.11.5 Ventana 4.1 – Configuración Tiempo de Inmersión.....	64
2.11.6 Ventana 4.2 – Configuración Fecha de operación.	65
2.11.7 Ventana 4.3 – Configuración Días de Operación	65
2.11.8 Ventana 4.4- Control de luminosidad	66
2.12 Normativas para instalaciones a baja tención NEC (Normativa Ecuatoriana de la Construcción)	67
2.7.1 Elementos de protección	67
2.7.2 Interruptor Termo magnético	67
2.7.3 Dimensionamiento de Interruptor Termo magnético	68
2.7.4 Selección de calibre de Cable Eléctrico	69
2.13 Esquema Eléctrico Sistema SIT	69
CAPÍTULO III	71
Construcción.....	71
3.1 Montaje de dispositivos.....	71
3.1.1 Tablero eléctrico SIT	71

3.1.2 Conexiones neumáticas SIT	72
3.2 Validación de resultados.	73
3.2 Configuración parámetros sistema SIT	74
3.3 Registro de traspaso y retorno del medio de cultivo	78
3.4 Costo Total de Materiales y Dispositivos SIT.....	80
Conclusiones	82
Recomendaciones	83
REFERENCIAS	84
ANEXOS.....	88
Anexo 1 Hoja de datos PLC LOGO 8 OBA8 230	88
Anexo 2 Hoja de especificaciones PNEUMATIC 5/3 NC 110V.....	90
Anexo 3 Hoja de especificaciones FRL PNEUMATIC AC 30 00 03	91
Anexo 4 Hoja de especificaciones GREEN Series HMI GL043/GL043E	92
Anexo 5 Hoja de especificaciones Compresor Neumático PORTEN PCB 0224	93
Anexo 6 Programación PLC diagramas de bloques FUP del sistema SIT UTN	94

Índice de tablas

Tabla 1 <i>Comparación modelos de Sistemas de Inmersión Temporales [15]</i>	28
Tabla 2 <i>Dispositivos electrónicos de control utilizados en sistemas SIT</i>	30
Tabla 3 <i>Características principales Logo 8 230RCE</i>	32
Tabla 4 <i>Características principales HMI Kinco GL043E</i>	35
Tabla 5 <i>Características Switch Ethernet</i>	38
Tabla 6 <i>Características Electroválvula Neumática 5/2</i>	39
Tabla 7 <i>Características Compresor PORTEN PCB 0224</i>	40
Tabla 8 <i>Características Unidad de Mantenimiento FRL PNEUMATIC AC03 00 03</i>	42
Tabla 9 <i>Características de los recipientes utilizados en sistemas SIT</i>	44
Tabla 10 <i>Tubo distribuidor de presión de aire</i>	46
Tabla 11 <i>Características Microfiltro de Aire NEST</i>	47
Tabla 12 <i>Presión total requerida para los biorreactores</i>	48
Tabla 13 <i>Datos de pérdidas de dispositivos neumáticos del sistema SIT</i>	48
Tabla 14 <i>Consumo eléctrico Dispositivos Eléctricos SIT</i>	68
Tabla 15 <i>Calibre de cable según consumo de aparatos eléctricos [24]</i>	69
Tabla 17 <i>Parámetros pruebas de funcionamiento SIT</i>	74
Tabla 18 <i>Costos dispositivos y materiales eléctricos Sistema SIT</i>	80
Tabla 19 <i>Costos dispositivos y materiales neumáticos Sistema SIT</i>	81

Índice de Figuras

Figura 1 <i>Cultivos in Vitro, recipientes de vidrio</i> [11].....	23
Figura 2 <i>Modelos de SIT comerciales. Rita®, Plant Form y SETISTM</i> [13].....	24
Figura 3 <i>Sistema de cultivo de Inmersión Temporal RITA</i> [14].....	25
Figura 4 <i>Biorreactores de Inmersión Temporal BIT</i> [14].....	26
Figura 5 <i>Biorreactores de Inmersión por Gravedad BIG</i> [14]	27
Figura 6 <i>PLC Logo 8 230RCA</i> [17].....	31
Figura 7 <i>Interfaz Logo Soft Confort V8.3</i>	33
Figura 8 <i>Diagrama Básico de un HMI/Interfaz Humano Máquina</i> [18].....	34
Figura 9 <i>HMI Kinco GL043E</i>	35
Figura 10 <i>Interfaz Software Kinco DTools V 3.3</i>	36
Figura 11 <i>Arquitectura Red LAN Protocolo TCP/IP</i> [20].....	37
Figura 12 <i>Switch Ethernet RJ45</i> [21].....	38
Figura 13 <i>Electroválvula Neumática PNEUMATIC 5/3 NC 110V</i>	39
Figura 14 <i>Compresor Neumático PORTEN PCB 0224</i>	40
Figura 15 <i>Unidad de mantenimiento FRL PNEUMATIC AC 30 00 03</i>	41
Figura 16 <i>Elaboración Biorreactores BIT</i>	45
Figura 17 <i>Conexión Biorreactores BIT- elaboración propia</i>	45
Figura 18 <i>Construcción Tubo distribuidor de presión de aire</i>	46
Figura 19 <i>Micro Filtro NEST 0.22 um</i>	47
Figura 22 <i>Diagrama de Flujo SIT UTN</i>	52
Figura 23 <i>Esquema neumático, estado inicial del sistema SIT</i>	54
Figura 24 <i>Esquema neumático, estado 1 del SIT, activación de Q1-Traspaso</i>	55
Figura 25 <i>Esquema neumático, retorno al estado 1 del SIT, etapa de inmersión</i>	55
Figura 26 <i>Esquema neumático, estado 2 del SIT, activación de Q2-Retorno</i>	56
Figura 27 <i>Diagrama de flujo SIT Activación salida Q1 PLC- Traspaso de medio de cultivo</i>	58
Figura 28 <i>Diagrama de flujo SIT Activación salida Q2 PLC- Retorno de medio de cultivo</i>	59
Figura 31 <i>Comunicación HMI- PLC mediante Kinco DTools</i>	60

Figura 32 <i>Venta 1 de Inicio Interfaz sistema SIT</i>	61
Figura 33 <i>Ventana 2 Interfaz Sistema SIT</i>	62
Figura 34 <i>Ventana 3 Interfaz Sistema SIT</i>	63
Figura 35 <i>Ventana 4 Interfaz Sistema SIT</i>	64
Figura 36 <i>Ventana 4.1 Interfaz Sistema SIT</i>	64
Figura 37 <i>Ventana 4.2 Interfaz Sistema SIT</i>	65
Figura 38 <i>Ventana 4.3 Interfaz Sistema SIT</i>	66
Figura 39 <i>Ventana 4.4 Interfaz Sistema SIT</i>	66
Figura 40 <i>Diagrama Eléctrico sistema SIT</i>	70
Figura 41 <i>Montaje tablero eléctrico SIT UTN</i>	71
Figura 42 <i>Montaje dispositivos SIT</i>	72
Figura 43 <i>Montaje dispositivos SIT</i>	72
Figura 44 <i>Montaje dispositivos SIT</i>	73
Figura 45 <i>Preparación Explantas Vegetales y Medio de Cultivo Sistema SIT</i>	73
Figura 46 <i>Pantalla de Inicio SIT</i>	75
Figura 47 <i>Pantalla de Secciones SIT</i>	75
Figura 48 <i>Pantalla Sección 1 SIT</i>	76
Figura 49 <i>Pantalla Conf. Tiempo y Frecuencia de Inmersión SIT</i>	76
Figura 50 <i>Pantalla Conf. Tiempo y Frecuencia de Inmersión SIT</i>	77
Figura 51 <i>Pantalla Conf. Días de Operación SIT</i>	77
Figura 52 <i>Pantalla Conf. Fecha y Hora Operación SIT</i>	78
Figura 53 <i>Registro de Activación electroválvula –TRASPASO Y RETORNO Medio de Cultivo</i> . 79	
Figura 54 <i>Sistema SIT – Traspaso del Medio de Cultivo</i>	79
Figura 55 <i>Sistema SIT – Retorno del Medio de Cultivo</i>	80

Introducción

Problemática

Los sistemas de inmersión temporal representan un gran avance tecnológico en cuando a la micropropagación de especies vegetales, estos métodos de cultivo han sido utilizados en varias investigaciones por centros de investigación del País, para el análisis y resultados referentes la producción en masa o conservación de especie vegetales de interés comercial o especies endémicas del país [1].

Sin embargo, con el fin de optimizar recursos, tiempos de ejecución, y un mejor control de los sistemas SIT, la implementación de sistemas automatizados ha tomado mayor relevancia en la utilización de estos métodos de cultivo [1].

En mercado de insumos biotecnológicos se puede encontrar sistemas SIT con etapas de automatización, sin embargo, presentan parámetros de configuración de funcionamiento poco configurables.

En la Universidad Técnica del Norte, el laboratorio de biotecnología cuenta con un sistema de inmersión temporal comercial, el sistema RITA, que cuenta con etapas de automatización, parámetros de control poco configurables.

Debido al alto costo de adquisición de estos sistemas en el mercado nacional además de sus costos de importación, En esta investigación se desarrollará un sistema de inmersión temporal SIT automatizado, que permita mayores prestaciones para la ejecución de los procesos de micropropagación y multiplicación de cultivo, logrando un sistema configurable y adaptable y económico a comparación con los sistemas comerciales.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar un sistema automático para biorreactores de inmersión temporal.

Objetivos Específicos

- Determinar los parámetros necesarios para desarrollo de sistemas de inmersión temporal.
- Diseñar el sistema de traspaso de líquido de cultivo (Biorreactores).
- Diseñar el sistema de control y automatización
- Implementar los sistemas diseñados para su posterior validación.

Justificación e Importancia

En la actualidad los métodos tradicionales de cultivo de semillas a la intemperie han tenido menores resultados frente a los nuevos métodos de cultivo. Se puede encontrar métodos de cultivo in vitro que ayudan a mejorar la propagación de cultivos, sin embargo, estos procesos han mejorado con ayuda de la implementación de sistemas automatizados para el control del proceso de micropropagación y multiplicación de cultivos vegetales, mejorando la calidad y cantidad y tiempos controlados de forma eficiente.

con la necesidad obtener mayor tasa de producción y calidad del producto los sistemas de inmersión temporal SIT se han empleado para desarrollar varias investigaciones con el fin de obtener una mejor calidad de producidos vegetales, así como producciones a gran escala, contribuyendo al sector alimenticio.

En Ecuador, el desarrollo de la biotecnología de propagación y mejoramiento de especies vegetales se encuentra en pleno crecimiento, varios centros de investigaciones han optado por la utilización de sistemas automatizados SIT, para la obtención de mejores resultados en cuanto a la producción vegetal.

En el campo de la investigación biotecnológica, se evidencia investigaciones relacionadas a micro propagación vegetal utilizando sistemas de inmersión temporal, tales como los utilizados en [2] se evidencia la utilización del sistema comercial RITA (Recipiente de Inmersión Temporal Automatizado) en un estudio realizado sobre el cultivo y clonación de embriones de plantas tropicales en ambientes controlados, obtenido resultados satisfactorios con el uso de estos sistemas automatizados.

En [3] abarca un estudio sobre el mejoramiento de las características de tubérculos como la papa utilizando sistemas de inmersión temporal semiautomatizados basados en modelos comerciales BIT (Biorreactores de Inmersión Temporal), obtenido resultados satisfactorios.

En dichas investigaciones, se evidencia que los sistemas de inmersión temporal utilizados no presentan mayores prestaciones en las etapas de automatización en cuanto a su facilidad de configuración de parámetros para su funcionamiento. En vista a los inconvenientes encontrados, surge la necesidad de implementar un sistema de inmersión temporal automatizado con mayores prestaciones de control y monitoreo para un funcionamiento óptimo y obtención de mejores resultados.

Dicho sistema lo se puede encontrar o fabricar con materiales disponibles en el mercado de la industria de producción vegetal, sin embargo, los SIT comerciales disponibles no cuentan con sistemas de automatización con todos los parámetros necesarios de acuerdo con las necesidades que se requiera para su utilización, sin embargo, son sistemas que pueden ser modificados y adaptados para cumplir con los requerimientos necesarios para obtener una producción eficiente.

Antecedentes

El campo de la producción vegetal ha surgido la necesidad de optimizar los procesos de cultivo, técnicas de cultivo in vitro han sido una solución efectiva, obtenido resultados eficientes en cuanto al desarrollo de tejidos vegetales en ambientes controlados, sin embargo, no suelen satisfacer la demanda de producción vegetal de interés comercial o de investigación a mediana y gran escala. Para la cual se han utilizado métodos de cultivo alternativos como los sistemas de inmersión temporal SIT, los que permiten la producción a mayor escala [4].

En la búsqueda de mejorar los rendimientos de los procesos biotecnológicos, ha sido cada vez más frecuente la implementación de tecnología para la automatización de varios procesos de estos sistemas SIT, logrando la optimización de recursos, costos de producción y tiempo de ejecución.

Los sistemas de inmersión temporal automatizados o semiautomatizados, representan un avance significativo referente a la micro propagación, clonado y conservación de especies vegetales, de los cuales se puede encontrar los modelos comerciales de frascos gemelos denominados Biorreactores de inmersión temporal BIT, diseñado por el Centro de Bioplasmas en Cuba, así como los Recipientes de Inmersión Temporal Automatizados RITA desarrollados por CIRAD (Centro de Cooperación Internacional en Investigación Agronómica para el Desarrollo) de Francia. Siendo el resultado de investigaciones para el desarrollo investigativo en el área de la Biotecnología, sin embargo implican un alto costo de adquisición, lo que representa un limitante a la hora de su implementación para aplicaciones de gran escala.

Como alternativa a esta limitante, se ha optado por el desarrollo y construcción de modelos de sistemas SIT, basados en los principios de funcionamiento de los sistemas antes mencionados,

abriendo la posibilidad de implementar y mejorar las etapas de automatización para el mejor rendimiento de estos sistemas.

En [5] se propone la construcción de un sistema de inmersión temporal BIT implementando etapas de automatización utilizando plataformas de software libre, como el Arduino Mega, utilizado como tarjeta de adquisición de variables físicas, y accionamiento de válvulas neumáticas, para la configuración y control de las etapas del sistema BIT.

Sin embargo, en la práctica, los dispositivos Arduino son utilizados con fines didácticos, mas no como alternativa en aplicaciones industriales, debido a su poca robustez y susceptible a interferencias como vibraciones y condiciones ambientales que podrían afectar correcto funcionamiento.

Un estudio más reciente realizado en el 2019, en [6] propone la construcción de un modelo de biorreactor de inmersión temporal, que su principio de operación se basa en la implementación de partes móviles mecánicas controladas eclécticamente por medio de un servomotor, que permite el contacto del explante vegetal y el medio de cultivo liquido en intervalos de tiempo, dejando de lado la utilización de dispositivos neumáticos para su funcionalidad, a la vez que utiliza tarjetas de control Arduino y Rasperry Pi para configurar y controlar al servomotor de forma automática, logrando un eficiente funcionamiento.

Tomando en cuenta que los dispositivos utilizados como el servomotor va destinado al control de un solo recipiente, presenta un gran desventaja con respecto a la utilización de depósitos neumáticos para realizar el contacto del medio de cultivo y el explante vegetal, los cuales permiten realizar el funcionamiento de varios biorreactores conectados en serie, así logrando mayor rendimiento de producción , sin embargo el sistema propuesto presenta un diseño hermético y

efectivo para controlar contaminación por el exterior, ideal para realizar estudios de cultivos individuales [6].

Sin embargo, se ha podido evidenciar que los prototipos o diseños propuestos en las investigaciones mencionadas, no cumplen eficientemente las demandas que requiere estos sistemas para proporcionar un mejor control en las etapas de cultivo de especies vegetales.

En [7] se emplea el uso dispositivo eléctricos más robustos aplicados a la industria como lo es los controladores lógicos programables, y conexión remota por medio de comunicaciones IP de los dispositivos utilizados, sin embargo, no implementan un sistema de monitoreo y control configurable mediante una interfaz humana maquina HMI.

Alcance

El presente proyecto tiene como finalidad automatizar un sistema de biorreactores de inmersión temporal que permitirá sumergir parcialmente los cultivos durante periodos iterativos que serán programados por el usuario en una interfaz gráfica.

El sistema de traspaso del líquido de cultivo será automático dando la posibilidad al usuario de cambiar el tiempo de operación según sus requerimientos.

Inicialmente constará de 10 biorreactores para su implementación y pruebas de funcionamiento del control de inmersión del cultivo y podrá ser desarrollado a gran escala en trabajos posteriores.

