



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**TEMA: AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA DE INMERSIÓN
TEMPORAL PARA CULTIVO DE TEJIDOS DE PLANTAS *IN-
VITRO* PARA LA EMPRESA GERMOPLANTA CÍA. LTDA.**

AUTOR: ALMACHI TOAPANTA, JOHANNA MARICELA

DIRECTOR: ING. PROAÑO, VÍCTOR

CODIRECTOR: ING. LEÓN, RUBÉN

SANGOLQUÍ

2015

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL

CERTIFICADO

ING. VÍCTOR PROAÑO
ING. RUBÉN LEÓN

Por medio de la presente, certificamos que el proyecto de grado titulado “Automatización del Sistema de Inmersión Temporal para cultivo de tejidos de plantas *in vitro* para la empresa Germoplanta Cía. Ltda.”, fue desarrollado en su totalidad y bajo nuestra dirección y supervisión por la señorita: “Johanna Maricela Almachi Toapanta con cédula de identidad 1719872762”.

Atentamente.



Ing. Víctor Proaño
DIRECTOR



Ing. Rubén León
CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL**

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

JOHANNA MARICELA ALMACHI TOAPANTA

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado “Automatización del Sistema de Inmersión Temporal para cultivo de tejidos de plantas *in – vitro* para la empresa Germoplanta Cía. Ltda.”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las fuentes que se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente, este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.



Johanna Almachi

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN
Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

JOHANNA MARICELA ALMACHI TOAPANTA

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del trabajo “Automatización del Sistema de Inmersión Temporal para cultivo de tejidos de plantas *in – vitro* para la empresa Germoplanta Cia. Ltda.”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.



Johanna Almachi

DEDICATORIA

A Dios, por permitirme llegar a este momento tan importante en mi vida profesional, por otorgarme constancia, disciplina, dedicación, sabiduría, entendimiento y darme la salud que me permitió culminar mi carrera.

A mis padres, por ser ellos quienes siempre han estado a mi lado, por todo el sacrificio que han hecho para siempre darme lo mejor y por apoyarme con mis estudios universitarios.

A mi familia y amigos, quienes han estado presentes a lo largo de mi carrera, brindándome su cariño y amistad, y compartiendo gratos momentos que recordaré con alegría.

Johanna

AGRADECIMIENTO

A Dios, por ser mi fortaleza para superar cualquier obstáculo y bendecirme en el transcurso del desarrollo de este proyecto.

A mis padres, quienes me han brindado su apoyo incondicional a lo largo de mi carrera universitaria y han sido un soporte en todo momento de mi vida.

A mi familia, quienes siempre han estado presentes y de forma desinteresada han sabido brindarme su ayuda y apoyo durante mi etapa de formación dentro de la universidad.

A mis maestros, quienes con su labor abnegada han sabido brindarme los conocimientos teóricos y prácticos, en especial al ingeniero Víctor Proaño y al ingeniero Rubén León quienes de alguna forma han sido mi guía y me han orientado para que la culminación de este proyecto sea satisfactoria,

A la empresa Germoplanta y a todo su personal, por darme la apertura para realizar el presente proyecto, por su amistad, apoyo y confianza.

A todas las personas que de alguna forma u otra fueron una ayuda durante mi carrera universitaria, y a aquellos que colaboraron indirectamente en el desarrollo del proyecto.

Johanna

Índice de Contenido

CERTIFICADO	II
DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD	III
AUTORIZACIÓN	IV
DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPÍTULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Justificación e Importancia	2
1.3. Alcance del Proyecto	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. General	4
1.4.2. Específicos	4
CAPÍTULO II	5
MARCO TEÓRICO	5
2.1. Producción Masiva de Plántulas <i>in – vitro</i>	5
2.1.1. Cultivos <i>in – vitro</i> de tejidos vegetales	5
2.1.2. Micropropagación	6
2.1.3. Sistemas de micropropagación actuales	9
2.2. Sistema de Inmersión Temporal (SIT)	10
2.3. Comunicación Inalámbrica vía Bluetooth (KIOSKEA, 2014).....	12
CAPÍTULO III	15
INGENIERÍA BÁSICA	15
3.1. Estado anterior del Sistema	15
3.2. Requerimientos de Funcionamiento del Sistema.....	17
3.3. Descripción del Proceso y Filosofía de Control	19
3.4. Selección de Dispositivos	22

3.4.1. Microcontrolador PIC18F4550	22
3.4.2. Optoacoplador MOC3021	23
3.4.3. TRIAC BT138.....	25
3.4.4. Módulo DS1307, Reloj de Tiempo Real I2C	26
3.4.5. Módulo Bluetooth HC-06.....	27
3.4.6. LCD 16x2	28
3.4.7. Fuente de Alimentación DC	28
3.4.8. Electroválvulas Neumáticas	29
3.4.9. Compresor	31
3.4.10. Unidad de Mantenimiento (FRL).....	32
3.4.11. Dispositivos Adicionales.....	34
3.5. Detalle de Costos del Sistema.....	39
CAPÍTULO IV	41
INGENIERÍA DE DETALLE	41
4.1. Descripción del Proceso y Subsistemas.....	41
4.1.1. Descripción del Sistema de Inmersión Temporal	43
4.2. Diseño del Sistema Neumático.....	47
4.2.1. Cálculos del Sistema	47
4.2.2. Diagrama Neumático.....	51
4.2.3. Simulación del Sistema de Inmersión Temporal.....	51
4.3. Diseño del Sistema de Control	55
4.3.1. Controlador.....	55
4.3.2. Módulo DS1307, Reloj de Tiempo Real (RTC)	56
4.4. Diseño de la Etapa de Potencia.....	57
4.5. Diseño de Software.....	59
4.5.1. Programa del Microcontrolador	59
4.5.2. Programa Java	62
4.5.3. Interfaz Gráfica de Usuario	76
4.6. Diseño del Sistema de Comunicación de Datos Inalámbrico.....	83
4.7. Diseño de Circuitos Impresos (PCB).....	86
4.8. Descripción de diagramas.....	87

4.8.1. Diagrama de Conexiones	87
4.8.2. Diagramas Eléctricos.....	88
4.9. Instalación del Sistema	89
CAPÍTULO V	92
PRUEBAS Y RESULTADOS	92
CAPÍTULO VI	104
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	104
6.1. Conclusiones.....	104
6.2. Recomendaciones	106
BIBLIOGRAFÍA	107
GLOSARIO	108

Índice de Tablas

Tabla 1. Características generales PIC18F4550.....	22
Tabla 2. Características generales MOC3021	24
Tabla 3. Características generales TRIAC BT138.....	25
Tabla 4. Características generales Módulo HC-06	27
Tabla 5. Características principales Electroválvula 3/2	30
Tabla 6. Características principales Electroválvula 5/2 CHELIC.....	31
Tabla 7. Características generales compresor	32
Tabla 8. Características generales Unidad de Mantenimiento	33
Tabla 9. Características principales cable AWG18.....	34
Tabla 10. Características generales tubos de poliuretano	37
Tabla 11. Características generales tubos distribuidores de aire.....	38
Tabla 12. Detalle de Costos del Sistema.....	39
Tabla 13. Características principales RITA	47
Tabla 14. Distribución de datos para configurar inmersiones	61
Tabla 15. Distribución de datos para deshabilitar secciones.....	62
Tabla 16. Bits de inicio y fin de cadena del dato a recibir	67
Tabla 17. Decodificación de datos recibidos	70
Tabla 18. Formato número total de inmersiones.....	84
Tabla 19. Formato inmersiones programadas	85
Tabla 20. Formato estado válvulas.....	86

Índice de Figuras

Figura 1. Cultivo in - vitro, explante.....	6
Figura 2. Callos	8
Figura 3. Micropropagación.....	9
Figura 4. Sistema de Inmersión Temporal (SIT)	11
Figura 5. Sistema de Inmersión Temporal Actual	15
Figura 6. Compresor existente en la empresa	16
Figura 7. Timer.....	16
Figura 8. Esquema de funcionamiento de un biorreactor RITA.	20
Figura 9. Microcontrolador PIC18F4550.....	23
Figura 10. MOC3021M – Optoacoplador.....	23
Figura 11. Elementos internos optoacoplador.....	24
Figura 12. TRIAC BT138	25
Figura 13. Reloj de Tiempo Real I2C	26
Figura 14. LCD 2x16	28
Figura 15. Fuente de Alimentación DC	29
Figura 16. Electroválvula 3/2.....	29
Figura 17. Electroválvula 5/2 CHELIC	30
Figura 18. Compresor de Aire INGCO	31
Figura 19. Unidad de Mantenimiento	33
Figura 20. Cable multifilar AWG18	34
Figura 21. Elementos varios.....	35
Figura 22. Tubo de poliuretano 6x4 mm AZUL	36
Figura 23. Tubo de poliuretano 6x4 mm TRANSPARENTE.....	36
Figura 24. Tubos distribuidores de aire tipo flauta	36
Figura 25. Acople recto 6mm M5	37
Figura 26. Acople múltiple 6 puertos 6mm x 1/8 y acople recto 6mm x 1/8 FPT....	37
Figura 27. Accesorios para conexiones electroválvulas	38
Figura 28. Accesorios para conexiones.....	39
Figura 29. Diagrama del procesos y subsistemas que intervienen.....	41
Figura 30. Sistema de Inmersión Temporal	43
Figura 31. Tubos comerciales para distribución de aire tipo flauta	44
Figura 32. Tubos para distribución de aire tipo flauta implementados.....	44
Figura 33. Electroválvulas	45
Figura 34. Manguera para generar contrapresión	46
Figura 35. RITA	46
Figura 36. Presión requerida en la carga.....	48
Figura 37. Presión requerida en válvulas	49

Figura 38. Presión requerida en unidad de mantenimiento.....	50
Figura 39. Presión requerida en compresor	51
Figura 40. Circuito de Control para simulación.....	52
Figura 41. Simulación Circuito Control.....	53
Figura 42. Simulación Sistema Neumático	54
Figura 43. Esquema de Control.....	55
Figura 44. Registros Cronometradores	56
Figura 45. Esquema Etapa de Potencia	57
Figura 46. Circuito Optoacoplador – TRIAC	57
Figura 47. Paquetes y clases.....	62
Figura 48. Diagrama UML Clase HoraFecha	63
Figura 49. Diagrama UML Clase Mensaje	63
Figura 50. Diagrama UML Clase AdquisicionDatos	65
Figura 51. Diagrama UML Clase AjustesInterfaz	65
Figura 52. Diagrama UML Clase ComSerial.....	66
Figura 53. Diagrama UML Clase ControlCarpetas	67
Figura 54. Diagrama UML Clase DecodificarDatosRx.....	68
Figura 55. Diagrama UML Clase DecodificarDatosTx	71
Figura 56. Diagrama UML Clase GestionarExcel	72
Figura 57. Formato Registro de Inmersiones	73
Figura 58. Diagrama UML Clase GraficadorAnimaciones	74
Figura 59. Diagrama UML Clase IntercambiadorVentanas	75
Figura 60. Diagrama UML Clase MostrarDatos.....	75
Figura 61. Estructura de la navegación de la GUI	77
Figura 62. Distribución de la pantalla	77
Figura 63. Ventana Principal.....	78
Figura 64. Ventana de Configuración de Inmersiones.....	79
Figura 65. Mensaje campos vacíos	80
Figura 66. Mensaje Configuración Exitosa.....	80
Figura 67. Mensaje Sección Deshabilitada	80
Figura 68. Mensaje Sistema Deshabilitado	80
Figura 69. Ventana de Monitoreo	81
Figura 70. Mímico sección deshabilitada	82
Figura 71. Mímico sección configurada	82
Figura 72. Mímico sistema activado	82
Figura 73. Mímico sistema desactivado.....	83
Figura 74. Módulo Bluetooth SlaveHC-06	83
Figura 75. Diseño PCB	87
Figura 76. Vista 3D de la placa electrónica	87

Figura 77. Instalación secciones A y B	89
Figura 78. . Instalación secciones C y D	89
Figura 79. Instalación secciones E y F.....	90
Figura 80. Conexión mangueras	90
Figura 81. Instalación unidad de mantenimiento	90
Figura 82. Conexiones eléctricas	91
Figura 83. Enlace exitoso con el sistema	92
Figura 84. Mensaje comunicación no establecida.....	93
Figura 85. Mensaje comunicación perdida	93
Figura 86. Configuración Sección D.....	94
Figura 87. Configuración Exitosa Sección D.....	95
Figura 88. Deshabilitación sección C	96
Figura 89. Sistema Deshabilitado	97
Figura 90. Hora sincronizada	98
Figura 91. Monitorización del Sistema	100
Figura 92. Configuración Sección A.....	101
Figura 93. Sección A activada	102
Figura 94. Registro Sección B Abril 2015	103
Figura 95. Registro Sección A Mayo 2015.....	103

RESUMEN

En el presente proyecto se realizó la automatización del sistema de inmersión temporal para cultivo de tejidos de plantas *in – vitro*. El sistema está dividido en seis secciones de diez recipientes de inmersión cada una y consta de cuatro etapas de funcionamiento. En la primera etapa los explantes permanecen en una canasta localizada en el interior del recipiente sobre una esponja de poliuretano libre del medio de cultivo. En la etapa dos inicia la sumersión del explante, mediante presión se ingresa el aire filtrado por un conducto que atraviesa el envase, permitiendo que el medio de cultivo se desplace hasta llegar a los explantes. La etapa tres consiste en mantener la sobrepresión de aire estéril en la parte baja del recipiente permitiendo que el medio de cultivo permanezca en la parte alta donde se encuentra el explante. Finalmente, durante la etapa cuatro se detiene el flujo de aire que ingresa en el recipiente de forma que la presión en su interior se equilibre y el medio de cultivo baje por gravedad retornando a la posición inicial. Para realizar el control de flujo de aire que ingresa en cada una de las secciones, se emplearon electroválvulas neumáticas controladas a través de un microcontrolador el cual se encarga de generar la señal de control para la activación de estas, empleando un optoacoplador y un triac como interfaz de potencia. Se desarrolló un software con una interfaz gráfica de usuario en Java que permite el control y monitoreo del sistema, el cual está comunicado con el sistema de control vía Bluetooth. Finalmente, todas las inmersiones programadas serán registradas en un archivo Excel.

PALABRAS CLAVES:

- **SISTEMA DE INMERSIÓN TEMPORAL**
- **CULTIVO *IN – VITRO***
- **MEDIO DE CULTIVO**
- **FLUJO DE AIRE**
- **MICROCONTROLADOR**

ABSTRACT

In this project was performed the automation of temporary immersion system for In-Vitro vegetable crops. The system is divided into six sections of ten immersion containers and has four stages of operation. In the first step explants remain in a basket located inside the container on a polyurethane sponge free of culture medium. In stage two the explants started being submerged by the pressure of filtered air through a duct passing the container that allow the medium to move up to the explants. The stage three consist in maintain the pressure of sterile air in the bottom of the container allowing the culture medium remains in the upper part where the explant is located. Finally, during stage four the air flow that enter in the container is stopped therefore the inner pressure equilibrate and the growth medium down by gravity returning to the starting position. For controlling airflow that enters in each of the sections there are used pneumatic electro-valves controlled by a microcontroller which generates the control signals for activation of these, using an optocoupler and a triac as power interface. It was developed software with a graphical interface in Java that allows control and monitoring of the system, which is connected to the control system via Bluetooth. Finally, all scheduled immersions will be recorded in an Excel file.

KEYWORDS:

- **TEMPORARY IMMERSION SYSTEM**
- ***IN – VITRO* CULTURE**
- **CULTURE MEDIUM**
- **AIR FLOW**
- **MICROCONTROLLER**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. Antecedentes

Desde los comienzos de la agricultura, el hombre aprendió que podía obtener nuevas plantas con características que le resultaban más útiles y beneficiosas, a partir del cruzamiento de dos tipos de progenitores (reproducción sexual) o a partir de segmentos de una única planta (reproducción asexual).

La reproducción asexual está caracterizada por la presencia de un único progenitor que se divide y da origen a individuos genéticamente idénticos al progenitor y entre sí, este tipo de reproducción se utiliza para obtener plantas que son copias de la planta original seleccionada por sus buenas características agronómicas.

En la actualidad, una gran cantidad de plantas han perdido la capacidad de producir semillas y deben ser propagadas por procesos de reproducción asexual, es así como nace la multiplicación vegetativa. Esta comprende desde procedimientos sencillos, como la propagación por gajos o segmentos de plantas, hasta procedimientos más complejos como es el cultivo de tejidos in vitro.

El cultivo de tejidos in vitro consiste en aislar una porción de la planta y proporcionar artificialmente las condiciones físicas y químicas apropiadas para la generación de una nueva planta, tales como macronutrientes, micronutrientes,

gelificantes y compuestos orgánicos; logrando así la propagación masiva de plantas genéticamente homogéneas, mejoradas y libres de microbios.

Recientemente, se han establecido sistemas de micropropagación utilizando medios de cultivo líquidos con el objetivo de automatizar la propagación de plantas, aumentar el número de estas por explante y por lo tanto disminuir los costos de producción. Esto se ha logrado con el diseño de biorreactores, en especial los llamados biorreactores de inmersión temporal, un método exitoso para la propagación masiva de diversas plantas que es muy utilizado por los grandes laboratorios de biotecnología.

1.2. Justificación e Importancia

La automatización del proceso de propagación de plantas es una necesidad para la reducción de los costos en la industria de la micropropagación, ya que disminuye la manipulación y permite reducir los costos del medio de cultivo.

Mediante técnicas como la de inmersión temporal se pueden obtener plantas en mayor cantidad y calidad ya que se logra una mayor incorporación y asimilación de nutrientes, aumentando el coeficiente de multiplicación y calidad de los brotes.

Actualmente, en el laboratorio de la empresa se producen alrededor de 100.000 plantas de diferentes variedades, las cuales atraviesan una etapa de multiplicación realizada mediante el método de inmersión temporal. La automatización de este sistema disminuye el índice de mortandad de las plantas, con lo cual se logra una mejoría de 3 a 4 veces durante dicha etapa ya que se tiene un mejor control de este proceso con tiempos más precisos durante la asimilación de nutrientes.

La empresa Germoplanta Cía. Ltda., ha decidido invertir en un sistema automático para el área de crecimiento y multiplicación de explantes y callos somáticos, que permitirá controlar el proceso morfológico debido a la frecuencia y

duración de la inmersión, y evitando la manipulación de las plantas y riesgos de contaminación cruzada.

1.3. Alcance del Proyecto

El presente proyecto está enfocado a la automatización del sistema de inmersión temporal que controla el crecimiento y multiplicación de explantes y callos somáticos para la producción masiva de plántulas *in-vitro* de la empresa Germoplanta Cía. Ltda.

Inicialmente se dividirá el área de multiplicación de plantas en 6 secciones de 10 RITAS (recipientes para inmersión temporal) cada una, para proseguir a realizar el diseño del sistema de control que será implementado mediante un microcontrolador. Conjuntamente se desarrollará un software de gestión utilizando la plataforma Java para que el operario pueda interactuar con el sistema.

Posteriormente, se desarrollará el sistema de comunicación entre el microcontrolador y la PC utilizando un módulo Bluetooth con el objetivo de que el control del proceso se realice de forma remota, evitando el contacto del personal y eliminando riesgos de contaminación, permitiendo así aumentar la productividad de la producción de plantas.

Lo que se pretende obtener es un sistema de monitoreo centralizado que permita controlar el horario de encendido y apagado para la inmersión de las plantas encontradas en cada RITA disponible en el área de multiplicación, de acuerdo al tiempo de repetición, tiempo de permanencia y tiempo de ejecución requeridos.

1.4. Objetivos

1.4.1. General

Diseñar e implementar el sistema automático de inmersión temporal para el cultivo de tejido de plantas *in-vitro* para la empresa Germoplanta Cía. Ltda.

1.4.2. Específicos

- Diseñar el sistema de control para el sistema de inmersión temporal de acuerdo a las secciones establecidas en el área de multiplicación.
- Desarrollar el programa para la adquisición y envío de información desde el microcontrolador.
- Desarrollar un software que permita gestionar y monitorear el sistema de forma remota evitando la contaminación dentro del área de multiplicación y crecimiento de plantas.
- Aprovechar la versatilidad y prestaciones de la PC para la implementación del sistema automático.
- Establecer el sistema de comunicación a través de un módulo Bluetooth entre el microcontrolador y la interfaz desarrollada en la PC.
- Desarrollar un registro de inmersiones configuradas en hojas de cálculo de Excel que ayude al análisis del comportamiento obtenido bajo las condiciones establecidas en el sistema.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Producción Masiva de Plántulas *in – vitro*

2.1.1. Cultivos *in – vitro* de tejidos vegetales

El término “cultivo in vitro de tejidos” significa cultivar algunas partes de las plantas también llamados “explantes”, como segmentos de hoja, tallo y raíces, además de otros tejidos u órganos vegetales, dentro de un frasco de vidrio en un ambiente artificial, en los que deben de controlarse la asepsia, el crecimiento y el desarrollo de estos diferentes tejidos. No deben de crecer microorganismos como bacterias y hongos, y los tejidos o plantas deben de mostrar un óptimo desarrollo. (Salgado, 2015)

Para lograr un cultivo in vitro de plantas, los tejidos y órganos (incluyendo semillas) deben ser esterilizados de manera superficial (asepsia) y se cultivan en soluciones nutritivas especiales, con frecuencia en medios solidificados con agar. A estos medios de cultivo se le incorporan combinaciones adecuadas de auxinas y citocininas, dos de las principales fitohormonas del crecimiento vegetal. Con la aplicación de éstas y el cultivo controlado como el pH, la luz y la temperatura, es posible reproducir todos los factores que puedan incidir en el crecimiento y desarrollo de los tejidos o de las plantas in vitro.



