



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA CENTROAMERICANA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**PROYECTO FASE I**

**SISTEMA AUTOMATIZADO DE ASPERSORES EN PULVERIZADORA AGRÍCOLA POR  
MONITOREO DE HIERBAS EN TIEMPO REAL**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO**

**INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**PRESENTADO POR:**

**11241023**

**FRANCISCO JAVIER DÍAZ TÁBORA**

**ASESOR: ING. RIGOBERTO CASTRO CASTRO**

**CAMPUS TEGUCIGALPA; SEPTIEMBRE, 2019**

## RESUMEN EJECUTIVO

En Honduras, el desarrollo e implementación de la tecnología en agricultura no es avanzada y por ende es necesario implementar nuevas ideas tecnológicas para optimizar los recursos que el país posee. Éste es el objetivo de la agricultura de precisión, estas metodologías tecnológicas están empezando a aplicarse en diferentes campos de cosechas agrícolas a lo largo del territorio nacional.

Esta investigación se ha centrado en el área de la agricultura de precisión y sus herramientas para el manejo de malezas en cultivos. Se ha enfocado en el desarrollo de un sistema autónomo para una pulverizadora agrícola implementada para la eliminación de malezas. El objetivo principal ha sido proponer un diseño de control de una pulverizadora comercial mediante la detección de malezas mediante un algoritmo de visión computacional previamente diseñado, actualmente las pulverizadoras comerciales no son automatizadas mediante visión computacional. En el presente proyecto se propuso un sistema autónomo de pulverización mediante la operación de un control lógico programable con lo que se pretende la reducción del uso de químicos aplicados sobre el cultivo. Como metodología, se ha aplicado un diagrama de control, para el uso del control lógico programable, ante posibles escenarios que el sistema de pulverización del tractor debe enfrentar para un funcionamiento autónomo. El diagrama de control se ha simulado mediante uso computacional y software del control lógico programable, con ello verificando los estados básicos identificados durante posibles tareas del sistema hidráulico de la pulverizadora en operación.

Se diseñó un sistema de control automatizado para el control de fluido hidráulico de aspersión de una pulverizadora agrícola autopropulsada para el ahorro de agroquímicos. Se implementó tiempos de aspersión, haciendo intervalos entre cada momento de aspersión evitando que exista una aspersión constante.

## **EXECUTIVE SUMMARY**

In Honduras, the development and implementation of technology in agriculture is not advanced and therefore it is necessary to implement new technological ideas to optimize the resources that the country possesses. This is the objective of precision agriculture, these technological methodologies are beginning to be applied in different fields of agricultural crops throughout the national territory.

This research has focused on the area of precision agriculture and its tools for unwanted crop management. It has focused on the development of an autonomous system for an agricultural sprayer implemented for unwanted crop removal. The main objective has been to propose a control design of a commercial sprayer by means of the detection of unwanted crops by means of a previously designed computational vision algorithm, currently the commercial sprayers are not automated by means of computational vision. In the present project, an autonomous spraying system was proposed through the operation of a programmable logic control, which aims to reduce the use of chemicals applied to the crop. As a methodology, a control diagram has been applied, using a programmable logic control, before possible scenarios that the tractor spray system must face for autonomous operation. The control diagram has been simulated by computer use and programmable logic control software, thereby verifying the basic states identified during possible tasks of the hydraulic system of the sprayer in operation.

An automated control system was designed for the control of hydraulic spray fluid of a self-propelled agricultural sprayer for agrochemical savings. Spray times were implemented, making intervals between each moment of spraying avoiding constant sprinkling

## ÍNDICE DE CONTENIDO

Capítulo I. Introducción .....	1
Capítulo II. Planteamiento Del Problema .....	3
2.1 Antecedentes .....	3
2.1.1 Algoritmo de Detección de Malezas en Cultivos Mediante Visión Computacional...3	
2.2 Definición del Problema .....	4
2.3 Preguntas de Investigación .....	4
2.4 Objetivos.....	4
2.4.1 Objetivo General.....	4
2.4.2 Objetivos Específicos .....	4
2.5 Justificación .....	5
Capítulo III. Marco Teórico .....	6
3.1 Agricultura de Precisión .....	6
3.1.1 Aplicabilidad de Agricultura de Precisión .....	6
3.1.2 Agricultura de Precisión en Cultivos Tradicionales Actuales.....	6
3.1.3 Beneficios Potenciales y posibles Deficiencias de la Agricultura de Precisión.....	7
3.1.4 Ciclo Completo de la Agricultura de Precisión.....	8
3.1.5 Etapas para la Aplicación de la Agricultura de Precisión.....	9
3.1.6 Percepción Remota en Agricultura de Precisión para la Aplicación de sensores en Sistemas de Tractores Agrícolas.....	10
3.1.7 Agricultura de Precisión en Honduras.....	11
3.2 Ingeniería de Control y Sistemas de Control .....	14
3.2.1 Variable Controlada y Variables Manipuladas en Sistemas de Control.....	15

3.2.2	Elementos Básicos de un Sistema de Lazo Abierto .....	15
3.2.3	Elementos Básicos de Sistemas de Control en Lazo Cerrado.....	16
3.2.4	Ejemplo de Sistemas de Control Reales.....	19
3.2.5	Control Digital.....	22
3.2.6	Automatización y Control Aplicados con Control Lógico Programable (PLC) .....	23
3.3	Automatización en Sistemas de Agua y Riego.....	27
3.3.1	Sistemas de Riego y Aplicación de Agua o Químicos por Aspersión.....	27
3.3.2	Automatización de los Sistemas de Riego por Aspersión .....	28
Capitulo IV. Metodología.....		35
4.1	Enfoque.....	35
4.2	Variables de Investigación .....	35
4.3	Técnicas e Instrumentos Aplicados .....	36
4.4	Materiales.....	36
4.5	Metodología de Estudio .....	37
4.5.1	Descripción del Sistema Hidráulico de una Pulverizadora Agrícola .....	37
4.5.2	Automatización del Sistema Hidráulico Generalizado .....	41
4.5.3	Estructura del Programa en el Software “Concept 2.6 Telemecanique” para PLC Modicon 171CCC96030 de Schneider Electric.....	43
4.6	Metodología de Validación .....	47
4.7	Cronograma de Actividades.....	48
Capítulo V. Resultados y Análisis .....		49
5.1	Operación del sistema en condiciones normales .....	49
5.2	Respuesta del sistema ante presiones altas y bajas.....	50
5.3	Respuesta ante un nivel bajo de líquido en el depósito .....	50

5.4 Respuesta ante fallo de electroválvula.....	51
Capítulo VI. Conclusiones .....	52
Capítulo VII. Recomendaciones .....	53
Bibliografía.....	54
Anexos.....	57

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Detección de Maleza.....	3
Ilustración 2. Agricultura de Precisión.....	7
Ilustración 3. Ciclo Completo de la Agricultura de Precisión .....	8
Ilustración 4. Sensores necesarios en un Tractor Agrícola .....	11
Ilustración 5. Cabina con Monitores en un Tractor Agrícola John Deere .....	12
Ilustración 6. Sistema de guía automatizado en un tractor John Deere .....	12
Ilustración 7. Programación de directrices en el software "AMS" de John Deere .....	13
Ilustración 8. Ejemplo de comunicación satelital con el tractor John Deere .....	14
Ilustración 9. Subsistemas en un sistema de control de lazo abierto .....	15
Ilustración 10. Sistema de control en lazo abierto de la temperatura de la habitación .....	16
Ilustración 11. Subsistemas en un sistema de control en lazo cerrado.....	17
Ilustración 12. Sistema de control en lazo cerrado para la temperatura de una habitación.....	18
Ilustración 13. Sistemas de Control de Velocidad .....	19
Ilustración 14. Sistema de Control de Temperatura .....	20
Ilustración 15. Control de Temperatura del Comportamiento de Pasajeros en un Coche .....	21
Ilustración 16. Sistema de control digital en lazo abierto para sistemas en tiempo continuo.....	22
Ilustración 17. Sistema de control digital en lazo cerrado para sistemas en tiempo continuo.....	23
Ilustración 18. Controlador lógico programable.....	24
Ilustración 19. Arquitectura de un PLC.....	25
Ilustración 20. Sistemas: a) AND, b) OR, c) NOR, d) NAND, XOR.....	25
Ilustración 21. PLC Modicom M340 de Schneider Electric .....	26
Ilustración 22. Estructura básica del hardware de un PLC .....	26
Ilustración 23. Boquilla de aspersion directa "Albuz ATR 80" .....	28
Ilustración 24. Sistema de riego fijo por aspersion .....	30
Ilustración 25. Sistema de riego por aspersion controlado con programador .....	30
Ilustración 26. Estructura del Pívo.....	31
Ilustración 27. Árbol de transmisión del pívo.....	32
Ilustración 28. Ruedas de un Pívo de riego .....	33

Ilustración 29. Motor reductor de un pivot de riego.....	33
Ilustración 30. Esquema del circuito generalizado de una pulverizadora hidráulica .....	39
Ilustración 31. Esquema del circuito hidráulico con PLC montado.....	41
Ilustración 32. Primer bloque de programación en escalera en Concept 2.6 .....	44
Ilustración 33. Segundo bloque de programación con comparadores lógicos para sensores analógicos.....	45
Ilustración 34. Simulación del sistema por medio del "PLC Sim32 TCP/IP" .....	47
Ilustración 35. Simulador "PLC Sim32 TCP/IP" .....	47
Ilustración 36. Definición de entras y salidas en un el simulador PLC Sim32 TCP/IP.....	49



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Etapas de la Agricultura de Precisión .....	9
Tabla 2. Descripción de componentes de la tubería hidráulica de una pulverizadora agrícola según etapas del fluido.....	38
Tabla 3. Variables de entrada, variables de salida y variables internas para lectura del PLC.....	43

## ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Bloque 1: Sistema apagado.....	57
Anexo 2. Bloque 2: Sistema apagado.....	58
Anexo 3. Bloque 1: Encendido del sistema debajo de 6km/h y todos los parámetros en condiciones normales.....	59
Anexo 4. Bloque 2: Encendido del sistema debajo de 6km/h y todos los parámetros en condiciones normales.....	60
Anexo 5. Bloque 1: Sistema operando en condiciones normales para operación de electroválvulas.....	61
Anexo 6. Bloque 1: Sistema operando en condiciones normales para la operación de electroválvulas con CAM1 y CAM2 activadas.....	62
Anexo 7. Bloque 2: Respuesta del sistema ante presión alta.....	63
Anexo 8. Bloque 1: Respuesta del sistema ante presión alta.....	64
Anexo 9. Bloque 2: Respuesta del sistema ante presión baja.....	65
Anexo 10. Bloque 1: Respuesta del sistema ante presión baja.....	66
Anexo 11. Bloque 2: Respuesta del sistema ante nivel muy bajo de líquido en el depósito.....	67
Anexo 12. Bloque 1: Respuesta del sistema ante nivel muy bajo de líquido en el depósito.....	68
Anexo 13. Bloque 1: Respuesta del sistema en operación ante velocidad debajo de 6km/h.....	69
Anexo 14. Bloque 1: Respuesta del sistema ante el fallo de una electroválvula.....	70
Anexo 15. Bloque 1: Paro del sistema ante una emergencia desactivando la variable de retención "B".....	71
Anexo 16. Tablas de variables de entrada, salida, internas y sus direcciones.....	72

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**

El sector agrícola de Honduras es uno de los más importantes del país, siendo de los mayores generadores de ganancia monetaria y movimiento de económico, este sector aporta 11.8% del Producto Interno Bruto (Mundial, 2019). El sector agrícola de Honduras es amplio, pero se enfoca mayormente en tipos de cosechas que consisten principalmente de leguminosas, hierbas aromáticas, gramíneas, cítricos, hortalizas, bayas y productos derivados, tales como azúcar y tortillas, de todas las cosechas anteriores.

Desde el 2014, el gobierno ha hecho grandes inversiones con diferentes sectores dentro de la agricultura, llegando a cantidades muy altas de inversión de lempiras (Honduras, 2019), por lo que en los últimos años ha crecido la producción y demanda de productos agrícolas de alta calidad. Una de las formas de poder asistir a la producción para su demanda es usando tecnologías, entrando en el área de agricultura de precisión, que podrían cambiar o mejorar las metodologías utilizadas en las cosechas, dando así mejoría en el incremento de productos agrícolas de manera eficaz y eficiente sin tener mayores pérdidas de productos.

Mediante métodos de detección por procesamiento de imágenes en tiempo real es posible realizar la detección de problemas en cultivos en sitios específicos. El presente proyecto utiliza los métodos implementados por (Bénitez, 2019) y (Irías, 2018) que consisten en algoritmos de detección de malezas mediante un software y una cámara. El algoritmo es transferido por una señal eléctrica que se utilizará para la activación del sistema a diseñar de aspersores automáticos en una pulverizadora agrícola para aplicar los herbicidas sobre la maleza detectada. El diseño consiste en un sistema para el control de los aspersores el cual dará las instrucciones de activación a las electroválvulas que controlan el caudal de los aspersores. El sistema será ejemplificado con su respectiva secuencia lógica que demuestra su funcionamiento en una pulverizadora agrícola que pretenderá la eliminación eficaz de malezas en un campo de cultivo sin afectar la cosecha esperada por los químicos utilizados.

El proyecto puede mostrar ventajas de manejo, aplicabilidad y eficiencia del líquido químico que una pulverizadora agrícola utiliza durante la operación. Las ventajas de manejo se pueden ver reflejadas por la cantidad de trabajo del operador tanto como de la máquina, ahorrando actividades manuales al operador, que podrían resultar complicadas y repetitivas, y ahorrando capacidad de trabajo y mantenimiento de la máquina. La aplicabilidad y eficiencia del líquido se verán modificadas de manera en la cual no habrá un desperdicio de líquido pulverizador, ya que este líquido es esparcido de manera constante durante toda la operación de la máquina y, con un sistema automático, el líquido solo será esparcido en puntos clave.

El presente informe consiste en 7 capítulos que describen el proceso de desarrollo del proyecto. El capítulo 2, planteamiento del problema: especifica el problema a resolver por el sistema propuesto de automatizar los aspersores en una pulverizadora agrícola.

El capítulo 3, marco teórico: muestra las definiciones científicas e imágenes de todos los elementos y procesos utilizados para la automatización de una pulverizadora agrícola.

El capítulo 4, metodología: presenta los métodos aplicados para la realización del proyecto con base en la elaboración de un diagrama de control.

El capítulo 5, resultados y análisis: muestra como los procesos fueron aplicados mediante simulaciones en un software.

Los capítulos 6 y 7 muestran conclusiones y recomendaciones concretas sobre el sistema automatizado propuesto.

## CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 2.1 ANTECEDENTES

#### 2.1.1 ALGORITMO DE DETECCIÓN DE MALEZAS EN CULTIVOS MEDIANTE VISIÓN COMPUTACIONAL

El proyecto consiste en la implementación de un algoritmo de visión computacional para la detección de maleza con imágenes individuales, este algoritmo toma como variables de identificación las características de color y el tamaño de las malezas, el algoritmo es implementado utilizando el software Matlab (Bénitez, 2019).

El método del proceso del algoritmo, tiene como primer paso, la detección de la planta por medio del procesamiento de imagen reduciendo la información que no es necesaria procesar de la imagen percibida del sistema de toda la vegetación. Luego, la vegetación de malezas se enfoca por medio de varias etapas de procesamiento de imagen, el resultado final está demostrado en la ilustración 1. El algoritmo se basa en una formula desarrollada para que detecte solo la maleza dentro de toda la vegetación (Iriás, 2018).



**Ilustración 1 Detección de Maleza**

Fuente: (Iriás, 2018)

## **2.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA**

El problema se enfoca en automatizar una la pulverizadora agrícola para la mejora de eficiencia de líquido químico utilizado sobre cosechas agrícolas utilizando como señal de entrada al sistema de control la detección de maleza por medio del algoritmo de (Irías, 2018) y (Bénitez, 2019)

## **2.3 PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

1. ¿Qué tipo de sistema de control se utilizará para la automatización de los aspersores en la Pulverizadora Automática?
2. ¿Qué procedimiento se utilizará para detectar la instrucción que el algoritmo genere de la lectura de plantas nocivas en el campo de producción?
3. ¿Cuáles son las pulverizadoras agrícolas más utilizadas en el sector agrícola hondureño para poder implementar el diseño de la automatización de los aspersores?

## **2.4 OBJETIVOS**

### 2.4.1 OBJETIVO GENERAL

Diseñar un sistema de control automatizado para las electroválvulas de pulverizadoras agrícolas usando como señal de entrada el monitoreo de malezas en tiempo real mediante procesamiento de imagen.

### 2.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Estudiar el sistema electromecánico para el circuito de pulverización de una pulverizadora agrícola.
2. Diseñar un sistema de control automático para el sistema de aspersores.
3. Proponer la implementación de cámaras como sensores visuales para el accionamiento de las electroválvulas instaladas en la pulverizadora.
4. Proponer un microprocesador para el accionamiento automático de las electroválvulas en la pulverizadora agrícola.
5. Realizar un presupuesto del proyecto de automatización.

## **2.5 JUSTIFICACIÓN**

El algoritmo junto al sistema de control de accionamiento automático de los aspersores se utilizaría como nueva metodología para el control y eliminación de plagas o malezas que surgen dentro de un campo de producción agrícola. Con ello reduciendo el uso de agroquímicos y reduciendo costos por insumos.

## **CAPÍTULO III. MARCO TEÓRICO**

### **3.1 AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

#### **3.1.1 APLICABILIDAD DE AGRICULTURA DE PRECISIÓN**

El concepto de la agricultura de precisión es aplicar la cantidad correcta de insumos, en el momento adecuado y en el lugar exacto. Es el uso de la tecnología de la información para adecuar el manejo de suelos y cultivos a la variabilidad presente dentro de un lote. La agricultura de precisión involucra el uso de sistemas de posicionamiento global (GPS) y de otros medios electrónicos para obtener datos del cultivo (Flego, 2016).

Las prácticas en la Agricultura de Precisión de Manejo Sitio-Específico (MSE) serían recomendables en situaciones donde, en el potrero, exista una alta variabilidad de los factores de producción (fertilidad, malezas, agua, etc.) y los rendimientos varíen en función de ellos. Bajo estas condiciones, idealmente debieran aplicarse manejos diferenciales dentro del sitio en términos de fertilización, control químico de malezas, etc., en vez del tradicional manejo promedio utilizado en la actualidad (FloresM., 2016).