CAPÍTULO I

Marco Teórico

1.1 Método de propagación de Cultivo

Estudios e investigaciones realizadas en el área de la Biotecnología han logrado solucionar problemas de eficiencia y calidad de producción de productos vegetales a gran escala en comparación de los métodos tradicionales de cultivos directamente a la intemperie. Uno de los métodos eficaces para la propagación y multiplicación de cultivos vegetales, consiste en la ejecución de las siguientes etapas [8]:

- Etapa 0, el pre cultivo, donde se realiza tratamiento de la planta madre para extraer explantes vegetales, sea semillas o embriones vegetales.
- Etapa 1, introducción in vitro, hace referencia a la introducción de los explantes vegetales en un recipiente desinfectado y con ambiente controlado, acompañado de un medio de cultivo.
- Etapa 2: multiplicación, se produce el incremento del material vegetal, es decir se produce la multiplicación y crecimiento de los explantes vegetales.
- Etapa 3, enraizamiento: se presenta el desarrollo de raíces de los explantes vegetales.
- Etapa 4, aclimatación: se extrae los explantes vegetales enraizados para su adaptación y cultivo a la intemperie, fuera del ambiente controlado

1.2 Explante Vegetal

Explante vegetal hace referencia a porciones de tejido vegetal vivo, esporas, partículas de polen o semillas, que con la aplicación de técnicas de micropropagación, se transfiere a un entorno

de cultivo artificial al cual se suministra un medio de cultivo que ayude al desarrollo y crecimiento del este, conservando o mejorando sus características genéticas [9].

1.3 Cultivo In Vitro

Consiste en la utilización de recipientes herméticamente cerrados, ver figura. 1 cuya función es mantener el explante vegetal en contacto con un medio de cultivo que aporte nutrientes para su desarrollo y crecimiento adecuando en un ambiente libre de contaminación y controlado [10].

Figura 1

Cultivos in Vitro, recipientes de vidrio [11]



1.4 Medio de Cultivo

Es la formulación química de compuesto orgánicos compuesto por nutrientes, vitaminas, reguladores de crecimiento y agua esterilizada que ayuda al desarrollo de tejidos vegetales de manera controlada y óptimo [12].

1.5 Recipientes biorreactores de inmersión temporal

En el campo de la biotecnología enfocada a la investigación y producción vegetal, hace referencia a recipientes o contenedores generalmente de vidrio o policarbonatos que ofrecen un

entorno controlado de parámetros químicos y físicos que intervienen el desarrollo de planta en crecimiento, y permiten el contacto intermitente del explante vegetal y el medio de cultivo [10].

Figura 2

Modelos de SIT comerciales. Rita® [13].



La figura 2 muestra 3 modelos de biorreactores comerciales utilizados para la producción de cultivos vegetales [13].

1.6 Sistemas Inmersión Temporal SIT

Son métodos de cultivos que utiliza un conjunto de recipientes de biorreactores cuyo propósito es sumergir temporalmente al explante vegetales en un medio de cultivo con nutrientes para el desarrollo y crecimiento de la planta a cultivar, controlado el tiempo de contacto de la planta con el nutriente y la frecuencia que se repite esta acción según sea necesario. Logrando así una mejor adaptación de la planta en la etapa de traslado a un área de cultivo a la intemperie, obteniendo mejores resultados de crecimiento debido a la ventaja que presentan estos sistemas SIT frente al cultivo in vitro [14].

1.6.1 Tipos Sistemas de Inmersión Temporal

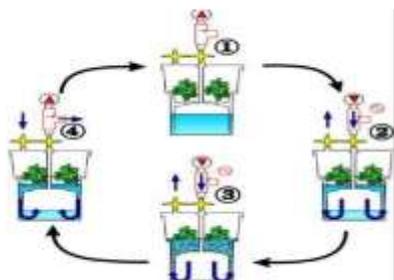
En área de investigación y producción de productos vegetales existen varios sistemas de inmersión temporal desarrollados para estos procesos, de los cuales se puede encontrar el sistema RITA, el sistema BIT y el sistema BIG, cuyos principios de operación y función proporcionan un contacto intermítete entre un medio de cultivo y los explantes vegetales, resultando una gran mejora en la tarea de propagación y multiplicación de especies vegetales a gran escala de manera eficiente [14].

1.6.2 Recipiente de Inmersión Temporal Automatizado RITA

El modelo RITA, ver figura 3, tiene como característica el uso de un solo recipiente construido de policarbonato cuya estructura interna permite separar por medio de una camilla o cesta perforada al explante vegetal y el medio de cultivo en la parte superior e inferior respectivamente, estos logran ponerse en contacto al suministrar una presión de aire estéril atreves de aberturas en su parte superior, al desactivar el suministro de aire el medio de cultivo retorna a la parte inferior del recipiente [14].

Figura 3

Sistema de cultivo de Inmersión Temporal RITA [14].

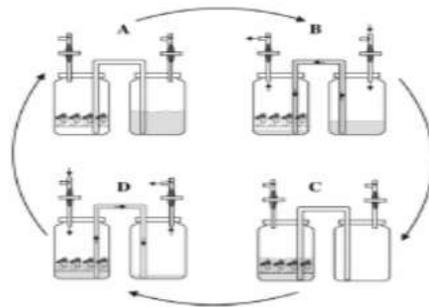


RITA es una marca registrada de Vitropic S.A, lo que hace imposible realizar réplicas de estos productos y limita el uso al modelo comercial y el costo de implementación dependerá de cuantos recipientes se requiera implementar.

1.6.3 Biorreactores de Inmersión Temporal BIT

Consiste en un conjunto de dos recipientes que puede ser de vidrio, policarbonato o plástico, denominados biorreactores cuya función es mantener un ambiente controlado para desarrollo y crecimiento de explantes vegetales, uno de estos recipientes se utiliza para contener el explante vegetal y el otro el cultivo con los nutrientes como se muestra en la figura 4, conectados por aberturas en su parte superior por medio de tuberías, por donde se podrá transferir el medio de cultivo hacia el explante vegetal, suministrando presión de aire estéril al contenedor que contiene el medio de cultivo, al desactivar la presión de aire a este recipiente y suministrar la presión al contenedor que contiene el explante vegetal, de aire al el líquido de cultivo regresara a su recipiente de origen [14].

Figura 4 Biorreactores de Inmersión Temporal BIT [14].



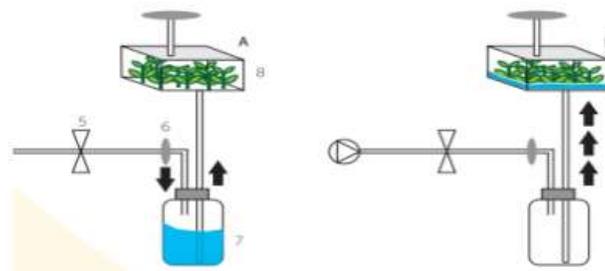
La implementación de este tipo de sistemas presenta mayores facilidades de adaptación a los requerimientos y necesidades de aplicación, debido a que permite una variedad de selección de recipientes para su construcción y también existen modelos comerciales.

1.6.4 Biorreactores de Inmersión por Gravedad BIG

Este modelo consta de dos biorreactores, que su función es similar a los modelos antes mencionados, el biorreactor que contendrá el explante vegetal se coloca en la parte superior del biorreactor que contendrá el medio de cultivo como se muestra en la figura 5, que al suministrar presión de aire estéril en el contenedor inferior, esto hará que el medio de cultivo se traslade hacia el biorreactor principal, el retorno del medio de cultivo hacia su recipiente de origen se logra por efecto de la gravedad desactivando el suministro de presión de aire [14].

Figura 5

Biorreactores de Inmersión por Gravedad BIG [14]



1.7 Comparación de Modelos de Inmersión Temporal

Los modelos de inmersión temporal anteriormente descritos, tienen como mismo propósito de mantener un ambiente de desarrollo controlado mediante el contacto temporal del medio de cultivo y el explante vegetal.

De acuerdo a la investigación [15] se utilizaron los tres modelos comerciales disponibles para la producción comercial de caña de azúcar dando como resultado un similar rendimiento. Sin embargo, la notable desventaja analizada fue en el desarrollo del tamaño del explante de caña

obtenida en el modelo RITA, que, debido a sus dimensiones de recipiente que es un modelo único, el tamaño de la planta fue notablemente reducido a comparación de las plantas desarrolladas en los otros modelos BIG y BIT cuyas dimensiones varían según el modelo de recipiente implementado. Sin embargo, es un aspecto para en cuenta según el tipo de planta que se utilice en el sistema de cultivo, por lo que no podría presentarse esta desventaja.

Otro aspecto analizado fue que la producción de brotes de la caña de azúcar fue relativamente similar entre los tres sistemas utilizados. De acuerdo con estos análisis se puede determinar que eficiencia en producción de brotes vegetales en los tres sistemas de cultivos es eficiente sin que exista una diferencia considerable como se muestra en la tabla 1. Sin embargo estos sistemas difieren en cuanto a costos de implementación y facilidad de adquirirlos [15].

Tabla 1 Comparación modelos de Sistemas de Inmersión Temporales [15].

Modelo	Rendimiento por brotes	Costo	Ventajas/Desventajas
SIT	obtenidos		
RITA	95 %	alto	Únicamente modelo comercial/ tamaño estándar 1 litro
BIT	97 %	medio	Modelo comercial y/o elaboración propia
BIG	98 %	medio	Modelo comercial y/o elaboración propia

1.8 Automatización aplicada a los procesos de cultivo vegetal

La implementación de etapas de automatización puede implementarse como una herramienta efectiva para mejorar el proceso de micropropagación y cultivo de especies vegetales,

optimizado recursos de y labores manuales. Las fases del cultivo que son adaptables a procesos son [8]:

- La evaluación de los explantes vegetales o cultivos embriogénicos
- Desarrollo embriogénico, micropropagación de explantes vegetales
- Mecanismos o maquinas adaptadas para optimizar la recolección o cosecha del producto final.
- Maquina utilizada en la etapa de post cosecha, proceso de conversión a planta y distribución

En el presente trabajo, se enfocará en la implementación de procesos de automatización en la fase de desarrollo embriogénico, micropropagación de explantes vegetales, mediante el uso de biorreactores de inmersión temporal basados en la adición y agitación del medio de cultivo de forma temporal y automatizada.

1.9 Dispositivos de control

Existen varias tarjetas programables y controladores lógico programables, tales como las tarjetas electrónicas de Arduino, tarjetas programables de Rasperry Pi, microcontroladores, y controladores lógicos programables PLC, relés temporizados, que se han utilizado en la implementación de sistemas de inmersión temporal automatizados, ofreciendo los parámetros necesarios para su correcta implementación, tales como un control en el control de las válvulas solenoides, así como permitir la implementación de interfaces gráficas para el monitoreo y configuración de los procesos mediante HMI, sin embargo hay que tomar varios aspectos para

seleccionar la opción de acuerdo a sus funcionalidades, en la tabla 2, se describe la funcionalidad de los dispositivos utilizados en sistemas SIT descritos anteriormente.

Tabla 2 *Dispositivos electrónicos de control utilizados en sistemas SIT.*

Dispositivo	Microcontrolador/Arduino	PLC	Relé Temporizado
Ventaja	Variedad de funciones, instrucciones disponibles, tamaño reducido	Resistente a varias rutinas de trabajo, larga durabilidad, carcasa con protección a golpes.	Resistente a varias rutinas de trabajo.
Desventaja	Baja durabilidad: Fallos de cortocircuito Choque estático del medio ambiente Daño físico Daños por humedad y fluidos	Mediana flexibilidad: Funciones, instrucciones predefinidas .	Limitada flexibilidad, configuraciones únicas.
Costo	Bajo	Alto, medianamente alto en	Bajo

La tabla 2 comprende de una comparación de ventajas y desventajas en forma general de algunos de los dispositivos de control para proyectos de automatización [16].

Arduino es una tarjeta electrónica que didáctica para realizar esta operación de control, sin embargo, no es una tarjeta de control que pueda utilizarse en aplicaciones a gran escala, debido a su poca robustez, susceptible a daños físicos y por el ambiente de trabajo.

Los Relés Temporizados, cumplen la funcionalidad para aplicarlos en automatización de SIT, sin embargo, son dispositivos poco configurables, por lo que no se obtendría una experiencia de usuario satisfactoria.

Debido a las características de resistencia, robustez y durabilidad, para la presente aplicación, y capacidad de ampliación mediante módulos de expansión de salidas y entradas, se optará por la utilización de los controladores lógicos programables PLC.

1.10 PLC LOGO 8 OBA8 230

Debido a su robustez, es el componente ideal para aplicaciones de automatización a pequeñas y medianas escalas, el modelo seleccionado además de contar con las principales funciones típicas de un PLC cuenta con funciones de comunicación Ethernet, ver figura 6, lo que amplía su capacidad de crear pequeñas redes locales de comunicación Ethernet, para implementar funciones de monitoreo y control de forma remota con dispositivos vinculados a la red Ethernet [17].

Figura 6

PLC Logo 8 230RCA [17].



La tabla 3 muestra las características generales del modelo PLC Logo 8 230RCA que proporciona el anexo 1.

Tabla 3*Características principales Logo 8 230RCE*

Características	Descripción
Modelo	Logo 8 230 RCE
Alimentación	110-220 VAC
Comunicación/Programación	Entrada Ethernet
Entradas	8 entradas(4 analógicas)
Salidas	4 salidas a relé 10 A máximo
Protección contra corto circuitos	No requiere protección externa
Temperatura máxima de trabajo	0 a 50 grados centígrados
Memoria	Hasta 400 bloques
Expansión	Bloque de expansión I/O
Software de programación	LogoSoft Confort

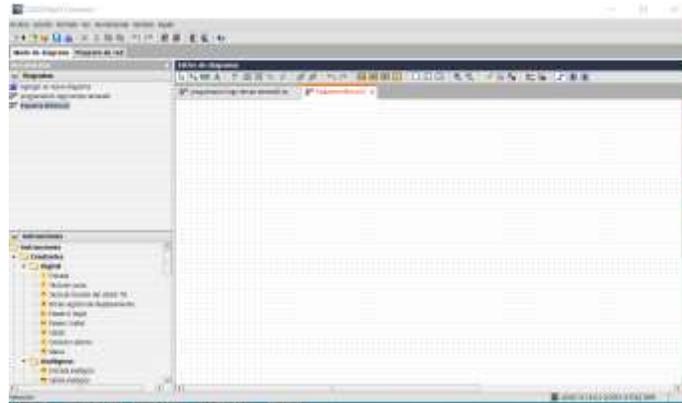
1.10.1 Software LOGO SOFT V8.3

Mediante el software LOGO SOFT V8.3 se realizará la programación de las funciones del PLC logo 8 230 RCE, utilizando el lenguaje de programación FUP, que representa una programación basada en bloques lógicos como OR, AND, NOT, XOR, NAND, NOR.

Tiene la ventaja de agrupar diferentes lógicas de programación por medio de varios bloques. Además de funciones como establecer comunicación con dispositivos HMI mediante protocolo Modbus TCP/IP.

Figura 7

Interfaz Logo Soft Confort V8.3



La figura 7 muestra la interfaz de inicio del software LOGO SOFT V8.3 utilizando el lenguaje de programación FUP.

Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: Diego Campués

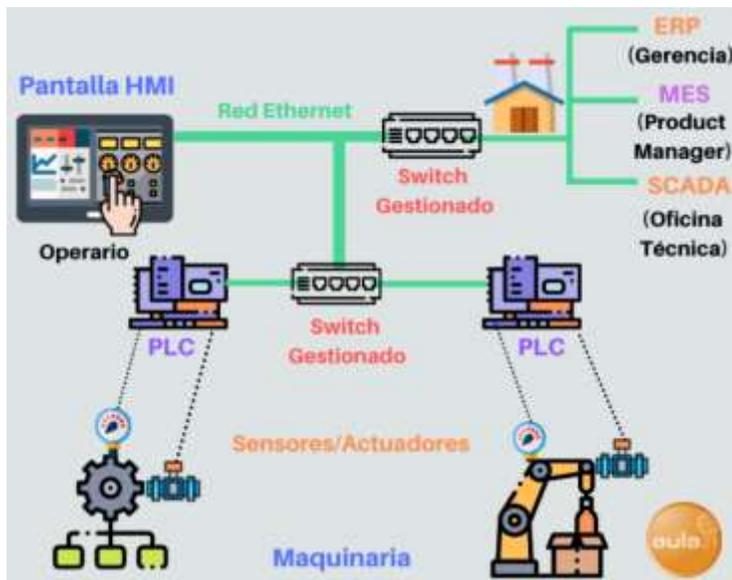
1.11 Interfaz Humano Maquina HMI

Implica el control y monitoreo de procesos industriales, mediante la interacción del usuario y los dispositivos de control, mediante una representación visual de los procesos a controlar , tiene las siguiente funciones principales [18].

