

**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ**  
**FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA**



PONTIFICIA  
**UNIVERSIDAD**  
**CATÓLICA**  
DEL PERÚ

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE UNA  
PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA DE 10 t/h**

Tesis para optar el Título de Ingeniero Electrónico, que presenta el bachiller:

**José Martín Requena Torpoco**

ASESOR: José Dávalos Pinto

**Lima, Agosto del 2012**

## RESUMEN

La zanahoria es una de las hortalizas de mayor demanda y su lavado es una de las etapas más importantes para su posterior comercialización.

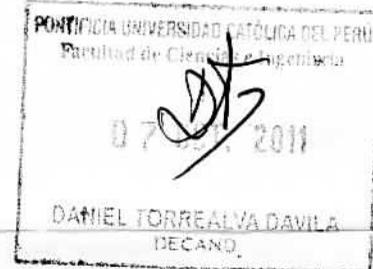
En la presente tesis, se realizó el diseño de un sistema de automatización de una Planta de lavado de zanahoria de 10 t/h, empleando un sistema electroneumático y un sistema de control con PLC, que permita tener un control y funcionamiento automático para el sistema de lavado de las zanahorias, el cual incluye los procesos de: Remojo, lavado y direccionamiento a la zona de tendal.

El diseño del sistema de automatización consta de un sistema electroneumático para el accionamiento (apertura y cerrado) de las compuertas que se realiza en los procesos; diseño del sistema de control con PLC el cual procesará la información proveniente de los sensores y según la lógica programada en lenguaje ladder controle los procesos del sistema de lavado gobernando el funcionamiento de los actuadores; la selección de sensores, actuadores y controlador. Finalmente el diseño de un interfaz de usuario empleando un panel de operador el cual permitirá monitorear el estado de la Planta.

Se realizaron simulaciones para el sistema electroneumático a fin de comprobar el accionamiento de las compuertas. Asimismo se simuló el sistema de control en PLC para verificar el funcionamiento automático y secuencial de la Planta.

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un Sistema de Automatización de una Planta de Lavado Zanahoria de 10 t/h  
Área : Control y Automatización \* 941  
Asesor : Ing. José Dávalos Pinto  
Alumno : José Martín Requena Torpoco  
Código : 20057140  
Fecha : 04/10/2011



### Descripción y Objetivos

Actualmente la automatización de procesos en las Plantas industriales constituye un elemento importante en las empresas en la búsqueda de la competitividad en un entorno que siempre se encuentra en constante cambio.

La Planta industrial en el presente estudio trata el lavado de zanahorias y para tal fin se realizan los procesos de remojado y lavado. Actualmente estos procesos y su secuencialidad dependen de la intervención de operarios, quienes realizan las tareas de apertura y cierre de las compuertas, control de los tiempos en cada proceso, control del nivel de agua en las pozas y el arranque y parada de los motores. En consecuencia, estas tareas dependen de la habilidad y esfuerzo físico de los trabajadores.

La presente tesis tiene como objetivo el diseño de un sistema de automatización de una Planta de lavado de zanahorias de 10 Tn/hr, de tal manera que la secuencialidad de los procesos sea autónomo.

El diseño del sistema propuesto incluirá las etapas de descripción, selección de equipos, diseño y simulación del funcionamiento de la Planta. En la primera etapa se realizará la descripción de los procesos de la Planta, en la segunda etapa la selección de los sensores, actuadores y el PLC, procediendo al diseño del sistema de control y finalmente se realizarán las simulaciones que satisfaga la funcionalidad de la Planta.

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ  
SECCIÓN ELECTRICIDAD Y ELECTRÓNICA

Dr. Ing. BENJAMÍN CASTAÑEDA APHAN  
Coordinador de la Especialidad de Ingeniería Electrónica

MÁXIMO 50 PÁGINAS

## TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO

Título : Diseño de un Sistema de Automatización de una Planta de Lavado  
Zanahoria de 10 t/h

### Índice

Introducción

1. La Planta de lavado de zanahorias
2. Los Sistemas Automatizados de Lavado
3. Diseño del Sistema de Automatización
4. Resultados

Conclusiones

Recomendaciones

Bibliografía

Anexos

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por todas las bendiciones recibidas.*

*A mis padres, por su constante apoyo, comprensión y amor.*

*A mi asesor Ing. José Dávalos, por su apoyo, preocupación y confianza en el desarrollo de la Tesis.*



## ÍNDICE

|  |           |
|--|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN .....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>CAPÍTULO 1. LA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA.....</b>                       | <b>6</b>  |
| 1.1. Introducción .....  | 6         |
| 1.2. Descripción de la Planta .....  | 6         |
| 1.2.1. Cisterna Subterránea.....   | 6         |
| 1.2.2. Pozas de Remojo .....   | 6         |
| 1.2.3. Poza de Almacenamiento de Agua.....                                     | 6         |
| 1.2.4. Cilindro de Lavado.....   | 7         |
| 1.2.5. Zona de Tendal .....  | 7         |
| 1.2.5.1. Fajas Transportadoras.....  | 7         |
| 1.2.6. Canales de Distribución.....  | 7         |
| 1.3. Descripción del Funcionamiento Actual de la Planta.....                   | 8         |
| 1.3.1. Recepción .....   | 8         |
| 1.3.2. Remojo.....   | 8         |
| 1.3.3. Lavado .....  | 8         |
| 1.3.4. Direccionamiento.....   | 9         |
| <b>CAPÍTULO 2. LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE LAVADO .....</b>                  | <b>11</b> |
| 2.1. Introducción .....  | 11        |
| 2.2. Máquinas Lavadoras de Zanahoria .....                                     | 11        |
| 2.2.1. Máquina MEP .....   | 11        |
| 2.2.2. Máquina Romero .....  | 12        |
| 2.2.3. Máquina Clamahort .....   | 12        |
| 2.3. Sistema de Control.....   | 13        |
| 2.3.1. Controlador.....  | 13        |
| 2.4. Sistemas para el Accionamiento de Compuertas .....                        | 14        |
| 2.4.1. Sistema Eléctrico .....   | 14        |
| 2.4.2. Sistema Neumático .....   | 15        |
| 2.4.3. Sistema Hidráulico.....   | 15        |
| 2.4.4. Comparación entre los Sistemas: Neumático, Hidráulico y Eléctrico ..... | 16        |
| <b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN .....</b>                  | <b>17</b> |
| 3.1. Introducción .....  | 17        |
| 3.2. Objetivos de la Tesis.....  | 17        |
| 3.2.1. Objetivo General.....   | 17        |
| 3.2.2. Objetivos Específicos .....   | 17        |

|          |  |    |
|----------|--|----|
| 3.3.     | Requerimientos Generales.....                                    | 17 |
| 3.4.     | Operaciones Susceptibles a ser Automatizadas.....                | 18 |
| 3.5.     | Plan de Automatización.....                                      | 18 |
| 3.5.1.   | Plan de Automatización para las Operaciones.....                 | 18 |
| 3.5.2.   | Funcionamiento Automático de la Planta.....                      | 19 |
| 3.5.3.   | Tecnologías a Considerar en el Sistema de Automatización .....   | 21 |
| 3.5.4.   | Diagrama de Bloques del Sistema.....                             | 21 |
| 3.6.     | Diseño del Sistema Electroneumático .....                        | 22 |
| 3.6.1.   | Fuerza Necesaria para Mover la Compuerta .....                   | 22 |
| 3.6.2.   | Cilindro Neumático .....   | 25 |
| 3.6.2.1. | Dimensionamiento del Cilindro Neumático.....                     | 25 |
| 3.6.2.2. | Selección del Cilindro Neumático.....                            | 26 |
| 3.6.3.   | Compresor.....   | 27 |
| 3.6.3.1. | Dimensionamiento del Compresor .....                             | 27 |
| 3.6.3.2. | Selección del Compresor .....                                    | 30 |
| 3.6.4.   | Unidad de Mantenimiento.....                                     | 31 |
| 3.6.4.1. | Selección de Unidad de Mantenimiento.....                        | 31 |
| 3.6.5.   | Electroválvula de Distribución.....                              | 32 |
| 3.6.5.1. | Selección de la Electroválvula.....                              | 32 |
| 3.6.6.   | Válvula de Estrangulamiento Unidireccional.....                  | 33 |
| 3.6.6.1. | Selección de la Válvula de Estrangulamiento.....                 | 33 |
| 3.6.7.   | Red de Distribución de Aire .....                                | 34 |
| 3.6.8.   | Circuito Electroneumático.....                                   | 34 |
| 3.6.9.   | Análisis de Posible Fallas .....                                 | 35 |
| 3.6.9.1. | Opciones de Seguridad.....                                       | 36 |
| 3.7.     | Dispositivos de Entrada.....                                     | 36 |
| 3.7.1.   | Sensores .....   | 36 |
| 3.7.1.1. | Selección de Sensores de Presencia para las Pozas de Remojo..... | 36 |
| 3.7.1.2. | Selección de Sensores de Presencia para la Zona de Tendal .....  | 37 |
| 3.7.1.3. | Selección de Sensores de Nivel para las Pozas .....              | 38 |
| 3.7.2.   | Fuente de Alimentación para los Sensores .....                   | 39 |
| 3.8.     | Dispositivos de Salida .....                                     | 40 |
| 3.8.1.   | Contactores .....  | 40 |
| 3.8.1.1. | Selección de Contactores .....                                   | 40 |
| 3.9.     | Controlador Lógico Programable .....                             | 41 |
| 3.9.1.   | Selección del Procesador .....                                   | 41 |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| 3.9.2.    | Selección de Módulos de Entrada .....                               | 41        |
| 3.9.3.    | Selección de Módulos de Salida .....                                | 42        |
| 3.9.4.    | Selección del Chasis .....  | 43        |
| 3.9.5.    | Selección de Fuente de Poder .....                                  | 43        |
| 3.10.     | Interfaz de Usuario .....   | 44        |
| 3.11.     | Comunicación entre Controlador y Panel de Operador .....            | 45        |
| 3.11.1.   | Red de Comunicación .....   | 45        |
| 3.11.2.   | Cable Belden #9842 .....  | 46        |
| 3.11.3.   | Acoplador de Vínculo Aislado 1747- AIC .....                        | 46        |
| 3.11.4.   | Software de Comunicación RSLinx .....                               | 46        |
| 3.12.     | Diseño de Conexiones Eléctricas .....                               | 47        |
| 3.12.1.   | Conexión entre Controlador y Panel de Operador .....                | 47        |
| 3.12.2.   | Cableado de Fuerza de los Motores .....                             | 47        |
| 3.12.3.   | Cableado de Módulos de Entrada a Sensores .....                     | 47        |
| 3.12.4.   | Cableado de Módulos de Salida a Contactores y Solenoides .....      | 47        |
| 3.13.     | Diseño de Software .....  | 49        |
| 3.13.1.   | Programación en Lenguaje Ladder .....                               | 49        |
| 3.13.2.   | Funciones Programadas .....   | 49        |
| 3.13.2.1. | Función de Disponibilidad de la Planta .....                        | 49        |
| 3.13.2.2. | Función de Remojo de las Zanahorias .....                           | 50        |
| 3.13.2.3. | Función de Preparación del Cilindro de Lavado .....                 | 50        |
| 3.13.2.4. | Función de Proceso de Lavado .....                                  | 51        |
| 3.13.2.5. | Función de Direccionamiento a la Zona de Tendal .....               | 53        |
| 3.13.2.6. | Función Control de Nivel de Agua en la Poza de Almacenamiento ..... | 54        |
| 3.14.     | Programación de las Pantallas para el Panel View 600 .....          | 56        |
| 3.14.1.   | PanelBuilder 32 .....   | 56        |
| 3.14.2.   | Pantallas Diseñadas para el Panel de Operador .....                 | 57        |
| 3.14.2.1. | Pantalla de Contraseña .....  | 57        |
| 3.14.2.2. | Pantalla Principal .....  | 57        |
| 3.14.2.3. | Pantalla del Área de Remojo .....                                   | 58        |
| 3.14.2.4. | Pantalla del Área de Lavado .....                                   | 58        |
| 3.14.2.5. | Pantalla de la Zona de Tendal .....                                 | 59        |
| 3.14.2.6. | Pantalla de Motores de Zona de Tendal .....                         | 60        |
|           | <b>CAPÍTULO 4. RESULTADOS .....</b>                                 | <b>61</b> |
| 4.1.      | Introducción .....  | 61        |
| 4.2.      | Simulación del Sistema Electroneumático .....                       | 61        |

|        |   |           |
|--------|---|-----------|
| 4.2.1. | Análisis de Resultados del Sistema Electroneumático ..... | 63        |
| 4.3.   | Simulación del Sistema de Control.....                    | 63        |
| 4.3.1. | Simulación del Estado de la Planta.....                   | 64        |
| 4.3.2. | Simulación del Proceso de Remojo.....                     | 66        |
| 4.3.3. | Simulación del Proceso de Lavado .....                    | 67        |
| 4.3.4. | Simulación del Direccionamiento a la Zona de Tendal.....  | 67        |
| 4.3.5. | Análisis de Resultados del Sistema de Control .....       | 68        |
| 4.4.   | Presupuesto.....  | 69        |
|        | <b>CONCLUSIONES.....</b>                                  | <b>70</b> |
|        | <b>RECOMENDACIONES.....</b>                               | <b>71</b> |
|        | <b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>                                  | <b>72</b> |
|        | <b>ANEXOS</b>   |           |



## INTRODUCCIÓN

En los últimos años la importancia de la automatización de los procesos en la industria ha aumentado considerablemente debido a que nos encontramos en un entorno competitivo que se encuentra en constante cambio; por tal motivo, las empresas se ven sometidas a grandes y rápidos procesos de cambio en busca de una adecuación de las demandas del mercado y neutralización de la competencia.

Es debido a ello que las empresas emplean la automatización como una herramienta con el fin de mejorar sus procesos, optimizar los recursos, reducir costos y liberar al ser humano de tareas tediosas, peligrosas e insalubres. Sin embargo, en la actualidad todavía hay muchas plantas industriales que dependen de la intervención de operarios para el correcto funcionamiento de sus procesos industriales.

La Planta industrial abordada para el presente estudio, se dedica al lavado de zanahorias, en donde para el correcto funcionamiento de sus procesos de remojo y lavado, dependen de la intervención de operarios quienes realizan las tareas de apertura y cierre de las compuertas, control de los tiempos en cada proceso, control de nivel de agua en las pozas y el arranque y parada de los motores.

En el presente trabajo, se propone el diseño de un sistema de automatización de una Planta de lavado de zanahoria empleando un sistema electroneumático y un sistema de control con PLC de tal manera que su funcionamiento sea automático.

En el Capítulo 1, se realiza una descripción de la Planta y de los procesos realizados en esta a fin de conocer la situación actual de la Planta y la problemática que existe en los métodos actuales empleados para su funcionamiento. En el Capítulo 2, se muestran los diferentes tipos de tecnologías y metodologías empleadas para el lavado de zanahorias. En el Capítulo 3, se desarrolla el diseño del sistema de automatización. En el Capítulo 4, se muestra los resultados de las simulaciones y se realiza un presupuesto del sistema.

## CAPÍTULO 1

### LA PLANTA DE LAVADO DE ZANAHORIA

#### 1.1. Introducción

Es recomendable conocer el estado actual de la Planta y asimismo cuales son los procesos que se llevan a cabo en esta para realizar el lavado de zanahorias a fin de saber dónde se encuentran ubicados los procesos de la cual trata el presente estudio.

#### 1.2. Descripción de la Planta

La Planta de lavado de zanahorias tiene una capacidad de lavado de 10 t/h en donde se desarrollan los procesos de remojo y lavado; para ello consta de: Una cisterna subterránea, cinco pozas de remojo, una poza de almacenamiento de agua, un cilindro de lavado, una zona de tendal y canales de distribución. A continuación se realizará una breve descripción de cada una de estas partes:

##### 1.2.1. Cisterna Subterránea

La Planta de lavado de zanahorias tiene una cisterna subterránea para el almacén de agua, esta cisterna tiene una capacidad para almacenar 400 m<sup>3</sup> de agua la cual es empleada para el lavado de las zanahorias.

Generalmente el agua que se emplea para el lavado de las zanahorias es tomada de un canal de regadío, el cual es abastecido por un río; sin embargo, cuando hay escasez de agua, hecho que es poco frecuente, se utiliza el agua de la cisterna subterránea.

##### 1.2.2. Pozas de Remojo

La Planta consta de 5 pozas en las cuales se realiza el remojo de las zanahorias, cada una de estas pozas tiene las dimensiones de 5 m de largo x 2 m de ancho y 1.7 m de altura, asimismo su base tiene una pendiente de 25°. Cada una de las pozas también constan de dos compuertas, una compuerta de entrada la cual al abrirse permite verter agua sobre la poza y una segunda compuerta la cual permite la salida de las zanahorias junto con el agua. Ver Figura 1.1. cuadro A.

##### 1.2.3. Poza de Almacenamiento de Agua

La Planta consta de una poza de almacenamiento de agua, la cual tiene las mismas

características de las pozas de remojo; pero el agua almacenada en esta poza solo es destinada para abastecer al cilindro de lavado. Ver Figura 1.1. cuadro B.

#### **1.2.4. Cilindro de Lavado**

La Planta consta de un cilindro en el cual las zanahorias son lavadas, este cilindro tiene una capacidad de 15 m<sup>3</sup> y se encuentra posicionado de forma horizontal con una inclinación de 20°, asimismo tiene las medidas de 5.3 m de largo y 1.96 m de diámetro. En la parte superior el cilindro tiene dos entradas, una entrada de 56 cm x 40 cm la cual se comunica con todas las pozas de remojo y la otra entrada de diámetro 40 cm la cual se comunica con la poza de almacenamiento de agua. En la parte inferior de cada una de las bases del cilindro, tiene dos compuertas, una compuerta de salida de 55 cm x 80 cm por donde van a salir las zanahorias una vez lavadas; y una compuerta de 55 cm x 55 cm para el desfogue del agua sucia. Y por último el cilindro en su estructura interna tiene un eje con unas paletas, las cuales son accionadas por un motor de 10HP que tiene una velocidad de 3600 RPM, sin embargo utiliza un reductor de velocidad el cual consta de un sistema de engranajes que le permite trabajar al motor a 360RPM y poder tener una fuerza de hasta 30 000 Kgf para el movimiento de las paletas. Ver Figura 1.1. cuadro C.

#### **1.2.5. Zona de Tendal**

La Planta consta de una zona de tendal, la cual está dividida en cuatro partes con dimensiones de 5 m x 10 m y en cualquiera de estas pueden ser ubicadas las zanahorias una vez que han sido lavadas para que sean despachadas. Para el direccionamiento de las zanahorias a cualquiera de estas partes se realiza la apertura y cierre de compuertas en el canal de distribución y el accionamiento de fajas transportadoras. Ver Figura 1.1. cuadro D.

##### **1.2.5.1. Fajas Transportadoras**

Cada una de las cuatro partes de la zona de tendal tiene una faja transportadora la cual permite el desplazamiento de las zanahorias hacia dichas zonas. Cada una de estas fajas transportadoras son accionadas por un motor de 1HP de 1800 RPM, sin embargo utiliza un reductor de velocidad con el cual trabaja a 600RPM.

#### **1.2.6. Canales de Distribución**

La Planta tiene canales de distribución las cuales permite el paso de las zanahorias junto con el agua de un proceso a otro y también a la zona de tendal. Los canales

tienen unas dimensiones de 50 cm de ancho con paredes de 1 m de altura y sus bases tienen una inclinación de 25°.

### **1.3. Descripción del Funcionamiento Actual de la Planta**

Son diversos los procesos que se llevan a cabo en la Planta para realizar el lavado de zanahorias, desde la recepción hasta su entrega. Presentamos aquí una descripción del funcionamiento de la Planta, teniendo en cuenta que actualmente los operarios son quienes inician, monitorean y finalizan cada proceso.

#### **1.3.1. Recepción**

Las zanahorias llegan a la Planta en camiones y estas son descargadas en las pozas de remojo, cada poza tiene la capacidad para que en ella sea descargada una camionada de zanahorias que viene a ser aproximadamente 10 toneladas de dicho producto.

#### **1.3.2. Remojo**

Después de ser descargadas las zanahorias en una determinada poza de remojo, el operario procede a abrir la compuerta de entrada de la poza para que se vierta agua sobre esta, la compuerta debe permanecer abierta hasta que la poza se llene sus  $\frac{3}{4}$  partes, cálculo que depende de la habilidad del operario, luego se procede a cerrar la compuerta y dejar que las zanahorias se remojen por un periodo de 15 minutos. Una vez concluido este tiempo se procede a abrir la compuerta de salida de la poza para que las zanahorias junto con el agua pasen por medio de un canal al cilindro de lavado.