Figura 1. Cultivo in - vitro, explante

Fuente: (Perlavisión, 2010)

Los cultivos in vitro se mantienen en cuartos o cámaras de crecimiento con luz artificial, en una temperatura promedio de 25°C, una intensidad de 25 a 35 $\mu\text{mol}/\text{m}^2$ seg con un fotoperiodo de 12 a 16 horas de luz. Aunque de manera comercial existen diversos medios de cultivo, éstos generalmente se componen de una mezcla de sales minerales (macro- y micro- elementos), vitaminas y sacarosa. La composición del medio depende de la especie vegetal y del tipo de cultivo que se requiere. (Salgado, 2015)

2.1.2. Micropropagación

La micropropagación es el conjunto de técnicas y métodos de cultivos de tejidos utilizados para multiplicar plantas asexualmente. El proceso inicia a partir de un segmento de una planta madre, que da como resultado la propagación masiva de plantas genéticamente idénticas, denominadas clones. (EcuRed, 2015)

Con esta biotécnica se incrementa de forma exponencial el número de plantas en microexplantes menores a 1 cm de longitud o de diámetro, en los que se forman minúsculos brotes que se desarrollan hasta la formación de plantas, mediante el fenómeno de la regeneración vegetal. Lo anterior se explica debido a que las células vegetales son capaces de generar una planta a partir de una simple célula, proceso conocido como “totipotencialidad”. (Salgado, 2015)

La regeneración de plantas in vitro presenta cuatro etapas principales:

- Preparación del material de fisiología vegetal
- Establecimiento del cultivo
- Desarrollo y multiplicación de vástagos
- Enraizamiento y aclimatación de las plántulas

En la etapa 0, se prepara el material de fisiología vegetal, se selecciona la planta donante de acuerdo a las características agronómicas deseables. En la etapa 1, se establece cultivos viables y axénicos, el éxito está determinado por la edad de la planta donante, la edad fisiológica, el estado de desarrollo y el tamaño del explante. La etapa 2, corresponde a la multiplicación, el objetivo de esta etapa es mantener y aumentar la cantidad de brotes para los nuevos ciclos de multiplicación sucesivos. En la etapa 3, se produce la formación de raíces, aproximadamente 20 días de pues del tratamiento de inducción es posible tener una adecuada cantidad de raíces funcionales para continuar con la aclimatación. (EcuRed)

La formación de plantas en tejidos vegetativos como los tallos y las hojas, puede llevarse a cabo por dos diferentes maneras, en tejidos sin diferenciación celular (callos) y de forma directa en los explantes cultivados, regenerando plantas mediante la formación de brotes (organogénesis) o de embriones somáticos (embriogénesis somática).

Los callos como los mostrados en la Figura 2, son un grupo de células con alta división celular que han perdido el control de la diferenciación, que crecen de modo continuo en forma de cúmulos celulares, a partir de los cuales pueden formarse brotes o embriones somáticos. Para la generación de las plantas, los brotes deben de ser inducidos a producir raíces y los embriones somáticos a germinar.

Estos últimos se desarrollan de forma similar a un embrión cigótico (dentro de la semilla) a diferencia que los embriones somáticos provienen de células de tejidos

vegetativos y no por la interacción de las células sexuales, como es el caso para los embriones cigóticos. Estos procesos de regeneración se obtienen por la adición de las auxinas y citocininas (reguladores de crecimiento vegetal), que dependiendo de la concentración y combinación de ambas, será la respuesta regenerativa. (Salgado, 2015)



Figura 2. Callos

Fuente: (Cinvestav)

Una vez que las plantas se han multiplicado y desarrollado in vitro, éstas deben de trasplantarse a suelo o sustrato específico de cada especie, pasando por un periodo de aclimatación, en el cual se adaptan a las condiciones de humedad de una cámara de crecimiento o del invernadero, disminuyendo progresivamente la humedad relativa e incrementando progresivamente la intensidad de luz. Las plantas primero se cultivan en contenedores cubiertos por un plástico y posteriormente son plantadas en maceta para su crecimiento y desarrollo en invernadero.

En la Figura 3, se muestra un esquema resumen del proceso de micropropagación.



Figura 3. Micropropagación

Fuente: (IHMC CmapTools)

Debido a lo sofisticado de la técnica, la micropropagación es restringida y aplicada solo en laboratorios de investigación o en grandes empresas que cuentan con recursos para el mantenimiento del proceso y hacerlo costeable económicamente, lo cual es un hecho debido a la gran cantidad de plantas que por esta vía se obtienen. Es justificable el método solo en plantas con reproducción natural difícil, plantas en peligro de extinción, plantas con características importantes únicas como las transgénicas y plantas de uso ornamental con valor unitario elevado.

2.1.3. Sistemas de micropropagación actuales

Recientemente se han establecido sistemas de micropropagación utilizando medios de cultivo líquidos con el objetivo de automatizar la propagación de plantas, aumentar el número de éstas por explante y por lo tanto disminuir los costos de producción. Esto se ha logrado con el diseño de biorreactores, en especial los llamados biorreactores de inmersión temporal, un método exitoso para la propagación masiva de diversas plantas que es muy utilizado por los grandes laboratorios de biotecnología.

Estas técnicas de propagación *in vitro* han abierto nuevas posibilidades para el manejo de la genética básica y obtener nuevos cultivares. Dentro de las alternativas se presentan la facilidad de la creación y mantenimiento de nuevo material genético para la clonación *in vitro*, la obtención de material haploide a partir de anteras o cultivo de óvulos e incrementar la variabilidad genética por métodos de hibridación, selección y obtención de mutantes. A nivel práctico se han obtenido cultivares mejorados, producción de semillas de variedades comerciales y una rápida propagación (clonación) de cientos de especies. (Salgado, 2015)

2.1.4. Automatización de la micropropagación

La automatización del proceso de propagación *in vitro* es una necesidad para la reducción de los costos en la industria de la micropropagación. El uso de medios de cultivos líquidos es un aspecto primordial para la automatización de la propagación *in vitro*. Además, es considerada como la técnica ideal para la propagación masiva de plantas, ya que disminuye la manipulación y permite reducir los costos del medio de cultivo. Su principal desventaja radica en el efecto negativo que provoca sobre los tejidos de los brotes, bien sea por hiperhidricidad o hipoxia. El desorden fisiológico es eliminado o minimizado mediante la agitación del medio de cultivo líquido o sistemas de cultivo que permiten la aireación parcial o continua del medio de cultivo.

2.2. Sistema de Inmersión Temporal (SIT)

Existen varias técnicas recientes en la micropropagación, tanto en fase de investigación como en fase de aplicación práctica, para algunas especies vegetales. Entre otras están la creación de la "semilla artificial" y los llamados "sistemas de inmersión temporal" o de "inmersión intermitente".

El principio de funcionamiento de los sistemas de inmersión intermitente se basa en la posibilidad de absorción de nutrientes y otras sustancias por las plantas "in vitro", durante períodos alternos de inmersión en el medio de cultivo líquido y posterior permanencia en el recipiente sin el medio de cultivo (aunque sí con una

atmósfera de una elevada humedad relativa), este proceso de nutrición alternativa suministra los elementos necesarios al material vegetal e incrementa notablemente la oxigenación del medio interno, lo cual influye positivamente en el crecimiento y multiplicación de las plantas.



Figura 4. Sistema de Inmersión Temporal (SIT)

Fuente: (Argentina Investiga, 2008)

Para la inmersión temporal se han establecido recipientes especiales y también se han creado sistemas con elementos convencionales de un laboratorio, en cualquier caso el desplazamiento del medio líquido se realiza con el uso de aire comprimido y en algunos equipos se utiliza también el descenso del medio por gravedad. (Salgado, 2015)

2.2.1. Factores que influyen en el SIT

Existen factores que influyen en el sistema de inmersión temporal, tales como la aireación, turbulencia, densidad del inóculo, medio de cultivo, etc. La aireación permite que se dé un intercambio gaseoso entre el CO_2 y etileno generados con el O_2 filtrado que ingresa al sistema. La turbulencia generada por la presión de flujo de aire de entrada cuando es excesiva puede generar la destrucción del tejido, por lo que es necesario regular la presión de flujo de aire incluso para cada tipo de cultivo y especie. La densidad del inóculo se define como la masa de explantes presente dentro

del sistema de inmersión, es conveniente evitar la formación de agregados celulares o acumulación de excesiva biomasa. (Preil & Hvoslef, 2005)

El medio de cultivo debe tener similar composición a la de los medios de cultivos semisólidos (macro y microelementos, reguladores de crecimiento, etc.) con la diferencia de que no poseen agente gelificante.

2.3. Comunicación Inalámbrica vía Bluetooth (KIOSKEA, 2014)

Los sistemas inalámbricos de comunicación Bluetooth emplean la técnica del Espectro Ensanchado por Saltos de Frecuencia (FHSS), misma que es utilizada en comunicaciones vía Wi-Fi. Esta técnica consiste en dividir la banda de frecuencia desde 2.402 hasta 2.480 GHz en 79 canales denominados saltos con 1 MHz de ancho cada uno.

Para la transmisión de la señal se utiliza una secuencia de canales conocida tanto por el receptor como por el emisor, el estándar Bluetooth cambia los canales con una frecuencia de 1600 veces por segundo con lo cual se evita la interferencia con señales de radio.

El estándar Bluetooth se basa en una comunicación maestro/esclavo, capaz de formar una red de un maestro que se comunica con varios dispositivos esclavo dentro del área de cobertura, denominada “piconet”. En una misma área pueden coexistir hasta 10 redes piconet y un maestro puede conectarse hasta con 7 dispositivos a la vez. Dentro de la red cada dispositivo tiene una dirección lógica asignada de 3 bits, obteniendo un máximo de 8 dispositivos con el maestro.

El dispositivo maestro solo puede establecer una conexión e intercambio de datos con un dispositivo a la vez, por lo que intercambia rápidamente de esclavo pareciendo establecer conexión simultánea con todos los dispositivos esclavo.

El estándar Bluetooth permite la conexión de dos piconet para formar una red más amplia denominada “scatternet”, la cual comúnmente se encuentra en aplicaciones que emplean dispositivos especiales tipo puente entre redes.

A continuación se enumeran una serie de procedimientos que garantizan un cierto grado de seguridad al establecer una conexión entre dos dispositivos Bluetooth:

- Modo Pasivo: dispositivos energizados esperando comunicación
- Solicitud: búsqueda de puntos de acceso
- Paginación: sincronización con los puntos de acceso
- Descubrimiento del servicio del punto de acceso
- Creación de un canal con el punto de acceso
- Emparejamiento mediante el PIN o código de seguridad
- Utilización de la red

Durante el uso normal de un dispositivo Bluetooth este se encuentra en “Modo Pasivo”, es decir que está constantemente escuchando la red, el establecimiento de la comunicación empieza con la denominada “Solicitud”, durante la cual el dispositivo maestro envía datos de solicitud a todos los dispositivos que se encuentren dentro de su rango, denominados puntos de acceso. Todos los dispositivos que reciben la información responden al maestro con su dirección.

El dispositivo maestro elige una dirección y se sincroniza con dicho dispositivo mediante una técnica denominada “Paginación”, que principalmente consiste en la sincronización de su reloj y frecuencia con el punto de acceso. De esta manera se establece el enlace con el punto de acceso que le permite al maestro ingresar a la fase de “Descubrimiento del Servicio”, mediante el Protocolo de Descubrimiento de Servicios (SDP). Cuando esta fase termina el dispositivo maestro está listo para crear un canal de comunicación con el punto de acceso utilizando el protocolo L2CAP.

Según sean las necesidades del servicio, es posible establecer un canal adicional denominado RFCOMM que funciona por el canal L2CAP para proporcionar un puerto serial virtual, de hecho muchas aplicaciones se han diseñado para que puedan conectarse de esta manera, independientemente del hardware utilizado. El punto de acceso puede incluir un mecanismo de seguridad denominado “Emparejamiento” que restringe el acceso y brinda cierto grado de seguridad en la red, el emparejamiento se realiza con una clave cifrada comúnmente conocida como PIN (Número de Identificación Personal), para esto el punto de acceso envía una solicitud de emparejamiento al dispositivo maestro y en caso de ser correcto se lleva a cabo la conexión estableciendo la comunicación libre por el canal.

CAPÍTULO III

INGENIERÍA BÁSICA

3.1. Estado anterior del Sistema

El sistema con el que constaba la empresa Germoplanta Cía. Ltda. estaba compuesto por dos secciones de diez recipientes para inmersión temporal cada una como se muestra en la Figura 5, mismas que trabajaban paralelamente, es decir que no se contaba con un funcionamiento individual.



Figura 5. Sistema de Inmersión Temporal Actual

La condición antes mencionada no permitía que exista una programación diferente en cada una de las secciones y no facilitaba establecer dos configuraciones en el caso de trabajar con dos especies diferentes de planta. Además, el sistema no

Además, no se contaba con un regulador de presión por lo que no se podía controlar la presión que ingresaba a los recipientes y la empresa implementó unas adecuaciones poco ortodoxas a fin de disminuir la presión excesiva que proporcionaba el compresor. Cabe mencionar que los ajustes realizados causaban una fuga de aire en la salida del compresor al no tener las conexiones adecuadas para el correcto funcionamiento del sistema.

Adicionalmente, la empresa no consta con un registro de las inmersiones programadas dificultando realizar un análisis comparativo de las diferentes condiciones establecidas a la especie de planta durante su instancia en el sistema de inmersión temporal.

3.2. Requerimientos de Funcionamiento del Sistema

Para que el nuevo sistema sea totalmente eficaz y aceptable se deben cumplir con varios requerimientos, por otro lado se busca que el costo del proyecto sea el menor posible, ya que se pretende realizar un proyecto reproducible empezando por el laboratorio de la empresa Germoplanta Cía. Ltda. y posteriormente aumentar su alcance hacia empresas y personas que se dediquen a la producción de especies vegetales a nivel nacional, por lo que este requerimiento es crítico en la elaboración de todo el proyecto.

El sistema de inmersión temporal deberá estar conformado por seis secciones de diez recipientes de inmersión cada una, dentro de la estantería se ubicaran dos secciones por piso, una a cada extremo.

El flujo de aire que circula por cada sección estará controlado por una electroválvula con un total de seis electroválvulas, el sistema debe permitir que exista individualidad entre cada una de las secciones.

El sistema de control estará conformado por un microcontrolador y una etapa de potencia que permite generar las señales de control adecuadas para la activación de las electroválvulas.

El sistema manejará un reloj en tiempo real para mantenerlo informado de la hora actual y no tener una dependencia del computador para adquirir la hora. Se visualizará la hora actual en un LCD ubicado en la parte frontal de la estantería.

En caso de pérdida de energía el sistema debe ser capaz de retornar a su funcionamiento normal con las últimas configuraciones programadas, para esto deberá crearse un respaldo de las inmersiones programadas dentro de la memoria del microcontrolador. Además, se utilizará una alimentación externa adicional (pila) para el módulo de reloj en tiempo real evitando que el reloj se desigale al presentarse una pérdida de energía.

Con respecto a la interfaz gráfica de usuario, esta deberá ser intuitiva, de fácil manejo y mantener un diseño ergonómico. Desde la interfaz, el usuario podrá configurar hasta ocho inmersiones diferentes en cada una de las secciones. La hora de activación de la inmersión manejará las unidades de hora, minutos y segundos y la duración de la inmersión minutos y segundos, para facilitar el ingreso de estas configuraciones se utilizará seleccionadores.

Existirán las opciones para deshabilitar una sección en específica o el sistema completo para cuando se requiera colocar un nuevo explante y extraer el anterior. Existirá un espacio determinado para el ingreso de la especie de planta a ingresar en una sección. También, deberá existir un botón que permita sincronizar la hora del módulo de reloj con la hora actual del computador.

Para cualquier funcionalidad dentro de la ventana correspondiente a la configuración se desplegarán mensajes de aviso para que el usuario se informe si se llegó a sincronizar la hora, deshabilitar una sección o el sistema completo, si se

realizó una nueva configuración de inmersiones o si olvidó colocar la especie de planta.

La monitorización deberá presentar las inmersiones configuradas en cada una de las secciones junto con su duración, además tendrá un mímico representativo del estado en el que se encuentre la sección y a través de animaciones se simulará el comportamiento del sistema.

Se requiere de la creación de un registro donde se almacenen cada una de las configuraciones programadas, para ello se utilizarán libros de Excel organizados por meses y año, dentro de los cuales se creará una hoja para cada sección y se almacenará la especie de la planta, la hora de activación de la inmersión, duración, fecha de programación y número de inmersión.

El software será desarrollado en Java y contará con una interfaz gráfica de usuario para el control y monitoreo del sistema. El envío y recepción de datos desde el microcontrolador hacia el computador o viceversa, será vía inalámbrica a través de un módulo Bluetooth. Una vez realizada las configuraciones, el sistema funcionará independientemente de la utilización de la interfaz.

3.3. Descripción del Proceso y Filosofía de Control

El proceso de inmersión temporal que ocurre en cada una de las secciones se compone de dos fases: fase emergida y fase sumergida, formadas por las cuatro etapas mostradas en la Figura 8.

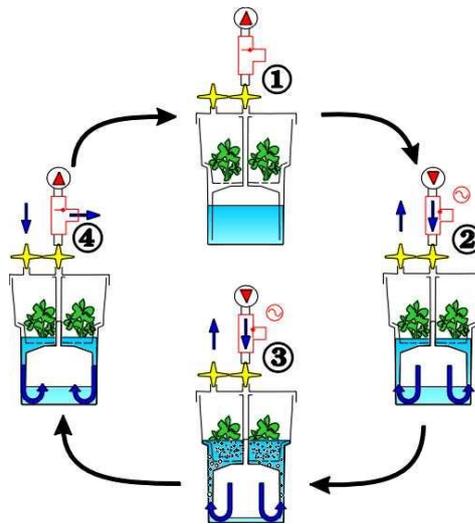


Figura 8. Esquema de funcionamiento de un biorreactor RITA.

Fuente: (Hvoslef-Eide and Preil, 2005)

La fase emergida (etapa 1) es la de mayor duración, donde los explantes se encuentran colocados sobre un disco de esponja de poliuretano dentro de una canasta en el interior del recipiente de inmersión.

La fase sumergida está compuesta por las tres siguientes etapas mostradas en la figura anterior, la duración de esta fase se define por experimentación pero siempre es muy corta a comparación de la fase emergida. La duración de la inmersión depende de las características de la especie de planta o el estudio que desee realizarse sobre un explante en particular bajo ciertas condiciones específicas. Generalmente, la duración puede variar de 1 minuto por día hasta 4 veces 15 minutos por día.

Durante la etapa dos, una sobrepresión de aire estéril es aplicada a la parte baja del recipiente de inmersión, permitiendo que el medio de cultivo suba a la parte alta donde se encuentra el explante. El flujo de aire ingresa por un conducto que atraviesa el centro del envase, la presión del flujo debe ser la adecuada ya que un exceso puede generar la destrucción del tejido.

La etapa tres consiste en mantener la sobrepresión de aire en la parte baja del recipiente de inmersión, esto permite que el medio de cultivo permanezca en la parte

alta donde se encuentra el explante. Además, el aire inyectado permite la oxigenación del medio de cultivo y la renovación del aire en el interior del envase.

Por último, en la etapa cuatro una vez transcurrido el tiempo de inmersión, se detiene el flujo de aire, la presión en el interior se equilibra y el medio de cultivo vuelve a bajar por gravedad a la parte inferior del recipiente.

En el diagrama de flujo del proceso visto en el Anexo 1, se describe al sistema de inmersión temporal, en el cual sus seis secciones trabajan paralelamente y de forma independiente. El proceso a realizarse siempre y cuando el sistema se encuentre energizado inicia con la determinación de si existe una configuración de inmersión nueva para al menos alguna de las secciones, con lo cual se procede a ingresar las nuevas inmersiones o se decide mantener las inmersiones configuradas en un instante anterior.

En cada sección se determinará si esta se encuentra habilitada, es decir si cuenta con al menos una configuración establecida, a partir de esto se iniciará el proceso de inmersión antes descrito cumpliendo cada una de sus etapas hasta que el tiempo de inmersión o duración de la inmersión se cumpla, con lo cual se retornará al estado inicial.

El sistema a controlar está compuesto por seis electroválvulas neumáticas que se encargan de suministrar el flujo de aire a los recipientes de inmersión temporal, cada electroválvula distribuye el aire a diez recipientes por medio de un tubo para distribución de aire tipo flauta, desde el cual se conectan los conductos centrales del recipiente por medio de mangueras de poliuretano. Estas electroválvulas deben suministrar una cantidad de flujo de aire varias veces al día cada vez que se requiera realizar una inmersión.

Básicamente, el sistema de control se encarga de la activación y desactivación de las electroválvulas, su principal tarea será mantener la operación automática del sistema en función de las demandas cambiantes de inmersiones en cada sección.

Estas demandas serán introducidas por el usuario al sistema como set point y representan la hora de activación y la duración de inmersión. Por lo descrito anteriormente, la filosofía de control adoptada para este sistema se basa en el control de dos posiciones (ON – OFF).

3.4. Selección de Dispositivos

3.4.1. Microcontrolador PIC18F4550

Este microcontrolador fue seleccionado debido a sus prestaciones que cumplen con las necesidades para el desarrollo del controlador del sistema de inmersión temporal, cuenta con las funcionalidades embebidas de USART e I2C. La primera de ella será empleada para realizar la comunicación con el computador para el manejo de la interfaz gráfica de usuario a través de un módulo Bluetooth con interfaz serial. Y la segunda permite comunicar al módulo de reloj de tiempo real para informar la hora actual al sistema de control.

En la Tabla 1 se muestran las características principales del microcontrolador a tomarse en cuenta durante la selección del modelo del PIC.

Tabla 1.
Características generales PIC18F4550

Características	Descripción
Frecuencia de Operación	DC – 48 MHz
Memoria de Programa	32 Kbytes
Memoria Interna	2 KBytes RAM, 256 KBytes EEPROM
Instrucciones	75
Interfaz	SCI, UART, I2C, USB, SPI
Puertos I/O	35
Canales de ADC de 10 bits	13
Timers	4
Encapsulado	DIP-40

Una de las características tomadas en cuenta durante la selección del PIC fue el espacio de memoria correspondiente a la EEPROM, ya que para la recuperación del sistema luego de haber existido una pérdida de energía, se requiere un espacio de memoria para almacenar 256 datos y abarcar la máxima capacidad de configuración del sistema. En la Figura 9 se puede observar el microcontrolador a utilizar.