- Visualización de datos, configuración de parámetros.
- Seguimiento del tiempo de ejecución de producción
- Supervisar las entradas y salidas de la maquinaria en producción.

Figura 8

Diagrama Básico de un HMI/Interfaz Humano Máquina [18].



La figura 8 muestra un diagrama básico de un proceso de automatización con la interacción de HMI y dispositivos de control.

1.11.1 Normativa para interfaces graficas ANSI/ISA-101.01-2015

La normativa hace relación a la presentación de la información, la ergonomía de visualización de los datos, y las características que se debe implementar en intereses de usuario hombre- máquina HMI [19].

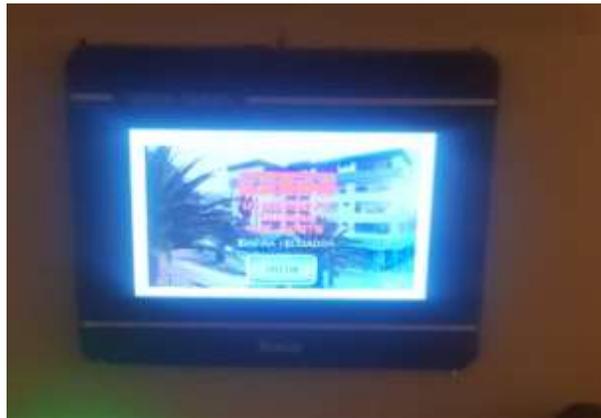
Visualización de datos, la organización de espacio proporcionado por las pantallas de visualización para la presentación de los elementos de manera que sea clara visible, selección de colores de fondo y dimensiones de figuras, botoneras y Camps de ingreso de texto, que permita una clara visualización y facilidad de identificar elementos. Incluir elementos necesarios para la navegación entre las pantallas de la interfaz gráfica desarrollar [19].

1.11.2 HMI Kinco GL043E

Debido a la característica de comunicación Ethernet del PLC logo 8, la HMI de interacción física de la marca Kinco modelo GL043E, ver figura 9, resulta una gran alternativa por ser compatible con la comunicación Ethernet, además de contar con funciones suficientes para desarrollar una interfaz intuitiva para el usuario, debido a su característica de ser un panel táctil y variedad de funciones programables, ver tabla 4.

Figura 9

HMI Kinco GL043E



La figura 7 muestra la HMI Kinco GL043E a utilizarse en el presente trabajo.

Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: Diego Campués

La tabla 4 muestra las características generales la HMI Kinco GL043E que proporciona el anexo 4.

Tabla 4

Características principales HMI Kinco GL043E

Características	Descripción
Modelo	Kinco GL043E

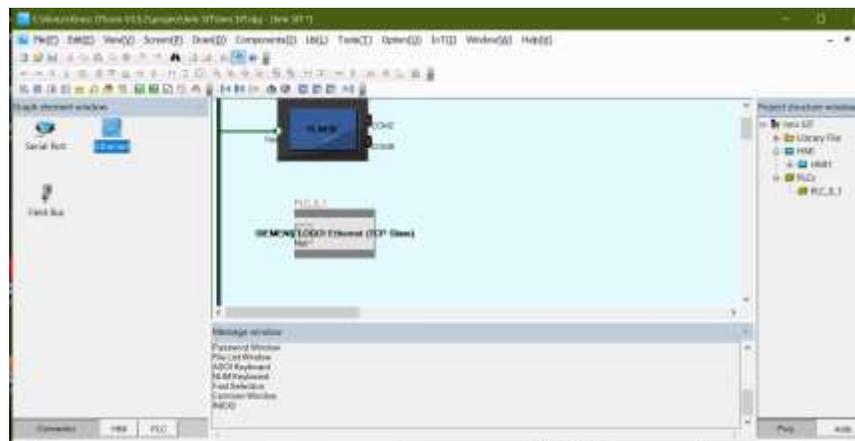
Alimentación	10 A 28 VDC
Comunicación/Programación	Ethernet-puerto serial, USB
Tamaño de pantalla	4.3 pulgadas
Resolución	480*272 pixeles
Panel	Panel táctil
Temperatura de trabajo	0 a 50 grados centígrados
Grado de protección	IP65 certificación(4208—93)
Vida útil de la pantalla	Más de 30000 horas
Software de programación	Kinco DTools V3.3 y versiones superiores

1.1.1 Software Kinco DTools V 3.3

Mediante el software, se configurará la comunicación entre el HMI Kinco G1043E y el PLC Logo 8 230 RCA, ver figura 10, además se desarrollará la interfaz gráfica para el control y monitoreo de la aplicación del sistema SIT.

Figura 10

Interfaz Software Kinco DTools V 3.3



Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: Diego Campués

La figura 10 muestra la interfaz de inicio del software *Kinco DTools V 3* estableciendo la comunicación entre PLC Y HMI.

1.2 Protocolo de comunicación PLC-HMI

Modbus TCP/IP es una implementación del protocolo Modbus que trabaja en los niveles 1, 2 y 7 del Modelo OSI, con la estructura maestro/esclavo. Es un protocolo de comunicación utilizado para supervisión y control de equipos en automatización que estén conectados en diferentes tipos de buses o redes [20]. Entre las características se puede mencionar las siguientes:

- Transmisión en la arquitectura Cliente/Servidor.
- El mecanismo de acceso al medio, a nivel de capa de enlace, es Maestro/Esclavo.
- Dispone desde 1 hasta 247 esclavos.
- Usa códigos de funciones para enviar la operación a realizar por el esclavo.
- Protocolo público, compatible con varios dispositivos.

La figura 11 muestra la arquitectura de red, con los dispositivos a implementarse en el sistema SIT, para comunicarse bajo el protocolo Modbus TCP/IP, donde se establece las direcciones IP y mascara de subred dentro de los mismos parámetros.

Figura 11 *Arquitectura Red LAN Protocolo TCP/IP* [20].



1.3 Switch de cable Ethernet RJ45

Es un dispositivo para interconectar varios equipos dentro de una red de área local, LAN, ver figura 11, conocidos como conmutador de red, que trabajan en la capa de enlace del modelo OSA(Open System Interconnection), utilizados para conectar y enviar paquetes de datos desde el origen al destino con los quipos conectados a misma red local cableada [21].

Figura 12

Switch Ethernet RJ45 [21]



En el presente trabajo, se utilizará un Switch PIX LINL LV SW05, ver figura 12, para interconectar el HMI Kinco GL043E Y EL PLC Logo 230 RCE mediante sus puertos Ethernet, además de la posibilidad de interconectar una o más PC para la interacción de estos dispositivos para modificaciones de software, monitoreo y acceso a la interfaz gráfica de forma remota.

La tabla 5 muestra las características generales la Switch PIX LINL LV SW05 [22].

Tabla 5 Características Switch Ethernet

Características	Descripción
Marca	PIX LINK LV SW05
Conexión	5 puertos RJ45 de negociación automática de 10/100Mbps
Indicador	5 indicadores LED que muestran el estado de la conexión.
Alimentación	5 VDC

1.4 Actuator Electroválvula Neumática.

Para el funcionamiento del sistema SIT se requiere el control de flujo de aire hacia los recipientes biorreactores BIT, se requiere actuadores que incorporen vías de alimentación de flujo de aire, salida y desfogue de aire, para lo cual se utilizará electroválvulas neumáticas 5/3 (5 vías, 3 posiciones, con centro cerrado), ver figura 13, Con este tipo de electroválvulas, se utiliza una por sección de biorreactores.

Figura 13

Electroválvula Neumática PNEUMATIC 5/3 NC 110V



la Tabla 6 muestra las principales características de la electroválvula seleccionada que proporciona el anexo 2.

Tabla 6 *Características Electroválvula Neumática 5/2*

Características	Descripción
Electroválvula	5/3 vías, NC, neumática
Presión de Trabajo	0.15 MPa – 0.9 MPa
Carcaza	Aluminio
Conectores	DIN 43650 tipo B
Bobina:	110 VAC a 5 A
Grado de Protección	IP65
Conexión	G1/8"
Consumo Eléctrico	CA: 1,3 VA CC: 1,5 W

1.5 Fuente neumática

1.5.1 Compresor neumático

La fuente neumática se utiliza un compresor neumático que proporcionara la presión de aire necesaria para alimentar al sistema SIT, en las etapas de traspaso y retorno de líquido de cultivo en los biorreactores, se tiene que tomar en cuenta la capacidad necesaria de estos elementos para su aplicación, debe proporcionar la capacidad suficiente tomando en cuenta los módulos de biorreactores máximos a implementar, el compresor utilizado para el sistema SIT a desarrollar.

Figura 14

Compresor Neumático PORTEN PCB 0224



La figura 14 muestra el compresor neumático PORTEN PCB 0224 a utilizarse en presente trabajo.

Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: Diego Campués

La tabla 7 muestra las características principales del compresor neumático PORTEN PCB 0224 proporcionadas en el anexo 5.

Tabla 7

Características Compresor PORTEN PCB 0224

Características	Descripción
Motor	eléctrico con protector térmico.
Cuerpo	Tanque horizontal con ruedas resistentes y agarradera que permite una fácil movilización y transporte.
Consumo	Motor 2 hp – 1.5 kW
Caudal de aire:	Caudal de aire: 3.9 cfm @ 40 psi / 3.5 cfm @90 psi
Presión máxima:	116 psi -8 bar
Capacidad del tanque	24 litros – 6.3 galones
Voltaje de entrada:	110V – 60 Hz

1.5.2 Unidad de mantenimiento FRL

Debido a que el aire utilizado por los dispositivos neumáticos es susceptible a impurezas del exterior, se utiliza una unidad de mantenimiento neumático, cuyas etapas de filtro, regulador de presión y lubricación, para evitar el deterioro de los mismos.

Para su selección se debe tomar en cuenta el caudal de aire necesario, presión de trabajo y temperatura de operación. Por lo que selecciono el FRL mostrado en la figura 15.

Figura 15

Unidad de mantenimiento FRL PNEUMATIC AC 30 00 03



la Tabla 8 muestra las características principales del FRL PNEUMATIC AC03 00 03 que proporciona el anexo 3.

Tabla 8

Características Unidad de Mantenimiento FRL PNEUMATIC AC03 00 03

Características	Descripción
Resistencia a la presión garantizada	1.5 MPa
Max presión de trabajo	1.0 MPa
Protección de filtro	25 micrómetros (um)
Caudal Max	2000 L/min
Lubricante recomendado	Turbine No 1 Oil ISOvg32
Material	Policarbonato
Rango de ajuste de presión	0.05 MPa a 0.85 MPa
Conector	G 1/4 “

CAPÍTULO II

Materiales y Métodos de Construcción

El solo hecho de la adquisición de los SIT comerciales como RITA o BIT, para la implementación etapas de automatización, implica un alto costo económico. Debido a las ventajas que presenta el modelo BIT, en el presente trabajo se utilizará dicho modelo para la construcción de un sistema BIT automatizado, al ser un método de cultivo, económico eficiente y adaptable a los requerimientos según su aplicación.

Para lo cual se realizará una investigación de los materiales necesarios y disponibles en el país, con la finalidad que sean de fácil adquisición, fácil implementación y ofrezcan el funcionamiento óptimo requerido, logrando así construir sistema asequible económicamente a comparación con los modelos comerciales que se encuentran el en extranjero y cuyo precio es muy elevado sin contar con los valores adicionales para su importación.

2.1 Selección Recipientes biorreactores BIT

. Existen varios parámetros para la selección de material que estará fabricado un birreactor, los cuales se mencionan a continuación [8]:

- Ser autoclavable, es decir que sea resistentes a procesos de desinfección por medio de autoclave, un proceso de desinfección por altas presiones de vapor y calor y el más utilizado para realizar dicho proceso, además debe ser de un tamaño fácil de manipular.
- Ser de un material transparente, que permita la entrada de luz hacia el explante vegetal dentro del biorreactor, ya que la luz es un parámetro que influye en el proceso de crecimiento y desarrollo vegetal, además de ser un entorno visible para su monitoreo.

- Ser fácil de implementar, para su correcta manipulación y montaje.

Generalmente se utiliza recipientes de vidrio o plástico transparente (policarbonato autoclavable), que presentan las siguientes características mostradas en la tabla 9.

Tabla 9

Características de los recipientes utilizados en sistemas SIT

Material	Ventajas	Desventajas
Recipientes de vidrio	Transparente, fácil adquisición .	Propenso a romperse debido a la mala manipulación.
Recipientes de policarbonato	Transparente, medianamente adquiribles.	Corta vida útil, y opacidad debido a procesos de desinfección.

Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: Diego Campués

Por lo que se ha optado por recipientes de vidrio de forma cilíndrica de capacidad de 1 litro, con tapa metálica roscada mostrados en la figura 16, al cual se le acondicionara dos espigas neumáticas de 1/8 de pulgada de cobre o acero inoxidable para la conexión de las tuberías para el ingreso de presión de aire y el flujo de medio de cultivo líquido.

Figura 16

Elaboración *Biorreactores BIT*



Para la aplicación, se utilizará un conjunto de varios biorreactores dependiendo de la necesidad requerida para pruebas de su funcionamiento, los cuales deben ser acoplados como se muestra en la figura 17, conjuntamente con el suministro de presión de aire y los dispositivos de control.

Figura 17

Conexión *Biorreactores BIT- elaboración propia*



2.2 Tubos distribuidores de presión de aire

Para lograr distribuir la presión de aire hacia los recipientes biorreactores, se utiliza dos tubos de PVC de ½ pulgada de diámetro, ver figura 6, altamente resistentes a la corrosión y resistente a la presión de aire, que se acoplaran a cada sección de recipientes de biorreactores. En un extremo debe acoplarse un tapón plástico para evitar fuga de presión de aire y en el otro extremo debe acoplarse un acople neumático recto para el ingreso de presión de aire

Figura 18

Construcción Tubo distribuidor de presión de aire.



Tabla 10 *Tubo distribuidor de presión de aire*

Tubo PVC	Características
Tubo PVC	½ Pulgada ø
Longitud del tubo	1 m
Distancia de perforación	10 cm

La Tabla 10 indica la distancia adecuada para realizar las perforaciones de acuerdo al tamaño y cantidad de biorreactores a conectarse el tubo distribuidor de aire.

2.3 Microfiltro de Aire

Son utilizados para garantizar una adecuada esterilización de aire que se ingresará a los recipientes Biorreactores, para evitar la contaminación de partículas externas hacia los explantes vegetales y medio de cultivo, es recomendable utilizar micro filtros con una porosidad de 0.22 micrómetros(um) para este tipo de aplicaciones de filtrado de aire [6].

Figura 19

Micro Filtro NEST 0.22 um.



La figura 19 muestra el filtro a utilizar y presenta las siguientes características mostradas en la Tabla 11.

Tabla 11

Características Microfiltro de Aire NEST.

Micro filtro NEST	
Tamaño de porosidad	0.22 micrómetros
Tipo de membrana	PES o PVDF
Volúmenes de muestra en liquido	2 ml a 100 ml
Temperatura máxima de funcionamiento	100 °C
Esterilización	Autoclavable a 125 °C durante 15 min
Presión máxima de operación de filtración de aire.	100 i (6.8 bar)

2.4 Requerimientos del sistema neumático SIT

Para recipientes biorreactores implementados en los sistemas SIT, se aplica una presión nominal de 0.2 bar por cada biorreactor [7], en el presente trabajo se instalará 10 biorreactores para lo cual se tendrá los siguientes requerimientos, ver Tabla 12.

Tabla 12

Presión total requerida para los biorreactores

Descripción	Requerimientos
Cantidad de recipientes	10 biorreactores
Presión nominal por cada biorreactor	0.2 bar
Presión total de la sección de recipientes	2 bares

De acuerdo con las tablas de características de los elementos neumáticos seleccionados, la tabla 13 muestra los datos de pérdidas de presión de aire, con la conversión a un solo sistema de unidad, para realizar un cálculo de la presión necesaria para alimentar a la sección de biorreactores BIT.