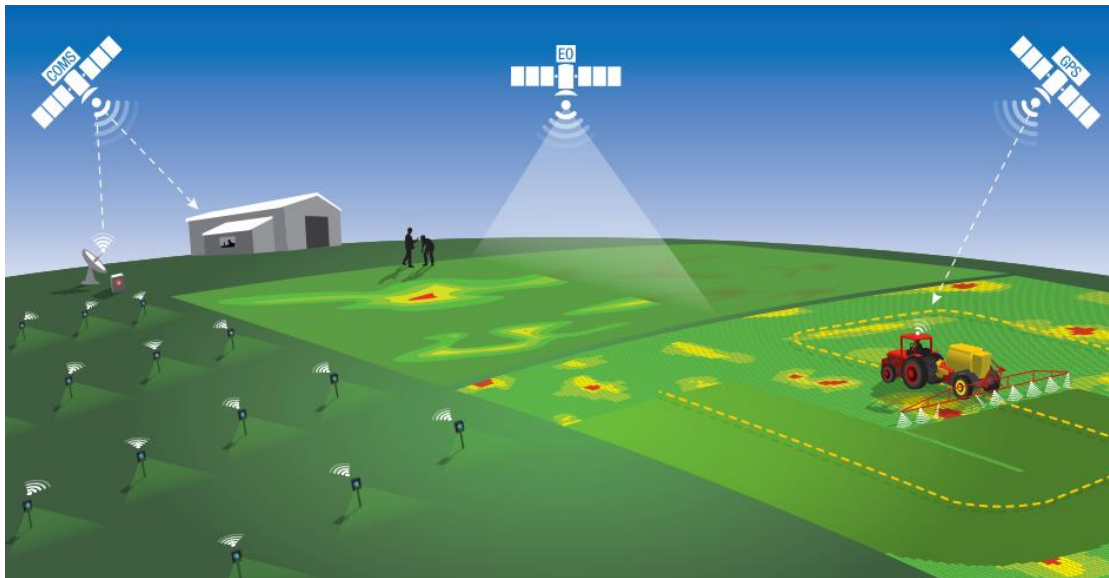
El área de mayor desarrollo dentro de la Agricultura de Precisión es el Manejo de Nutrientes Sitio-Específico (MNSE), también llamado Tecnología de Dosis Variables (TDV), que corresponde a la aplicación variable de dosis de fertilizantes de acuerdo al nivel de fertilidad de cada sector de manejo homogéneo dentro del potrero, lo cual significa que no se trabaja, necesariamente con una sola dosis de fertilizante, sino que con tantas dosis como áreas significativamente homogéneas existan en la explotación (FloresM., 2016).

#### **3.1.2 AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN CULTIVOS TRADICIONALES ACTUALES**

El fin de la agricultura de precisión en cultivos tradicionales actuales es la obtención de unos sistemas de producción más eficientes aumentando la eficiencia agronómica del sector productivo y elaborar sistemas de producción más competitivos, incorporando nuevas técnicas y/o manteniendo la productividad de los cultivos, buscando, reducir los costos de la producción de cultivos.



En todo este contexto, la optimización del uso de insumos a través de la precisión en la agricultura es una alternativa que establece de una manera diferenciada, de métodos antiguos tradicionales, el manejo del sistema de producción, buscando promover la estabilidad de la producción a través de la maximización del retorno económico y preservando el medio ambiente (Rodolfo Bongiovanni, 2006).



**Ilustración 2. Agricultura de Precisión**

Fuente: (Daoud, 2019)

### 3.1.3 BENEFICIOS POTENCIALES Y POSIBLES DEFICIENCIAS DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

#### **Fortalezas**

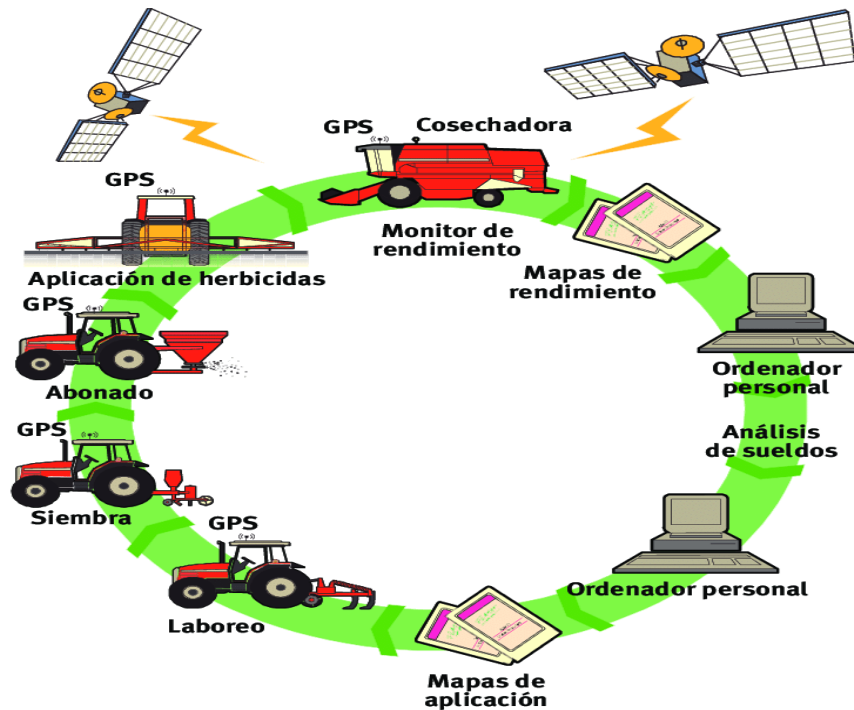
- Consecuente reducción de costos de la contaminación ambiental.
- Reducción de costos como reducción de insumos.
- Con la reducción de insumos, mayores rendimientos con el mismo nivel de insumos.
- Optimización de la cantidad de agroquímicos aplicados en el suelo y cultivos, reduciendo riesgos a la salud del obrero.
- Mayor calidad en las cosechas debido a la optimización de agroquímicos aplicados (Rodolfo Bongiovanni, 2006).

## Posibles Deficiencias

- Mayo costo de la inversión en hardware y software.
- Mayor riesgo de producción por retenciones, ausencia de subsidios, poca difusión del seguro de cosecha, falta de infraestructura de comercialización de todo el sistema básico de una agricultura de precisión.
- Menor variabilidad de suelos en que se implementaran nuevos sistemas por la historia de la agricultura reciente y el poco uso de fertilizantes.
- Uso generalizado de contratistas. (Flego, 2016)

### 3.1.4 CICLO COMPLETO DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

La capacidad de interpretar, recopilar y aplicar información específica de las explotaciones, transformando datos e información en rentabilidad y conocimiento es algo inherente a la agricultura de precisión. Los sistemas de la agricultura de precisión permiten aumentar la eficiencia de los equipos, aumentan la precisión de labores y también posibilitan una gestión agronómica más eficaz (Flego, 2016).



**Ilustración 3. Ciclo Completo de la Agricultura de Precisión**

Fuente: (Flego, 2016)

### 3.1.5 ETAPAS PARA LA APLICACIÓN DE LA AGRICULTURA DE PRECISIÓN

En la agricultura de precisión existen aproximaciones para la aplicación variable de insumos. Una de esas aproximaciones consiste en el muestreo y mapeo de los distintos factores de producción a ser manejados en forma y la segunda aproximación consiste en el monitoreo directo del suelo y/o el cultivo para la aplicación inmediata de los insumos en forma variable. En la siguiente tabla se mostrarán las distintas etapas (FloresM., 2016).

**Tabla 1. Etapas de la Agricultura de Precisión**

<b>Etapas</b>	<b>Tecnología Involucrada</b>	<b>Actividades</b>
Recolección de datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistemas de posicionamiento global (GPS).</li> <li>• Sistemas de información geográfica (SIG).</li> <li>• Instrumentos topográficos.</li> <li>• Sensores remotos.</li> <li>• Sensores directos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medición de la topografía del suelo.</li> <li>• Muestreo de suelos en grilla.</li> <li>• Recorrido de los cultivos para la detección de plagas y enfermedades.</li> <li>• Monitoreo de rendimientos.</li> <li>• Medición directa de propiedades del suelo y cultivos.</li> <li>• Monitoreo remoto de suelos y cultivos.</li> <li>• Digitalización de mapas.</li> </ul>
Análisis, procesamiento e interpretación de la información.	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas de SIG.</li> <li>• Sistemas expertos.</li> <li>• Programas estadísticos.</li> <li>• Experiencia del operador</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Análisis de dependencia espacial.</li> <li>• Confección de mapas de evaluación.</li> <li>• Confección de mapas de prescripción.</li> <li>• Otras.</li> </ul>
Aplicación diferencial de insumos.	Tecnología de dosis variables. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Pulverización asistida por GPS.</li> <li>• Programas computacionales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aplicación variable de nutrientes.</li> <li>• Aplicación variable de plaguicidas.</li> <li>• Siembra diferencial de variedades y aplicación variable</li> </ul>

Fuente: (FloresM., 2016)

### 3.1.6 PERCEPCIÓN REMOTA EN AGRICULTURA DE PRECISIÓN PARA LA APLICACIÓN DE SENSORES EN SISTEMAS DE TRACTORES AGRÍCOLAS.

La percepción remota en ésta área consiste en obtener información sobre un objeto, área o fenómeno a través del análisis de datos obtenidos con un sensor remoto que no está en contacto físico con el objeto, área o fenómeno bajo estudio. Estos sensores remotos pueden tener la capacidad, bajo el sistema usado, de estar a varios kilómetros o pocos centímetros para captar información deseada tal como fotografías aéreas, imágenes satelitales y/o información de sensores de nitrógeno. (FloresM., 2016).

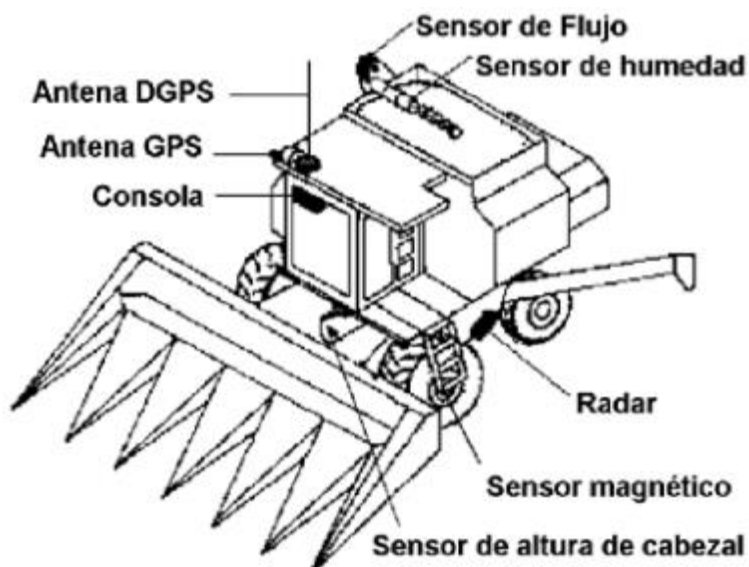
Los sensores en estos vehículos para agricultura (tractores agrícolas) son los que servirán para determinar, en cada momento y posición de la máquina, su velocidad de avance, la temperatura en determinado lugar, el estado de cualquiera de sus mecanismos o también la cantidad de grano instantáneamente cosechado por la máquina, la fertilidad del suelo en una zona del campo, el nivel de vegetación del cultivo (FloresM., 2016).

Sensores necesarios para el monitor de rendimiento Instantáneo o de tiempo real:

- Flujo de grano por unidad de tiempo.
- Humedad del grano por unidad de tiempo.
- Velocidad de avance de la cosechadora.
- Ancho de corte del cabezal. (FloresM., 2016)

Sensores necesarios para el control del rendimiento:

- Sensor de flujo de grano.
- Sensor de humedad del grano.
- Sensor de velocidad de avance.
- Interruptor de posición del cabezal.
- Consola del monitor.
- Receptor DGPS. (FloresM., 2016)



**Ilustración 4. Sensores necesarios en un Tractor Agrícola**

Fuente: (FloresM., 2016)

### 3.1.7 AGRICULTURA DE PRECISIÓN EN HONDURAS

La agricultura de precisión en Honduras se utiliza en una de las empresas productoras de tractores agrícolas "John Deere" que se distribuyen en distintos campos agrícolas del país. El sistema que se implementa en los tractores agrícolas, que pertenece a la agricultura de precisión, es denominado "AMS Auto-Track" que por sus siglas en inglés consiste en "Soluciones de Gestión Agronómica" mediante el uso de redes satelitales (Company, 2019). Este sistema fue implementado y evaluado específicamente en la escuela agrícola del zamorano en tres de sus tractores (José Fernando Flores de la Riva, 2017).

La gestión del sistema "AMS Auto-Track" consiste en brindar soluciones en 4 campos distintos:

- **Receptores y Monitores:** los cuales consisten en proporcionar una estructura de hardware donde indican posicionamiento, trabajo realizado por la máquina e indicaciones que se le pueden brindar a la máquina.



**Ilustración 5. Cabina con Monitores en un Tractor Agrícola John Deere**

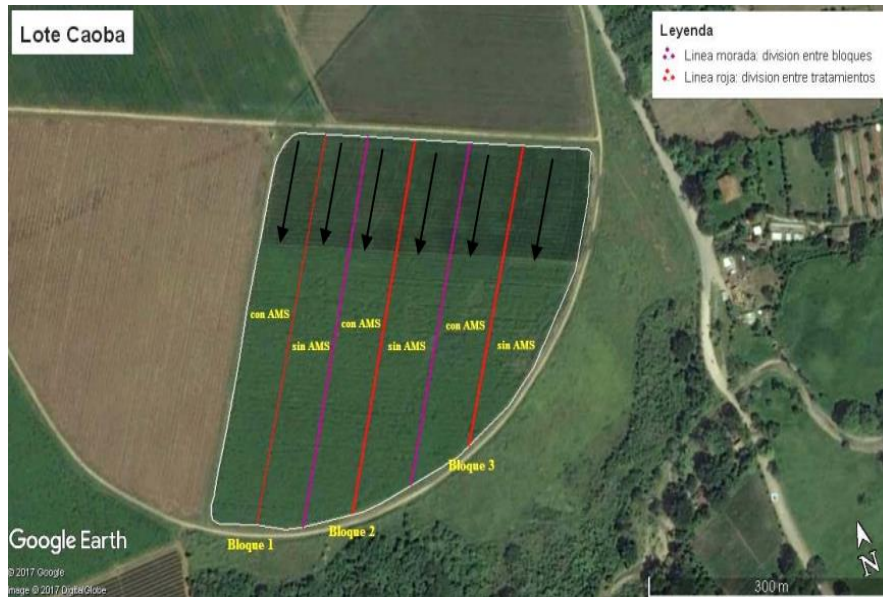
Fuente: (Company, 2019)

- **Guiado y Automatización de Máquinas:** consiste en sistemas integrados de control manual simple hasta una total automatización. En Honduras se utiliza sistemas de control de manual simple, donde hay un guía satelital para proveer ayuda al operador para reducir esfuerzos de los solapamientos y las omisiones.



**Ilustración 6. Sistema de guía automatizado en un tractor John Deere**

Fuente: (Company, 2019)



**Ilustración 7. Programación de directrices en el software "AMS" de John Deere**

Fuente: (José Fernando Flores de la Riva, 2017)

- **Productividad de cosecha:** el sistema aumenta la productividad reduciendo gastos de insumos y aumentando la eficiencia de la dirección asistida mediante el "Auto-Track". Según los ingenieros agrónomos José Flores y David Ayala de la escuela agrícola Panamericana del Zamorano, este sistema si brindó aumento la eficiencia de trabajo de la máquina entre un 9% y 37% (José Fernando Flores de la Riva, 2017) en un sector específico de una cosecha aislada en noviembre de 2017.
- **Gestión Telemática:** mediante servidores de John Deere y la comunicación vía satelital, se le indica a la máquina el área a trabajar y los aspectos del terreno de cosecha para un trabajo parcialmente automatizado ya que siempre se necesita de un obrero para las directrices que hay en la máquina que previamente se diseñan en el sistema "AMS-Auto-Track" (Company, 2019).



**Ilustración 8. Ejemplo de comunicación satelital con el tractor John Deere**

Fuente: (Company, 2019)

### **3.2 INGENIERÍA DE CONTROL Y SISTEMAS DE CONTROL**

El control automático desempeña un papel importante en sistemas modernos digitales, robóticos y análogos. El control automático también se ha convertido en una parte integral muy importante de los procesos modernos industriales y de fabricación.

Por ejemplo, el control automático es el encargado del control numérico de máquinas-herramientas de las industrias manufactureras, en el diseño de sistemas pilotos automáticos en la industria aeroespacial, y en el diseño de camiones y automóviles en la industria automotriz.

El control automático se puede definir como el control que proporciona los medios para conseguir un comportamiento óptimo de los sistemas dinámicos, mejorar la productividad, simplificar el trabajo de muchas operaciones manuales rutinarias y repetitivas en un campo de producción industrial. Para poder definir sistemas de control específicos, es necesario determinar las variables controladas y manipuladas tanto como sistemas de lazo abierto y cerrado (Ogata, Ingeniería de Control Moderna, 2003).



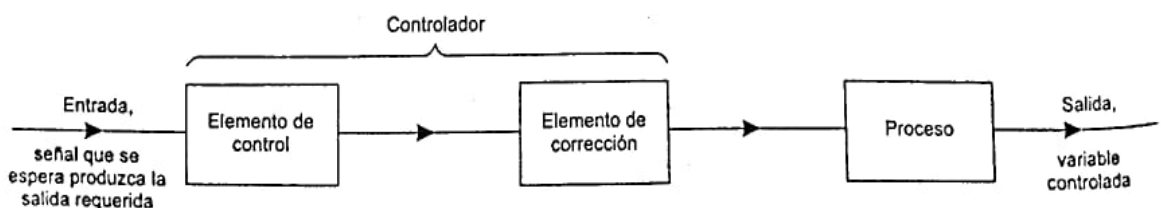
### 3.2.1 VARIABLE CONTROLADA Y VARIABLES MANIPULADAS EN SISTEMAS DE CONTROL

La variable controlada es la condición o cantidad que se mide y se controla. La variable manipulada es la condición o cantidad que un controlador modifica para afectar el valor de una variable controlada. Usualmente en los sistemas de control, la variable controlada tiene a ser la salida del sistema. En ingeniería de control, controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y poder aplicar la variable manipulada para limitar la desviación o corregir el valor medido respecto al valor deseado (Ogata, Variable Controlada y Variable Manipulada, 2003).

### 3.2.2 ELEMENTOS BÁSICOS DE UN SISTEMA DE LAZO ABIERTO

Se considera que un sistema es de lazo abierto cuando consiste en algunos subsistemas arreglados como se demuestra en la ilustración 9. Todos los elementos del sistema pueden ser distintos, equipos separados, pero todas las funciones de cada sistema se deben conservar. La entrada a todo el sistema es una señal, que, basada en experiencias anteriores, es probable que conduzca a la salida requerida (Bolton, Ingeniería de Control, 2005). Los subsistemas consisten en:

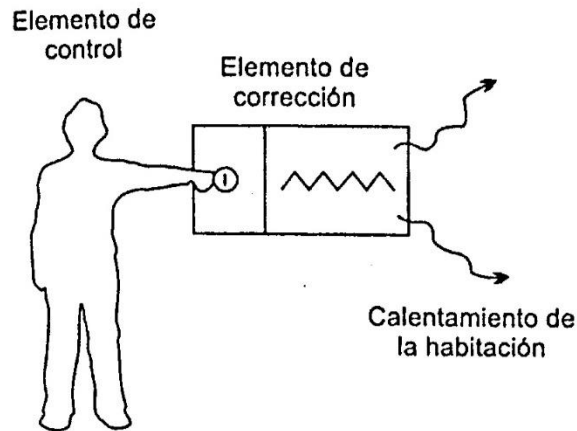
- Elemento de control: es el elemento que determina qué acción se va a tomar dada una entrada al sistema de control.
- Elemento de corrección: es el elemento que responde a la entrada que viene del elemento de control e inicia una acción para producir el cambio en la variable controlada al valor requerido.
- Proceso: es el sistema en el que se va a controlar la variable.



**Ilustración 9. Subsistemas en un sistema de control de lazo abierto**

Fuente: (Bolton, Ingeniería de Control, 2005).

Los dos primeros subsistemas se unen, con frecuencia, para formar un elemento denominado controlador. Un ejemplo idealizado de un sistema de control puede ser un calefactor eléctrico utilizado para calentar una habitación como se muestra en la ilustración 10.