Figura 9. Microcontrolador PIC18F4550

Fuente: (CODEJOBS, 2014)

3.4.2. Optoacoplador MOC3021

Se escogió utilizar un optoacoplador debido a que este proporciona un aislamiento galvánico además del aislamiento eléctrico, lo cual es útil ya que se tiene una protección ante posibles perturbaciones. El MOC3021 posee en su etapa de salida un fototriac. En la Figura 10 y Figura 11 se muestra el optoacoplador seleccionado y sus elementos internos.

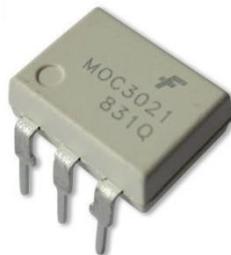


Figura 10. MOC3021M – Optoacoplador

Fuente: (ELECTRONILAB)

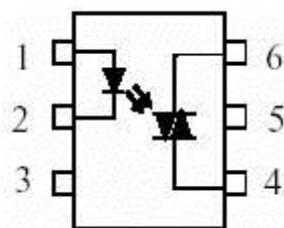


Figura 11. Elementos internos optoacoplador

Fuente: (Proton)

La Tabla 2 muestra las características principales del optoacoplador las cuales deben ser tomadas en cuenta al momento de la selección, ya que depende de la carga con la que desee trabajarse. En este caso para la etapa de potencia optoacoplador – triac las características son las adecuadas para el manejo de la carga en este caso una electroválvula.

Tabla 2.
Características generales MOC3021

Características	Descripción
Fabricante	Fairchild Semiconductor
Número de canales por chip	1
Voltaje de aislamiento máximo	5300 V
Corriente directa máxima	50 mA
Corriente de disparo nominal	30 mA
Corriente de disparo máxima	15 mA
Tensión de salida en estado – VDRM	400 V
Temperatura operativa máxima	+ 85 °C
Temperatura operativa mínima	- 40 °C
Empaquetado / Estuche	PDIP-6

3.4.3. TRIAC BT138

Este dispositivo se ha seleccionado como interruptor para conmutar la corriente alterna que alimenta a las electroválvulas. Mediante el optoacoplador se envía la señal de disparo a la compuerta del triac permitiendo el paso de la corriente a las válvulas permitiendo el paso de aire que debe ser proporcionado a los recipientes durante una inmersión. En la Figura 12 se muestra el triac a utilizarse y en la junto con sus principales parámetros a considerar durante la selección de este dispositivo.



Figura 12. TRIAC BT138

Fuente: (Amazon, 2015)

Tabla 3.
Características generales TRIAC BT138

Características	Descripción
Modelo	BT136-600
Número de canales por chip	1
Voltaje VDRM	600 V
Corriente IT(RMS)	12 A
Voltaje de disparo de compuerta	5 V
Corriente de disparo de compuerta	2A
Temperatura operativa máxima	+ 85 °C
Temperatura operativa mínima	- 40 °C
Empaquetado / Estuche	PDIP-6
Disipación de energía	330 mW

3.4.4. Módulo DS1307, Reloj de Tiempo Real I2C

Se decidió emplear el módulo DS1307 visto en la Figura 13, ya que este puede comunicarse con el microcontrolador mediante comunicación i2c y así podrá informar al sistema de control la hora actual. Además, este módulo cuenta con una alimentación externa de emergencia (pila) en caso de tener una pérdida de energía el reloj continuará funcionando.

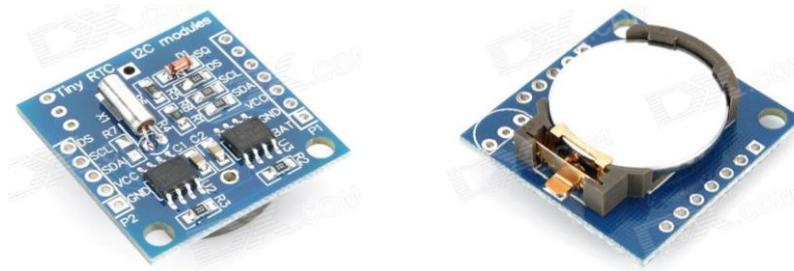


Figura 13. Reloj de Tiempo Real I2C

Fuente: (DX, 2012)

A continuación se citan las principales características del módulo:

- Gestiona todas las funciones de cronometraje.
 - El Reloj de tiempo real cuenta con segundos, minutos, horas, fechas del mes, mes, día de la semana, y año con compensación de año bisiesto validado hasta el 2100.
 - 56 Byte, respaldo de batería, memoria RAM de propósito general con escrituras ilimitadas.
 - Señal de salida programable de onda cuadrada.
- Interfaz simple de puerto serial para la mayoría de microcontroladores.
 - Interfaz serial i2c.
- El consumo bajo de energía extiende el tiempo de vida útil de la batería de respaldo.
 - Consume menos de 500nA en modo de batería de reserva con oscilador de funcionamiento.

- Detección automática de fallos de energía y conmutación de circuito a batería de respaldo.
- DIP de 8 pines y 8 pines para minimizar el espacio requerido.
- Rango de temperatura industrial opcional: -40 °C a +85 °C

3.4.5. Módulo Bluetooth HC-06

Para dar una mayor comodidad al usuario al momento de gestionar el control y monitoreo del sistema de inmersión temporal, se optó por manejar una comunicación inalámbrica de corto alcance como lo es la comunicación vía Bluetooth. Además, al optar por esta alternativa no se requiere utilizar dos dispositivos de similares características que permitan realizar el envío y recepción de datos.

El módulo HC-06 es un dispositivo utilizado comúnmente en microcontroladores para la comunicación de datos inalámbrico de manera sencilla ya que presenta una interfaz serial que permite generar un servicio de puerto serial utilizando el protocolo RS232, lo cual permite el intercambio de datos. El módulo se enlaza con un dispositivo Bluetooth mediante el código de emparejamiento “1234”, y trabaja con una velocidad de 3.0 Mbits/seg para el intercambio de datos, lo cual es suficiente para realizar cualquier tarea de control automático.

Tabla 4.
Características generales Módulo HC-06

Características	Descripción
Nombre Bluetooth	HC-06 o Linvor
Fuente de Alimentación	5 V o 3.3 V – 8mA
Tasa de transferencia	9600 baudios
Código de emparejamiento por defecto	1234
Tecnología	Bluetooth 2.0 + EDR con 10m de alcance
Nivel de Aplicación	Civil
Dimensiones	Alto: 28 mm, largo: 15mm y ancho: 2.35mm

3.4.6. LCD 16x2

Se decidió utilizar un LCD 2x16 (2 líneas de 16 espacios cada una) visto en la Figura 14, para que el usuario tenga una referencia de que el sistema se encuentra funcionando normalmente.



Figura 14. LCD 2x16

Fuente: (DER Ingeniería, 2012)

Mientras el sistema se encuentre funcionando se desplegará el mensaje “SISTEMA RITA” en la primera, en la segunda línea el usuario podrá visualizar la hora actual en la que se encuentra trabajando el sistema.

Este último dato servirá de referencia para que el usuario identifique que se requiere un cambio de pila para la alimentación de respaldo, ya que al momento de retornar al funcionamiento normal luego de sufrir una pérdida de energía se mostrará la hora detenida en el LCD.

3.4.7. Fuente de Alimentación DC

Para alimentar a todo el circuito de control se utiliza una fuente DC de 5 V – 2 A mostrada en la Figura 15, mediante ella se energizará al microcontrolador, LCD, módulo reloj, módulo Bluetooth y todos los demás componentes del circuito de control.



Figura 15. Fuente de Alimentación DC

3.4.8. Electroválvulas Neumáticas

De acuerdo a los requerimientos de funcionamiento del sistema, se necesita una electroválvula de tres vías y dos posiciones, que corresponden a la vía de alimentación, desfogue y la vía por la que se hará llegar el flujo de aire hacia los recipientes de inmersión temporal.

La empresa Germoplanta adquirió dos electroválvulas 3/2 como la mostrada en la Figura 16, las cuales fueron utilizadas para dos de las secciones del sistema. Las características principales encontradas en esta válvula se muestran en la Tabla 5.

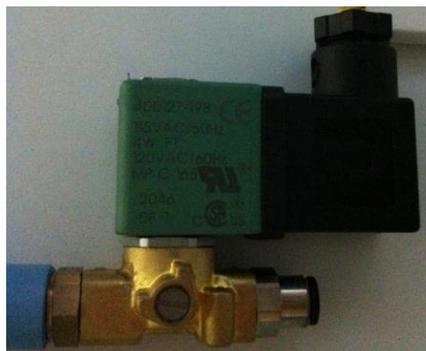


Figura 16. Electroválvula 3/2

Tabla 5.
Características principales Electroválvula 3/2

Características	Descripción
Número de vías	3
Número de posiciones	2
Presión máxima	125 PSI
Accionamiento	Por solenoide
Retorno	Por muelle
Voltaje alimentación solenoide	115 VAC / 50Hz 120 VAC / 60 Hz
Potencia	4 W
Tamaño del puerto para conector	1/8"

Para el resto de secciones se optó por utilizar las electroválvulas CHELIC 5/2 mostradas en la Figura 17, se emplearon válvulas 5/2 en lugar de 3/2 ya que fueron las válvulas encontradas en el mercado más convenientes en cuanto a costos. En la Tabla 6 se muestran las características principales de estas electroválvulas.



Figura 17. Electroválvula 5/2 CHELIC

Tabla 6.
Características principales Electroválvula 5/2 CHELIC

Características	Descripción
Modelo	SV-5101
Marca	CHELIC
Número de vías	5
Número de posiciones	2
Presión máxima	135 PSI
Accionamiento	Por solenoide
Retorno	Neumático
Rango de presión de trabajo	14.22 – 99.57 psi
Temperatura	5 – 60 °C
Voltaje alimentación solenoide	120 VAC / 60 Hz
Tamaño de conectores	1/8"
Tamaño del orificio	12 mm

3.4.9. Compresor

La fuente neumática utilizada para suministrar a todo el sistema de inmersión temporal es el compresor existente en la empresa visto en la Figura 18. Es muy importante que las características del compresor vayan acorde a las necesidades del sistema para no tener inconvenientes en su funcionamiento.



Figura 18. Compresor de Aire INGCO

Fuente: (INGCO Ecuador)

En la Tabla 7 se pueden observar las principales características que deben considerarse al momento de seleccionar el compresor.

Tabla 7.
Características generales compresor

Características	Descripción
Modelo	UAC25506
Marca	INGCO
Voltaje	110 – 120, 60 Hz
Potencia de entrada	1.8 Kw (2.5 HP)
Velocidad	2850 rpm
Capacidad del tanque	50 L (13.2 Gal)
Presión máxima	8 bar

3.4.10. Unidad de Mantenimiento (FRL)

Está conformada por un filtro, regulador de presión y lubricante como se observa en Figura 19. Dentro de los sistemas neumáticos la unidad de mantenimiento tiene algunas funcionalidades importantes como son la durabilidad y seguridad de funcionamiento de la instalación neumática.

La suciedad del aire comprimido (óxidos, polvo), partículas líquidas en el aire, causan un gran deterioro en las instalaciones neumáticas y en todos sus componentes, provocando desgastes exagerados y prematuros que reducen la duración de los distintos elementos. Otro inconveniente son las conexiones y desconexiones del compresor, ya que se generan oscilaciones en la presión que impiden un funcionamiento estable.

Por las razones antes mencionadas se optó utilizar una unidad de mantenimiento neumática, para seleccionar la unidad adecuada se debe considerar el caudal total de aire, la presión de trabajo y la temperatura.

Además, el regulador de presión será de gran ayuda para controlar la presión que debe ingresar en el sistema para el funcionamiento adecuado de este.



Figura 19. Unidad de Mantenimiento

Además, el regulador de presión será de gran ayuda para controlar la presión que debe ingresar en el sistema para el funcionamiento adecuado de este. En la Tabla 8, se observan las principales características de la unidad de mantenimiento neumática.

Tabla 8.
Características generales Unidad de Mantenimiento

Características	Descripción
Modelo	AC20
Marca	CHELIC
Tamaño de conectores	1/4"
Tamaño del conector para manómetro	1/8"
Fluido operativo	Aire comprimido
Caudal máximo	140 CFM
Presión de prueba	1.5 MPa (15.3 kgf/cm ²)
Presión máxima de operación	1.0 MPa (10.2 kgf/cm ²)
Rango de presión de operación	0.05 ~ 0.85 MPa (0.8 ~8.7 kgf/cm ²)
Temperatura ambiente y de fluido	-5 °C ~ +60 °C (sin congelar)
Calificación estándar de filtración	40 µm
Lubricante recomendado	Aceite de turbinas clase 1 (ISO VG32)
Peso	0.7 kg

3.4.11. Dispositivos Adicionales

- **Cable multifilar AWG 18**

Como elemento eléctrico adicional se tiene el cable multifilar AWG 18 mostrado en la Figura 20, este fue empleado para realizar todas las conexiones de las bobinas de cada válvula, cuyas características técnicas mostradas en la Tabla 9 cumplen con lo requerido para el funcionamiento del sistema.



Figura 20. Cable multifilar AWG18

Fuente: (Vivetecnologia)

Tabla 9.
Características principales cable AWG18

Características	Descripción
Número AWG	18
Diámetro	1,024
Sección	0,82
Número espiras por cm	9,2
Kg por Km	7,3
Resistencia	20,73 ohm/Km
Capacidad	2,5 A

- **Elementos electrónicos y accesorios**

Para el circuito de control se emplearon varios componentes adicionales mostrados en la Figura 21, de igual forma para la implementación de la baquelita y los diferentes conectores, switches, etc. Utilizados para la elaboración de la caja que contendrá al sistema de control.



Figura 21. Elementos varios

- **Accesorios neumáticos**

Para la instalación del sistema de inmersión temporal se requieren de algunos accesorios neumáticos que permite realizar las conexiones entre las válvulas, la fuente neumática y los recipientes de inmersión.

Para las conexiones de las electroválvulas hacia la fuente neumática y hacia los distribuidores de aire se empleó un tubo de poliuretano de 6x4 mm color azul visto en la Figura 22, las conexiones desde los tubos distribuidores de aire (ver Figura 24)

hacia los recipientes se realizaron con tubo de poliuretano de 6x4 mm transparente como se observa en la Figura 23 mediante la utilización de acoples rectos de 6mm x M5 visto en la Figura 25.



Figura 22. Tubo de poliuretano 6x4 mm AZUL



Figura 23. Tubo de poliuretano 6x4 mm TRANSPARENTE



Figura 24. Tubos distribuidores de aire tipo flauta



Figura 25. Acople recto 6mm M5

Para el suministro de aire hacia las válvulas se utilizó un acople múltiple de seis puertos 6mm x 1/8 y un acople recto 6mm x 1/8 FPT como se observa en la Figura 26, que permiten distribuir el flujo de aire hacia las seis secciones del sistema desde la fuente neumática.



Figura 26. Acople múltiple 6 puertos 6mm x 1/8 y acople recto 6mm x 1/8 FPT

En la Tabla 10 se observan algunas características de los tubos de poliuretano utilizados y en la Tabla 11 de los tubos distribuidores de aire tipo flauta.

Tabla 10.
Características generales tubos de poliuretano

Características	Descripción
Modelo	ZU-0604
Material de construcción	Poliuretano
Diámetro externo del tubo	6 mm
Diámetro interno del tubo	4 mm
Presión de operación	99.56 psi
Presión de prueba	341.35 psi
Colores	Transparente Azul Negro

Tabla 11.**Características generales tubos distribuidores de aire**

Características	Descripción
Marca	PLASTIGAMA
Material	PVC (Policloruro de vinilo)
Dimensiones	Diámetro externo: 21.34 mm Grosor del material: 3.73 mm 1/2"
Presión neumática máxima	2.90 MPa
Sello de calidad	INEN
Norma	2497
Fabricante	MEXICHEM ECUADOR S. A.

Los accesorios que permiten realizar las conexiones de las electroválvulas se muestran en la Figura 27 a continuación. Se utilizan dos acoples rectos para las conexiones de la alimentación y salida hacia los tubos distribuidores, los silenciadores planos son utilizados para disminuir el ruido en los desfogues de la válvula, y se emplean tapones en dos vías para dar la funcionalidad de una válvula de 3/2.

**Figura 27. Accesorios para conexiones electroválvulas**

Por último tenemos todos los accesorios para conexión de mangueras desde los tubos distribuidores a las válvulas donde se emplean nepló reductores de 3/8 MPT x 1/8 MPT y acoples rectos de 6mm x 1/8 FPT y para las conexiones de la unidad de mantenimiento con el compresor y alimentación para las electroválvulas se emplearon acoples rectos de 6mm x 1/4 FPT. Los accesorios antes descritos se observan en la Figura 28.



Figura 28. Accesorios para conexiones

3.5. Detalle de Costos del Sistema

En la Tabla 12, se muestran los costos aproximados del sistema sin tomar en consideración los materiales existentes dentro de la empresa. Además, los costos mostrados no reflejan el costo de la ingeniería de diseño y el costo de implementación del sistema sino únicamente el costo de materiales.

Tabla 12.
Detalle de Costos del Sistema

Elemento	Costo aproximado
Microcontrolador PIC18F4550	\$ 11.00
Optoacopladores MOC3021	\$ 7.00
Triacs BT138	\$ 8.75
Módulo DS1307, Real Time Clock	\$ 7.00
Módulo Bluetooth HC-06	\$ 19.00
LCD 16x2	\$ 6.70
Fuente de Alimentación DC	\$ 9.00
Electroválvulas neumáticas 5/2	\$ 106.00
Unidad de Mantenimiento Neumática (FRL)	\$ 55.00
Cable AWG18	\$ 10.00
Tubos de poliuretano 6x4mm AZUL	\$ 15.00
Tubos de poliuretano 6x4mm TRANSPARENTE	\$ 7.70
Acoples rectos 6mm x M5	\$ 33.00
Acoples rectos 6mm x 1/8 MPT	\$ 21.00

CONTINÚA →

Acople múltiple 6 puertos 6mm 1/8 MPT	\$ 9.65
Acoples rectos 6mm x 1/8 FPT	\$ 6.55
Neplo reductores 3/8 MPT 1/8 MPT	\$ 7.50
Silenciadores planos PT 1/8	\$ 6.50
Tapones hueco 1/8 MPT	\$ 3.15
Acoples rectos 6mm x 1/4 FPT	\$ 1.80
Tubos PVC	\$ 6.00
Elementos varios	\$ 22.00
TOTAL	\$ 379.30

CAPÍTULO IV

INGENIERÍA DE DETALLE

4.1. Descripción del Proceso y Subsistemas

En la Figura 29 se puede observar todos los subsistemas que intervienen en el proceso, mismos que serán descritos a continuación:

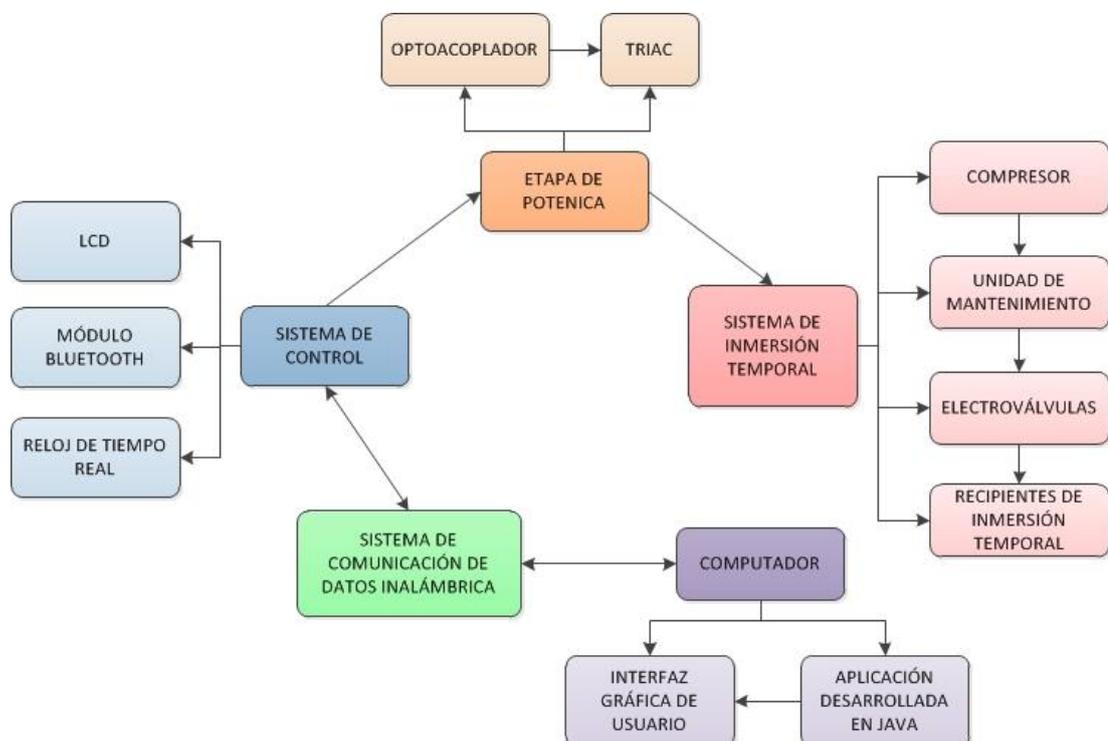


Figura 29. Diagrama del procesos y subsistemas que intervienen

En primer lugar se tiene al sistema de inmersión temporal, el cual está conformado principalmente por la fuente neumática (compresor) que suministra el aire comprimido, la unidad de mantenimiento que permite alargar la vida útil de los elementos del sistema y además permite regular la presión con la que se va a trabajar, las electroválvulas neumáticas que permiten controlar el flujo de aire y por último los recipientes de inmersión temporal donde se colocan los explantes para la etapa de multiplicación.

El sistema de control que se ejerce sobre el sistema de inmersión temporal requiere de una etapa de potencia que activa o desactiva las electroválvulas de acuerdo a la señal de control generada en el controlador. La interfaz de potencia utiliza un optoacoplador que aísla eléctricamente la etapa de control y la etapa de potencia y mediante un triac permite conmutar el voltaje de corriente alterna que alimenta a las electroválvulas.