Tabla 13

Datos de pérdidas de dispositivos neumáticos del sistema SIT

Elementos neumáticos	Unidad P/Datos Técnicos	Conversión de unidad	Nomenclatura de Pérdida
FRL PNEUMATIC	0.05 MPa a 0.87	0.5 bar a 8.7 bar	P FRL
AC 30 00 03	MPa		
Electroválvula N PNEUMATIC 5/3NC	0.15 MPa a 0.9 MPa	1.5 bar a 9 bar	P ev

Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: Diego Campués

En la electroválvula neumática se tiene que cada 9 bar se pierde 1.65 bares de presión por lo que, utilizando una regla de tres, utilizando como referencia los 2 bares de presión que requiere la sección de biorreactores a implementar, se tiene una pérdida de:

$$9 \text{ bar} \rightarrow 1.5 \text{ bar}$$

$$2 \text{ bar} \rightarrow X$$

$$P_{ev} = 0.33 \text{ bar}$$

De igual forma se calcula la pérdida de la unidad de mantenimiento FRL, con referencia a 2 bar de presión requeridos por la sección de biorreactores del sistema SIT.

$$8.7 \text{ bar} \rightarrow 0.5 \text{ bar}$$

$$2 \text{ bar} \rightarrow X$$

$$P_{FRL} = 0.11 \text{ bar}$$

Por lo que la presión de aire requerida por la sección de biorreactores a implementar en el sistema SIT viene dada por la siguiente expresión.

$$P_{SIT} = 2 \text{ bar} + P_{ev} + P_{FRL}$$

$$P_{SIT} = 2.44 \text{ bar}$$

Tomando en cuenta que las pérdidas de presión en tubería y conexiones se considera despreciables, sin embargo, se tomara un 20 % de tolerancia como margen de pérdida en accesorios, por lo que la presión necesaria real viene dada por el siguiente resultado.

$$P_{SIT\ t} = 2.44 \text{ bar} + 20\%(2.44 \text{ bar})$$

$$P_{SIT\ t} = 2.92 \text{ bar}$$

De acuerdo con las características del compresor, la presión de operación logrará abastecer a la sección de biorreactores conformados por 10 recipientes, dependiendo al aumentar más secciones de biorreactores, no podrán funcionar todas las secciones al mismo tiempo, las secciones de biorreactores deben funcionar con un intervalo de tiempo de ejecución.

2.5 Parámetros adicionales para controlar.

Los explantes vegetales que se cultivan en entornos aislados como los biorreactores, deben desarrollarse en ambientes donde se controle propiedades físicas como la temperatura y luminosidad, ya que son propiedades que repercuten directamente al desarrollo del explante vegetal [23].

Partiendo de que este tipo de sistemas, se implementaran en centros de estudios como laboratorios de Biotecnología, dichos establecimientos cuentan control de temperatura controlados por sistemas de aire acondicionado, el control del temperatura quedaría adecuado por parte de las instalaciones donde vaya a ser implementado, por lo que en el presente trabajo además automatizar las etapas de inmersión temporal, adicionalmente se implementará el control y monitoreo de luminosidad que incidirá hacia los biorreactores.

2.5.1 Control de iluminación

Esto se logra con la implementación de luz artificial, empleando lámparas fluorescentes, al ser componentes eléctricos se logrará un control de iluminación según los requerimientos del explante vegetal a cultivar [23]. Se utilizará lámpara fluorescente de 30 W, ver figura 20, de tipo tubo para lograr una total incidencia de luz a todos los Biorreactores del sistema SIT.

Figura 20

Instalación Lámpara fluírseme Tubular 30 W



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

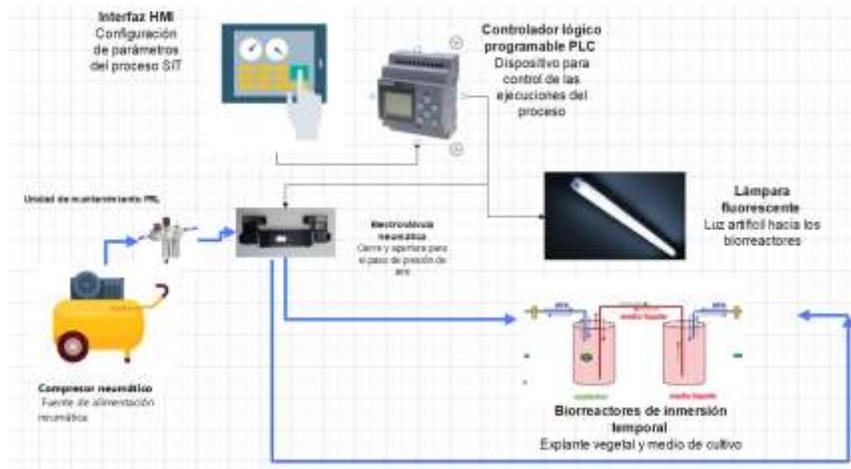
2.6 Descripción del proceso sistema SIT

Se detalla el proceso del Sistema de Inmersión temporal con etapas de automatización mediante la Interfaz gráfica HMI, dispositivo para configurar y monitorear los siguientes parámetros.

- Tiempo de traspaso del medio de cultivo (minutos -segundos)
- Tiempo de inmersión del explante vegetal en el medio de cultivo (minutos- segundos)
- Frecuencia de inmersión, tiempo para repetir el proceso (horas- minutos)
- Fecha y hora de inicio de las operaciones de sistema SIT
- Registro fecha-hora de las acciones de traspaso y retorno del medio de cultivo (hoja de registro de datos)
- Hora de activación de la lámpara fluorescente (0 h a 24 h)

Una vez configurados parámetros previamente descritos, el controlador lógico programable ejecutara de manera automática la secuencia de proceso, controlado la activación de la electroválvula neumática permitiendo el flujo de aire hacia los biorreactores implementados en el sistema SIT. La figura 21 muestra el esquema general del proceso de automatización de SIT.

Figura 21 Esquema general de elementos de automatización SIT UTN.

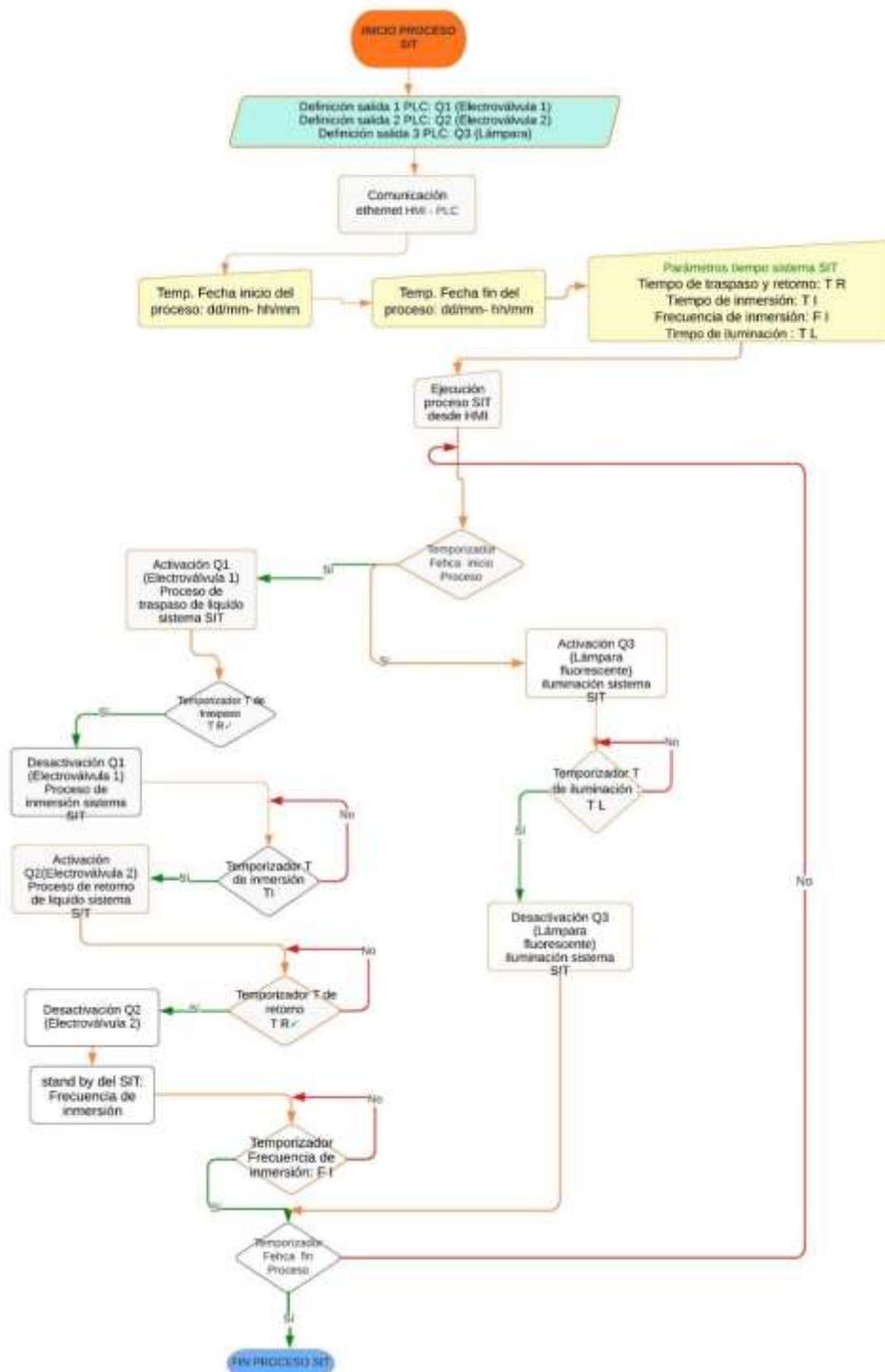


*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

La figura 22 muestra el diagrama de flujo del proceso de automatización del SIT.

Figura 20

Diagrama de Flujo SIT UTN



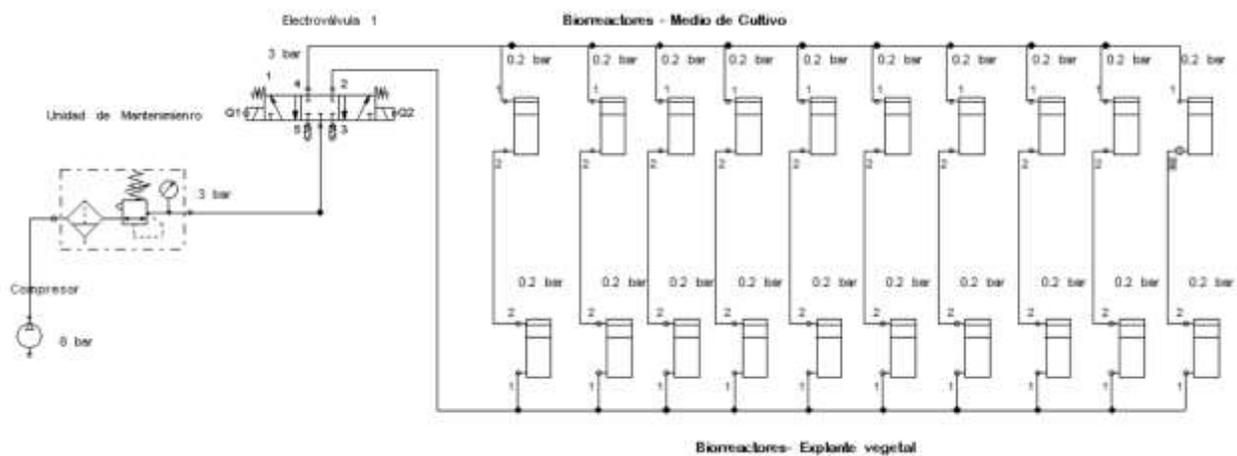
Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués

2.7 Diagrama neumático SIT

Los recipientes biorreactores, por motivos de simulación son considerados como un cilindro de simple efecto, se considerará una sección 1 de 10 recipientes para los biorreactores que contendrán el medio de cultivo, y una sección 2 de 10 recipientes para los biorreactores que contendrán los explantes vegetales, ver figura 23.

Figura 21

Esquema neumático, estado inicial del sistema SIT.

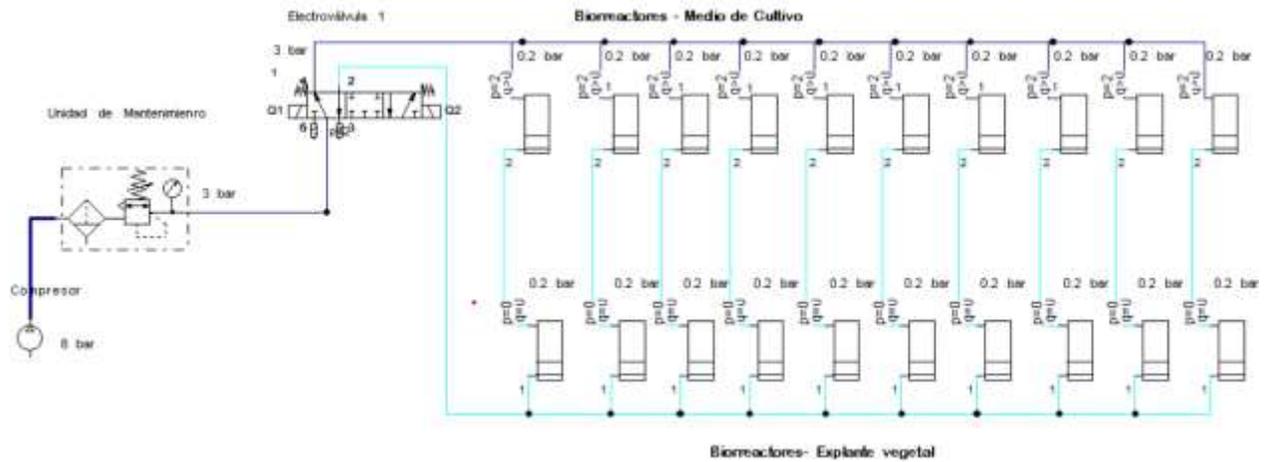


Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués

Al activar la electroválvula normalmente cerrada en la bobina Q1, la salida 4 de la electroválvula alimentará la presión de aire hacia los biorreactores de la sección 1, por la conexión neumática 1 de los recipientes de esta sección, y se logrará el traspaso del medio de cultivo hacia la sección 2 de los recipientes que contienen los explantes vegetales a través de las conexiones neumáticas 2, ver figura 24, el exceso de aire se conducirá por la conexión neumática 2 de esta sección hacia la salida 3 de la electroválvula.

Figura 22

Esquema neumático, estado 1 del SIT, activación de Q1-Traspaso.

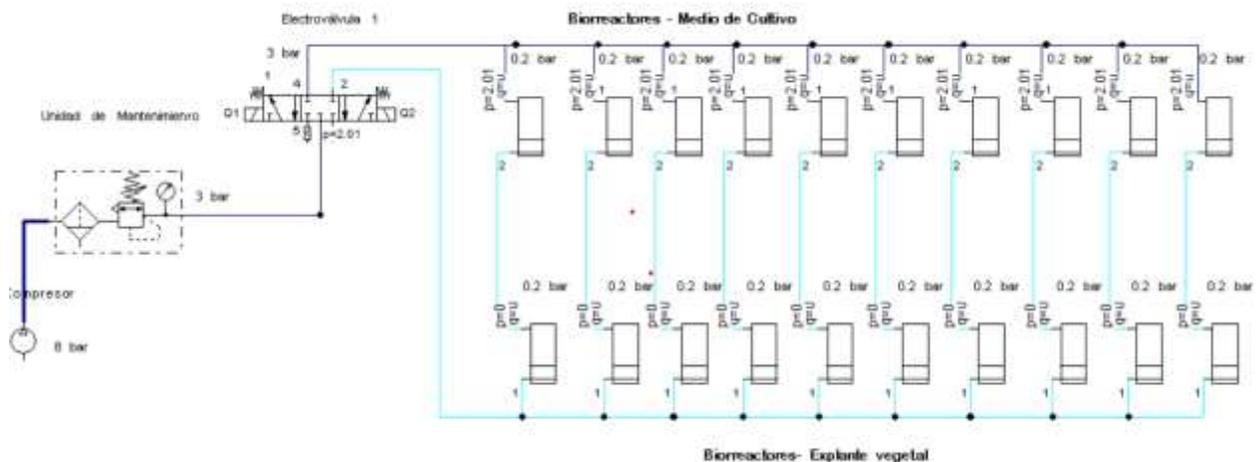


Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués

Cuando se desactive la bobina Q1, el exceso de aire retornara por la salida 5 y 3 de la electroválvula, esta se denomina etapa de inmersión del explante vegetal con el medio de cultivo, ver figura. 25.

Figura 23

Esquema neumático, retorno al estado 1 del SIT, etapa de inmersión.