#### **1.3.3. Lavado**

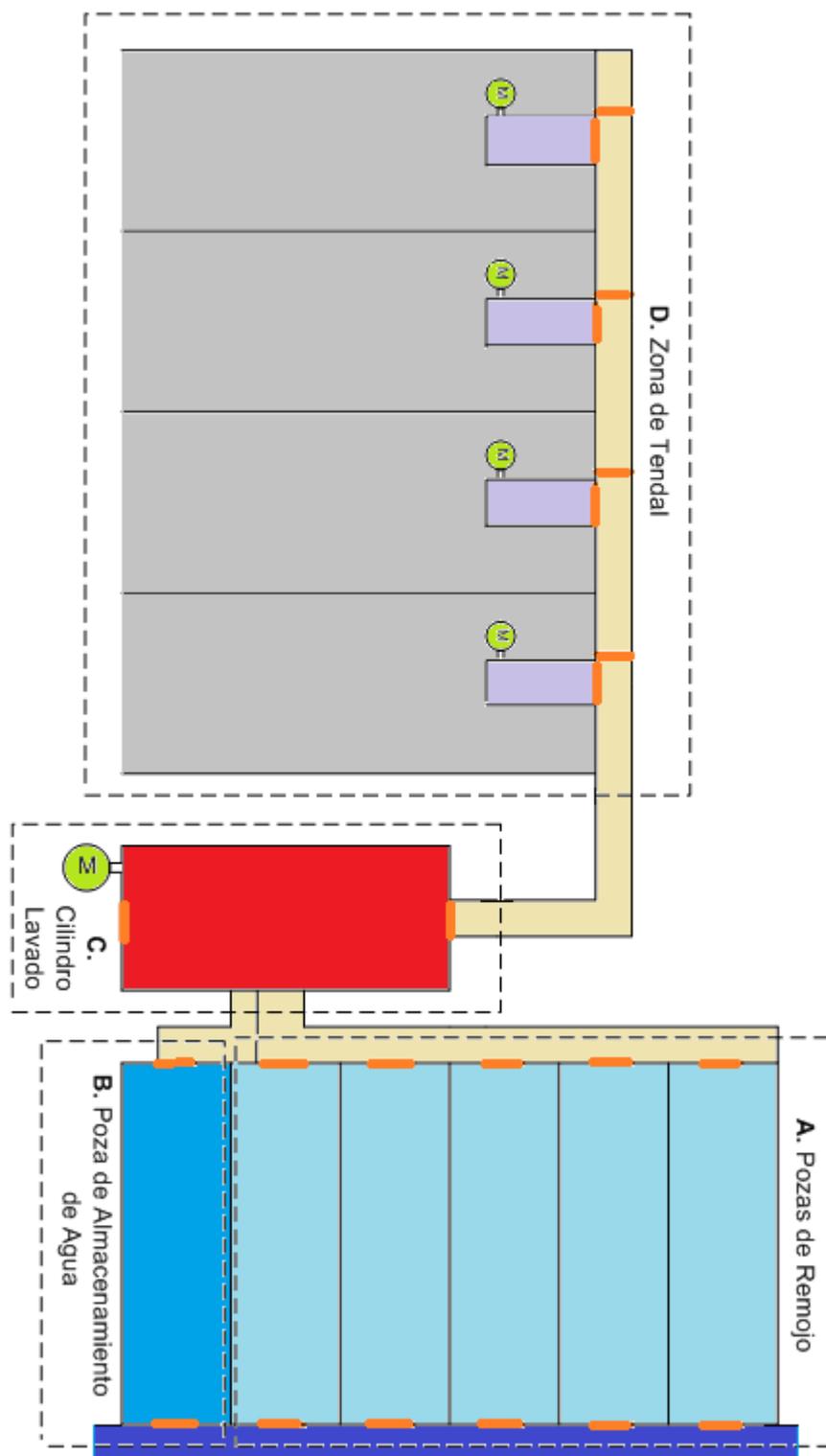
Antes de que pasen las zanahorias al cilindro de lavado se procede a arrancar el motor de este, el cual va accionar las paletas que se encuentran dentro del cilindro para realizar el lavado de las zanahorias y también se procede a abrir la compuerta de salida de la poza de almacenamiento de agua para verter agua al cilindro hasta la  $\frac{1}{4}$  de su capacidad. Una vez que las zanahorias junto con el agua pasan al cilindro se procede a realizar el lavado y cada periodo de 7 minutos se procede a un intercambio de agua por 3 minutos el cual consiste en abrir la compuerta de salida de la poza de almacenamiento de agua y simultáneamente abrir la compuerta de desfogue de agua del cilindro para desalojar el agua sucia. Este proceso de intercambio de agua se realiza tres veces, en consecuencia el periodo de lavado es de 30 minutos.

#### 1.3.4. Direccionamiento

Una vez culminado el proceso de lavado se abre la compuerta de salida del cilindro para que las zanahorias por medio del canal de distribución pasen a la zona de tendal. Debido a que la zona de tendal está dividida en 4 sub zonas se procede a direccionar a las zanahorias junto con el agua a cualquiera de estas sub zonas por medio de la apertura y cierre de compuertas en el canal de distribución. Previamente a este paso se procede a arrancar el motor que va accionar la faja transportadora de la sub zona seleccionada para que se compilen las zanahorias y posteriormente sean entregadas.

En la Figura 1.1 se presenta el diagrama de la Planta de lavado de zanahoria desde una vista horizontal, donde se muestra las siguientes partes: Pozas de remojo, poza de almacenamiento de agua, cilindro de lavado y zona de tendal. Asimismo en el diagrama se muestra el canal que suministra agua a las pozas de remojo, las fajas transportadoras con su respectivo motor para cada una de las cuatro sub zonas de tendal, el motor que acciona el cilindro de lavado, los canales de distribución que comunican un proceso con otro y las veintidós compuertas.

Se hace mención que la Planta se encuentra en un terreno que tiene cierta pendiente para favorecer el paso de las zanahorias junto con el agua de un proceso a otro por medio de la gravedad. En el nivel más alto se encuentran las pozas de remojo y la poza de almacenamiento de agua, en el nivel medio se encuentra el cilindro de lavado y en el nivel bajo se encuentra la zona de tendal. La cabina de control y la oficina de atención a los clientes también se encuentran en el nivel más alto.



**Figura 1.1.** Diagrama de la Planta de Lavado de Zanahoria

## CAPÍTULO 2

### LOS SISTEMAS AUTOMATIZADOS DE LAVADO

#### 2.1. Introducción

En el presente capítulo se dará a conocer los diferentes sistemas de lavado de zanahorias que existen en el medio y las tecnologías existentes para automatizar las operaciones que se realiza en la Planta. Los sistemas de lavado encontrados son realizados por máquinas, las cuales se presentan a continuación:

#### 2.2. Máquinas Lavadoras de Zanahoria

Existen diversas máquinas que realizan el lavado de las zanahorias. Todas estas máquinas lavadoras de zanahorias tienen el mismo principio; sin embargo se diferencian en el diseño, tamaño y cantidad de zanahorias que pueden lavar por hora.

##### 2.2.1. Máquina MEP

Máquina MEP es una máquina lavadora de zanahorias de la empresa “El Pato Máquinas Agrícolas”, esta máquina está compuesta por un cilindro que gira por medio de un motor eléctrico monofásico, en el cilindro se realiza el lavado de las zanahorias y se le aplica agua a presión a través de una bomba. Realizado el lavado se regula la salida de las zanahorias con una compuerta de apertura variable y cae en una mesa de inspección para que sea clasificada y embolsada. La capacidad de lavado de esta máquina es de 0.8 - 1 t/h y con respecto a sus dimensiones el diámetro del cilindro es de 0.9 m x 3 m de largo, asimismo la mesa de trabajo tiene 2.5 m de largo x 1.2 m de ancho. La compuerta del cilindro es regulable de forma manual y su estructura está hecha de acero. En la Figura 2.1 se muestra la imagen de la máquina MEP.



**Figura 2.1.** Máquina MEP

### 2.2.2. Máquina Romero

Máquina Romero es una máquina lavadora de zanahorias la cual está compuesta por un cilindro en donde giran engranajes que lavan las zanahorias, asimismo un canal de trayectoria circular que se encuentra en la parte superior del cilindro y es en donde se descargan las zanahorias para que sean lavadas, también tiene una bomba para verter agua a presión. La capacidad de lavado de esta máquina es de 15 t/h y tiene unas dimensiones de 3 m de largo x 4 m de ancho y una altura de 3 m y la bomba que emplea es de 6 pulgadas, asimismo la máquina para su funcionamiento requiere de combustible diesel con consumo de 1 galón x hora [2]. En la Figura 2.2 se muestra la imagen la máquina Romero.



Figura 2.2. Máquina Romero

### 2.2.3. Máquina Clamahort

Máquina Clamahort es una máquina lavadora de zanahorias, en donde estas entran a la máquina por la boca de entrada al interior del tambor, que se encuentra parcialmente sumergido y girando en un sentido mediante una transmisión de correas conectadas a un motor reductor. Las zanahorias son agitadas dentro del tambor por unas gomas en forma de espiral, esto hace que las zanahorias se limpien al estar sumergidas en el agua. Al finalizar este proceso se procede a abrir las compuertas que retienen las zanahorias dentro del tambor para que pasen a un elevador con duchas para su lavado [3]. En la Figura 2.3 se muestra la imagen de la máquina Clamahort.



**Figura 2.3** Máquina Clamahort

Esta máquina tiene una capacidad de Lavado de 5-30 t/h y para ello emplea un sistema neumático para la apertura de sus compuertas, asimismo emplea un modelo de duchas con tambor giratorio y para el control del agua emplea válvulas de vaciado de 200 mm de diámetro.

Luego de investigar los diferentes sistemas de lavado de zanahoria se concluye que la mayoría de los sistemas de lavado lo realizan máquinas. Al no encontrar una Planta que lave zanahorias como la abordada en el presente estudio se va analizar las posibles tecnologías que se pueden emplear para automatizar las operaciones que se realiza en la Planta de tal manera pueda tener un funcionamiento y control automático.

### **2.3. Sistema de Control**

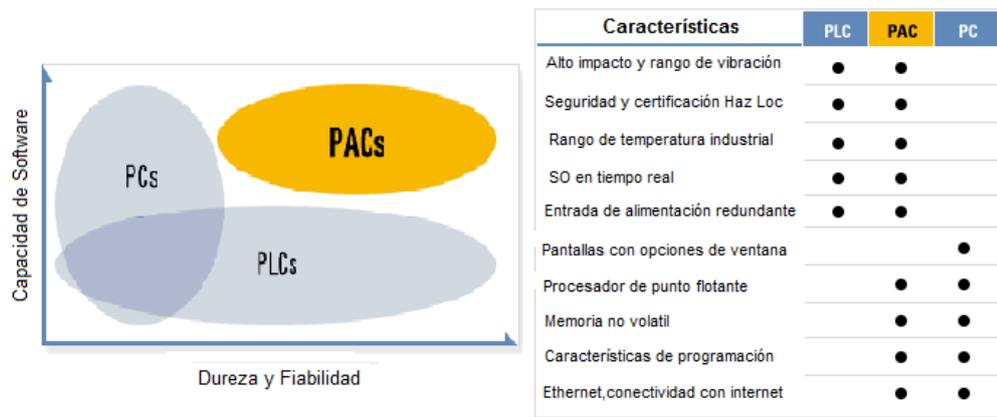
En la industria es indispensable el uso de tecnologías para tener un sistema de control automático y de esta manera tenga un mejor funcionamiento los procesos elaborados, asimismo de reducir los costos y aumentar la productividad. Esto trae muchas ganancias, como por ejemplo: La eliminación de la mano de obra pasiva y la eliminación de errores [4], [10]. El elemento que lleva a cabo todo el sistema de control es el controlador, el cual se describe a continuación.

#### **2.3.1. Controlador**

Es el elemento donde se encuentra programada la lógica de control que gobierna el accionamiento de los actuadores para un determinado funcionamiento en la industria. Las plataformas de control industrial son las siguientes: Controlador lógico programable (PLC), Controlador de automatización programable (PAC) y Controladores basados en PC (PCbA). Los PLCs tienen una amplia variedad de opciones de hardware y es el tipo de control de automatización más utilizado en la industria actualmente, a diferencia los controladores basados en PC emplean un

controlador de software instalado en un equipo industrial permitiendo a los usuarios integrar la programación de alto nivel del equipo o la funcionalidad de otro PC con el control de la automatización del sistema [5].

Los PACs son una combinación de las mejores características de la PCbA incluyendo el procesador, la RAM y software potente con la confiabilidad, robustez y naturaleza distribuida del PLC; esta plataforma es ideal para llevar a cabo un control sofisticado y registro de datos en ambientes ruidosos [6]. En la Figura 2.4. se muestra la comparación de estas plataformas de control industrial mencionadas realizada por National Instruments.



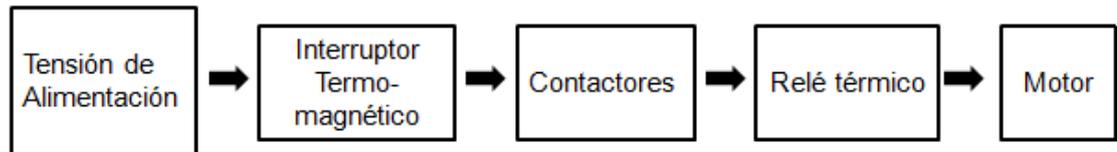
**Figura 2.4.** Comparación entre un PLC, un PCbA y PAC [6].

## 2.4. Sistemas para el Accionamiento de Compuertas

El accionamiento de las compuertas de la Planta puede ser realizado por sistemas como: Sistema eléctrico, sistema neumático, sistema hidráulico. Se presenta una descripción de cada uno de estos sistemas a continuación:

### 2.4.1. Sistema Eléctrico

Un sistema eléctrico es un sistema simple en comparación a otros sistemas, pues solo requiere de corriente eléctrica para su funcionamiento. Los actuadores de este tipo de sistema que podrían emplearse para accionar las compuertas de la Planta serían motores eléctricos con gran torque, los cuales tendrían reductores de velocidad y estarían configuradores para realizar cambio de giro [7]. En la Figura 2.5. se muestra los elementos que conforman el circuito de fuerza para el funcionamiento de un motor eléctrico.



**Figura 2.5.** Diagrama de fuerza de un motor eléctrico.

#### 2.4.2. Sistema Neumático

Este sistema funciona en base a la presión que ejerce el aire comprimido transformándolo en una fuerza mecánica. Para el control del sistema neumático se requiere de los siguientes elementos: Electroválvulas, válvulas reguladoras de caudal, asimismo requiere de unidades de mantenimiento, un compresor y actuadores que convierten la energía neumática en mecánica [8]. En la Figura 2.6 se muestra los elementos de un circuito neumático básico. Los actuadores de este sistema que podrían emplearse para accionar las compuertas en la Planta serían cilindros neumáticos de doble efecto.



**Figura 2.6.** Diagrama del sistema neumático

#### 2.4.3. Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico funciona en base a la presión ejercida por un líquido, generalmente un tipo de aceite. Los circuitos hidráulicos básicos están conformados por cuatro elementos (Ver Figura 2.7): Un depósito para almacenar el fluido hidráulico, una bomba para mover el fluido a través del circuito, válvulas para controlar la presión del fluido y también su flujo y finalmente los actuadores que convierten la energía hidráulica en mecánica [8]. Los actuadores de este tipo de sistema que podrían emplearse para accionar las compuertas de la Planta serían cilindros hidráulicos de doble efecto.



**Figura 2.7.** Diagrama del sistema hidráulico

#### 2.4.4. Comparación entre los Sistemas: Neumático, Hidráulico y Eléctrico

En la Tabla 2.1. se muestra la comparación entre los sistemas: Neumático, hidráulico y eléctrico, tomando en cuenta las principales características que tienen para darle la aplicación de abrir y cerrar compuertas.

**Tabla 2.1.** Comparación entre los sistemas: Neumático, hidráulico y eléctrico [9]

| Descripción                         | Neumático   | Hidráulico  | Eléctrico  |
|-------------------------------------|---|---|--|
| Actuadores para accionar compuertas | Cilindros neumáticos                                    | Cilindros hidráulicos   | Motores eléctricos   |
| Elementos de control                | Válvulas distribuidoras<br>Válvulas de estrangulamiento | Válvulas distribuidoras<br>Válvulas de estrangulamiento                     | Contactores<br>Relés térmicos<br>Interruptores termomagnéticos |
| Fuerza                              | hasta 30 K N  | hasta 3 000 K N   | Depende de la potencia del motor                               |
| Presión de trabajo                  | 6 a 10 bar  | hasta 600 bar   | -  |
| Almacenaje de energía               | Fácil   | Limitada  | -  |
| Efecto de fugas                     | Solo pérdida de energía                                 | Contaminación   | -  |
| Costo del sistema                   | Alto  | Muy Alto  | Alto   |
| Influencia del ambiente             | Aprueba de explosión<br>insensible a la temperatura     | Riesgo de incendio en<br>caso de fuga, sensible a<br>cambios de temperatura | Sensible a temperaturas bajas,<br>humedad, ambiente corrosivo. |



## CAPÍTULO 3

### DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN

#### 3.1. Introducción

En el presente capítulo se desarrolla el diseño del sistema de automatización propuesto para la Planta de lavado de zanahoria, teniendo en cuenta los requerimientos de diseño, las operaciones más convenientes a automatizar y las tecnologías posibles a emplear.

#### 3.2. Objetivos de la Tesis

##### 3.2.1. Objetivo General

Diseñar un sistema de automatización para una Planta de lavado de zanahoria empleando un sistema electroneumático y un sistema de control con PLC, de tal manera que su funcionamiento sea automático.

##### 3.2.2. Objetivos Específicos

- Seleccionar los sensores, actuadores y controlador.
- Diseñar el sistema de control.
- Diseñar el sistema electroneumático.
- Diseñar el interfaz de usuario.

#### 3.3. Requerimientos Generales

Los principales requerimientos generales para la propuesta del diseño del sistema de automatización de la Planta son los siguientes:

- El sistema de automatización propuesto debe ser un sistema de bajo costo.
- El sistema de automatización propuesto debe tener un impacto mínimo en el medio ambiente.
- El sistema de automatización propuesto debe ser robusto y resistente a las condiciones climáticas del ambiente.
- El sistema de automatización propuesto debe ser de fácil mantenimiento y reparación, es decir debe tener soporte técnico.
- El sistema de automatización propuesto debe ser de accesible comprensión y manipulación para los operarios.

### 3.4. Operaciones Susceptibles a ser Automatizadas

- **Accionamiento de las Compuertas:** La apertura y cierre de las compuertas que se realiza en los procesos de la Planta son ejecutadas por los operarios, es una operación tediosa pues requiere esfuerzo físico y de cuidado.
- **Control del Nivel de Agua:** El control del nivel de agua en las pozas y en el cilindro de lavado es realizado por los operarios; en consecuencia, esta operación no se lleva a cabo con precisión pues depende de la habilidad de los operarios.
- **Control de los Tiempos de Lavado:** El control de los tiempos de lavado que se realiza en el cilindro y en las pozas de remojo es controlado por los operarios quienes tienen que estar pendientes del cumplimiento de dichos tiempos.
- **Control de los Motores:** El arranque y parada de los motores es accionado por lo operarios, quienes tienen que esperar el comienzo y fin de cada proceso para encender y apagar los motores de tal manera que no se desperdicie energía eléctrica.

### 3.5. Plan de Automatización

La propuesta tiene como alcance diseñar un sistema de automatización para la Planta en las áreas de: Remojo, Almacenamiento de agua, Lavado y Zona del Tendal; de tal manera que el funcionamiento y control de la Planta sea automático.

#### 3.5.1. Plan de Automatización para las Operaciones

Las áreas a automatizar cuentan con diversas operaciones que fueron analizadas y se hizo una selección de las operaciones más convenientes a automatizar; sin embargo; para que el funcionamiento de la Planta sea automático se agregará algunas operaciones que también serán realizadas por elementos tecnológicos. Entonces el plan de automatización para dichas operaciones son las siguientes:

- **Accionamiento de las Compuertas:** Para la apertura y cierre de las compuertas se ha evaluado diversas tecnologías mencionadas en el capítulo 2 y se ha elegido trabajar con un sistema electroneumático por el cual para el accionamiento de cada compuerta se empleará un cilindro

neumático que será controlado por una electroválvula y esta a su vez por el PLC.

- **Control del Nivel de Agua:** Para el control de nivel de agua en las pozas de remojo y en la poza de almacenamiento de agua se propone emplear sensores de nivel.
- **Control de los Tiempos de Lavado:** El control de los tiempos de lavado lo realizará el reloj interno del PLC que seguirá la lógica de control programada.
- **Control de los Motores:** El control de los motores (arranque y parada) será controlado por el PLC que seguirá la lógica de control programada determinando el momento de exacto para su accionamiento.
- **Estado de las Pozas de Remojo:** Para poder saber el estado (ocupado o disponible) de las pozas de remojo se propone emplear sensores de presencia para cada poza.
- **Estado de la Zona de Tendal:** Para poder saber el estado (ocupado o disponible) de las sub zonas de tendal se propone emplear sensores de presencia para cada una de las 4 sub zonas.

### 3.5.2. Funcionamiento Automático de la Planta

El diseño del sistema propuesto plantea el funcionamiento automático de la Planta desde el proceso de remojo hasta el direccionamiento de las zanahorias a la zona de tendal. Para cumplir con tal objetivo se empleará un controlador PLC que trabajará en conjunto con los sensores y actuadores como se describe a continuación:

Una vez que las zanahorias sean descargadas por los operarios en las pozas de remojo, serán detectadas por los sensores de presencia quienes le indicarán al PLC el estado (ocupado o disponible) de las pozas de remojo. El algoritmo programado en el PLC seleccionará cuál de las pozas debe ser lavada, teniendo en cuenta que la Planta tiene la capacidad de lavar solo una poza a la vez. El algoritmo para la selección de la poza consiste en dar prioridad a las primeras pozas pues estas se encuentran más cerca al cilindro de lavado.

Una vez que el controlador PLC tiene seleccionado la poza a empezar a lavar se procede con el remojo de las zanahorias, para esto el PLC emite una señal para que se abra la compuerta de entrada de la poza seleccionada y de esta manera se pueda verter agua sobre dicha poza. Se verterá agua sobre la poza hasta que el sensor de nivel le indique al PLC que el nivel de agua en la poza está en sus 3/4 partes, entonces inmediatamente el controlador dará la orden de cerrar la compuerta. Luego se deja remojar las zanahorias por 15 minutos, tiempo que es controlado por PLC, para posteriormente dar la señal de apertura de la compuerta de salida de la poza de remojo y de esta manera las zanahorias junto con el agua pasen al cilindro de lavado.

Tres minutos antes de que pasen las zanahorias al cilindro de lavado el controlador PLC dará la orden de arrancar el motor del cilindro y también de abrir por 3 minutos la compuerta de salida de la poza de almacenamiento de agua de tal manera que se vierta agua en el cilindro. Una vez que las zanahorias pasan al cilindro se procede al lavado de las zanahorias que consiste en un constante movimiento de las paletas que se encuentran dentro del cilindro las cuales son accionadas por el motor, asimismo se realiza un intercambio de agua en el cilindro cada 10 minutos el cual será controlado por el PLC quien dará la orden de apertura de las compuerta de salida de la poza de almacenamiento de agua (para que se vierta agua sobre la poza) y de la compuerta de desfogue del cilindro (para que se desaloje el agua sucia), este proceso de intercambio de agua se realiza tres veces.

Después de culminado el proceso de lavado el controlador PLC dará la orden de abrir la compuerta de salida del cilindro del lavado para que las zanahorias pasen a la zona de tendal por medio del canal de distribución. Debido a que la zona de tendal está dividida en 4 sub zonas el controlador PLC seleccionará una de ellas teniendo en cuenta el estado (ocupado o disponible) de cada sub zona que será indicado por los sensores de presencia. Asimismo una vez seleccionada la sub zona de tendal que será ocupada por las zanahorias el PLC dará la orden a abrir y cerrar las compuertas del canal de distribución de tal manera que las zanahorias se direccionen hacia dicha sub zona; simultáneamente el PLC dará la orden de arrancar el motor que active la faja transportadora de la sub zona seleccionada para que compilen las zanahorias. El motor que acciona la faja transportadora se encontrará encendido por 5 minutos; una vez cumplido este tiempo todas las compuertas volverán a su estado por defecto de tal manera que Planta inicie un nuevo lavado de zanahorias.