El sistema de control como ya se había mencionado mantiene una filosofía de control todo o nada, con lo cual al cumplirse los set points deseados se genera la señal de activación o desactivación de la electroválvula de alguna de las secciones del sistema. Para la activación se compara la hora deseada en la que una sección debe iniciar el proceso de inmersión y para la desactivación se considera si se ha cumplido la duración de la inmersión. Esto implica que el sistema de control debe mantenerse informado de la hora actual que transcurre en el sistema de inmersión, para lo cual se emplea un reloj de tiempo real externo que mediante comunicación i2c comunica la hora al controlador. Por otro lado, el sistema de control dará a conocer al usuario la hora del sistema de inmersión temporal a través de un LCD.

Al requerir que el sistema se pueda gestionar desde un computador, se desarrolla una aplicación en lenguaje JAVA que consta de una interfaz gráfica de usuario donde se va a permitir realizar el control y monitoreo del sistema de inmersión temporal de forma remota.

El sistema de control y el computador se comunican vía inalámbrica empleando tecnología Bluetooth, ya que la distancia entre el controlador y la PC están acorde a las características del protocolo que maneja esta tecnología. De esta forma se logra eliminar el cableado y se facilita la gestión del sistema por parte del usuario.

4.1.1. Descripción del Sistema de Inmersión Temporal

El Sistema de Inmersión Temporal visto en la Figura 30, está dividido en seis secciones, cada una de ellas conformada de varios componentes que serán detallados a continuación:



Figura 30. Sistema de Inmersión Temporal

- **Tubos para distribución de aire tipo flauta**

El objetivo de estos tubos es la distribución del flujo de aire hacia los diez recipientes de inmersión de cada sección, para lo cual cuentan con orificios a lo largo de su estructura que permiten introducir los acoples rectos de 6mm x M5, donde se

colocan los tubos flexibles de poliuretano transparente que ingresan en cada RITA. El aire ingresa por uno de sus extremos mientras el otro se encuentra bloqueado por una tapa.

La empresa Germoplanta Cía. Ltda. adquirió dos tubos comerciales a través de la empresa VITROPIC S. A. como el mostrado en la Figura 31, importados desde Francia, los cuales sirvieron como base para la construcción de los cuatro tubos para las secciones faltantes. La construcción de los nuevos tubos se realizó con materiales similares existentes en el mercado nacional que cumplen con las características requeridas por el sistema como se muestra en la Figura 32.



Figura 31. Tubos comerciales para distribución de aire tipo flauta



Figura 32. Tubos para distribución de aire tipo flauta implementados

- **Electroválvulas neumáticas**

En cada sección se cuenta con una electroválvula neumática, la cual se encarga de permitir o no el paso de flujo de aire hacia los recipientes de inmersión temporal. Dos secciones cuentan con una válvula 3/2 activada por solenoide y retorno por resorte, adquiridas de igual forma mediante la empresa VITROPIC S. A. Las cuatro secciones restantes cuentan con una válvula 5/2 activada por solenoide y retorno neumático, adquiridas en el mercado nacional, las cuales funcionarán como válvulas 3/2 al colocar tapones en las dos vías no utilizadas. Las válvulas antes descritas se observan en la Figura 33.

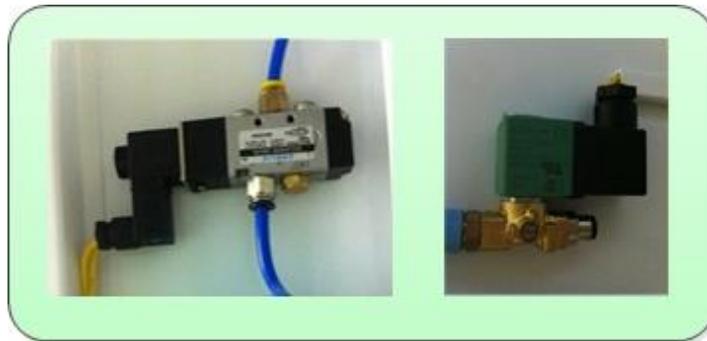


Figura 33. Electroválvulas

Las válvulas 5/2 adquiridas requieren de una presión interna mínima aproximadamente de 14.22 psi para realizar el cambio de posición, adicional a la activación del solenoide. Al ser el actuador final el recipiente de inmersión temporal y no un cilindro como lo es comúnmente, este no genera la contrapresión necesaria para realizar el cambio de posición por lo que se optó por emplear una sección de manguera enrollada tal como se observa en la Figura 34, misma que permite compensar la presión interna requerida.



Figura 34. Manguera para generar contrapresión

Además, esta sección de manguera cumple la función de reducir la presión que llega a los recipientes de inmersión temporal evitando tener una presión excesiva que provoque turbulencias en el medio de cultivo lo cual podría afectar a la multiplicación del explante.

- **Reactor de Inmersión Temporal Automático (RITA)**

Los actuadores finales del sistema de inmersión temporal son los reactores de inmersión temporal automáticos, conocidos como RITAS, vistos en la Figura 35.



Figura 35. RITA

Fuente: (Procafe)

Este recipiente está compuesto principalmente de dos ventosas para ingreso y salida de aire, dos tubos para evacuación y admisión de aire, la tapa para sellar el recipiente, el tubo central por donde ingresa el aire, la canasta donde se coloca el explante, la campana donde se acumula el aire en el interior del recipiente durante la inmersión y el recipiente exterior donde se localizan los elementos antes descritos.

En la Tabla 13 se muestran algunas características principales del reactor de inmersión temporal automático.

Tabla 13.
Características principales RITA

Característica	Descripción
Altura	150 mm
Diámetro	130 mm
Volumen	1 litro
Peso	350 g
Material	Polisulfona
Distribuidor	VITROPIC S. A.
Costo	\$ 72.22

Estos actuadores finales cumplen una función muy importante dentro del objetivo de la inmersión temporal, ya que es aquí donde se alberga al explante y al medio de cultivo con lo cual se logrará la multiplicación masiva de plantas.

4.2. Diseño del Sistema Neumático

4.2.1. Cálculos del Sistema

Los cálculos para el sistema inician en la carga, en este caso los recipientes de inmersión temporal, estos serán considerados como si fuesen calderines o acumuladores de aire.

En un calderín se consideran tres características relevantes: el volumen, la presión nominal y la presión máxima. De acuerdo a los datos proporcionados por el fabricante estas son 1litro, 0.2 bares y 7 bares respectivamente.

Por lo tanto se considera que en cada recipiente se requiere de una presión de 0.2 bares, al sumar la presión requerida por los diez recipientes de la sección se tiene una presión de 2 bares a la salida de la electroválvula como se observa en Figura 36.

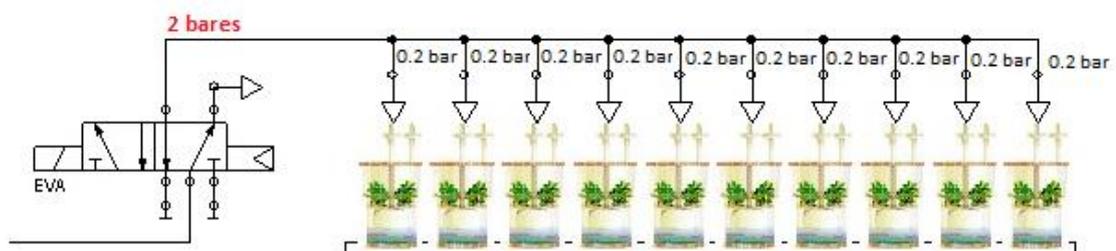


Figura 36. Presión requerida en la carga

De acuerdo a la hoja de datos de las válvulas se tiene que a 100 psi existe una pérdida de 10 psi. Primero se convierte los psi a bares:

$$\frac{1 \text{ bar}}{X} = \frac{14.5 \text{ psi}}{100 \text{ psi}} = \frac{1 * 100}{14.5} = 6.89 \text{ bares}$$

$$\frac{1 \text{ bar}}{X} = \frac{14.5 \text{ psi}}{10 \text{ psi}} = \frac{1 * 10}{14.5} = 0.689 \text{ bares}$$

Por lo tanto se tiene que 6.89 bares la pérdida en la válvula es de 0.689 bares. Posteriormente, se procede a calcular la pérdida mediante una regla de tres simple:

$$\frac{6.89 \text{ bares}}{2 \text{ bares}} = \frac{0.689 \text{ bares}}{X} = \frac{2 * 0.689}{6.89} = \mathbf{0.2 \text{ bares}}$$

Con lo cual, la presión a la entrada de las válvulas deber ser de 2.2 bares como se observa en la Figura 37.

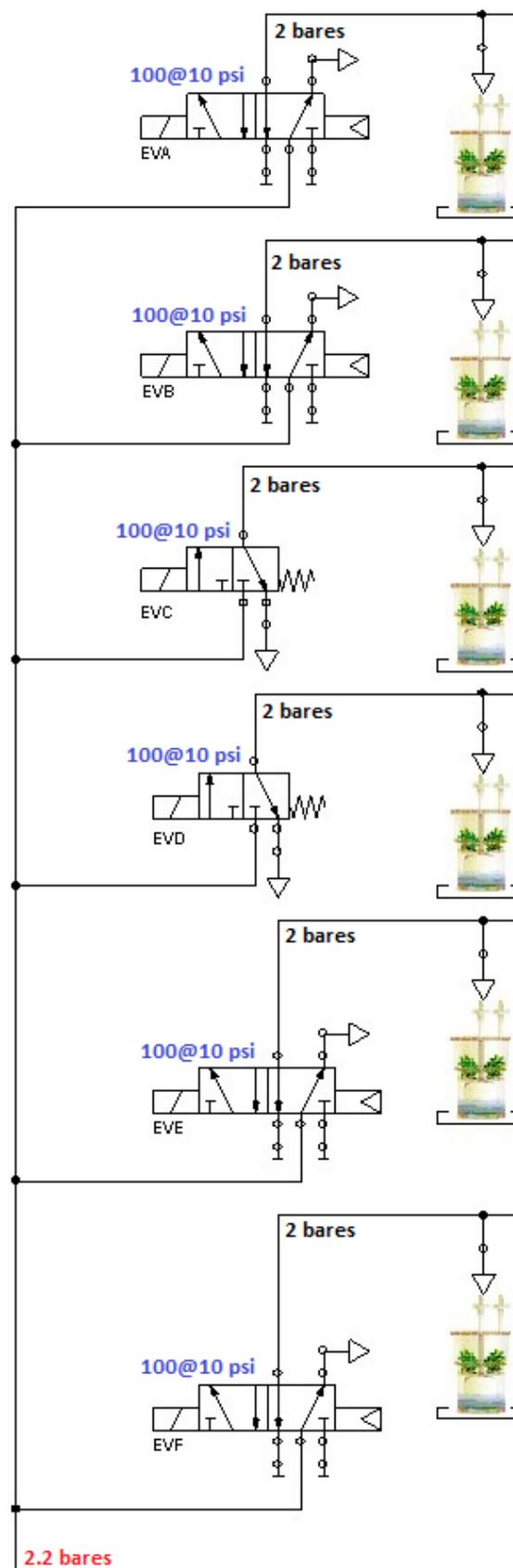


Figura 37. Presión requerida en válvulas

Considerando que las secciones no trabajan al mismo tiempo se tiene que a la salida de la unidad de mantenimiento se requiere una presión de 2.2 bares. De acuerdo a la hoja de datos del fabricante se tiene una pérdida de 0.5 MPa cuando se trabaja con un caudal de 20 lt/min. Se requiere un caudal de 1 lt/min por RITA por lo que el caudal necesario para la sección será de 10 lt/min.

Primero convertimos los MPa a bares:

$$\frac{1 \text{ bar}}{X} = \frac{0.1 \text{ MPa}}{0.5 \text{ MPa}} = \frac{0.5 * 1}{0.1} = 5 \text{ bares}$$

Con este dato se procede a calcular la pérdida en la unidad de mantenimiento mediante una regla de tres:

$$\frac{5 \text{ bares}}{X} = \frac{20 \text{ lt/min}}{10 \text{ lt/min}} = \frac{10 * 5}{20} = 2.5 \text{ bares}$$

Por lo tanto la presión requerida a la entrada de la unidad de mantenimiento es de 4.7 bares como se observa en la Figura 38.

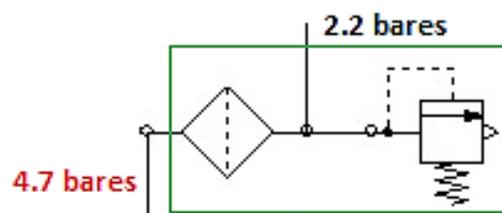


Figura 38. Presión requerida en unidad de mantenimiento

Para todo diseño neumático se considera una tolerancia del 20%, por lo cual al valor antes obtenido se agrega un 20% para la presión que se requiere en el compresor.

$$\frac{4.7 \text{ bares}}{X} = \frac{100\%}{20\%} = \frac{20 * 4.7}{100} = 0.94 \text{ bares}$$

Por lo tanto el compresor debe suministrar una presión de 5.64 bares, aproximando este valor a 6 bares como presión que se requiere para el funcionamiento del sistema de inmersión temporal tal como se muestra en la Figura 39.

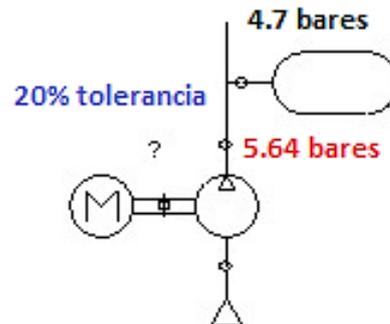


Figura 39. Presión requerida en compresor

4.2.2. Diagrama Neumático

El diagrama neumático del sistema de inmersión temporal se observa en el Anexo 2, en el cual se muestra las conexiones de las electroválvulas hacia los recipientes de inmersión temporal, conexiones del compresor a la unidad de mantenimiento y hacia las válvulas.

Para las secciones A, B, E y F se emplearon las electroválvulas 5/2, con lo cual se tiene los tapones respectivos en las vías no utilizadas. Y para las secciones C y D se emplearon las electroválvulas 3/2.

4.2.3. Simulación del Sistema de Inmersión Temporal

Con fines de simulación se desarrolló el circuito de control mostrado en la Figura 40, mediante el cual se activará las electroválvulas de cada sección simulando la señal de control que envía el microcontrolador mediante un switch.

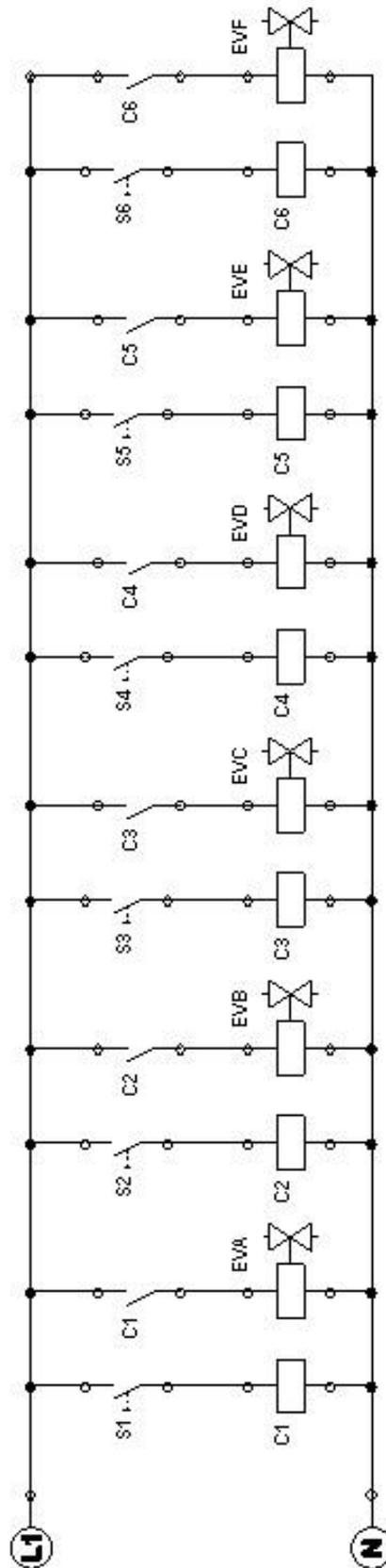


Figura 40. Circuito de Control para simulación

Para la simulación del sistema se ha escogido activar las válvulas de las secciones A, C, D y F, a fin de mostrar el cambio de posición de estas, con lo cual el aire ingresa a los recipientes de inmersión temporal. Por otro lado para las secciones no activas B y E, el aire se desfogará por su escape respectivo.

Estas condiciones de simulación tanto del circuito de control como del sistema neumático se observan en la Figura 41 y Figura 42.

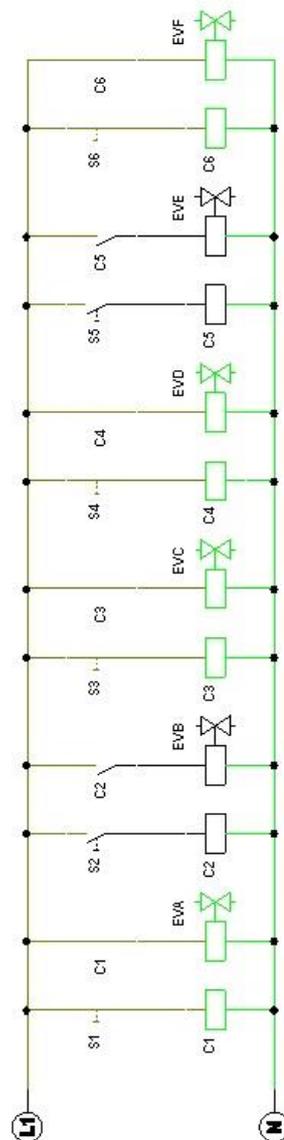


Figura 41. Simulación Circuito Control

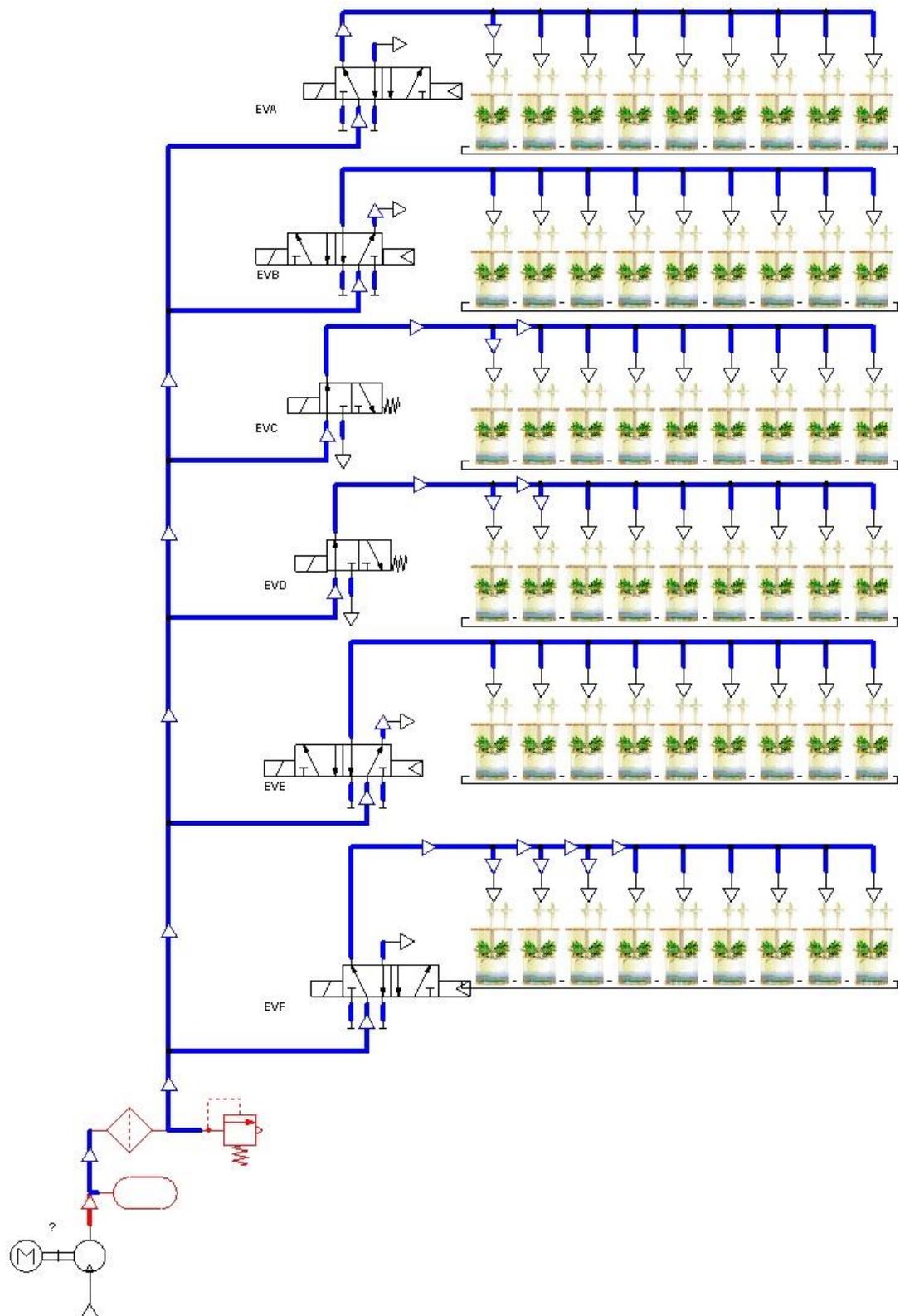


Figura 42. Simulación Sistema Neumático

4.3. Diseño del Sistema de Control

4.3.1. Controlador

Para el diseño del sistema de control se han considerado dos entradas: la hora de activación y la duración de la inmersión deseadas, tomando en cuenta que en cada sección se podrá trabajar hasta con un máximo de ocho set points a la vez tanto para la hora de activación como para la duración de la inmersión. Estas variables determinarán si el controlador deberá generar una señal de voltaje de 5V o de 0V, que a su vez permitirá la apertura y cierre de las electroválvulas.