### **Ilustración 10. Sistema de control en lazo abierto de la temperatura de la habitación**

Fuente: (Bolton, Ingeniería de Control, 2005).

La variable controlada consta de la temperatura de la habitación, el elemento de control es la persona que toma las decisiones basadas en la experiencia de las temperaturas producidas mediante la conmutación del elemento calefactor y el proceso es la habitación.

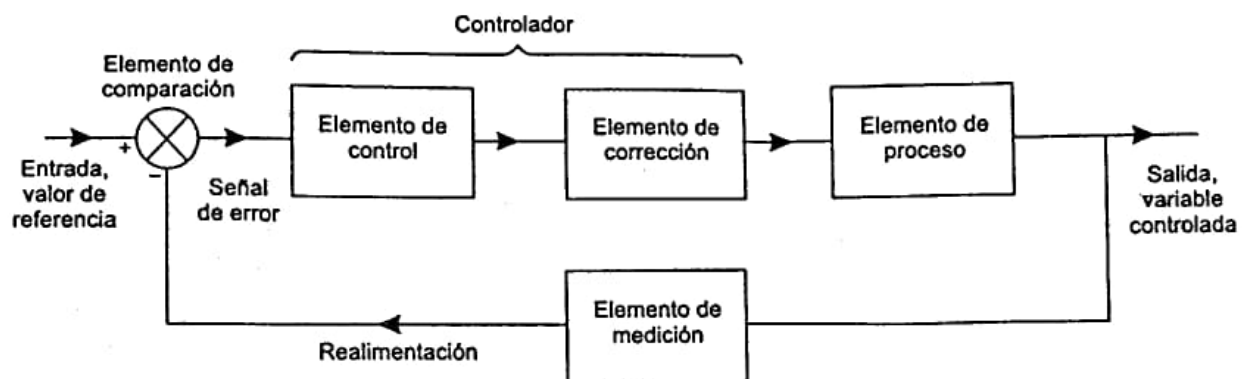
#### **3.2.3 ELEMENTOS BÁSICOS DE SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO CERRADO.**

Se considera que un sistema de control es de lazo cerrado cuando consiste en algunos subsistemas básicos ordenados como se muestra en la figura 11. Estos elementos pueden no ser partes distintas o equipos separados, pero todas las funciones de los subsistemas estarán presentes. La entrada al sistema de control es el valor requerido de la variable y la salida es el valor real de la variable (Bolton, Ingeniería de Control, 2005). Los elementos de éste sistema consiste en:

- Elemento de comparación: compara el valor requerido o de interferencia de la variable por controlar con el valor medido de lo que se obtiene a la salida y produce una señal de error la cual indica la diferencia del valor obtenido a la salida y el valor requerido:

$$\text{Señal de error} = \text{señal del valor de referencia} - \text{señal del valor medido}$$

- Elemento de control: es el que decide que acción debe tomar cuando se recibe una señal de error. Con frecuencia se utiliza el término "controlador" para un elemento que incorpora el elemento de control y la unidad de corrección.
- Elemento de corrección: se utiliza para producir un cambio en el proceso al eliminar el error.
- Elemento proceso: es el sistema donde se va a controlar la variable.
- Elemento de medición: produce una señal relacionada con la condición de la variable controlada y proporciona la señal de realimentación al elemento de comparación para determinar si hay o no error.



**Ilustración 11. Subsistemas en un sistema de control en lazo cerrado**

Fuente: (Bolton, Ingeniería de Control, 2005).

Una característica fundamental de un sistema de control de lazo cerrado es el lazo de retroalimentación. Este es el medio por el cual una señal relacionada con la variable real obtenida se realimenta para compararse con la señal de referencia. Se puede obtener una realimentación negativa cuando la señal realimentada se sustrae del valor de referencia, de ésta manera:

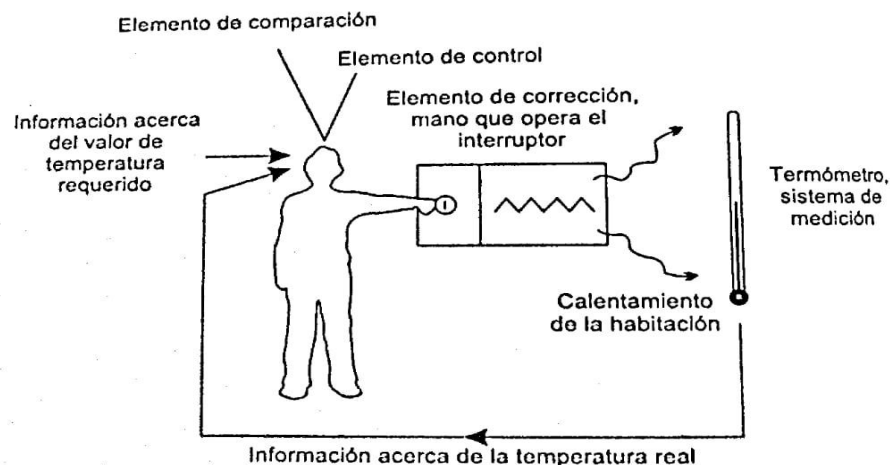
$$\text{Señal de error} = \text{valor de referencia} - \text{señal de realimentación}$$

La realimentación negativa es necesaria para que logre el control. La realimentación positiva se presenta cuando la señal realimentada se adiciona al valor de referencia, de ésta manera:

$$\text{Señal de error} = \text{valor de referencia} + \text{señal de realimentación}$$

En la ilustración 11, el valor de referencia se combina con la señal de realimentación. El elemento de comparación se indica mediante un círculo con una cruz, éste es el símbolo genérico para indicar un elemento de suma. Cuando en el elemento de comparación hay realimentación negativa, el valor de referencia se marca como una señal positiva y la señal de realimentación como negativa de modo que la salida del elemento de comparación es la diferencia entre las señales. Si hubiera realimentación positiva en el elemento de suma, entonces ambas señales deben marcarse como positivas (Bolton, Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado, 2005).

Como pequeña ilustración ideal de éste sistema y sus elementos, se tomará en consideración la ilustración 12 donde se controló la temperatura de una habitación mediante una persona que encendía y apagaba el elemento calefactor de acuerdo a si la temperatura de la habitación dada por un termómetro tenía o no el valor requerido según la ilustración 12 (Bolton, Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado, 2005) donde se muestra:



### **Ilustración 12. Sistema de control en lazo cerrado para la temperatura de una habitación**

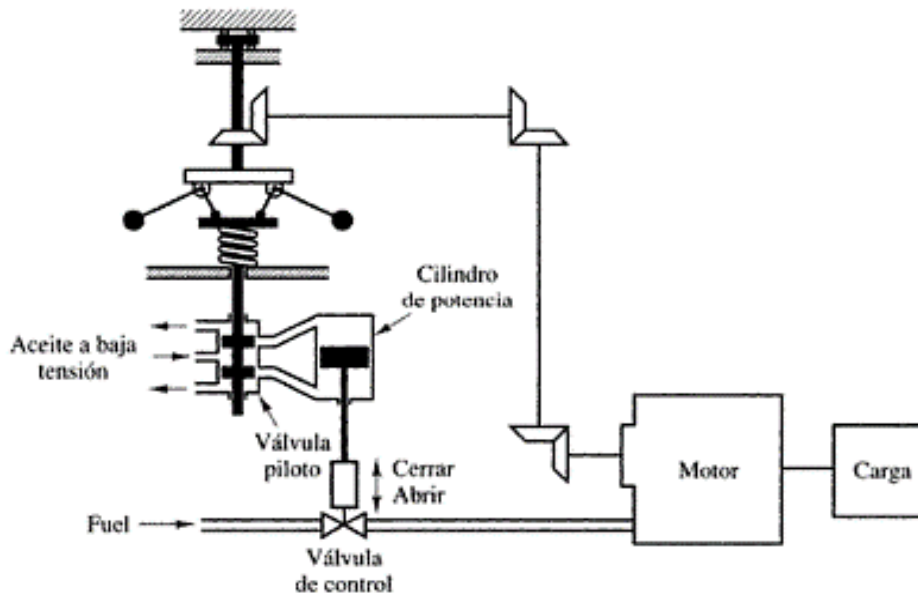
Fuente: (Bolton, Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado, 2005).

La temperatura de la habitación es la variable controlada, la temperatura requerida en la habitación es el valor de referencia, la persona que compara el valor medido y la temperatura requerida es el elemento de comparación, la diferencia entre la temperatura requerida y la medida es la señal de error, la persona es el elemento de control, la mano que opera el encendido del elemento calefactor es el elemento de corrección, la habitación es el proceso, el termómetro es

el dispositivo de medición y por último la negativa es la realimentación (Bolton, Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado, 2005).

### 3.2.4 EJEMPLO DE SISTEMAS DE CONTROL REALES.

Este sistema se ejemplifica con la siguiente ilustración que consta de un regulador de velocidad de Watt para una máquina:



**Ilustración 13. Sistemas de Control de Velocidad**

Fuente: (Ogata, Ejemplos de Sistemas de Control, 2003)

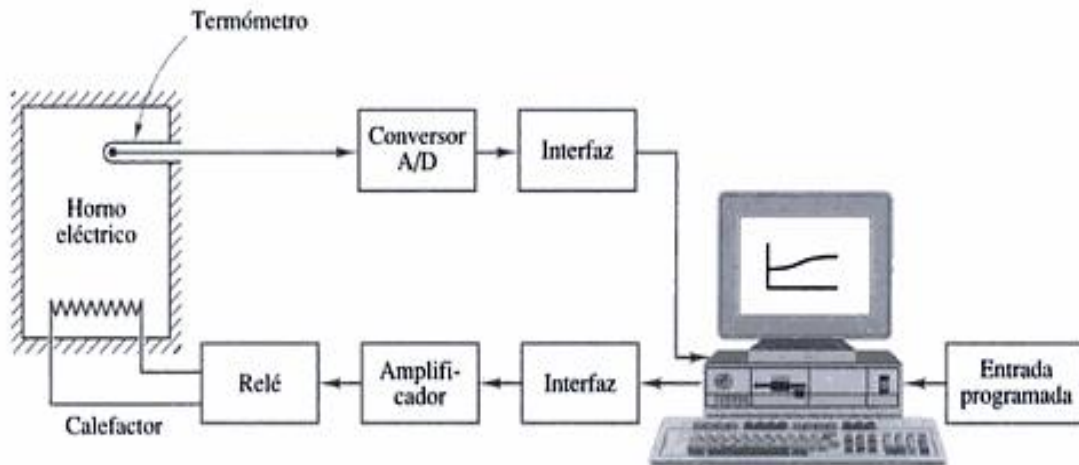
El esquema demuestra como la cantidad de combustible se ajusta de acuerdo con la diferencia entre la velocidad de la máquina que se pretende y la velocidad real. La secuencia de todo el sistema se describe de la siguiente forma:

El regulador de velocidad se ajusta de modo que no fluya aceite a ningún lado del cilindro de potencia, según la velocidad deseada. Se produce una disminución de la fuerza centrífuga del regulador de velocidad si la velocidad real cae por debajo del valor deseado a una perturbación, lo que provoca que la válvula de control aporte más combustible moviéndose hacia abajo y aumenta la velocidad del motor hasta alcanzar el valor deseado.

Por otra parte, si la velocidad del motor aumenta sobre el valor deseado la válvula de control se mueve hacia arriba debido al incremento de la fuerza centrífuga del variador, así se disminuye el

suministro de combustible y la velocidad del motor se reduce hasta el valor deseado (Ogata, Ejemplos de Sistemas de Control, 2003).

La ilustración 14 demuestra un diagrama esquemático del control de temperatura de un horno.



**Ilustración 14. Sistema de Control de Temperatura**

Fuente: (Ogata, Ejemplos de Sistemas de Control, 2003)

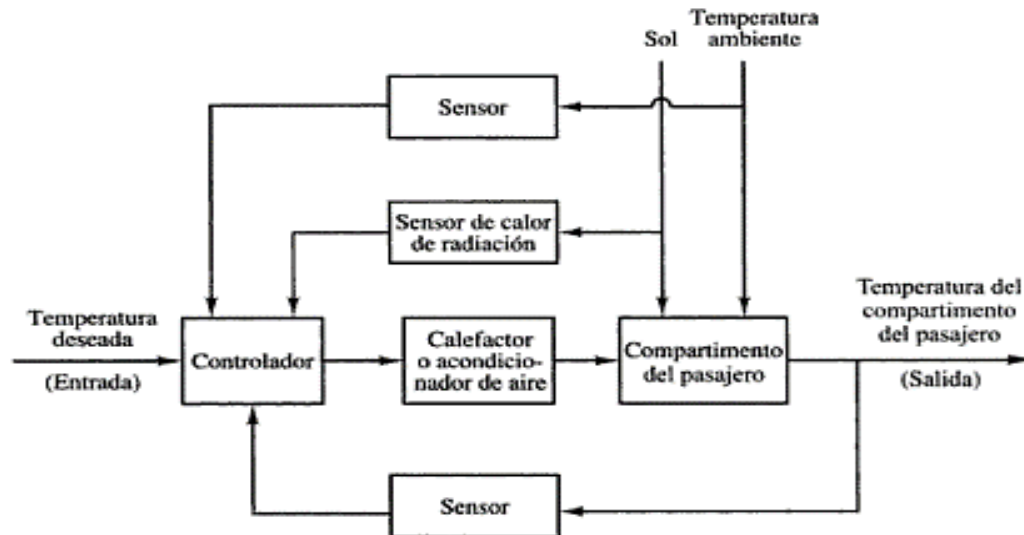
Mediante un dispositivo analógico, como un termómetro, se mide la temperatura del horno. La señal de la temperatura analógica se convierte a una señal digital por medio de un convertidor A/D.

La señal digital se introduce en un controlador en un interfaz, esta señal digital se compara la temperatura de entrada del programa y si hay un error el controlador envía una señal al calefactor, a través de una interfaz, relé y amplificador, para hacer que la temperatura del horno alcance el valor deseado (Ogata, Ejemplos de Sistemas de Control, 2003).

Otro ejemplo de un sistema de control de temperatura sería el control de temperatura del comportamiento del pasajero en un automóvil.

La temperatura deseada es la entrada al controlador, el comportamiento del pasajero es la temperatura real que debe convertirse en una señal mediante un sensor y realimentarse con el controlador para que pueda compararse con la señal de entrada.

La ilustración 15 muestra un diagrama de control de temperatura del comportamiento del pasajero en un automóvil. La temperatura del ambiente y la transferencia de calor por radiación, en este caso, no son constantes mientras se utiliza el automóvil.



**Ilustración 15. Control de Temperatura del Comportamiento de Pasajeros en un Coche**

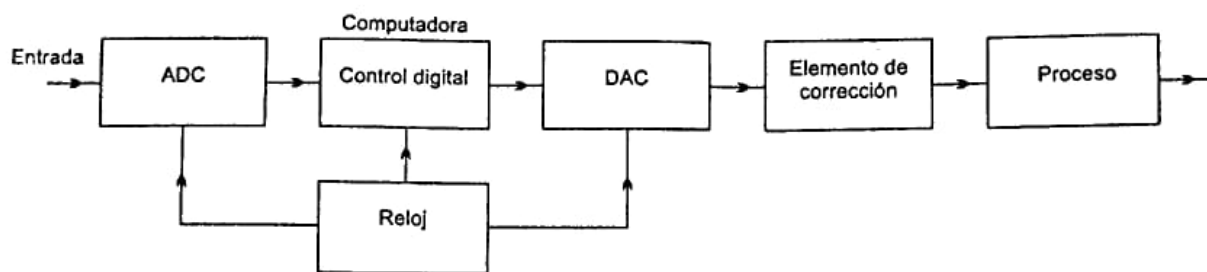
Fuente: (Ogata, Ejemplos de Sistemas de Control, 2003)

Dependiendo del lugar donde se mida, la temperatura del comportamiento del pasajero del automóvil difiere considerablemente. La temperatura del aire del aspirador se utiliza como una indicación de la temperatura del comportamiento del pasajero y puede considerarse como la salida del sistema.

La señal de entrada, de salida y las señales de los demás sensores son percibidas por el controlador y éste envía una señal de control óptima al sistema de aire acondicionado para controlar la cantidad de aire frío o caliente de forma que la temperatura del comportamiento del pasajero siempre sea la deseada (Ogata, Ejemplos de Sistemas de Control, 2003).

### 3.2.5 CONTROL DIGITAL

El control digital mediante microprocesadores actúa como sistema de control y funciona con dos componentes fundamentales: ADC que por sus siglas en inglés es un convertidor de señal analógica a digital y DAC que por sus siglas en inglés es un convertidor de señal digital a analógica. La ilustración 16 muestra la forma básica que puede tomar un sistema de control digital en lazo abierto, cuando la entrada es una señal continua en el tiempo, es decir, una señal que puede variar de manera continua con el tiempo y nos es digital (Bolton, Control Digital, 2005).



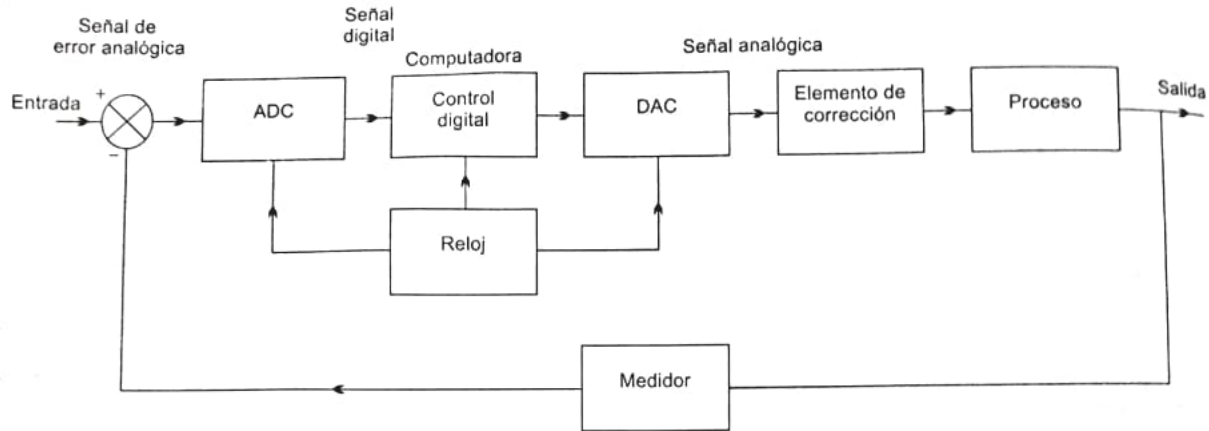
**Ilustración 16. Sistema de control digital en lazo abierto para sistemas en tiempo continuo**

Fuente: (Bolton, Control Digital, 2005)

Primero, la señal de entrada pasa a través de un convertidor analógico a digital. Éste la convierte en una señal digital, un número codificado. El elemento de control digital incorpora un reloj que envía pulsos a intervalos regulares. Cada vez que el ADC recibe un pulso, envía el número codificado al elemento de control digital. El elemento de control digital implanta una estrategia de control mediante un programa almacenado. En estos sistemas es fácil modificar la estrategia de control y esto brinda una gran ventaja sobre sistemas de control totalmente análogos y con equipos físicos. La señal de salida del elemento de control también tiene forma digital, un número codificado. Éste se convierte a una señal analógica de modo que puede accionar al elemento de corrección para producir el cambio requerido en la variable de proceso (Bolton, Control Digital, 2005).

La ilustración 17 muestra la forma que puede tomar un sistema de control digital en lazo cerrado para sistemas en tiempo continuo.