### 3.5.3. Tecnologías a Considerar en el Sistema de Automatización

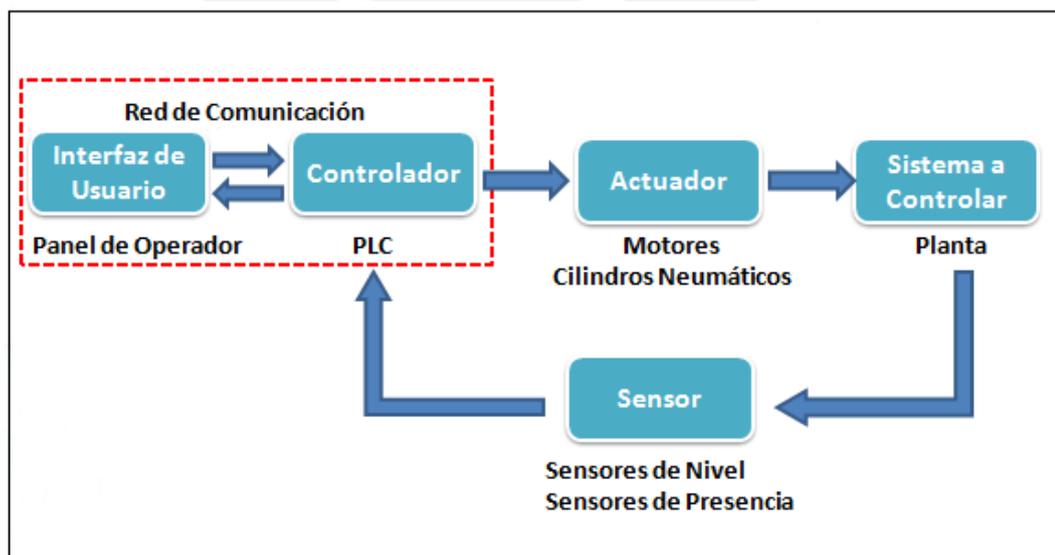
El diseño del sistema de automatización propone la integración de: Un Controlador Lógico Programable (PLC), Panel de Operador, Sensores de Nivel, Sensores de Presencia y Actuadores. En la siguiente Tabla 3.1 se resume las tecnologías propuestas para el diseño del sistema de automatización de la Planta.

**Tabla 3.1.** Resumen de las tecnologías a considerar en la Planta

| ACTIVIDAD                        | TECNOLOGÍA PROPUESTA     | CONTROL | MONITOREO         |
|----------------------------------|--------------------------|---------|-------------------|
| Estado de las Pozas de Remojo    | Sensores de Presencia    | PLC     | Panel de Operador |
| Accionamiento de las Compuertas  | Sistema Electroneumático | PLC     |                   |
| Control del Nivel de Agua        | Sensores de Nivel        | PLC     |                   |
| Control de los Tiempos de Lavado | Controlador              | PLC     |                   |
| Control de los Motores           | Controlador              | PLC     |                   |
| Estado de la Zona de Tendal      | Sensores de Presencia    | PLC     |                   |

### 3.5.4. Diagrama de Bloques del Sistema

Al tener seleccionadas las tecnologías de control que se desarrollarán para el sistema de control (Ver Tabla 3.1), se presenta el diagrama de bloques de los subsistemas involucrados (Ver Figura 3.1) los cuales consideran parte de hardware y software que serán desarrollados en las siguientes páginas.



**Figura 3.1.** Diagrama de Bloques del Sistema de Automatización de la Planta

### 3.6. Diseño del Sistema Electroneumático

La electroneumática es una tecnología que trata sobre la producción y transmisión de movimientos lineales mediante aire comprimido y su control es por medios eléctricos y electrónicos [8]. Se propone emplear este sistema para el accionamiento de las compuertas que hay en la Planta controlado electrónicamente por medio de un controlador lógico programable (PLC).

Las compuertas serán accionadas por cilindros neumáticos de doble efecto en donde la contracción y extensión del vástago abrirá y cerrará la compuerta respectivamente. El estado del cilindro neumático será controlado por una electroválvula 5/2; es decir, de cinco vías y dos estados. Para regular la velocidad se empleará válvulas de estrangulamiento; asimismo se requiere de unidades de mantenimiento, de un compresor y de accesorios neumáticos.

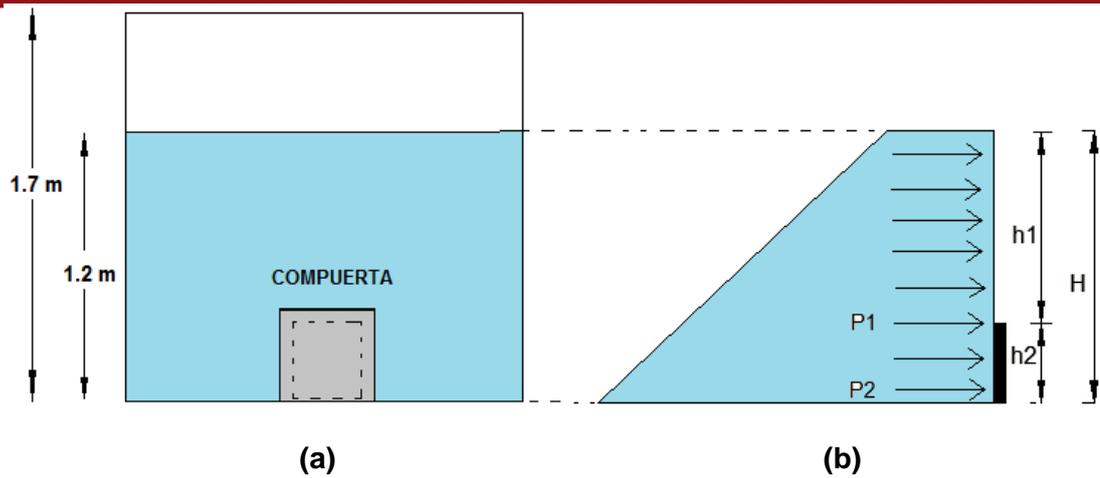
Primero se realizarán algunos cálculos necesarios para poder dimensionar al cilindro neumático y luego se seleccionará los componentes necesarios y finalmente se realizará el diseño del circuito electroneumático.

#### 3.6.1. Fuerza Necesaria para Mover la Compuerta

Es necesario saber cuánta fuerza se necesita para la apertura y cierre de las compuertas. Debido a que las compuertas se encuentran ubicadas en diferentes partes en la Planta analizaremos el caso en el que se necesita mayor fuerza para accionar las compuertas, que es en las pozas pues en ellas la compuerta de salida se encuentra en la parte inferior y debido a ello el agua ejerce presión sobre la compuerta dificultando su apertura.

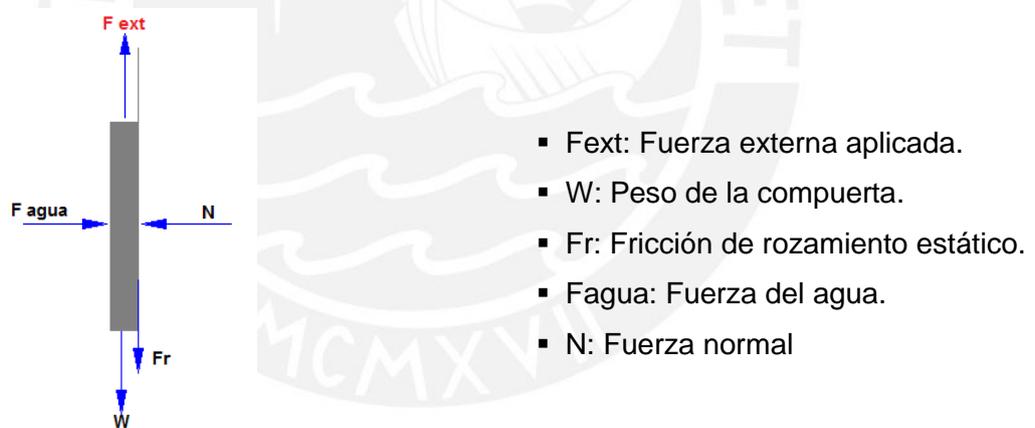
En la Planta todas las compuertas son de acero y tienen las mismas dimensiones: Ancho 0.8 m, largo 0.8 m, espesor 0.02 m y su masa es de 10 Kg; Asimismo un dato muy importante que se tiene que tener en cuenta es que las pozas estarán llenas de agua hasta sus  $\frac{3}{4}$  partes, es decir 1.2 m.

En la Figura 3.2. (a) se muestra la compuerta de salida de la poza, las líneas entrecortadas representan el área que cubre la compuerta que es por donde sale las zanahorias junto con el agua, dicha área es de 0.5 m x 0.5 m. En la Figura 3.2. (b) se muestra desde la vista lateral la presión que ejerce el agua sobre la compuerta.



**Figura 3.2.** Compuerta de salida de una las pozas de la Planta

Para hallar la fuerza mínima necesaria que se tiene que aplicar para poder mover la compuerta, realizaremos primero el diagrama de cuerpo libre de la compuerta, teniendo en cuenta las fuerzas que ejercen sobre esta (Ver figura 3.3.). Debido a que se desea hallar la fuerza mínima necesaria para dar inicio al movimiento de la compuerta, se tiene que analizar el sistema en estado de reposo [11].



**Figura 3.3.** DCL de la Compuerta

Entonces, como la sumatoria de fuerzas es igual a cero se tiene que la fuerza externa mínima necesaria para poder mover la compuerta vendría a ser igual a la suma del peso más la fuerza de fricción estática; y la fuerza que ejerce el agua sobre la compuerta vendría a ser igual a la normal, como se muestra a continuación:

$$F_{ext} = W + Fr \dots \dots \dots (1)$$

$$F_{agua} = N \dots \dots \dots (2)$$

Procederemos a calcular las fuerzas de la ecuación (1) y (2); primero se calculará la fuerza que ejerce la presión del agua sobre la compuerta.

- **Cálculo de Fuerza que Ejerce el Agua sobre la Compuerta**

$$F_{\text{agua}} = \left( \frac{P_1 + P_2}{2} \right) * A \dots \dots \dots (3), \text{ Ver figura 3.2. (b), donde:}$$

P: Presión, A: Área de salida de la poza.

Calculando las presiones y el área:

$$P_1 = \rho * g * h_1 = (1000 \text{ kg/m}^3) * (9.8 \text{ m/s}^2) * (0.7 \text{ m}) = 6860 \text{ N/m}^2$$

$$P_2 = \rho * g * H = (1000 \text{ kg/m}^3) * (9.8 \text{ m/s}^2) * (1.2 \text{ m}) = 11760 \text{ N/m}^2$$

$$A = h_2 * L = (0.5 \text{ m}) * (0.5 \text{ m}) = 0.25 \text{ m}^2$$

Reemplazando en (3):

$$F_{\text{agua}} = \left( \frac{6860 + 11760}{2} \right) * 0.25 = 2327.5 \text{ N}$$

- **Cálculo del Peso de la Compuerta**

$$W = m * g = (10 \text{ kg}) * (9.8 \text{ m/s}^2) = 98 \text{ N}$$

- **Cálculo de Fuerza de Fricción de Estática**

$$F_r = \mu_e * N \dots \dots \dots (4), \text{ donde:}$$

$\mu_e$  = Coeficiente de rozamiento estático entre acero/acero,  $\mu_e = 0.15$ , N = Normal.

De la ecuación (2) se sabe que: N = F<sub>agua</sub> = 2327.5 N

Reemplazando en (4):

$$F_r = \mu_e * N = (0.15) * (2327.5 \text{ N}) = 349.125 \text{ N}$$

- **Fuerza Externa Mínima para Mover la Compuerta**

$$F_{\text{ext}} = W + F_r = (98 \text{ N}) + (349.125 \text{ N}) = 447.125 \text{ N}$$

Entonces la fuerza mínima necesaria que se requiere para poder mover la compuerta es de 447.125 N ó 45.25 Kgf.

### 3.6.2. Cilindro Neumático

Los cilindros neumáticos en distintas configuraciones representan los componentes de energía más comunes que se utilizan en los circuitos neumáticos. Para el presente proyecto se considera emplear como actuadores que accionarán las compuertas de la Planta a cilindros neumáticos de doble efecto, en donde la contracción del vástago abrirá la compuerta y de manera inversa la extensión del vástago cerrará la compuerta [12].

#### 3.6.2.1. Dimensionamiento del Cilindro Neumático

Un cilindro neumático debe ser dimensionado para tener un empuje mayor al requerido de tal manera que pueda contrarrestar la carga. El monto de sobredimensionamiento está gobernado por la velocidad deseada del movimiento del émbolo. Debido a que la velocidad de desplazamiento no es importante, se seleccionará un cilindro con una fuerza de empuje en 25% superior a lo necesario [8]. Entonces realizando el sobredimensionamiento a la fuerza externa mínima necesaria, para mover la compuerta, calculada en la parte anterior se tiene:

$$F'_{ext} = 125\% * F_{ext} = 1.25 * (447.125 \text{ N}) = 559 \text{ N}$$

Con ello se tendría los siguientes datos:

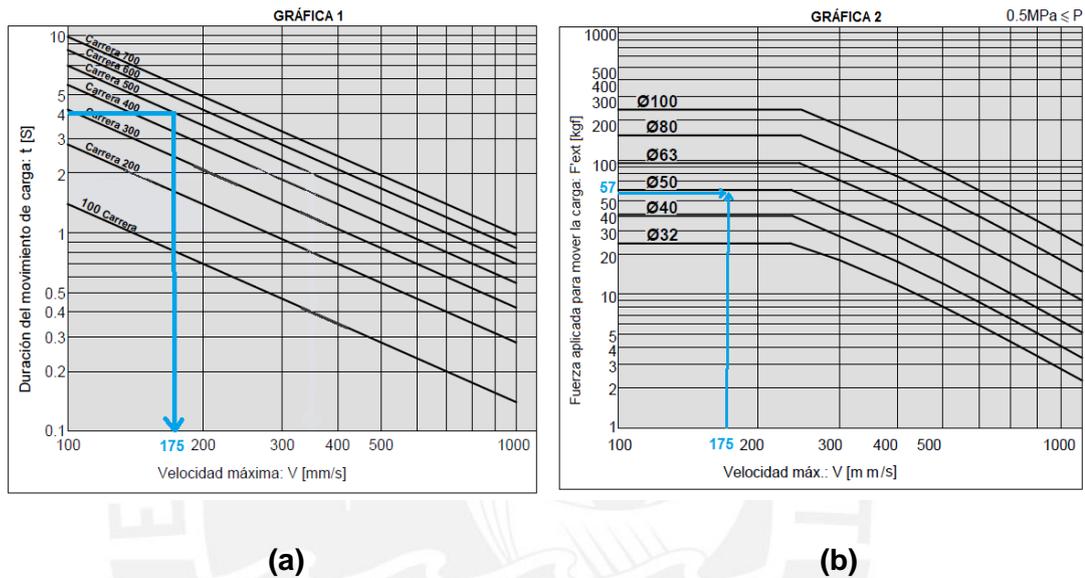
- Fuerza de empuje:  $F'_{ext} = 559 \text{ N}$  ó 57 kgf
- Distancia de movimiento de la compuerta: Longitud de carrera = 0.5 m
- Duración del movimiento:  $t = 4 \text{ s}$
- Presión de trabajo:  $P = 6 \text{ bar}$  ó 0.6 MPa

Se tiene que tener en cuenta que las compuertas de la Planta se moverán en forma vertical; es decir, la extensión y contracción del vástago del cilindro neumático será también vertical. Asimismo se considera que la longitud de carrera es de 0.5 m pues esa es la distancia que tiene que recorrer la compuerta para su apertura y así poder dejar en descubierto el área de 0.5 m x 0.5 m que tiene la poza para que salgan las zanahorias junto con el agua.

Se procede a determinar la velocidad máxima de movimiento de la compuerta en base a la duración del movimiento de la compuerta para su apertura que es de 4 segundos, de acuerdo a la Figura 3.4. (a) Cálculo de la velocidad máxima de la

carga, se tiene que la velocidad máxima de movimiento de la compuerta será 175 mm/s.

Una vez calculado la velocidad máxima de movimiento de la compuerta 175 mm/s y teniendo como dato la fuerza de empuje del vástago de 57 kgf se procede a calcular el diámetro del émbolo del cilindro. De acuerdo a la Figura 3.4.(b) Cálculo del diámetro de émbolo del cilindro, se determina que el diámetro del cilindro será de 50 mm.



**Figura 3.4.** Dimensionamiento del Cilindro Neumático

Debido a que el diámetro del émbolo del cilindro será de 50 mm, entonces el diámetro del vástago será de 20 mm de acuerdo de las normas ISO 15552 y con longitud de carrera de 0.5 m.

### 3.6.2.2. Selección del Cilindro Neumático

La selección del cilindro neumático de doble efecto se realiza en base a los diámetros del émbolo y vástago, asimismo la longitud de carrera y la presión de trabajo. Estas características fueron calculadas y definidas en la parte anterior y vienen a ser nuestros requerimientos principales que se tiene que tener en cuenta para la selección del cilindro. En la Tabla 3.2 muestra un resumen de los requerimientos para la selección del cilindro neumático y en la Tabla 3.3 se muestra las características de los cilindros normalizados según ISO 15552 del fabricante Festo disponibles en el mercado.

**Tabla 3.2.** Requerimientos de los cilindros neumáticos

| Descripción          | Requisito    |
|----------------------|--------------|
| Funcionamiento       | Doble efecto |
| Diámetro del émbolo  | 50 mm        |
| Diámetro del vástago | 20 mm        |
| Longitud de carrera  | 500 mm       |
| Presión de trabajo   | 6 bar        |

**Tabla 3.3.** Cilindros neumáticos en base a la norma ISO 15552 posibles a emplear

| Descripción            | DSBF-C-50    | DNC-50-500-PPV | DNG-50-500-PPV-A |
|------------------------|--------------|----------------|------------------|
| Funcionamiento         | Doble efecto | Doble efecto   | Doble efecto     |
| Fluido                 | Aire         | Aire           | Aire             |
| Diámetro del émbolo    | 50 mm        | 50 mm          | 50 mm            |
| Diámetro del vástago   | 20 mm        | 20 mm          | 20 mm            |
| Longitud de carrera    | 500 mm       | 500 mm         | 500 mm           |
| Presión de trabajo     | 0.6 a 12 bar | 0.6 a 12 bar   | 0.6 a 12 bar     |
| Temperatura de trabajo | -40 a 120 °C | -20 a 80 °C    | -20 a 80 °C      |
| Amortiguación          | Neumática    | Neumática      | Neumático        |
| Cilindros necesarios   | 22           | 22             | 22               |
| Costo total S/.        | 12504.8      | 19278.60       | 22817.52         |

Los tres modelos de los cilindros neumáticos cumplen con los requerimientos en cuanto a presión de trabajo, dimensiones y funcionamiento; sin embargo, se selecciona el modelo DSB-C-50 principalmente por un tema de costos.

### 3.6.3. Compresor

Los compresores son máquinas rotativas que se encargan de arrancar, llevar y transportar volúmenes de aire desde la atmósfera hasta el tanque o reservorio de aire, siendo en este donde el aire se comprime. La fuente de energía de aire se origina en el compresor a través del cual se elevará el nivel energético de presión del aire para ser utilizado en sistemas neumáticos previo tratamiento del aire [12].

#### 3.6.3.1. Dimensionamiento del Compresor

- **Cálculo del Caudal para un Cilindro Neumático**

Se procederá a calcular el caudal que consume un cilindro neumático de acuerdo a sus dimensiones, para ello se tiene que tener en cuenta las dimensiones del cilindro calculados anteriormente:

Diámetro del émbolo:  $D = 50 \text{ mm}$ , Diámetro del vástago:  $d = 20 \text{ mm}$ , Longitud de carrera:  $L = 500 \text{ mm}$ .

Se sabe que el caudal total consumido por un cilindro neumático está dado por el caudal de avance (extensión del vástago) más el caudal de retroceso (contracción del vástago) [8], como se describe a continuación:

$$Q_t = Q_v + Q_r \dots\dots\dots (1)$$

$$Q_v = (A_v * L + V_t) * n \dots\dots\dots (2)$$

$$Q_r = (A_r * L + V_t) * n \dots\dots\dots (3)$$

Donde:

$Q_t$ : Caudal total consumido por un cilindro neumático,  $Q_v$ : Caudal de avance,  $Q_r$ : Caudal de retroceso,  $L$ : Longitud de carrera,  $V_t$ : Volumen residual,  $n$ : Número de carreras por tiempo.

▪ **Cálculo del caudal de Avance**

$$A_v = \frac{\pi * D^2}{4} = \frac{\pi * 50^2}{4} = 1963 \text{ mm}^2, L = 500 \text{ mm}, V_t = 30000 \text{ mm}^3, n = \frac{1}{4 \text{ seg}}$$

Reemplazando en (2):

$$Q_v = (1963 \text{ mm}^2 * 500 \text{ mm} + 30000 \text{ mm}^3) * \left(\frac{1}{4 \text{ seg}}\right) = 252875 \text{ mm}^3/\text{s} \text{ ó } 0.252875 \text{ l/s}$$

▪ **Cálculo del Caudal de Retroceso**

$$A_r = \frac{\pi * d^2}{4} = \frac{\pi * 20^2}{4} = 1649 \text{ mm}^2, L = 500 \text{ mm}, V_t = 30000 \text{ mm}^3, n = \frac{1}{4 \text{ seg}}$$

Reemplazando en (3):

$$Q_r = (1649 \text{ mm}^2 * 500 \text{ mm} + 30000 \text{ mm}^3) * \left(\frac{1}{4 \text{ seg}}\right) = 213625 \text{ mm}^3/\text{s} \text{ ó } 0.213625 \text{ l/s}$$

▪ **Caudal Consumido por un Cilindro Neumático**

$$Q_t = Q_v + Q_r$$

$$Q_t = 0.252875 \text{ l/s} + 0.213625 \text{ l/s}$$

$$Q_t = 0.4665 \text{ l/s}, \text{ caudal consumido por un cilindro neumático.}$$

▪ **Cálculo del Caudal del Compresor**

$$Q_c = Q_a * (P_1/P_o) * (T_1/T_o) \dots\dots\dots (4), \text{ donde:}$$

Qa: Caudal total de los cilindros que van a trabajar simultáneamente, P1: Presión de trabajo de los cilindros, Po: Presión atmosférica, T1: Temperatura de trabajo en Kelvin, To: Temperatura de ambiente en Kelvin.