La hora de activación deseada determina cuando el controlador debe generar una señal de 5V, activando el solenoide que permite el paso de aire hacia los recipientes de inmersión. A partir de la duración de inmersión el controlador puede calcular la hora de desactivación, impidiendo el paso de aire cuando se desactiva el solenoide mediante una señal de 0V.

En el esquema de control mostrado en la Figura 43, se puede observar todas las variables que intervienen en el diseño del controlador. Al ser este un sistema en lazo abierto, la variable de salida que viene a ser el flujo de aire comprimido no influye en la señal de control.

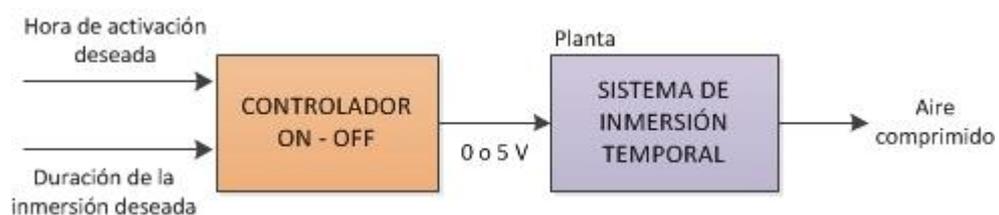


Figura 43. Esquema de Control

Para realizar el control del paso de aire comprimido hacia los recipientes de inmersión temporal, el controlador genera una señal de voltaje de tipo digital (0 y 5V), la cual activará o desactivará el solenoide, previamente esta señal pasará por una etapa de potencia que se detalla en el siguiente subtema del capítulo.

Un aspecto importante que se debe conocer para el funcionamiento del sistema de control es la hora actual, ya que el controlador debe tomar acciones conforme se cumplan la hora de activación y la duración de inmersión establecidas. Para mantener informado al controlador del tiempo actual se optó por utilizar un módulo de reloj en tiempo real, el cual será descrito en el punto a continuación.

4.3.2. Módulo DS1307, Reloj de Tiempo Real (RTC)

El módulo Reloj de Tiempo Real emplea una interfaz i2c mediante la cual se comunicará con el microcontrolador, cuenta con 8 registros de lectura/escritura vistos en la Figura 44, que almacenan la información necesaria para la manipulación de la hora, minutos y segundos. Las funcionalidades de calendario que presenta este módulo no serán utilizadas en la implementación del sistema.

ADDRESS	BIT 7	BIT 6	BIT 5	BIT 4	BIT 3	BIT 2	BIT 1	BIT 0	FUNCTION	RANGE
00h	CH	10 Seconds			Seconds				Seconds	00–59
01h	0	10 Minutes			Minutes				Minutes	00–59
02h	0	12	10 Hour	10 Hour	Hours				Hours	1–12 +AM/PM 00–23
		24	PM/ AM							
03h	0	0	0	0	DAY				Day	01–07
04h	0	0	10 Date		Date				Date	01–31
05h	0	0	0	10 Month	Month				Month	01–12
06h	10 Year				Year				Year	00–99
07h	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	—
08h–3Fh									RAM 56 x 8	00h–FFh

Figura 44. Registros Cronometradores

Fuente: (Maxim integrated)

Se debe considerar la codificación BCD que se utiliza en los registros al momento de extraer la información de tiempo o al configurar la hora en el reloj. Para el sistema se considera manejar la hora en formato 24 horas por lo que esta modalidad debe activarse al momento de configurar el reloj.

4.4. Diseño de la Etapa de Potencia

Al trabajar con electroválvulas de 110V y 220V, se escogió utilizar el diseño de Optoacoplador – TRIAC para la etapa de potencia como se muestra en el esquema de la Figura 45. El optoacoplador permite aislar eléctricamente el circuito de control y el de potencia, proporciona un aislamiento galvánico protegiéndolo de posibles perturbaciones y tiene una mayor velocidad de conmutación que un relé, factores que influyeron en la selección de este circuito como interfaz de potencia.



Figura 45. Esquema Etapa de Potencia

A continuación se procede a realizar los cálculos de la resistencia de disparo del optoacoplador R1, resistencia limitadora de corriente para el TRIAC R2 y la resistencia para evitar el disparo del TRIAC R3, mostradas en el circuito de la Figura 46.

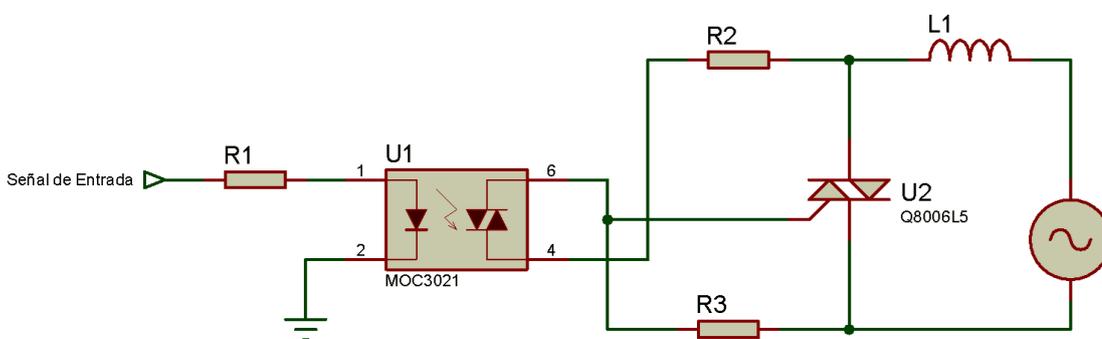


Figura 46. Circuito Optoacoplador – TRIAC

Para la resistencia de disparo R_1 , se aplica la ley de Ohm (Ecuación 1) considerando el voltaje de entrada de 5V y la corriente que circula por esta que viene a ser la corriente máxima del optoacoplador I_{FT} .

$$V = R \cdot I$$

Ecuación 1. Ley de Ohm

$$R_1 = \frac{V_{CC}}{I_{FT}} = \frac{5 V}{15 mA} = 333,33 \Omega$$

$$R_1 = 390 \Omega \rightarrow \text{Valor comercial}$$

Para el funcionamiento correcto del circuito se fija la corriente que atraviesa R_3 , evitando el disparo del TRIAC cuando el FOTOTRIAC del optoacoplador no conduzca, ya que pueden darse interferencias capaces de producir tensiones de disparo si no se coloca esta resistencia. Mediante R_3 se asegura que la tensión de compuerta (V_{GT}) solo será suficiente cuando este activado el optoacoplador. Al no requerir que esta corriente sea muy alta, se asume un valor de 1mA, y se procede a calcular el valor de R_3 , tomando en cuenta el valor de corriente antes mencionado y el valor de V_{GT} .

$$R_3 = \frac{V_{GT}}{I_{R3}} = \frac{0.7 V}{1 mA} = 700 \Omega$$

$$R_3 = 820 \Omega \rightarrow \text{Valor comercial}$$

Se calcula R_2 a partir de las tensiones existentes en los componentes dentro de su malla (V_{GM} , V_R y V_{GT}) y la corriente que pasa por esta, que será igual a la suma de la corriente de R_3 y la corriente de disparo de compuerta I_{GT} .

$$R_2 = \frac{V_{GM} - V_R - V_{GT}}{I_{GT} + I_{R3}} = \frac{5 V - 3 V - 0.7 V}{5 mA + 1 mA} = 216,66 \Omega$$

$$R_2 = 220 \Omega \rightarrow \text{Valor comercial}$$

Los datos técnicos utilizados para los cálculos realizados anteriormente correspondientes al TRIAC y al optoacoplador fueron extraídos de sus hojas de datos.

4.5. Diseño de Software

4.5.1. Programa del Microcontrolador

La lógica de programación empleada para desarrollar el programa del microcontrolador se basa en el diagrama de flujo mostrado en el Anexo 3.

Empezando con la inicialización del programa la cual consta de cuatro aspectos: la habilitación de la interrupción para comunicación serial que permitirá la recepción de datos, la inicialización del LCD para que el usuario pueda visualizar la hora actual con la que trabaja el sistema, el enceramiento de variables utilizadas en el programa para almacenar los datos recibidos por el puerto serial y las inmersiones programadas de cada sección, y finalmente, la inicialización se encarga de recuperar los datos almacenados en la memoria interna EEPROM del microcontrolador correspondientes a las últimas inmersiones configuradas por el usuario.

Este último aspecto es útil en el caso de haberse producido una pérdida de energía durante el funcionamiento del sistema, ya que recupera automáticamente las últimas configuraciones ingresadas por el usuario sin que este tenga que realizar nuevamente una programación.

Las configuraciones iniciales antes descritas se ejecutarán una única vez durante el funcionamiento normal del programa y cada vez que se resetee el microcontrolador por pérdida de energía.

El programa principal del microcontrolador maneja dos escenarios: el primero de ellos es la recepción de un dato por el puerto serial, durante el cual se producirá un salto de interrupción que causará una acción inmediata por parte del controlador. Al producirse esta situación, se procede a almacenar temporalmente el dato recibido para posteriormente decodificarlo.

Esta decodificación se basa en detectar un dato que indica que la transmisión de datos ha sido completada, en este caso corresponde al caracter “Enter” que en hexadecimal viene a ser el dato 0x0D. Por lo tanto, mientras el dato recibido sea diferente del caracter mencionado se procederá al almacenar los datos recibidos en un arreglo de tipo char y al localizar el fin de transmisión se activará una bandera que permitirá proseguir con la configuración de inmersiones.

El segundo escenario del programa se da mientras no se recepte ningún dato por el puerto serial, en el cual se procede a realizar una serie de comparaciones de la hora actual y la hora de activación y desactivación. Las funciones creadas para la activación y desactivación manejan la misma lógica, de acuerdo al número de inmersiones programadas en cada sección se procede a realizar un barrido de todas las horas de activación configuradas para dicha sección verificando si el tiempo actual es igual a alguna de ellas, con lo cual se activará una salida digital que permitirá activar la electroválvula correspondiente.

De igual forma se realiza el mismo procedimiento para la desactivación de las electroválvulas, conforme se cumpla el tiempo de desactivación configurado por el usuario. El microcontrolador se encargará de informar cuando se ha activado o desactivado una sección transmitiendo estos datos por el puerto serial hacia el computador.

En este escenario el programa procede a realizar la configuración de inmersiones cuando se da el caso de haber receptado el dato de fin de transmisión. Esta configuración es realizada en base a tres parámetros: la sección a configurarse, el número total de inmersiones en dicha sección y el número de inmersión a configurar. Los datos de configuración de hora de activación y desactivación serán extraídos del vector de almacenamiento de datos recibidos por el puerto serial. A continuación la Tabla 14 muestra la distribución de almacenamiento de dicho vector:

Tabla 14.
Distribución de datos para configurar inmersiones

Posición del Vector	Dato Almacenado
0	Sección (A, B, C, D, E, F)
1	Número total de inmersiones de la sección
2	Número de inmersión a configurar
3	Decena de la hora de activación
4	Unidad de la hora de activación
5	Decena de los minutos de activación
6	Unidad de los minutos de activación
7	Decena de los segundos de activación
8	Unidad de los segundos de activación
9	Decena de la hora de desactivación
10	Unidad de la hora de desactivación
11	Decena de los minutos de desactivación
12	Unidad de los minutos de desactivación
13	Decena de los segundos de desactivación
14	Unidad de los segundos de desactivación

Una vez realizada la configuración se almacenará los datos relevantes en la memoria interna EEPROM del microcontrolador, para en caso de darse una pérdida de energía se puedan extraer las últimas configuraciones ingresadas.

Como parte de la configuración de inmersiones, el usuario podrá deshabilitar una o más secciones, o según sea el requerimiento deshabilitar todo el sistema. Para esta opción la distribución de almacenamiento del vector de datos recibidos se muestra en la Tabla 15.

Adicionalmente, se procederá a encerrar las posiciones de memoria correspondientes a las secciones deshabilitadas.

Tabla 15.
Distribución de datos para deshabilitar secciones

Posición del Vector	Dato Almacenado
0	Identificador de deshabilitación igual al caracter 'Z'
1	Sección a deshabilitar (A, B, C, D, E, F,T) Si es igual al caracter 'T' deshabilita todo el sistema

Finalmente, el programa se encarga de transmitir por el puerto serial todas las inmersiones configuradas para mantener informado al usuario del estado actual del sistema.

4.5.2. Programa Java

Para el control y monitoreo del sistema desde la PC, se desarrolló un programa bajo el lenguaje de programación Java a través del entorno de desarrollo integrado NetBeans IDE, basándose en el patrón de arquitectura de software modelo-vista-controlador (MVC).



Figura 47. Paquetes y clases

- **Paquete Modelo**

Conformado por las clases denominadas HoraFecha y Mensaje, encargadas de gestionar los datos de hora y fecha del sistema actual y el despliegue de mensajes al usuario respectivamente.

Clase HoraFecha, consta de dos atributos de clase y siete métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 48, los cuales serán puntualizados a continuación:

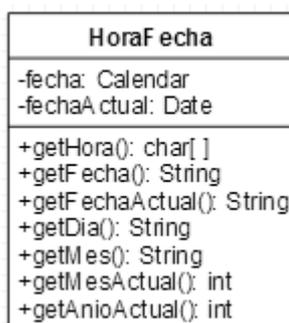


Figura 48. Diagrama UML Clase HoraFecha

Los atributos denominados fecha y fechaActual son empleados para utilizar los métodos de las clases Calendar y Date respectivamente. Los métodos de esta clase conforme al orden mostrado en el diagrama UML fueron desarrollados para obtener la hora actual del sistema en el formato HH:mm:ss, la fecha actual en el formato yyyy/MM/dd, la fecha actual completa en el formato EEEE, dd de MMM de yyyy, el día actual, mes actual, número de mes actual y año actual.

Clase Mensaje, consta de tres atributos de clase y un método, mostrados en el diagrama UML de la Figura 49, los cuales serán detallados a continuación:

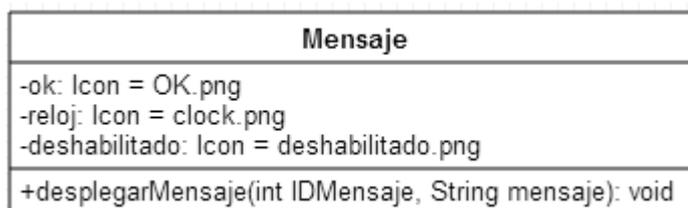


Figura 49. Diagrama UML Clase Mensaje

Los atributos denominados ok, reloj y deshabilitado corresponden a las imágenes que se van a desplegar en los mensajes como ayuda para que el usuario identifique el tipo de mensaje mostrado. El método desplegarMensaje emplea la clase JOptionPane que permite generar varios tipos de mensaje, de acuerdo al identificador del mensaje el usuario visualizará mensajes de configuración de inmersiones, sincronización de hora, programación eliminada, mensajes de error o mensajes de advertencia de campos vacíos.

- **Paquete Vista**

Conformado por las clases denominadas Configuración, Monitoreo y Principal, corresponden a la interfaz gráfica de usuario mediante la cual se gestionará el control y monitoreo del sistema, estas serán detalladas en el ítem 4.5.3.

- **Paquete Controlador**

Conformado por las clases denominadas AdquisicionDatos, AjustesInterfaz, ComSerial, ControlCarpetas, DecodificarDatosRx, DecodificarDatosTx, GestionarExcel, GraficadorAnimaciones, IntercambiadorVentanas y MostrarDatos, las cuales son de mayor importancia dentro del programa desarrollado ya que en base a los métodos de cada una de ellas se logra realizar el control y monitoreo del sistema desde la PC.

Clase AdquisicionDatos, hija de la clase Thread, permite adquirir los datos recibidos por el puerto serial, consta de cuatro atributos de clase y cuatro métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 50, los cuales serán especificados a continuación:

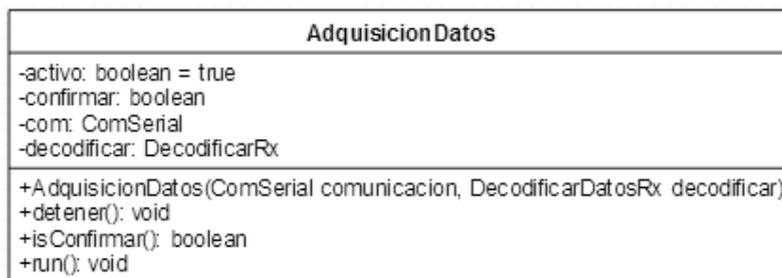


Figura 50. Diagrama UML Clase AdquisicionDatos

Los atributos denominados activo y confirmar son utilizados para la ejecución del hilo, mientras que los atributos com y decodificar se emplean para acceder a los métodos de las clases ComSerial y DecodificarDatosRx respectivamente.

Se cuenta con el constructor de la clase para inicializar los objetos de las clases mencionadas anteriormente. El método detener que permitirá detener el hilo junto con el método isConfirmar para asegurar que la recepción de datos finalizó y al ser esta clase hija de Thread se cuenta con el método abstracto run que permite la ejecución del hilo en un segundo plano.

Clase AjustesInterfaz, permite realizar todos los ajustes necesarios dentro de la ventana de Configuración de Inmersiones, consta de un atributo de clase y cuatro métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 51, los cuales serán puntualizados a continuación:

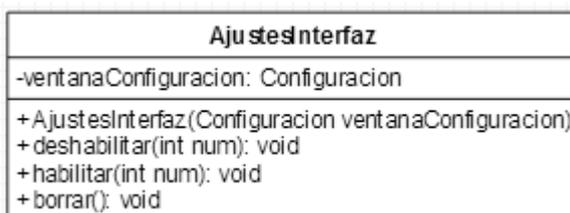


Figura 51. Diagrama UML Clase AjustesInterfaz

El atributo denominado ventanaConfiguracion permite acceder a los métodos de la clase Configuracion, para ello se cuenta con el constructor de la clase que inicializa dicho objeto. Los métodos deshabilitar y habilitar muestran u ocultan los

JComboBox donde el usuario puede ingresar la hora de activación y duración de la inmersión, estos van habilitándose o deshabilitándose conforme al número de inmersiones ingresadas. El método borrar permite eliminar el contenido de dichos JComboBox en el caso de no encontrarse habilitados al usuario.

Clase ComSerial, permite gestionar la transmisión y recepción de datos por el puerto serial para ello se utiliza la librería externa Giovynet que permite el manejo del puerto desde java. Consta de dos atributos de clase y cinco métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 52, los cuales serán detallados a continuación:

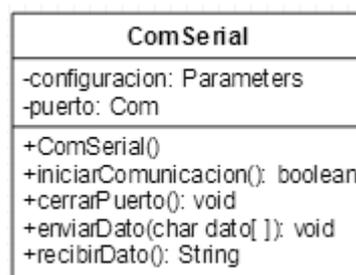


Figura 52. Diagrama UML Clase ComSerial

Los atributos denominados `configuracion` y `puerto` empleados para definir los parámetros de configuración del puerto y acceder a los métodos de la clase `Com` respectivamente. El constructor de la clase está encargado de la definición de parámetros del puerto: nombre, velocidad de transferencia, tamaño de datos, paridad y bit de parada.

Para gestionar la transmisión y recepción de datos se cuenta con los métodos mostrados en el UML, mismos que permiten iniciar la comunicación en la cual se abre el puerto y se asigna las configuraciones antes mencionadas, un método para cerrar el puerto, y los métodos para enviar y recibir datos, el envío se hace a través de un arreglo de tipo `char` y los datos recibidos se almacenan en una variable de tipo `String` tomando en consideración los bits de identificación de inicio y fin de dato.

El microcontrolador envía una cadena de caracteres y durante la recepción de datos en la PC se estableció un identificador de inicio y fin de cadena, a fin de

detectar algún error en la comunicación o evitar almacenar datos erróneos, empleando el caracter @ como inicio y el caracter # como fin. La dimensión de la cadena de caracteres varía de acuerdo a la información enviada desde el microcontrolador.

Tabla 16.
Bits de inicio y fin de cadena del dato a recibir

Inicio	Dato recibido	Fin
@	#

Clase ControlCarpetas, permite gestionar la creación de nuevas carpetas en un directorio predefinido con el objetivo de mantener organizado el registro de programaciones realizadas en el sistema. Consta de dos atributos de clase y cinco métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 53, los cuales serán especificados a continuación:

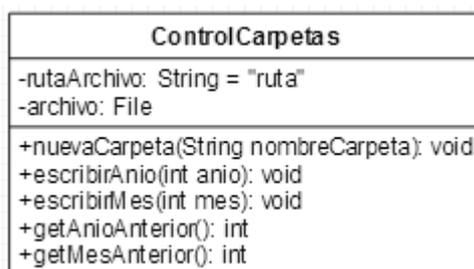


Figura 53. Diagrama UML Clase ControlCarpetas

Como ayuda para el control de la creación tanto de nuevas carpetas como de libros Excel se trabaja con un archivo .dat, en el cual se almacena el mes del último libro Excel creado y de igual forma el año de la última carpeta creada. Esto permite tener un control de cuando el programa debe crear ya sea una carpeta o un libro Excel en base a la comparación del mes y año actuales y los almacenados en el archivo .dat.

Los atributos de clase denominados rutaArchivo y archivo, se encargan de almacenar la ruta en la cual se encuentra el archivo .dat y manejar los métodos de la clase File para la creación de carpetas respectivamente.

El primer método mencionado se encarga de crear una nueva carpeta en la ruta predefinida, esta carpeta será creada una vez por año para mantener la organización de información de forma anual. Los otros cuatro métodos de esta clase permiten la lectura y escritura del mes y año almacenados en el archivo .dat.