**Ilustración 17. Sistema de control digital en lazo cerrado para sistemas en tiempo continuo**

Fuente: (Bolton, Control Digital, 2005)

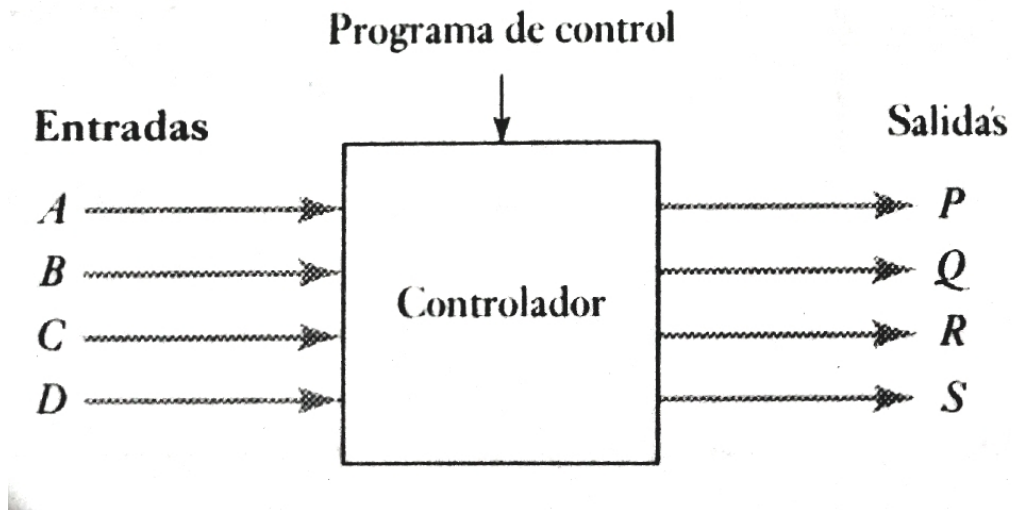
La señal de error analógica del elemento de comparación se convierte en una señal de error digital mediante un convertidor analógico al digital (ADC), modificando por el elemento de control digital de acuerdo con la estrategia de control programada y después se convierte a una señal analógica para el elemento de corrección mediante un convertidor digital a analógico (DAC). La secuencia de pasos que tienen lugar en el elemento de control son como los descritos para el sistema en lazo abierto (Bolton, Control Digital, 2005).

### 3.2.6 AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL APLICADOS CON CONTROL LÓGICO PROGRAMABLE (PLC)

La automatización puede aplicarse en casi cualquier campo, ya sea industrial, agrícola, doméstica, aviación, automotriz, etc. En los últimos años se ha vuelto parte fundamental para la parte de producción y acción en todo sistema que involucre industria de manufactura.

En muchos sistemas sencillos tal vez exista un microcontrolador integrado, que sea un microprocesador con memoria todo integrado dentro de un chip, que ha sido específicamente programado para la tarea en cuestión. Una forma más aceptable es el *controlador lógico programable (PLC)*. Éste es un controlador basado en un microprocesador que utiliza memoria programable para almacenar instrucciones y para implementar funciones como secuencia, conteo de tiempo y aritmética lógicas para controlar eventos y que puedan reprogramarse con facilidad para tareas distintas (Bolton, Control Lógico Programable, 2010).

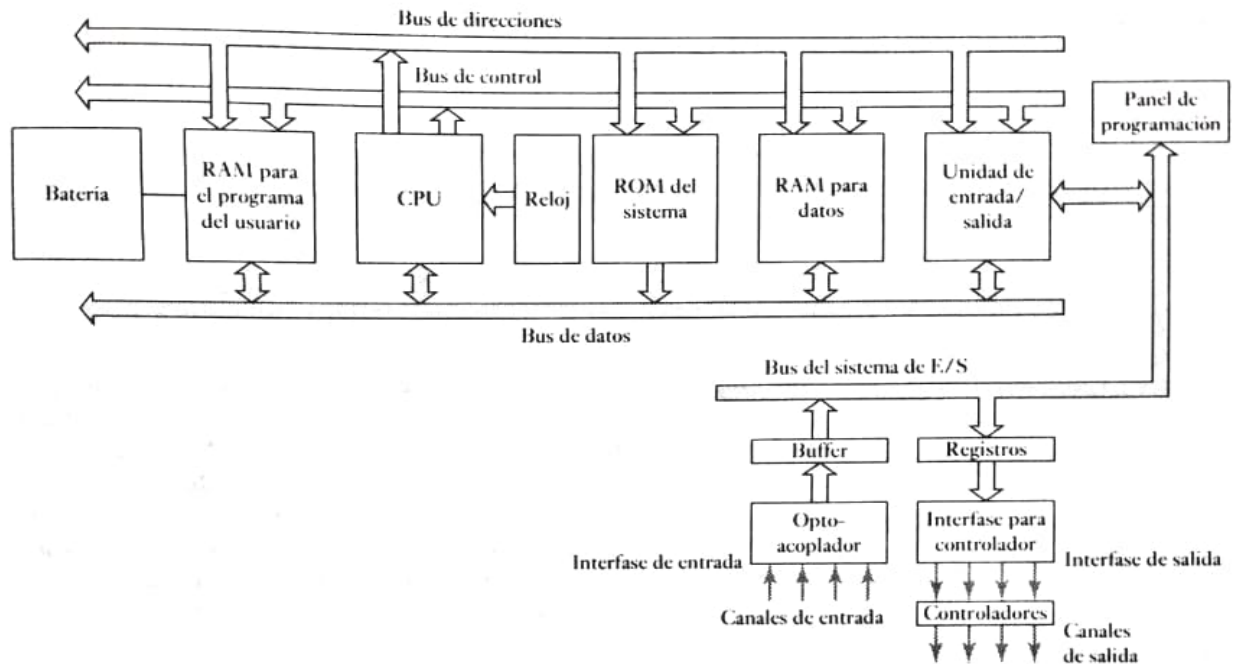
En la ilustración 18 se muestra la acción de control de un controlador lógico programable, las salidas como señales desde, por ejemplo, interruptores cerrados y el programa que se usa para determinar cómo deberá responder el controlador a las entradas y entonces se deberá dar a la salida.



**Ilustración 18. Controlador lógico programable**

Fuente: (Bolton, Control Lógico Programable, 2010).

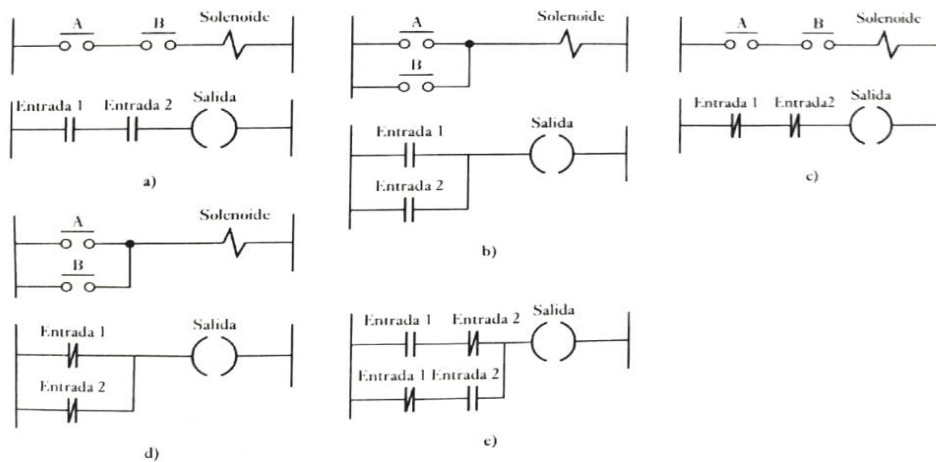
La estructura interna básica de un PLC, en esencia, consiste en una unidad central de procesamiento (CPU), memoria y circuitos de entrada y salida. La CPU controla y procesa todas las operaciones dentro del PLC. En la ilustración 19 muestra como el PLC cuenta con un temporizador cuya frecuencia típica es entre 1 y 8 Mhz. Esta frecuencia determina la velocidad de operación del PLC y es la fuente de temporización y sincronización de todos los elementos del sistema. Un sistema de buses lleva información y datos desde y hacia la CPU, la memoria y las unidades de entrada y salida. Los elementos de la memoria son: una ROM para guardar en forma permanente la información del sistema operativo y datos corregidos; una RAM para el programa del usuario y memoria buffer temporal para los canales de entrada y salida (Bolton, Controladores Lógicos Programables, 2010).



**Ilustración 19. Arquitectura de un PLC**

Fuente: (Bolton, Controladores Lógicos Programables, 2010)

Para poder programar un PLC es necesario entender funciones lógicas que se interpretan en el software o programa que el PLC brinda como interfaz entre el operador, el PLC y el sistema a automatizar. Dentro de las funciones lógicas se constituyen las entradas del sistema, solenoides y salidas al sistema. En la ilustración 20 se muestran las distintas funciones lógicas



**Ilustración 20. Sistemas: a) AND, b) OR, c) NOR, d) NAND, XOR**

Fuente: (Bolton, Controladores Lógicos Programables, 2010)

Las características físicas o de hardware de un PLC se pueden nombrar de la siguiente forma:

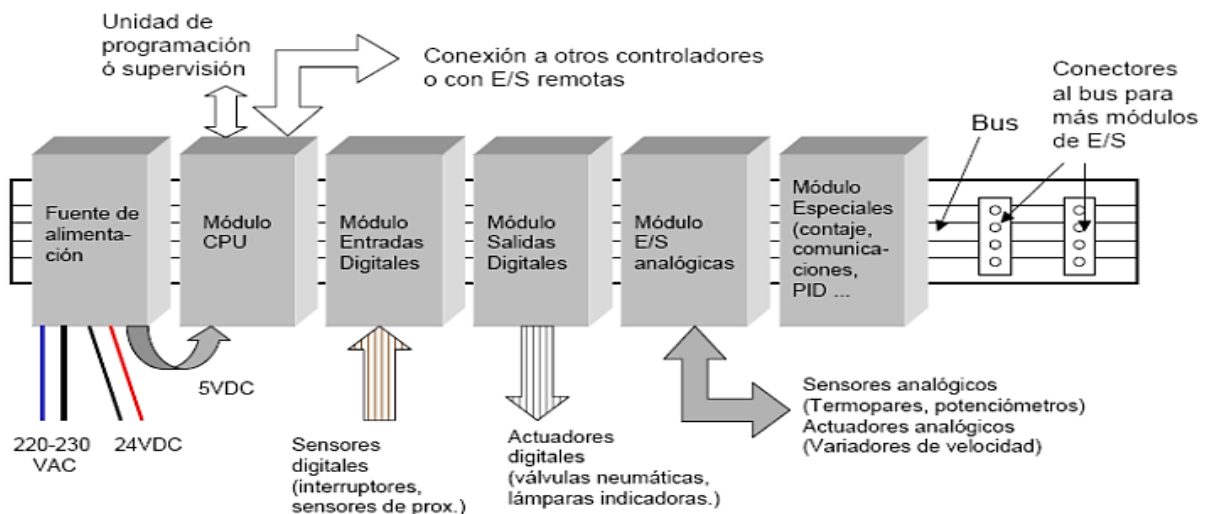
- Son robustos y están diseñados para resistir vibraciones, temperatura, humedad y frío.
- La interfase para las entradas y salidas está dentro del mismo PLC haciéndose visible para configurarse mediante cableado lógico.
- Por tamaño, se puede identificar su capacidad operacional para poder manejar una cierta cantidad de entradas al sistema como salidas hacia el sistema.



**Ilustración 21. PLC Modicom M340 de Schneider Electric**

Fuente: (Electric, 2018)

Viendo la ilustración 21 de izquierda a derecha, el PLC se distribuye de la siguiente manera:



**Ilustración 22. Estructura básica del hardware de un PLC**

Fuente: (Funez, 2016)

### 3.3 AUTOMATIZACIÓN EN SISTEMAS DE AGUA Y RIEGO

El concepto de modernización en sistemas de agua para el riego o aspersión de líquidos, impulsado por la planificación hidráulica de la última década, responde a la necesidad de lograr un aprovechamiento más racional del recurso hídrico en la agricultura, facilitando la introducción de nuevas tecnologías de riego en parcela (riego localizado), tendiendo a optimizar la gestión, mejorando la eficiencia en el uso de agua y reduciendo el volumen de retornos, todo ello a escala de una zona regable (Antonio Ruiz Canales, Automatización y Telecontrol de sistemas de riego, 2010).

Los sistemas de riego por aspersión se caracterizan por la aspersión por la aplicación de lluvia sobre la parcela para que el agua o líquido químico se infiltre donde cae. El riego por aspersión utiliza dispositivos de emisión en los que la presión en las tuberías porta emisores induce un caudal de salida. Las unidades básicas de un sistema de riego por aspersión son los siguientes: grupo de bombeo, tuberías principales con hidrantes, ramales o laterales de riego y emisores. Los elementos emisores pueden ser: difusores fijos o toberas, tuberías perforadas y aspersores. Los aspersores son los elementos más utilizados en este sistema de riego (Antonio Ruiz Canales, Automatización en sistemas de riego por aspersión, 2010).

#### 3.3.1 SISTEMAS DE RIEGO Y APLICACIÓN DE AGUA O QUÍMICOS POR ASPERSIÓN

Los sistemas de riego por aspersión se pueden dividir en dos grupos generales: sistemas estacionarios, que permanecen en la misma posición mientras dura el riego; y sistemas mecanizados que se desplazan mientras aplican el líquido de riego. Todos estos sistemas llevan incorporados diferentes tipos de aspersores, que son los emisores de éstos sistemas de riego. Los diferentes tipos de aspersores se pueden agrupar en diferentes categorías según su criterio de clasificación:

- **Según el mecanismo de giro:** se pueden distinguir por su mecanismo de reacción, donde la inclinación del orificio de salida origina el giro. Como son los mecanismos de turbina o de choque.
- **Según la velocidad de giro:** se pueden distinguir aspersores de giro rápido, con una velocidad mayor de 6 vueltas por minuto, y de giro lento de 0.5 a 2 vueltas por minuto.

Para una misma presión, los de giro lento consiguen un mayor alcance que los de giro rápido.

- **Según su aplicación directa:** se pueden distinguir porque no poseen un mecanismo de movimiento, son estáticos y solo vierten el líquido en una área en específico. Se utilizan en los tractores de pulverización agrícola (Antonio Ruiz Canales, Automatización en sistemas de riego por aspersión, 2010).



**Ilustración 23. Boquilla de aspersión directa “Albuz ATR 80”**

Fuente: (Aguirre, 2009)

### 3.3.2 AUTOMATIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE RIEGO POR ASPERSIÓN

Existen elementos que son muy comunes para automatizar una instalación de riego por aspersión, se describirán y se distinguirán dos grandes grupos de instalaciones. Están los sistemas estacionarios donde existe una cobertura total y por otro lado están los sistemas de desplazamiento continuo donde se incluyen las máquinas de riego tales como pivots, alas de riego, alas sobre carro y tractores pulverizadores. Se describirán los elementos más importantes de ser automatizados en estas instalaciones (Antonio Ruiz Canales, Automatización en sistemas de riego por aspersión, 2010).

### 3.3.2.1 Sistemas Estacionarios

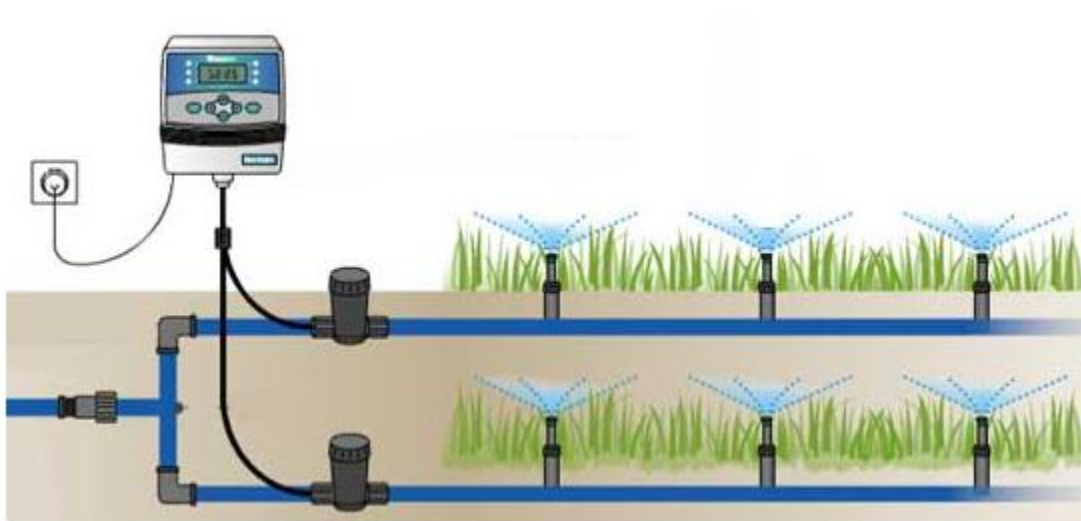
Es un sistema que se mantiene fijo mientras se riega. La disposición más común de estos sistemas es la cobertura total y se instalan a lo largo de las filas de los cultivos de la parcela de tuberías de aluminio, polietileno o PVC. Estas tuberías son denominadas ramales porta-aspersores, se les acoplan unas tuberías verticales que son por lo general de acero. A estas tuberías se les acoplan los aspersores que quedan elevados por encima del terreno. La tubería se esparce por toda el área de cultivo, teniendo distancias variables entre tuberías perpendiculares, formando un marco de riego. Estas instalaciones de riego suelen estar ligadas a sistemas satelitales, donde se prevé cantidad de humedad en el área de cultivo, o suelen estar ligadas a sensores de detección de humedad en el suelo del cultivo conectados a un microcontrolador para el accionamiento de electroválvulas previo a todo el ensamblaje de tubería de riego. (Antonio Ruiz Canales, Automatización en sistemas de riego por aspersión, 2010). Dentro de este tipo de instalaciones se distinguen dos tipos fundamentales:

- **Sistemas semifijos con ramales móviles:** Constan de una tubería trazada por el centro de la parcela, que dispone de un conjunto de hidrantes que se conectan los ramales portaaspersores móviles. Desde un mismo hidrante pueden realizarse varias posiciones de ramal a cada lado de la tubería principal. La conducción principal suele ser de PVC o polietileno y los ramales portaaspersores móviles pueden ser de aluminio, acero galvanizado o PVC (Antonio Ruiz Canales, Automatización en sistemas de riego por aspersión, 2010).
- **Sistemas fijos:** los ramales portaaspersores y las cañas quedan fijos durante el ciclo de cultivo. Cada hilera de portaaspersores y cañas funcionan alternativamente y son controladas por hidrantes al inicio de cada conjunto de tuberías. Dentro de ellos se pueden distinguir los aéreos y los enterrados dependiendo si las tuberías se disponen del terreno a van enterradas (Antonio Ruiz Canales, Automatización en sistemas de riego por aspersión, 2010).



**Ilustración 24. Sistema de riego fijo por aspersión**

Fuente: (Galán, 2019)



**Ilustración 25. Sistema de riego por aspersión controlado con programador**

Fuente: (Merlín, 2016).

Unas características importantes de las instalaciones de riego por aspersión automatizados es que se puede realizar una alimentación sin hilo (infrarroja u otra conexión inalámbrica) y también puede ser con hilo. Igualmente, a la electroválvula puede ir integrada con o sin hilo.