Se tiene que tener en cuenta que en la Planta se puede dar el caso que como máximo trabajen 3 cilindros neumáticos simultáneamente; sin embargo, proyectándonos a futuras ampliaciones vamos a considerar que trabajen 5 cilindros neumáticos simultáneamente, entonces quintuplicamos el caudal consumido por un cilindro para calcular el caudal total consumido:

$$Q_a = 5 * Q_t = 5 * (0.4665 \text{ l/s}) = 2.2325 \text{ l/s}$$

Qa = 2.2325 l/s, caudal consumido por los cilindros que trabajan simultáneamente.

Entonces se tienen los siguientes datos:

$$Q_a = 2.23.23 \text{ l/s}, P_1 = 6 \text{ bar}, P_o = 1 \text{ bar}, T_1 = 323^\circ\text{k}, T_o = 293^\circ\text{k}$$

Reemplazando en (4) para calcular el caudal del compresor:

$$Q_c = (2.2325 \text{ l/s}) * \left( \frac{6 \text{ bar}}{1 \text{ bar}} \right) * \left( \frac{323^\circ\text{k}}{293^\circ\text{k}} \right)$$

Qc = 14.76 l/s, caudal del compresor.

▪ **Cálculo de la Potencia Neumática**

Pneumática = Pt \* Qc..... (5), donde:

Pt: Presión mínima de trabajo del compresor, Qc: Caudal del compresor.

Se tienen los siguientes datos:

$$P_t = 8 \text{ bar}, Q_c = 14.76 \text{ l/s}, \text{ entonces reemplazando en (5):}$$

$$P_{\text{neumática}} = (8 \text{ bar}) * (14.76 \text{ l/s})$$

$$P_{\text{neumática}} = (8 * 10^5 \text{ N/m}^2) * (0.01476 \text{ m}^3/\text{s})$$

$$P_{\text{neumática}} = 11\ 808 \text{ Nm/s}$$

Pneumática = 11.808 K Watts, potencia neumática del compresor.

▪ **Cálculo de la Potencia del Motor Eléctrico**

$$P_{\text{motor}} = \frac{P_{\text{neumática}}}{N} \dots\dots\dots (6), \text{ donde:}$$

N: Rendimiento del compresor

Se sabe que el rendimiento de los compresores tipo pistón en promedio es de 80%.

Entonces se tendría los siguientes datos:

$N = 80\%$ , Pneumática = 14.76 K Watts, entonces reemplazando en (6):

$$P_{\text{motor}} = \frac{11.808 \text{ K watts}}{0.8} = 14.76 \text{ K watts, potencia del motor eléctrico.}$$

Entonces de acuerdo al dimensionamiento el compresor debe tener una potencia eléctrica de 14.76 K watts, una presión mínima de 8 bar, y un caudal mínimo de 14.76 l/s.

### 3.6.3.2. Selección del Compresor

La elección del tipo de compresor se realiza de acuerdo al trabajo que se desea realizar tomando en cuenta principalmente las variables de presión, caudal y potencia del motor. Estas variables fueron calculadas en la parte anterior y vendrían a ser los requerimientos para la selección del compresor como se muestra en la Tabla 3.4. Se debe tener en cuenta que solo un compresor abastecerá a toda la Planta.

Se propone emplear un compresor de tipo pistón que se caracteriza por el aire que aspira a presión atmosférica se comprime a la presión deseada en una sola etapa. En la Tabla 3.5 se muestra los compresores de tipo pistón posibles a emplear.

**Tabla 3.4.** Requerimientos del compresor

| Descripción        | Requisito     |
|--------------------|---------------|
| Tipo de compresor  | Pistón        |
| Caudal             | 14.76 l/s     |
| Presión de trabajo | 10 bar        |
| Potencia del motor | 14.75 K watts |

**Tabla 3.5.** Compresores del fabricante Atlas Copco posibles a emplear

| Descripción             | LE-20-10  | LT-20-15  | LT-20-30  |
|-------------------------|-----------|-----------|-----------|
| Tipo de compresor       | Pistón    | Pistón    | Pistón    |
| Presión máx. de trabajo | 10 bar    | 15 bar    | 30 bar    |
| Caudal                  | 23.9 l/s  | 18 l/s    | 17 l/s    |
| Potencia del motor      | 15K watts | 15K watts | 15K watts |
| Nivel sonoro            | 86 dB     | 88 dB     | 86 dB     |
| Compresores necesarios  | 1         | 1         | 1         |
| Costo Total S/.         | 4140      | 5280      | 5960      |

Se considera emplear el compresor LE-20-15 de Atlas Copco por su presión máxima de trabajo y su caudal. La presión máxima de trabajo de 15 bar de este compresor es adecuada para la funcionalidad que se propone en el presente estudio pues la presión normal de trabajo del compresor será 10 bar.

### 3.6.4. Unidad de Mantenimiento

La unidad de mantenimiento permite acondicionar el aire antes de su utilización para evitar efectos nocivos al equipo neumático. Este elemento está compuesto por un filtro, un regulador y un lubricador [12].

- El filtro retira las impurezas, el condensado y los restos de aceite de lubricación del compresor.
- El regulador de presión mantiene la presión constante en la instalación y la protege de oscilaciones y de sobre presiones.
- El lubricador provee el aceite pulverizado necesario para la lubricación de las válvulas y cilindros.

#### 3.6.4.1. Selección de Unidad de Mantenimiento

Para la selección de la unidad de mantenimiento se tiene que tener en cuenta la presión de trabajo, el grado de filtración, el caudal de trabajo que tiene que tener para abastecer a los cilindros neumáticos y si la purga de condensado va a ser manual o automático. Para el presente proyecto se propone emplear 3 unidades de mantenimiento que serán distribuidas en la Planta en donde cada una de las unidades abastecerá de aire por lo mucho a 6 cilindros neumáticos. Teniendo en cuenta dicha consideración en la Tabla 3.6 se presenta los principales requerimientos para la selección de la unidad de mantenimiento. Asimismo en la Tabla 3.7 se presenta las unidades de mantenimiento con filtro regulador y lubricador del fabricante Festo disponibles en el mercado.

**Tabla 3.6.** Requerimientos de la unidad de mantenimiento

| Descripción           | Requisito        |
|-----------------------|------------------|
| Regulación de presión | 6 bar            |
| Grado de Filtración   | 40 $\mu\text{m}$ |
| Caudal de trabajo     | Mín. 140 l/min   |
| Purga de condensado   | manual           |

**Tabla 3.7.** Unidades de mantenimiento posibles a emplear

| Descripción              | FRC-1/8-D-MINI      | MSB4-1/8-FRC5:J1M1  |
|--------------------------|---------------------|---------------------|
| Construcción             | Filtro/Reg./Lubric. | Filtro/Reg./Lubric. |
| Grado de Filtración      | 40 $\mu$ m          | 40 $\mu$ m          |
| Caudal de trabajo        | 700 l/min           | 850 l/min           |
| Presión de trabajo       | 1 a 16 bar          | 1.5 a 14 bar        |
| Regulación de presión    | 0.5 a 12 bar        | 0.5 a 12 bar        |
| Evacuación de condensado | giro manual         | giro manual         |
| Unidades necesarias      | 3                   | 3                   |
| Costo total S/.          | 1226.52             | 1517.58             |

Los dos modelos cumplen con los requerimientos; sin embargo, se elige el modelo FRC-1/8-D-MINI por un tema costos principalmente. La distribución física de las 3 unidades de mantenimiento en la Planta se presenta en el Anexo 1.

### 3.6.5. Electroválvula de Distribución

Una electroválvula de distribución determina el paso del aire entre sus vías cambiando sus direcciones internas. El control de este tipo de electroválvulas es por señales eléctricas que activan y desactivan sus solenoides. Debido a que se trabaja con cilindros neumáticos de doble efecto se va trabajar con electroválvulas 5/2, es decir, de 5 vías y 2 estados.

#### 3.6.5.1. Selección de la Electroválvula

Para la selección de la electroválvula se tiene que tener en cuenta el caudal de aire normal que permite conducir y la tensión de control de los solenoides. En cálculos anteriores se determinó que el caudal consumido por cada cilindro neumático es de 26.79 l/min, entonces se seleccionará una electroválvula que tenga como mínimo dicho caudal y se va considerar trabajar con una tensión de control de 24 VDC, para la alimentación de los solenoides. En la Tabla 3.8 se presenta las electroválvulas del fabricante Festo posibles a emplear.

Se selecciona el modelo JMDH-5/2-D-2-M12-C pues el caudal nominal normal de trabajo que tiene es suficiente para los requerimientos del cilindro neumático, asimismo es más económico que la otra electroválvula. La alimentación de las bobinas de las electroválvulas será dado por una fuente de 24Vdc/ 2.5A con la cual cubrirá el consumo de corriente total, pues el accionamiento de las bobinas será secuencial y solo se da el caso de que dos bobinas trabajen simultáneamente. Las características de la fuente elegida se presentan en el Anexo 2.

**Tabla 3.8.** Electroválvulas posibles a emplear

| Descripción                | JMDH-5/2-D-2-M12-C | VSVA-B-B52-ZD-A2-1T1L |
|----------------------------|--------------------|-----------------------|
| Función                    | 5/2 biestable      | 5/2 biestable         |
| Accionamiento              | Eléctrico          | Eléctrico             |
| Caudal normal              | 300 l/min          | 550 l/min             |
| Presión de funcionamiento  | 2 a 10 bar         | 0.9 a 10 bar          |
| Datos de la bobina         | 5 a 24Vdc/ 2,7W    | 5 a 24Vdc/1,6W        |
| Temperatura de trabajo     | -10 a 50 °C        | -5 a 50 °C            |
| Electroválvulas necesarias | 22                 | 22                    |
| Costo total S/.            | 10256.4            | 16214                 |

### 3.6.6. Válvula de Estrangulamiento Unidireccional

Las válvulas de estrangulamiento unidireccional permiten controlar el flujo de aire y se emplea para regular la velocidad de los cilindros neumáticos, esta válvula tiene un estrangulamiento variable y en paralelo está acompañado de una válvula de retención, de este modo un lado regula el caudal y el otro se encarga del antiretorno del aire de alimentación.

#### 3.6.6.1. Selección de la Válvula de Estrangulamiento

La selección de la válvula de estrangulamiento unidireccional se basa principalmente en el caudal de avance y retroceso que tiene el cilindro neumático y en la presión de trabajo. El caudal de avance vendrá a ser el mismo que el caudal de anti retorno y el caudal de retroceso vendrá a ser el caudal de estrangulamiento. Anteriormente se calculó dichos datos siendo el caudal de avance 15.17 l/min y el caudal de retroceso 12.81 l/min, asimismo la presión de trabajo será de 6 bar. En la Tabla 3.9 se muestra las válvulas de estrangulamiento unidireccionales del fabricante Festo posibles a emplear.

**Tabla 3.9.** Válvulas de estrangulamiento unidireccional posibles a emplear

| Descripción             | VFOC-S-S4-Q4   | GRP-160-PK-4   |
|-------------------------|----------------|----------------|
| Caudal estrangulamiento | 0 a 100 l/min  | 0 a 37.5 l/min |
| Caudal anti retorno     | 60 a 100 l/min | 25 a 90 l/min  |
| Presión de trabajo      | 0.2 a 10 bar   | 0 a 8 bar      |
| Tipo de accionamiento   | manual         | manual         |
| Temperatura de ambiente | -10 a 60 °C    | -10 a 50 °C    |
| Válvulas necesarias     | 44             | 44             |
| Costo Total S/.         | 7748.72        | 2315.28        |

Se selecciona la válvula de estrangulamiento GRP-160-PK-4 principalmente por un tema de costos, pues los dos modelos cumplen con los requerimientos.

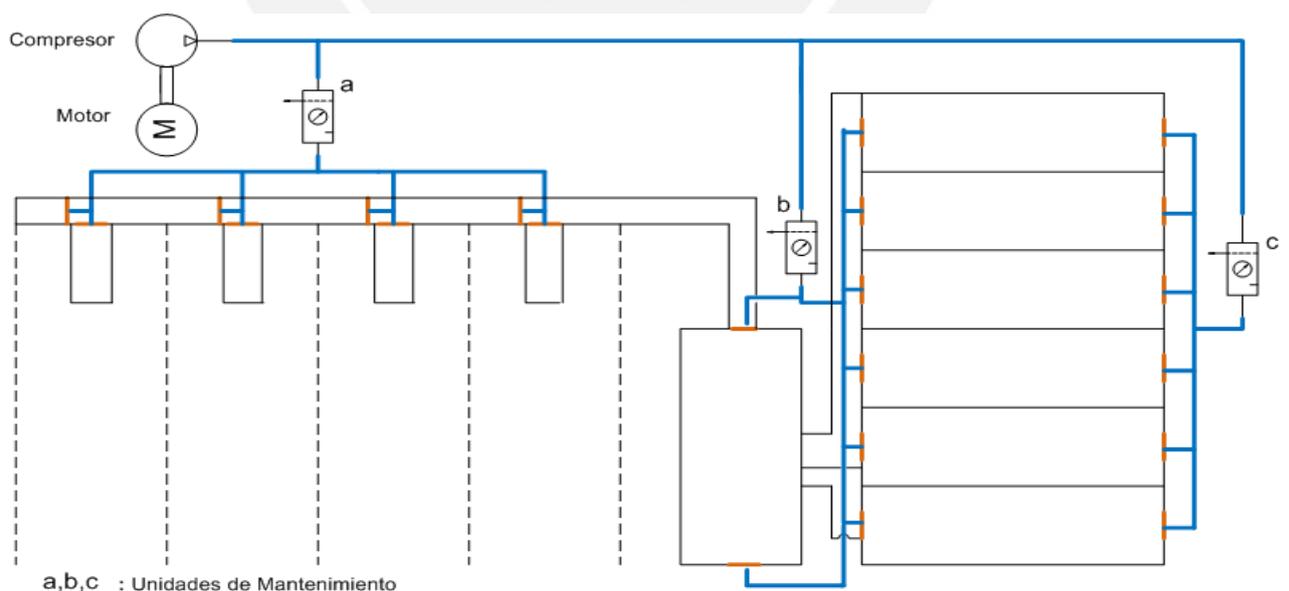
### 3.6.7. Red de Distribución de Aire

La red de distribución del aire es el medio por donde se transporta el aire desde el compresor hasta los cilindros neumáticos para su accionamiento. Esta red está compuesta por tuberías, distribuidoras y mangueras; su diseño y mantenimiento juega un papel importante en los procesos productivos cuya energía utilizada es el aire. Para diseño de la red de distribución de aire se tiene que tener en cuenta que para favorecer la conducción del aire las tuberías tienen que tener una pendiente cerca de 1% en la dirección del fluido y deberán ser ajustables.

El diámetro de las tuberías será de 1/2" y fueron calculadas de acuerdo al monograma presentado en el Anexo 3. En la Figura 3.5. se presenta el esquema de la red de distribución de aire.

### 3.6.8. Circuito Electroneumático

El circuito electroneumático que se diseñó para el accionamiento de las compuertas está compuesto por: Un compresor, 3 unidades de mantenimiento, 22 electroválvulas, 44 válvulas de estrangulamiento unidireccionales, 22 cilindros neumáticos. En la Figura 3.6 se presenta el diseño del circuito electroneumático para la Planta.



**Figura 3.5.** Esquema de la Red de distribución de aire en la Planta

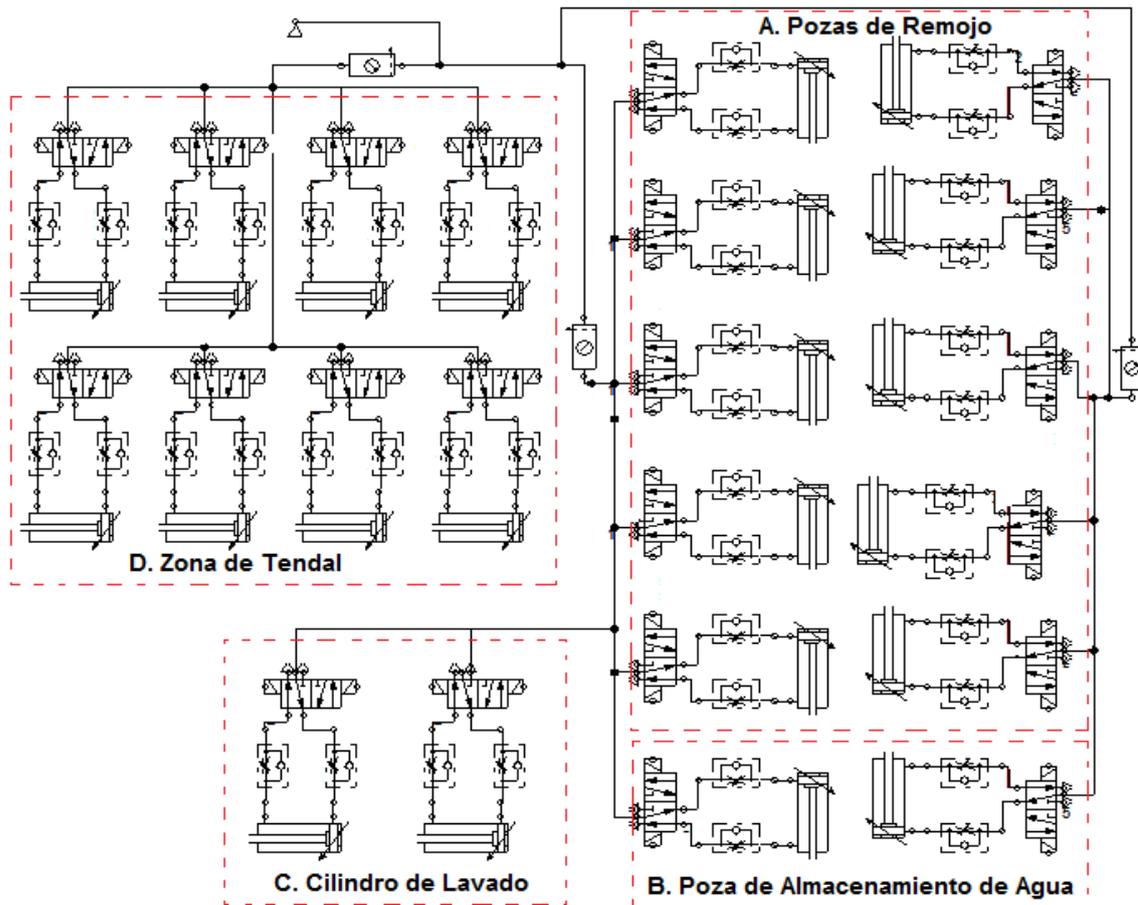


Figura 3.6. Diseño del Circuito Electro neumático de la Planta

### 3.6.9. Análisis de Posible Fallas

El sistema electro neumático para que sea un sistema seguro de tal manera que su funcionamiento sea continuo sin posibles fallas debe tener un mantenimiento adecuado. El mantenimiento debe realizarse principalmente a los componentes neumáticos que requieren que sus condiciones de trabajo sean buenas. Para ello previamente se analiza que es lo que puede afectar al sistema dentro de la Planta.

El factor que puede afectar de manera considerable al sistema electro neumático en la Planta es la contaminación del medio ambiente. Partículas de polvo y agua puede entrar en los componentes neumáticos y causar un desgaste prematuro o averías como la obstrucción y agarrotamiento de los componentes móviles y la disminución de la eficiencia del sistema [22].

En el Anexo 10. se presenta una tabla donde se detalla las posibles fallas que puede tener el sistema electro neumático del presente caso, asimismo sus posibles causas y el procedimiento que se debe seguir ante dichos eventos.

### 3.6.9.1. Opciones de Seguridad

- Comprobación de que no haya fugas o pérdidas en la red de distribución de aire, mangueras y cilindros neumáticos.
- Comprobación del buen funcionamiento del compresor y el depósito de aire para evitar fallas que puedan conducir a su avería y la contaminación de todo el sistema.
- Utilización de carcasas para los componentes para su protección contra contaminantes del medio ambiente.
- Análisis de aire periódicamente para detectar el desgaste interno de los componentes.

## 3.7. Dispositivos de Entrada

### 3.7.1. Sensores

Las entradas del sistema están compuesto por sensores, es así que para el presente diseño se emplearán dos tipos de estos dispositivos: Sensores de nivel y sensores de presencia; en donde los sensores de nivel indicarán el nivel de agua en las pozas enviando una señal (1 ó 0) al PLC quien procesará la información; de modo similar los sensores de presencia enviaran una señal de detección o no detección (1 ó 0) de zanahorias en las pozas de remojo y en las zonas de tendal.

#### 3.7.1.1. Selección de Sensores de Presencia para las Pozas de Remojo

En las pozas de remojo lo que se desea es saber si están ocupadas o desocupadas de zanahorias; para tal labor se emplearán sensores de presencia que se adecuen a la disposición física de las pozas teniendo en cuenta que en estas se vierten agua. Debido a ello, se tiene que seleccionar un sensor que tenga una visión directa solo con las zanahorias que se van a encontrar dentro de las pozas; por tal motivo se descarta los sensores de presencia que detecten movimiento y que tengan ángulo de cobertura pues darían falsas detecciones. En consecuencia se evalúa usar la tecnología de los sensores fotoeléctricos de tipo difuso reflectivo que se caracterizan por tener el componente emisor y receptor en un solo cuerpo y un reflector catadióptrico que emite un haz de luz que viaja en línea recta, entonces el objeto es detectado cuando el haz formado entre el componente emisor, el reflector y el componente receptor es interrumpido [21]. Se plantean los requerimientos para la selección del sensor en la Tabla 3.10 y en la Tabla 3.11 se muestra las características de los sensores fotoeléctricos disponibles de la serie V del fabricante Optex.

**Tabla 3.10.** Requerimientos de los sensores de presencia para las pozas de remojo

| Descripción            | Requisito        |
|------------------------|------------------|
| Longitud de cobertura  | Menor a 5 metros |
| Temperatura de trabajo | -5 a +35°C       |
| Consumo de energía     | La menor posible |
| Tipo de Salida         | Relé             |
| Tipo de Sensor         | Fotoeléctrico    |

**Tabla 3.11.** Sensores Fotoeléctricos de tipo difuso reflectivo posibles a emplear para las pozas de remojo

| Descripción             | VD-300      | VD-130       | V3D-130     |
|-------------------------|-------------|--------------|-------------|
| Longitud de Cobertura   | 3 m         | 1.3m         | 1.5m        |
| Consumo de Potencia     | 5 watts     | 5 watts      | 5 watts     |
| Tipo de Salida          | Relé        | Relé         | Relé        |
| Voltaje de Alimentación | 12 a 240Vdc | 12 a 240 Vdc | 12 a 240Vdc |
| Temperatura Ambiente    | -25 ~ +55°C | -25 ~ +55°C  | -25 ~ +55°C |
| Sensores necesarios     | 5           | 5            | 5           |
| Costo Total S/.         | 320         | 250          | 300         |

Se considera emplear el modelo: VD-300 por el rango de detección principalmente pues se adecua con la disposición física de la poza de remojo para una más fácil instalación. Se usará un sensor de este tipo para cada poza, en consecuencia se usarán 5 sensores. Para mayor detalle de la ubicación de los sensores en las pozas revisar el Anexo 4.1. Asimismo las características del sensor elegido se presentan en el Anexo 5.1.

Entre las características más importantes del sensor es que no tiene un ángulo de cobertura sino simplemente un haz de luz con un rango de detección de 3 m, permitiendo evitar falsas detecciones. Una ventaja de este tipo de sensor es que la detección no es afectada por el color del objeto y puede trabajar en condiciones de polvo o nebulosidad, asimismo el bajo consumo de potencia permite mantener un diseño eficiente y efectivo del sistema de automatización.

### 3.7.1.2. Selección de Sensores de Presencia para la Zona de Tendal

La zona de tendal al estar dividida en 4 sub zonas, lo que se desea es saber cuál de estas está ocupada o disponible de zanahorias una vez que han sido lavadas, para la selección del tipo de sensor se tiene que tomar en cuenta que por esta área siempre transitan los operarios así que un sensor de presencia que detecte movimiento como son los sensores ultrasónicos quedan descartados, del mismo

modo quedan descartados los sensores infrarrojos pues estos captan la presencia al detectar un cambio de temperatura en el ambiente. Por tal motivo, en las pozas de remojo se requiere de sensores que tengan una visión directa con las zanahorias y que no tengan ángulo de cobertura para evitar falsas detecciones. En consecuencia se evalúa usar sensores fotoeléctricos de tipo barrera que se caracterizan por estar compuesta en dos partes, un componente que emite un haz de luz y otro componente que lo recibe, de tal manera que la detección se da cuando un objeto interrumpe el haz de luz. Una ventaja de este tipo de sensor es que es que la detección no se ve afectada por el color, la textura o el brillo del objeto a detectar. En la Tabla 3.12 se muestran los sensores fotoeléctricos de la serie V del fabricante Optex.

**Tabla 3.12.** Sensores Fotoeléctricos de tipo barrera posibles a usar en la zona de tendal

| Descripción             | V3T-4000     | V4T-4000    | VT-4000      |
|-------------------------|--------------|-------------|--------------|
| Rango de Detección      | hasta 40 m   | hasta 40 m  | hasta 40 m   |
| Sensores Necesarios     | 4            | 4           | 4            |
| Consumo de Potencia     | 9.5 watts    | 9.5 watts   | 8.5 watts    |
| Tipo de Salida          | Relé         | Relé        | Relé         |
| Voltaje de Alimentación | 12 a 240 Vdc | 12 a 24 VDC | 12 a 240 VDC |
| Temperatura Ambiente    | -25 ~ +55°C  | -25 ~ +55°C | -25 ~ +55°C  |
| Costo Total S/.         | 320          | 300         | 270          |

Se ha elegido el sensor fotoeléctrico de tipo barrera con código VT-4000 por su precio y consumo de energía principalmente. La disposición física de los sensores con respecto a la ubicación se presenta en el Anexo 4.2. Así también las características del sensor elegido se muestran en el Anexo 5.2.

### 3.7.1.3. Selección de Sensores de Nivel para las Pozas

En las pozas de la Planta lo que se desea es controlar el nivel de agua, para tal labor se propone emplear sensores de nivel que tienen señalización de tipo on/off de tal manera que uno pueda ubicarlos en un nivel deseado y solo cambien de estado (NA o NC) al detectar un aumento o disminución del nivel de agua; es decir que su funcionamiento se basa en el movimiento de un flotador magnético que abre/cierra un contacto eléctrico. Se plantean los requerimientos para la selección de sensor en la Tabla 3.13 y en la Tabla 3.14 se muestra las características de los sensores de nivel disponibles en el mercado.

**Tabla 3.13.** Requerimientos del sensor de nivel

| Descripción            | Requisito           |
|------------------------|---------------------|
| Tipo de Señalización   | On/Off              |
| Tipo de Contacto       | Normalmente Abierto |
| Temperatura de trabajo | -5 ~ +35°C          |
| Presión de Trabajo     | Máx 2bar            |
| Tensión de Conmutación | 24V DC              |

**Tabla 3.14.** Sensores de nivel posibles a usar en las pozas

| Descripción                    | LA 16M-40        | LA 36M-40        | LA 12M-40        |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| Tipo de Señalización           | On/Off           | On/Off           | On/Off           |
| Tipo de Contacto               | NA/NC            | NA/NC            | NA/NC            |
| Presión máxima de Trabajo      | 2 bar            | 2 bar            | 3 bar            |
| Temperatura de Trabajo         | -10 a +100°C     | -10 a +125°C     | -10 a +100°C     |
| Tensión máxima de Conmutación  | 100V DC          | 100V DC          | 100V DC          |
| Potencia máxima de Conmutación | 20W - 50W @ 20ms | 20W - 50W @ 20ms | 20W - 50W @ 20ms |
| Tipo de Material               | Poliacetal       | Poliftalamida    | Poliacetal       |
| Tipo de Montaje                | Lateral interno  | Lateral interno  | Lateral externo  |
| Sensores Necesarios            | 7                | 7                | 7                |
| Costo Total S/.                | 280              | 315              | 340              |

Los tres modelos de sensores de nivel cumplen con los requerimientos para el diseño en cuanto a tipo de contacto, presión, temperatura y tensión de trabajo; sin embargo, se considera usar el modelo LA 16M-40, por un tema de costos principalmente. Se usará un sensor de nivel de este tipo para cada una de las pozas de remojo y dos sensores de nivel para la poza de almacenamiento, uno en la parte superior y otra en la parte inferior de tal manera que se controle que dicha poza siempre este abastecida de agua. En el Anexo 4.3. se detalla la ubicación de los sensores en las pozas. Asimismo las características del sensor elegido se presentan en el Anexo 5.3.

### 3.7.2. Fuente de Alimentación para los Sensores

Los sensores de presencia requieren de un voltaje de alimentación de 24V DC, asimismo cada sensor requiere de 25 mA. Los sensores de nivel no requieren de una fuente de alimentación pero si requieren de una tensión de conmutación de 24V DC. En consecuencia la fuente seleccionada deberá cumplir estos requerimientos especificados. La fuente de alimentación estará ubicada en el tablero de control, en donde se encuentra el chasis de PLC, pues todas las señales

de los sensores de deben llegar a los módulos de entrada de digital del PLC. Se elige la fuente de alimentación en función a la corriente consumida por todos los sensores considerados en el diseño. Debido a que se emplearán 9 sensores de presencia en donde cada sensor consume 25 mA, se tiene un consumo total de 225 mA; esta corriente debe ser suministrada por la fuente de alimentación. En consecuencia, se elige trabajar con una fuente del fabricante Telemecanique que suministra 24 Vdc/ 2.5 A cuyas características se presenta en el Anexo 1.

### 3.8. Dispositivos de Salida

#### 3.8.1. Contactores

Los contactores serán los encargados de activar o desactivar el funcionamiento de los motores de la Planta al permitir o impedir el paso de la energía; es decir, este dispositivo permite interrumpir el paso de la corriente en el circuito de potencia y dicha acción la realiza cuando energiza su bobina que tiene en su interior. La acción del contactor dependerá de la señal enviada por el controlador.

##### 3.8.1.1. Selección de Contactores

El contactor es seleccionado en base a la corriente de diseño que debe ser equivalente a 1.25 veces la corriente nominal [13]. Para el cálculo de la corriente nominal se tiene que tener en cuenta la potencia eléctrica consumida por los motores y el voltaje de línea que para la Planta que cuenta con un sistema trifásico tiene un voltaje de línea de 220 voltios (Ver Figura 3.7.). El cálculo de la corriente de diseño para cada uno de los motores se muestra en el Anexo 6.1.

La corriente de diseño para el circuito de fuerza del motor de 10 HP y del motor de 1 HP es 28.79A y 2.88A respectivamente, entonces se elige un contactor de categoría AC-3-A32 y AC-3-A9 respectivamente, cuyas características se muestran en la Anexo 6.2. Dado que se controlarán 4 motores de 1HP y 1 motor de 10HP en la Planta se emplearán 5 contactores.

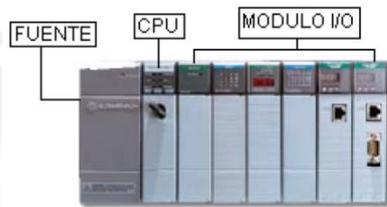
$$I_{\text{diseño}} = 1.25 \times I_{\text{nominal}}$$

$$I_{\text{nominal}} = \frac{\text{Potencia activa del Motor (W)}}{1.7320 \times V_{\text{línea}} \times \cos\phi}$$

**Figura 3.7.** Cálculo de corriente de diseño para la elección del contactor [13]

### 3.9. Controlador Lógico Programable

Los productos SLC 500 de la marca Allen Bradley constituyen la familia modular de controladores lógicos programables (PLC) basados en un chasis en donde se van integrando los distintos elementos modulares como son: procesador, E/S digitales, E/S analógicas y dispositivos periféricos. Asimismo dispone de módulos de comunicación para distintas configuraciones en las diversas redes industriales tales como: Ethernet, ControlNet, DeviceNet, DH-485, RIO, etc. El software para programar y configurar los productos SLC 500 es el software de programación de lenguaje Ladder RSLogix 500 [14], [15], [20]. Los componentes básicos de un PLC Allen Bradley SLC 500 son: un módulo procesador (CPU), un módulo I/O, una fuente de poder y un chasis o rack como se puede apreciar en la Figura 3.8.



**Figura 3.8.** Componentes básicos de un PLC Allen Bradley SLC 500.

#### 3.9.1. Selección del Procesador

Para la selección del procesador del PLC SLC 500 se tiene que tener en cuenta la complejidad de lo que se va a controlar, los requerimientos de la programación, el número de I/O que se va manejar y el tipo de comunicación que se va emplear.

Tomando en cuenta las características mencionadas se selecciona el procesador SLC 5/03 pues este tipo de procesador se caracteriza principalmente por ofrecer soluciones positivas a las aplicaciones de proceso continuo como el que se realiza en Planta del presente estudio. Asimismo posee opciones adicionales de comunicación y tiene un rendimiento efectivo y rápido [15]. Las especificaciones generales del procesador SLC 5/03 se presentan en el Anexo 7.1.

#### 3.9.2. Selección de Módulos de Entrada

Los módulos de entrada son los medios por los cuales el PLC va a leer el estado de los sensores de presencia y los sensores de nivel que se encontraran en las pozas y en la zona de tendal como se describió en la parte de selección de sensores. El número de entradas se determina en función al número de sensores utilizados en la

Planta. En la Tabla 3.16 se muestra el número de entradas de cada área a controlar.

**Tabla 3.16.** Requerimiento de entradas

| Área                   | N° Entradas |
|------------------------|-------------|
| Remojo                 | 10          |
| Lavado                 | 0           |
| Zona de Tendal         | 4           |
| Almacenamiento de Agua | 2           |
| Control General        | 2           |
| <b>Total</b>           | <b>18</b>   |

Basándose en el requerimiento se utilizará dos módulos de 16 entradas. Dado que el tipo de salida de los sensores es digital (1 ó 0) se elige el módulo de entrada digital 1746 - 1B16 cuya característica se muestra en el Anexo 7.2.

### 3.9.3. Selección de Módulos de Salida

Los módulos de salida son los medios por los cuales el PLC enviará las señales de control para el funcionamiento de la Planta. Estos módulos serán conectados a los contactores para el control de los motores y a los solenoides de las electroválvulas. Se tiene que tener en cuenta que los solenoides son energizados con una tensión de 24Vdc y los contactores seleccionados son accionados con una tensión de 220Vac. En consecuencia se requiere de salidas de tipo de contacto relé AC y DC, asimismo el número de salidas se determina en función al número de contactores y al número de solenoides que se emplearán para en funcionamiento automático de la Planta. En la Tabla 3.17. se muestra el número de salidas de cada área a controlar.

**Tabla 3.17.** Requerimiento de salidas

| Área                   | N° Salidas   |              |
|------------------------|--------------|--------------|
|                        | Tipo Relé AC | Tipo Relé DC |
| Remojo                 | 0            | 20           |
| Lavado                 | 1            | 4            |
| Almacenamiento de agua | 0            | 4            |
| Zona de Tendal         | 4            | 16           |
| <b>Total</b>           | <b>5</b>     | <b>44</b>    |

De acuerdo al requerimiento planteado se emplearán 3 módulos de salidas 1746-ow16 de tipo de contacto de relé 24Vdc de 16 salidas para el control de los solenoides de las electroválvulas, y un módulo de salida 1746-ow16 de tipo de contacto de relé 220Vac de 16 salidas para el control de los motores. Los módulos a emplear tienen las siguientes características presentadas en el Anexo 7.3.

#### 3.9.4. Selección del Chasis

Para la selección del chasis se tiene que tomar en cuenta el número de módulos que se va a emplear y futuras expansiones. El sistema SLC 500 ofrece chasis de 4 slots, 7 slots, 10 slots y 13 slots. Se tiene que tener en cuenta que cada chasis debe tener una fuente de alimentación y esta debe estar montada a la izquierda del chasis, asimismo el primer slot del chasis está reservada para el procesador, y las siguientes slots para los módulos de I/O. [15]. Debido a que se requieren un slot para el procesador, 2 slots para el módulo de entrada y 4 slots para los 4 módulos de salida; se empleará un chasis de 10 slots. La distribución de cada slot en el chasis se detalla en la Tabla 3.18. Se selecciona el chasis 1746-A10 dejando libre 3 slots para futuras expansiones.

**Tabla 3.18.** Distribución de los slots para el chasis

| <b>Chasis de 7 slots - PLC SLC 500</b> |             |
|--|-------------|
| <b>Componente</b>                      | <b>SLOT</b> |
| Procesador SLC 5/03                    | 0           |
| Módulo de Entrada Digital              | 1           |
| Módulo de Entrada Digital              | 2           |
| Módulo de Salida Relé DC               | 3           |
| Módulo de Salida Relé AC               | 4           |
| Módulo de Salida Relé AC               | 5           |
| Módulo de Salida Relé AC               | 6           |

#### 3.9.5. Selección de Fuente de Poder

El sistema modular SLC 500 necesita una fuente de alimentación que de energía al procesador y a los módulos de entrada y salida. Se tiene que tener en cuenta que una carga excesiva de las salidas de la fuente de alimentación puede provocar una desactivación o un fallo prematuro de la fuente de alimentación; para evitar ese problema se va seleccionar una fuente de alimentación en base a cantidad de corriente total consumida por los diferentes elementos que tiene el chasis y asimismo se tiene que considerar futuras expansiones. En la Tabla 3.19. se especifica el consumo de corriente de cada uno de los componentes integrados en

el chasis. Asimismo en la Tabla 3.20. se detalla las capacidades de corriente para cada una de las fuentes de alimentación de Allen Bradley.

**Tabla 3.19.** Corriente consumida por los componentes del chasis [15]

| Slot                             | N° Catálogo | Corrientes Máximas |        |
|----------------------------------|-------------|--------------------|--------|
|                                  |             | 5V DC              | 24V DC |
| 0                                | 1747 -L532  | 0.500A             | -      |
| 1                                | 1746 - 1B16 | 0.085A             | -      |
| 2                                | 1746-ow16   | 0.170A             | -      |
| 3                                | 1746-ow16   | 0.170A             | -      |
| 4                                | 1746-ow16   | 0.170A             | -      |
| 5                                | 1746-ow16   | 0.170A             | -      |
| 6                                | -           | -                  | -      |
| 7                                | -           | -                  | -      |
| 8                                | -           | -                  | -      |
| 9                                | -           | -                  | -      |
| Periférico                       | 1747 - AIC  |                    | 0.085A |
| Periférico                       | 1748 - AIC  |                    | 0.085A |
| <b>Corriente total consumida</b> |             | 1.265              | 0.17   |

En base a los requerimientos del consumo de corriente total de chasis y también de futuras ampliaciones en la Planta se considera emplear la fuente de alimentación con número de catálogo 1746-P2 con capacidad de corriente de 5A a 5Vdc y 0.96A a 24Vdc.

### 3.10. Interfaz de Usuario

El interfaz de usuario que se propone emplear es un panel de operador de la familia PanelView de marca Allen Bradley. Este equipo se emplea principalmente cuando se desea monitorear, controlar y desplegar información de un proceso determinado. La configuración y el diseño de las pantallas del Panel View son desarrolladas en el software de programación PanelBuilder32 en una computadora para luego ser descargadas al PanelView. El software PanelBuilder32 proporciona diversas herramientas para realizar un interfaz de usuario más ilustrativo y de fácil entendimiento, asimismo proporciona la edición de tags en donde se relaciona cada elemento de la pantalla del HMI con una dirección del PLC en donde se encuentra todo el sistema de control y de esta manera hay un intercambio información entre el PanelView y el PLC [14], [17].

Para el presente proyecto se propone trabajar con el modelo de panel de operador PanelView Plus 600 (Ver figura 3.9.) el cual tiene las siguientes características [16]:

- Permite trabajar con el protocolo RS-232 y DH-485.
- Soporta un enlace de red para módulos de comunicación opcional como: DH-485, ControlNet, DeviceNet, DH+.
- Compatible con los controladores y redes de comunicación Allen Bradley.
- Panel de colores e interacción con el usuario mediante teclado.
- Pantallas con acceso restringido por seguridad.
- Requiere de fuente de alimentación AC (85 - 264V) ó DC (18 - 30V).



**Figura 3.9.** Panel de Operador PanelView Plus 600

### 3.11. Comunicación entre Controlador y Panel de Operador

#### 3.11.1. Red de Comunicación

El control de la Planta está compuesto por el controlador que estará en comunicación con el panel de operador el cual permitirá el control y monitoreo de los procesos para el lavado de las zanahorias. Es necesario seleccionar el tipo de comunicación entre el PLC y el panel de operador. La familia de controladores SLC 500 soporta varios tipos de protocolos de comunicación como por ejemplo: DH-485, Ethernet, Control Net y otros. Sin embargo se empleará la red comunicación DH-485 [14], [16].

La red DH-485 ofrece:

- Control y monitoreo de procesos.
- Conexión de 32 dispositivos.
- Capacidad de agregar o quitar nodos sin interrumpir la red.
- Longitud máxima de red de 1219 metros.
- Velocidad de comunicación de hasta 19.2 K baudios.
- Aislamiento eléctrico a través del módulo 1746 – AIC.

Para la comunicación por la red DH-485 el fabricante especifica usar el cable Belden #9842 y como acopladores de vínculo de aislamiento el dispositivo con código 1747- AIC. Se describe ambos componentes a continuación.

### 3.11.2. Cable Belden #9842

Este cable de comunicación está compuesto por dos cables dobles retorcidos y cable a tierra, asimismo está protegido por un forro y blindaje para reducir el ruido que puede haber en el entorno. El cable doble proporciona una línea de señal balanceada, un cable es utilizado como línea de referencia común entre los nodos de la red, en este caso entre el PLC y el panel de operador [14]. La conexión del cable Belden a un acoplador de interfaz en una red DH-485 está en el Anexo 8.1.

### 3.11.3. Acoplador de Vínculo Aislado 1747- AIC

Este acoplador de vínculo aislado se emplea como interfaz de comunicación entre los dispositivos, para este caso sería entre el PLC y el panel de operador empleando la red DH-485. Este acoplador proporcionará un aislamiento de 1500Vcc entre el cable de comunicación, el controlador y el panel de operador. El acoplador de vínculo aislado tiene tres interfaces, una de ellas para la conexión con el controlador (CPU), la segunda para la red de comunicación y la tercera (Periferal) para comunicar con el panel de operador [14]. En el Anexo 8.2. muestra sus características.

### 3.11.4. Software de Comunicación RSLinx

El RSLinx es el software que permite la configuración de la red para que pueda comunicarse el controlador con el panel de operador. El dispositivo que se utilizará para la comunicación de la red será el AIC mencionado anteriormente, asimismo se tiene que definir el número de nodos que va tener la red, en este caso estaría constituido por el computador, el PLC y el Panel View. En la Tabla 3.20. se muestra la descripción de cada nodo en la red. La red tiene un mejor funcionamiento cuando la velocidad en baudios es la más alta, la cual es 19200. Cada uno de los componentes de la red debe ser configurado a esta velocidad [14].

**Tabla 3.20** Nodos para la red de comunicación DH-485

|               |             |
|---------------|-------------|
| <b>Nodo 0</b> | Computadora |
| <b>Nodo 1</b> | PLC         |
| <b>Nodo 2</b> | Panel View  |

### **3.12. Diseño de Conexiones Eléctricas**

#### **3.12.1. Conexión entre Controlador y Panel de Operador**

La conexión del controlador y el panel de operador considerado para este diseño se muestra en la Figura 3.10 , asimismo se muestra la alimentación al controlador que será de las líneas del sistema trifásico 220 Vac, para la protección contra sobre corriente se considera usar un fusible de 20 A que es la máxima corriente soportada el controlador y para el panel de operador que también se alimentará con 220 Vac se considera usar un fusible de 1 A para la protección contra sobre corriente pues la potencia consumida por este dispositivo para 220 Vac es de 60 VA. La alimentación de los acopladores de vínculo aislado 1747-AIC es dado por la fuente del PLC que suministra una tensión de 24 Vdc. El cable que une los acopladores es el Belden #9842 y el cable que comunica a los acopladores con el PLC y el panel de operador es 1747-C11 [14], [18], [19].

#### **3.12.2. Cableado de Fuerza de los Motores**

El circuito de fuerza para el motor del cilindro de lavado de 10 HP y para los motores de la zona de tendal de 1 HP se presenta en el Anexo 9.1. Asimismo el calibre del conductor a emplear para cada circuito es elegido en base a la corriente de diseño que equivale a 1.25 veces corriente nominal y factor de corrección por número de cables por tubería. El calibre de los conductores de presenta en el Anexo 9.2. Por último en el Anexo 9.3. se presenta la selección de los interruptores termomagnéticos y relés térmicos. Los contactores fueron elegidos anteriormente.

#### **3.12.3. Cableado de Módulos de Entrada a Sensores**

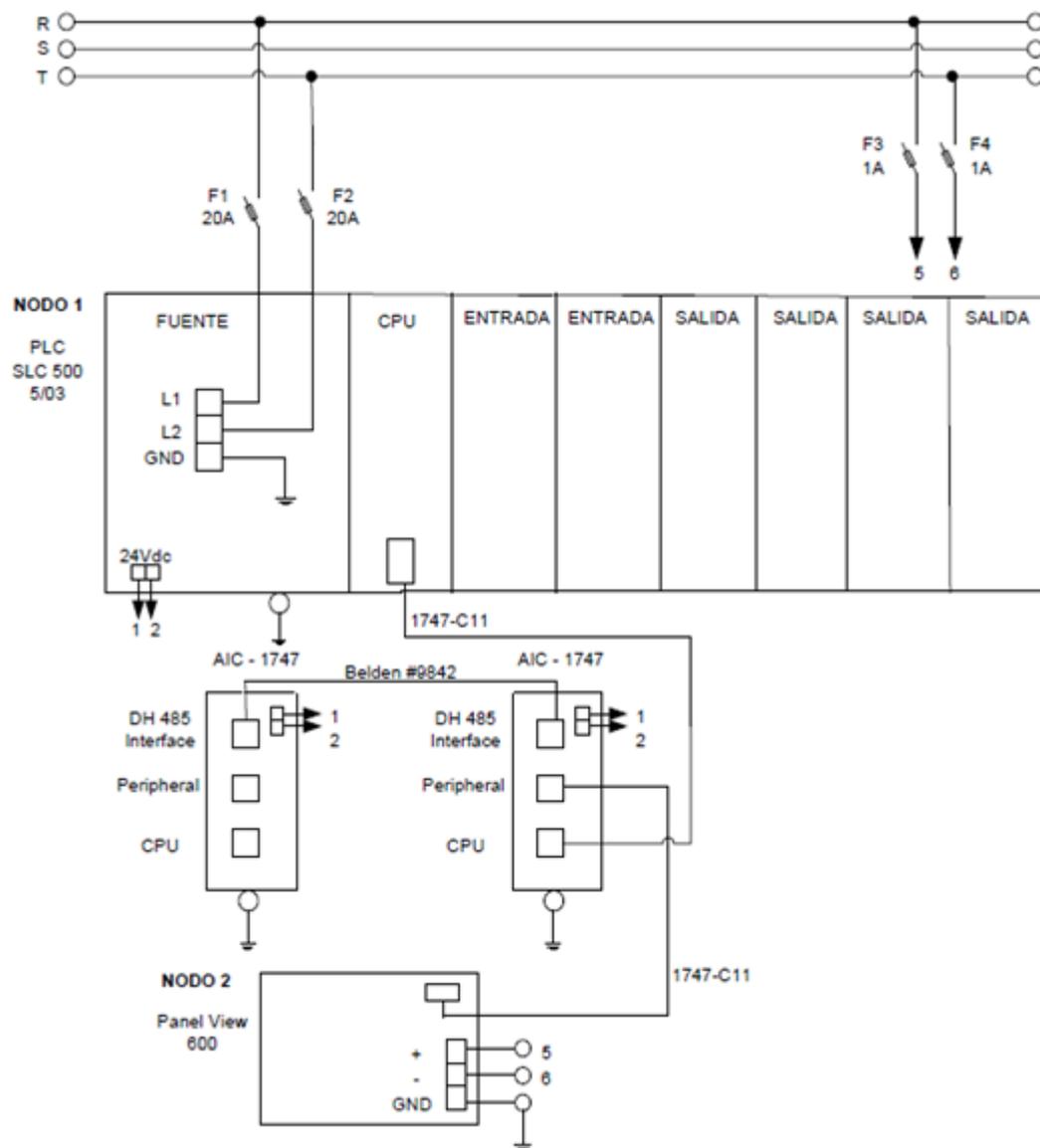
Las conexiones de los sensores de presencia y de nivel con el módulo de entrada del PLC se presentan en el Anexo 9.4. El calibre del conductor a utilizar es elegido en función a la corriente de diseño que equivale a 1.25 la corriente nominal de circuito y también en base al factor de corrección por número de cables en el tubo. El calibre del conductor se especifica en el Anexo 9.5. Asimismo en el Anexo 9.6 se presenta el calibre del conductor para el cableado de la fuente de alimentación de 24 Vdc a los sensores de nivel y de presencia.

#### **3.12.4. Cableado de Módulos de Salida a Contactores y Solenoides**

Las conexiones de los módulos de salida del PLC a los contactores para el control de los motores y a los solenoides para el control de las electroválvulas se presentan en el anexo 9.7. El calibre de los conductores se presenta en el Anexo 9.8. y es

elegido en función a la corriente de diseño que equivale a 1.25 la corriente nominal de circuito y también en base el factor de corrección por número de cables en el tubo.

En el Anexo 9.9 se realiza el cálculo de la caída de tensión máxima para las conexiones diseñadas con el fin de verificar si el calibre de los conductores elegidos son los adecuados. Se halló que la caída de tensión para las conexiones son menores al 2.5%, que es la máxima permitida. Concluyendo que el calibre de los conductores elegidos son correctos.



**Figura 3.10.** Diseño de la Conexión del Controlador con el Panel de Operador

### 3.13. Diseño de Software

#### 3.13.1. Programación en Lenguaje Ladder

La programación del sistema de control de la Planta se desarrollará en el software RsLogix 500 en el cual se empleará el lenguaje escalera, para luego ser descargado dicho programa al PLC SLC 500. Para iniciar el desarrollo del programa se tiene que configurar el tipo de controlador que se va emplear y asimismo definir los tipos de módulos de entrada y salida que se emplearán.

#### 3.13.2. Funciones Programadas

El programa que se desarrollará en el lenguaje ladder está compuesto por varias funciones las cuales permitirán que el funcionamiento de la Planta para el lavado de las zanahorias sea automático. Las funciones que se emplearán son las siguientes.

##### 3.13.2.1. Función de Disponibilidad de la Planta

Esta función permite identificar si la Planta está disponible para empezar con el lavado de las zanahorias. La disponibilidad de la Planta consiste en tener por lo menos una de las cuatro sub zonas de tendal disponible para que puedan ser ocupadas por las zanahorias una vez lavadas. En cada una de estas sub-zonas habrán sensores de presencia que podrán informar al controlador su estado (ocupado o disponible), entonces esta función siempre está en constante monitoreo del estado de la zona de tendal. Esta función se encuentra dentro del programa principal. En la Figura 3.11. se muestra el diagrama de flujo de la función.

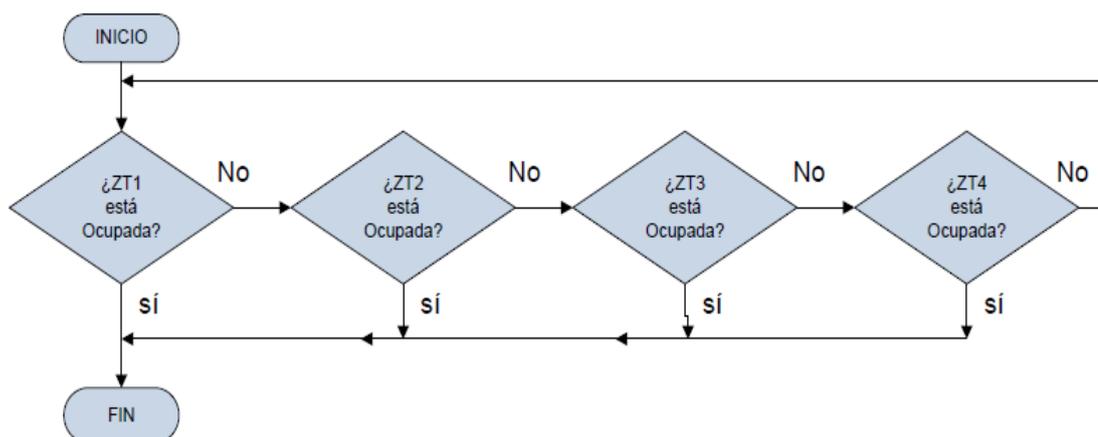


Figura 3.11. Función de disponibilidad de la Planta

### 3.13.2.2. Función de Remojo de las Zanahorias

Esta función permite realizar el proceso de remojo de las zanahorias. Debido a que la Planta tiene una capacidad de lavar solo una poza a la vez, esta función tiene que seleccionar cual de pozas ocupadas con zanahorias va empezar a remojar, para ello en cada poza de remojo se encuentran sensores de presencia que permiten ver el estado (ocupado o disponible). Esta función selecciona una de las pozas que se va empezar a lavar, la selección consiste en dar prioridad a las primeras pozas. Una vez seleccionada la poza que se va a lavar, se procede con el remojo de esta poza, para ello la función realiza la apertura de la compuerta de entrada de la poza seleccionada para que se vierta agua sobre la poza hasta sus  $\frac{3}{4}$ , esto lo realiza gracias al sensor de nivel, y luego cierra la compuerta de entrada y deja remojar las zanahorias por un periodo de 15 minutos y una vez concluido este tiempo procede a la apertura de la compuerta de salida de la poza para que las zanahorias junto el agua pasen a la cilindro de lavado. La subrutina que desarrolla esta función se llama Proceso de Remojo y su diagrama de flujo se muestra en la Figura 3.12.

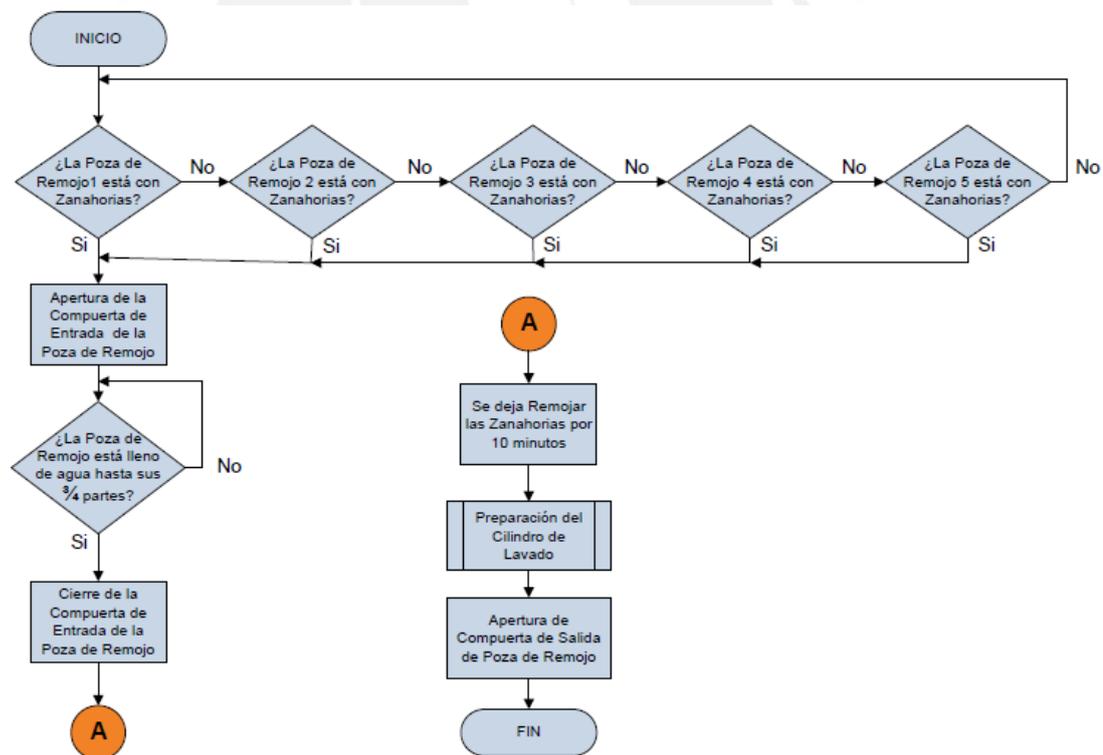


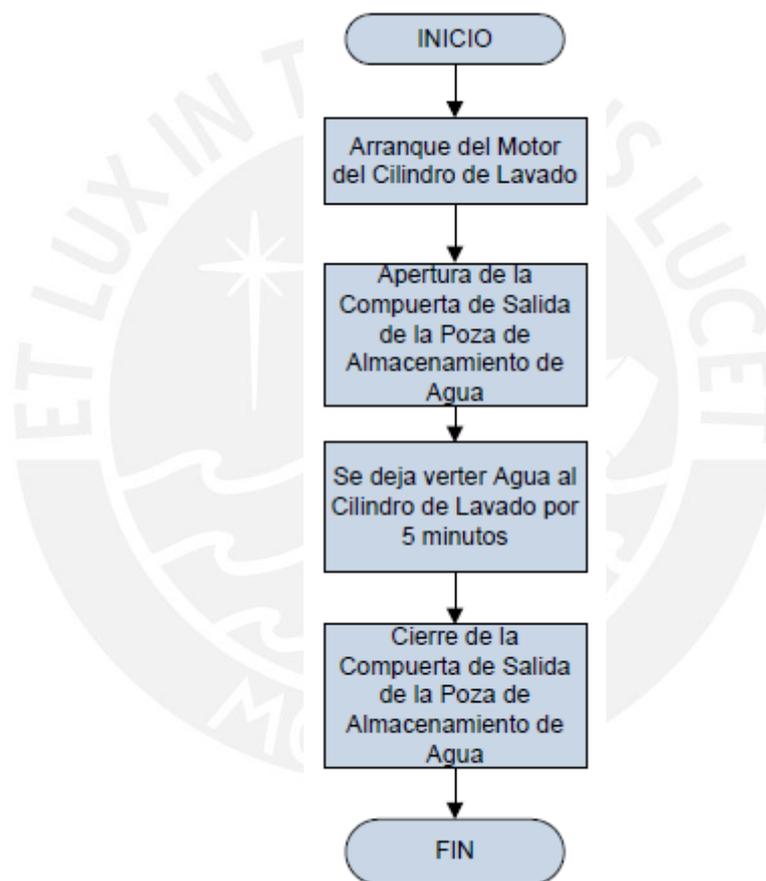
Figura 3.12. Subrutina de Proceso de Remojo

### 3.13.2.3. Función de Preparación del Cilindro de Lavado

Esta función permite preparar al cilindro antes de que las zanahorias pasen a este para su lavado. La preparación consiste en que 5 minutos antes de que acabe el

proceso de remojo de las zanahorias, se arranca el motor del cilindro de lavado y simultáneamente se abre la compuerta de salida de la poza de almacenamiento de agua, para que se vierta agua sobre el cilindro por 5 minutos y luego de concluido dicho tiempo se cierra dicha compuerta. De esta manera el cilindro de lavado espera a las zanahorias que vienen de la poza de remojo ya con el motor encendido y cierta cantidad de agua.

Esta función es desarrollada en una sub subrutina llamada Preparación del Cilindro de Lavado, que se encuentra dentro de la subrutina Proceso de Remojo. El diagrama de flujo de la subrutina se muestra en la Figura 3.13.

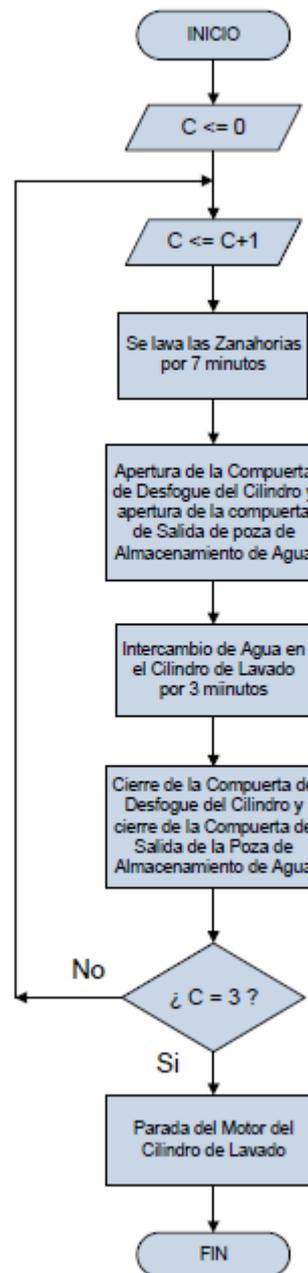


**Figura 3.13.** Sub subrutina de Preparación del Cilindro de Lavado

#### 3.13.2.4. Función de Proceso de Lavado

Esta función permite realizar el proceso de lavado de las zanahorias en el cilindro, para ello inicialmente desde que las zanahorias pasan al cilindro se lavan por 7 minutos y luego de ello se abren simultáneamente la compuerta de desfogue del cilindro para que se deseche el agua lavada y también se abre la compuerta de salida de la poza de almacenamiento de agua para que entre agua limpia, este

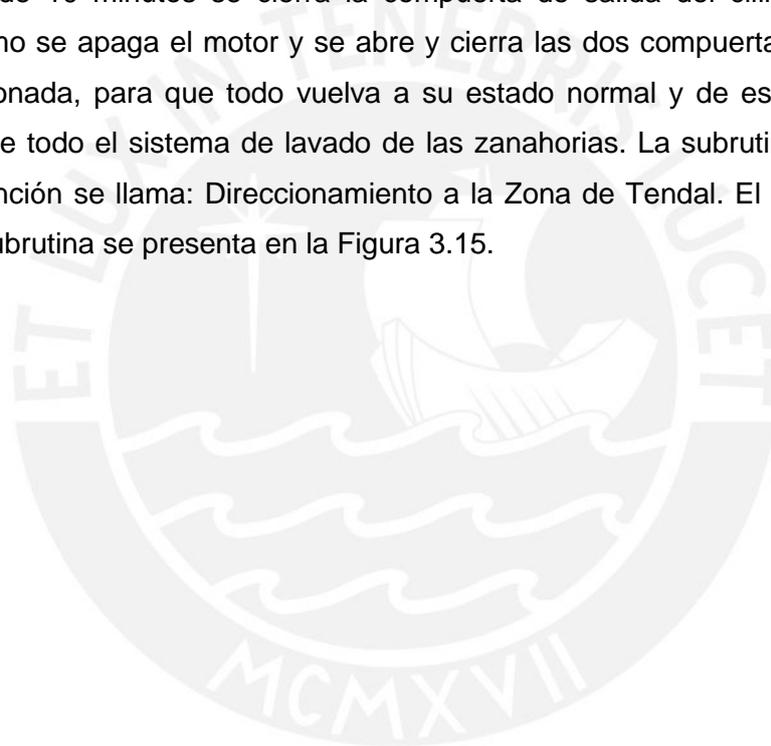
intercambio de agua se realiza por 3 minutos, luego de ese tiempo se cierran las compuertas; en todo momento el motor del cilindro está funcionando. Este proceso de intercambiar agua cada 7 minutos se realiza tres veces y finalmente se apaga el motor del cilindro de lavado. La subrutina que desarrolla esta función se llama: Proceso de Lavado. El diagrama de flujo de la subrutina se presenta en la Figura 3.14.



**Figura 3.14.** Subrutina de Proceso de Lavado

### 3.13.2.5. Función de Direccionamiento a la Zona de Tendal

Esta función permite seleccionar en cuál de las 4 sub zonas de tendal va a ser ocupada por las zanahorias luego de ser lavadas en el cilindro. En cada sub zona habrá un sensor de presencia que indique su estado (ocupado o disponible), entonces la selección de la sub zona que va ser ocupada consiste en un arreglo de dar prioridad a las primeras sub zonas disponibles. Una vez seleccionada la sub zona, se cierra y se abre simultáneamente las dos compuertas del canal de distribución que van a direccionar a las zanahorias a la sub zona seleccionada, luego se arranca el motor de dicha sub zona y se abre la compuerta de salida del cilindro de lavado para que todas las zanahorias pasen a la sub zona seleccionada. Luego de 10 minutos se cierra la compuerta de salida del cilindro de lavado y asimismo se apaga el motor y se abre y cierra las dos compuertas de la sub zona seleccionada, para que todo vuelva a su estado normal y de esta manera pueda repetirse todo el sistema de lavado de las zanahorias. La subrutina que desarrolla esta función se llama: Direccionamiento a la Zona de Tendal. El diagrama de flujo de la subrutina se presenta en la Figura 3.15.



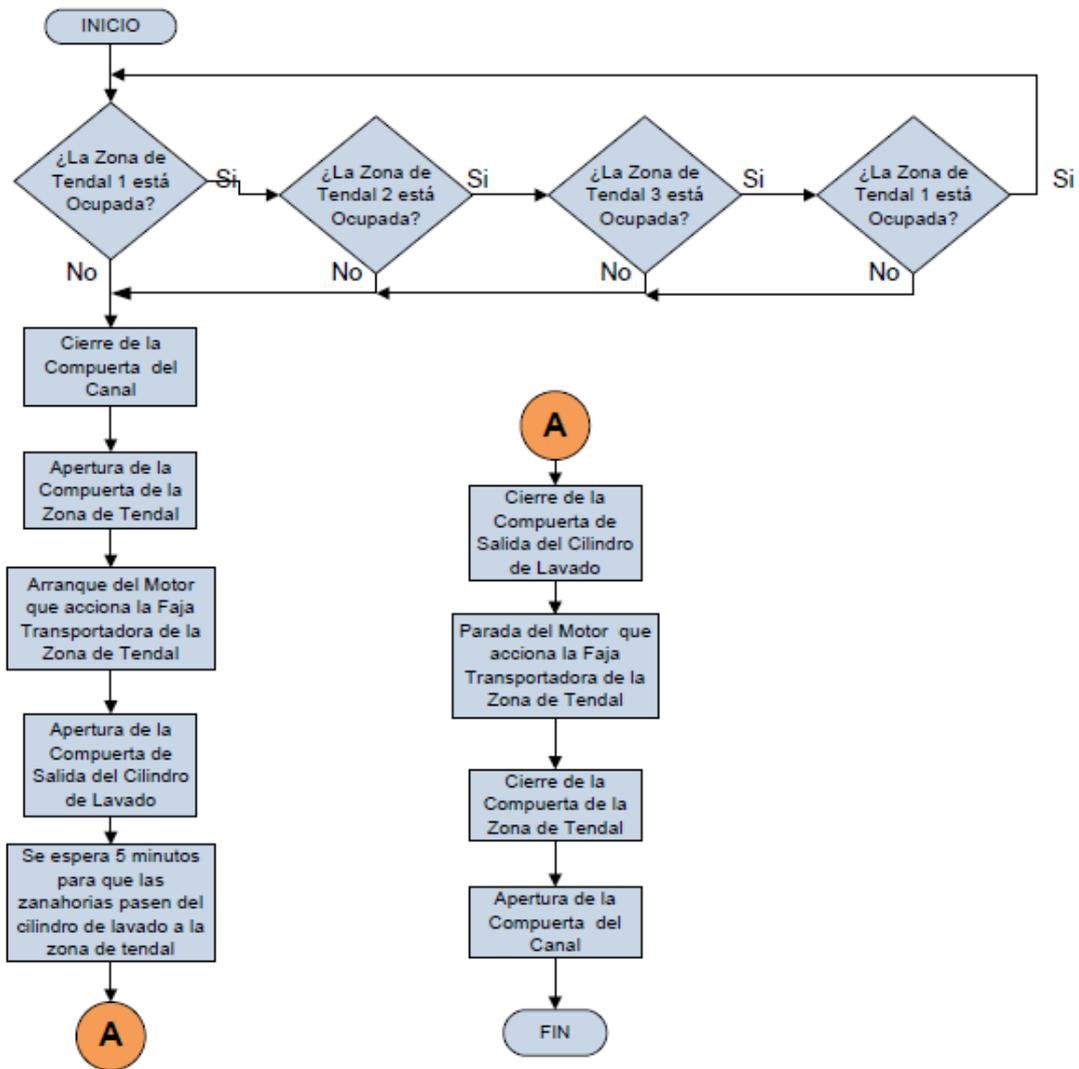
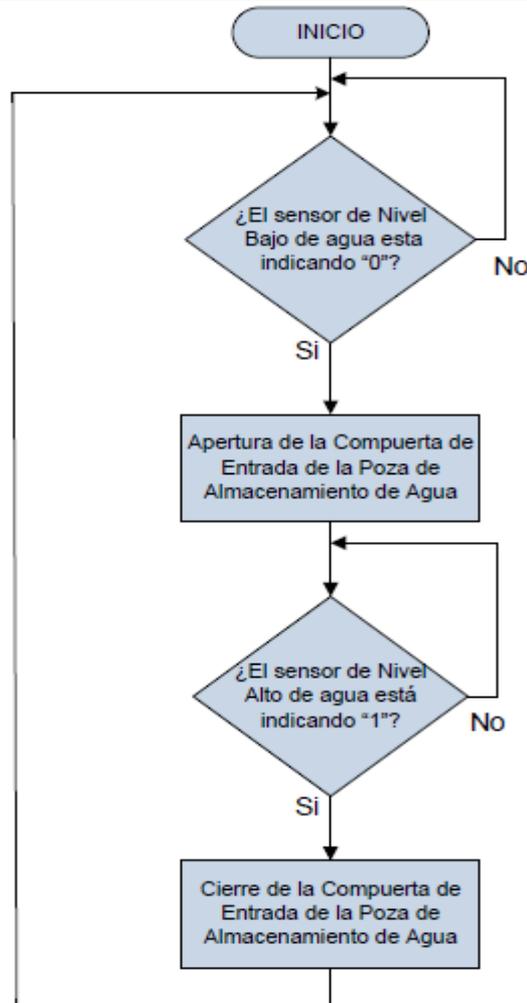


Figura 3.15. Subrutina de Direccionamiento a la Zona de Tental

### 3.13.2.6. Función Control de Nivel de Agua en la Poza de Almacenamiento

Esta función permite controlar el nivel de agua en la poza de almacenamiento, pues el agua que se utiliza para lavar las zanahorias en el cilindro es abastecido por la poza de almacenamiento de agua, es así que esta poza siempre debe estar contenida de agua. Para lograr esto, en la poza habrá dos sensores, uno en la parte superior y otro en la parte inferior, de tal manera que cuando el sensor de la parte inferior detecte que el nivel agua es poco se abrirá la compuerta de entrada de la poza, para que se vierta agua sobre esta, hasta que el sensor de la parte superior detecte que la poza está llena procediendo a cerrar la compuerta para que se deje de verter agua. De esta manera siempre la poza de almacenamiento estará contenida de agua. La subrutina que desarrolla esta función se llama: Control de Nivel de Agua en la Poza de Almacenamiento. El diagrama de flujo de la subrutina se presenta en la Figura 3.16.



**Figura 3.16.** Subrutina de Control de Nivel de Agua en la Poza de Almacenamiento

En la Figura 3.17. se presenta el diagrama de flujo principal donde se muestra el orden de ejecución de las subrutinas que contienen las funciones mencionadas anteriormente.

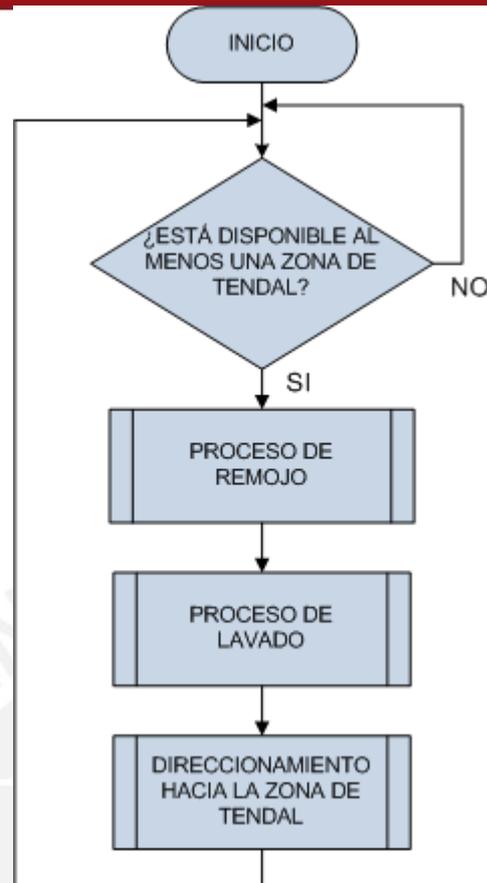


Figura 3.17. Diagrama de Flujo General

### 3.14. Programación de las Pantallas para el Panel View 600

Las pantallas de interfaz de usuario se realizan en el software PanelBuilder 32 para que luego sean descargados en el panel de operador. Se diseñan estas pantallas para tener un monitoreo y control parcial de los procesos que hay en la Planta.

#### 3.14.1. PanelBuilder 32

Este es el software donde se diseñan las pantallas de comunicación con el usuario. En este programa se diseñan objetos que indican el estado de la Planta, como por ejemplo: Estado de los motores (encendido o apagado), estado de las pozas y las sub zonas de tendal (ocupado o disponible), asimismo se podrá realizar la parada o arranque de los motores desde el panel de operador si se presenta un caso de emergencia. Todos los objetos diseñados en las pantallas de interfaz están relacionados con las direcciones del PLC que implica el control de dicho objeto, a esto se llama edición de tags o etiquetas [17]. La descripción de las funciones desarrolladas en el PanelBuilder 32 se presenta a continuación:

### 3.14.2. Pantallas Diseñadas para el Panel de Operador

#### 3.14.2.1. Pantalla de Contraseña

Esta es la primera pantalla que va mostrar el panel de operador, en esta pantalla se tiene que validar la contraseña de seguridad al momento de su encendido, de tal manera que solo pueda acceder el personal autorizado. La contraseña debe ser ingresada por el teclado del panel de operador y una vez que haya sido validada el operario tendrá acceso a todas las pantallas de interfaz que muestran el estado de toda Planta, en caso la contraseña ingresada no sea la correcta se mostrará un mensaje de error. La pantalla diseñada se muestra en la Figura 3.18.



Figura 3.18. Pantalla de Ingreso de Contraseña

#### 3.14.2.2. Pantalla Principal

En esta pantalla se muestra los procesos de la Planta: remojo, lavado y la zona de tendal a los cuales se puede acceder presionando las teclas F1, F2 y F3 respectivamente. Las ventanas pequeñas son objetos de tipo "Go to Screen", es decir realizan un salto a una pantalla determinada que está relacionada con la opción que se desea acceder. La pantalla se muestra en la Figura 3.19.



Figura 3.19. Pantalla de los Procesos de la Planta

### 3.14.2.3. Pantalla del Área de Remojo

En esta pantalla se muestra el estado del área de remojo, para cada una de las pozas de remojo se presenta un objeto de tipo “Multistate”, el cual indicará el estado de cada poza (ocupado o disponible), información que será dada por los sensores de presencia. El estado por defecto que se indica de las pozas es “disponible”, pero si estarían llenas de zanahorias su estado cambiaría a “ocupado”. Asimismo en esta pantalla se muestra la opción para regresar a la pantalla principal presionando F1, es un objeto tipo “Go to Screen” que realizará un salto a la pantalla anterior. La pantalla se muestra en la Figura 3.20.



Figura 3.20. Pantalla del Área de Remojo

### 3.14.2.4. Pantalla del Área de Lavado

En esta pantalla se muestra el estado del motor del cilindro de lavado, quien ejecuta el lavado de las zanahorias. El estado del motor se muestra en un objeto de tipo “Multistate” quien indicará si el motor esta encendido o apagado, su estado por defecto es apagado. Asimismo de diseña la opción de apagar el motor presionando

F2 cuando se requiera para un caso no definido, así también de la opción de encender presionando F1. Esto se realiza con objetos de tipo “Momentary” que enviarán una señal al PLC para que se ejecute dicha acción. La pantalla se muestra en la Figura 3.21.



Figura 3.21. Pantalla del Área de Lavado

#### 3.14.2.5. Pantalla de la Zona de Tendal

En esta pantalla se muestra el estado de las 4 sub zonas de tendal, para cada una de las sub zonas se muestra un objeto de tipo “Multistate” que indicará si las sub zonas están ocupadas o disponibles, información que será dada por los sensores al PLC y este se lo comunicará al panel de operador, su estado por defecto de las sub zonas es disponible. Asimismo se muestra la opción de poder saber el estado de los 4 motores de las sub zonas, para esto se emplea un objeto de tipo “Go to Screen” el cual al presionar F1 permitirá acceder a la pantalla que indicará el estado de cada motor. Por último en esta pantalla se muestra la opción de poder regresar a la pantalla anterior presionando la tecla F2. La pantalla se muestra en la figura 3.22.



Figura 3.22. Pantalla de la Zona de Tendal

### 3.14.2.6. Pantalla de Motores de Zona de Tendal

En esta pantalla se muestra el estado de los 4 motores de cada una de las sub zonas de tendal, para esto se emplea objetos de tipo “Multistate” que indicarán el estado (encendido o apagado) de cada motor. Asimismo se diseña la opción de poder apagar o encender cada motor cuando se requiera para un caso no definido, para esto se emplea los objetos de tipo “Momentary” con el cual se podrá accionar cada motor presionando las teclas que se indican como se muestra en la Figura 3.23.

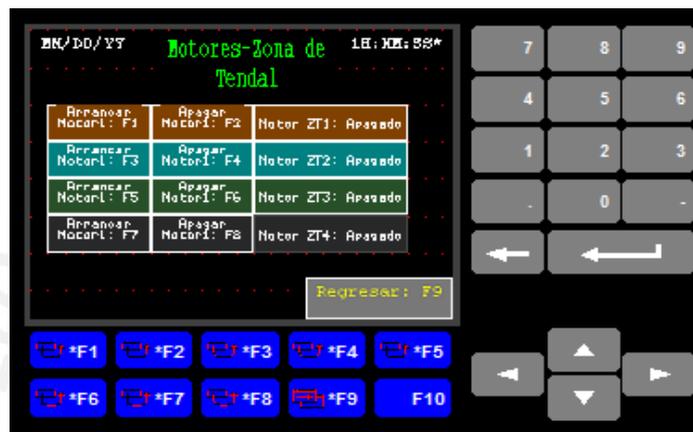


Figura 3.23. Pantalla de Motores de Zona de Tendal

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS

#### 4.1. Introducción

En este capítulo se presentan las simulaciones que comprueban el correcto funcionamiento del sistema desarrollado. El diseño del sistema electroneumático se simulará en el software FluidSIM de Festo, que es un simulador completo de circuitos neumáticos. El diseño del sistema de control del funcionamiento automático de la Planta se simulará en el software LogixPro, que es un simulador en lenguaje ladder del PLC SLC 500 de Allen Bradley, el mismo que es propuesto para el presente trabajo.

#### 4.2. Simulación del Sistema Electroneumático

Se realiza la simulación del sistema electroneumático para el accionamiento simultáneo de dos compuertas, teniendo en cuenta que para el accionamiento de todas las compuertas se ha realizado el mismo diseño y que se da el caso que en los procesos como máximo se accionan dos compuertas simultáneamente pues mayormente el accionamiento es secuencial. El diseño propuesto está dimensionamiento para accionar hasta cinco compuertas simultáneamente.

En el simulador FluidSIM se configura todos los parámetros del diseño que fueron dimensionados en el capítulo 3: La fuerza de empuje del vástago a 559N, la longitud de carrera a 0.5 m, la superficie de avance para la extensión del vástago a 19.63 cm<sup>2</sup>, la superficie de retroceso para la contracción del vástago a 16.49 cm<sup>2</sup>, la unidad de mantenimiento regulada a una presión de 6 bar y la presión de trabajo del compresor a 10 bar. En la Figura 4.1. se muestra los parámetros configurados.

| Cilindro Neumático    |                       | Unidad de Mantenimiento |               |
|-----------------------|-----------------------|-------------------------|---------------|
| Fuerza                | 559 N (-1000..1000)   | Presión nominal         | 6 bar (0..20) |
| Carrera de émbolo     | 0.5 m (0.001..5)      |                         |               |
| Posición del pistón   | mm (0..5000)          |                         |               |
| Superficie del pistón | 19.63 qcm (0.25..810) |                         |               |
| Superficie anular     | 16.49 qcm (0.1..750)  |                         |               |

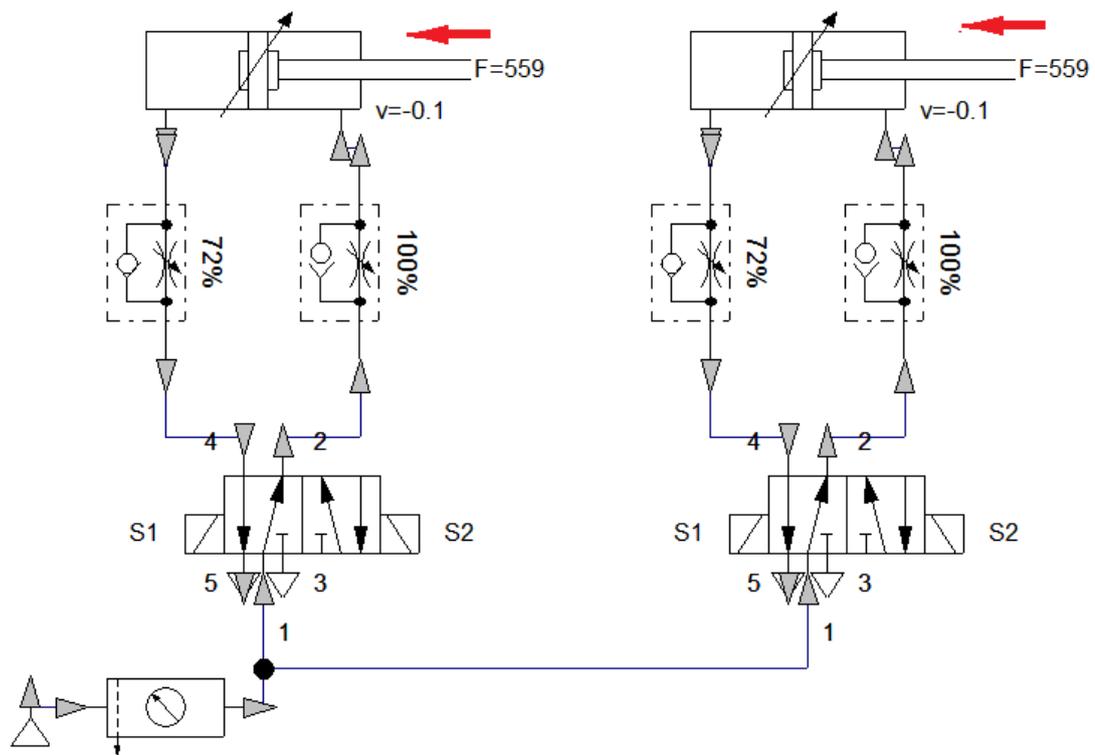
  

| Válvula - Accionamiento |                         |
|-------------------------|-------------------------|
| Neumático/<br>Eléctrico | Neumático/<br>Eléctrico |

**Figura 4.1.** Parámetros establecidos en el Diseño Neumático

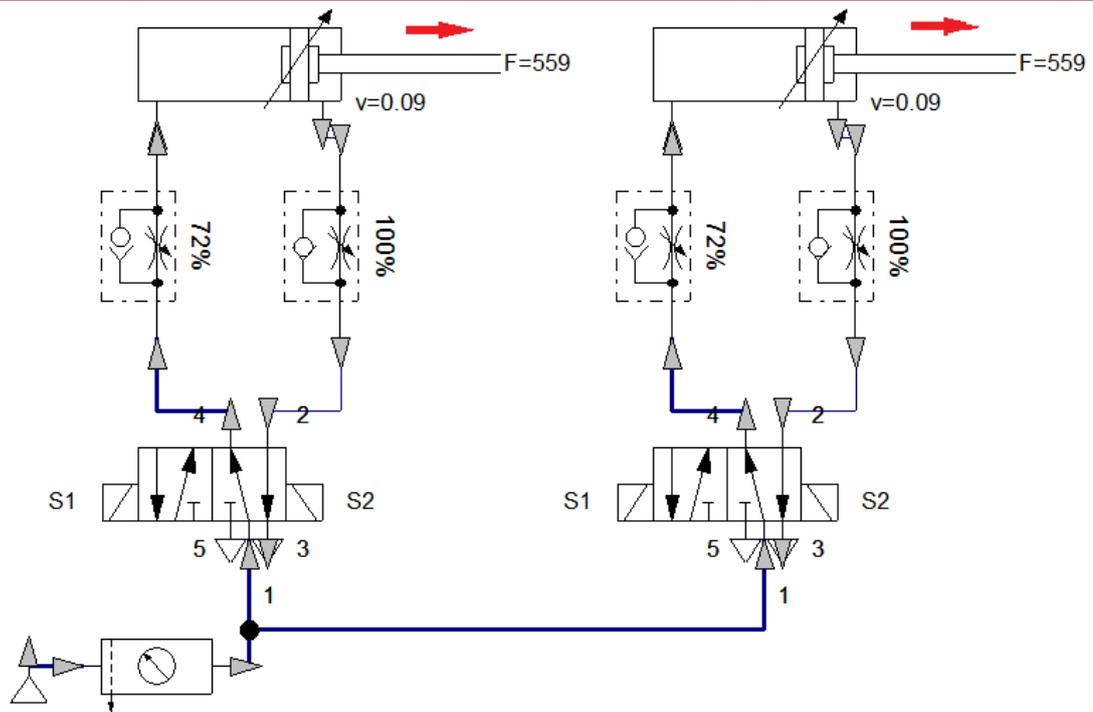
El control del cilindro neumático para la apertura o cierre de las compuertas está dado por las electroválvulas 5/2, las cuales trabajan con un accionamiento eléctrico en sus bobinas para cambiar de estado. Este accionamiento será dado por el PLC siguiendo la lógica de control programada.

En la Figura 4.2. se muestra la simulación del circuito electroneumático para la apertura de las compuertas, que es cuando el vástago se contrae. En la simulación se muestra que la velocidad de apertura de la compuerta es de 0.1 m/s la cual se consiguió regulando la válvula de estrangulamiento unidireccional del lado izquierdo a 72 %. Dicha velocidad de apertura fue sugerida por los operarios de la Planta.



**Figura 4.2.** Simulación de la apertura de las compuertas

En la figura 4.3. se muestra la simulación del circuito electroneumático para el cierre de las compuertas, que es cuando el vástago se extiende. En este caso se reguló las electroválvulas de estrangulamiento unidireccional del lado derecho a 100% para que tenga aproximadamente la misma velocidad de apertura a 0.1 m/s. En el Anexo 11. se presenta la simulación de la apertura y cierre de cinco compuertas simultáneamente.



**Figura 4.3.** Simulación del cierre de las compuertas

#### 4.2.1. Análisis de Resultados del Sistema Electroneumático

En las Figuras 4.2. y 4.3. se aprecia que el sistema electroneumático tiene la capacidad de accionar las compuertas aplicando una fuerza de empuje de 559N en cada vástago trabajando a una presión de 6 bar. Esto comprueba que el dimensionamiento del sistema neumático y las variables consideradas para el sistema en el diseño son correctos.

#### 4.3. Simulación del Sistema de Control

Se realiza la simulación del sistema de control que fue programado para que la Planta tenga un funcionamiento automático para el lavado de las zanahorias. Debido a que la Planta tiene la capacidad de lavar las zanahorias de solo una poza de remojo a la vez, vamos a considerar el lavado para la primera poza. Teniendo en cuenta que el diseño del sistema de control automático realizado para cada una de las cinco pozas de remojo es el mismo.

El simulador LogixPro cuenta con una ventana de entradas y salidas. Las entradas están representadas por interruptores mediante las cuales se simulará el funcionamiento de los sensores que indican (1 ó 0), también simularán a los pulsadores Stop y Start que activan o desactivan respectivamente todo el sistema

de control. Las salidas están representadas por leds que indicarán el funcionamiento de los motores, solenoides de las electroválvulas e indicador de que la Planta está activada. Asimismo el simulador cuenta con bits internos B3 que son empleados como auxiliares en la programación.

Se aclara que en el simulador los contactos normalmente abiertos o cerrados que están resaltados de amarillo indican que están conduciendo, para el resto de las instrucciones resaltadas de amarillo indican que están activadas.

#### 4.3.1. Simulación del Estado de la Planta

En la Figura 4.4. se muestra el estado inicial de la simulación, donde está el programa principal. Como se aprecia en la ventana I/O, la entrada I:1/1 que hace referencia al pulsador Start ha sido activada para dar inicio al sistema de control, asimismo se puede ver que la salida O:2/0 esta activada, el cual es el indicador de que la Planta está lista para empezar a trabajar. En el programa principal en la línea 2 se aprecia el auxiliar B3:2/5 el cual tiene la función de deshabilitar los procesos si es que los sensores de presencia le indican que no hay por lo menos una sub zona de tendal disponible. En este caso B3:2/5 esta desactivado pues todas las entradas I:1/7, I:1/8, I:1/8, I:1/9 que hacen referencia al estado de los sensores de presencia de las sub zonas de tendal están desactivadas. Al estar la Planta disponible para iniciar el sistema de lavado se aprecia que la subrutina Proceso de Remojo esta activada, a la espera de que sea ocupada la poza por zanahorias para dar inicio a dicho proceso.

Asimismo en la Figura 4.5. se presenta el caso en el que la Planta no está disponible, que es cuando todas las entradas I:1/7, I:1/8, I:1/8, I:1/9 que hacen referencia a cada uno de los sensores de las 4 sub zonas de tendal, están activadas como se aprecia en la ventana I/O y en la línea 2 del programa principal; en consecuencia se activa el auxiliar B3:2/5 deshabilitando la ejecución de las subrutinas que realizan los procesos del sistema de lavado. En el programa principal se aprecia las subrutinas que realizan el sistema de lavada: Proceso de Remojo, Proceso de Lavado, Direccionamiento a la Zona de Tendal y la subrutina del control de nivel de la poza de almacenamiento.

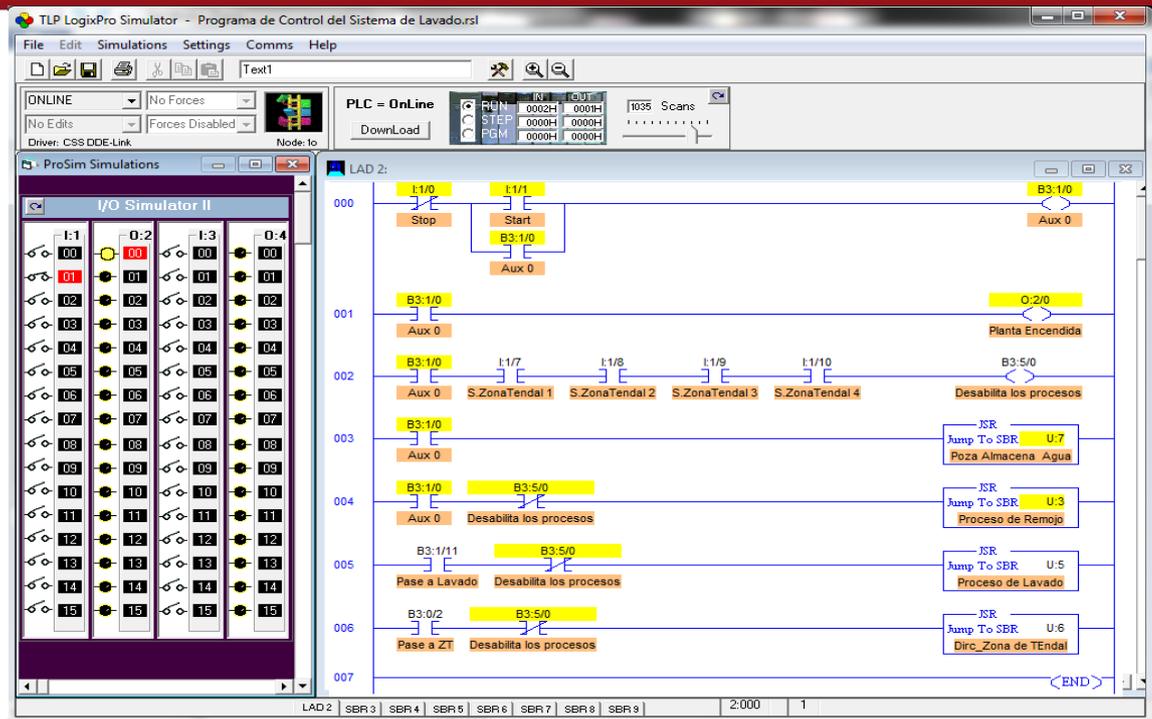


Figura 4.4. Planta en Estado Disponible

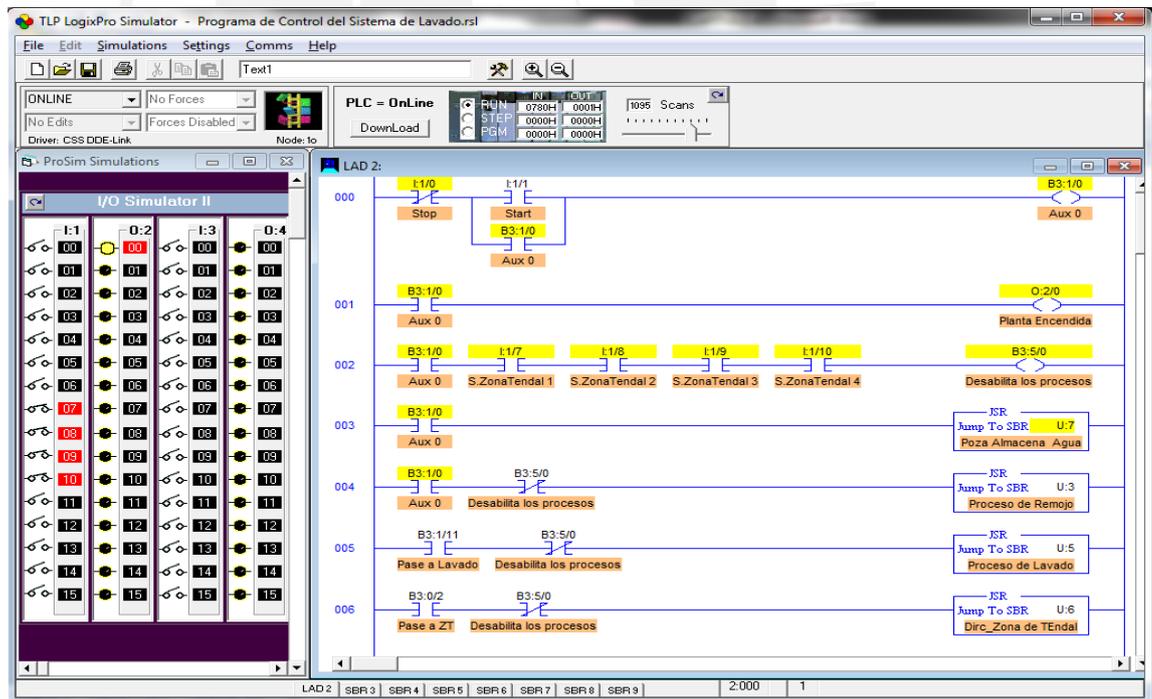


Figura 4.5. Planta en Estado no Disponible

### 4.3.2. Simulación del Proceso de Remojo

Se simula el proceso de remojo para la primera poza, para ello se cierra el contacto de la entrada I:1/11 que representa al sensor de presencia que indica que dicha poza está ocupada por zanahorias. En la Figura 4.6 se muestra la simulación de la subrutina que ejecuta el proceso de remojo. Se aclara que para los timers el tiempo programado es igual al Preset (.PRE) por el Tiempo Base (0.1 segundo). Debido a que es un control secuencial debe entenderse que las ocurrencias descritas en la parte derecha se realizan una a continuación de la anterior. Asimismo se hace mención que los tiempos son referenciales y que las abreviaturas C.E. y C.S. hacen referencia a compuerta de entrada y compuerta de salida respectivamente.

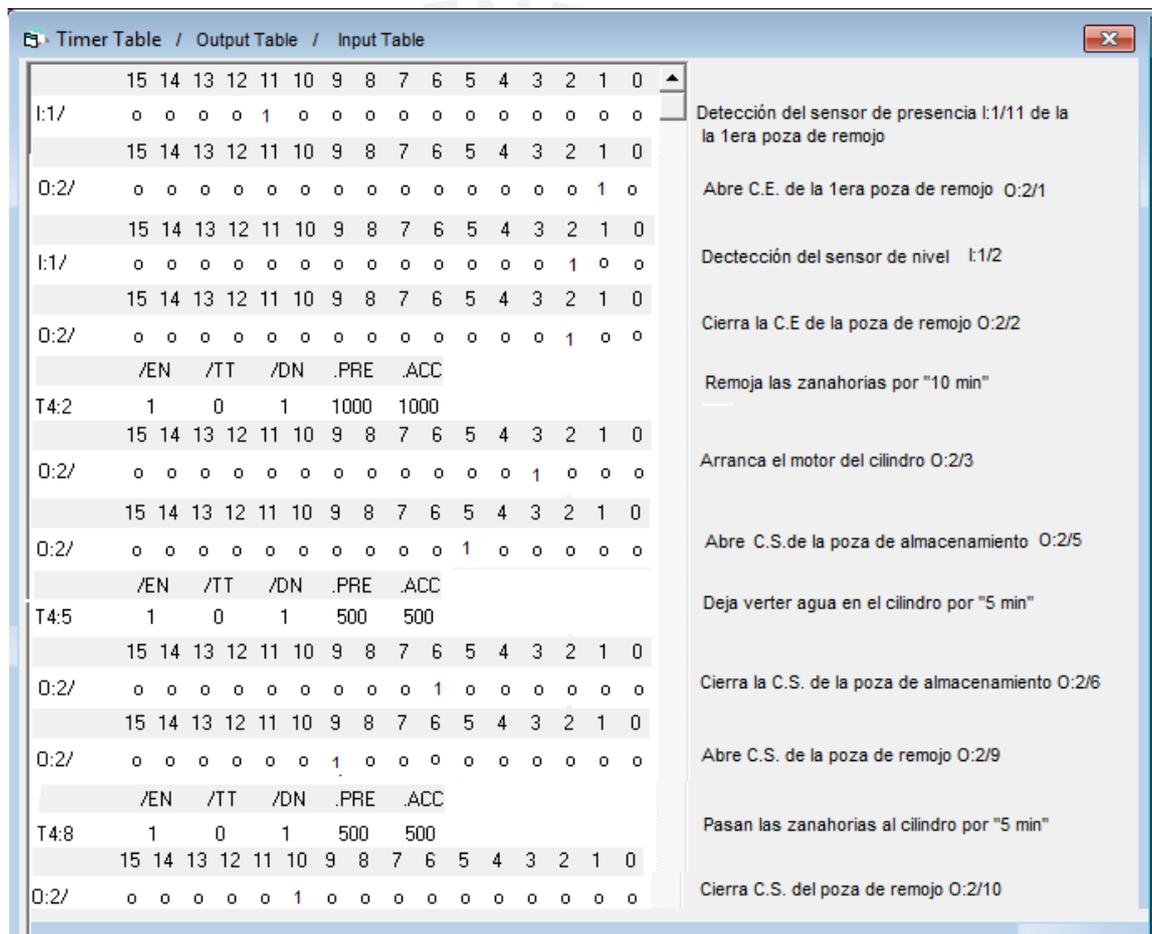


Figura 4.6. Simulación del Proceso de Remojo

### 4.3.3. Simulación del Proceso de Lavado

Se simula el proceso de lavado realizado en el cilindro, en donde cada 7 minutos se realiza un intercambio de agua por 3 minutos. Se aclara que para la simulación los tiempos son referenciales, asimismo que las abreviaturas C.D. y C.S. hacen referencia a compuerta de desfogue y a la compuerta de salida respectivamente. En la Figura 4.7. se muestra la simulación de la subrutina que ejecuta el proceso de lavado en el cilindro.



Figura 4.7. Simulación del Proceso de Lavado

### 4.3.4. Simulación del Direccionamiento a la Zona de Tendal

Se simula el direccionamiento de las zanahorias del cilindro de lavado hacia la primera sub zona de tendal. Se aclara que para la simulación los tiempos son referenciales y que las abreviaturas C1, ZT1 y CS hacen referencia a compuerta uno, sub zona de tendal uno y compuerta de salida respectivamente. Asimismo se menciona que una vez culminado este proceso todo el sistema de control se restablece para poder dar inicio a otro lavado de zanahorias.

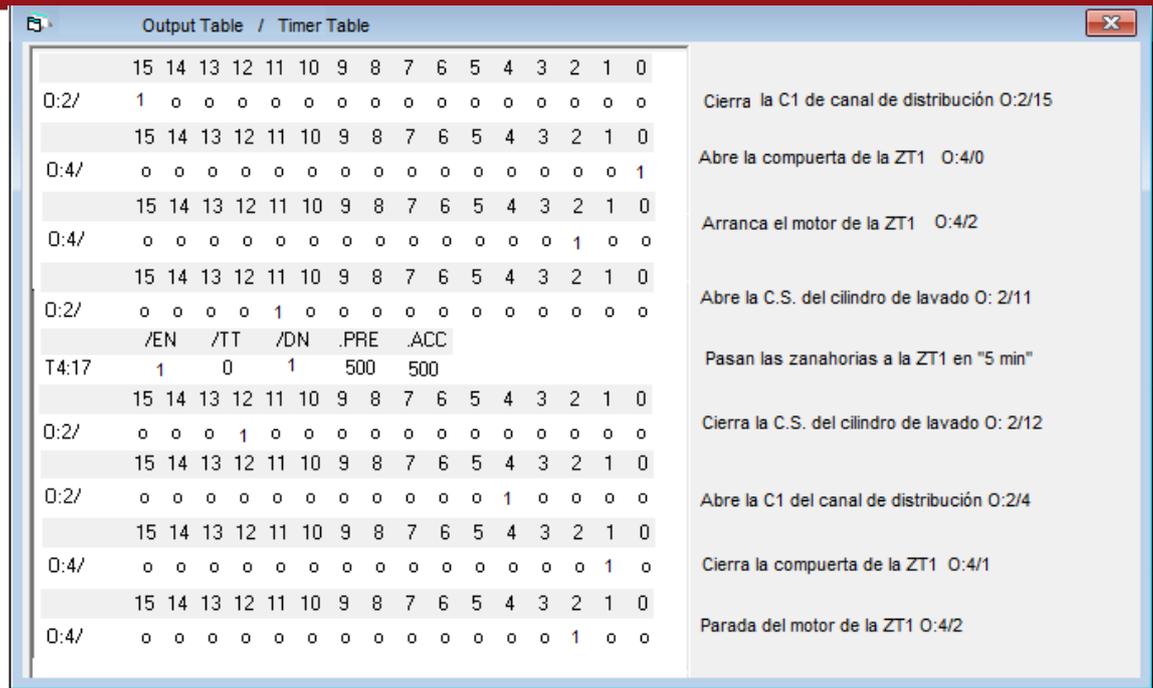


Figura 4.8. Simulación del Direccionamiento a la Zona de Tendal

#### 4.3.5. Análisis de Resultados del Sistema de Control

El sistema de control realizará el sistema del lavado de las zanahorias en forma automática en 55 minutos, llevando un control preciso en los tiempos de lavado y en el tiempo de funcionamiento de los motores. En la Tabla 4.1. se muestra el tiempo de operación del sistema de lavado ejecutado por el PLC.

Tabla 4.1 Tiempo de Operación del Sistema de Lavado

| Descripción              | Tiempo (min) |
|--------------------------|--------------|
| Remojo                   | 15           |
| Pase al Cilindro         | 5            |
| Lavado en el Cilindro    | 30           |
| Pase a la Zona de Tendal | 5            |
| <b>Total</b>             | <b>55</b>    |

#### 4.4. Presupuesto

Se plantea un presupuesto flexible para la implementación del sistema. Para los costos de los equipos se utilizarán los valores de cotizaciones que se necesita invertir. El resumen de los costos se presenta en la Tabla 4.2. donde además se incluye los costos de ingeniería. Se obtiene como presupuesto del sistema un monto de 54 098.65 nuevos soles.

**Tabla 4.1.** Presupuesto del Sistema

| Descripción  | Cantidad | Precio Unitario S/. | Precio Total S/. |
|--|----------|---------------------|------------------|
| Sensores de presencia fotoeléctricos de tipo difuso reflectivo | 5        | 64                  | 320              |
| Sensores de presencia fotoeléctricos de tipo barrera           | 4        | 80                  | 320              |
| Sensores de Nivel  | 7        | 40                  | 280              |
| Fuente regulable 220Vac/24Vdc-2.5A                             | 1        | 295.92              | 295.92           |
| Cilindro neumático DSBF DSBF-C-50                              | 22       | 568.4               | 12504.80         |
| Compresor de tipo pistón de 15bar/20HP                         | 1        | 5280                | 5280             |
| Unidad de mantenimiento FRL mecánico                           | 3        | 408.84              | 1226.52          |
| Electroválvula de distribución 5/2 a 24Vdc                     | 22       | 466.2               | 10256.4          |
| Válvula de estrangulamiento unidireccional                     | 44       | 52.62               | 2315.28          |
| Contactador AC-3-9A  | 4        | 59.3                | 237.2            |
| Contactador AC-3-32A   | 1        | 79.7                | 79.7             |
| Procesador SLC 5/03  | 1        | 1175                | 1175             |
| Módulo de Entrada 1746-IB16                                    | 2        | 80                  | 160              |
| Módulo de Salida 1746-ow16                                     | 4        | 80                  | 320              |
| Chasis de 10 slots 1746-A10                                    | 1        | 20                  | 20               |
| Fuente de alimentación 1746-P2                                 | 1        | 45                  | 45               |
| PanelView Plus 600   | 1        | 7800                | 7800             |
| Interruptor termomagnético S63 C32                             | 1        | 94.6                | 378.4            |
| Interruptor termomagnético S63 C04                             | 4        | 79.7                | 79.7             |
| Relé térmico TA 25 DU-A9                                       | 4        | 68.4                | 273.6            |
| Relé térmico TA 42 DU-A40                                      | 1        | 88.9                | 88.9             |
| Cable Belden #9842   | 1 metro  | 11.13               | 11.13            |
| Acoplador de vínculo aislado AIC-1747                          | 2        | 815.55              | 1631.10          |
| Montaje de instalaciones                                       | -        | 2500                | 2500             |
| Programación y diseño  | -        | 5500                | 5500             |
| Otros: tableros, cables, tuberías, Borneras                    | -        | 1000                | 1000             |
| <b>Total</b>   |          |                     | <b>54 098.65</b> |

## CONCLUSIONES

A partir de las simulaciones realizadas para el sistema electroneumático y el sistema de control con PLC, se comprobó el correcto funcionamiento automático del sistema de lavado, se concluye que se ha realizado con éxito el diseño del sistema de automatización de la Planta de lavado de zanahoria.

La simulación del sistema de control desarrollado en lenguaje escalera (ladder), mostró un control efectivo de cada proceso llevando a cabo el sistema de lavado automático en 55 minutos, permitiendo una reducción en el tiempo de lavado y dando la posibilidad que la Planta pueda operar más veces al día.

El sistema electroneumático diseñado tiene la capacidad de accionar hasta cinco compuertas simultáneamente, teniendo en cuenta que en el sistema de lavado se accionan solo dos compuertas a la vez. Esto permitirá realizar futuras ampliaciones en la Planta sin tener que redimensionar el sistema neumático.

La neumática controlada con señales de mando eléctrico fue el sistema propuesto más adecuado para abrir y cerrar las compuertas pues permitió realizar de forma más simple movimientos lineales en dos direcciones aplicando una fuerza considerable.

## RECOMENDACIONES

El sistema estaría más protegido con un transformador de aislamiento para la toma de alimentación del tablero en el que se va encontrar el PLC y Panel de Operador para independizar completamente el suministro eléctrico externo del interno y de esta manera proteger los equipos de alteraciones eléctricas.

El sistema debe tener un mantenimiento preventivo, principalmente al PLC y al Panel de Operador, asimismo a los elementos de campo, tales como: sensores, electroválvulas, unidades de mantenimiento, compresor, cilindros neumáticos y motores. De esta manera se asegurará que el sistema funcione de manera continua sin posibles fallas.



## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Empresa de Máquinas Agrícolas MEP  
Máquina lavadora de zanahorias [Consultado 17/09/2011]  
[http://www.elpatomaquinarias.com.ar/maq\\_lavadora-zanahoria.php](http://www.elpatomaquinarias.com.ar/maq_lavadora-zanahoria.php)
- [2] Máquina Lavadora de Zanahoria Romero  
[consultado 17/09/2011]  
<http://huancayo.olx.com.pe/pictures/maquina-lavadora-de-zanahoria-papa-y-camote-iid-33170908>
- [3] Empresa Clamahort  
Máquina lavadora de tubérculos [consultado 17/09/2011]  
<http://www.clamahort.es/index.php>
- [4] García Moreno, Emilio  
2010 Automatización de Procesos Industriales  
Universidad Politécnica de Valencia - España
- [5] Opciones de Control de Automatización: PLC – PAC – PCbA  
[consultado 20/09/2011]  
<http://www.infopl.net/documentacion/5-automatas/1071-entender-las-opciones-de-control-de-automatizacion>
- [6] National Instruments  
PAC Combina la Robustez de PLC y la funcionalidad de la PC  
[consultado 20/09/2011]  
<http://www.ni.com/white-paper/5947/es>
- [7] Piedrafita Moreno, Ramón  
2001 Ingeniería de la Automatización Industrial  
4ta edición México
- [8] Neumática e Hidráulica  
[consultado 20/09/2011]  
<http://www.sapiensman.com/neumatica/mapadelsitio.htm>
- [9] Comparación entre: Neumática, Hidráulica y Electricidad  
[consultado 20/09/2011]  
<http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r69439.PDF>
- [10] García Higuera, Andrés  
2005 El Control Automático en la Industria  
Universidad de Castilla la Mancha - España
- [11] Chereque Morán, Wendor  
1993 Mecánica de Fluidos  
PUCP-Lima-Perú
- [12] Servicio Nacional de Adiestramiento en Trabajo Industrial  
Mantenimiento y Reparación de Sistemas de Control Neumáticos  
[consultado 20/09/2011]  
<http://es.scribd.com/doc/89140679/16/ACTUADORES-LINEALES>
- [13] Lladonosa Giro, Vicente  
1986 Arranque de Motores Mediante Contactores  
2da edición Madrid-España

- [14] Contreras Iglesias, Angie  
2010 Diseño de un Sistema de Automatización para el Sistema de Iluminación de una Planta Industrial. Tesis. PUCP- 79 p.
- [15] Allen Bradley  
Módulos de E/S y Controladores Programables SLC 500  
[consultado 20/03/2012]  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/so/1747-so001\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/so/1747-so001_-es-p.pdf)
- [16] Allen Bradley - Rockwell Automation  
Manual de Usuario del PanelView Plus 600 Terminals  
[consultado 16/04/2012]  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711p-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/2711p-um001_-en-p.pdf)
- [17] Allen Bradley - Rockwell Automation  
Manual de Usuario del PanelBuilder 32  
[consultado 25/04/2012]  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/2711-gr003\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/gr/2711-gr003_-es-p.pdf)
- [18] Knowledgebase - Rockwell Automation  
General Information Technote: DH-485 Cables used with SLC-500 processors and the 1747AIC  
[consultado 25/04/2012]  
<http://es.scribd.com/doc/56335770/1747-AIC-Link-Coupler>
- [19] Allen Bradley - Rockwell Automation  
Manual de Instalación y Operación - Acoplador de Vinculo Aislado 1747-AIC para DH-485  
[consultado 25/04/2012]  
<http://es.scribd.com/doc/36006830/SLC-500-Manua-de-Instalacion-y-Operacion>
- [20] Allen Bradley - Rockwell Automation  
SLC 500 Instruction Set Reference  
[consultado 25/04/2012]  
[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1747-rm001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/rm/1747-rm001_-en-p.pdf)
- [21] Sensores de Proximidad  
[consultado 28/04/2012]  
<http://sensoresdeproximidad.galeon.com/>
- [22] Programa de Mantenimiento de un Sistema Neumático  
[consultado 30/07/2012]  
<http://zonaemec.files.wordpress.com/2011/11/1-programa-de-mantenimiento.pdf>