Clase DecodificarDatosRx, realiza la decodificación de datos recibidos por el puerto serial de acuerdo al bit de identificación. Consta de veinte y dos atributos de clase y veinte y cuatro métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 54, los cuales serán puntualizados a continuación:

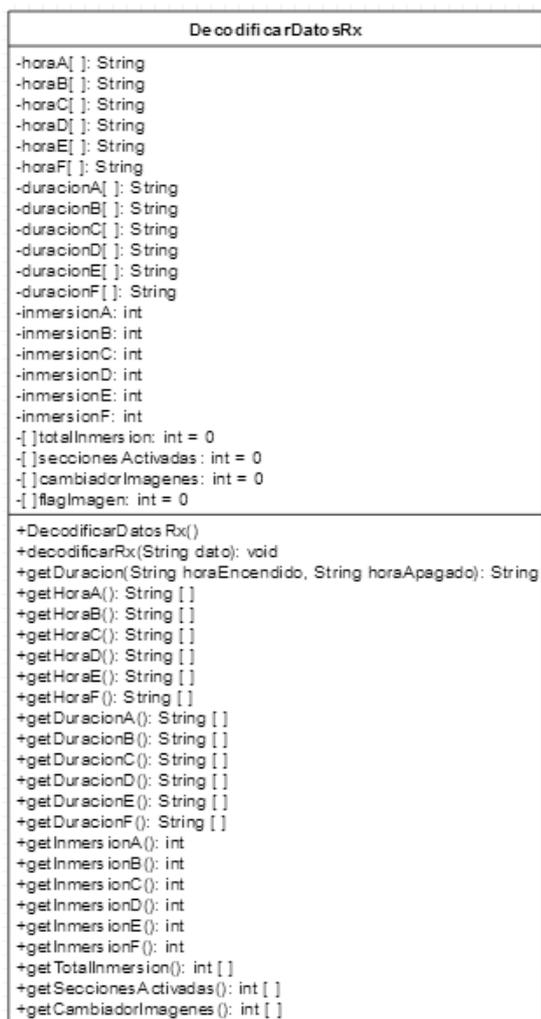


Figura 54. Diagrama UML Clase DecodificarDatosRx

Los atributos de clase correspondientes a hora y duración permiten almacenar hasta máximo 8 configuraciones diferentes para cada una de las secciones A, B, C, D, E y F, estas variables serán inicializadas como un arreglo de String dimensión 8 en el constructor de la clase.

Los atributos `totalInmersion`, `seccionesActivadas`, `cambiadorImagenes` y `flagImagen` tendrán dimensión de 6 y cada posición corresponde a la información de una sección, esta corresponde al número total de inmersiones en la sección, activación o desactivación de electroválvulas, imagen a mostrarse en la ventana de Monitoreo e indicador de configuración existente en la sección respectivamente.

Todos los métodos referentes a `getHora`, `getDuración`, `getInmersion`, `getTotalInmersion`, `getSeccionesActivadas` y `getCambiadorImagenes` serán empleados para acceder al valor actual de los atributos de la clase, mismos que corresponden a la información a mostrarse dentro de la ventana de Monitoreo o son variables claves que permitirán generar la animación respectiva del funcionamiento del sistema.

El método `decodificarRx` está encargado de toda la decodificación de los datos recibidos por el puerto serial, organizando los datos de acuerdo al bit de identificación como se muestra en la Tabla 17:

Tabla 17.
Decodificación de datos recibidos

Bit de identificación general	Dato recibido														
A	Número de inmersión, hora de activación y hora de desactivación sección A														
B	Número de inmersión, hora de activación y hora de desactivación sección B														
C	Número de inmersión, hora de activación y hora de desactivación sección C														
D	Número de inmersión, hora de activación y hora de desactivación sección D														
E	Número de inmersión, hora de activación y hora de desactivación sección E														
F	Número de inmersión, hora de activación y hora de desactivación sección F														
P	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bit auxiliar de identificación</th> <th>Dato recibido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0 – Electroválvula sección A desactivada 1 – Electroválvula sección A activada</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>0 – Electroválvula sección B desactivada 1 – Electroválvula sección B activada</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>0 – Electroválvula sección C desactivada 1 – Electroválvula sección C activada</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>0 – Electroválvula sección D desactivada 1 – Electroválvula sección D activada</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>0 – Electroválvula sección E desactivada 1 – Electroválvula sección E activada</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>0 – Electroválvula sección F desactivada 1 – Electroválvula sección F activada</td> </tr> </tbody> </table>	Bit auxiliar de identificación	Dato recibido	A	0 – Electroválvula sección A desactivada 1 – Electroválvula sección A activada	B	0 – Electroválvula sección B desactivada 1 – Electroválvula sección B activada	C	0 – Electroválvula sección C desactivada 1 – Electroválvula sección C activada	D	0 – Electroválvula sección D desactivada 1 – Electroválvula sección D activada	E	0 – Electroválvula sección E desactivada 1 – Electroválvula sección E activada	F	0 – Electroválvula sección F desactivada 1 – Electroválvula sección F activada
	Bit auxiliar de identificación	Dato recibido													
	A	0 – Electroválvula sección A desactivada 1 – Electroválvula sección A activada													
	B	0 – Electroválvula sección B desactivada 1 – Electroválvula sección B activada													
	C	0 – Electroválvula sección C desactivada 1 – Electroválvula sección C activada													
	D	0 – Electroválvula sección D desactivada 1 – Electroválvula sección D activada													
	E	0 – Electroválvula sección E desactivada 1 – Electroválvula sección E activada													
F	0 – Electroválvula sección F desactivada 1 – Electroválvula sección F activada														
T	<table border="1"> <thead> <tr> <th>Bit auxiliar de identificación</th> <th>Dato recibido</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>Número total de inmersiones en la sección A</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>Número total de inmersiones en la sección B</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>Número total de inmersiones en la sección C</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>Número total de inmersiones en la sección D</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>Número total de inmersiones en la sección E</td> </tr> <tr> <td>F</td> <td>Número total de inmersiones en la sección F</td> </tr> </tbody> </table>	Bit auxiliar de identificación	Dato recibido	A	Número total de inmersiones en la sección A	B	Número total de inmersiones en la sección B	C	Número total de inmersiones en la sección C	D	Número total de inmersiones en la sección D	E	Número total de inmersiones en la sección E	F	Número total de inmersiones en la sección F
	Bit auxiliar de identificación	Dato recibido													
	A	Número total de inmersiones en la sección A													
	B	Número total de inmersiones en la sección B													
	C	Número total de inmersiones en la sección C													
	D	Número total de inmersiones en la sección D													
E	Número total de inmersiones en la sección E														
F	Número total de inmersiones en la sección F														

El dato completo recibido se encuentra almacenado en una variable de tipo String, por lo que para la decodificación este es separado y modificado de forma que

en la ventana de Monitoreo el usuario visualice la hora de activación en el formato hh:mm:ss y la duración de inmersión en mm:ss para cada una de las secciones.

Finalmente, el método `getDuracion` sirve de ayuda al método antes descrito, debido a que el dato recibido está compuesto por la hora de activación y hora de desactivación y lo deseado a mostrarse en la ventana de Monitoreo es la duración de la inmersión, este método permite obtener la duración en base a las horas recibidas.

Clase DecodificarDatosTx, realiza la decodificación de datos a transmitirse por el puerto serial. Consta de tres atributos de clase y seis métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 55, los cuales serán señalados a continuación:

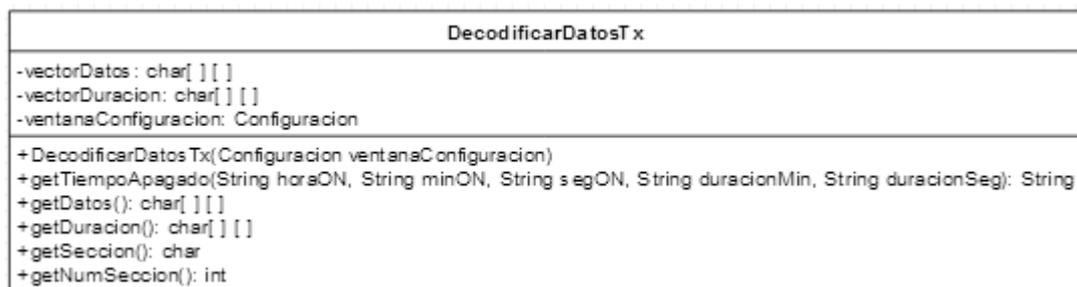


Figura 55. Diagrama UML Clase DecodificarDatosTx

Los atributos de clase denominados `vectorDatos` y `vectorDuracion` se emplean para almacenar los datos a transmitirse por el puerto serial y la duración de inmersiones que será almacenada en el registro. Además, se tiene el atributo `ventanaConfiguracion` que permite acceder a los métodos de la clase Configuración, esta será inicializada en el constructor.

El método `getTiempoApagado` se encarga de calcular la hora de desactivación en base a la hora de activación y duración de inmersión ingresadas por el usuario en cada sección.

El método `getDatos` obtiene la información ingresada por el usuario en la ventana de configuración de cada una de las secciones y lo almacena en un arreglo tipo `char[][]` en el formato hora, minutos y segundos de activación, y hora, minutos

y segundos de desactivación. Para obtener la hora de desactivación emplea el método antes mencionado `getTiempoApagado`.

De forma similar el método `getDuracion`, extrae la duración de inmersión ingresada en cada sección y la almacena en un arreglo de tipo `char[][]` a fin de facilitar el manejo de esta información durante su ingreso en el registro de inmersiones.

Los métodos `getSeccion` y `getNumSeccion` obtienen la sección a configurarse o deshabilitarse según lo que el usuario ha seleccionado mediante el conjunto de `radioButtons`, el primero de ellos retorna un `char` que representa dicha sección ya sea 'A', 'B', 'C', 'D', 'E' o 'F', mientras que la representación que retorna el segundo método lo hace a través de un entero 1, 2, 3, 4, 5 o 6.

Clase GestionarExcel, gestiona la creación y modificación de libros Excel donde serán almacenados los registros de las inmersiones configuradas en el sistema, para ello se emplea la librería externa `apache.poi`. No posee atributos de clase y cuenta con tres métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 56, los cuales serán detallados a continuación:

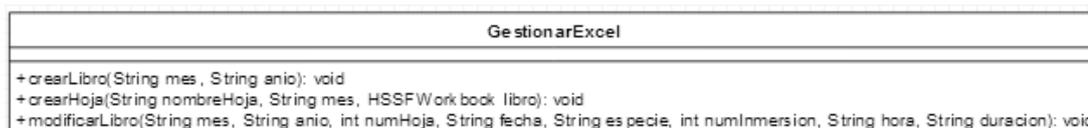


Figura 56. Diagrama UML Clase GestionarExcel

Los métodos `crearLibro` y `crearHoja` son utilizados para la creación de libros Excel y sus hojas de cálculo correspondientes. La creación del libro se basa en el nombre del mes y año actual, el mismo que está conformado por seis hojas que representan cada una de las secciones del sistema. Cada hoja llevará el registro de inmersiones de acuerdo a los siguientes parámetros: fecha, especie, número de inmersión, hora de activación y duración de la inmersión. Adicionalmente, las hojas se encuentran protegidas para evitar modificaciones no deseadas. El formato que se

ha mantenido en cuanto a colores y distribución de tablas es el mostrado en la Figura 57.

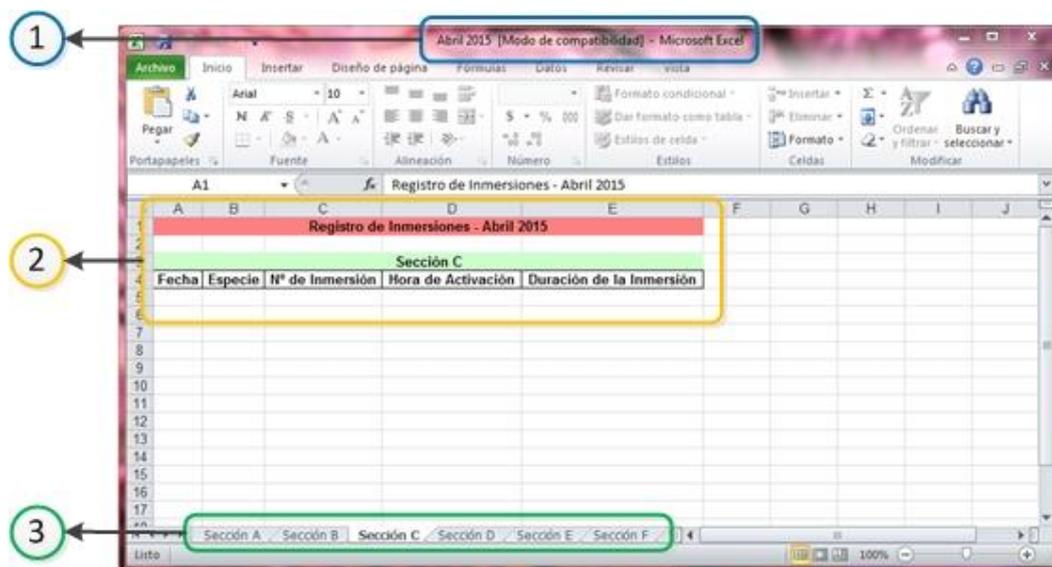


Figura 57. Formato Registro de Inmersiones

En la parte uno se puede ver el nombre asignado al libro Mes Año, en la parte dos observamos la distribución de la tabla de cada sección iniciando con el título de la tabla Registro de Inmersiones – Mes Año, junto con el título de la sección correspondiente y los parámetros relevantes que se maneja en el sistema mencionados anteriormente. Finalmente, en la parte tres se aprecia la creación de seis hojas de cálculo una para cada sección del sistema.

Clase GraficadorAnimaciones, hija de la clase Thread, desarrollada con el objetivo de colocar una imagen representativa del funcionamiento del sistema en cada una de las secciones. Consta de diecisiete atributos de clase y tres métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 58, los cuales serán especificados a continuación:

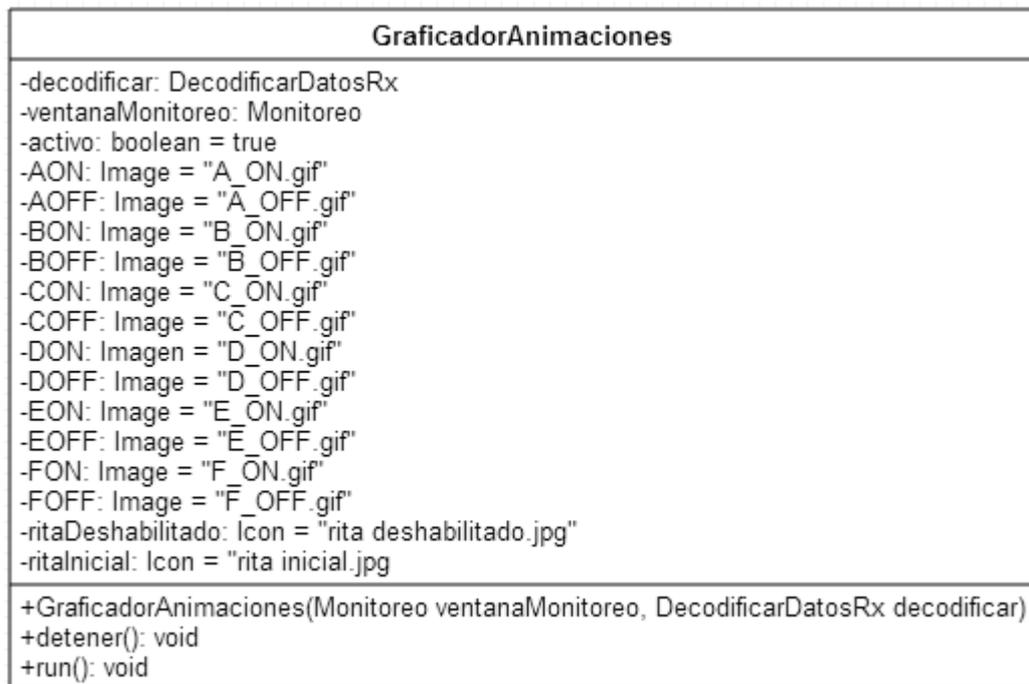


Figura 58. Diagrama UML Clase GraficadorAnimaciones

Los atributos de clase denominados decodificar y ventanaMonitoreo permiten el acceso a los métodos de las clases DecodificarDatosRx y Monitoreo respectivamente. La variable activo es empleado para la ejecución del hilo. Los demás atributos mostrados en el UML almacenan cada una de las imágenes a ser mostradas en la ventana de Monitoreo en representación del funcionamiento del sistema.

El constructor de la clase se encarga de la inicialización de los dos primeros atributos, mediante el método detener se controla cuando se debe ejecutar el hilo y finalmente el método abstracto run que permite la ejecución del hilo en un segundo plano, en el cual se realiza una serie de comparaciones a fin de determinar qué imagen debe colocarse en cada una de las secciones.

Clase IntercambiadorVentanas, hija de la clase Thread, permite la navegabilidad entre ventanas y gestiona la creación de carpetas y libros Excel. Conformada por cinco atributos de clase y tres métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 59, los cuales serán puntualizados a continuación:

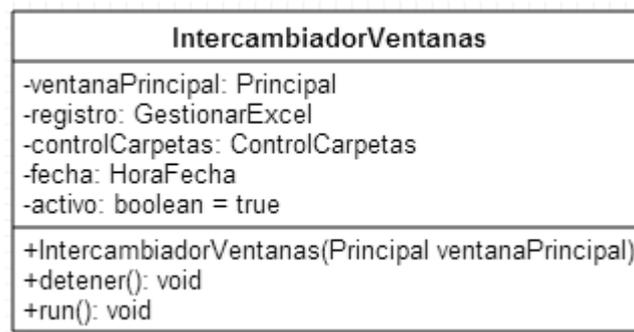


Figura 59. Diagrama UML Clase IntercambiadorVentanas

Los atributos de la clase permiten acceder a los métodos de las clases Principal, GestionarExcel, ControlCarpetas y HoraFecha. y la variable activo se emplea para la ejecución del hilo. El constructor está encargado de la inicialización de objetos. De forma similar a las clases hijas de Thread se emplea el método detener para controlar cuando se ejecuta el hilo y el método abstracto run para la ejecución en segundo plano, dentro de este se creará una nueva carpeta o libro Excel mediante la comparación de las fechas actual y la almacenada en el archivo .dat antes mencionado. Además, mediante banderas indicadoras se determinará las ventanas que deben mostrarse u ocultarse al usuario.

Clase MostrarDatos, hija de la clase Thread, despliega los datos recibidos por el puerto serial en la ventana de Monitoreo que previamente han sido decodificados. Conformada por nueve atributos de clase y tres métodos, mostrados en el diagrama UML de la Figura 60, los cuales serán detallados a continuación:

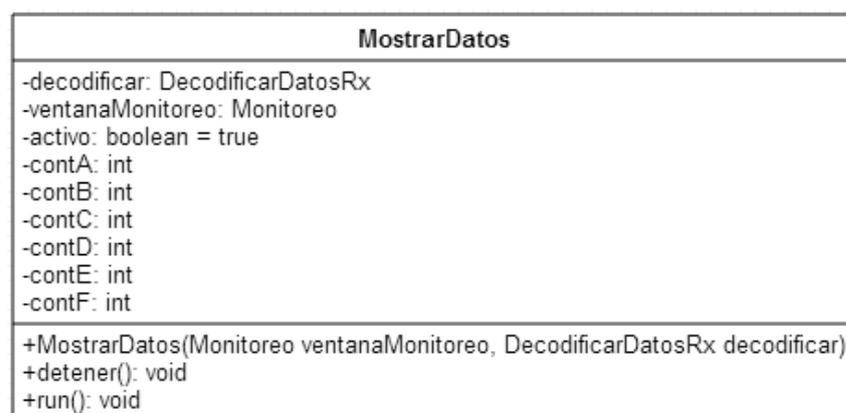


Figura 60. Diagrama UML Clase MostrarDatos

Los atributos `decodificar` y `ventanaMonitoreo` permiten acceder a los métodos de la clase `DecodificarDatosRx` y `Monitoreo` y serán inicializados en el constructor de la clase. Las variables de contador son utilizadas para extraer las configuraciones almacenadas en cada posición del vector de cada sección, de forma que sean mostrados en forma secuencial en la ventana de monitoreo. Y el atributo `activo` es utilizado para la ejecución del hilo como se ha ido mencionado en las demás clases hijas de `Thread`, al igual que los métodos `detener` y `run` que determina cuando se ejecuta el hilo y permite la ejecución en segundo plano respectivamente. En este caso dentro del método abstracto `run` se realiza el despliegue de las inmersiones configuradas en cada una de las secciones.

4.5.3. Interfaz Gráfica de Usuario

La interfaz gráfica de usuario ha sido diseñada tomando en consideración la Norma NTP 659 y aspectos de la Guía GEDIS.

La norma NTP 659 destaca la carga mental de trabajo y ergonomía, aduciendo que la interfaz debe estar definida claramente y sin ambigüedades, contar con la información necesaria, mantener un grado de complejidad acorde a las tareas a realizarse, implantar un modelo mental y mantener un orden en la información a mostrarse al usuario.

En cuanto a la guía GEDIS se han tomado a consideración aspectos de distribución de pantallas, navegación entre pantallas, fuentes y tamaños legibles por el operario y uso de color adecuado dentro del contexto de la interfaz.

La estructura de la navegación de la interfaz se muestra en la Figura 61:

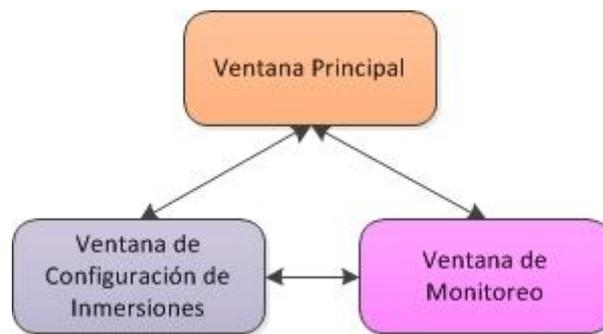


Figura 61. Estructura de la navegación de la GUI

Al iniciar el programa se muestra al usuario la ventana principal desde la cual podrá acceder a las ventanas de configuración de inmersiones y monitoreo una vez establecida la comunicación con el sistema, a partir de este punto el usuario podrá navegar libremente entre todas las ventanas de la interfaz.

En cuanto a la distribución de la pantalla vista en la Figura 62, la parte uno corresponde a título de la ventana, en la parte dos se establece el contenido individual de cada una de las ventanas como botones, imágenes, seleccionadores, indicadores textuales, etc., la parte tres es un espacio determinado para el logo de la empresa y por último la parte cuatro tendrá los botones para navegabilidad entre ventanas y finalización del programa.