El sistema de control, como en la ilustración 25, es un monobloque con una electroválvula integrada y esta alimentado por una pila o conectado a una red eléctrica y se fija sobre una válvula hidráulica. El tiempo de riego varía entre un minuto hasta 24h. La frecuencia de riego tiene un rango desde un minuto hasta 15 días. Estas válvulas permiten ser utilizadas de modo automático o manual y también permiten la suspensión del programa en caso de lluvias.

### 3.3.2.2 *Sistemas de Desplazamiento Continuo*

Estos sistemas son muy variados y se pueden clasificar en dos: ramales desplazables y aspersores gigantes. En una clasificación más específica, dentro de cada uno se pueden diferenciar los siguientes: sistema totalmente móvil, alas móviles, aspersores tipo cañón, pívot y alas móviles autopropulsadas. La razón principal de movimiento automática es el pívot del sistema que es vital para la automatización de un sistema de desplazamiento continuo (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívot , 2010). Las partes fundamentales del pívot en un sistema de desplazamiento continuo se dividen en:

- **Estructura:** La estructura metálica de un pívot tiene una gran robustez, ya que las diagonales en V se distribuyen las cargas uniformemente sobre toda la longitud del tramo (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívot , 2010).



**Ilustración 26. Estructura del Pívot**

Fuente: (Agrícolas, 2016)

- **Embrague de acoplamiento:** son de tipo cardan, garantiza la conexión mecánica entre dos tramos y son de gran tamaño sirviendo de amortiguador a las irregularidades del terreno (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívor , 2010).
- **Caja de mano:** consiste en un juego de bieletas y levas, un sistema de seguridad, aseguran un control perfecto de la alineación de las torres y un pilotaje controlado de los motores (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívor , 2010).
- **Arboles de transmisión:** garantizan la conexión entre los motoredutores y los reductores. Su elasticidad permite amortiguar los choques al arranque y por lo tanto multiplica por dos la duración de vida del reductor de rueda (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívor , 2010).



**Ilustración 27. Árbol de transmisión del pívor**

Fuente: (Gupo Chamartin, 2017)

- **Ruedas:** deben ser resistentes y ligeras. Normalmente se fabrican con llantas galvanizadas y protector de válvula (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívor , 2010).



**Ilustración 28. Ruedas de un Pívor de riego**

Fuente: (Traxco, 2019)

- **Reductores y moto reductores:** permiten el montaje de ruedas de gran diámetro. Contienen una cámara de expansión de aceite integrada, garantizando el equilibrio de la presión entre el interior y exterior evitando la entrada de impurezas del agua (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívor , 2010).



**Ilustración 29. Motor reductor de un pívor de riego**

Fuente: (Traxco, 2019)

- **Unidad central y manejo por telecontrol:** En la unidad central del pívot se encuentra un sistema SACADA e internet por el cual mediante se puede programar a distancia. Se garantiza el funcionamiento y controla el desplazamiento adecuado a partir de la información enviada por los pivotes (Antonio Ruiz Canales, Automatización del Pívot , 2010).

Dentro de esta categoría pueden caber los tractores o pulverizadoras agrícolas autopropulsadas ya que se tratan de sistemas de riego móviles en una zona de cosecha específica. La diferencia es la tracción de la pulverizadora agrícola por medio de un motor a combustión que gestiona el movimiento del tractor.

## CAPITULO IV. METODOLOGÍA

### 4.1 ENFOQUE

El enfoque de éste proyecto es cuantitativo y cualitativo, los resultados serán descritos por datos concretos como descripción de componentes a utilizar en el diseño de automatización de aspersores y datos numéricos que se detallan de procesos lógicos-matemáticos en el desarrollo del sistema mediante un software. Con el objetivo de mejorar la eficiencia de aspersión de líquido químico que la pulverizadora vierte sobre la cosecha, principalmente sobre las malezas, se estructurará un diseño para la automatización de los aspersores. Éste diseño pretenderá, mediante el algoritmo de detección de malezas previamente diseñado por (Irías, 2018) y (Bénitez, 2019), controlar las electroválvulas de los aspersores para que estos solo viertan el líquido químico sobre la maleza detectada dentro de un campo o región concentrada de cosecha agrícola.

### 4.2 VARIABLES DE INVESTIGACIÓN

Para implementar el diseño de control en el sistema de aspersión del líquido químico en una pulverizadora agrícola, se debe considerar lo siguiente:

- **Sistema hidráulico de aspersión de la pulverizadora agrícola:** con el conocimiento técnico del funcionamiento de todo el sistema hidráulico del líquido químico a pulverizar, se tendrá conocimiento de las etapas donde el fluido se direcciona, desde su depósito hasta los aspersores. En las etapas de la tubería hay componentes necesarios para que todo el trabajo el sistema se lleve a cabo y cada componente deberá ser analizado para comprender su funcionamiento en específico dentro de la tubería del sistema.
- **Sistema de control a implementar:** teniendo el conocimiento técnico del sistema de aspersión con sus componentes y etapas del fluido, se propondrá un sistema de control para la automatización del sistema de pulverización. Éste se diseñará conceptualizando todos los elementos de control con su esquema en específico que da función a los componentes del sistema de control.

- **Variables de entradas y salidas al sistema de control:** Para poder determinar las funciones específicas del sistema de control, es necesario saber qué información será recolectada por el sistema de control (entradas) cuando el sistema hidráulico de aspersión de la pulverizadora esté en funcionamiento. Partiendo de las entradas, el sistema de control podrá determinar las acciones a tomar (salidas) correspondientes para elementos específicos de la tubería de aspersión.

### **4.3 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS APLICADOS**

Para realizar éste proyecto se deben tener conocimientos técnicos de ingeniería de control y automatización, conocimientos básicos de ingeniería hidráulica, conocimientos básicos de agricultura y cosecha. Para la automatización, es necesario saber los diferentes tipos de sistemas de control que podrían aplicarse al sistema de pulverización hidráulica, éstos pueden ser distintos tipos de microprocesadores que controlan el accionamiento de elementos en un sistema en específico. Para sistemas robustos normalmente se utilizan los PLC (control lógico programable) que se diversifican entre ellos por la cantidad de trabajo que pueden realizar en una misma operación. También, cada PLC trae su propio sistema operativo donde todos, independientemente del fabricante, poseen similitudes al manipular y construir el programa en el software del PLC, debido a que las secuencias lógicas son reglas generales para toda programación de un PLC.

### **4.4 MATERIALES**

- Programa Oracle VM Virtual Box
- Sistema operativo de Windows XP de 64 bits para el Virtual Box
- Programa Concept 2.6 Telemecanique de Electric Schneider
- Laptop Acer Aspire 3 A314

## 4.5 METODOLOGÍA DE ESTUDIO

### 4.5.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO DE UNA PULVERIZADORA AGRÍCOLA

Se analizó y desglosó un sistema generalizado de una pulverizadora agrícola ideal para la aspersión de un herbicida genérico de eliminación de malezas en una cosecha. El sistema original, se describirá mostrando el proceso de pulverización por etapas describiendo cada elemento de cada etapa por medio de un diagrama en la ilustración 30.

El depósito del líquido químico, que consiste entre una mezcla de agua y químicos, tiene una capacidad de 800 galones (aproximadamente 3,000 litros) con altura de 1.50 metros. La bomba del sistema es una bomba de pistones de 540 rpm, acoplada al motor del tractor con capacidad máxima de 190 lts/min. El caudal y presión que la bomba puede brindar es directamente regulado por la aceleración del motor del tractor.

Para mantener caudales y presiones constantes, es necesario conocer qué tipo de aspersores son los que el sistema utilizará y como éstos serán distribuidos en la barra pulverizadora. Las distribuciones más utilizadas de aspersores provienen de una barra de 18 metros de longitud con 36 aspersores distribuidos en la barra dentro de 3 secciones; cada sección posee un grupo de 12 aspersores de manera lineal. Para los sistemas de un uso generalizado con cosechas básicas de productos, se utilizan los aspersores Albuz ATR con capacidad de 80 grados de aspersión. Estos aspersores están diseñados para funcionar con una presión constante de 3.5 bar y caudal de 122 lts/min proveniente de la tubería con la distribución antes descrita.

Para mantener una presión constante de 3.5 bar, el sistema incorpora una válvula reguladora de presión que trabaja con presiones entre 2.5 bar y 4.5 bar. Entre estos valores de presión la válvula reguladora mantiene una presión hacia los aspersores de 3.5 bar proporcionando un retorno de fluido hacia el depósito para presiones superiores a 3.5 bar en caso que se presente un exceso de presión.

El piloto del tractor debe mantener una velocidad entre 6km/h y 8km/h por hora para mantener la presión de la bomba entre 2.5 bar y 4.5 bar. Todos estos parámetros provienen del manual de instrucciones de pulverizadores arrastrados y suspendidos de la empresa de maquinaria agrícola

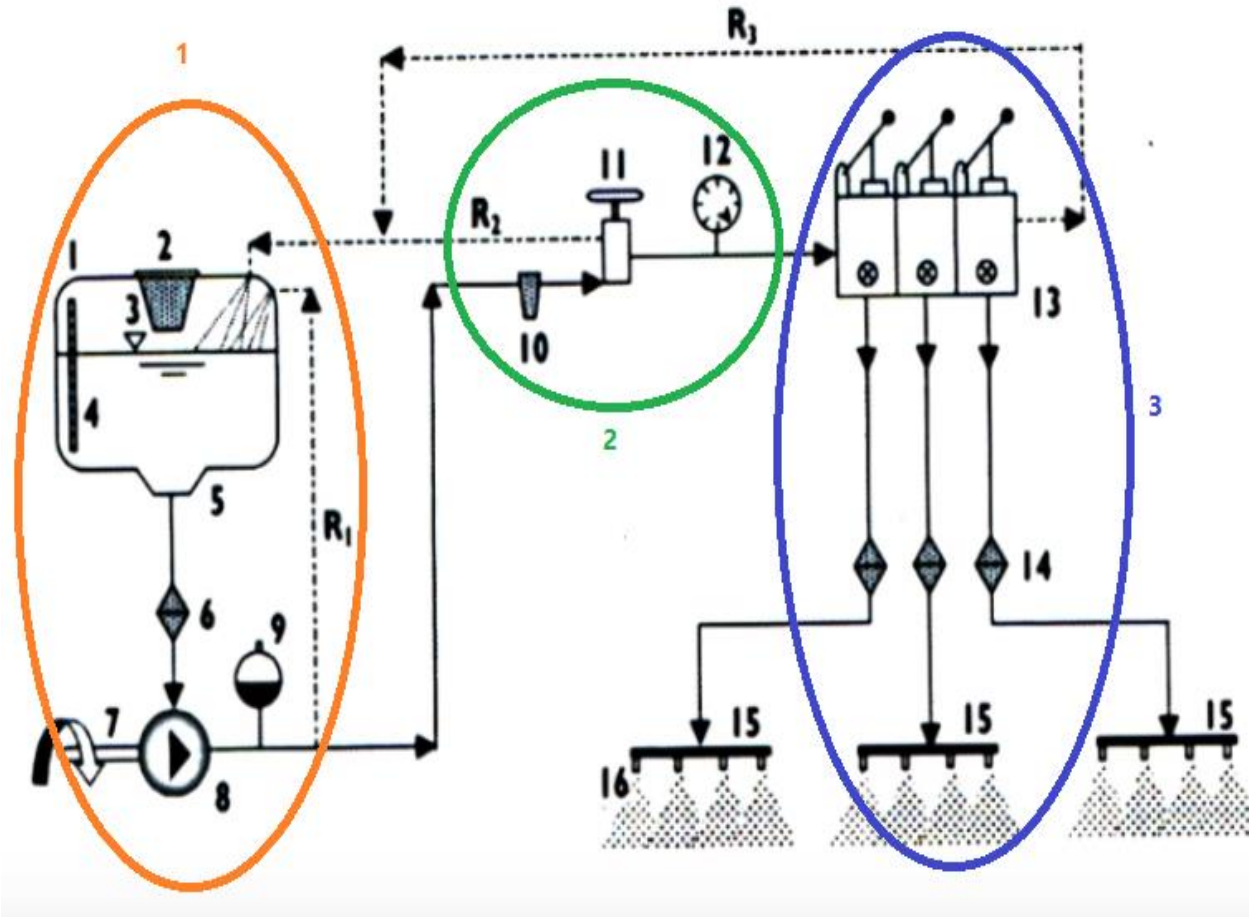
Aguirre (Aguirre, 2009) y de un video descriptivo de la unidad de mecanización de tecnología agraria (Valencia, 2016).

En la ilustración 30 se ejemplificará el sistema con un diagrama teniendo en cuenta todos los parámetros antes descrito. Cada elemento de este sistema se describirá por medio de la una tabla demostrativa.

**Tabla 2. Descripción de componentes de la tubería hidráulica de una pulverizadora agrícola según etapas del fluido**

<b>Número de elemento</b>	<b>Nombre del elemento</b>	<b>Descripción del elemento</b>
1	Depósito	Almacena la mezcla de agua 7 químicos
2	Filtro de entrada al depósito	Pretende eliminar partículas no deseadas al líquido por introducir
3	Nivel del depósito	Nivel del líquido para pulverizar
4	Indicador del nivel del depósito	Controla el nivel del depósito
5	Salida del depósito	Lugar por donde sale el líquido hacia la bomba
6	Filtro de aspiración de la bomba	Filtro especial para que el líquido pase hacia la bomba
7 y 8	Bomba	Bomba de pistón
9	Calderín, acumulador o amortiguador	Se emplea para atenuar el comportamiento pulsatorio del caudal proporcionado por la bomba de pistón
10	Filtro de impulso general	Filtro especial para que el líquido pase hacia la válvula reguladora
11	Regulador de presión	Establece la presión para las válvulas y aspersores
12	Manómetro	Indica los niveles de presión
13	Válvulas o distribuidores	Encargados de distribuir el caudal hacia los aspersores
14	Filtros de entrada a los aspersores	Últimos filtros en la línea de tubería para que el líquido salga lo más limpio posible
15	Aspersores	Dispositivos encargados de esparcir, por medio de goteo, el líquido hacia las malezas





**Ilustración 30. Esquema del circuito generalizado de una pulverizadora hidráulica**

Fuente: (Valencia), 2016)

El esquema hidráulico se divide en tres partes según la dirección de su fluido desde el depósito hacia los aspersores. El esquema se explicará por cada etapa según su número asignado y color asignado.

**Etapas número 1 (Naranja)**

El líquido a esparcir se vierte dentro del depósito (1) por donde se encuentra un filtro de entrada al depósito (2) que pretende eliminar partículas no deseadas del líquido a aplicar. El nivel del líquido (3) se regula con un indicador de nivel de depósito (4) que controla el nivel del líquido en el depósito. El líquido químico o fluido fluye por la salida del depósito (5) que contiene un filtro especial para que el líquido pase hacia un filtro de aspiración de la bomba (6) que sirve como filtro especial para que el líquido pase hacia la bomba.

De todo el mecanismo de la bomba (7) y (8) que es la que proporciona el movimiento y presiones de líquido para pulverizar pasa hacia el calderín o amortiguador (9) que se encuentra a la salida de la bomba y es el encargado de atenuar el comportamiento pulsatorio del caudal proporcionado por las bombas de pistones o bombas de membranas. El sistema de tubería al finalizar ésta etapa posee un ramal para el retorno de líquido hacia el depósito en caso de presiones altas en el sistema.

### **Etapa número 2 (Verde)**

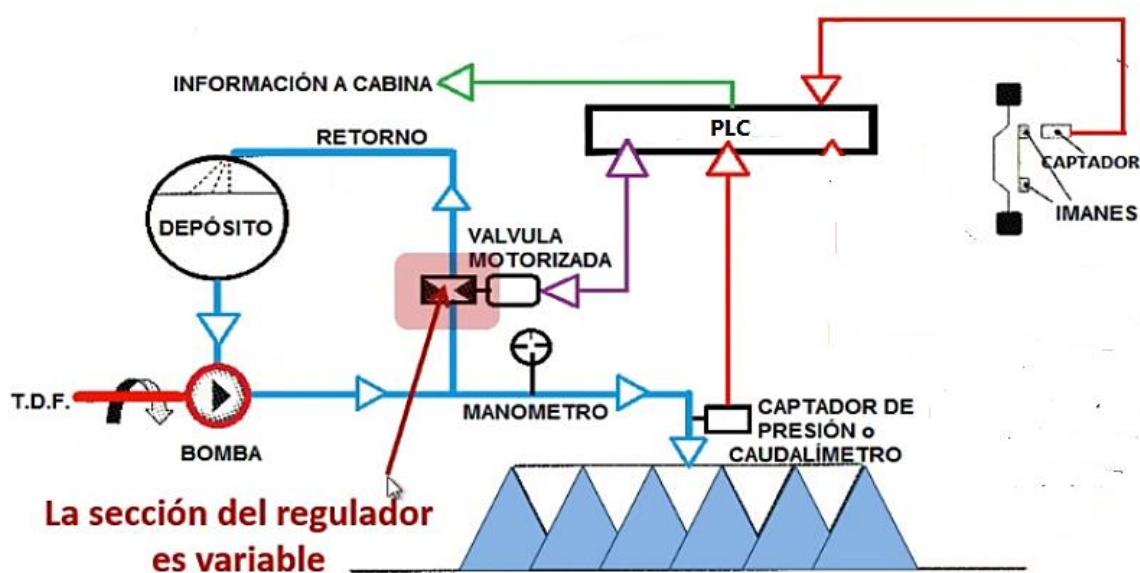
El fluido impulsado por la bomba pasa hacia el filtro de impulso general (10) que ayuda a que el caudal llegue en óptimas condiciones hacia el regulador de presión (11) que es el encargado de establecer junto al manómetro (12) la presión en las boquillas, en consecuencia, el caudal y diámetro de gota. El regulador de presión actúa como el mayor retorno de fluido que hay hacia el depósito en caso que exista mucha presión hacia la "etapa 3" o haya alguna obstrucción total hacia la etapa 3.

### **Etapa número 3 (Azul)**

El fluido llega hacia los distribuidores (13), los cuales poseen compuertas de cierre para bloquear totalmente el flujo y son los encargados del trabajo de cada grupo de boquillas o aspersores (16). El fluido, antes de llegar a las boquillas debe pasar por unos filtros (14) para que el caudal llegue en óptimas condiciones. El funcionamiento del sistema permite la capacidad de esparcir el líquido químico de manera continua.

#### 4.5.2 AUTOMATIZACIÓN DEL SISTEMA HIDRÁULICO GENERALIZADO

Se hizo un diseño de control y automatización partiendo desde un PLC (control lógico programable) el cual tendrá función de recolectar información de las 3 etapas previamente descritas (sección 4.5.1), para poder esparcir el líquido químico dando accionamiento solo a los elementos necesarios para solo verter el líquido químico mediante las cámaras de detección de maleza en funcionamiento con el algoritmo de reconocimiento de malezas (Irías, 2018) (Bénitez, 2019) en sitios específicos en donde se localicen malezas del cultivo. La implementación del PLC, acople electromecánico entre el motor del tractor y la bomba, sensor captador de presión y sensor de movimiento de ruedas dentro del sistema tendrá el siguiente esquema como se muestra en la ilustración 31:



**Ilustración 31. Esquema del circuito hidráulico con PLC montado**

Fuente: (Valencia, 2016)

El PLC tendrá la tarea de recibir la información, luego de que el sistema entre en funcionamiento con un pulsador de encendido dentro de la cabina, de la cantidad de líquido químico dentro de depósito por medio de un sensor de nivel para que la bomba pueda accionarse si el líquido en el depósito tiene una nivel no mínimo a 5cm.

Si el líquido está en nivel óptimo de volumen, se accionará un acople electromecánico entre el motor de tractor y la bomba empezará a mover el fluido. El fluido recorrerá toda la tubería hasta llegar a las electroválvulas.

Las electroválvulas estarán cerradas hasta que las cámaras manden una señal al PLC para que el PLC mande una señal de retorno a las electroválvulas y estas puedan abrirse solo donde se encuentra maleza en la cosecha. Por simplificación y ejemplificación de control, habrá una cámara como sensor de detección de maleza por electroválvula.

Una parte importante de este sistema automatizado es el regulador de presión o captador de presión conectado al PLC para éste mantenga parámetros hacia la válvula reguladora motorizada que tenga la función óptima para mantener una presión constante dentro del sistema.

Si la presión aumenta sobre el nivel máximo permitido que son los 4.5 bar, el sensor captador de presión mandará una señal al PLC para que éste disponga a parar todo el sistema. Si el sensor captador de presión detecta una señal muy baja de presión de 2.5 bar o no detecta presión o hay mucha fluctuación en la presión, éste mandará una señal al PLC para que éste pare todo el sistema. También, el captador de presión mediante la válvula reguladora motorizada tendrán la tarea de hacer retornar el fluido al depósito cuando las electroválvulas no estén abiertas y al mismo tiempo, cuando una electroválvula se abra, la presión del caudal esté listo para salir las electroválvulas hacia los aspersores. El sistema también depende del movimiento o velocidad del tractor, el sistema solo puede empezar a funcionar si el tractor alcanza una velocidad mínima de 6km/h para asegura la operación de la presión óptima y además por si el tractor se estaciona dentro de la cosecha justo cuando una cámara detecte una maleza, así la electroválvula correspondiéndote a un grupo de aspersores no quede abierta penantemente. Las electroválvulas tendrán sensores de detección de fallo, si una de las electroválvulas falla el sistema deberá detenerse. Por último, el sistema posee un paro de emergencia en caso de cualquier accidente presentado durante la operación.

4.5.3 ESTRUCTURA DEL PROGRAMA EN EL SOFTWARE "CONCEPT 2.6 TELEMECANIQUE" PARA PLC  
MODICON 171CCC96030 DE SCHNEIDER ELECTRIC

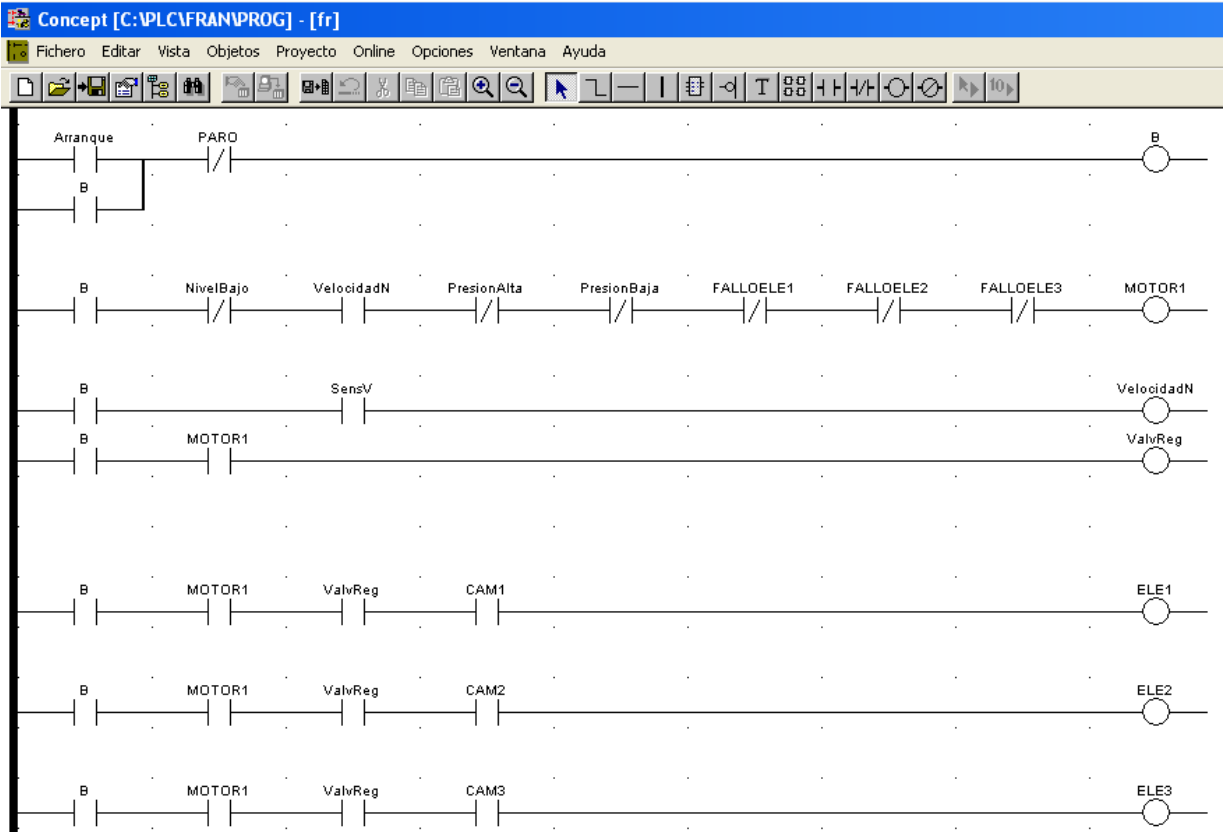
Para ejemplificar mejor la secuencia del sistema, se demostraran las variables de entrada al PLC, variables de salida del PLC y variables internas dentro del programa del PLC por medio de una tabla.

**Tabla 3. Variables de entrada, variables de salida y variables internas para lectura del PLC**

<b>Variables de entrada</b>	<b>Variables de salida</b>	<b>Variables Internas</b>
Arranque: arranque del sistema	ELE1: accionamiento de electroválvula 1	B: para retención de todo el sistema
CAM1: Cámara #1 como sensor de detección de maleza	ELE2: accionamiento de electroválvula 1	PresionAlta: salida de un bloque lógico comparador del sensor de presión
CAM2: Cámara #2 como sensor de detección de maleza	ELE3: accionamiento de electroválvula 3	PresionBaja: salida de un bloque lógico comparador del sensor de presión
CAM3: Cámara #3 como sensor de detección de maleza	MOTOR1: accionamiento del acople entre motor de tractor y bomba	VelocidadN: salida de la activación del sensor de velocidad de ruedas
FALLOELE1: sensor detector de fallo en electroválvula 1	ValvReg: Válvula electromecánica reguladora de presión	NivelBajo: salida de un bloque comparador lógico del sensor de detección de altura en el depósito
FALLOELE2: sensor detector de fallo en electroválvula 2		
FALLOELE3: sensor detector de fallo en electroválvula 3		
SensNiv: sensor de detección de profundidad en el depósito		
SensPres: sensor captador de presión		
SensV: sensor captador de velocidad de ruedas		
PARO: botón para parar el sistema		

Se mostrará la descripción del programa utilizado en el PLC mediante bloques para la automatización del sistema en lenguaje escalera.

## Bloque 1



**Ilustración 32. Primer bloque de programación en escalera en Concept 2.6**

Fuente: realizada por autor

Este bloque demuestra como la secuencia de programación en 7 filas del sistema se distribuye hacia sus salidas. La primera fila indica el arranque y/o paro del sistema, el "arranque" acciona la variable interna "B" para la retención de todas las filas y el "paro" rompe esa detención haciendo que las demás filas no se accionen.

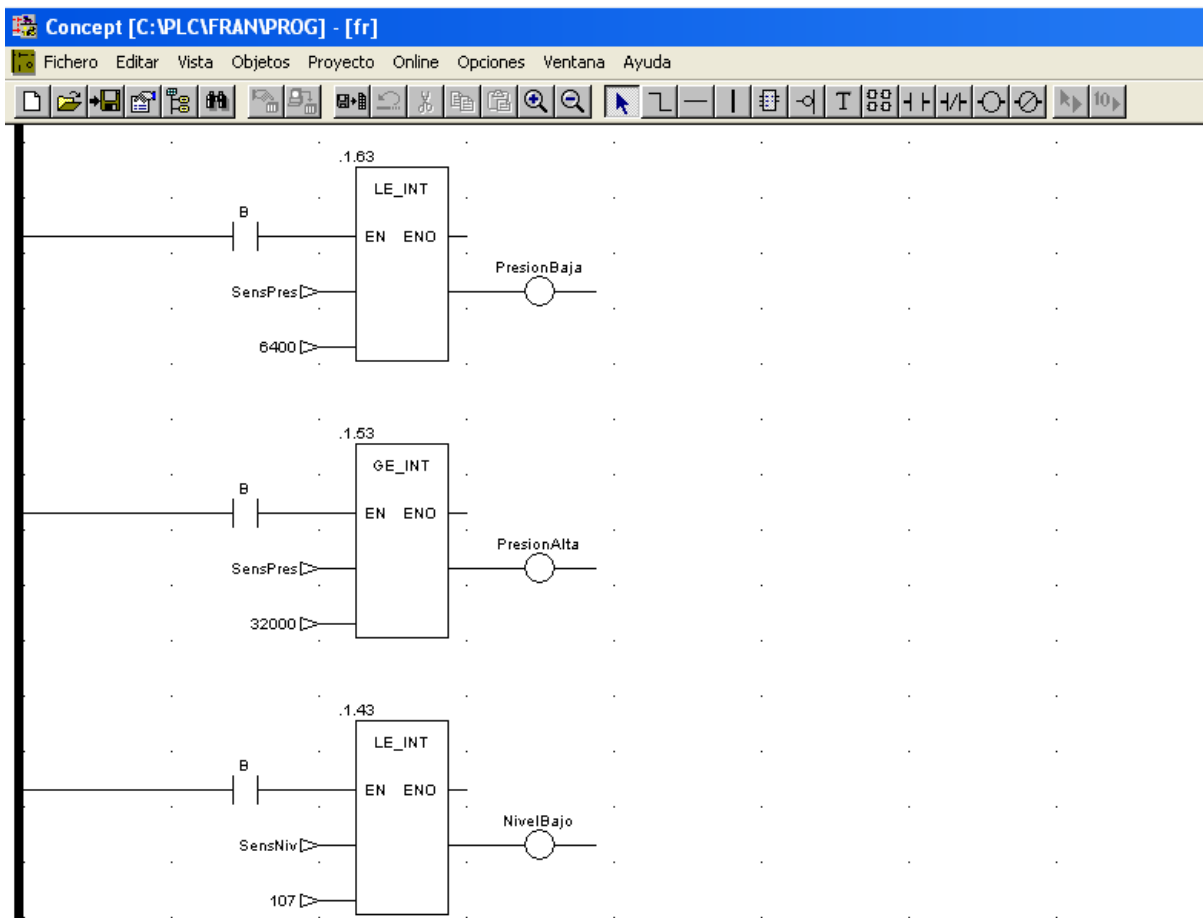
La segunda fila es para el accionamiento del acople del motor con la bomba si y solo si todos los parámetros dentro de ésta línea están en el estado correspondiente según las lecturas del sensor de presión, señor de nivel, sensor de velocidad de ruedas y las fallas en las electroválvulas.

La tercera fila es para la activación de la variable interna "VelocidadN" que se activará cuando el sensor detecte una velocidad mínima de 6km/H.

La cuarta fila es para el accionamiento de la válvula reguladora de presión que solo se activará si la bomba está funcionando de manera estable.

La quinta, sexta y séptima fila son las correspondientes de activar las electroválvulas que controlan la aspersión instantánea en los aspersores. Estas se activarán si y solo si el acople entre el motor del tractor y la bomba esta accionado, si la válvula reguladora está funcionando y si una cámara detecta una maleza en el grupo de aspersores correspondientes.

## Bloque 2



**Ilustración 33. Segundo bloque de programación con comparadores lógicos para sensores analógicos**

Fuente: realizada por autor

Este bloque demuestra la secuencia lógica de comparadores lógicos dentro del software de programación para obtener información de los sensores analógicos del sistema. Cada línea es activada para la variable de retención "B" la cual se encuentra al inicio del programa.

La primera fila demuestra la activación del bloque lógico "less than" para el valor mínimo de presión del sistema. El sensor de presión recolectará información, esa información la transmite mediante amperios y es comparada con un "less than" o "menor que" a un valor de bits.

Los bits son la única manera que el software puede interpretar una información completa, por lo cual, hay que convertir la corriente mínima del sensor con la presión mínima aceptada por el sistema a bits. En este caso el valor de "6400" en bits es equivalente a 2.5 bar, por ende, si el valor agregado por el sensor es comparado a un valor menor a 2.5 bar, la salida del comparador "PresiónBaja" se activará y repercutirá en la segunda fila de programación del sistema la cual consiste en la activación del acople entre el motor del tractor y la bomba de pistón.

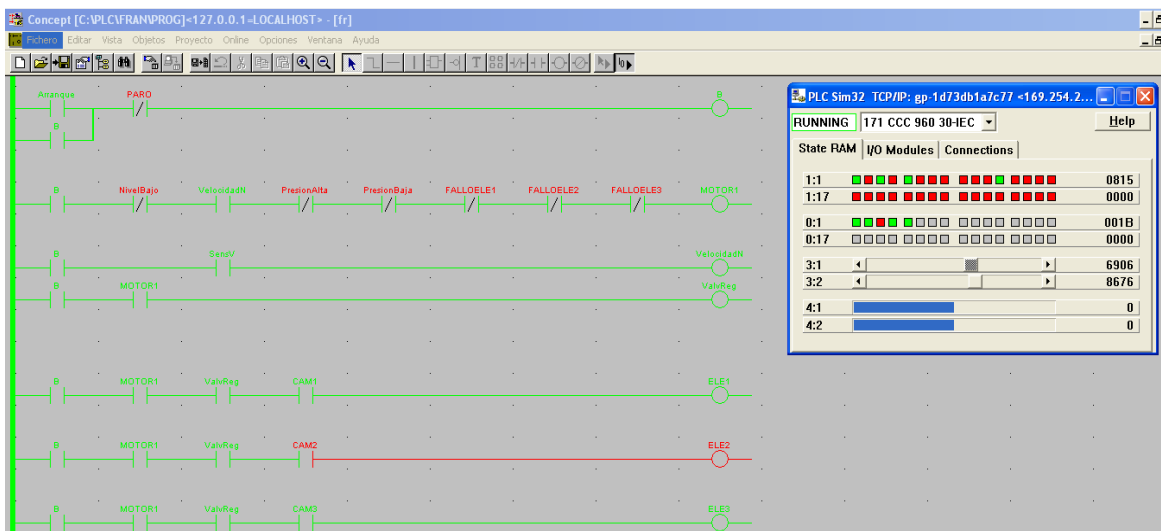
El segundo bloque de comparación "greater than" o "mayor que" siempre está relacionado con el sensor de presión y éste compara el valor máximo del sistema, 4.5 bar, a un valor en bits de "32,000". Si el valor agregado del sensor es 4.5 bar, o sea mayor a 32,000 que representa la equivalencia entre 4.5 bar y bits, el bloque lógico activará la variable interna "PresionAlta" haciendo repercusión en la segunda fila de programación del sistema.

El tercer bloque de comparación "less than" o "menor que" recibe información sobre el sensor de nivel de profundidad del líquido en el depósito. Si el nivel del líquido del depósito es menor a 5cm, que en bits es una valor de 107 entre 0 y 32,000 bits, el bloque comparador activará la variable interna "NivelBajo" que repercutirá en la segunda fila de programación del sistema.



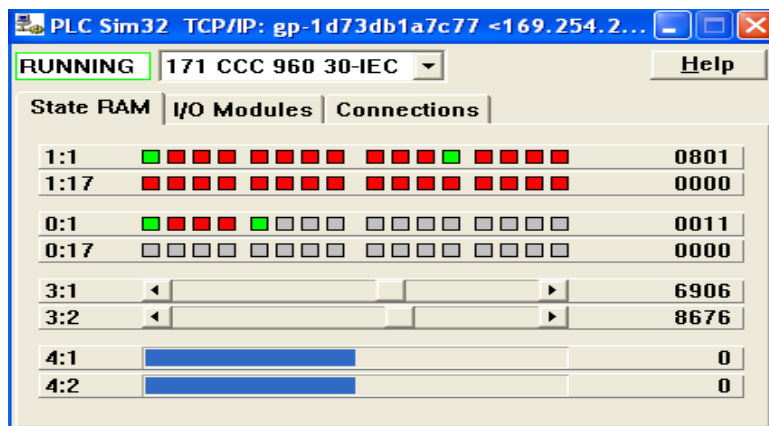
## 4.6 METODOLOGÍA DE VALIDACIÓN

Para la validación secuencial y lógica de la programación en escalera, se utilizará el simulador interno del software Concept 2.6 Telemecanique "PLC sim 32 TCP/IP". Este simulador pretenderá simular los estados de las entradas mediante pulsadores y reguladores de los valores de los sensores analógicos para la activación secuencial de las salidas del PLC. Las entradas son definidas entre los valores de 1:1 y 1:17, las salidas son definidas entre los valores 0:1 y 0:17, los sensores analógicos son representados por los valores 3:1 como el sensor de presión y 4:1 como el sensor de nivel del líquido del depósito. En la ilustración 34 y 35 se da un ejemplo:



**Ilustración 34. Simulación del sistema por medio del "PLC Sim32 TCP/IP"**

Fuente: realizada por autor



**Ilustración 35. Simulador "PLC Sim32 TCP/IP"**

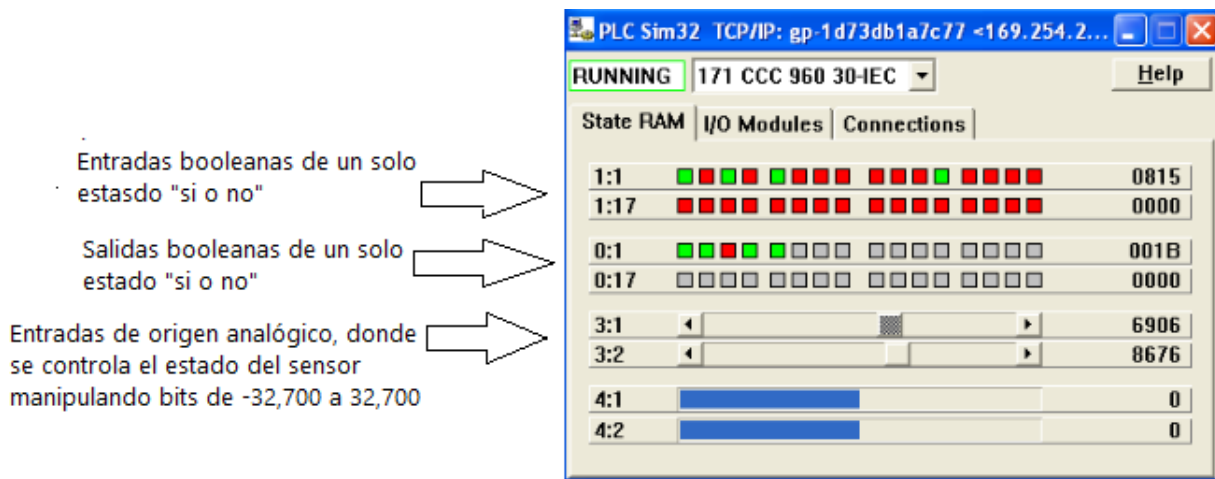
Fuente: realizada por autor

#### 4.7 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

N° Actividad	Inicio dd/mm/aa	Final dd/mm/aa	SEMANA 1	SEMANA 2	SEMANA 3	SEMANA 4	SEMANA 5	SEMANA 6	SEMANA 7	SEMANA 8	SEMANA 9	SEMANA 10
1	Investigación de fuentes bibliográficas para elaboración de marco teórico	15/7/2019	17/8/2019									
2	Análisis del sistemas hidráulicos de riego	14/8/2019	25/8/2019									
3	Análisis de Tractores Agrícolas	5/8/2019	22/8/2019									
4	Visita técnica a Camosa para obtención de datos	14/8/2019	17/8/2019									
5	Implementación y programación de sistemas de control	22/8/2019	6/9/2019									
6	Simulación del sistema de control en PLC	26/8/2019	6/9/2019									
7	Análisis de resultados de programación en PLC	9/9/2019	13/9/2019									
8	Recomendaciones sobre el proyecto con base en resultados	13/9/2019	14/9/2019									
9	Conclusiones	13/9/2019	15/9/2019									

## CAPÍTULO V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Mediante el simulador integrado en el programa concept 2.6 Telemecanique "PLC Sim32 TCP/IP", encargado de activar las entradas del sistema para provocar la activación en secuencia de las salidas que el mismo simulador presenta, se pudo tener secuencia exitosa de todas las filas y etapas del código de escalera. Para representar mejor la activación de salidas y entradas, se presenta la ilustración 36:



**Ilustración 36. Definición de entras y salidas en un el simulador PLC Sim32 TCP/IP**

Fuente: realizada por autor

### 5.1 OPERACIÓN DEL SISTEMA EN CONDICIONES NORMALES

Cuando el sistema empieza a operar sin manipular ningún estado en el simulador, se demuestra como el sistema se ejecuta sin activarse ninguna de las salidas (ver anexo 1 y 2). Pulsando el "arranque" en la dirección 1:1 del simulador, el sistema entra en operación activando la variable interna de retención "B" para alistar todas las demás etapas en la secuencia (ver anexo 3 y 4).

Una vez se simula la velocidad mínima de 6km/h, pulsando la entrada 1:12, se activa el acople electromecánico entre el motor del tractor y la bomba de pistón para activar la válvula reguladora de presión y así, con todos los estados de presión y nivel del depósito normales, el sistema solo espera la detección de una de las cámaras para activar una electroválvula por medio de las entradas en las direcciones 1:3, 1:4 y 1:5 en el simulador (ver anexo 5 y 6).

Cabe mencionar que estas entradas solo representan un pulso inmediato y no quedan retenidas en el sistema. También el sistema posee un paro de emergencia, situado en la entrada 1:2 del simulador, para detener toda operación del sistema (ver anexo 15).

## **5.2 RESPUESTA DEL SISTEMA ANTE PRESIONES ALTAS Y BAJAS**

Teniendo la variable de retención del sistema "B" activada, los comparadores lógicos del programa empiezan a funcionar. Su tarea fundamental es comparar la señal que envían los sensores, mediante pulsos de corriente, con bits enteros entre 0 y 32,000 para que el programa pueda reconocer los valores que los sensores emiten. Manipulando los valores en bits de la entrada analógica del sensor de presión con dirección 3:1, se puede determinar la presión mínima siendo 2.5 bar en 6,400 bits, y la presión máxima siendo 4.5 bar en 32,000 bits.

Si se determina un valor menor a 6,400 bits en la entrada 3:1, el comparador "less than" activará la variable interna "PresionBaja" y se activará su función de desactivación en la fila 2 de la secuencia del programa para la desactivación del acople electromecánico (ver anexo 9 y 10). Si se determina un valor mayor a 32,000 bits en la entrada 3:1, el comparador "greater than" activará la variable interna "PresionAlta" y se activará su función de desactivación en la fila 2 de la secuencia del programa para la desactivación del acople electromecánico (ver anexo 7 y 8).

## **5.3 RESPUESTA ANTE UN NIVEL BAJO DE LÍQUIDO EN EL DEPÓSITO**

Teniendo el sistema en operación estable, se comienza a simular el estado del sensor detector de nivel en la entrada 4:1 para dar un valor menor a 107 bits, equivalente a 5cm de nivel de líquido en el depósito, el tercer comparador lógico "less than" activará la variable interna "NivelBajo" y se activará su función en la fila 2 de la secuencia del programa para la desactivación del acople mecánico. Esto simula un caso particular en el que el depósito se vacíe durante una operación de la máquina. Si antes de iniciar la operación el depósito se encuentra vacío, no se podrá activar el acople electromecánico entre el motor del tractor y la bomba de pistón (ver anexo 11 y 12).

#### **5.4 RESPUESTA ANTE FALLO DE ELECTROVÁLVULA**

Teniendo el sistema en operación estable y se pulsa una de las entradas entre 1:9, 1:10 y 1:11 en el simulador PLC Sim32 TCP/IP, que representan un estado de un sensor detector de falla en electroválvulas, el sistema se pondrá en paro desactivando o evitando el acople electromecánico (ver anexo 14).

## CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES

- Se diseñó un sistema de control automatizado para el control de fluido hidráulico de aspersión de una pulverizadora agrícola autopropulsada para el ahorro de agroquímicos. Se implementó tiempos de aspersión, haciendo intervalos entre cada momento de aspersión evitando que exista una aspersión constante.
- Se analizó y desglosó un sistema básico generalizado de una pulverizadora agrícola autopropulsada de uso común para cosechas básicas. Se describió cada componente principal y se demostró las etapas del fluido dentro de todo el sistema de tubería de pulverización.
- Se diseñó un sistema de control mediante una secuencia lógica llamada escalera. Esta secuencia funciona por etapas, haciendo que una etapa funcione antes que otra para este sistema de automatización del sistema hidráulico de una pulverizadora agrícola específicamente.
- Se implementó una distribución idealizada de tres cámaras por grupo de aspersores. Los aspersores se dividen en 3 dentro de un grupo de 36 aspersores totales en la barra de pulverización. La distribución terminó de esta manera ya que el esquema idealizado de la tubería solo posee 3 representaciones de electroválvulas para cada grupo de aspersores.
- Se propuso un PLC como "microprocesador" para el control automatizado de todo el sistema hidráulico de pulverización. El PLC propuesto se basa en las funciones de un PLC de "Schneider Electric" modelo modicon 171CCC96030.
- No se realizó un presupuesto general del proyecto de automatización debido a restricciones de fabricantes sobre los datos y precios específicos de elementos dentro una pulverizadora agrícola autopropulsada.

## CAPÍTULO VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar esquema eléctrico de conexiones entre componentes del sistema hidráulico de pulverización y el sistema de control de automatización. El esquema se puede simplificar a partir de los planos del circuito de pulverización definiendo sus etapas específicas.
- Es necesario hacer un estudio de capacidad del PLC a implementar para conocer si puede operar bajo condiciones húmedas, de alta temperatura y de vibraciones pronunciadas a las que una pulverizadora está sometida en campo.
- Es necesario tener simuladores de control con capacidades altas de simulación ante la implementación de control de esta clase de sistemas. Con el simulador "PLC Sim32 TCP/IP" hay muchas variantes limitadas teniendo como por ejemplo la capacidad de simular sensores analógicos dentro del sistema. Éste simulador solo tiene dos entradas para simular sensores analógicos, por lo cual no se pueden simular más entradas analógicas al sistema.
- Se recomienda mostrar las etapas de movimiento de fluido dentro del circuito hidráulico de pulverización por medio de simulador dinámico. Con el simulador dinámico de movimiento, es claro ejemplificar las etapas del fluido con y sin un sistema automatizado.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Agrícolas, N. (2016). *Novagric*. Obtenido de <https://www.novagric.com/es/riego/materiales-de-riego/pivots-de-riego>
2. Aguirre. (Octubre de 2009). *interempresas.net*. Obtenido de Pulverizadores Arrastrados y Suspendidos:  
[https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos\\_y\\_documentos/3278/Manual-Pulverizadores-Suspendidos-y-Arrastrados.pdf](https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/3278/Manual-Pulverizadores-Suspendidos-y-Arrastrados.pdf)
3. Antonio Ruiz Canales, J. M. (2010). Automatización del Pívor . En J. M. Antonio Ruiz Canales, *Automatización de Telecontrol de Sistemas de Riego* (pág. 97). Barcelona: marcombo .
4. Antonio Ruiz Canales, J. M. (2010). *Automatización y Telecontrol de sistemas de riego*. Barcelona : Marcombo.
5. Antonio Ruiz Canales, J. M. (2010). Automatización en sistemas de riego por aspersión. En J. M. Antonio Ruiz Canales, *Automatización y Telecontrol de sistemas de riego* (pág. 89). Barcelona: Marcombo.
6. Bénitez, F. E. (2019). *ALGORITMO DE RECONOCIMIENTO DE MALEZAS EN CULTIVOS POR MÉTODO DE VISIÓN COMPUTACIONAL APLICADO EN TIEMPO REAL*. Tegucigalpa: UNITEC.
7. Bolton, W. (2005). Control Digital. En W. Bolton, *Ingeniería de Control* (pág. 17). México D.F.: Alfaomega.
8. Bolton, W. (2005). Elementos básicos de un sistema en lazo cerrado. En W. Bolton, *Ingeniería de Control* (pág. 9). México D.F.: Alfaomega.
9. Bolton, W. (2005). *Ingeniería de Control*. México D.F.: Alfaomega.
10. Bolton, W. (2006). Sistemas de actuación neumática e hidráulica. En W. Bolton, *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (págs. 122-123). México D.F.: Alfaomega.
11. Bolton, W. (2010). Control Lógico Programable. En W. Bolton, *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (pág. 17). México D.F.: Alfaomega.
12. Bolton, W. (2010). Controladores Lógicos Programables. En W. Bolton, *Mecatrónica, Sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica* (pág. 441). México D.F.: Alfaomega.



13. Company, D. &. (7 de Agosto de 2019). *John Deere*. Obtenido de <https://www.deere.es/es/soluciones-de-gesti%C3%B3n-agron%C3%B3mica/>
14. Daoud, M. (2019). *Agro Advisor*. Obtenido de <https://agroadvisor.com.br/a-tecnologia-no-campo-e-os-impactos-na-relacao-entre-produtores-e-consumidores/>
15. Electric, S. (17 de Agosto de 2018). *schneider-electric*. Obtenido de <https://www.schneider-electric.us/en/product-range/1468-modicon-m340-pac/?filter=business-1-industrial-automation-and-control>
16. Flego, E. G. (2016). *Tecnología Agropecuaria*. Obtenido de Agricultura de Precisión: <https://www.maquinac.com/wp-content/uploads/2015/07/Agricultura-de-Precision-Universidad-de-Palermo.pdf>
17. FloresM., D. R. (2016). *Agricultura de Precisión: Introducción al manejo sitio-específico*. Chillán: Departamenyo de Recursos Naturales y Medio Ambiente del CRI INIA Quilamapu.
18. Funez, E. (24 de Abril de 2016). *electrinblog.wordpress*. Obtenido de <https://electrinblog.wordpress.com/2016/04/24/post-2/>
19. Galán, Á. (4 de Agosto de 2019). *Oxital, Servicios de gestión medioambiental*. Obtenido de <https://www.oxital.com/regadios/>
20. Gupo Chamartin, C. (2017). *Chamsa*. Obtenido de <https://grupochamartin.com/en/news/2181/>
21. Honduras, S. -S. (Enero de 2019). *sag.gob*. Obtenido de <http://sag.gob.hn/acerca-de-la-sag/quienes-somos/que-es-la-secretaria-de-agricultura-y-ganaderia/>
22. Irías, Á. (2018). *ALGORITMO DE DETECCIÓN DE MALEZAS EN CULTIVOS MEDIANTE VISIÓN COMPUTACIONAL*. Tegucigalpa: UNITEC.
23. José Fernando Flores de la Riva, D. A. (Noviembre de 2017). *bdigital.zamorano*. Obtenido de <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/6079/3/CPA-2017-016.pdf>
24. Merlín, L. (2016). *Leroy Merlín, de la vida a tus ideas*. Obtenido de [http://www.leroymerlin.es/productos/jardin/riego/programadores\\_de\\_riego/como-elegir-programadores-de-riego.html](http://www.leroymerlin.es/productos/jardin/riego/programadores_de_riego/como-elegir-programadores-de-riego.html)
25. Mundial, G. B. (2019). *datos.bancomundial*. Obtenido de <https://datos.bancomundial.org/indicador/NV.AGR.TOTL.ZS>
26. Ogata, K. (2003). Ejemplos de Sistemas de Control. En K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna* (pág. 4). Madrid: Pearson.
27. Ogata, K. (2003). *Ingeniería de Control Moderna*. Madrid: Pearson.

28. Ogata, K. (2003). Variable Controlada y Variable Manipulada. En K. Ogata, *Ingeniería de Control Moderna* (pág. 2). Madrid: Pearson.
29. Rodolfo Bongiovanni, E. C. (2006). Agricultura de Precisión en Cultivos Tradicionales. En E. C. Rodolfo Bongiovanni, *Agricultura de Precisión: Integrando conocimientos para una agricultura moderna y estable* (págs. 19, 20). Montevideo: Procisur.
30. Traxco, S. (2019). *Traxco*. Obtenido de <https://www.traxco.es/blog/productos-nuevos/ruedas-especiales-para-pivot>
31. Valencia), U. (. (28 de Enero de 2016). *YouTube*. Obtenido de [https://www.youtube.com/watch?v=ZX9b8xg\\_MFE](https://www.youtube.com/watch?v=ZX9b8xg_MFE)

# ANEXOS

## Anexo 1. Bloque 1: Sistema apagado

The screenshot displays the Concept PLC software interface. The main window shows a ladder logic program with the following rungs:

- Rung 1:** A normally open contact labeled 'Arranque' and a normally closed contact labeled 'PARO' are connected to a coil labeled 'B'.
- Rung 2:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'MOTOR1'. This coil is also connected to a normally open contact labeled 'NivelBajo', a normally closed contact labeled 'VelocidadN', a normally open contact labeled 'PresionAlta', a normally closed contact labeled 'PresionBaja', a normally open contact labeled 'FALLOELE1', a normally closed contact labeled 'FALLOELE2', and a normally open contact labeled 'FALLOELE3'.
- Rung 3:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'VelocidadN'. This coil is also connected to a normally open contact labeled 'SensV'.
- Rung 4:** A normally open contact labeled 'B' and a normally closed contact labeled 'MOTOR1' are connected to a coil labeled 'ValvReg'.
- Rung 5:** A normally open contact labeled 'B', a normally open contact labeled 'MOTOR1', a normally open contact labeled 'ValvReg', and a normally open contact labeled 'CAM1' are connected to a coil labeled 'ELE1'.
- Rung 6:** A normally open contact labeled 'B', a normally open contact labeled 'MOTOR1', a normally open contact labeled 'ValvReg', and a normally open contact labeled 'CAM2' are connected to a coil labeled 'ELE2'.
- Rung 7:** A normally open contact labeled 'B', a normally open contact labeled 'MOTOR1', a normally open contact labeled 'ValvReg', and a normally open contact labeled 'CAM3' are connected to a coil labeled 'ELE3'.

The PLC Sim32 monitoring window is open, showing the following data:

Address	Value
1:1	0000
1:17	0000
0:1	0000
0:17	0000
3:1	0
3:2	0
4:1	0
4:2	0

## Anexo 2. Bloque 2: Sistema apagado

The screenshot displays the SIMATIC Manager interface with three ladder logic networks and a PLC status window.

**Network .1.63:** A normally closed contact labeled 'B' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'PresionBaja'. The block also has two inputs: 'SensPres' and '6400'.

**Network .1.53:** A normally closed contact labeled 'B' is connected to the EN input of a GE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'PresionAlta'. The block also has two inputs: 'SensPres' and '32000'.

**Network .1.43:** A normally closed contact labeled 'B' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'NivelBajo'. The block also has two inputs: 'SensNiv' and '107'.

**PLC Status Window:** The window title is 'PLC Sim32 TCP/IP: gp-1d73db1a7c77 <169.254.2...'. It shows the PLC is in a 'RUNNING' state. The selected controller is '171 CCC 960 30-IEC'. The status table is as follows:

Address	State	Value
1:1	Red	0000
1:17	Red	0000
0:1	Red	0000
0:17	White	0000
3:1	Slider	6906
3:2	Slider	8676
4:1	Blue	0
4:2	Blue	0

### Anexo 3. Bloque 1: Encendido del sistema debajo de 6km/h y todos los parámetros en condiciones normales

The screenshot displays the SIMATIC Manager interface for a PLC program. The main window shows a ladder logic network with the following components:

- Network 1:** A green coil labeled 'B' is energized. It is controlled by a normally open contact labeled 'Arranque' and a normally closed contact labeled 'PARO'.
- Network 2:** A red coil labeled 'MOTOR1' is energized. It is controlled by a normally open contact 'B', a normally closed contact 'NivelBajo', a normally open contact 'VelocidadN', a normally closed contact 'PresionAlta', a normally open contact 'PresionBaja', and three normally closed failure contacts: 'FALLOELE1', 'FALLOELE2', and 'FALLOELE3'.
- Network 3:** A red coil labeled 'VelocidadN' is energized. It is controlled by a normally open contact 'B' and a normally open contact 'SensV'.
- Network 4:** A red coil labeled 'ValvReg' is energized. It is controlled by a normally open contact 'B' and a normally open contact 'MOTOR1'.
- Network 5:** A red coil labeled 'ELE1' is energized. It is controlled by a normally open contact 'B', a normally open contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM1'.
- Network 6:** A red coil labeled 'ELE2' is energized. It is controlled by a normally open contact 'B', a normally open contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM2'.
- Network 7:** A red coil labeled 'ELE3' is energized. It is controlled by a normally open contact 'B', a normally open contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM3'.

On the right side, a monitoring window titled 'PLC Sim32 TCP/IP: gp-1d73db1a7c77 <169.254.2...' is open, showing the following data:

Address	Value
1:1	0001
1:17	0000
0:1	0000
0:17	0000
3:1	6906
3:2	8676
4:1	0
4:2	0

## Anexo 4. Bloque 2: Encendido del sistema debajo de 6km/h y todos los parámetros en condiciones normales

The screenshot displays the Siemens Concept software interface. The main workspace shows three ladder logic networks:

- Network .163:** A normally closed contact labeled 'SensPres' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'PresionBaja'. A parameter '6400' is set at the bottom of the block.
- Network .153:** A normally closed contact labeled 'SensPres' is connected to the EN input of a GE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'PresionAlta'. A parameter '32000' is set at the bottom of the block.
- Network .143:** A normally closed contact labeled 'SensNiv' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'NivelBajo'. A parameter '107' is set at the bottom of the block.

On the right side, the 'PLC Sim32' status window is open, showing the following information:

- Mode: **RUNNING**
- Model: 171 CCC 960 30-IEC
- Help button
- State RAM | I/O Modules | Connections tabs
- RAM status table:

Address	Status	Value
1:1	Green	0001
1:17	Red	0000
0:1	Red	0000
0:17	Grey	0000
3:1	Slider	6906
3:2	Slider	8676
4:1	Blue bar	0
4:2	Blue bar	0

## Anexo 5. Bloque 1: Sistema operando en condiciones normales para operación de electroválvulas

The screenshot displays the Siemens Concept software interface for a PLC program. The main window shows a ladder logic diagram with the following rungs:

- Rung 1:** A normally open contact labeled 'Arranque' is connected to a coil labeled 'B'. A normally closed contact labeled 'PARO' is connected in parallel with 'Arranque'.
- Rung 2:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'MOTOR1'. A normally closed contact labeled 'NivelBajo' is connected in parallel with 'B'. A normally open contact labeled 'VelocidadN' is connected in series with 'MOTOR1'. A normally closed contact labeled 'PresionAlta' is connected in parallel with 'VelocidadN'. A normally open contact labeled 'PresionBaja' is connected in series with 'PresionAlta'. A normally closed contact labeled 'FALLOELE1' is connected in parallel with 'PresionBaja'. A normally open contact labeled 'FALLOELE2' is connected in series with 'FALLOELE1'. A normally closed contact labeled 'FALLOELE3' is connected in parallel with 'FALLOELE2'.
- Rung 3:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'VelocidadN'. A normally open contact labeled 'SensV' is connected in parallel with 'B'.
- Rung 4:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'ValvReg'. A normally open contact labeled 'MOTOR1' is connected in parallel with 'B'.
- Rung 5:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'ELE1'. A normally open contact labeled 'MOTOR1' is connected in parallel with 'B'. A normally open contact labeled 'ValvReg' is connected in series with 'ELE1'. A normally open contact labeled 'CAM1' is connected in parallel with 'ValvReg'.
- Rung 6:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'ELE2'. A normally open contact labeled 'MOTOR1' is connected in parallel with 'B'. A normally open contact labeled 'ValvReg' is connected in series with 'ELE2'. A normally open contact labeled 'CAM2' is connected in parallel with 'ValvReg'.
- Rung 7:** A normally open contact labeled 'B' is connected to a coil labeled 'ELE3'. A normally open contact labeled 'MOTOR1' is connected in parallel with 'B'. A normally open contact labeled 'ValvReg' is connected in series with 'ELE3'. A normally open contact labeled 'CAM3' is connected in parallel with 'ValvReg'.

The 'PLC Sim32' window on the right shows the following status:

- State: RUNNING
- Model: 171 CCC 960 30-IEC
- Help button
- State RAM, I/O Modules, Connections tabs
- Table of I/O modules:

Address	Status	Value
1:1	Green	0801
1:17	Red	0000
0:1	Green	0011
0:17	Grey	0000
3:1	Slider	6906
3:2	Slider	8676
4:1	Blue bar	0
4:2	Blue bar	0

## Anexo 6. Bloque 1: Sistema operando en condiciones normales para la operación de electroválvula con CAM1 y CAM2 activadas

The image shows the Siemens Concept software interface for a PLC. The main window displays a ladder logic program with the following rungs:

- Rung 1:** A normally open contact labeled 'Arranque' is connected to a normally closed contact labeled 'PARO'. This combination is connected to coil 'B'.
- Rung 2:** A normally open contact 'B' is connected to a normally closed contact 'NivelBajo', followed by a normally open contact 'VelocidadN', a normally closed contact 'PresionAlta', a normally open contact 'PresionBaja', and three normally closed contacts labeled 'FALLOELE1', 'FALLOELE2', and 'FALLOELE3'. This entire series is connected to coil 'MOTOR1'.
- Rung 3:** A normally open contact 'B' is connected to a normally open contact 'SensV', which is connected to coil 'VelocidadN'.
- Rung 4:** A normally open contact 'B' is connected to a normally open contact 'MOTOR1', which is connected to coil 'ValvReg'.
- Rung 5:** A normally open contact 'B' is connected to a normally open contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM1'. This series is connected to coil 'ELE1'.
- Rung 6:** A normally open contact 'B' is connected to a normally open contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM2'. This series is connected to coil 'ELE2'.
- Rung 7:** A normally open contact 'B' is connected to a normally open contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM3'. This series is connected to coil 'ELE3'.

On the right side, the 'PLC Sim32' status window is open, showing the following data:

Address	Value	Hex
1:1	0000000000000000	0815
1:17	0000000000000000	0000
0:1	0000000000000000	001B
0:17	0000000000000000	0000
3:1	6906	6906
3:2	8676	8676
4:1	0	0
4:2	0	0



## Anexo 7. Bloque 2: Respuesta del sistema ante presión alta

Concept [C:\PLC\FRAN\PROG]<127.0.0.1=LOCALHOST> - [fr]

Fichero Editar Vista Objetos Proyecto Online Opciones Ventana Ayuda

The image shows the Siemens Concept software interface. On the left, three ladder logic networks are displayed:

- Network 1.83:** A normally closed contact labeled 'SensPres' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'PresionBaja'.
- Network 1.53:** A normally closed contact labeled 'SensPres' is connected to the EN input of a GE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'PresionAlta'.
- Network 1.43:** A normally closed contact labeled 'SensNiv' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The ENO output of this block is connected to a coil labeled 'NivelBajo'.

On the right, the PLC Sim32 monitoring window is open, showing the following status:

- State: RUNNING
- Model: 171 CCC 960 30-IEC
- Help button is available.
- Tab: State RAM

Address	Value
1:1	0801
1:17	0000
0:1	0000
0:17	0000
3:1	32767
3:2	8676
4:1	0
4:2	0

## Anexo 8. Bloque 1: Respuesta del sistema ante presión alta

The screenshot displays the SIMATIC Manager interface. The main window shows a ladder logic program with the following rungs:

- Rung 1:** A normally open contact labeled 'Arranque' and a normally closed contact labeled 'PARO' are connected to a coil labeled 'B'.
- Rung 2:** A normally open contact 'B' is connected to a coil 'MOTOR1'. This coil is also connected to a normally closed contact 'NivelBajo', a normally open contact 'VelocidadN', a normally open contact 'PresionAlta', a normally closed contact 'PresionBaja', and three normally open contacts labeled 'FALLOELE1', 'FALLOELE2', and 'FALLOELE3'.
- Rung 3:** A normally open contact 'B' is connected to a coil 'VelocidadN'. A normally closed contact 'SensV' is connected to the coil.
- Rung 4:** A normally open contact 'B' and a normally closed contact 'MOTOR1' are connected to a coil 'ValvReg'.
- Rung 5:** A normally open contact 'B', a normally closed contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM1' are connected to a coil 'ELE1'.
- Rung 6:** A normally open contact 'B', a normally closed contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM2' are connected to a coil 'ELE2'.
- Rung 7:** A normally open contact 'B', a normally closed contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM3' are connected to a coil 'ELE3'.

The monitoring window on the right, titled 'PLC Sim32 TCP/IP: gp-1d73db1a7c77 <169.254.2...', shows the following data:

State	Module	Connections
RUNNING	171 CCC 960 30-IEC	Help
1:1	0801	0000
1:17	0000	0000
0:1	0000	0000
0:17	0000	0000
3:1	32767	
3:2	8676	
4:1	0	
4:2	0	

## Anexo 9. Bloque 2: Respuesta del sistema ante presión baja

The screenshot displays the Siemens Concept software interface for a PLC program. The main workspace shows three Ladder Logic (LAD) networks:

- Network 1.83:** A normally closed contact labeled 'SensPres' is connected to the EN input of an LE\_INT coil. The ENO output of this coil is connected to a coil labeled 'PresionBaja'.
- Network 1.53:** A normally closed contact labeled 'SensPres' is connected to the EN input of a GE\_INT coil. The ENO output of this coil is connected to a coil labeled 'PresionAlta'.
- Network 1.43:** A normally closed contact labeled 'SensNiv' is connected to the EN input of an LE\_INT coil. The ENO output of this coil is connected to a coil labeled 'NivelBajo'.

Each network also has a numeric value (6400, 32000, and 107 respectively) connected to the ENO output. The PLC Sim32 monitoring window is open on the right, showing the following data:

PLC Sim32 TCP/IP: gp-1d73db1a7c77 <169.254.2...>

RUNNING 171 CCC 960 30-IEC Help

State	RAM	I/O Modules	Connections
1:1	█	█	0801
1:17	█	█	0000
0:1	█	█	0000
0:17	█	█	0000
3:1	◀	▶	2653
3:2	◀	▶	9738
4:1	█	█	0
4:2	█	█	0

### Anexo 10. Bloque 1: Respuesta del sistema ante presión baja

The screenshot displays the SIMATIC Manager interface with a ladder logic program. The program consists of several rungs:

- Rung 1:** A green start button (Arranque) and a stop button (PARO) in series, leading to coil B.
- Rung 2:** A normally open contact B, a normally closed contact NivelBajo, a normally open contact VelocidadN, a normally open contact PresionAlta, a normally open contact PresionBaja, and three normally open failure contacts (FALLOELE1, FALLOELE2, FALLOELE3) in series, leading to coil MOTOR1.
- Rung 3:** A normally open contact B and a normally open contact MOTOR1 in series, leading to coil ValvReg. A normally open contact SensV is connected to coil VelocidadN.
- Rung 4:** A normally open contact B, a normally open contact MOTOR1, a normally open contact ValvReg, and a normally open contact CAM1 in series, leading to coil ELE1.
- Rung 5:** A normally open contact B, a normally open contact MOTOR1, a normally open contact ValvReg, and a normally open contact CAM2 in series, leading to coil ELE2.
- Rung 6:** A normally open contact B, a normally open contact MOTOR1, a normally open contact ValvReg, and a normally open contact CAM3 in series, leading to coil ELE3.

The monitoring window on the right shows the system is in a **RUNNING** state. The I/O Modules section displays the following data:

Module	Status	Value
1:1	Green LEDs	0801
1:17	Red LEDs	0000
0:1	Red LEDs	0000
0:17	Grey LEDs	0000
3:1	Slider	2299
3:2	Slider	8676
4:1	Blue Bar	0
4:2	Blue Bar	0

## Anexo 11. Bloque 2: Respuesta del sistema ante nivel muy bajo de líquido en el depósito

The screenshot displays the SIMATIC Manager interface with three ladder logic networks and a PLC status window.

**Network 1.63:** A normally closed contact labeled 'B' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The block also receives 'SensPres' and '6400' as inputs. The output is a coil labeled 'PresionBaja'.

**Network 1.53:** A normally closed contact labeled 'B' is connected to the EN input of a GE\_INT block. The block also receives 'SensPres' and '32000' as inputs. The output is a coil labeled 'PresionAlta'.

**Network 1.43:** A normally closed contact labeled 'B' is connected to the EN input of an LE\_INT block. The block also receives 'SensNiv' and '107' as inputs. The output is a coil labeled 'NivelBajo'.

**PLC Status Window:** The window shows the PLC is in a 'RUNNING' state. The hardware configuration is '171 CCC 960 30-IEC'. The status table is as follows:

Address	State	Value
1:1	Green	0801
1:17	Red	0000
0:1	Red	0000
0:17	Grey	0000
3:1	Slider	10098
3:2	Slider	99
4:1	Blue bar	0
4:2	Blue bar	0

## Anexo 12. Bloque 1: Respuesta del sistema ante nivel muy bajo de líquido en el depósito

Concept [C:\PLC\FRANPROG]<127.0.0.1=LOCALHOST> - [fr]

Fichero Editar Vista Objetos Proyecto Online Opciones Ventana Ayuda

The screenshot displays a SIMATIC Manager interface with a ladder logic program. The program consists of several rungs:

- Rung 1:** A green start sequence. It begins with a normally open contact labeled 'Arranque' and a normally closed contact labeled 'PARO'. This sequence leads to a coil labeled 'B'.
- Rung 2:** A red stop sequence. It starts with a normally open contact 'B', followed by a normally closed contact 'NivelBajo', and three normally open contacts labeled 'VelocidadN', 'PresionAlta', and 'PresionBaja'. This sequence leads to a coil labeled 'MOTOR1'.
- Rung 3:** A green sequence. It starts with a normally open contact 'B', followed by a normally open contact 'SensV', leading to a coil labeled 'VelocidadN'.
- Rung 4:** A red sequence. It starts with a normally open contact 'B', followed by a normally open contact 'MOTOR1', leading to a coil labeled 'ValvReg'.
- Rung 5:** A red emergency stop sequence. It starts with a normally open contact 'B', followed by normally open contacts 'MOTOR1', 'ValvReg', and 'CAM1', leading to a coil labeled 'ELE1'.
- Rung 6:** A red emergency stop sequence. It starts with a normally open contact 'B', followed by normally open contacts 'MOTOR1', 'ValvReg', and 'CAM2', leading to a coil labeled 'ELE2'.
- Rung 7:** A red emergency stop sequence. It starts with a normally open contact 'B', followed by normally open contacts 'MOTOR1', 'ValvReg', and 'CAM3', leading to a coil labeled 'ELE3'.

The monitoring window on the right shows the PLC is in a **RUNNING** state. The I/O Modules section displays the following status:

Module	Status	Address
1:1	Green	0801
1:17	Red	0000
0:1	Red	0000
0:17	Grey	0000
3:1	Slider	7968
3:2	Slider	-885
4:1	Blue	0
4:2	Blue	0

### Anexo 13. Bloque 1: Respuesta del sistema en operación ante una velocidad debajo de 6km/h

The screenshot displays the Siemens Concept software interface for a PLC project. The main window shows a ladder logic diagram with several rungs. The top rung is highlighted in green, indicating it is active. It consists of a normally open contact labeled 'Arranque' and a normally closed contact labeled 'PARO' in series, leading to a coil labeled 'B'. Below this, there are several other rungs with various contacts and coils, including 'MOTOR1', 'ValvReg', 'CAM1', 'CAM2', 'CAM3', 'ELE1', 'ELE2', and 'ELE3'. The contacts include 'B', 'NivelBajo', 'VelocidadN', 'PresionAlta', 'PresionBaja', 'FALLOELE1', 'FALLOELE2', 'FALLOELE3', 'SensV', and 'MOTOR1'. The coils include 'B', 'VelocidadN', 'ValvReg', 'ELE1', 'ELE2', and 'ELE3'.

On the right side, there is a 'PLC Sim32' monitoring window. The window title is 'PLC Sim32 TCP/IP: gp-1d73db1a7c77 <169.254.2...'. The status is 'RUNNING' and the model is '171 CCC 960 30-IEC'. The window has tabs for 'State RAM', 'I/O Modules', and 'Connections'. The 'State RAM' tab is active, showing a table of memory addresses and their states.

Address	State	Value
1:1	Green	0001
1:17	Red	0000
0:1	Red	0000
0:17	White	0000
3:1	Slider	7968
3:2	Slider	7968
4:1	Blue bar	0
4:2	Blue bar	0

## Anexo 14. Bloque 1: Respuesta del sistema ante el fallo de una electroválvula

The image displays the Concept PLC software interface. The main window shows a ladder logic program with the following rungs:

- Rung 1:** Ladder logic with a normally open contact labeled 'Arranque' and a normally closed contact labeled 'PARO', leading to a coil labeled 'B'.
- Rung 2:** Ladder logic with a normally open contact 'B', a normally closed contact 'NivelBajo', a normally open contact 'VelocidadN', a normally closed contact 'PresionAlta', a normally open contact 'PresionBaja', a normally closed contact 'FALLOELE1', a normally open contact 'FALLOELE2', and a normally closed contact 'FALLOELE3', leading to a coil labeled 'MOTOR1'.
- Rung 3:** Ladder logic with a normally open contact 'B' leading to a coil labeled 'VelocidadN'.
- Rung 4:** Ladder logic with a normally open contact 'B' and a normally closed contact 'MOTOR1' leading to a coil labeled 'ValvReg'.
- Rung 5:** Ladder logic with a normally open contact 'B', a normally closed contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM1', leading to a coil labeled 'ELE1'.
- Rung 6:** Ladder logic with a normally open contact 'B', a normally closed contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM2', leading to a coil labeled 'ELE2'.
- Rung 7:** Ladder logic with a normally open contact 'B', a normally closed contact 'MOTOR1', a normally open contact 'ValvReg', and a normally open contact 'CAM3', leading to a coil labeled 'ELE3'.

The PLC Sim32 monitoring window on the right shows the following data:

Address	Value	Value
1:1	0921	0921
1:17	0000	0000
0:1	0000	0000
0:17	0000	0000
3:1	7968	7968
3:2	7968	7968
4:1	0	0
4:2	0	0



## Anexo 15. Bloque 1: Paro del sistema ante una emergencia desactivando la variable de retención "B"

The image displays the SIMATIC Manager interface for a PLC project. The main window shows a ladder logic program with several rungs. The first rung is a start sequence: a normally open contact labeled 'Arranque' is connected to a coil labeled 'B'. A normally closed contact labeled 'PARO' is connected in parallel with the 'Arranque' contact. Below this, there are three emergency stop rungs, each starting with a normally open contact 'B' and a normally closed contact 'MOTOR1'. The first emergency stop rung leads to a coil labeled 'SensV'. The second and third emergency stop rungs lead to coils labeled 'VelocidadN' and 'ValvReg' respectively. At the bottom, there are three rungs for emergency stop leading to coils labeled 'ELE1', 'ELE2', and 'ELE3'. Each of these rungs includes a normally open contact 'B', a normally closed contact 'MOTOR1', and a normally open contact labeled 'ValvReg', followed by a normally open contact labeled 'CAM1', 'CAM2', and 'CAM3' respectively.

On the right side, a hardware configuration window titled 'PLC Sim32 TCP/IP: gp-1d73db1a7c77 <169.254.2...' is open. It shows the PLC is in a 'RUNNING' state. The hardware configuration table is as follows:

Slot	Module	Status	Address
1:1	171 CCC 960 30-IEC	Running (Green)	083E
1:17		Power (Red)	0000
0:1		Power (Red)	0000
0:17		Power (Grey)	0000
3:1		Power (Grey)	7968
3:2		Power (Grey)	7968
4:1		Power (Blue)	0
4:2		Power (Blue)	0

## Anexo 16. Tablas de variables de entrada, salida, internas y sus direcciones

Editor de variables

Tipo  
 Variables  Constantes

Buscar/Insertar  
 Buscar/Reemplazar

	Exp	Nombre de variable	Tipo de datos	Dirección	Val. inicial	Usado	Comentario
1	<input type="checkbox"/>	Arranque	BOOL	100001		1	
2	<input type="checkbox"/>	B	BOOL			11	
3	<input type="checkbox"/>	CAM1	BOOL	100003		1	
4	<input type="checkbox"/>	CAM2	BOOL	100004		1	
5	<input type="checkbox"/>	CAM3	BOOL	100005		1	
6	<input type="checkbox"/>	ELE1	BOOL	000002		1	
7	<input type="checkbox"/>	ELE2	BOOL	000003		1	
8	<input type="checkbox"/>	ELE3	BOOL	000004		1	
9	<input type="checkbox"/>	FALLOELE1	BOOL	100009		1	
10	<input type="checkbox"/>	FALLOELE2	BOOL	100010		1	
11	<input type="checkbox"/>	FALLOELE3	BOOL	100011		1	
12	<input type="checkbox"/>	MOTOR1	BOOL	000001		5	
13	<input type="checkbox"/>	MOVRIE	INT	300003		0	
14	<input type="checkbox"/>	NivelBajo	BOOL			2	
15	<input type="checkbox"/>	PARO	BOOL	100002		1	
16	<input type="checkbox"/>	PresionAlta	BOOL			2	
17	<input type="checkbox"/>	PresionBaja	BOOL			2	
18	<input type="checkbox"/>	SensNiv	INT	300002		1	
19	<input type="checkbox"/>	SensPres	INT	300001		2	
20	<input type="checkbox"/>	SensV	BOOL	100012		1	
21	<input type="checkbox"/>	ValvReg	BOOL	000005		4	
22	<input type="checkbox"/>	velalata	BOOL			0	
23	<input type="checkbox"/>	VelAlta	BOOL			0	