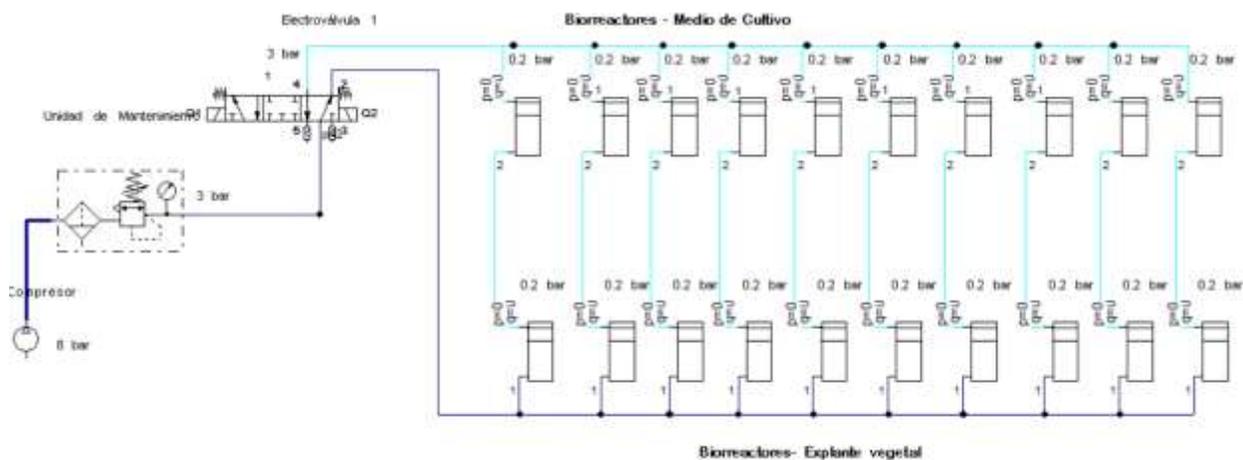


Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués

Del mismo modo, al activar la electroválvula normalmente en la bobina Q2, la salida 2 de la electroválvula alimentará la presión de aire hacia los biorreactores de la sección 2 por la conexión neumática 1 de esta sección, logrando así el retorno del medio de cultivo hacia la sección 1, a través de las conexiones neumáticas 2, el exceso de aire se conducirá por la salida 5 de la electroválvula, ver figura 26.

Figura 24

Esquema neumático, estado 2 del SIT, activación de Q2-Retorno.



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

Logrando así un ciclo de inmersiones del sistema SIT, por medio de la activación de las bobinas de la electroválvula, cuyo tiempo de ejecución será controlado por el controlador PLC y configurado por el usuario a través de la interfaz gráfica HMI.

2.7 Comunicación HMI Kinco GL043 E y PLC logo 8 230 RCE

Los parámetros como dirección IP, Máscara y Puerta de enlace de los dispositivos deben estar de la misma dirección para establecer la conexión Ethernet.

2.8 Parametrización del PLC con Software LOGO SOFT V8.3.

De acuerdo con el esquema electroneumático, una vez conocida la secuencia de activación de las electroválvulas, se procede a realizar la programación del controlador lógico programable para controlar y modificar dichas secuencias para el funcionamiento del sistema de inmersión temporal, utilizando el software Logo Sof Conforto, mediante el lenguaje de programación FUP (secuencia de bloques). El código de programación de diagrama FUP del se muestra detallado en el anexo 6.

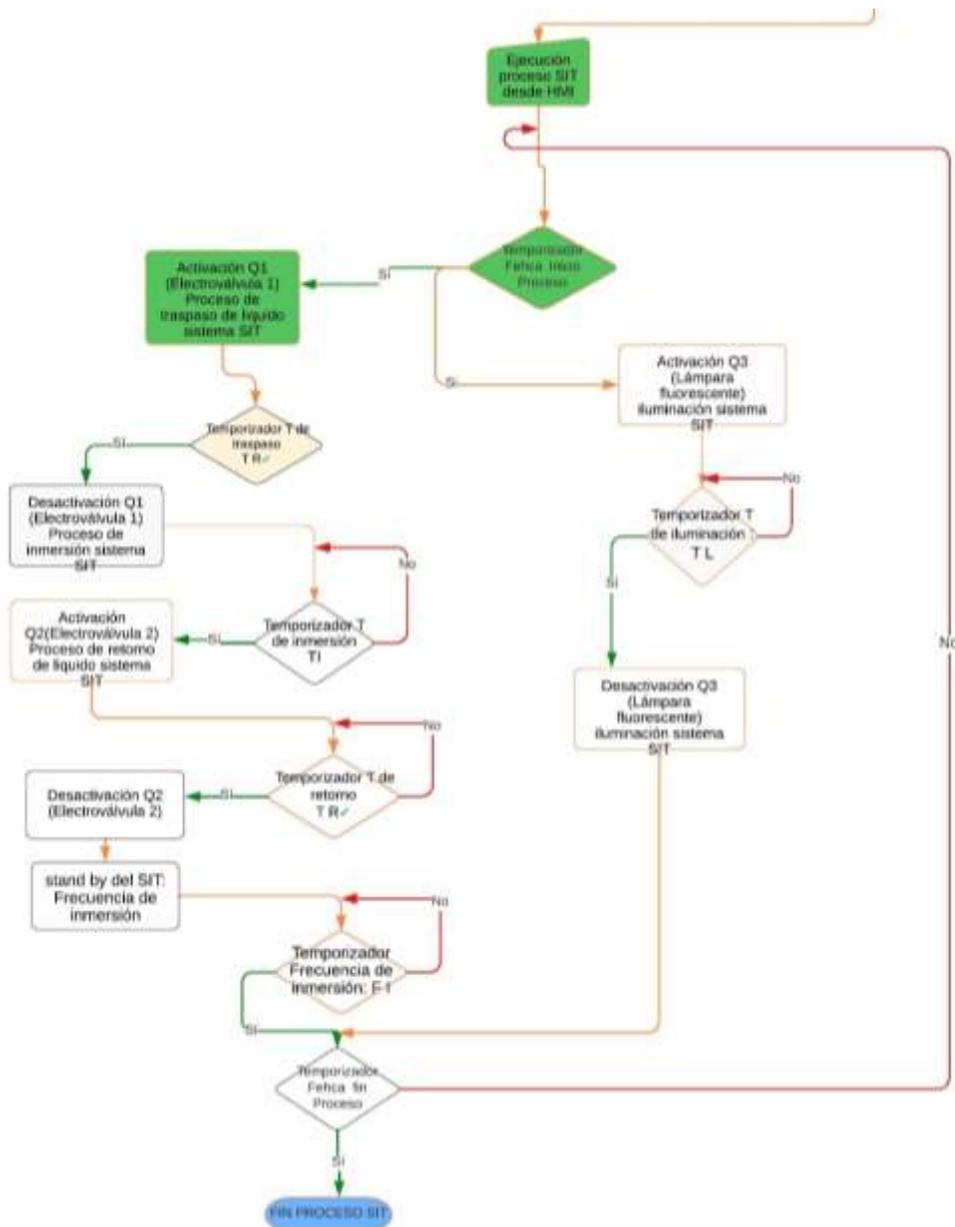
Se define las salidas Q1 y Q2 con las electroválvulas de traspaso y retorno del medio de cultivo respectivamente, además se define la salida Q3 destinada a la lámpara fluorescente para el control de luminosidad del sistema SIT.

2.9 Control de secuencias de activación

Se realiza la activación de la salida Q1 correspondiente a la electroválvula 1 para el traspaso del medio de cultivo desde la sección 1 hacia la sección 2, mediante la configuración de tiempo de traspaso y retorno, establecido por el usuario, una vez concluido el tiempo establecido, la salida Q1 se desactivará, permitiendo así el contacto del medio de cultivo con el explante vegetal por un tiempo denominado tiempo de inmersión que de igual forma es configurado por el usuario, ver figura 27.

Figura 25

Diagrama de flujo SIT Activación salida Q1 PLC- Traspaso de medio de cultivo



Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués

El control de iluminación proporcionado por la lámpara fluorescente representada por Q3, se activará según los parámetros de fecha de activación ingresados por el usuario, independientemente de los parámetros de tiempo configurados para el proceso de traspaso y retorno del medio de cultivo

2.10 Control frecuencias de inmersión del sistema SIT

El usuario configurara las secuencias de activación en relación a fechas y horas definidas, con la finalidad de que la secuencia de activación de las electroválvulas se realice periódicamente mediante el uso de funciones de temporizadores que proporciona el controlador lógico programable. Los parámetros de tiempo de estos temporizadores, podrá ser configurados por el usuario desde la interfaz gráfica HMI del sistema SIT.

2.11 Interfaz gráfica HMI Kinco GL043E – Sistema SIT

Mediante el software Kinco Dtools se establece la comunicación de los dispositivos por conexión Ethernet, con el protocolo de comunicación TCP/IP, con la estructura de maestro – esclavo, HMI Y PLC respectivamente, la figura 31 muestra la configuración de conexión de los dispositivos, una vez establecida la conexión, el siguiente paso será el desarrollo de la interfaz gráfica para el control del sistema SIT.

Figura 27

Comunicación HMI- PLC mediante Kinco Dtools



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

Una vez establecida la comunicación en el software Kinco DTools, y de acuerdo con la normativa ANSI/ISA-101.01-2015 para el desarrollo de Interfaces Humano Maquina, se establece las ventanas con los menús necesarios para ejecutar y configurar el sistema SIT, de manera que sea fácil de interpretar y ejecutar por el usuario.

- Ventana 1 de inicio
- Ventana 2 de selección de secciones
- ventana 3 de registro de tiempos de activación.
- Ventana 4 de inicio y parada y configuración de la sección del sistema SIT.
- Ventana 4.1 de configuración de tiempo de traspaso y retorno de medio de cultivo.
- Ventana 4.2 de configuración de fecha y hora de inicio del sistema SIT.
- Ventana 4.3 de configuración de días de operación.
- Ventana 4.4 de configuración de hora de encendido de la lámpara del sistema SIT.

2..11.1 Ventana 1-Inicio Sistema SIT

La interfaz gráfica constará con una pantalla de inicio, que será mostrada al momento de alimenta eléctricamente el sistema SIT, mostrada en la figura 32, integra un botón para iniciar el sistema SIT y cambiar a la ventana 2.

Figura 28

Venta 1 de Inicio Interfaz sistema SIT



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.11.2 Ventana 2- Selección a las secciones del sistema SIT

A partir de esta venta, el sistema contará con menú principal donde el usuario podrá acceder a las secciones integradas en el sistema SIT, inicialmente contará con una única sección 1. Como muestra la figura 33, la ventana cuenta con un botón-Registro de Inmersión, para dirigirse a la ventana 3, botón- SIT 1 para dirigirse a la ventana 4 y botón-regresar a la ventana 1 de inicio.

Figura 29

Ventana 2 Interfaz Sistema SIT



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.11.3 Ventana 3-Registro de Inmersión SIT

En este apartado, el usuario podrá acceder a un registro de activación del Sistema SIT, donde se detalla la fecha, hora de activación y desactivación de la electroválvula para el traspaso y retorno de medio de cultivo, datos necesarios para análisis de resultados de los cultivos realizados.

Como muestra la figura 34, la ventana integra botones arriba- abajo para navegar en el registro de inmersión, botón- borrar datos y botón-regresar a la ventana 2.

Figura 30

Ventana 3 Interfaz Sistema SIT



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.11.4 Ventana 4- Sección SIT 1

En esta ventana, el usuario podrá acceder a las ventanas de configuración de del tiempo, fecha y frecuencia de activación del sistema SIT. La figura 35 muestra la ventana integra botón- INICIAR, botón-PARAR, botón – regresar, botones para dirigirse a las ventanas 4.1, 4.2 y 4.3.

Figura 31

Ventana 4 Interfaz Sistema SIT



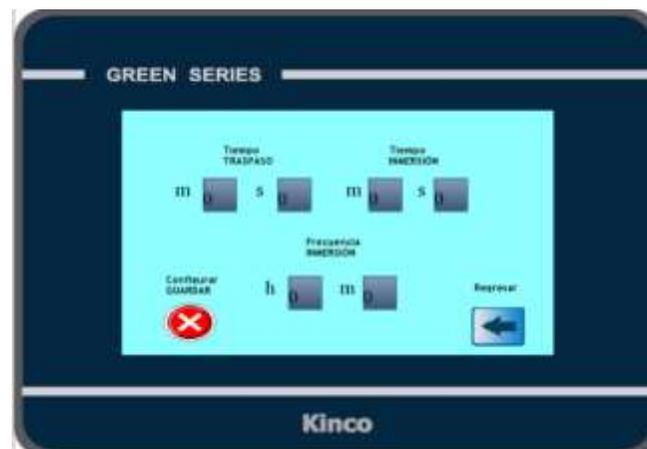
*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.11.5 Ventana 4.1 – Configuración Tiempo de Inmersión

En esta ventana el usuario podrá, configurar los tiempos de traspaso-retorno, tiempo y frecuencia de inmersión. Como muestra la figura 36, la ventana integra campos de ingreso de datos, botón de guardar datos, botón- regresar.

Figura 32

Ventana 4.1 Interfaz Sistema SIT



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.11.6 Ventana 4.2 – Configuración Fecha de operación.

En esta ventana el usuario podrá configurar la fecha y hora de inicio de operación del sistema SIT. Como muestra la figura 37, la ventana integra campos de ingreso de datos, botón de guardar datos, botón- regresar.

Figura 33

Ventana 4.2 Interfaz Sistema SIT.



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.11.7 Ventana 4.3 – Configuración Días de Operación

En esta ventana el usuario podrá configurar los días de operación del sistema SIT dentro de las /fechas configuradas previamente. Como muestra la figura 38, la ventana integra botones de selección de días de la semana, botón de guardar datos, botón- regresar.

Figura 34

Ventana 4.3 Interfaz Sistema SIT.



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.11.8 Ventana 4.4- Control de luminosidad

En este apartado, el usuario podrá configurar la hora de encendido y ha pagado de la lámpara fluorescente, que proporcionara la luz artificial, necesaria para un mejor desarrollo de los explanes vegetales a cultivar. Como muestra la figura 39, la ventana integra campos de ingreso de datos, botón de guardar datos, botón- regresar.

Figura 35

Ventana 4.4 Interfaz Sistema SIT.



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

2.12 Normativas para instalaciones a baja tensión NEC (Normativa Ecuatoriana de la Construcción)

En [24] hace referencia al cumplimiento de normas y generalidades que permita salvaguardar a los equipos eléctricos y la integridad de las personas en presencia de riesgo eléctrico, así como especifica las características de las instalaciones eléctricas tales como:

- Calibre de conductores.
- Canaletas para cableado eléctrico.
- Elementos de protección.

2.7.1 Elementos de protección

Son dispositivos electromecánicos, mecánicos o estáticos, que, ante la presencia de una condición eléctrica anormal abren o cierran sus contactos según se encuentre conectado en su configuración. Para circuitos eléctricos en procesos de automatización, los elementos de protección se utilizan para proteger la vida útil de los dispositivos electrónicos conectados dentro del circuito, y también proteger la integridad física del operario que manipula dichos dispositivos, ante cualquier tipo de sobre corriente o sobre tensión por fallas eléctricas [25].

En el presente trabajo se utilizará dispositivos y actuadores conectados a 110 VA, por lo que es necesario la implementación de elementos de protección eléctrica.

2.7.2 Interruptor Termo magnético

Dispositivo de protección, que, al momento de detectar un sobrecalentamiento producido por falla eléctrica o cortocircuito, abre sus contactos, quitando la alimentación eléctrica para la protección de los dispositivos conectados al circuito eléctrico y los cables conductores [25].

2.7.3 Dimensionamiento de Interruptor Termo magnético

Para el dimensionamiento de los conductores eléctricos se toma en cuenta las características de los dispositivos eléctricos a utilizarse en el sistema SIT mostrados en la tabla 14.

Tabla 14

Consumo eléctrico Dispositivos Eléctricos SIT

Elemento	Corriente
Fuente 12 Vc HMI Kinco GL043E	1 A
Fuente 5 Vc Switch Ethernet	1 A
Electroválvula PNEUMATIC 5/3 NC 110V	5 A * 2 solenoides
PLC Logo 8 230 RCE 110 V	0.8 A
Lámpara fluorescente tubular 110V	(30 W) 0.27 A

Fuente: Investigación directa.

Elaborado por: Diego Campués

En donde:

I_c = suma de corrientes de dispositivos eléctricos del circuito.

$$I_c = 2 + 1 + 10 + 0.8 + 0.27 \text{ (A)}$$

$$I_c = 13.07 \text{ A}$$

El cálculo de la corriente necesaria del Interruptor Termo magnético (I_{It}), de acuerdo con la normativa NEC en el apartado de instalaciones electromecánicas, sugiere realizar con un sobredimensionamiento del 15 % adicional de la corriente total del circuito.

$$I_{It} = I_c + 15\% I_c$$

$$I_{It} = 13.7 \text{ A} + 1.96 \text{ A}$$

$$I_{\text{Interruptor}} = 15.66 \text{ A}$$

Por lo que utilizará el interruptor termo magnético de valor comercial 16 A.

2.7.4 Selección de calibre de Cable Eléctrico

Según el Reglamento Técnico Ecuatoriano, para la selección de conductores eléctricos aislados a, se utilizará el conductor de sección 0.8 mm² que soporta 6 amperios de corriente como muestra la tabla 15, que es el consumo máximo por dispositivo eléctrico utilizados en el SIT [24].

Tabla 15

Calibre de cable según consumo de aparatos eléctricos [24].

Sección Transversal		Capacidad de corriente (A)
mm ²	AWG	
0.82	18	6
1.31	16	8
2.08	14	17
3.30	12	23
5.25	10	28

2.13 Esquema Eléctrico Sistema SIT

El esquema eléctrico, se presenta las conexiones de alimentación a los distintos dispositivos que conformar el sistema SIT, ver figura 40.

Fuente de alimentación

- 12 Vdc y 5 Vdc.

Elementos de protección.

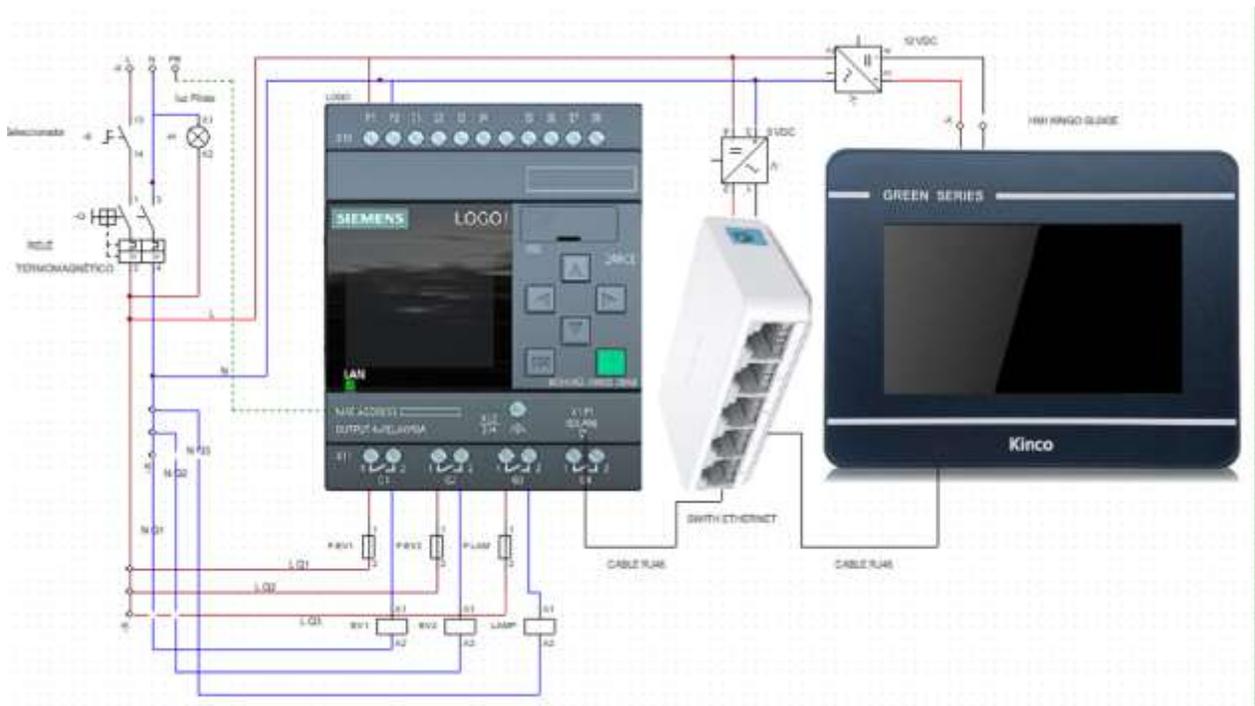
- Interruptor Termo magnético.
- Fusibles

Actuadores eléctricos.

- Electroválvula neumática 110 Vac.
- Lámpara led 110 Vac.
- Luz piloto.
-

Figura 36

Diagrama Eléctrico sistema SIT.



*Fuente: Investigación directa.
Elaborado por: Diego Campués*

CAPÍTULO III

Construcción

3.1 Montaje de dispositivos

Una vez realizada la adquisición de los dispositivos eléctricos, neumáticos y demás materiales necesarios, para la implementación del sistema de inmersión temporal SIT.

Se procedió a realizar las conexiones eléctricas y neumáticas de todos los dispositivos para sus posteriores pruebas de funcionamiento.

3.1.1 Tablero eléctrico SIT

Para un correcto montaje de los dispositivos eléctricos de forma segura, se utilizó gabinete eléctrico con medidas adecuadas para realizar las conexiones eléctricas con dispositivos de control, PLC, y visualizaban y configuración, HMI, en base al diagrama de conexiones eléctricas realizado anteriormente, en la figura 41 se muestra el montaje de los dispositivos.

Figura 37

Montaje tablero eléctrico SIT UTN



3.1.2 Conexiones neumáticas SIT

Se optó por utilizar una estantería metálica, recubierta con pintura electrostática que presenta mayor resistencia físico-química frente a impactos, rayones, dobleces y agentes químicos para evitar contaminación de superficie donde se realizara montaje de los biorreactores de sistema SIT, además se fijó las tuberías distribuidoras de aire a cada uno de los recipientes con su respectivo filtro de impurezas de 0.22 μm , así como el montaje de la electroválvula neumática y luminaria del sistema SIT. En las figuras 42, 43 y 44 se muestra el montaje de todos los dispositivos.

Figura 38

Montaje dispositivos SIT.



Figura 39

Montaje dispositivos SIT.



Figura 40

Montaje dispositivos SIT.

**3.2 Validación de resultados.**

Una vez realizado la instalación de todos los dispositivos del sistema SIT, se procedió a realizar pruebas de funcionamiento para validar su correcta funcionabilidad. En los recipientes Biorreactores se coloca los explantes vegetales y medio de cultivo en cada sección respectivamente como se muestra en la figura. 45. El manual de usuario del sistema SIT UTN, se encuentra detallado en el anexo 7.

Figura 41

Preparación Explantes Vegetales y Medio de Cultivo Sistema SIT.



3.2 Configuración parámetros sistema SIT

Para realizar las pruebas de funcionamientos del sistema neumático y el sistema eléctrico, se procedió a configurar los siguientes parámetros de tiempo de inmersión y fecha de operación de sistema con los siguientes parámetros de configuración del sistema SIT detallados en la tabla 17.

Tabla 16

Parámetros pruebas de funcionamiento SIT

Tiempo de traspaso de medio de cultivo	40 s
Tiempo de inmersión	1 min
Frecuencia de inmersión	5 h
Fecha de inicio	13-ene -2023
Fecha finalización	31- ene- 2023
Días de operación	L-M-Mi-J-V-S-D
Hora de inicio	10 am
Hora de finalización	23 pm
Hora de encendido de lámpara	18 pm -23 pm

Al energizar el sistema SIT, se muestra la pantalla de inicio donde se ingresará al sistema para configuración de los parámetros de tiempo de funcionamiento. En las figuras. 46 y 47 se muestra la navegación por las pantallas de inicio de la interfaz SIT.

Figura 42

Pantalla de Inicio SIT.

**Figura 43**

Pantalla de Secciones SIT.



En las figuras 48, 49, 50, 51 y 52 se muestra un apartado de la sección 1 disponible del sistema, donde se realizó la configuración de tiempos de inmersión, que controlan la activación de la electroválvula neumática, para suministrar la presión de aire hacia los recipientes, también la activación de la iluminación, establecido la fecha y hora de inicio de las funciones del sistema.

Figura 44

Pantalla Sección 1 SIT.



Figura 45

Pantalla Conf. Tiempo y Frecuencia de Inmersión SIT.



Figura 46

Pantalla Conf. Tiempo y Frecuencia de Inmersión SIT.

**Figura 47**

Pantalla Conf. Días de Operación SIT



Figura 48

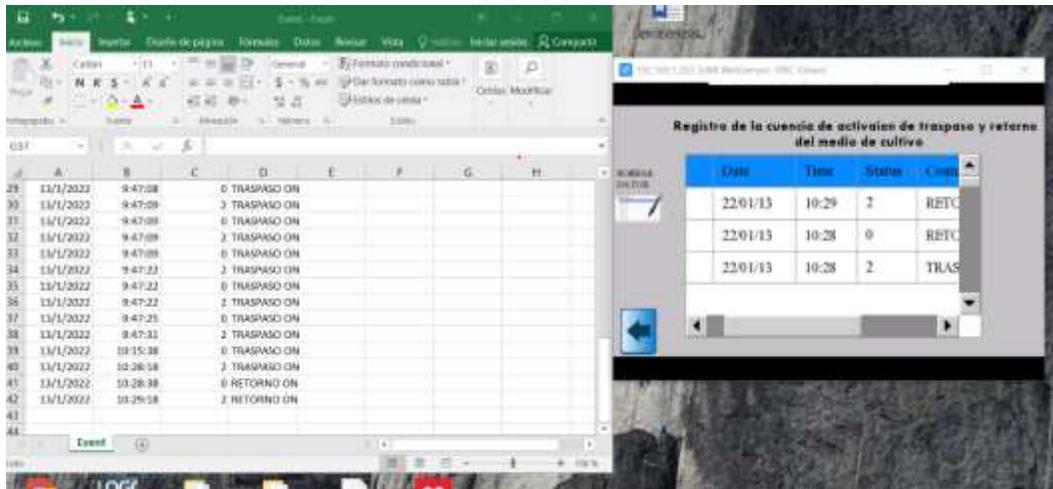
Pantalla Conf. Fecha y Hora Operación SIT

**3.3 Registro de traspaso y retorno del medio de cultivo**

Otro apartado de importancia dentro del sistema SIT, es el registro de periodos de activación de la electroválvula, con el que se podrá llevar un monitoreo de funcionamiento del sistema, así como el registro de inmersión para realizar análisis y pruebas de crecimiento con los explantes vegetales a tratar en el sistema. Los datos se almacenan en un archivo de datos con formato .csv, el cual será visualizado a la vez del computador con el programa informático Excel, conectado a la red local LAN que se encuentran conectados el PLC y HMI a través de cables Ethernet RJ45. También se puede acceder de forma remota a la interfaz gráfica del sistema SIT mediante la aplicación VCN Viewer, para configurar parámetros y monitorear registros de inmersiones, ver figura 53.

Figura 49

Registro de Activación electroválvula –TRASPASO Y RETORNO Medio de Cultivo.



Date	Time	Status	Count
22/01/13	10:29	2	RETC
22/01/13	10:28	0	RETC
22/01/13	10:28	2	TRAS

En las figuras 54 y 55 se muestra las etapas de traspaso y retorno del medio de cultivo en la sección de Biorreactores implementados en el sistema SIT con la configuración de tiempos y frecuencia establecidos previamente.

Figura 50

Sistema SIT – Traspaso del Medio de Cultivo.



Figura 51

Sistema SIT – Retorno del Medio de Cultivo.



3.4 Costo Total de Materiales y Dispositivos SIT.

Una vez implementado y validados todos los sistemas eléctricos, neumáticos y demás insumos necesarios. Se presenta una lista de precios de los materiales eléctricos y neumáticos utilizados para la construcción del sistema SIT, ver Tabla 18 y 17, que representa la factibilidad económica para la implementación de los sistemas de inmersión temporal automatizados.

Tabla 17

Costos dispositivos y materiales eléctricos Sistema SIT

SISTEMA DE INMERSIÓN TEMPORAL				
MATERIALES	UNIDAD	MARCA	PRECIO \$	FUNCIÓN
PLC Logo 8 230 RCE	1	Siemens	167	Controlar el proceso del sistema SIT
HMI GL043E	1	KINCO	170	Configuración y monitoreo del sistema SIT
Interruptor Termo magnético 16 A	1	Schneider	8	Protección contra cortocircuitos
Electroválvula 5/3 NC	1	PNEUMATIC	50	Contra flujo de presión de aire
Fusibles	3	Camaco	3	Protección contra cortocircuitos electroválvulas
Material eléctrico	varios	Varios	30	Cableado y conexión eléctrica
TOTAL			428	

Tabla 18*Costos dispositivos y materiales neumáticos Sistema SIT.*

SISTEMA DE INMERSIÓN TEMPORAL				
MATERIALES	UNIDAD	MARCA	PRECIO \$	FUNCIÓN
Recipientes de vidrio 1L	20	Varios	20	Biorreactores del sistema SIT
Compresor Neumático 8 bar	1	Porten	120	Fuente de presión de aire
Unidad de mantenimiento FRL	1	PNEUMATIC	80	Filtración de aire
Microfiltro 0,22um	20	NEST	40	Filtración de aire hacia los biorreactores
Acoples neumáticos	20	Varios	20	acoples para tubo distribuidor de aire
Manguera Neumática	6 m	Varios	6	tubería para distribución de presión de aire
TOTAL			286	

Conclusiones

Como objetivo principal del proyecto se logró construir y automatizar un sistema de inmersión temporal para la multiplicación de cultivos de explantes vegetales en biorreactores BIT; utilizando materiales tales como los recipientes, controlador lógico programable, HMI y demás materiales que cumplieron de manera óptima la funcionalidad para este tipo de sistemas SIT.

Se logró la construcción del sistema de traspaso de presión de aire, funcional para el sistema SIT, que consta de tuberías plásticas, acoples neumáticos y recipientes contenedores de vidrio, con materiales económicos de fácil adquisición, en comparación a los modelos comerciales RITA cuyo costo por recipiente se encorta alrededor de 70 \$, lo que implicaría un alto costo en la adquisición únicamente de estos recipientes

La interfaz gráfica implementada es funcional para el sistema, proporcionado al usuario una configuración fácil y rápida de fechas, tiempos y frecuencias de inmersión para la operación del sistema SIT.

Otro aspecto importante es monitoreo de operación del sistema SIT, a través de la implementación de un registro de traspaso y retorno del medio de cultivo en los recipientes biorreactores, proporcionado información detallada para el análisis de cultivos a realizar.

Se aprovechó la característica de conectividad Ethernet de los dispositivos HMI Kinco GL043E y el PLC Logo 230 RCE, para establecer una conexión remota a través de un computador, para acceder a la interfaz gráfica del sistema SIT, y realizar configuraciones de parámetros del sistema.

Recomendaciones

Para futuras ampliaciones de secciones de biorreactores, es recomendable realizar el cálculo de presión de aire requerida por cada sección de acuerdo con la capacidad en L de los recipientes a implementar, de ello dependerá el número de recipientes por sección capaces de implementar, de acuerdo con la capacidad del compresor utilizado.

Cabe mencionar que también sería necesario la implementación de ampliaciones de entradas y salidas digitales para el controlador lógico programable PLC, así poder conectar las electroválvulas necesarias para cada sección de biorreactores a implementar.

Como consideración adicional, se recomienda una planta de energía eléctrica para ocasiones de emergencia, como la falta de energía eléctrica, para lograr cultivos sin interrupciones de tiempo, evitando errores en el periodo de crecimiento de los explantes vegetales, obteniendo los resultados deseados.

REFERENCIAS

- [1] A. L. Castillo Ontaneda, A. Moreno Herrera y M. García Batista, «Eficiencia del sistema de inmersión temporal frente al método de propagación convencional in vitro,» *Revista Multidisciplinaria de Ciencias Aplicadas*, vol. 3, nº 2, pp. 174-182, Mayo- Agosto 2020.
- [2] G. Pazmiño Gonzales, «"Determinación de la tasa de conversión de embriones somáticos del clon promisorio de piñón (*Jatropha curcas* L.) CP052",» Universidad Politécnica Salesiana, Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, 2015. [En línea]. Available: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12076/1/UPS-QT10057>.
- [3] M. Piedra Burbano, «"Evaluación de la microtuberización de los cultivares de papa iniap - victoria y superchola, bajo sistemas de inmersión temporal",» Universidad Central del Ecuador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Escuela de Ingeniería Agronómica, 2014. [En línea]. Available: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/2490/1/T-UCE-0004-68.pdf>.
- [4] M. Rodríguez Amaro y M. Torrez Muñoz, «"Cultivo In Vitro: Alternativa al cultivo tradicional de plantas medicinales",» Universidad Complutense, Facultad de Farmacia, Madrid, 2018.
- [5] J. Orellano, A. Dellagiovana, L. Imanishi, V. Mazzone y N. Faedo, «"Sistema de Inmersión Temporal: Automatización de Propagación In Vitro de Plantas utilizando Herramientas Libres",» IACI - Departamento de Ciencia y Tecnología - Universidad Nacional de Quilmes, Quilmes, 2016.
- [6] C. Aredondo Ramirez, G. Arrellano Ostos, J. Ayala de la Vega y I. Aguilar, «Propuesta de diseño y automatización de biorreactor para sistemas de inmersión temporal ",» *Revista Iberoamericana de las Ciencias Biológicas y Agropecuarias*, vol. 8, nº 15, pp. 1-17, 2019.

- [7] R. Azúa Gutiérrez, «Diseño y automatización de un sistema de inmersión temporal para acelerar el crecimiento de plantas,» Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación, Guayaquil, 2019.
- [8] J. Jiménez García, «"Obtencion de clones de alcornoque(Quercus suber L.) mediante embriogenésis somática: aplicacion de medios líquidos y biorreactores en la sincronización de los procesos de desarrollo y maduracion de embriones",» Universidad Politécnica de Madrid ETSI Agrónomos, Departamento de Biología y Biotecnología, Madrid, 2016.
- [9] EcuRed, «" Explantes (Biotecnología Vegetal) ".», 2018. [En línea]. Available: [https://www.ecured.cu/Explantes_\(Biotecnolog%C3%ADa_Vegetal\)](https://www.ecured.cu/Explantes_(Biotecnolog%C3%ADa_Vegetal)).
- [10] S. Sharry, M. Adema y W. Abedini, «Plantas de probeta manual para la propagación de plantas por cultivo de tejidos in vitro,» Universidad Nacional de La Plata Editorial de la Universidad de La Plata, Primera edición , vol. 1, 2015, ISBN 978-950-34-1254-1. [En línea]. Available:
http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/46738/Documento_completo__pdf-PDFA.pdf?sequence=1.
- [11] Canales Sectoriales, «HORTICULTURA,» 2022. [En línea]. Available: <https://n9.cl/gxlr>.
- [12] A. Alvarex Acuña y M. V. Pozo Cruz, «" Desarrollo de un Protocolo de Cultivo de Rosas ",» Universidad Politécnica Salesiana- Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales, Quito, 2021.
- [13] EcuRed, «Sistema de Inmersión Temporal,» [En línea]. Available: https://www.ecured.cu/Sistema_de_inmersi%C3%B3n_temporal.

- [14] A. D. Duban Aníbal, «" Estandarización del sistema de inmersión temporal para la micropropagación in vitro de *Cattleya Schroederae* ",» Universidad de Santander, Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Agropecuarias, 2018. [En línea]. Available: <https://repositorio.udes.edu.co/server/api/core/bitstreams/ef4143c7-1f0e-42a0-b5bc-b32c786b9fab/content>.
- [15] J. J. Bello Bello, E. Martinez Estrada, V. Morales Ramos y H. CaAmal Velásquez, «" Comparación de tres sistemas de biorreactores para la micropropagación comercial de caña de azúcar ",» Colegio de postgraduados Campus Córdoba, Colegio de postgraduados Campus Campeche, [En línea]. Available: https://www.atacori.co.cr/biblioteca/1.Bello2_2.pdf.
- [16] «PLC vs Arduino y otros microcontroladores para el control industrial,» Electrónica Joan, [En línea]. Available: <https://electrojoan.com/plc-vs-arduino-y-otros-microcontroladores-para-el-control-industrial/>.
- [17] INTEREMPRESAS, «Feria Virtual Interempresas,» Siemens Logo! 8, Módulos lógicos inteligentes: orientado a aplicaciones de automatización industrial, [En línea]. Available: <https://n9.cl/elsok>.
- [18] Centro de Formación Técnica para la Industria, «Qué es un HMI: para qué sirve la Interfaz Hombre-Máquina,» [En línea]. Available: <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-hmi/>.
- [19] InTech Mexico Automatizacion, «Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos,» ISA México, 12 02 2019. [En línea]. Available: <https://n9.cl/is71o>.

- [20] A. Guzmán y R. Defas, «Implementación de un sistema de monitoreo y control de actuadores eléctricos AUMA utilizando protocolos de comunicación industrial Modbus RTU y Modbus TCP/IP,» *Anales de la Universidad Central del Ecuador*, vol. 1, n° 375, pp. 137-164, 2017.
- [21] Profesionalreview.com, «Qué es un Switch o conmutador LAN y para qué sirve,» [En línea]. Available: <https://www.profesionalreview.com/2020/02/21/switch-conmutador/>. [Último acceso: 12 1 2022].
- [22] «Pix-Link LV-SW05 Desktop Wirelesss-N 100Mbps Network Switch,» [En línea]. Available: <https://jadeals.com/product/pix-link-lv-sw05-desktop-wirelesss-n-100mbps-network-switch/>.
- [23] D. Marmolejo Guatarra y C. P. Corpus Chagua, «Características y rendimiento de semillas básicas de papa nativa (*Solanum goniocalyx*) obtenidas en biorreactor de inmersión temporal en condiciones de invernadero Características y rendimiento de semillas básicas de papa nativa (*Solanum gonioca*),» *Rev. Fac Agron*, pp. 1-20, 2021.
- [24] Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda (MIDUVI), «NORMA ECUATORIANA DE LA CONSTRUCCIÓN,» n° 358, 2018.
- [25] E. I. Martínez, «Sistemas y equipos de protección para instalaciones eléctricas,» Unidades de Apoyo para el Aprendizaje. CUAED/Facultad de Arquitectura-UNAM, 2019. [En línea]. Available: http://132.248.48.64/repositorio/moodle/pluginfile.php/1519/mod_resource/content/12/contenido/index.html.

ANEXOS

Anexo 1 Hoja de datos PLC LOGO 8 OBA8 230

SIEMENS

Data sheet

6ED1052-1FB08-0BA0

LOGO! 230RCE, logic module, display PS/I/O: 115V/230V/relay, 8 DI/4 DO, memory 400 blocks, modular expandable, Ethernet, integr. web server, data log, user-defined Web pages, standard microSD card for LOGO! Soft Comfort V8 or higher, older projects executable



Figure similar

Display	
with display	Yes
Installation type/mounting	
Mounting	on 35 mm DIN rail, 4 spacing units wide
Supply voltage	
Rated value (DC)	
• 115 V DC	Yes
• 230 V DC	Yes
permissible range, lower limit (DC)	100 V
permissible range, upper limit (DC)	253 V
Rated value (AC)	
• 115 V AC	Yes
• 230 V AC	Yes
Line frequency	
• permissible range, lower limit	47 Hz
• permissible range, upper limit	63 Hz

Time of day	
Time switching clocks	
• Number	400; Max. 400, function-specific
• Power reserve	480 h
Digital inputs	
Number of digital inputs	8
Digital outputs	
Number of digital outputs	4; Relays
Short-circuit protection	No; external fusing necessary
Relay outputs	
Switching capacity of contacts	
— with inductive load, max.	3 A
— with resistive load, max.	10 A
EMC	
Emission of radio interference acc. to EN 55 011	
• Limit class B, for use in residential areas	Yes
Degree and class of protection	
Degree of protection acc. to EN 60529	
• IP20	Yes
Standards, approvals, certificates	
CE mark	Yes
CSA approval	Yes
UL approval	Yes
FM approval	Yes
developed in accordance with IEC 61131	Yes
according to VDE 0631	Yes
Marine approval	Yes
Ambient conditions	
Ambient temperature during operation	
• min.	-20 °C; No condensation
• max.	55 °C
Ambient temperature during storage/transportation	
• min.	-40 °C
• max.	70 °C
Altitude during operation relating to sea level	
• Ambient air temperature-barometric pressure-altitude	Tmin ... Tmax at 1 080 hPa ... 795 hPa (-1 000 m ... +2 000 m)
Dimensions	
Width	71.5 mm
Height	90 mm

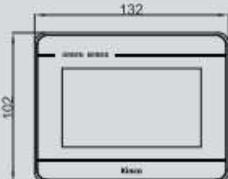
Anexo 4 Hoja de especificaciones GREEN Series HMI GL043/GL043E

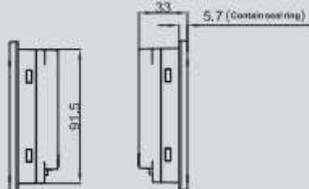
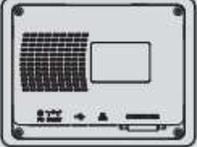


GREEN Series HMI GL043/GL043E



Model	GL043	GL043E	Mechanical Dimensions (Unit : mm)
Performance specification			
Display size	4.3" TFT		
Display area	95.04mm(W)x53.86mm(H)		
Resolution	480*272 pixels		
Display color	16.7M color		
Display angle of view	70/70/50/70(left/right/up/down)		
Contrast ratio	500:1		
Backlight	LED		
Brightness	450cd/m ²		
Backlight life	More than 30000 hours		
Touch panel	4 line precision resistance network (surface hardness 4H)		
CPU	ARM RISC 32Bit 800MHz		
Storage	128MB NAND Flash Memory + 128MB DDR3 Memory		
RTC	Built-in		
Extensible memory	None		
Print port	Serial port		
Ethernet	None	10/100M self-adaption	
Program download	USB Slave(Micro USB) / Serial port	USB Slave(Micro USB) / Serial port/Ethernet	
Communication port	COM0:RS232/RS485/RS422; COM2:RS232		
Electrical specifications			
Input power supply	DC10V - DC28V		
Rated power	2W @24V DC		
Allowable loss of power	< 3ms		
Insulation resistance	Over 50MΩ @500V DC		
Hi-pot test	500 VAC 1 minute		
Structure specifications			
PCB	no spray		
Shell material	Engineering plastic		
Shape size	132mm*102mm*33mm		
Cutout size	119mm*93mm		
Weight	0.21kg		
Environmental specifications			
Temperature working	0 - 50°C		
Humidity working	10 ~ 90% RH (non-condensing)		
Storage temperature	-20 - 60°C		
Storage humidity	10 ~ 90% RH (non-condensing)		
Sine vibration test	10 ~ 500Hz, 30m/s ² , X, Y, Z direction/hour		
Cooling mode	Natural air cooling		
Product certification			
Panel protection grade	Conforming to IP65 certification(4208—93)		
CE authentication	EN61000-6-4:2007+A1:2011, EN61000-6-2:2005		
Software			
Configuration software	Kinco DTools V3.3 and above		


Anexo 5 Hoja de especificaciones Compresor Neumático PORTEN PCB 0224



PCO-0224X

porten
Performance & Technology

COMPRESOR DE AIRE

2 HP
24 LITROS

3.9 CFM
@ 90 PSI

porten
Performance & Technology

ESPECIFICACIONES

● Caudal	4.4 cfm @ 40 psi 3.9 cfm @ 90 psi
● Presión Máxima	116 psi - 8 bar
● Motor	2 Hp - 1.4 kW
● Voltaje	110 V - 60 Hz
● Revoluciones	3450 rpm
● Tanque Aire	24 L - 6.3 gal
● Transmisión	Directa
● Dimensiones	55 x 23.5 x 64 cm

CARACTERÍSTICAS Y BENEFICIOS

- ✔ Bomba mixta de hierro fundido lubricada por aceite. Para un mayor rendimiento y vida útil.
- ✔ Tanque horizontal con ruedas y agarradera que permite una fácil movilización y transporte.
- ✔ Visor transparente para una fácil lectura del nivel de aceite.

TECNOLOGÍA

RENDIMIENTO

GARANTÍA

SERVICIO TÉCNICO

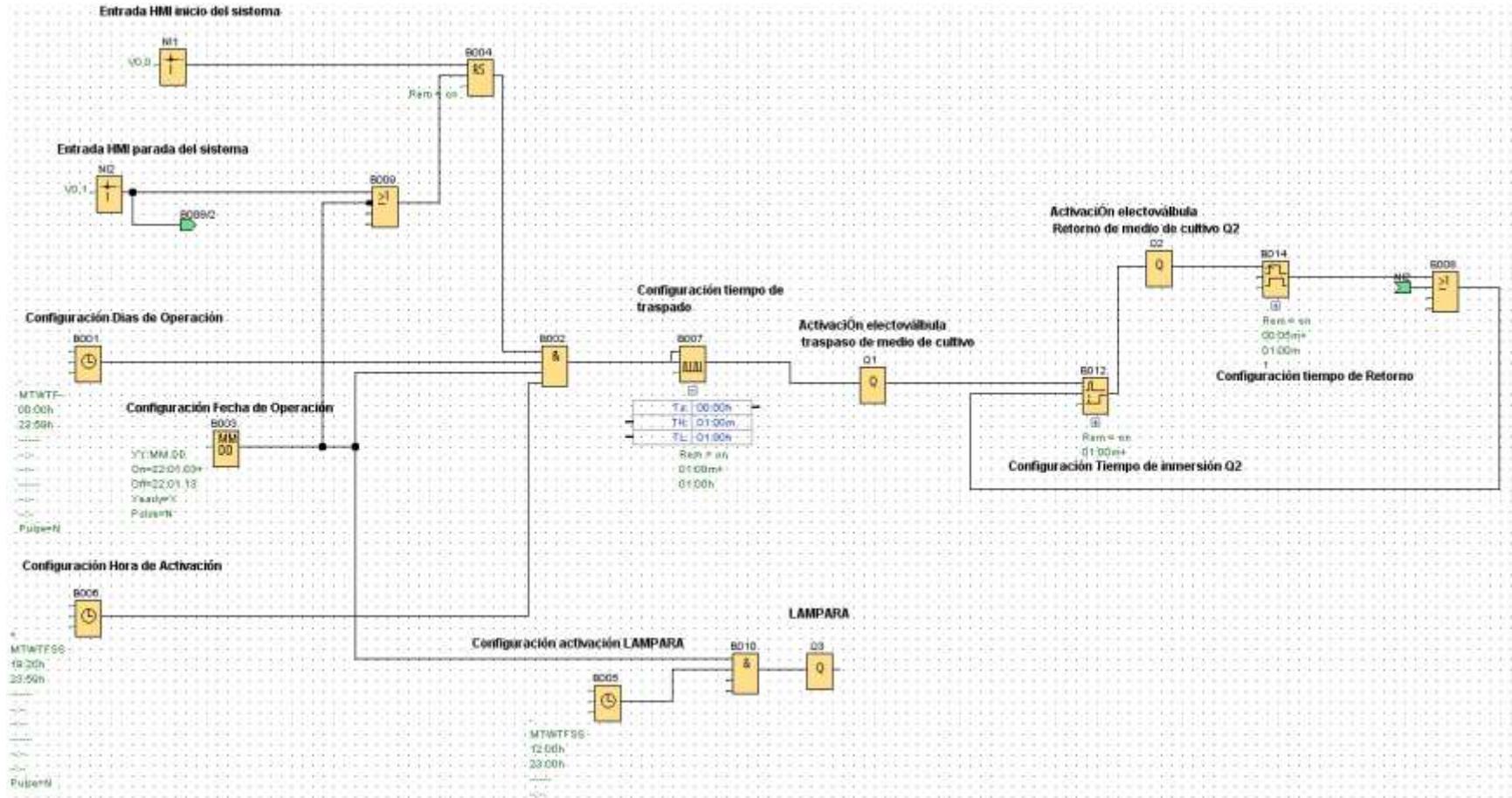
ACEITE BOMBA 100-100

DOMESTICO

1 AÑO
GARANTÍA LIMITADA

www.portentools.com

Anexo 6 Programación PLC diagramas de bloques FUP del sistema SIT UTN

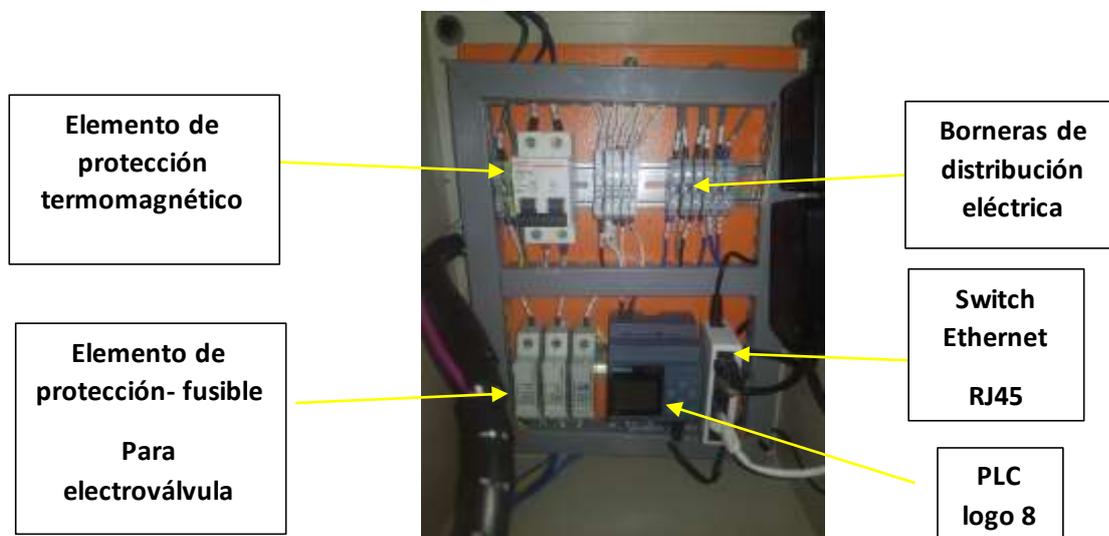


Anexo 7 Manual de usuario

Manual de usuario sistema SIT UTN

El presente manual detalla el funcionamiento de la interfaz gráfica del sistema de inmersión temporal SIT, permitiendo una correcta configuración de los parámetros de funcionamiento del sistema.

1. Vista general del dispositivo.





Al energizar la caja de control eléctrica iniciara con la pantalla de inicio de bienvenida, como se muestra en la imagen 1.



Imagen 1 Encendido ON/OFF SIT

2. Mensaje error de comunicación de dispositivos, HMI-PLC

Si al energizar los dispositivos eléctricos, muestra el mensaje mostrado en la imagen 2, se recomienda apagar el circuito y revisar el cable de comunicación ethernet RJ45 de la pantalla HMI y el PLC, una vez revisado las conexiones volver a energizar y comprobar si el mensaje de error de comunicación se desactive.



Imagen 2. Mensaje-Verificar Conexiones Sistema SIT

El led indicador en el Switch Ethernet, indicara que los dispositivos están conectados y funcionando correctamente, como se muestra en la imagen 3.



Imagen 3 Comunicacion Ethernet activa

3. Navegación y configuración de la Interfaz Gráfica SIT

3.1 Pantalla de Inicio Sistema SIT.

Una vez en la pantalla de inicio, seleccionar el botón INICIAR para pasar a la pantalla de selección de secciones de biorreactores del sistema SIT.



Imagen 4. Pantalla de Inicio Sistema SIT.

3.2 Pantalla de selección de secciones y registro de inmersión sistema SIT

En este menú se podrá seleccionar la sección disponible del sistema con el botón SIT 1, como muestra la imagen 5, para dirigirse a la pantalla de configuración de parámetros de la sección.

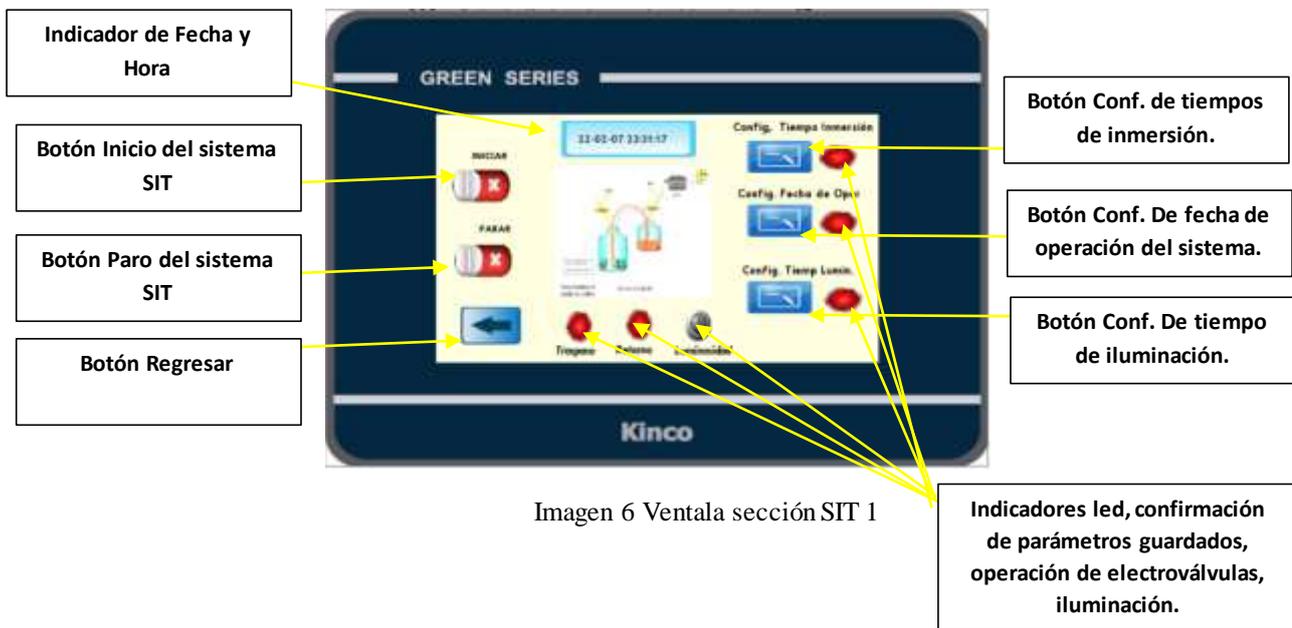
El botón – Registro de Inmersiones, para dirigirse a la pantalla de registro de inmersiones guardadas durante el funcionamiento del sistema, también cuenta con el botón-Regresar para cambiar a la pantalla de inicio del sistema SIT



Imagen 5 Pantalla de Selección de Secciones del Sistema SIT

3.4 Pantalla de configuración parámetros sección SIT 1.

Una vez seleccionado la sección SIT disponible, se mostrará la pantalla de configuración de los parámetros de tiempos de inmersión de la sección del sistema SIT, como se muestra en la imagen.



4. Secuencia orden de configuración de parámetros de tiempo.

La interfaz gráfica del menú fue diseñada para que habilite el botón de inicio del sistema, una vez configurado todos los parámetros de tiempo y fechas de inmersión del sistema.

4.1 Configuración de tiempos de inmersión.

La secuencia de activación de los parámetros inicia con la configuración de tiempos y frecuencias de inmersión, al presionar el Botón Conf. de tiempos de inmersión, se desplegará la siguiente ventana mostrada en la imagen 7.



Imagen 7 Ventana de configuración de parámetros de Inmersión

Tiempo de traspaso- delimitado por valores (0 a 59 min Max) y (0 a 59 seg Max)

Tiempo de inmersión- delimitado por valores (0 a 59 min Max) y (0 a 59 seg Max)

Frecuencia de inmersión- delimitado por valores (0 a 23 h Max) y (0 a 59 min Max)

Una vez configurado los tiempos de inmersión en los campos de ingreso de datos, el siguiente paso es guardar los datos ingresados, presionando el botón Configurar-Guardar, cambiara con un indicador de color verde, confirmado que los datos se han guardado correctamente y deshabilitara los campos de ingreso de datos, para modificar dichos datos se debe presionar nuevamente el botón Configurar-Guardar, cambiando a un indicador de color rojo, el cual indica que se puede modificar los campos de ingreso de datos. Para regresar a la ventana principal de la sección SIT 1, bastara con presionar el botón Regresar.

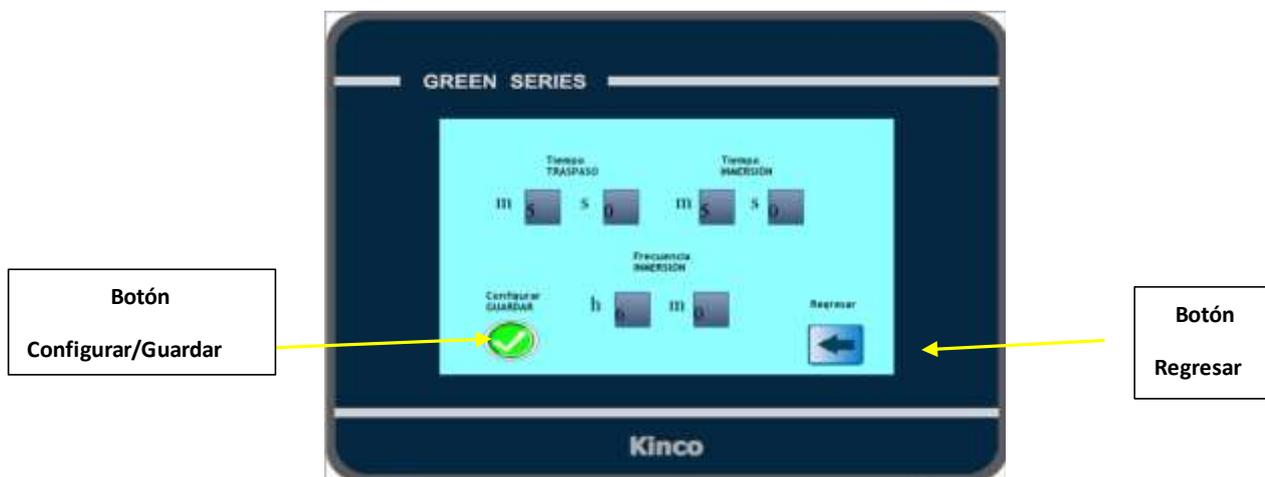


Imagen 8 Imagen 9 Ventana de configuración de parámetros de Inmersión

4.2 Configuración fechas de operación del sistema SIT.

Una vez configurado los tiempos y frecuencias de inmersión, al regresar a la ventana principal de la sección SIT 1, el indicador verde confirmara que los datos han sido guardados y habilitara el botón Conf. Fecha de Operación, como se muestra en la imagen 9



Imagen 10 Ventana principal sección SIT 1

Al presionar el botón Conf. Fecha de Operación, se desplegará la siguiente ventana mostrada en la imagen 11, donde se podrá configurar los días de operación de acuerdo a los requerimientos de funcionamiento del sistema SIT.

Cada día de la semana está representado con botón de estado ON/OFF



Imagen 11 Ventana configuración de días de operación sistema SIT

Una vez seleccionado los días de operación del sistema, se procede a guardar los parámetros seleccionados presionando el botón Configurar/Guardar y se habilitará el botón Configurar Fecha, tal como muestra la imagen 12.



Imagen 12 Ventana Configuración de días de operación SIT

Al presionar el botón Configurar Fecha, se desplegará la ventana mostrada en la imagen 13, donde se podrá establecer la fecha de inicio y de fecha de finalización del funcionamiento del sistema SIT, también se podrá configurar la hora de inicio y fin de operación del sistema



Imagen 13 Ventana Configuración de fecha de inicio y fin de operación SIT

Campos de ingreso de datos:

Fecha de Inicio- Formato (Mes.Día) (1 a 12 mes Max) y (1 a 31 días Max)

Fecha de Fin- Formato (Mes.Día) (1 a 12 mes Max) y (1 a 31 días Max)

Hora de conexión- Formato Horas. Minutos (0 a 23 horas Max) y (0 a 59 min Max)

En la imagen 14 muestra ejemplo de ingreso de la fecha de inicio el 31 de junio, en el formato Mes.Día, de la misma forma se deberá ingresar los datos necesarios en todos los campos de ingreso de datos, para finalizar la configuración de los parámetros del funcionamiento del sistema SIT.



Imagen 14 Ventana Configuración de fecha y hora de inicio de operación SIT

Una vez ingresado todos los datos necesarios para operación del sistema SIT, deben ser guardados presionando el botón **Guardar/Configurar**, para poder volver a la venta principal de la sección SIT1. Como muestra la siguiente Imagen 15.



Imagen 15 Ventana Configuración de fecha y hora de inicio de operación SIT (2)

Al regresar a la ventana principal de la sección SIT 1, en la imagen 16, los leds indicadores de color verde indicaran los parámetros ya configurados y guardados hasta el momento, el siguiente paso será configurar los parámetros de tiempo para el control de iluminación del sistema SIT accediendo al botón **Config Tiempo Iluminación**.



Imagen 16 Ventana principal sección SIT 1

4.3 Control de iluminación sistema SIT

Al ingresar a la ventana de control de iluminación mostrada en la imagen 17, los campos de ingreso de datos será la hora de encendido y la hora de apagado de la lámpara fluorescente, esta secuencia de encendido y apagado se repetirá durante la fecha de operación establecida en el sistema SIT.

Campos de ingreso de datos

Hora de Encendido- Formato (Hora. Minuto) (0 a 23 horas) y (0 a 59 min)

Hora de Apagado- Formato (Hora. Minuto) (0 a 23 horas) y (0 a 59 min)



Imagen 17 Ventana Configuración Control de Iluminación SIT

5. Inicio de operación del sistema SIT

Una vez configurados y guardados los parámetros de tiempos y frecuencias de inmersión, fechas y horas de operación, así como control de iluminación del sistema SIT, como se muestra en la imagen 18, se habilitará el botón **INICIAR**, de esta forma poner en operación la sección SIT 1.



Imagen 18. Ventana principal sección SIT 1



Imagen 19. Ventana principal sección SIT 1. Inicio de operación SIT

Una vez iniciado la operación de sistema SIT, el sistema cuenta con un botón **PARAR**, el cual detendrá la operación del sistema SIT sin borrar los parámetros previamente configurados y guardados, puede ser utilizado para resolver fallas técnicas con respecto a los demás elementos conectados al sistema SIT como biorreactores o conexiones neumáticas o también para modificar los parámetros de tiempo y fecha de operación de sistema SIT, asegurándose que mientras se realiza esta acción, el sistema SIT no estará en operación, evitando accidentes o imprevistos.



Imagen 20. Ventana principal sección SIT 1- PARO de operación SIT

6. Registro de Traspaso y Retorno Medio de cultivo (tiempo de inmersión)

Una vez configurado y puesto en operación el sistema SIT, el usuario podrá acceder a los registros de inmersión almacenados en la HMI, para acceder a este registro se debe regresar a la ventana principal de selección de secciones del SIT, utilizando el botón REGRESA en la ventana de la sección SIT 1



Imagen 21. Ventana principal sección SIT 1- Botón Regresar

Ya en esta ventana, se accede a la ventana de registro, presionando el botón-**Registro de Inmersión** como se indica en la imagen 22.



Imagen 22. Ventana selección de secciones SIT-Registro de Inmersiones

La ventana de registro de inmersiones como se muestra en la imagen, presenta una tabla donde se detalla la fecha y hora exacta en la cual se realizó el traspaso y retorno del medio de cultivo producido entre los biorreactores, dicho registro puede ser descargado en formato Excel para posteriores análisis, También se tiene la opción de limpiar la tabla de datos según requiera el usuario,

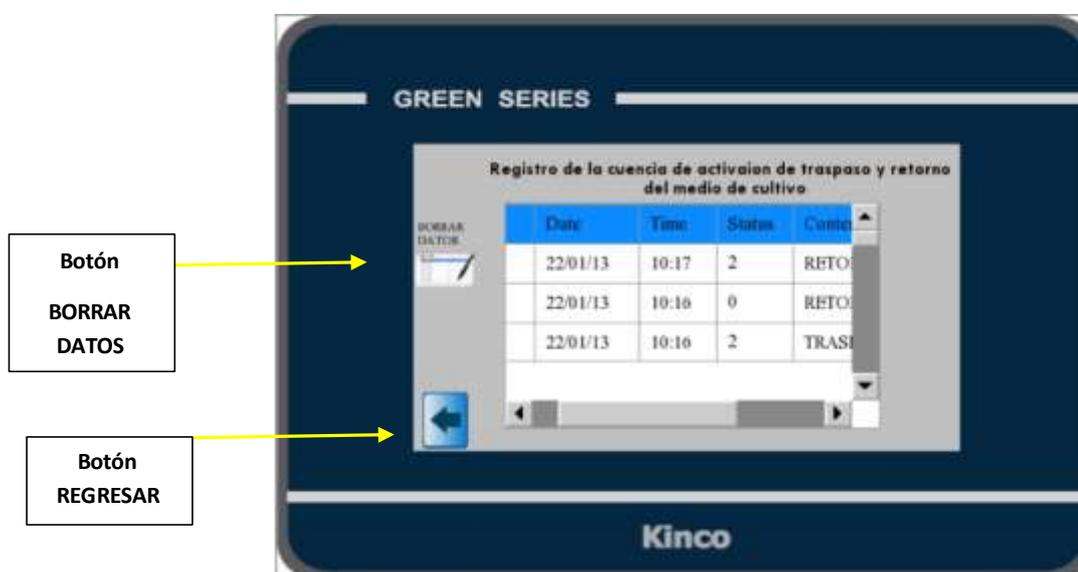


Imagen 23. Ventana Registro de Inmersiones SIT