Figura 62. Distribución de la pantalla

Como lo mencionado en el ítem anterior, cada una de las ventanas es generada por su clase correspondiente: Configuración, Monitoreo y Principal y sus funcionalidades serán descritas a continuación.

- **Ventana Principal**

Está compuesta por cinco partes principales, vistas en la Figura 63. En la parte uno se tiene el título, por ser esta la ventana de presentación al usuario se muestra el nombre del sistema. En la parte dos se visualizará la fecha actual en la que se esté ejecutando el programa. La parte tres corresponde a un botón que permite enlazarse con el sistema, una vez realizada la conexión se habilitarán los botones para acceder a las ventanas de configuración y monitoreo.



Figura 63. Ventana Principal

- **Ventana de Configuración de Inmersiones**

Está conformada por nueve partes distribuidas tal como se observa en la Figura 64. La parte uno corresponde al título de la ventana, parte ocho al logo de la empresa y parte nueve navegabilidad entre ventanas y salida del programa. La parte dos corresponde a la selección de la sección a configurar o deshabilitar, la cual es elegida mediante un radio button. En la parte cuatro el usuario podrá ingresar el número total

de inmersiones que desea configurar en la sección siendo como máximo un total de ocho inmersiones por cada sección. En las partes tres y cinco, se configuran la hora de activación y duración de inmersión, el usuario seleccionara la hora, minutos y segundos para la activación y los minutos y segundos de su duración mediante seleccionadores que se irán habilitando de acuerdo al número total de inmersiones. En la parte 6 se presenta un área de texto donde se podrá ingresar la especie de la planta de dicha sección, en caso de dejar este campo vacío se despliega un mensaje de aviso como el mostrado en la Figura 65 y no se realizará la configuración mientras no sea ingresa la especie. La parte siete corresponde a los botones de control del sistema, mediante el primero de ellos el usuario podrá sincronizar la hora del módulo del reloj con la del sistema de la PC, el usuario tendrá la opción de deshabilitar una sección en particular o el sistema completo mediante los botones deshabilitar sección y deshabilitar sistema, finalmente se encuentra el botón de configurar sección que permite enviar las programaciones ingresadas al microcontrolador.

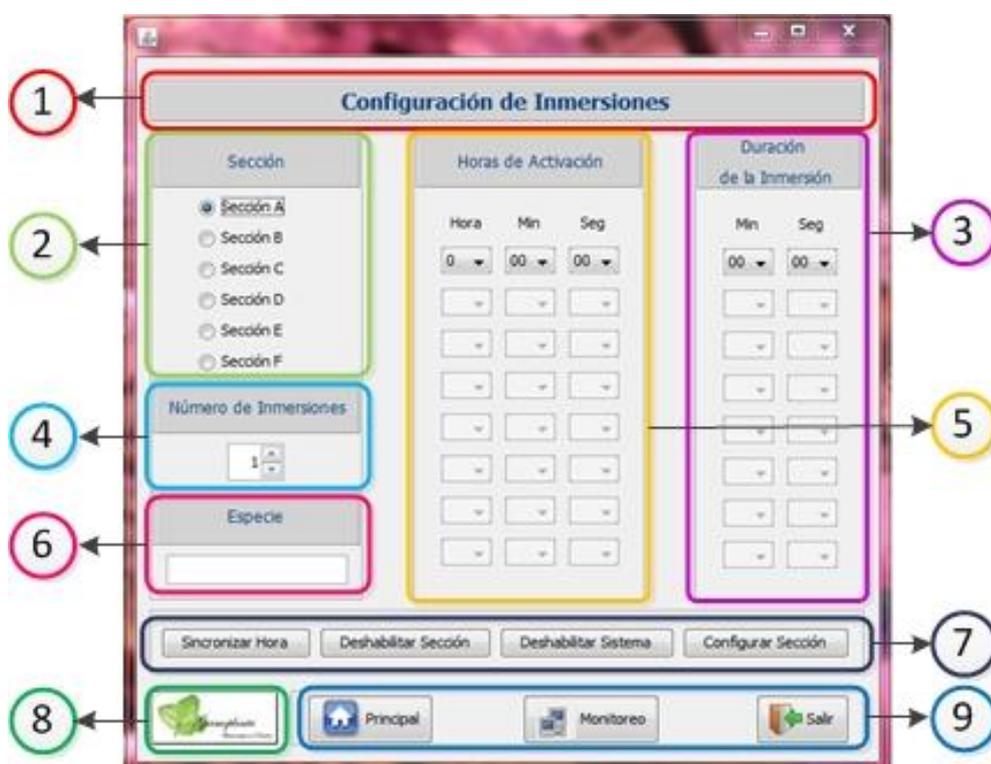


Figura 64. Ventana de Configuración de Inmersiones

A fin de ayudar al usuario, en cada una de estas funcionalidades se desplegará un mensaje de confirmación tal como se muestra en la Figura 66, Figura 67 y Figura 68.

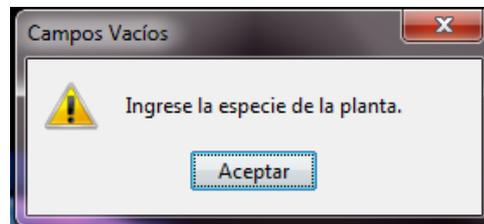


Figura 65. Mensaje campos vacíos



Figura 66. Mensaje Configuración Exitosa

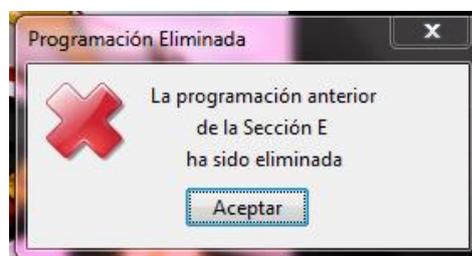


Figura 67. Mensaje Sección Deshabilitada

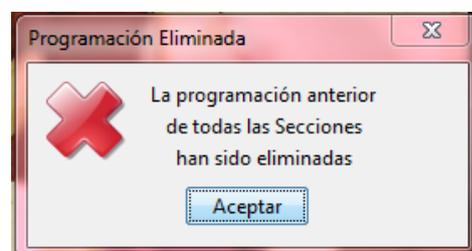


Figura 68. Mensaje Sistema Deshabilitado

- **Ventana de Monitoreo**

Está compuesta por seis partes distribuidas como se muestra en la Figura 69, la parte uno corresponde al título de la ventana, en la parte cinco se muestra el logo de la empresa y en la parte seis la navegabilidad entre ventanas y el botón para salir del programa. En la ventana de monitoreo se muestra el funcionamiento de cada una de las secciones, para cada una se destacan dos elementos mostrados en la parte dos y tres. La visualización de las inmersiones configuradas que incluye el número de inmersión, hora de activación y duración de la inmersión como se muestra en la parte dos. La parte tres corresponde al mímico de la sección en el cual se mostrará una animación acorde al estado actual de la sección.



Figura 69. Ventana de Monitoreo

El mímico tendrá cuatro situaciones posibles acordes al funcionamiento del sistema, cuando la sección se encuentre deshabilitada el usuario visualizará los recipientes de inmersión totalmente vacíos como lo visto en la Figura 70, cuando una sección tenga al menos una configuración establecida la imagen a mostrarse en el mímico constará de plantas y líquido con nutrientes en los recipientes de inmersión como lo muestra la Figura 71, cuando el sistema se encuentre activado se mostrará una imagen .gif que tendrá el indicador de encendido del solenoide de la válvula y simulará el funcionamiento del sistema durante la inmersión de la planta como lo mostrado en la Figura 72 y de forma similar cuando el sistema se encuentre

desactivado la imagen .gif presentará el indicador apagado y el funcionamiento del sistema durante el retorno a la posición inicial cuando el líquido vuelve a la parte inferior del recipiente al evacuar el aire como se ve en la Figura 73.



Figura 70. Mímico sección deshabilitada



Figura 71. Mímico sección configurada



Figura 72. Mímico sistema activado



Figura 73. Mímico sistema desactivado

4.6. Diseño del Sistema de Comunicación de Datos Inalámbrico

Para comunicar al sistema de control, en este caso conformado por el microcontrolador, y a la interfaz gráfica de usuario localizada en la PC se optó por emplear un módulo Bluetooth que permitan transferir los datos desde el controlador a la interfaz y viceversa evitando el uso de cableado ya que el sistema de inmersión temporal se encuentra ubicado dentro de los laboratorios de la empresa y se requiere controlar y monitorear desde la PC ubicada en la oficina, a fin de evitar el ingreso continuo al espacio donde está localizado el sistema y disminuir los riesgos de contaminación que afectan a la producción de la empresa.

El módulo utilizado es HC-06 mostrado en la Figura 74, el cual consiste en un módulo de interfaz serial y un adaptador Bluetooth, permitiendo generar conexiones hacia otros dispositivos Bluetooth, en este caso al módulo encontrado en la PC de la empresa.



Figura 74. Módulo Bluetooth SlaveHC-06

Fuente: (BOT Science, 2013)

Por las características antes descritas el microcontrolador utiliza la comunicación serial rs232 para interactuar con el módulo Bluetooth y este se encarga de transmitir los datos hacia el computador. Y para el caso de la recepción de datos el módulo realiza la transformación de los datos recibidos a comunicación rs232 para que el microcontrolador pueda receptorlos y realizar la decodificación respectiva.

Al emplear este dispositivo, se debe emparejarlo al computador de forma que se genere un servicio de puerto serial virtual y se realice una comunicación exitosa entre la interfaz gráfica de usuario y el sistema de inmersión temporal.

Un aspecto importante que se debe conocer dentro del diseño del sistema de comunicación son los datos a transmitirse desde el microcontrolador hacia el computador. Dentro de la monitorización del sistema se debe conocer cuáles son las configuraciones establecidas para que el usuario pueda visualizar esta información en la pantalla respectiva.

Primeramente el microcontrolador se encarga de enviar los datos que respectan al número total de inmersiones configuradas en cada sección, de acuerdo al formato visto en la Tabla 18.

Tabla 18.
Formato número total de inmersiones

Inicio de cadena	Identificador	Sección	Número total de inmersiones de la sección	Fin de cadena
@	T	A, B, C, D, E, F	x	#

El identificador T haciendo referencia al número total de inmersiones que será empleado para la decodificación junto con la sección a la cual pertenece la información. Este dato es empleado para indicar una configuración existente y visualización de la información cíclicamente en base al total.

Como segundo dato el microcontrolador envía cada una de las configuraciones realizadas en cada sección, de acuerdo a la estructura mostrada en la Tabla 19.

Tabla 19.
Formato inmersiones programadas

Inicio de cadena	@
Sección	A, B, C, D, E, F
Número de inmersión	1, 2, 3, ... , 8
Hora activación (decena)	h
Hora activación (unidad)	h
Minuto activación (decena)	m
Minuto activación (unidad)	m
Segundo activación (decena)	s
Segundo activación (unidad)	s
Hora desactivación (decena)	h
Hora desactivación (unidad)	h
Minuto desactivación (decena)	m
Minuto desactivación (unidad)	m
Segundo desactivación (decena)	s
Segundo desactivación (unidad)	s
Fin de cadena	#

En el caso de existir más de una inmersión configurada en la misma sección, se enviará cada programación hasta el número total de inmersiones de dicha sección.

Otro dato importante dentro de la monitorización es conocer cuándo se ha activado o desactivado el solenoide de la electroválvula de cada sección. Para ello el microcontrolador transmite esta información mediante el siguiente formato visto en la Tabla 20.

Tabla 20.
Formato estado válvulas

Inicio de cadena	Identificador	Sección	Estado válvulas	Fin de cadena
@	P	A, B, C, D, E, F	0: desactivado <hr/> 1: activado	#

El indicador P hace referencia al estado de las válvulas en cada sección, al enviar un 0 indica válvula inactiva y al enviar un 1 válvula activada.

4.7. Diseño de Circuitos Impresos (PCB)

Para el diseño de la placa electrónica se ha considerado las conexiones desde el microcontrolador hacia el módulo de reloj, módulo Bluetooth, LCD y etapa de potencia, mismas que son necesarias para estructurar todo el sistema de control.

Para el desarrollo del diseño PCB se empleó el software ARES 7 Professional de Proteus, para la distribución de los elementos dentro de la placa se consideró como elemento central al microcontrolador, la etapa de potencia para cada una de las electroválvulas se colocó alrededor del microcontrolador de forma que facilite las conexiones desde la señal de entrada del optoacoplador a la salida digital correspondiente. De forma similar se buscó el puesto más estratégico para ubicar al LCD, módulo Bluetooth y módulo de reloj.

El diseño obtenido se puede observar en la Figura 75 y la vista en 3D mostrada en la Figura 76 permite visualizar como quedaron ubicados cada uno de los componentes dentro de la placa electrónica.

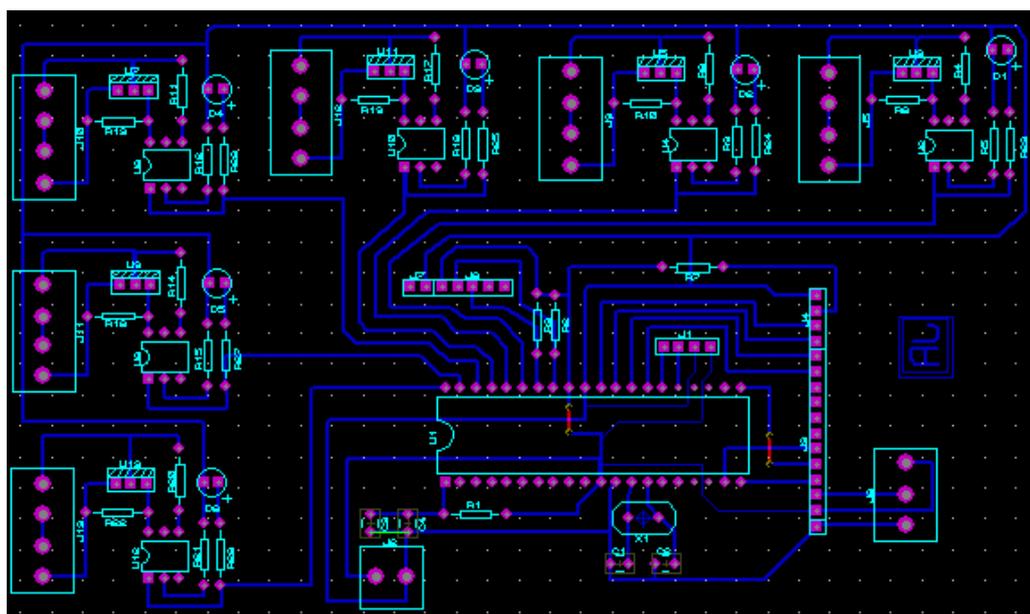


Figura 75. Diseño PCB

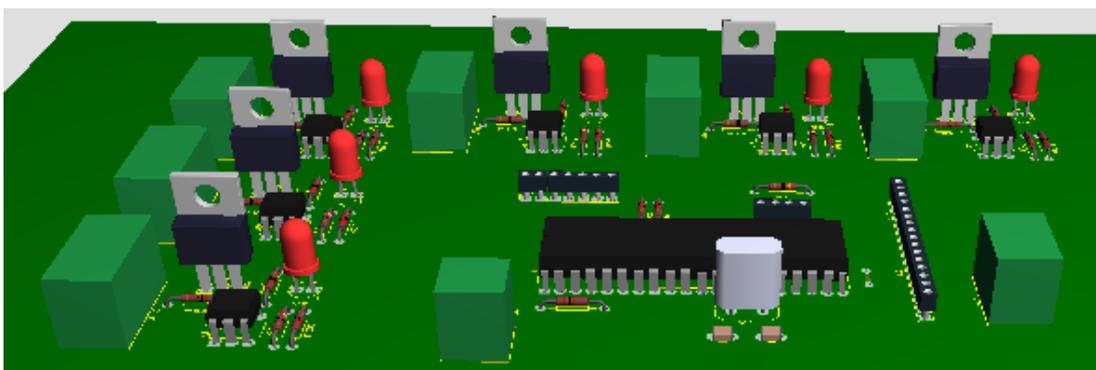


Figura 76. Vista 3D de la placa electrónica

4.8. Descripción de diagramas

4.8.1. Diagrama de Conexiones

El diagrama de conexiones visto en el Anexo 4, considera dos conexiones a realizarse para el funcionamiento del sistema de inmersión temporal.

La primera de ellas destaca las conexiones externas a la caja contenedora del sistema de control, estas corresponden al cableado desde las electroválvulas y a las

fuentes de alimentación DC y AC. Como se observa en el diagrama se encuentran localizados los plugs para los conectores de corriente alterna tanto de 110V como de 220V con sus respectivos switches. Además, se tiene el conector para la fuente de alimentación 5 VDC junto con su switch. La fase y neutro de las electroválvulas deberán ser conectados en su respectivo terminal Jack banana de acuerdo a la distribución establecida en el diagrama.

La segunda conexión que debe realizarse es en el interior de la caja, desde los conectores Jack banana hacia las borneras correspondientes a cada sección como se muestra en el diagrama. Adicionalmente, se tienen las conexiones del módulo Bluetooth, LCD y módulo reloj de tiempo real (RTC) que deben conectarse conforme a lo mostrado en el diagrama.

4.8.2. Diagramas Eléctricos

En el Anexo 5 se muestran los diagramas eléctricos correspondientes a la etapa de control y al circuito de potencia.

El circuito de control tiene como elemento central al microcontrolador, el cual se conecta a un LCD donde se desplegará la hora del sistema, para lo cual se tiene al circuito correspondiente al módulo de reloj de tiempo real con sus pines SDA y SCL correspondientes a la comunicación i2c, a través de los cuales el microcontrolador va a acceder a la información de la hora actual y enviar la hora a la cual debe sincronizarse el reloj. Para el módulo Bluetooth las conexiones transmisor Tx, receptor Rx están representadas por un puerto serial ya que este realiza la comunicación con el PIC a través de una interfaz RS232. Adicionalmente, se tiene la circuitería correspondiente a las salidas digitales del puerto B que representan la activación o desactivación de los bits RB2 – RB7 mediante diodos LEDs.

Con lo que respecta a la etapa de potencia, se tiene el circuito antes visto en el diseño pero para cada una de las secciones del sistema, es decir para la activación y desactivación de las seis electroválvulas.

4.9. Instalación del Sistema

La instalación del Sistema se divide en tres etapas: conexiones del sistema neumático que incluye mangueras, colocación de tubos distribuidores de aire, válvulas, unidad de mantenimiento y compresor, ver Figura 77, Figura 78, Figura 79, Figura 80 y Figura 81.

La etapa dos corresponde a las conexiones eléctricas, en este caso se divide en las alimentaciones de las electroválvulas y en las conexiones internas de corriente DC dentro del contenedor del sistema de control, ver Figura 82.

Por último, la etapa final de la instalación corresponde a las pruebas de funcionamiento realizadas.



Figura 77. Instalación secciones A y B



Figura 78. . Instalación secciones C y D



Figura 79. Instalación secciones E y F



Figura 80. Conexión mangueras



Figura 81. Instalación unidad de mantenimiento

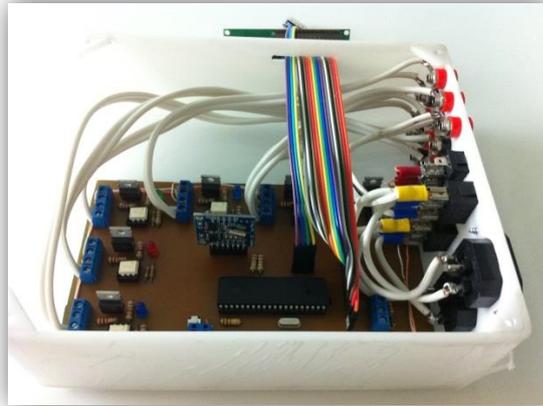


Figura 82. Conexiones eléctricas

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

Una vez finalizada la instalación del sistema de inmersión temporal se procedió a realizar varias pruebas a fin de verificar su correcto funcionamiento.

La primera prueba realizada fue la conexión con el sistema desde el computador, para ello se accede a la ventana principal y se inicia el enlace tal como se muestra en la Figura 83.



Figura 83. Enlace exitoso con el sistema

Como ayuda al usuario se desplegará un mensaje cuando esta conexión no se ha podido realizar correctamente, debido a una mala conexión del módulo Bluetooth o si el sistema se encuentra desenergizado.

Dado este caso, la aplicación se finalizará hasta que se verifiquen las posibles causas de falla de comunicación y se pueda establecer correctamente el enlace.

De forma parecida si por alguna razón se pierde la conexión durante el funcionamiento normal del sistema, se desplegará un mensaje indicando esta eventualidad. Estos mensajes son vistos en la Figura 84 y Figura 85.



Figura 84. Mensaje comunicación no establecida

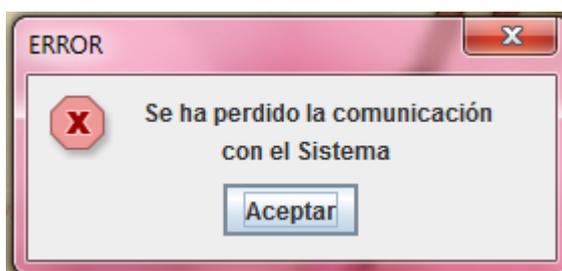


Figura 85. Mensaje comunicación perdida

Una vez realizadas las pruebas de comunicación, se procedió a probar el funcionamiento de las válvulas en cada sección, variando los parámetros de hora de activación, duración de la inmersión, número total de inmersiones.

A manera de ejemplo se observa la prueba realizada para la sección D, en la cual se configuraron 5 inmersiones. Y de igual manera, como ayuda al usuario una vez

finalizada la transmisión de estas configuraciones al microcontrolador, se despliega un mensaje de configuración exitosa. (Ver Figura 86 y Figura 87).

Configuración de Inmersiones

Sección

Sección A
 Sección B
 Sección C
 Sección D
 Sección E
 Sección F

Número de Inmersiones

5

Especie

Anturio

Horas de Activación			Duración de la Inmersión	
Hora	Min	Seg	Min	Seg
8	00	00	02	00
11	00	00	01	00
14	00	00	02	30
17	00	00	01	30
22	00	00	01	00



Figura 86. Configuración Sección D



Figura 87. Configuración Exitosa Sección D

También se realizaron pruebas de las demás funcionalidades de la ventana de configuración, tales como deshabilitación de secciones, deshabilitación del sistema y sincronización de hora, tal como se muestra en la Figura 88, Figura 89 y Figura 90.

Estas pruebas permitieron verificar que los datos enviados al microcontrolador fueron receptados exitosamente y programaciones deseadas en cada sección se configuraron correctamente.

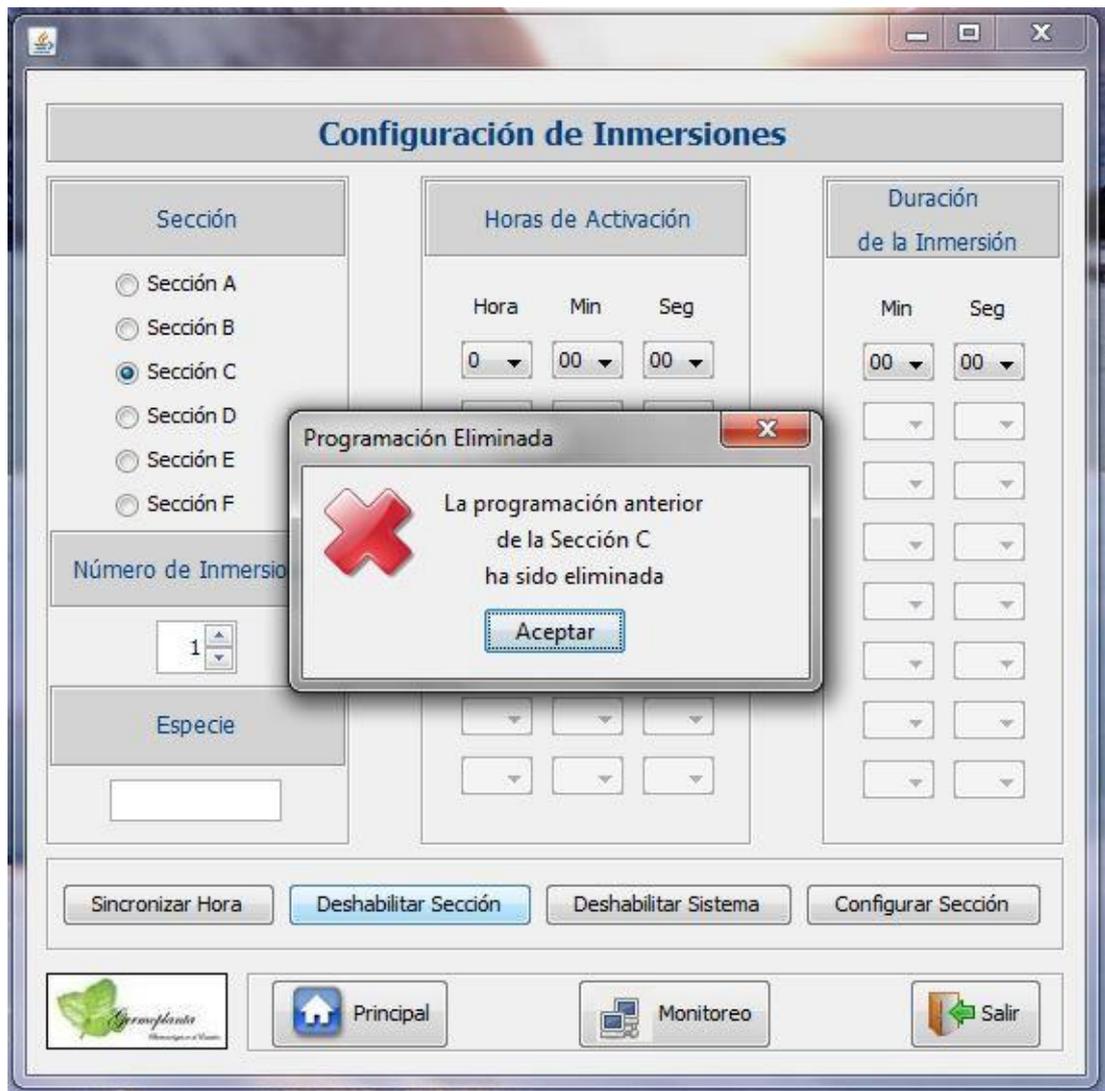


Figura 88. Deshabilitación sección C

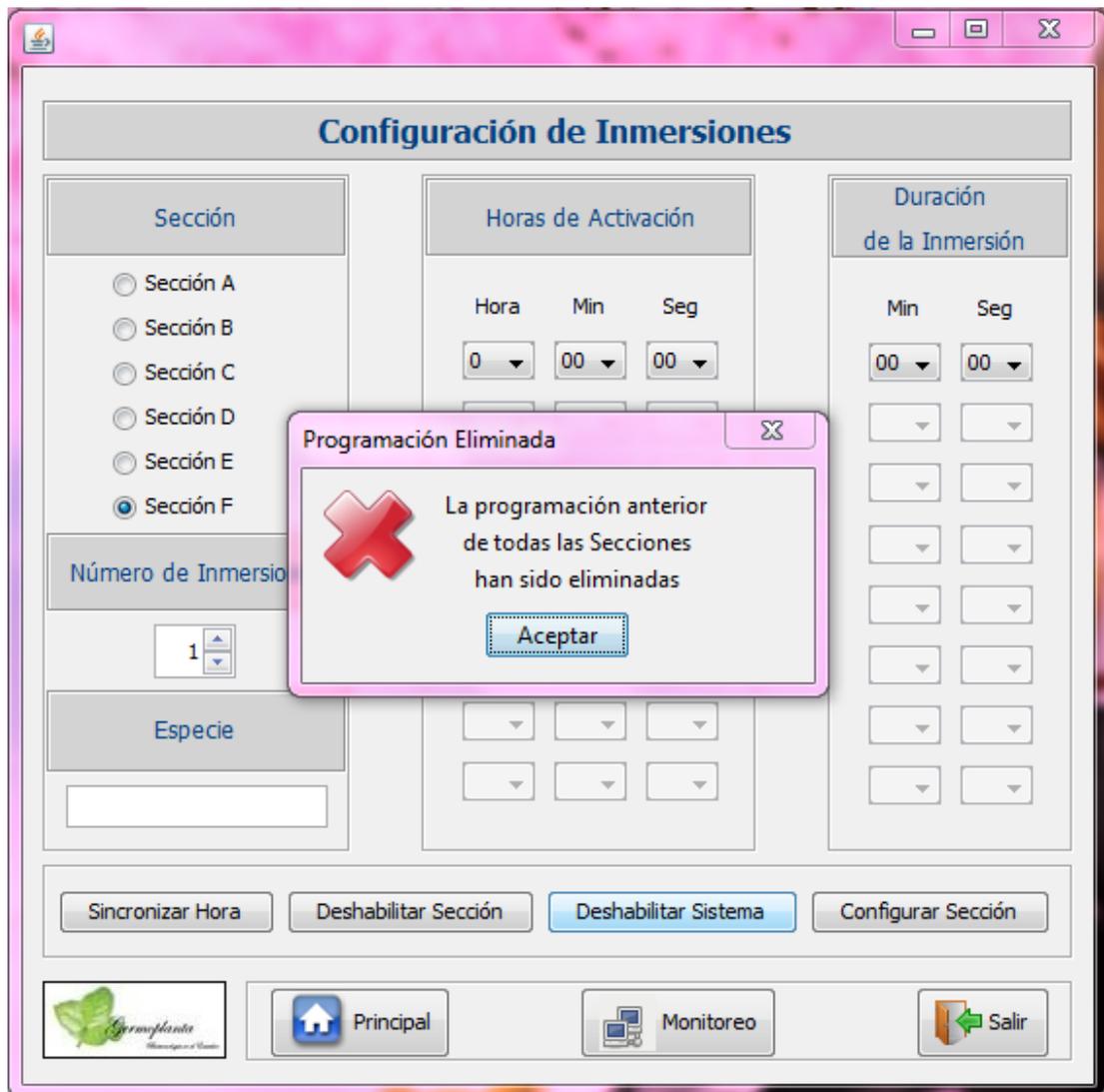


Figura 89. Sistema Deshabilitado



Figura 90. Hora sincronizada

Dentro de la interfaz gráfica de usuario la ventana de monitoreo es de gran importancia, ya que en esta se refleja el estado actual del sistema en cada una de las secciones, es aquí donde se observan los resultados obtenidos de la automatización del sistema de inmersión temporal y las variantes dadas de acuerdo a la configuración establecida.

En la Figura 91, se puede observar varias configuraciones establecidas en cada sección, lo cual refleja la independencia que existe entre ellas. Secciones deshabilitadas como el caso de la sección C o secciones con varias inmersiones programadas como el caso de la sección D que muestra la programación de la quinta inmersión.

También, se puede observar la variedad de tiempos de duración de inmersión que se configuran de acuerdo al explante encontrado en dicha sección, o conforme al estudio que se desee realizar, variando el número de veces que se produce una inmersión en el día, el tiempo en que se sumerge al explante en el medio de cultivo, dando la posibilidad de un sinnúmero de configuraciones que el usuario podrá gestionar fácilmente.

Adicionalmente, las animaciones presentadas en la ventana de configuración ayudan a identificar rápidamente el estado en el que se encuentra cada sección.

Para finalizar las pruebas se muestra un ejemplo de configuración y activación de una sección. (Ver Figura 92 y Figura 93)

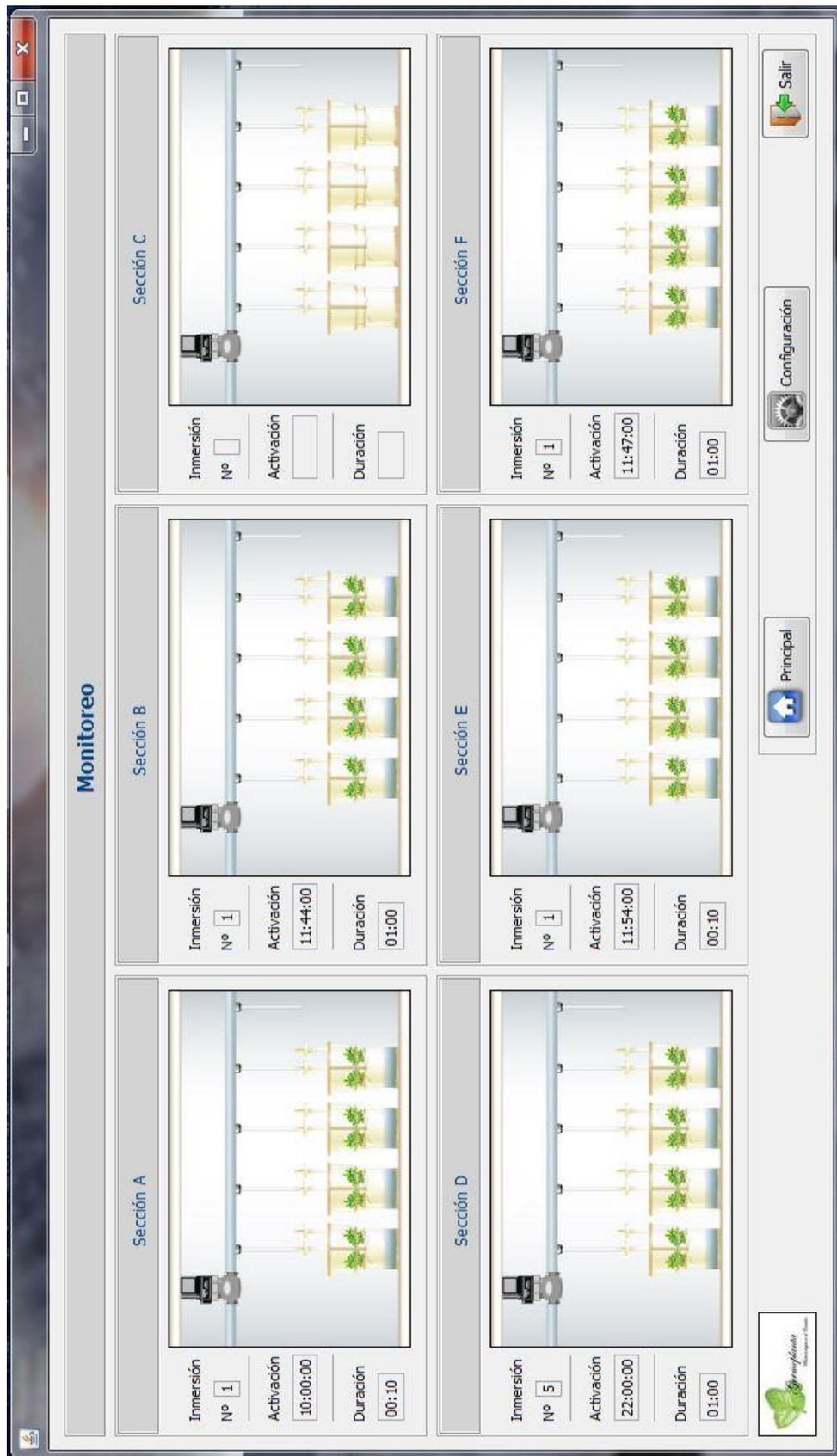


Figura 91. Monitorización del Sistema



Figura 92. Configuración Sección A



Figura 93. Sección A activada

Dentro de las características que debe cumplir el sistema es llevar un registro de todas las configuraciones ingresadas, para lo cual se crearon archivos Excel que organizan la información por secciones, por meses y por años.

A continuación se muestran en la Figura 94 y Figura 95, algunos ejemplos de registros obtenidos durante la prueba del sistema.

	A	B	C	D	E
1	Registro de Inmersiones - Abril 2015				
2					
3	Sección B				
4	Fecha	Especie	Nº de Inmersión	Hora de Activación	Duración de la Inmersión
5	2015/04/03	anturio	1	12:52:40	01:00
6	2015/04/03	anturio	2	13:56:00	00:40
7	2015/04/15	estevia	1	15:00:00	00:30
8	2015/04/30	banano	1	10:03:00	10:00
9	2015/04/30	anturio	1	13:10:00	00:40
10					
11					
12					

Figura 94. Registro Sección B Abril 2015

	A	B	C	D	E
1	Registro de Inmersiones - Mayo 2015				
2					
3	Sección A				
4	Fecha	Especie	Nº de Inmersión	Hora de Activación	Duración de la Inmersión
5	2015/05/10	anturio	1	15:00:00	01:30
6	2015/05/10	anturio	2	20:00:00	02:00
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					

Figura 95. Registro Sección A Mayo 2015

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

Se logró cumplir con el diseño e implementación del sistema automático de inmersión temporal para el cultivo de tejidos in – vitro que permite la multiplicación masiva de plantas.

Se logró establecer un control individual de las secciones que conforman el sistema de inmersión temporal, con la limitación de que las secciones no pueden funcionar al mismo tiempo, esto se debe a que la fuente neumática existente no es capaz de suministrar al sistema para que las secciones puedan funcionar en un mismo instante por lo que se realizó el diseño para un funcionamiento que presente un desfase de tiempo entre secciones.

Las válvulas adquiridas en el mercado nacional requieren adicional a la activación del solenoide, de una contrapresión interna para realizar el cambio de posición, misma que se logra al utilizar un cilindro como actuador final, al trabajar con recipientes de inmersión no se logra generar esta contrapresión por lo que se optó por emplear una sección de manguera enrollada que permita generar la presión interna necesaria para el cambio de posición.

Se aprovechó la facilidad de manejo de un reloj de tiempo real con microcontroladores mediante comunicación i2c, ya que esto eliminó la independencia del uso del computador para la adquisición de la hora actual.

Se aprovechó la memoria interna EEPROM del microcontrolador para almacenar las configuraciones de inmersiones en cada sección, lo cual permite que en caso de pérdida de energía se recuperen todos los datos ingresados y el usuario no requiera configurar nuevamente.

Se aprovechó las nuevas tecnologías Bluetooth para desarrollar el sistema de comunicación entre el controlador y el computador, facilitando al usuario gestionar el sistema sin la necesidad de ingresar al laboratorio y a su vez reducir la posible contaminación que afecta a la producción de la empresa.

Se benefició del software libre JAVA para desarrollar una interfaz de usuario que permita gestionar el control y monitoreo del sistema, manteniendo una flexibilidad en el ingreso de set points y permitiendo visualizar el funcionamiento del sistema en tiempo real.

Se logró desarrollar un registro de inmersiones mediante un archivo Excel, el mismo que será manipulado por la aplicación JAVA cada vez que se requiera introducir nuevas configuraciones o crear nuevos libros.

La unidad de mantenimiento neumática adquirida facilitó la regulación de presión que se requiere para el funcionamiento de las válvulas, al no estar considerada al inicio de la implementación del sistema por motivos de costo se presentaron dificultades durante la realización de las primeras pruebas del sistema que fueron solucionadas al momento de adquirir este dispositivo.

Se encontraron dificultades durante la realización de pruebas del sistema ya que existía una fuga en una de las salidas del compresor, lo cual causaba problemas

durante el proceso de inmersión ya que descargaba rápidamente al acumulador y no se alcanzaba la suficiente presión requerida en las válvulas.

6.2. Recomendaciones

Para futuros proyectos se debe considerar la adquisición de válvulas que no requieran una presión interna sino únicamente realicen el cambio de posición por la activación del solenoide ya que esto facilitará la implementación, tomando en consideración el actuador final con el que se cuenta en el sistema.

Se recomienda utilizar la unidad de mantenimiento en todo sistema neumático ya que este alarga la vida útil de las electroválvulas y demás componentes, también brinda seguridad y durabilidad a la instalación neumática.

Se recomienda realizar el dimensionamiento de la fuente neumática, ya que al no ser acorde con las características requeridas por el sistema no se tendrá el funcionamiento adecuado de este.

Se recomienda leer el manual de usuario para manipular correctamente el sistema y acceder a todas las ventajas de emplear la aplicación desarrollada para el control y monitoreo del sistema, además se evita cualquier imprevisto que pueda ocasionar un mal funcionamiento.

BIBLIOGRAFÍA

Angulo, U. J., & Angulo, M. I. (1999). *Microcontroladores: Diseño práctico de aplicaciones*. Madrid: McGraw-Hill.

Apuntes de neumática básica. (1992). S.l.: s.n.

Cairó, B. O. (2005). *Metodología de la programación: Algoritmos, diagramas de flujo y programas*. México: Alfaomega.

Hvoslef-Eide, A. K., & PREIL, W. E. (2005). *Liquid culture systems for in vitro plant propagation*.

Lima, D. F. (2000). *Manual avanzado de Java 2, edición 2000*. Madrid: Anaya Multimedia.

Micropropagación de plantas - EcuRed. (n.d.). Recuperado de http://www.ecured.cu/index.php/Micropropagaci%C3%B3n_de_plantas

Morales, R. (2014). *MICROPROPAGACIÓN DE ANTURIO (Anthurium andreanum L.) EN UN SISTEMA DE INMERSIÓN TEMPORAL MEDIANTE ORGANOGÉNESIS INDIRECTA A PARTIR DE SECCIONES DE HOJA* (No publicado). Recuperado de <http://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/7735/1/T-ESPE-047633.pdf>

Salgado, R. (2015, Marzo 25). LA PROPAGACIÓN DE PLANTAS IN VITRO, UN ÉXITO BIOTECNOLÓGICO. Recuperado de <http://www.sabermas.umich.mx/archivo/secciones-anteriores/articulos/75-numero-10/153-la-propagacion-de-plantas-in-vitro-un-exito-biotecnologico.html>

Sistema de Inmersión Temporal - EcuRed. (n.d.). Recuperado de http://www.ecured.cu/index.php/Sistema_de_Inmersi%C3%B3n_Temporal

GLOSARIO

Explante: Tejido vivo separado de su órgano propio y transferido a un medio artificial de crecimiento.

Asepsia: Ausencia de materia séptica, estado libre de infección

Agar: Sustancia mucilaginosa que se extrae de algunas algas, utilizada como medio de cultivo, en farmacia, en bacteriología y en ciertas industrias

Auxinas: Las auxinas son un grupo de fitohormonas que actúan como reguladoras del crecimiento vegetal.

Citocininas: son proteínas que regulan la función de las células que las producen otros tipos celulares. Son los agentes responsables de la comunicación intercelular

Fitohormonas: también llamadas hormonas vegetales, son sustancias producidas por células vegetales en sitios estratégicos de la planta y estas hormonas vegetales son capaces de regular de manera predominante los fenómenos fisiológicos de las plantas.

Fotoperiodo: conjunto de procesos de las especies vegetales mediante los cuales regulan sus funciones biológicas usando como parámetros la alternancia de los días y las noches del año y su duración según las estaciones y el ciclo solar.

Totipotencialidad: Término utilizado en biología para referirse a células que poseen la capacidad de dar origen a varios tipos celulares, incluso pudiendo una sola de estas células dar origen a millones de células, tejidos, órganos, hasta incluso embriones.

Organogénesis: conjunto de cambios que permiten que las capas embrionarias (ectodermo, mesodermo y endodermo) se transformen en los diferentes órganos que conforman un organismo.

Embriogénesis somática: consiste en el desarrollo de embriones a partir de células que no son el producto de una fusión de gametos durante la fecundación

Biorreactor: es un recipiente o sistema que mantiene un ambiente biológicamente activo.

Haploide: es aquella que contiene un solo juego de cromosomas o la mitad del número normal de cromosomas.

Hibridación: es el proceso de unir dos hebras complementarias de ADN.

Hiperhibrididad: Es un desorden fisiológico que puede ocurrir en el cultivo de tejidos de las plantas.

Hipoxia: es un estado de deficiencia de oxígeno en la sangre, células y tejidos del organismo, con compromiso de la función de los mismos.

Inóculo: Suspensión de microorganismos que se transfieren a un ser vivo o a un medio de cultivo a través de la inoculación.

ACTA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, desde:

Sangolquí, 19 DE MAYO de 2015

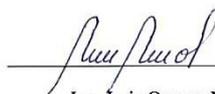
ELABORADO POR:



JOHANNA MARICELA ALMACHI TOAPANTA

171987276-2

AUTORIDAD



Ing. Luis Orozco MSc.



DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL