

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y DE INGENIERÍA CIVIL  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



## TESIS

---

**”APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA CONTROLAR EL  
BALANCE DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DE UN  
SISTEMA DE CULTIVO DE LECHUGA  
(*Lactuca Sativa*)  
BAJO LA TÉCNICA DE HIDROPONÍA AUTOMATIZADA  
A RAÍZ DEL MONITOREO DE NITRÓGENO, PH Y  
CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA  
EN PUCALLPA”**

---

**PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO DE SISTEMAS**

TESISTAS : BACHILLER FIORELLA ISABEL PEREZ REATEGUI

BACHILLER ULISES FERNANDO PEREZ REATEGUI

ASESOR : ING. ADMINISTRATIVO ROMEL PINEDO RÍOS.

CO ASESOR: ING. ELECTRÓNICO JOSÉ ALIPIO DÍAZ PICÓN

LUGAR : MÓDULO DE HIDROPONÍA DE LA UNU

PERIODO : Del 07 de Diciembre 2013 al 23 de Junio del 2014

**PUCALLPA - PERU**

**2016**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

FACULTAD DE INGENIERÍA DE SISTEMAS Y DE INGENIERÍA CIVIL  
ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS

## INFORME DE ASESORÍA DE TESIS

1. Tesistas : Fiorella Isabel Pérez Reátegui  
Ulises Fernando Pérez Reátegui
2. Tesis : “Aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca Sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa”
3. Referencia : Resolución Comité de Planeamiento N°290/2014-CP-FIS y de IC-UNU

Que, los tesisas han cumplido con ejecutar la tesis titulada: “APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA CONTROLAR EL BALANCE DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DE UN SISTEMA DE CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca sativa*) BAJO LA TÉCNICA DE HIDROPONÍA AUTOMATIZADA A RAÍZ DEL MONITOREO DE NITRÓGENO, PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN PUCALLPA”, de conformidad con el Reglamento General de Grados y Títulos de la Universidad Nacional de Ucayali, por lo que mi asesoría declara: **APROBADO** y, encontrándose aptos para ser presentada y evaluada por la Comisión de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de Sistemas e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ucayali.

Se expide el presente documento, a solicitud del interesado para los fines consiguientes.

UNU, 03 de Febrero del 2016

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Administrativo Romel Pinedo Ríos  
Asesor de Tesis  
Catedrático- UNU

  
\_\_\_\_\_  
Ing. Electrónico J. Alipio Díaz Picón  
Co-Asesor de Tesis  
Catedrático- UNU

---

**“APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA CONTROLAR EL BALANCE DE LA  
SOLUCIÓN NUTRITIVA DE UN SISTEMA DE CULTIVO DE LECHUGA  
(*Lactuca Sativa*) BAJO LA TÉCNICA DE HIDROPONÍA AUTOMATIZADA A  
RAÍZ DEL MONITOREO DE NITRÓGENO, PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA  
EN PUCALLPA“**

---

**Por:**

**Bach. Fiorella Isabel Pérez Reátegui  
Bach. Ulises Fernando Pérez Reátegui**

**Aprobado por:**



---

**Ing. Mg. Jorge Luis Hilario Rivas - Presidente**



---

**Ing. Clotilde Ríos Hidalgo de Cerna - Miembro**



---

**Ing. Mg. Arturo Yupanqui Villanueva - Miembro**

**Asesor:**



---

**Ing. Mg. Romel Pinédo Ríos**

**Co-Asesor:**



---

**Ing. Electrónico José Alipio Díaz Picón**

## DEDICATORIA

A Dios, por amarnos, y darnos la vida y enviar a su hijo amado para morir por todos nosotros, y perdonarnos nuestros pecados, por ser siempre guía y luz en cada paso de nuestras vidas.

A nuestros padres Tatiana Isabel Reátegui Herrera y Fernando Pérez Leal por el apoyo y amor incondicional que nos brindan. A ellos nuestra eterna gratitud y admiración por ser los mejores padres del mundo.

A nuestra hermana Betsy Geraldine Pérez Reátegui que siempre nos animó a seguir adelante.

A nuestros abuelitos que con su ejemplo y consejos, nos inculcaron a ser perseverantes en nuestro sueños.

## **AGRADECIMIENTOS**

**A la Universidad Nacional de Ucayali.**

**A todos los profesores de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas de la UNU** que con su esmero, dedicación y paciencia nos impartieron los conocimientos, experiencias y ejemplos que llevaremos siempre presente en el desempeño profesional y personal.

Al **Ing. Administrativo Romel Pinedo Ríos**, por su apoyo incondicional y asesoramiento para la realización de esta tesis.

Al co-asesor **Ing. Electrónico José Alipio Díaz Picón**, por su apoyo y participación para mejorar diversos aspectos de las instalaciones y de la investigación.

A todas aquellas personas, que de alguna u otra manera han contribuido en el logro de nuestros sueños, en especial a nuestros abuelitos Ramón Pérez, Hilda Leal, Ulises Reátegui, Edith Herrera y a nuestro tío Pedro Reátegui.

## RESUMEN

La finalidad de esta investigación fue conocer (identificar y diseñar) como **“APLICACIÓN DE SOFTWARE (sistema computarizado) MEJORA EL CONTROL DEL BALANCE DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA DE UN SISTEMA DE CULTIVO DE LECHUGA (*Lactuca Sativa*) BAJO LA TÉCNICA DE HIDROPONÍA AUTOMATIZADA A RAÍZ DEL MONITOREO DE NITRÓGENO, PH Y CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA EN PUCALLPA”**, medir el grado de asociación y correlación entre las variables, conocer cómo interactúan y si son efectivos para el control y análisis que sirvan de ayuda al módulo de hidroponía de la UNU, Se usó el PLC (Controlador Lógico Programable), y software (TIA Portal, OPC Server, LabView), Es una investigación aplicada, de diseño experimental Completamente Randomizado (DCR), de enfoque cuantitativo, con un nivel de investigación descriptivo correlacional (descripción, análisis e interpretación de los hechos relacionados con las variables utilizadas). La información se obtuvo diariamente de los sensores de N, PH y CE, de la solución nutritiva de cultivar 360 plantas en el sistema de hidroponía automatizada. Se realizaron pruebas, el análisis y procesamiento de los datos se realizó con el programa EXCEL 2010 y con SAS para contrastar información. El resultado demuestra que utilizar PLC y aplicar LabView, es efectiva en términos de eficacia, eficiencia, horas hombre (esfuerzo) es menor , mejorar el control de las labores culturales en el cultivo de lechuga como la aplicación de fertilizante, el control del pH y Conductividad Eléctrica que son claves para elevar la productividad y dar mayor comodidad al productor.

**Palabras claves:** Hidroponía automatizada, Controlador Lógico Programable.

## ABSTRACT

The purpose of this research was to determine (identify and design) as "SOFTWARE APPLICATION (computerized) IMPROVES THE CONTROL OF THE NUTRIENT SOLUTION BALANCE OF SYSTEM GROWING LETTUCE (*Lactuca sativa*) UNDER THE TECHNICAL HYDROPONICS FOLLOWING THE AUTOMATED MONITORING OF NITROGEN, pH AND ELECTRIC CONDUCTIVITY IN PUCALLPA" that measure the degree of association and correlation between variables to know how they interact and whether they are effective for the control and analysis will assist the module hydroponics UNU was used the PLC (Programmable Logic Controller) and software (TIA Portal, OPC Server, LabView), is applied research, experimental Completely Randomized Design (CRD), a quantitative approach with a level descriptive correlational research (description, analysis, and interpretation the facts related to the variables used). The information was obtained daily from sensors N, pH and EC of the nutrient solution to grow 360 plants in automated hydroponics system. Testing, analysis and data processing was performed using the program EXCEL 2010 and SAS to contrast information. The result shows that using PLC and applying LabView, is effective in terms of effectiveness, efficiency, man hours (effort) is smaller, better control of culturares work in growing lettuce as the application of fertilizer, pH control and Electrical conductivity that are key to raising productivity and give more comfort to the producer.

**Keywords:** Automated hydroponics, Programmable Logic Controller.

## INTRODUCCIÓN

La actual automatización de los procesos en la agricultura es una corriente tecnológica a nivel mundial favorable para mejorar la productividad de los cultivos con comodidad, pero requiere del uso de hardware, software y conocimientos técnicos científicos. Para el desarrollo del presente experimento se eligió al cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), una planta anual de corto periodo vegetativo propia de las regiones semi-templadas, que se cultiva en hidroponía con fines alimenticios, el cual puede ser producido utilizando diferentes técnicas como el sistema NFT y raíz flotante, si se habla de nivel tecnológico también podemos clasificar en hidroponía automatizada, semi-automatizada y no automatizada. En Pucallpa, no se tiene información de aplicación de la automatización de los cultivos y en especial del cultivo de lechuga motivo por el cual se planteó la ejecución de la presente tesis sobre **“aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa”** cuyo objetivo general es de conocer como la aplicación de software (sistema computarizado) mejora el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.

En tal sentido, este trabajo de investigación está estructurado en siete capítulos que se presentan a continuación:

El capítulo I: Planteamiento teórico del problema, Planteamiento del problema de investigación, formulación del problema, justificación y objetivos de la investigación.



El capítulo II: Marco teórico, se embarca la investigación a conocimientos existentes, citando los antecedentes del problema, planteamiento teórico del problema, definición de términos básicos, hipótesis, conceptualización de variables, operacionalización de variables, observaciones a registrar o datos a considerar.

El capítulo III: Metodología de la investigación, se define el método (el tipo de investigación, nivel de investigación, tipo de experimento, ubicación y duración), las condiciones climatológicas; materiales, insumos y equipos (requerimiento de software, materiales, insumos, equipos), detalles de la construcción e implementación del sistema automatizado y no automatizado, la instalación de los componentes eléctricos y electrónicos, soporte de los sensores, descripción de algunos instrumentos y materiales utilizados, detalles de las camas de cultivo o contenedores, principales aplicaciones, preparación de la solución stock y solución nutritiva, la obtención de las plántulas de lechuga, colocación de las lechugas en el medio de cultivo y cambio de la solución nutritiva, cultivo de la lechuga Great Lake, inspección de plagas y enfermedades, control de nitrógeno, pH y CE de la solución nutritiva, validación y medición, procedimiento de recolección de datos (muestra experimental y fuente de datos), tratamiento de los datos, definición de las herramientas en la implementación, metodologías para la implementación, análisis y diseño del sistema, población y muestras de lechugas, instrumentos de recolección de datos.

Capítulo IV: Análisis y resultados de la investigación. Indicadores del sistema, entradas y salidas del sistema hidropónico, análisis de correlación del nitrógeno, pH y Conductividad eléctrica control nitrógeno, control del pH, control de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva para el crecimiento y

producción del cultivo de lechuga, contenido de nutrientes en la solución nutritiva, mantenimiento del volumen de la solución nutritiva, control y manejo de parámetros climáticos (lectura de datos), enfermedades y patógenos, rendimiento económico (resultados de la producción de lechuga bajo sistemas hidropónicos en peso fresco y peso seco), ergonomía, consideraciones generales sobre los sistemas hidropónicos, prueba de hipótesis y resumen del experimento.

Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.

Finalmente la bibliografía, referencias web y anexos.

## TABLA DE CONTENIDO

*AGRADECIMIENTOS*

*RESUMEN*

*ABSTRACT*

*INTRODUCCIÓN*

<i>CAPITULO I</i> .....	1
<i>1. PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA</i> .....	1
1.1. Planteamiento del problema de investigación .....	1
1.1.1. Formulación del problema .....	3
1.1.2. Justificación .....	4
1.1.3. Objetivos de la investigación .....	8
<i>CAPITULO II</i> .....	10
<i>2. MARCO TEÓRICO</i> .....	10
2.1. Antecedentes del problema .....	10
2.1.1. Antecedentes de la hidroponía a nivel mundial .....	20
2.1.2. Antecedentes de la hidroponía en el Perú .....	23
2.1.3. Antecedentes de la hidroponía a nivel local en Pucallpa .....	25
2.2. Planteamiento teórico del problema: .....	26

2.2.1. Software.....	26
2.2.3. Controlador Lógico Programable (PLC).....	37
2.2.4. El autómata SIMATIC S7-1200.....	42
2.2.5. Virtualización .....	58
2.2.6. Estándares.....	60
2.2.7. Micro-controlador .....	61
2.2.8. Sensor .....	66
2.2.9. Relé .....	69
2.2.10. Contactor .....	71
2.2.11. Actuador .....	77
2.2.12. Sistemas SCADA.....	80
2.2.13. LabView .....	83
2.2.14. Fisiología vegetal.....	84
2.2.15. Hidroponía .....	87
2.2.16. Tipos de sistemas hidropónicos .....	93
2.2.17. Agromótica .....	99
2.2.18. Ergonomía en la agromótica hidropónica .....	103
2.2.19. Control y manejo de la solución nutritiva.....	105

2.2.20. La lechuga.....	111
2.2.21. Proceso de producción de la lechuga.....	121
2.3. Definición de Términos Básicos.....	123
2.4. Hipótesis.....	128
2.4.1. Hipótesis general.....	128
2.4.2. Hipótesis específicas.....	128
2.5. Conceptualización de variables.....	129
2.5.1. Variable independiente.....	129
2.5.2. Variable dependiente.....	132
2.5.3. Variable interviniente.....	132
2.5.4. Unidad de análisis.....	132
2.6. Operacionalización de las variables.....	133
2.6.1. Variable independiente.....	134
2.6.2. Variable dependiente.....	137
2.6.3. Variable interviniente.....	137
2.7. Observaciones a registrar o datos a considerar.....	138
<i>CAPITULO III.....</i>	<i>139</i>
3. <i>METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....</i>	<i>139</i>

3.1. Método de investigación .....	139
3.1.1. Tipo de investigación .....	139
3.1.2. Nivel de investigación .....	140
3.1.3. Tipo de experimento .....	140
3.1.4. Ubicación del experimento .....	141
3.1.5. Duración del estudio .....	146
3.2. Condiciones climatológicas .....	146
3.3. Materiales, insumos y equipos .....	149
3.3.1. Requerimiento de software .....	149
3.3.2. Materiales .....	151
3.3.3. Insumos .....	151
3.3.4. Equipos .....	152
3.4. Detalles de la construcción e implementación de los sistemas .....	154
3.4.1. Al comienzo del experimento en la huerta del módulo de Hidroponía .....	156
3.4.2. Lugar donde se armaron las camas de la parte automatizada .....	156
3.4.3. Los reservorios subterráneos para la solución nutritiva .....	158
3.5. Sistema automatizado: instalación de los componentes eléctricos y electrónicos .....	165

3.5.1. Diagramas del cableado en el PLC S7 1200 .....	174
3.5.2. Diagrama de conexión de componentes de control .....	179
3.5.3. Diagrama de conexión de los sensores .....	180
3.5.4. Seguridad .....	181
3.6. Soporte de los sensores .....	187
3.7. Descripción de algunos instrumentos, materiales utilizados y procesos	190
3.7.1. Boyas eléctricas .....	191
3.7.2. Sensor de luz .....	192
3.7.3. Instalación Motor Tricó .....	193
3.7.4. Instalación de dos tanques Rotoplas de 600 litros de capacidad .....	195
3.7.5. Baldes con solución stock de nutrientes y reguladores de pH .....	196
3.7.6. Válvulas solenoides de los de los recipientes con solución stock y reguladores de pH.....	199
3.8. Detalles de las camas de cultivo o contenedores .....	210
3.8.1. Fabricación de los tubos embonados .....	211
3.8.2. Colocación de tubos embonados en las camas .....	212
3.8.3. Angulo de inclinación de las camas.....	213
3.8.4. Entornillado de las camas .....	214

3.8.5. Instalación de las canaletas o tubería colectora de la solución nutritiva.....	214
3.8.6. Conexión de las tuberías para el riego del sistema automatizado y semi-automatizado.....	215
3.8.7. Tela sombreadora .....	216
3.8.8. Armado de las camas del sistema hidropónico a raíz flotante - sistema no automatizado.....	217
3.9. Principales aplicaciones .....	219
3.9.1. Llenado de agua en el reservorio automatizado.....	219
3.9.2. Llenado de agua al reservorio semi – automatizado .....	220
3.10. Preparación de la solución stock y solución nutritiva.....	220
3.11. Obtención de las plántulas de lechuga .....	224
3.11.1. Tamizando la arena para el almacigado .....	229
3.11.2. Preparación de los almácigos en bateas de plásticos.....	229
3.11.3. Lechugas Great Lake germinadas en el almácigo listas para ser trasplantadas.....	230
3.12. Colocación de las lechugas en el medio de cultivo y cambio de la solución nutritiva .....	231
3.13. Cultivo de la lechuga <i>Great Lake</i> .....	235



3.14. Inspección de plagas y enfermedades .....	235
3.15. Control del nitrógeno, pH y CE de la solución nutritiva.....	236
3.16. Validación de las técnicas e instrumentos de medición.....	240
3.17. Procedimiento de recolección de datos .....	251
<input type="checkbox"/> Muestra experimental .....	251
<input type="checkbox"/> Fuente de datos.....	251
3.18. Tratamiento de los datos .....	252
3.19. Definición de las herramientas propuestas en la implementación .....	253
3.20. Metodologías para la implementación .....	253
3.20.1. Administración del proyecto e ingeniería de software .....	253
3.20.2. Selección de la metodología de desarrollo.....	257
3.20.3. Diseño estadístico. ....	257
3.20.4. Metodología propuesta.....	260
3.20.5. Estudio preliminar .....	263
3.20.6. Desarrollo del prototipo del sistema .....	264
3.20.7. Desarrollo del sistema.....	264
3.20.8. Evaluación.....	264
3.21. Ingeniería del proyecto .....	267

3.21.1. Distribución del trabajo .....	267
3.21.2. Diseño de la implementación realizada del sistema hidropónico automatizado.....	273
3.21.3. Diseño de la distribución de las camas de cultivo del sistema automatizado.....	274
3.21.4. Instalación de la máquina virtual VirtualBox .....	276
3.21.5. Instalación de Sistema Operativo XP.....	278
3.21.6. Instalación del STEP 7 Basic V11.0.....	279
3.21.7. Instalación de LabView .....	280
3.21.8. OPCSIEMENS.lvproj .....	283
3.21.9. Programación en LabView .....	286
3.21.10. Archivos del proyecto.....	309
3.21.11. OPCLIB.lvlib.....	310
3.21.12. Librerías utilizadas .....	311
3.21.13. Entramos en el TIA Portal versión 11 .....	312
3.21.14. Proceso de desarrollo para la aplicación de software .....	316
3.22. Población y muestra de lechugas .....	337
3.22.1. Muestra de lechugas.....	341

3.23. Instrumentos de recolección de datos.....	343
<i>CAPITULO IV.....</i>	<i>349</i>
<i>4. ANALISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN.....</i>	<i>349</i>
4.1. Indicadores del sistema .....	349
4.2. Entradas y salidas del sistema hidropónico .....	353
4.3. Análisis de correlación del nitrógeno, pH, y conductividad eléctrica en una solución nutritiva para el crecimiento y producción del cultivo de lechuga .....	363
4.4. Control del nitrógeno .....	370
4.5. Control del pH.....	370
4.6. Control de conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva .....	372
4.7. Contenido de nutrientes en la solución nutritiva .....	373
4.8. Mantenimiento del volumen de la solución nutritiva .....	377
4.8.1. Duración y cambio de la solución nutritiva .....	377
4.9. Control y Manejo de parámetros climáticos.....	378
4.9.1. Temperatura.....	378
4.9.2. Humedad relativa .....	379
4.9.3. CO <sub>2</sub> .....	379

4.9.4. Iluminación .....	380
4.9.5. Oxígeno disuelto.....	380
4.10. Enfermedades y patógenos.....	384
4.11. Ergonomía .....	386
4.12. Consideraciones generales sobre los sistemas hidropónicos .....	388
4.13.1. Sistema hidropónico de raíz flotante.....	389
4.13.2. Sistema hidropónico NFT .....	390
4.13. Prueba de hipótesis .....	400
4.13.1. Hipótesis general.....	400
4.13.2. Explicación del cuadro de valores de indicadores del N, pH y CE ..	400
4.13.3. Supuestos de la prueba de hipótesis .....	402
4.13.4. Cálculo del valor crítico y la función de prueba .....	402
4.13.5. Resultados producción de lechuga bajo sistemas hidropónicos .....	405
<i>5. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN.....</i>	<i>412</i>
5.1. Conclusiones.....	412
5.2. Recomendaciones .....	416
<i>BIBLIOGRAFÍA .....</i>	<i>417</i>
Referencias web .....	441

ANEXOS .....	443
ANEXO 1: Presupuesto .....	444
a.    Desarrollador del proyecto .....	444
b.    Costo del proyecto.....	444
c.    Presupuesto general .....	445
ANEXO 2: Visita técnica de los jurados en el primer nivel de la planta.....	446
ANEXO 3: Visita técnica de los jurados en el segundo nivel de la planta .....	447
ANEXO 4: Matriz de consistencia sistémica .....	448
ANEXO 5: Matriz de operacionalización de variables .....	449
ANEXO 6: Otras instalaciones dentro del módulo de hidroponía.....	450
ANEXO 7: Autoridades de la Universidad Nacional de Ucayali (2014) .....	451
ANEXO 8: Investigadores .....	453

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Investigación y desarrollo.....	28
Ilustración 2: Elementos de un sistema automático. ....	30
Ilustración 3: Paradigmas tecnológicas.....	33
Ilustración 4: Evolución de las técnicas de control .....	33
Ilustración 5: Tipos de máquinas de producción .....	34
Ilustración 6: Procesos en una fabricación.....	36
Ilustración 7: PLC en una fábrica .....	36
Ilustración 8: Símbolos y descripción de lenguaje Ladder.....	38
Ilustración 9: Arquitectura interna de un PLC.....	40
Ilustración 10: Procesamiento cíclico de un PLC .....	42
Ilustración 11: PLC Siemens S7 - 1200.....	44
Ilustración 12: Componentes del PLC Siemens 1200. ....	44
Ilustración 13: Módulos de señales .....	45
Ilustración 14: Módulos de comunicación.....	47
Ilustración 15: Memoria del PLC Siemens .....	47
Ilustración 16: Modelo OSI y modelo TCP/IP .....	49
Ilustración 17: Tipos de conectores.....	51

Ilustración 18: Niveles sistema automatizado/Pirámide automatización. ....	52
Ilustración 19: Interfaz gráfica de programación del PLC.....	54
Ilustración 20: Led indicadores del PLC Siemens 1200. ....	55
Ilustración 21: Lazo de control SISO según ELO (2014).....	56
Ilustración 22: Control PID y sus funciones de transferencias .....	56
Ilustración 23: Función CPID y forma estándar con otras alternativas .....	57
Ilustración 24: Sistema basado en la estructura de Von Newman. ....	62
Ilustración 25: Sistema microprocesador .....	62
Ilustración 26: Sistema microcontrolador. ....	63
Ilustración 27: Micro-controlador y microprocesador.....	63
Ilustración 28: Sistemas empotrados con micro-controladores. ....	64
Ilustración 29: Gama de micro-controladores de 8 bit.....	65
Ilustración 30: Gama de micro-controladores de 16 y 14 bits.....	65
Ilustración 31: Estructura interna PIC 16F877.....	66
Ilustración 32: Sensor de salida digital. ....	67
Ilustración 33: Sensor de salida analógica. ....	67
Ilustración 34: Sensor todo-nada de dos hilos.....	68
Ilustración 35: Sensor todo-nada de tres hilos. ....	68

Ilustración 36: Variedad de sensores según su función. ....	68
Ilustración 37: Circuito eléctrico básico. ....	69
Ilustración 38: Relé.....	70
Ilustración 39: Nomenclatura y representación contactos abiertos y cerrados en relés. ....	70
Ilustración 40: Relé magneto-térmico.....	71
Ilustración 41: Símbolo normalizado relé o contactor auxiliar.....	72
Ilustración 42: Simbología completa de un relé.....	72
Ilustración 43: Simbología del contactor.....	72
Ilustración 44: Aspecto de un contactor industrial. ....	72
Ilustración 45: Estructura básica de un contactor o relé.....	75
Ilustración 46: Partes internas del contactor.....	76
Ilustración 47: Otras partes del contactor .....	77
Ilustración 48: Control en lazo abierto .....	78
Ilustración 49: Control en lazo cerrado.....	79
Ilustración 50: Electro-válvula cerrada y abierta.....	79
Ilustración 51: Esquema básico de un SCADA. ....	81
Ilustración 52: Ejemplo de Software de control de producción.....	81



Ilustración 53: Proceso de transpiración y el sistema hidropónico .....	86
Ilustración 54: Esquema básico del sistema hidropónico (Cooper 1979) .....	87
Ilustración 55: Modelo de cultivo hidropónico no automatizado en sustrato sólido.....	88
Ilustración 56: Modelos de invernaderos .....	101
Ilustración 57: Invernaderos automatizados.....	102
Ilustración 58: Interfaz gráfica de sistema IN-32/02 de robótica.....	102
Ilustración 59: Disposiciones humanas y su proporción .....	104
Ilustración 60: Análisis sistémico persona - máquina .....	105
Ilustración 61: Lechuga Boston y Gread Lake .....	111
Ilustración 62: Hojas de lechuga Boston y Gread Lake .....	111
Ilustración 63: Desarrollo de la lechuga .....	111
Ilustración 64: Desarrollo de la lechuga en floración .....	112
Ilustración 65: Enfermedades de la lechuga .....	116
Ilustración 66: Frontis de la Universidad Nacional de Ucayali .....	141
Ilustración 67: Mapa del Perú en Sur América y de la Región Ucayali.....	142
Ilustración 68: Mapa político de la Región Ucayali .....	142
Ilustración 69: Ubicación geográfica en el plano .....	143

Ilustración 70: Vista satelital de la ubicación geográfica de la UNU .....	143
Ilustración 71: Ubicación del Centro de Investigación Hidropónico dentro del campus universitario. ....	144
Ilustración 72: Croquis del Centro de Investigación Hidropónico de la UNU .....	145
Ilustración 73: Frontis del Centro de Investigación Hidropónico de la UNU .....	146
Ilustración 74: CD con el instalador del Software .....	150
Ilustración 75: Características de la bomba .....	152
Ilustración 76: Sensores de pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, nitrato y luz ambiental .....	153
Ilustración 77: Alicata cortador de cables, crimpeador, juego de destornilladores, caja de herramientas y Cable GPT 3 - 16 AWG .....	153
Ilustración 78: Oficina del Centro de Investigación Hidropónico (módulo de hidroponía) de la UNU .....	154
Ilustración 79: Computadoras para la investigación .....	155
Ilustración 80: Croquis de la oficina.....	155
Ilustración 81: Determinación del área de cultivo al inicio del experimento.....	156
Ilustración 82: Mesa de madera para colocar las planchas de fibra de vidrio ....	157
Ilustración 83: Colocación de las planchas de fibra de vidrio encima de la mesa de madera .....	157

Ilustración 84: Sombreadero de las camas de cultivo para las lechugas, para el sistema automatizado, semi-automatizado y de raíz flotante.	158
Ilustración 85: Lado izquierdo de la cisterna para el sistema automatizado y lado derecho para el sistema semi-automatizado.....	159
Ilustración 86: Se requirió cambiar los tanques pequeños 200 litros por de 600 litros. ....	160
Ilustración 87: Esquema del sistema hidropónico NFT .....	160
Ilustración 88: Sistema automatizado utilizando un tablero de control con PLC y la PC con la aplicación de software.....	161
Ilustración 89: Tablero de llaves y sistema de control semi-automatizado.....	162
Ilustración 90: Instalación del PLC para el control del sistema automatizado al costado del tablero del sistema semi automatizado.....	163
Ilustración 91: Cajas llaves de entrada de agua a las cisternas.....	164
Ilustración 92: Válvula solenoide para el paso de agua en el sistema automatizado .....	164
Ilustración 93: Detalles del armado del tablero de control.....	165
Ilustración 94: Perforado de agujeros en la base del tablero de control para las conexiones.....	165
Ilustración 95: Ubicación del tablero de control en la pared, sobre los reservorios subterráneos. ....	166

Ilustración 96: Corte de rieles de soporte para PLC del tablero de control .....	166
Ilustración 97: Entornillado del soporte de rieles en el tablero de control.....	167
Ilustración 98: Instalación de las borneras .....	167
Ilustración 99: SM 1231 AI .....	168
Ilustración 100: SM 1232 AQ.....	168
Ilustración 101: CPU 1214 C.....	169
Ilustración 102: Transformador de voltaje .....	169
Ilustración 103: Instalación de los componentes eléctricos y electrónicos .....	170
Ilustración 104: Instalación del cableado eléctrico y electrónico .....	170
Ilustración 105: Conexión de las borneras .....	171
Ilustración 106: Ordenando los cables con sujetadores y tubos aisladores .....	171
Ilustración 107: Selector de funcionamiento de modo automático o manual.....	172
Ilustración 108: Pulsadores .....	172
Ilustración 109: Leds indicadores .....	172
Ilustración 110: Potenciómetro, leds indicadores y botones de selección .....	173
Ilustración 111: A-7 CPU 1214C AC/DC/relé(6ES7 214-1BE30-0XB0) .....	174
Ilustración 112: Esquema del PLC S7-1200.....	175
Ilustración 113: A-8 CPU 1214C DC/DC/relé (6ES7 214- 1HE30-0XB0) .....	175

Ilustración 114: Módulos de señales digitales (SMs).....	176
Ilustración 115: Módulos de señales analógicos (SMs) SM 1231 AI .....	177
Ilustración 116: Módulos de señales analógicos (SMs) SM 1232 AQ .....	178
Ilustración 117: Diagrama de conexión de componentes de control .....	179
Ilustración 118: Diagrama de la conexión de los sensores. ....	180
Ilustración 119: Diagrama de la conexión del sensor de nitrógeno con el PLC y de los demás sensores .....	180
Ilustración 120: Diagrama del circuito eléctrico de la válvula solenoide .....	181
Ilustración 121: Protección anti-copia.....	182
Ilustración 122: Tablero o gabinete de control del PLC.....	185
Ilustración 123: Armando el soporte de los sensores.....	187
Ilustración 124: Sensor de nitrógeno líquido .....	187
Ilustración 125: Ingreso de agua para el sistema automatizado y semi- automatizado .....	188
Ilustración 126: Cisterna automatizada antes y después de la instalación de la válvula solenoide .....	188
Ilustración 127: Preparación de los sensores de prueba.....	189
Ilustración 128: Conexión de los sensores de prueba nitrógeno, pH y CE.....	189

Ilustración 129: Limpieza de la cisterna subterránea para solución nutritiva del sistema automatizado .....	190
Ilustración 130: Conexión de la boya del automatizado .....	191
Ilustración 131: Instalando sensor de luz .....	192
Ilustración 132: Motor Tricó .....	193
Ilustración 133: Contactor del motor Tricó.....	193
Ilustración 134: Esta es otra una versión mejorada del primer motor tricó con válvula de PVC de 1” . .....	193
Ilustración 135: Instalación del motor Tricó protegido de la lluvia con plástico ..	194
Ilustración 136: Instalación de una fuente para el motor tricó. ....	195
Ilustración 137: Se instalaron dos tanques Rotoplas de 600 litros de capacidad en el segundo nivel de la planta para el sistema de riego automatizado y semi-automatizado respectivamente. ....	195
Ilustración 138: Al comienzo los baldes contenedores estaban en el primer nivel.....	196
Ilustración 139: Después a la solución stock y reguladores de pH se les ubicó en segundo piso.....	197
Ilustración 140: Recipientes con las soluciones reguladoras de pH.....	198
Ilustración 141: A continuación los recipientes con los macronutrientes.....	198

Ilustración 142: Los siguientes galones de plástico con quelato de hierro micronutrientes. ....	199
Ilustración 143: Instalaciones finales de las válvulas solenoides de los fertilizantes y reguladores .....	200
Ilustración 144: Instalación de la válvula solenoide para el llenado de agua .....	201
Ilustración 145: Conexión del tablero de control y la computadora .....	201
Ilustración 146: Conexión en red.....	203
Ilustración 147: El sistema de control de los reservorios o tanques se distribuyeron en dos niveles abajo y arriba, a continuación su descripción.....	204
Ilustración 148: Primer nivel de la planta de control .....	204
Ilustración 149: Croquis del primer piso de la planta.....	206
Ilustración 150: Segundo nivel de la planta de control .....	207
Ilustración 151: Los tanques de los sistemas automatizado y semi- automatizado .....	207
Ilustración 152: Boyas que funcionan como válvulas que cierran y abren el paso. ....	207
Ilustración 153: Croquis del segundo piso.....	208
Ilustración 154: Tubería de distribución de la solución nutritiva en el segundo nivel.....	209

Ilustración 155: Llave general de paso de corriente o switch. ....	209
Ilustración 156: Primeras siembras de lechuga en vasos descartables, para ver el comportamiento de los soportes de las plantas. ....	210
Ilustración 157: Embonados de tubos de PVC de 1” de diámetro y 8cm de longitud. ....	211
Ilustración 158: Colocación de los tubos embonados en las camas de cultivo o contenedores .....	212
Ilustración 159: Camas hidropónicas .....	213
Ilustración 160: Angulo de inclinación de las camas de cultivo fue de 1%. ....	213
Ilustración 161: Entornillado y fijación de las camas .....	214
Ilustración 162: Instalación de las canaletas y tubería .....	214
Ilustración 163: Cambios en las conexiones de tubos de reciclaje de solución nutritiva. ....	215
Ilustración 164: Instalación de la tubería de distribución de solución nutritiva. ..	215
Ilustración 165: Interior antes de iniciar la siembra de lechuga .....	216
Ilustración 166: Armado de las camas del sistema hidropónico raíz flotante - sistema no automatizado .....	217
Ilustración 167: Componentes de las camas del sistema automatizado .....	218
Ilustración 168: Llenado de agua en el reservorio automatizado .....	219



Ilustración 169: Observación del llenado del reservorio subterráneo de 1200 litros de capacidad .....	219
Ilustración 170: Llenado de agua al reservorio semi – automatizado.....	220
Ilustración 171: Pesando la sal de fosfato monopotásico en balanza electrónica para preparar la solución stock de fosfato monopotásico.....	223
Ilustración 172: Recipientes ubicados en el segundo piso de la planta.....	223
Ilustración 173: Semillas de lechuga Great Lake .....	224
Ilustración 174: Semillas de lechuga Great Lake a ser mezclada con arena. ....	225
Ilustración 175: Remoción y desinfección con legía (Hipoclorito de sodio) de las camas donde se va a realizar el almácigo.....	225
Ilustración 176: Nivelación de la arena y a compactación ligera. ....	226
Ilustración 177: Nebulizando las camas de almácigo.....	226
Ilustración 178: Válvulas nebulizadoras .....	226
Ilustración 179: Dispersión de semillas de lechuga en las camas de almácigo, al boleó, junto con la arena, se hizo de manera que no queden amontonadas en un solo lugar.....	227
Ilustración 180: Germinación de las semillas de lechuga.....	227
Ilustración 181: Camas de almácigo de Eternit con plantas lechuga dentro del Módulo de Investigación Hidropónica de la UNU.....	228

Ilustración 182: Tamizando la arena para el almacigado .....	229
Ilustración 183: Preparando los almacigos en bateas de plásticos .....	229
Ilustración 184: Lechugas germinadas en el almacigo.....	230
Ilustración 185: Transplante de las plántulas de lechuga.....	231
Ilustración 186: Se desinfectaron lavando las esponjas y tubetes de PVC con legía. ....	232
Ilustración 187: Lechugas para el transplante .....	233
Ilustración 188: Lechuga siendo colocada en los tubos embonados con esponjas.....	233
Ilustración 189: Lechugas trasladadas a las camas de cultivo .....	234
Ilustración 190: Las plántulas en sus respectivos lugares.....	234
Ilustración 191: Planta de lechuga en pleno crecimiento. ....	235
Ilustración 192: Lechugas creciendo saludables en los contenedores (camas de cultivo).....	235
Ilustración 193: Válvula solenoide llenando con agua el reservorio para solución nutritiva activada por el PLC del sistema automatizado .....	238
Ilustración 194: Instrumentos de medición complementarios .....	243
Ilustración 195: Multitester .....	244

Ilustración 196: Testeando las válvulas solenoides.....	245
Ilustración 197: Buffer o solución tamponada para calibrar el sensor de pH.....	248
Ilustración 198: Solución electrolítica para calibrar el sensor de conductividad eléctrica.....	249
Ilustración 199: Sensores en prueba .....	252
Ilustración 200: Monitoreo de las variables .....	265
Ilustración 201: Cronograma de actividades propias del sistema hidropónico ...	267
Ilustración 202: Cronograma de actividades del proyecto .....	268
Ilustración 203: Proceso de desinfección las camas de almácigo.....	269
Ilustración 204: Rastrillado de la cama de almácigo para facilitar la extracción de elementos que no sean arena pura como piedra y plántulas	269
Ilustración 205: Aplanamiento ligero de la arena de la cama de almácigo.....	270
Ilustración 206: Dispersión de las semillas de lechugas que se prepararon en una bandeja .....	270
Ilustración 207: Esparciendo semillas de lechuga Great Lake .....	270
Ilustración 208: Lechugas de Great Lake en la cama de almácigo .....	270
Ilustración 209: Lechugas que germinaron .....	271
Ilustración 210: Cama de almácigo con lechugas que germinaron .....	271
Ilustración 211: Detalle de lechugas que germinaron.....	271

Ilustración 212: Área de cultivo automatizado, semi automatizado y no automatizado .....	272
Ilustración 213: Implementación realizada del sistema .....	273
Ilustración 214: Esquema general del sistema automatizado .....	274
Ilustración 215: Diseño de los tres sistemas hidropónicos el no automatizado lado izquierdo, el semi-automatizado intermedio, automatizado al lado derecho. ....	275
Ilustración 216: Verificando los datos en la computadora. ....	276
Ilustración 217: Agregar nueva máquina virtual en VirtualBox .....	276
Ilustración 218: Asignación del nombre de la maquina virtual y del tamaño de memoria .....	277
Ilustración 219: Creación de una unidad de disco duro y su tipo de archivo .....	277
Ilustración 220: Asignamos almacenamiento - ubicación y tamaño del archivo .	277
Ilustración 221: Seleccionamos el ISO y damos click en Abrir .....	278
Ilustración 222: Instalación de Sistema Operativo XP .....	278
Ilustración 223: Instalación del STEP 7 Basic V11.0 .....	279
Ilustración 224: Instalación de LabVIEW .....	280
Ilustración 225: Activador de Licencia NI (National Instruments) .....	281

Ilustración 226: Selección de actualizaciones y contrato de licencia de NI (National Instruments).....	281
Ilustración 227: La interfaz. ....	282
Ilustración 228: Contenido de la barra de menú del ejecutable.....	282
Ilustración 229: Instalación de OPC Server 2012.....	283
Ilustración 230: Comunicación de LabView con un PLC conectado a la red utilizando OPC. ....	284
Ilustración 231: OPCSIEMENS.lvproj.....	286
Ilustración 232: Se crea la interfaz gráfica de usuario.....	286
Ilustración 233: Diagrama de bloques.....	287
Ilustración 234: Para hacer correr el programa utilizar el comando RUN.....	287
Ilustración 235: Verificación del estado de conexión con el PLC. ....	287
Ilustración 236: Inicializando el control SCADA.....	288
Ilustración 237: Lectura de datos. ....	288
Ilustración 238: Funcionamiento de la bomba de agua según la interfaz.....	288
Ilustración 239: Led Indicador/selector del automático en el diagrama de bloques.....	289
Ilustración 240: Led Indicador de activación del sistema en modo manual en el diagrama de bloques.....	290

Ilustración 241: Indicador LED de que el sistema está iniciado en el diagrama de bloques y en la interfaz .....	291
Ilustración 242: Botón stop en el diagrama de bloques y en la interfaz.....	292
Ilustración 243: Gráfico historial en el diagrama de bloques y en la interfaz.....	293
Ilustración 244: Nivel de conductividad eléctrica en el diagrama de bloques y la interfaz .....	294
Ilustración 245: Intensidad de luz en el diagrama de bloques y en la interfaz....	295
Ilustración 246: Nivel de nitrógeno en el diagrama de bloques y en la interfaz. .	296
Ilustración 247: Nivel de PH en el diagrama de bloques y en la interfaz.....	297
Ilustración 248: Nivel de temperatura en el diagrama de bloques y en la interfaz .....	298
Ilustración 249: Led indicador de activación del modo manual en el diagrama de bloques y en la interfaz .....	299
Ilustración 250: Registro en el diagrama de bloques y en la interfaz gráfica.....	300
Ilustración 251: Mezcla en el tanque principal en el diagrama de bloques y en la interfaz. ....	301
Ilustración 252: Mezcla del ácido para regular el pH en el diagrama de bloques y en la interfaz. ....	302
Ilustración 253: Mezcla Adicional en el diagrama de bloques y en la interfaz. ....	303

Ilustración 254: Todos los tanques conteniendo solución stock para regular el contenido de nitrógeno, pH y Conductividad eléctrica en el diagrama de bloques y en la interfaz. ....	304
Ilustración 255: Válvula que mezcla calcio en el diagrama de bloques y en la interfaz. ....	305
Ilustración 256: Válvula que mezcla ácido diagrama de bloques y en el interfaz	306
Ilustración 257: Válvula de mezcla adicional en el diagrama de bloques y en la interfaz .....	307
Ilustración 258: Válvula de mezcla agua en el diagrama de bloques y en la interfaz. ....	308
Ilustración 259: Válvula de mezcla sales block diagrama o diagrama de bloques y en la interfaz. ....	309
Ilustración 260: Archivos del proyecto .....	309
Ilustración 261: Librerías OPCLIB creadas .....	310
Ilustración 262: vi.lib utilizadas .....	311
Ilustración 263: TIA Portal versión 11 .....	312
Ilustración 264: Interfaz del TIA Portal V11 .....	312
Ilustración 265: Crear proyecto, darle nombre, ubicación, autor y propiedades.	313
Ilustración 266: Se selecciona el dispositivo controlador .....	315
Ilustración 267: Estructura de la vista de configuración de dispositivos .....	316

Ilustración 268: El proyecto creado .....	321
Ilustración 269: Árbol del proyecto .....	321
Ilustración 270: Primer segmento rutina dedicada a la adquisición de datos analógicos de los sensores que son del N, pH, CE, Temperatura, nivel de Luz. ....	324
Ilustración 271: Lista de variables utilizadas en el primer segmento.....	326
Ilustración 272: Segundo segmento de instrucciones rutina dedicada a la lectura de la hora y de la fecha del sistema .....	327
Ilustración 273: Tercer segmento se tiene la rutina dedicada a promediar los valores de nitrato y pH .....	327
Ilustración 274: Variables utilizadas en este segmento 3.....	328
Ilustración 275: Cuarto segmento, rutina está dedicada al análisis de los parámetros de la solución óptima .....	328
Ilustración 276: Lista de variables utilizadas en el segmento 4.....	328
Ilustración 277: Quinto segmento, rutina dedicada a la apertura de las válvulas de los tanques de solución stock .....	329
Ilustración 278: variables utilizadas en el segmento 5 .....	330
Ilustración 279: Sexto segmento, rutina dedicada a la ejecución de los comandos del segmento 5.....	330
Ilustración 280: Lista de variables utilizadas en el segmento 6.....	332



Ilustración 281: Séptimo segmento, rutina dedicada a la verificación de los estados lógicos del sensor Boya (tanque del segundo piso y tanque del primer piso) .....	333
Ilustración 282: Lista de variables utilizadas en el segmento 7 .....	334
Ilustración 283: Segmento 8, rutina dedicada a abrir las válvulas de cada tanque de solución stock en modo manual .....	334
Ilustración 284: Lista de variables utilizadas en el segmento 8.....	336
Ilustración 285: Segmento nueve, rutina dedicada al manejo de los tanques de solución stock de modo manual.....	336
Ilustración 286: Lista de variables utilizadas en el noveno segmento .....	336
Ilustración 287: Población de lechuga.....	337
Ilustración 288: Cantidad de unidades de lechugas de la hidroponía automatizada .....	338
Ilustración 289: Cantidad unidades de lechugas en cada cama del sistema Semi-automatizado .....	339
Ilustración 290: Cantidad unidades de lechugas en cada cama del sistema Raíz Flotante.....	340
Ilustración 291: Planta de lechuga .....	341
Ilustración 292: Se corta la parte radicular .....	341
Ilustración 293: Pesando la parte aérea de la planta .....	342

Ilustración 294: Envolviendo a la lechuga para enviarla a la estufa .....	342
Ilustración 295: Estufa del laboratorio de fisiología vegetal para determinar el peso seco de lechuga .....	342
Ilustración 296: Lechugas del cultivo automatizado .....	344
Ilustración 297: Contenedores con lechuga en el sistema NFT semi-automatizado. ....	345
Ilustración 298: Contenedores con cultivo No automatizado Raíz flotante.....	346
Ilustración 299: Antes y después - puerta de acceso .....	360
Ilustración 300: Antes y después – área de cultivo .....	360
Ilustración 301: Antes y durante la investigación – dentro del invernadero.....	360
Ilustración 302: Sala o cuarto de control y operaciones .....	361
Ilustración 303: Cisternas subterráneas para el sistema automatizado y semi automatizado .....	362
Ilustración 304: Conexiones de los reservorios de agua de distribución .....	362
Ilustración 305: Conexiones de las canaletas de recolección .....	362
Ilustración 306: Lechugas listas para cosechar .....	363
Ilustración 307: Lechugas siendo cosechadas por invitados, camas desocupadas después de la cosecha .....	363

Ilustración 308: Cama de cultivo del semi automatizado (izquierda) y contenedores del sistema no automatizado o raíz flotante (derecha).....	382
Ilustración 309: Ulises inspeccionando las camas de cultivo automatizado.....	382
Ilustración 310: Lechugas Great Lake sobre los contenedores en sistema NFT	383
Ilustración 311: Lechugas Great Lake en el sistema raíz flotante .....	383
Ilustración 312: Raíces de lechuga en el sistema raíz flotante.....	384
Ilustración 313: Rendimiento de lechuga en peso fresco por sistema hidropónico (SH1: automatizado, SH2: semi-automatizado y SH3 no automatizado) en dos fechas de cosecha (C1 y C2)....	407
Ilustración 314: Rendimiento de lechuga en peso seco por sistema hidropónico (SH1: automatizado, SH2: semi-automatizado y SH3 no automatizado) en dos fechas de cosecha (C1 y C2)....	409
Ilustración 315: Comparativo del rendimiento de lechuga en peso fresco y peso seco por sistema hidropónico en dos fechas de cosecha	410
Ilustración 316: Visita técnica de los jurados en el primer nivel de la planta .....	446
Ilustración 317: Visita técnica de los jurados en el segundo nivel de la planta ..	447
Ilustración 318: Tanque o reservorio de agua para las camas almácigo y cultivo de cemento .....	450
Ilustración 319: Fila de camas de cultivo dentro del centro de investigación de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali .....	450

Ilustración 320: Autoridades de la UNU - 2014 .....	451
Ilustración 321: Colaboradores.....	452
Ilustración 322: Tesistas.....	453

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1: Lechuga sembrada en Ucayali. ....	2
Tabla 2: Eras o etapas de la evolución del software .....	29
Tabla 3: Especificaciones del PLC Siemens S7 - 1200.....	43
Tabla 4: Soluciones para la comunicación de un PC con un PLC.....	49
Tabla 5: Características y montaje del simulador S7-1200. ....	52
Tabla 6: Funciones básicas de las plantas.....	85
Tabla 7: Análisis comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos o sin suelo.....	88
Tabla 8: Comparación de hortalizas cultivadas en hidroponía y cultivo tradicional .....	89
Tabla 9: Análisis comparativo entre Geoponía e Hidroponía. ....	89
Tabla 10: Clasificación científica de la lechuga .....	112
Tabla 11: Variedades de lechuga.....	113
Tabla 12: Tipos de lechugas .....	114
Tabla 13: Hojas de lechuga.....	115
Tabla 14: Buttehead y Romaine .....	115
Tabla 15: Variedad de plagas de la lechuga .....	117

Tabla 16: Contenido de (agua, proteína, carbohidratos, grasa, fibra,) 100 gramos de lechuga en dos reportes diferentes. ....	119
Tabla 17: Contenido de (Potasio, Calcio, Fósforo, Magnesio Sodio, Hierro, Niacina y Ácido Fólico) en 100 gramos de lechuga en dos reportes diferentes.....	119
Tabla 18: Contenido de vitaminas (vitamina A, vitamina B1, vitamina B2, vitamina C, vitamina E, vitamina K) 100 gramos de lechuga en dos reportes diferentes.....	120
Tabla 19: Composición de la parte lógica del sistema automatizado .....	130
Tabla 20: Indicadores del sistema.....	136
Tabla 21: Tabla datos de la ubicación del experimento .....	141
Tabla 22: Datos climatológicos registrados durante el experimento. ....	147
Tabla 23: Requerimientos para el sistema automatizado.....	149
Tabla 24: Requisitos para instalar TIA Portal .....	149
Tabla 25: Requisitos mínimos y recomendados para instalar LabView .....	149
Tabla 26: Requisitos para instalar OPC Servers 2012 .....	150
Tabla 27: Materiales de escritorio, laboratorio y de recolección de datos .....	151
Tabla 28: Materiales para el cultivo hidropónico, agronómicos y de seguridad biológica .....	151
Tabla 29: Insumos orgánicos/inorgánicos y reguladores .....	151

Tabla 30: Equipos eléctricos/electrónicos y accesorios .....	152
Tabla 31: Soluciones stock y sus principales componentes según Hoagland y Arnon.....	221
Tabla 32: Solución de micronutrientes (E).....	222
Tabla 33: Solución stock en ml para preparar un litro de solución nutritiva completa para cultivo de lechuga. ....	222
Tabla 34: Calibración del pH-metro.....	246
Tabla 35: Calibración de la conductividad eléctrica.....	248
Tabla 36: Medición de Amonio .....	250
Tabla 37: Medición de nitrato .....	251
Tabla 38: Aspectos del QUIEN del desarrollo del sistema y la aplicación de SW.....	253
Tabla 39: Aspectos del QUE de desarrollo de sistema y la aplicación del Software .....	254
Tabla 40: Aspectos del DONDE de desarrollo del sistema .....	255
Tabla 41: Aspectos del COMO del desarrollo del sistema y aplicación de Software .....	255
Tabla 42: Aspectos del CUANTO de desarrollo del sistema y aplicación de SW.....	256
Tabla 43: Ingeniería de Software .....	256

Tabla 44: Ecuación para la transformación de datos de los sensores a la medida de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica .....	258
Tabla 45: Modelo estadístico.....	259
Tabla 46: Esquema del análisis de variancia .....	259
Tabla 47: Las características de la parcela experimental.....	259
Tabla 48: Consideraciones previas .....	263
Tabla 49: Modos de arranque de la CPU S7-1200.....	319
Tabla 50: Instrumentos de recolección de datos .....	343
Tabla 51: Etapas del proceso productivo .....	347
Tabla 52: Observaciones del pH nitrógeno y conductividad eléctrica .....	347
Tabla 53: Indicadores del sistema.....	349
Tabla 54: Matriz de correlación del pH con la concentración de nitrógeno y conductividad eléctrica de la solución nutritiva; evaluada durante 45 días de crecimiento vegetativo y productivo de lechuga .....	369
Tabla 55: Comparativo entre técnicas hidropónicas.....	386
Tabla 56: Antecedentes del sistema NFT .....	391
Tabla 57: Elementos constituyentes del sistema NFT según Cooper (1996).....	392
Tabla 58: Componentes del sistema automatizado.....	399
Tabla 59: Modelo estadístico.....	404



Tabla 60: Análisis de variancia sistemas.....	404
Tabla 61: Análisis de variancia de épocas de cosecha. ....	404
Tabla 62: Las características de la parcela experimental.....	405
Tabla 63: Peso fresco de lechuga Great Lake en g por planta en tres sistemas hidropónicos en diferentes fechas de cosecha.....	406
Tabla 64: Análisis de variancia del peso fresco de lechuga .....	406
Tabla 65: Respuestas de los sistemas hidropónicos sobre el peso seco en g por planta. ....	408
Tabla 66: Peso seco y peso fresco promedio (gramos/planta) de lechuga por sistema hidropónico y fechas de cosecha. ....	410
Tabla 67: Efectos simples del peso seco y peso fresco promedio (gramos/cama) de hoja de lechuga por sistema hidropónico y fechas de cosecha.....	411
Tabla 68: Análisis de variancia del peso seco de lechuga .....	411
Tabla 69: Requerimientos a ser financiado por la UNU. ....	444
Tabla 70: Presupuesto general. ....	445

## LISTADO DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Correlación de la concentración de nitrógeno con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	364
Gráfico 2: Correlación de la concentración de nitrógeno con el pH de la solución nutritiva.....	365
Gráfico 3: Relación de la concentración de nitrógeno con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.....	365
Gráfico 4: Correlación de la conductividad eléctrica con el pH de la solución nutritiva.....	366
Gráfico 5: Relación polinómica de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, con los días de evaluación.....	366
Gráfico 6: Relación polinómica del pH de la solución nutritiva con los días de evaluación. ....	367
Gráfico 7: Relación polinómica de la concentración de nitrógeno de la solución nutritiva con los días de evaluación.....	367
Gráfico 8: Relación polinómica de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva con los días de evaluación.....	368
Gráfico 9: Relación de la concentración de nitrógeno, conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva, en 45 días de evaluación.....	368
Gráfico 10: Relación de la concentración de nitrógeno, conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva, en 45 días de evaluación .....	369

## **CAPITULO I**

### **1. PLANTEAMIENTO TEORICO DEL PROBLEMA**

#### **1.1. Planteamiento del problema de investigación**

La Universidad Nacional de Ucayali cuenta con un módulo de hidroponía que es el centro de investigación hidropónica cuya misión es proporcionar conocimientos a la sociedad, las cadenas productivas, a la industria sobre técnicas sustentables, amigable con el planeta, acorde con los tiempos actuales e impulsora de la economía; a través de la enseñanza, del cuidado y manejo de la naturaleza como una respuesta ecológica y alimentaria, promoviendo el desarrollo tecnológico, social y económico de la agricultura hidropónica, con compromisos éticos, seguridad alimentaria y la calidad. Siendo la Visión ser un centro de investigación dinámico y competitivo que ofrezca soluciones integrales a problemas nutricionales, pH, conductividad eléctrica y de otros factores que afectan la productividad de los cultivos, así como de aspectos económicos y medioambientales utilizando y estudiando diversas formas de producción de vegetales a través de la agricultura protegida y tecnificada, que permita a la sociedad elevar su calidad de vida; ser un centro de difusión de la técnica de la hidroponía, también estar a la vanguardia de la tecnología y al sector productivo maximizar sus ganancias contribuyendo en la realización de la promoción de productos hidropónicos, sus beneficios y ventajas nutricionales a la sociedad en general, cuidando ante todo un legado que solo nos fue dado en custodia para las futuras generaciones nuestro planeta, generando un impacto social positivo.

En el módulo de hidroponía de la UNU se ha realizado diversos ensayos y trabajos de investigación en hidroponía pero pro ninguno en forma automatizada.

Por otro lado la lechuga es una especie de clima templado que también crece en clima tropical como en Pucallpa que se reporta en cuanto a superficie sembrada, por campañas agrícolas, del año 1997 al 2009, según el INEI (2014) que fue la siguiente:

**Tabla 1:** Lechuga sembrada en Ucayali.

<b>Año</b>	<b>Superficie sembrada de Lechuga</b>
1997 / 1998	13
1998 / 1999	32
1999 / 2000	55
2000 / 2001	31
2001 / 2002	21
2002 / 2003	2
2003 / 2004	7
2004 / 2005	13
2005 / 2006	9
2006 / 2007	10
2007 / 2008	12
2008 / 2009	0

Fuente: Dirección Regional Agraria de Ucayali - Oficina de Información Agraria.

Entre tanto la automatización se percibe como una alternativa a una mayor eficiencia en la conducción de las labores culturales y en la economía agrícola, que para su aplicación requiere ser investigada. Con respecto a lo arriba indicado planteó la ejecución de la presente tesis sobre “**aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa**”.

### 1.1.1. Formulación del problema

#### **Problema general**

En la técnica de hidroponía automatizada si se monitorea el nitrógeno, pH y CE (conductividad eléctrica), mediante la aplicación de software en un sistema de cultivo lechuga (*Lactuca sativa*) ¿Será posible lograr el balance y control de la solución nutritiva en Pucallpa?

#### **Problemas específicos**

- 1) ¿Cuáles son los procesos para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema hidropónico automatizado de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa?
- 2) ¿Cuál es diseño o arquitectura que debería tener la aplicación de software para el control de un cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*) en Pucallpa?

3) ¿Cuál es el grado de asociación y correlación entre la aplicación de software y el control del balance de la solución nutritiva de un cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa?

4) ¿En qué medida la aplicación de software mejora el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa?

### **1.1.2. Justificación**

Advirtiendo que en los últimos años se ha visto una explosión demográfica del aumento de habitantes por superficie, es decir la población se expande, mientras disminuye cada vez más el espacio agrario laborable por la contaminación del ambiente, el empobrecimiento y erosión de los suelos, constituyéndose una seria amenaza para la disponibilidad de alimentos y la conservación del medio ambiente.

Ante esto la hidroponía (método de cultivar plantas prescindiendo del suelo) nos permite abrir paso – como una solución posible a este problema.

Con la hidroponía podríamos alcanzar cultivar y producir plantas utilizando diferentes niveles de tecnología como por ejemplo: automatizada, semi-automatizada, y no automatizada.

Metodológicamente resulta mucho más eficiente el cultivo hidropónico, que cultivar en suelo, por su velocidad de producción y su rendimiento productivo por área laborada.

En la práctica, el cultivo presenta toda una logística para su implementación y además es costosa, sin embargo una vez terminada su instalación, el proceso de cultivo propiamente dicho se torna mucha más maniobrable que cualquier otro tipo de cultivo en tierra, pues esta técnica nos permite someter al proceso de cultivo propiamente dicho a un diseño de arquitectura apropiada y fácil de usar.

El presente proyecto busca identificar, diseñar, implementar y documentar una forma de aplicación de software (o de un sistema de computarizado) que permita el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa y así lograr un aporte al conocimiento y aplicación tecnológica para la producción de alimentos.

Por lo que se plantea la implementación tecnológica de la práctica de la hidroponía automatizada utilizando software para activar solenoides, válvulas, PLC (Controladores Lógicos Programables), temporizadores, sensores de pH, sensores de conductividad eléctrica, sensores de elementos minerales como el nitrógeno, un ordenador, cables de conexión, un tablero de control, contactores y actuadores, entre otros elementos que nos pueda brindar gran versatilidad y funcionalidad a los medios de cultivo líquido para automatizar buscando la mayor eficiencia de productividad.

Toda esta tecnología pertenece al rubro de Automatización industrial, entre otros procesos industriales estos controladores son utilizados en el día a día por los diferentes estamentos de la industria, por tanto, los estudiantes

no pueden ser ajenos a este conocimiento. (IDÁRRAGA GÓMEZ & NIÑO TABARES, 2006)

- **Justificación teórica**

Con este proyecto se pretende conocer:

1. Conceptos sobre automatización.
2. Definiciones sobre PLC siemens.
3. El lenguaje Ladder.
4. Sobre la comunicación entre el Hardware y el Software (entre el PLC o controlador lógico programable y el Programa Lógico) a través de SCADA y el sistema HMI.
5. El programa LabView.
6. Información básica sobre micro-controladores PIC, sensores y actuadores y microprocesadores
7. El cultivo de la lechuga.
8. La técnica del cultivo en agua o hidroponía. Mencionar las ventajas de la hidroponía automatizada (comparar con la no automatizada y semi-automatizada e incluso con el cultivo en suelo).
9. La importancia del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica.



## - **Justificación práctica**

Se ha escogido el tema, porque se pretende:

1. Aplicar software para controlar el balance de la solución nutritiva, monitorear el nivel de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica.
2. Proponer un diseño de cultivo hidropónico automatizado para la lechuga (*Lactuca sativa*).
3. Que con la implementación de este proyecto, aplicar temas sobre automatización, lenguaje Ladder, utilizar el programa LabView, el uso de SCADA, del HMI, interfaces de comunicación, de los PLC (controladores lógicos programables), dispositivos electrónicos como sensores, actuadores, entre otros como herramientas para la automatización. .
4. Demostrar que los conocimientos adquiridos por la carrera de Ingeniería de Sistemas son aplicables a otras áreas del conocimiento con este proyecto multidisciplinario, puede llamarse agromónica, automatización industrial, etc.
5. Brindar un aporte más a la investigación con miras hacia el futuro.

## - **Justificación metodológica**

Porque se desea presentar y dar a conocer la metodología empleada como una herramienta técnica, que permita a través de una aplicación de software controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de

cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.

La forma como se obtendrá el conocimiento, es a través una metodología inductiva, teórico – práctico; con enunciados universales ciertos a partir de la experiencia, la lógica, el conocimiento científico, la estadística, la observación de los fenómenos o hechos de la realidad, el análisis de la situación, el diseño y la implementación serán los objetivos principales del presente proyecto de investigación.

### **1.1.3. Objetivos de la investigación**

#### **Objetivo General**

Establecer el balance y control de la solución nutritiva a través del monitoreo del nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en la técnica de hidroponía automatizada mediante aplicación de software en un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en Pucallpa.

#### **Objetivos Específicos**

1. Establecer los procesos de aplicación de software para mejorar el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa
2. Establecer un diseño de aplicación de software apropiado para el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo lechuga

(*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.

3. Medir el grado de asociación o correlación entre la aplicación de software y el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.
4. Proponer la aplicación de software para el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.

## CAPITULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes del problema

Para tratar el tema de la aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica, en Pucallpa, debemos entender antes que nada que es un sistema de control computarizado.

Nise (1998), refiere la ventaja de utilizar una computadora, va a permitir ajustar el sistema de control directamente en el programa computacional (software) y no en la estructura física aunque en realidad para lograr el objetivo del control se requiere de una combinación de software y hardware. Este conjunto de elementos nos va a permitir administrar, supervisar y monitorear el control de los parámetros de la solución nutritiva en un sistema hidropónico.

El proceso de toma de decisiones relacionado a los comandos del sistema computarizado, es realizado a partir de un conjunto de operaciones lógicas que constituyen el algoritmo de la estrategia de control implementado en el programa computacional. En un sistema computarizado, la estrategia de control puede tener diferentes niveles de complejidad para el control.

Las señales eléctricas provenientes de los sensores requiere de una conversión analógica-digital de estas mediciones, las cuales deben ser

procesadas por el software o programa computacional, la cual va a requerir la retroalimentación de la estrategia de control o bucle cíclico de la estrategia de control. La información recolectada debe ser almacenada en la computadora y exhibida gráficamente en la tela del monitor, permitiendo al usuario acompañar en tiempo real a las oscilaciones de los valores de las variables monitoreadas. La aplicación de software de control, debe ser planificado, proyectado e implementado considerando varios aspectos como los conocimientos básicos de las condiciones fisiológicas de las plantas, qué como es un aspecto muy técnico se requiere de las observaciones del experto del área agronómica para poder adaptar al sistema automatizado a las necesidades de control.

En el transcurso del siglo XX la hidroponía empezó a ser una actividad productiva y recreativa, cada vez hay más países como Estados Unidos, Japón, Canadá, Israel, países europeos, China, Argentina, Brasil, donde se está consolidando como una actividad industrial y de investigación.

En el mercado podemos encontrar varios sistemas de control desarrollados para la automatización de los procesos del control de los parámetros de la solución nutritiva en cultivos hidropónicos; las cuales pueden presentarse con diferentes características incluso ser muy definidas, complejas, costosas, y cabe la posibilidad de que no se adapte a nuestros requerimientos, además de que son generalmente difíciles de adquirir y darle mantenimiento, hay que tener en cuenta la compatibilidad.

Existen diferentes tipos de sistemas, en Canadá utilizan un sistema de control llamado Multi-Feed (Argus Control Systems, British Columbia,

Canadá), destinado al control de todas las operaciones relacionadas al manejo de la solución nutritiva en cultivos hidropónicos. El Hydrocalc; entre otros fabricados por diferentes entidades, podemos encontrar desde sistemas completamente equipados, pero también se puede adquirir los elementos de manera individual, por ejemplo paneles de control táctil HMI, filtros, temporizadores, inyectores de líquido (como válvulas solenoides), bombas centrífugas. Son los sensores los que permiten adquirir los datos a analizar, tales como el potencial de iones hidrógeno o pH, la conductividad eléctrica (CE), nivel de luz, temperatura, nivel de fertilidad).

En los últimos años es cada vez mayor la explosión demográfica, por lo que a medida que la población se expande, disminuye el espacio agrario laborable; asimismo la contaminación del ambiente y la erosión de suelos empobrece los campos de cultivo haciéndolos infértiles. Ante esto la hidroponía (método de cultivo prescindiendo de suelos) se presenta como una alternativa de solución. Al respecto se presente los resultados de trabajos d investigación.

Según Steidle (2007), es esencial el monitoreo continuo y ajustes frecuentes de la concentración de fertilizantes, nivel de pH y conductividad eléctrica para optimizar el crecimiento de las plantas en un cultivo hidropónico. Donde los circuitos electrónicos propuestos deben ser calibrados y validados para realizar las mediciones en tiempo real, por ejemplo para el tomate la conductividad eléctrica debe encontrarse en un rango de 2,5 a 3,5 dSm<sup>-1</sup>, el ajuste de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva es normalmente ejecutado una vez al día, por medio de la

adición de agua o en caso contrario se adiciona la solución stock concentrada en un reservorio, brindar un soporte a la toma de decisiones sobre la concentración apropiada de nutrientes y en qué intervalos de tiempo adecuados se debe aplicar la solución nutritiva preparada manualmente, observar también los intervalos fijos (frecuencia y duración de los eventos como las fertirrigaciones, asimismo la adición de agua incorporada en el agua de irrigación, mantener las condiciones favorables al pleno crecimiento y desarrollo de las plantas, requiere del monitoreo continuo de la solución nutritiva, llevando un control total de las sales disueltas en la solución, impedir la deficiencia de nutrientes y el estrés en las plantas por alta salinidad, para el caso del tomate las sales deben estar entre 1000 e 1500 ppm, las plantas absorberán el agua y los nutrientes por las raíces. La solución nutritiva es preparada por sistemas de inyección de agua y de soluciones stock concentradas en un tanque que mezcla, regulados para que la solución nutritiva alcance un valor ideal ya preestablecido en el controlador. En esta investigación se utilizó la técnica de flujo laminar de nutrientes o Nutrient Film Technique, que requieren fertirrigaciones con alta frecuencia y corta duración, así garantizar que las plantas tengan siempre disponibles para sí el agua y los nutrientes fundamental para su adecuado crecimiento y desarrollo. El potencial hidrogeno (pH) de la solución que está directamente relacionado a las concentraciones de iones de hidrógeno ( $H^+$ ) y iones de hidróxido ( $OH^-$ ) presentes pueden ser medida por colorimetría o potenciometría.

Por otro lado, Alarcón Sánchez & Jirón Proaño (2007), basados en normas de instalación de sistemas de control, calibre para conductores, PLC Siemens, bornera, protecciones, el espacio físico necesario, Instalación de equipos y accesorios como el montaje del tablero de control, la instalación puesta a tierra del equipo, el cableado del sistema, su comunicación, el uso del interfaz HMI software WinCC de Siemens, pruebas de programación y del sistema de control instalado y en funcionamiento, para la fabricación de acero era necesario seguir un proceso compuesto de varias etapas, una de las principales es el calentamiento del horno cuyo control se encontraba defectuoso (no se conocía con exactitud ciertos valores censados por la instrumentación de campo, razón por que debía mejorarse el control para facilitar su manejo y aumentar la producción; un sistema de control con características mejoradas que reemplace el sistema anterior, con monitoreo, control y visualización en tiempo real de todas las variables, registro histórico para posterior análisis, generar reportes de alarma e imprimir gráficas de tendencias; mejorar la supervisión y mantenimiento, disminuir las pérdidas de materia prima antes ocasionadas por el inadecuado funcionamiento del sistema, detección y alerta inmediata de fallas en el sistema, permite cambios en la programación del PLC sin tener que asumir paradas en la planta.

Según Melo & Arranca (2009), la hidroponía como técnica de cultivo de plantas en cultivo protegido, el implementarlo es caro, requería realizar el control de diversas variables del sistema: El pH de la solución acuosa, la cantidad de nutrientes, la luminosidad, la temperatura, la cantidad de dióxido de carbono en el aire; un riguroso régimen de vigilancia, tiene



gastos que pueden aumentar significativamente, si automatizamos todo el sistema, el consumo de energía, hacerlo más autónomo, versátil y portátil, con un sistema embebido de bajo consumo. En su trabajo desarrolló un sistema automatizado de control del ambiente en tiempo real para sistemas hidropónicos, acompañado y controlado a través de una página Web disponible por Ethernet, software desarrollado en la plataforma o placa de desarrollo TINI, su interconexión, mejorando el rendimiento del sistema, controlarlo de la manera más eficiente, usado sensores y actuadores. Se investigó el modo como son controlar las variables y los diferentes protocolos de comunicación que se emplean en una solución industrial.”

Por su parte Ordax (2005), indica que la metodología de desarrollo utilizada en el análisis y diseño un sistema casos de uso y reglas de negocio, secuencia de eventos, diagrama de clases, diagrama de secuencia, descripción del prototipo, estudio económico de su proyecto, manual de usuario y el marco teórico de su investigación: Programación Orientado a Objetos, sistema de automatización y sus ventajas, su implementación en el lenguaje de programación java, java y su comparativa con c y c++, autenticación por el contenedor en Tomcat, configuración de una aplicación, problemas con Apache y Tomcat, Extensible Markup Lenguaje (XML), sistemas expertos, características que debe reunir un programa. Reportaron que este proyecto hace visible la viabilidad de la implantación de sistemas de control y automatización en todo tipo de instalaciones industriales como granjas o invernaderos, permitiendo la replicación y abaratar sus costes. La solución demostrada consiste en un sistema abierto, para el control centralizado de dispositivos electro-mecánicos. Con

el control, monitorización y actuación remota usando una red TCP/IP como es Internet.

Idárraga y Niño (2006), en un estudio sobre diseño y construcción de tableros simuladores para PLC SIEMEN S7-200 y desarrollo de guía para laboratorio lograron Mejorar el área de automatización de los Laboratorios de Ingeniería Eléctrica-Electrónica de la Universidad Pontificia Bolivariana mediante la implementación de un nuevo laboratorio basado en PLC a través del diseño, construcción, implementación y verificación de los cuatro tableros simuladores para PLC para contribuir con la docencia brindando herramientas de conocimiento y aplicación, así incrementaron la calidad de la formación profesional de los estudiantes. Recopilaron los fundamentos principales para la creación de los módulos entrenadores del PLC; elaborando manuales, guías de configuración y especificaciones de capacidad de los diferentes elementos constitutivos hacen parte fundamental, Se constituyeron entonces en un esfuerzo importante en aras de reforzar el área de automatización y el conocimiento básico de manejo de PLC, mediante el uso de los tableros de PLC“

Así mismo, Delgado, Montoya y Sandoval (2007) en el control de temperatura con el PLC S7-200, cumplió con los objetivos propuestos, comparando con los resultados previamente obtenidos por el PLC S7-200 de Siemens, es preciso y estable, permite observar cuando la temperatura del cuarto del centro de cómputo es alterada por el calor de las computadoras y como el control compensa la temperatura deseada y el tiempo de estabilización aproximadamente 300 segundos, pero también se

observaron que en algunas pruebas no alcanzó el valor deseado de temperatura, esto debido a que la temperatura del ambiente era mayor a comparación de la temperatura del valor deseado, y por ello no es posible enfriar por debajo de este valor, debido a que el aire viene del exterior. La aplicación de este sistema a la industria es factible, tanto para el control de temperatura como para cualquier tipo de sistema, su programación facilita los cambios de comportamiento o del modelo en el editor, por lo tanto este proyecto puede servir de ejemplo para otros trabajos similares y mejoren el sistema de ventilación de talleres, almacenes, granjas, bodegas, dando soluciones a medida de cada necesidad.

Galvao (2011), efectuaron la Automatización y monitoreo Remoto de Sistemas de irrigación teniendo en mira a la Agricultura Familiar, con el propósito de mejorar la administración y control de la producción de alimentos relacionados con la irrigación de manera remota y práctica. Basándose en el desarrollo de software, con una programación fácil, objetiva e intuitiva, usando JavaScript, con una actualización a cada 20 segundos, su conexión a un servidor, la utilización de micro-controladores y placas de circuito impreso (PCB), el uso de sensores, que obtendrían los valores de parámetros o variables utilizados en su proyecto, permitió una comunicación wireless, usando redes de internet de celular. Logrando la integración de los diversos componentes del sistema, considerando sus particularidades, utilidades y los Softwares desarrollados en el proyecto para el control general del sistema, donde el usuario es capaz de programar horarios, duración y frecuencia de irrigación, con un interfaz del proceso productivo, incluso considera la ocurrencia de lluvia, que puede

evitar la irrigación desnecesaria. También se menciona que el software a pesar de ser práctico y objetivo necesita de muchas más pruebas de validación”.

Alievi (2008), con su estudio sobre automatización residencial con utilización del Controlador Lógico Programable, propone una solución de automatización con PLC, operando sistemas de iluminación, alarmas de seguridad patrimonial y de incendio, controles de electro-electrónicos climatización de ambientes, accionamiento del movilizador del portón, irrigación de jardines, abertura de persianas, aeración de acuario, entre otros automatismos. La adopción del PLC y de sensores discretos, con un costo más accesible para sistemas de automatización residencial, sin la necesidad de interfaces gráficas muy elaboradas y un computador dedicado al sistema en tiempo integral; pero una de las mayores barreras encontradas para los sistemas domóticos o domotizados, han sido los costos elevados de los equipos, así su trabajo quedó restringido a la parte teórica del proyecto propuesto y al desarrollo del programa en Ladder para el PLC, con un software de desarrollo, la simulación hizo la ejecución práctica del sistema propuesto, programándolo de modo amigable, a pesar que no se dispuso del PLC en mano.

Ribas (2012), en su estudio de Implementación de control supervisor en PLC usando lenguaje de alto nivel aplicado a un sistema de producción, la eficacia, la velocidad y la flexibilidad son importantes, pues implica reducción de costos, programas de control más eficientes, sin errores y de fácil mantenimiento. Entretanto, en las aplicaciones prácticas la solución de

estos problemas está basada en la experiencia del proyectista, sin una metodología formal, resultando programas con errores y de difícil entendimiento y mantenimiento, donde solo el proyectista entiende las soluciones adoptadas. Así nace la propuesta de aplicar la Teoría de Control Supervisor (TCS), un método para la síntesis de la lógica de control de sistemas automatizados para solucionar problemas de modo formal, garantizando una solución mínimamente restrictiva y no bloqueante y que atienda a las especificaciones de control, aunque no es ampliamente adoptada en ambientes industriales, es una metodología de implementación de control supervisor en Controladores Lógicos Programables (PLC).

Fernandes (1994), en su estudio de Virtualización de autómatas programables, desarrolló un trabajo sobre la virtualización de un PLC para la enseñanza de programación de PLC. El PLC virtual, sistema descrito, soporta un autómata específico, pero el uso de técnicas de programación por objetos permite una fácil modificación, de modo a poder emular otros PLCs comerciales, lo que lo hace expansible. Así mismo sostiene que el uso de estas técnicas permite también la fácil adición de instrucciones Ladder más avanzadas. Por otro lado, una versión preliminar del sistema PLC virtual es usada en el centro de desarrollo en Alemania, de un fabricante de PLCs, para el entrenamiento de sus programadores, pues verificaron que el modo de simulación rápida y eficaz permite la detección y visualización de ciertos errores en la fase de desarrollo de programas.

Según Ruiz y Vásquez (2012), en la construcción de un prototipo de lavadora de autos controlada por PLC, detalla la construcción y el diseño del prototipo de lavadora de autos controlado por PLC donde se puede observar; plano del prototipo vista superior, plano eléctrico, diagramas de programación y diagramas de simulación, con ello busca demostrar mediante su construcción la investigación teórica, su funcionamiento y la importancia que cumple, la automatización dentro del lavado de autos. En su proyecto detalla las características y funciones del Controlador Lógico Programable (PLC), su historia, características, estructura, ventajas y desventajas, dentro de las principales funciones del PLC detección, mando, diálogo hombre-máquina, programación; detalla las características específicas del PLC (Siemens) utilizado en su sistema de gran capacidad de control dentro de los procesos automatizados en la industria, permite gobernar varias máquinas con un mismo autómatas; también la descripción, características, historia y clasificación general de los equipos auxiliares, tales como: motores eléctricos, bombas hidráulicas, ventiladores, sensores y relés.

### **2.1.1. Antecedentes de la hidroponía a nivel mundial**

- Egipto hace más de 5000 años. (hydroenv, 2014)
- Los jardines Colgantes de Babilonia antes de la era cristiana según Santander Parra (2014).
- Las Chinampas de la Cultura Azteca. (Calderón Saenz, 2009)
- Los Jardines Flotantes de China. (Calderón Saenz, 2009)

- Los Incas como una manera de cuidar el agua realizaron un sistema semi-hidropónico, pero con la llegada de la civilización occidental a América, este sistema de riego fue olvidado. (hydroenv, 2014)
- El científico alemán y químico Justus Von Liebig (1803-1873) rompió en definitiva con la teoría del humus la cual defendía que las plantas obtenían el carbono del suelo y no del aire como ya postulaban otros investigadores tales como Fabbroni, Ingen-Housz y Senebier. Estableció que las plantas solo absorben compuestos inorgánicos solubles, su extraordinaria contribución establece las bases para los desarrollos de nutrición vegetal, comprobó que las plantas transforman la materia inorgánica de la tierra y de la atmosfera en materia orgánica. En 1840 publico su libro “Química orgánica y su aplicación a la agricultura y a la fisiología”, qué revolucionó la agricultura. (hydroenv)
- Desarrollo de primeras fórmulas nutritivas por Sachs y Knop: Nutricultura (1860). (Universidada Cayetano Heredia)
- El Dr. William F. Gericke profesor de fisiología vegetal de la Universidad de California: le acuñó el nombre de Acuacultura en 1938, recopilo investigaciones anteriores y realizo experimentos en 1929. (Alonso, 2012). Considerado como como el padre de la hidroponía moderna, fue quien propuso en un comienzo el nombre de Acuacultura, para estas técnicas. Un colega y amigo suyo el Dr. William A. Setchell le sugirió usar la palabra ancestral griega HIDROPONIA cuyo significado como ya se ha dicho es “un trabajo hecho por el agua”, en lugar de aquella otra, y Gericke aceptó. Según el Ing. Raúl Vergueiro Martins, historiador e hidropoista destacado en São Paulo, Brasil, este

punto fue muy bien aclarado por Gericke en un reportaje concedido a la revista Time durante el año 1937, (Arano, 2007).

- Desarrollo de fórmulas nutritivas de Hoagland, Arnon de 1920, según la Universidad Nacional de Colombia (2014).
- Al estallar la Segunda Guerra Mundial la técnica se difundió rápidamente (entre 1939 y 1945), en Estados Unidos y Europa, empezó a utilizarse en instalaciones comerciales, los ejércitos norteamericanos e ingleses reflataron el sistema y la instalaron en sus bases militares ante la necesidad de abastecer y alimentar a sus tropas en el Sud-Este asiático de hortalizas y verduras, usaron como sustrato gravas. (hydroenv) y (Checa Sachez, 2002).
- En la época de los 70, en algunos países europeos, se produce comercialmente hortalizas y flores hidropónicas (Martinez y García, 1993) y Según Nelson (1991), en los Estados Unidos y en Europa existen diferentes sistemas de monitoreo y control automático de la concentración de la solución nutritiva aplicada a las plantas.
- Actualmente hay producción hidropónica en invernaderos con ambiente controlado (CEA) en EEUU donde hay grandes areas de cultivo hidropónico, en la Universidad de Arizona Tucson, la NASA y otras empresas contratadas realizando varios proyectos de investigación esta técnica de producir plantas se renueva considerablemente en los últimos 20 años, como principal forma de obtener alimentos ya que se vuelve vital, para las futuras exploraciones espaciales espaciales según (La Molina, 2012) y (Web2feel, 2012).



- En Chile hay producción hidropónica de alimentos para humanos y animales; produce: lechugas y sus diversas variedades, ají cristal y cachocabra, betarraga, coliflor, acelga, melones, berenjena, cebolla, cebollón, papa, zanahoria, tomate, forraje verde hidropónico. (Hidroponia Chile).
- También se desarrolla en Argentina, Uruguay, Panamá, Costa Rica, Ecuador, El Salvador, Guatemala, México, Venezuela, España, Australia, Canadá, Nueva Zelanda, Colombia y Brasil están desarrollando infraestructura avanzada para esta actividad (La Molina, 2012).
- En el campo de la investigación y la utilización de la hidroponía para el cultivo de hortalizas para el consumo de su población a gran escala desde hace varias décadas se tiene a Japón. Este es un país que no dispone de grandes áreas cultivables y no se pueden expandir además las condiciones climáticas son muy rigurosas; otro país que posee un gran know-how en hidroponía es Israel, que produce hortalizas y flores ornamentales, a gran escala, (RuralNews, 2012).

### **2.1.2. Antecedentes de la hidroponía en el Perú**

- El tema de hidroponía es disertado por primera vez en ambientes académicos universitarios por el Ing. José Whittembury – UPCH (1970).
- Cinco años más tarde la labor de la instrucción y cátedra es proporcionada por el Dr. Ulises Moreno – UNA (1975).
- Se inaugura el Centro de Investigación hidropónica y Capacitación Hortícola Kiyotada Miyagawa de Huaral – INIA (1989).

- Se desarrolla el primer Curso Nacional de Hidroponía Popular en la Estación Experimental Donoso – CICHKM: INIA + UNALM + FAO (1993).
- Se lleva a cabo el primer Curso – Taller Nacional de Hidroponía – UNALM (1994).
- Desarrollo del Primer Curso Taller – Internacional de Hidroponía – FAO – UNALM – INIA (1996).
- Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Departamento de Biología, de la Universidad Nacional Agraria La Molina Lima, Perú. (La Molina, 2012)
- Hay un invernadero aeropónico en Andahuaylas, que usa agua de un manantial para preparar la solución nutritiva para cultivar papa para obtención de semilla pre básico.
- En Arequipa se encuentra cultivos hidropónicos realizados en el distrito de Pachacutec en un invernadero tipo túnel (Hidroponiaperu, 2014).
- También la empresa Forraje Hidropónico E.I.R.L. tiene 10 años; diseñando e instalando 500 módulos para la producción de forraje verde hidropónico, para la alimentación de cuyes, vacas lecheras, caballos de paso, ovinos, conejos, para productores particulares, asociación de productores, ONGs, universidades, colegios, gobiernos locales. Difundiendo así también la técnica en el Perú, a través de eventos, seminarios y congresos organizados en varias universidades del País, según Tarrillo Olivas (2014).
- En Cusco también se produce forraje hidropónico (Ramirez Miranda, 2013)

- En el parque ecológico del Centro de Investigación e Implementación de Soluciones Viables y Favorables con el Medio Ambiente de Arequipa también se hace hidroponía, (Parque Ecológico Proesmin).
- En Lince – Lima se comercializan lechugas y tomates cultivados en techos y azoteas. Según RPP (2013).

### **2.1.3. Antecedentes de la hidroponía a nivel local en Pucallpa**

- En el año 1989 se destaca como logros más importantes de la gestión Institucional del IIAP (Instituto de Investigación de la Amazonía Peruana), la realización en Iquitos, Pucallpa y Lima del “Primer Encuentro Amazónico con Inversionistas” con el propósito de difundir las oportunidades de inversión que se derivan de los estudios de investigación presentándose entre 12 estudios de pre – inversión el proyecto Producción Hidropónica de Tomate, actividad que contó con el auspicio del CONCYTEC, COFIDE, COTESU, CORDEU, CORDELOR, UNAP y otros. Por otro lado en Pucallpa el IIAP compró el Fundo “Villa Rica” del Km. 12,600 Carretera Federico Basadre, de 22 hectáreas, un aporte del 50% del CORDEU. Área que fue adquirida para fines de investigación en piscicultura, agroindustria, lombri-cultura, hidroponía y otras actividades.
- Mientras que en el departamento de San Martín en la sede institucional del IIAP se construyó por primera vez un invernadero con 110m<sup>2</sup> de área techada.
- En la ciudad de Pucallpa, en el campus de la Universidad Nacional de Ucayali se desarrollaron proyectos de investigación y cursos sobre

hidroponía a cargo del Ing. Mg. Fernando Pérez Leal y la Ing. Mg. Tatiana Reátegui Herrera en el periodo 1993 – 1998, siendo pioneros en la materia.

- Los días 14, 15 y 16 de Julio de 1994 se llevó a cabo el 1° Curso de Hidroponía en Pucallpa en la Universidad Nacional de Ucayali bajo la responsabilidad de la Dirección General de Investigación donde participaron profesionales agrarios, extensionistas y técnicos agropecuarios, productores y estudiantes de la UNU de los últimos ciclos. Un curso teórico práctico que trató sobre la frontera agrícola y agroecología, la factibilidad y rentabilidad de la hidroponía, plantas que se ambientan a un sistema hidropónico con sus respectivas técnicas de producción, así como su clasificación para autoconsumo y comercial, con la finalidad de incrementar los beneficios económicos y ecológicos.
- En la Universidad Nacional de Ucayali hay trabajos de tesis sobre hidroponía solo de sistemas no automatizados con reporte de producción.
- En la ciudad de Aguaytía, de la región Ucayali hay un galpón hidropónico (La Molina, 2012).

## **2.2. Planteamiento teórico del problema:**

### **2.2.1. Software**

Sus inicios se remontan a 1940, ha pasado por un proceso de evolución, incluso existe la profesión que se dedica a crear y maximizar su calidad la cual está referida a cuán mantenible es el software, su estabilidad,

velocidad, usabilidad, comprobabilidad, legibilidad, tamaño, costo, seguridad y número de fallas o “bugs”, entre otras cualidades. Es todo un desafío poder conseguir un software que cubra los requerimientos del diseño de sistemas, adaptar la codificación y configuración, aplicando ciertas prácticas que asegure una buena gestión, que el producto total cumpla con las especificaciones (lo que equivale al concepto de calidad), que desempeñe un buen proceso.

### **Historia y Evolución del Software**

Entre 1960 a 1990, el principal desafío era el desarrollo del hardware de las computadoras, de modo que se redujera el costo del procesamiento y almacenamiento de datos. En la década de los sesenta, menos del 1% de la gente podía describir lo que significaba “software de computadora”. A lo largo de las décadas de los ochenta, los avances en microelectrónica han dado como resultado una mayor potencia de cálculo así como la reducción de costos. Actualmente el principal desafío es la de mejorar la calidad y reducir costos de las operaciones basadas en computadoras – soluciones que se implementan con el software. El factor relevante para el desarrollo de las tecnologías de software (ingeniería de software) es la combinación de investigación y desarrollo:

**Ilustración 1:** Investigación y desarrollo

Fuente: (SIGIA, 2011)

El término “evolución” del software se utiliza desde los sesenta para denominar la dinámica del crecimiento del software.

Lehman y Ramil dicen que la evolución del software es “todas las actividades de programación que orientan a generar una nueva versión de un software a partir de una versión anterior operativa.”

NedChapin 1 (1999) lo definió como la “aplicación de las actividades y procesos de mantenimiento del software que generan una nueva versión operativo de un software con una funcionalidad de usuario o propiedades cambiadas a partir de una versión anterior [...], junto con los procesos y actividades de garantía de calidad y con la gestión de esos procesos”. Así la evolución cubre el ajuste a funcionalidades adicionales.

La guía SWEBOK2 considera que la causa del mantenimiento está tanto en la necesidad de “cambios” como de “evolución” en el software.

**Tabla 2:** Eras o etapas de la evolución del software

<b>EVOLUCIÓN DEL SOFTWARE</b>					
<b>ERA</b>	<b>1era</b>	<b>2era</b>	<b>3era</b>	<b>4era</b>	<b>5era</b>
	<b>(1950-1965)</b>	<b>(1965-1972)</b>	<b>(1972-1989)</b>	<b>(1989-1999)</b>	<b>(2000-hoy)</b>
<b>DATOS</b>	La programación de computadoras codificar y corregir, programación por lotes, el desarrollo de sw con poca evolución y pocos métodos formales, sin planeación y sin documentación), sw a medida con distribución limitada, muchos cambios en el Hw.	Sistemas multi-usuarios, Inicio de la Crisis del Sw. Bases de datos, Sw como producto, Técnicas interactivas, control en tiempo real, Cias de sw venden en masa, mejora de dispositivos de almacenamiento, problemas de mantenimiento Primeras casas de Sw.	Sistemas Distribuidos, Incorporación de Inteligencia, hardware de bajo costo, impacto en el consumo, hardware estándar, diversificación de software Aparecen los PC's. Uso masivo de microprocesadores. LAN y global, comunicado res digitales	Potentes sistemas, Redes neuronales. Sistemas expertos. Tecnología orientada a objetos, Sw de Inteligencia Artificial, redes de información. Valoración de la información en las organizaciones.	Desde el año 2000 hasta el día de hoy. La presencia de la web, la reutilización de la información, el desarrollo de componentes de Sw. Plataforma .NET, aplicaciones comerciales, interacción con gestores de BD.

Fuente: Elaboración propia

SW = Software; HW = Hardware; Cias = Compañías; BD = Base de datos;

LAN = Red de Área Local.

### 2.2.2. Automatización industrial

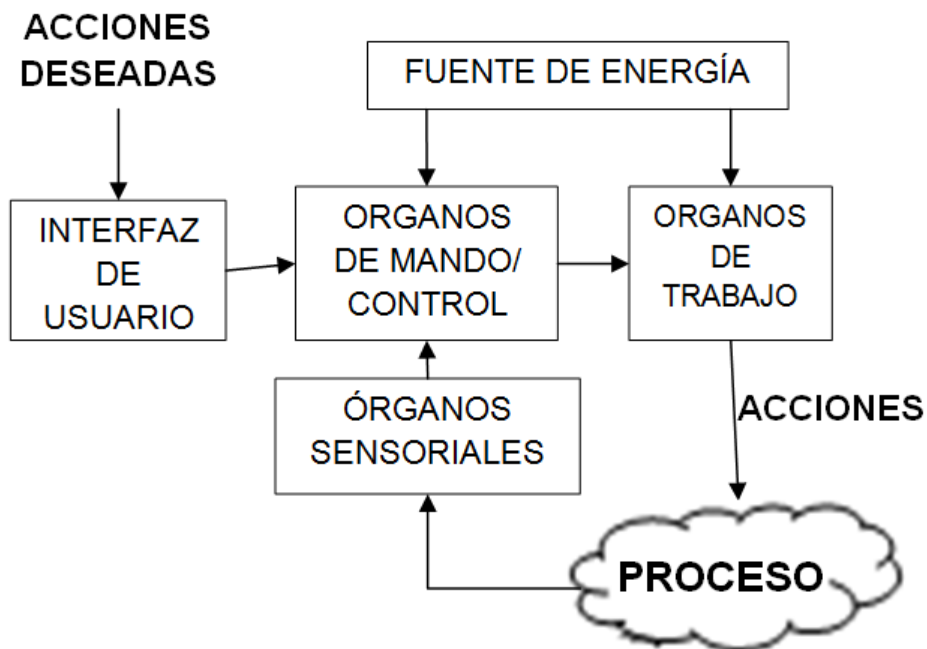
La Real Academia de las Ciencias Físicas y Exactas define la automática como el conjunto de métodos y procedimientos para la sustitución del operario en tareas físicas y mentales previamente programadas. De esto se origina la definición de la automatización como la aplicación de la

automática al control de procesos industriales según Ponsa & Granollers (2014).

También se define como uso de sistemas o elementos computarizados para controlar maquinarias y/o procesos industriales substituyendo a operadores humanos, (Ruedas, 2008).

Elementos de un sistema automático según (Lopez, 2014):

**Ilustración 2:** Elementos de un sistema automático.



Fuente: (Lopez Garcia, 2014)



## **Evolución de la automatización industrial**

Dicha evolución ha seguido varias etapas según (Perez, 2007):

PRINCIPIOS SIGLO XX HASTA AÑOS 50: Orígenes con la revolución industrial. Utilizaron elementos mecánicos y electromagnéticos (motores, relés, temporizadores, contadores). El problema: los armarios eléctricos (armarios de control) aumentaban de tamaño según la complejidad.

AÑOS 50: Comienzan a utilizarse los semiconductores (electrónica). Se reduce el tamaño de los armarios eléctricos y el número de averías por desgaste de componentes. El problema: falta de flexibilidad de un sistema de control sólo servía para una aplicación específica, y no era reutilizable.

AÑO 1968: Ford y General Motors plantearon las especificaciones que debe cumplir un controlador electrónico programable para ser útil en la industria y la necesidad era la programación. Entonces Bedford Associates desarrolla un prototipo de controlador industrial, que puede ser considerado el primer PLC (programmable logic controller o autómeta programable industrial) de la historia, que reunía ciertas características que exigía la industria (reutilizable, adaptado a entorno agresivos, programable, implementado con electrónica de estado sólido o semiconductores). Los primeros PLCs se usaron para controlar procesos secuenciales (cadenas de montaje, transporte, entre otros). El problema era memoria cableada, la reutilización era posible pero costosa.

PRINCIPIOS 70: Aparece el microprocesador, los primeros ordenadores digitales. Tenían mayor flexibilidad por la facilidad de programación

(desaparecen las memorias cableadas). El problema es que no eran utilizables en la industria por falta de robustez, dificultad de conexión a equipos mecánicos y dificultad de programación.

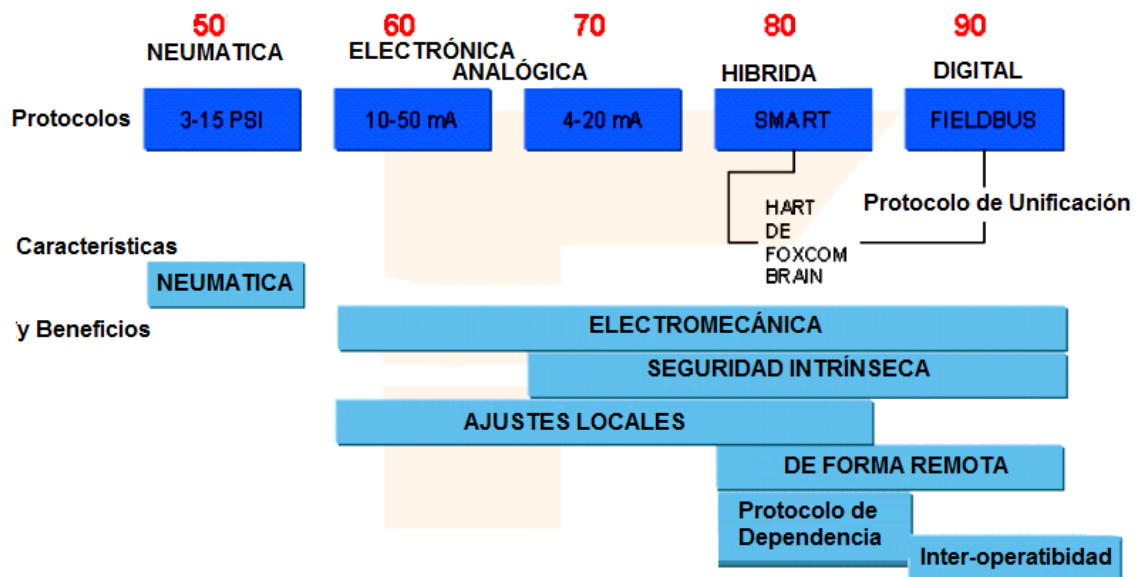
MEDIADOS 70: Los autómatas incorporan el microprocesador. Se podían reprogramar sin recablear (mayor flexibilidad). Permitían realizar cálculos matemáticos. Se podían comunicar con un ordenador central (ordenador encargado de controlar la planta enviando órdenes a los autómatas que gobernaban cada proceso).

FINALES 70: Aparecen mejoras en los autómatas, mayor memoria, mayor capacidad de gobernar bucles de control, más tipos de entrada y salida (E/S), conexión más flexible de sensores/actuadores, con lenguajes de programación y comunicación más potentes.

AÑOS 80: Continuaron las mejoras, mayor velocidad de proceso, con dimensiones más reducidas, técnicas de control más complejas, PID, inteligente, fuzzy; múltiples lenguajes (contactos, lista, instrucciones, GRAFCET, y otros).

ACTUALIDAD: Gran variedad de autómatas, modulares, compactos y sencillos para aplicaciones incluso domésticas como abrir/cerrar puertas o válvulas, control de iluminación o control de riego y otras modulares. Permiten muchas aplicaciones y prestaciones, incluso como un ordenador, en constante evolución, permite conexión a la red, CIM (producción integrada y controlada por ordenador con múltiples autómatas), redes de sensores/actuadores conectadas a los autómatas (AS-interface). Con múltiples estándares de comunicación como Profibus e industria Ethernet.

**Ilustración 3:** Paradigmas tecnológicos



Fuente: (Affonso Guedes, 2005)

**Ilustración 4:** Evolución de las técnicas de control

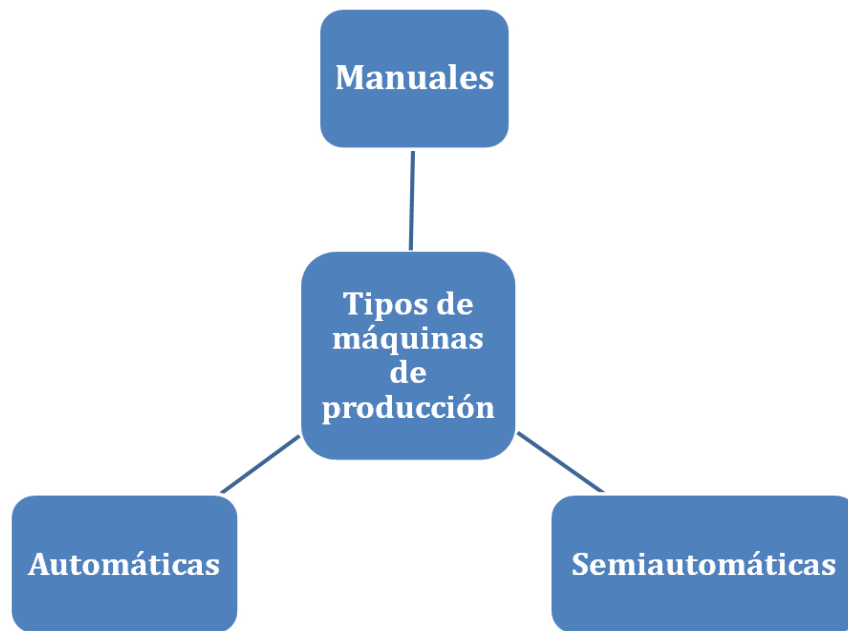


Fuente: (4 bp blogspot, 2013)

## Tipos de máquinas de producción

Según (Armesto Quiroga, 2007) se puede considerar que existen 3 tipos de máquinas de producción.

**Ilustración 5:** Tipos de máquinas de producción



Fuente: (Armesto Quiroga, 2007)

**Manuales:** directamente supervisadas y controladas por un operario. La máquina proporciona la fuerza y la energía, y el trabajador proporciona el control.

**Semiautomáticas:** un programa en la máquina ocupa una parte del ciclo y el operario la otra parte del ciclo.

**Automáticas:** las máquinas operan largos periodos de tiempo sin intervención del operario. Se requiere su vigilancia cada cierto número de ciclos.

## **Tipos de control**

Según (Armesto Quiroga, 2007) Existen diferentes tipos de controles:

### **a. Control Todo/Nada**

- Lógica de control cableada (electrotecnia).
- Elementos todo/nada: relés, termopares, y otros.

### **b. Control analógico**

- Circuitos electrónicos analógicos. Aparece PID.
- Existencia de derivadas.

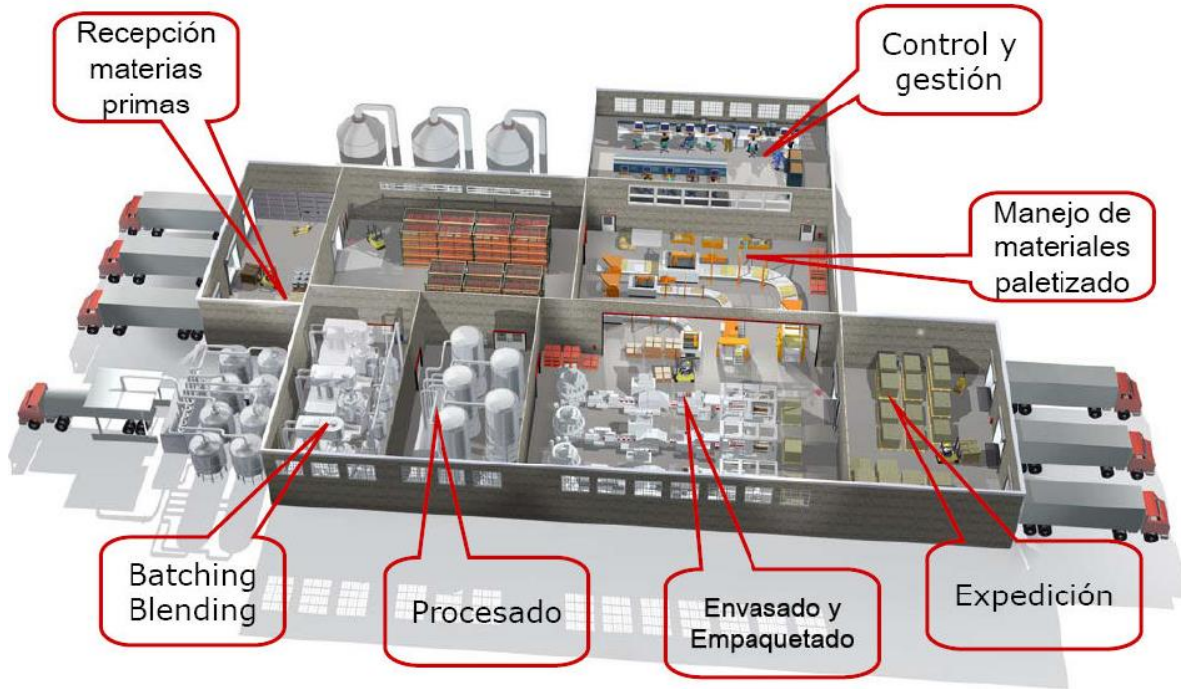
### **c. Control digital con datos muestreados**

- Uso de tecnología digital (microprocesador).
- Mayor flexibilidad en el control. Sistemas DCS.

### **d. Control de eventos discretos**

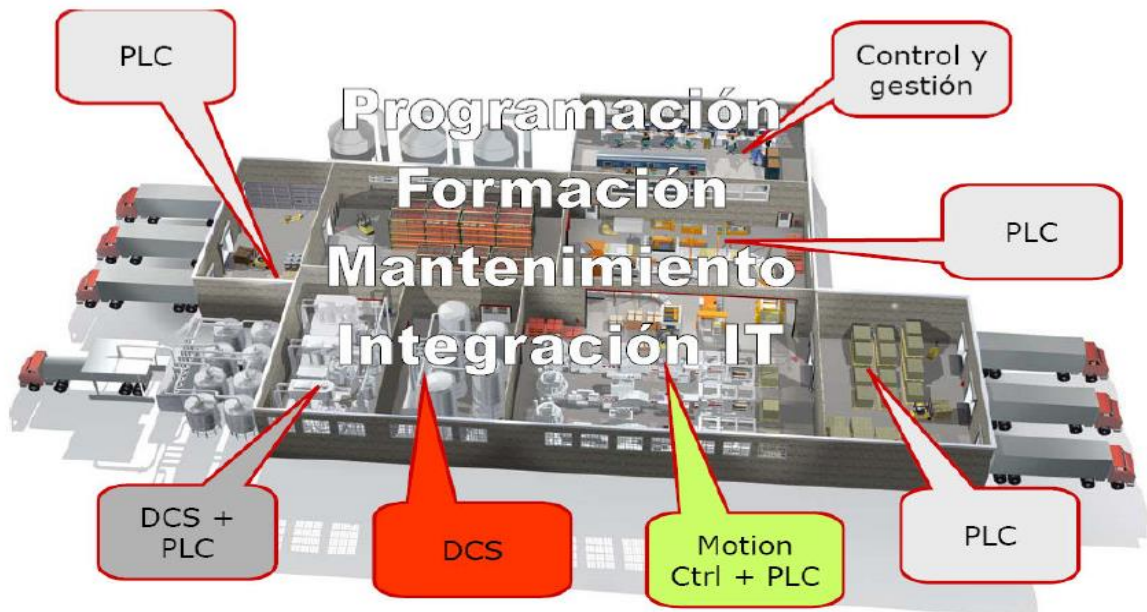
- Respuesta ante eventos. Señales binarias.
- Teoría de estados: Sistemas PLC.

**Ilustración 6:** Procesos en una fabricación



Fuente: (Armesto Quiroga, 2007)

**Ilustración 7:** PLC en una fábrica



Fuente: (Armesto Quiroga, 2007)

### 2.2.3. Controlador Lógico Programable (PLC)

Dispositivo diseñado para el control de señales eléctricas asociadas al control automático programable de procesos industriales. (Itescam)

#### Características

- **CPU:** Unidad central de procesamiento, (Ccori, 2013)
- **Entradas:** Discretas (booleanos), analógicas, especiales. (Ccori, 2013)
- **Salidas:** Discretas (booleanos), analógicas, especiales. (Ccori, 2013)

#### Funciones

- Gobernar máquinas o procesos lógicos y/o secuenciales. (Ccori, 2013)
- Reemplazar la lógica de relés para el comando de motores, maquinarias. (Ccori, 2013)
- Control y comando de tareas repetitivas o peligrosas. (Ccori, 2013)

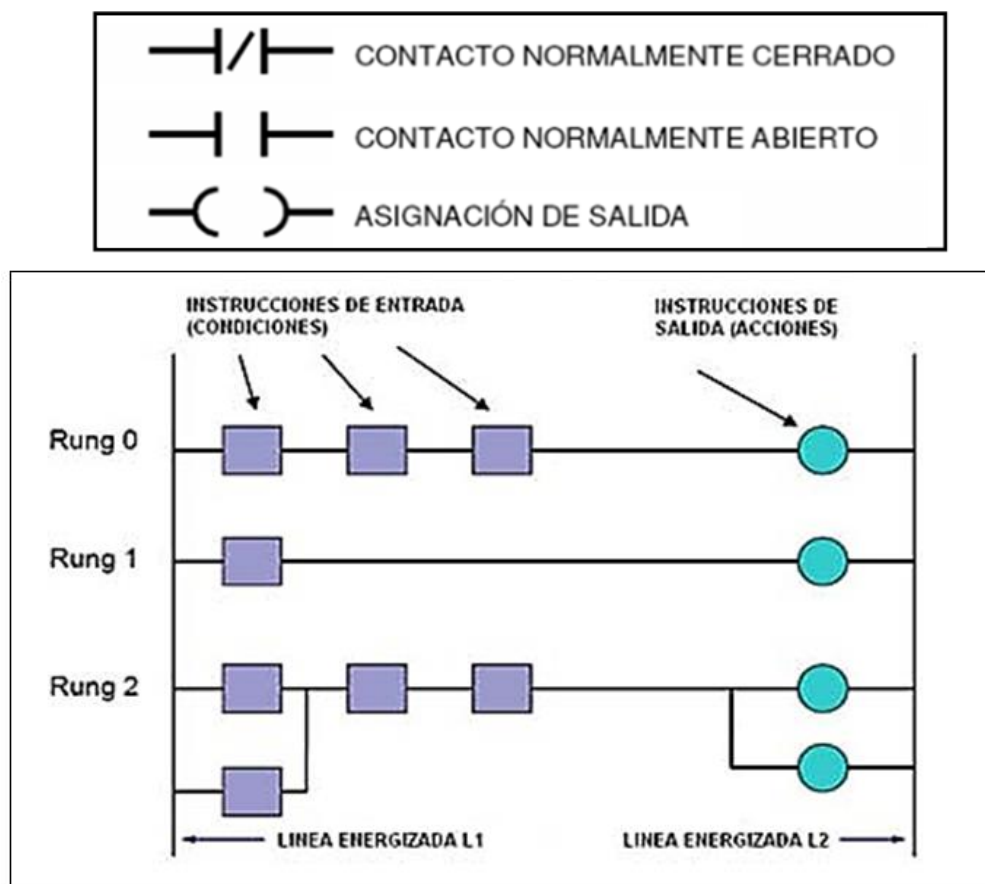
#### Lenguaje de programación

- Escalera ("ladder"). (Ccori, 2013)
- Instrucciones básicas: (AND, OR, NOT), (+, -, \*, /, ln, sqr(.), sin, ...), (>, <, =, !=, ...), Temporizadores, contadores... (Ccori, 2013)

## Ladder o Scada

Fue el primer lenguaje de programación de autómatas que se inventó parecido a los circuitos eléctricos, la transformación de una automatización eléctrica pura con relés a una con autómatas era sencilla, mediante símbolos de contactos, bobinas, temporizadores, etc., símbolos que están normalizados por el estándar IEC 61131 empleados por todos los fabricantes de autómatas. (Carranco Quiñonez & Celi Sánchez, 2010)

**Ilustración 8:** Símbolos y descripción de lenguaje Ladder



Fuente: (Eduardo, 2011) y (encrypted tbn2 gstatic, 2014)



### **FUK (esquema de funciones) y KOP (Esquema de contactos)**

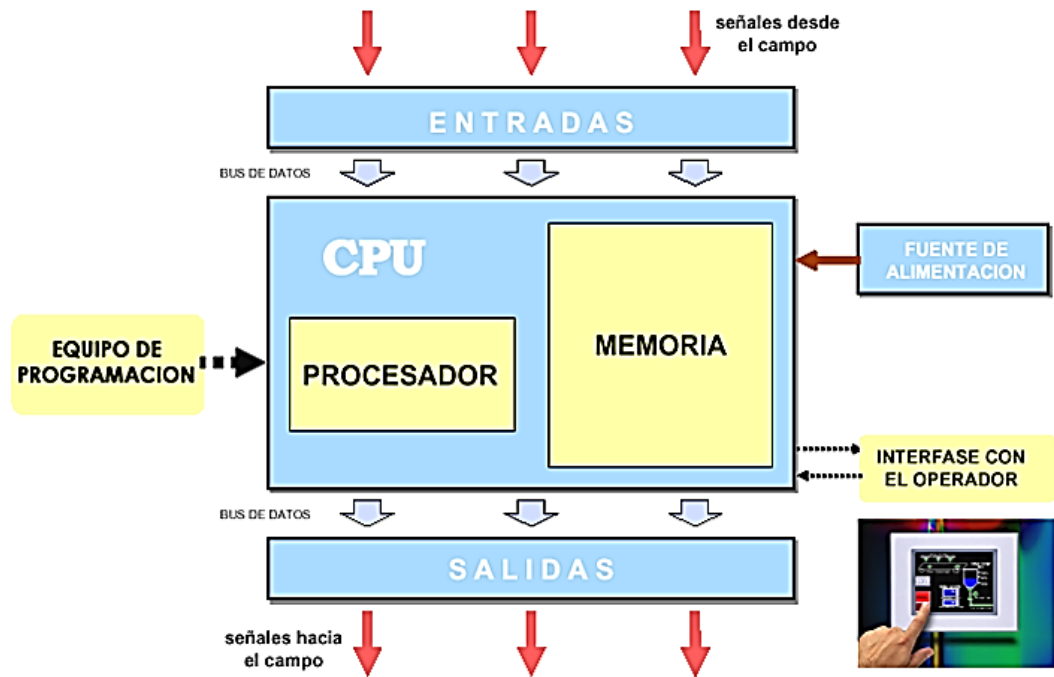
Son dos lenguajes de programación, el primero permite representar los símbolos lógicos del algebra booleana, donde podemos representar funciones matemáticas u otras operaciones complejas en combinación de los cuadros lógicos, y el segundo es similar a los esquemas de circuitos tales como los contactos normalmente abiertos o cerrados como las boninas, temporizadores, contadores y transferencia, incluso ofrece instrucciones con cuadros de funciones matemáticas.

### **Ventajas**

Su almacenamiento de memoria soportar las aplicaciones, requiere menos espacio y materiales en el desarrollo de proyectos; fácil uso, menor coste de mano de obra de instalación y mantenimiento en comparación con los sistemas antiguos de relés, permite controlar varios equipos con un mismo PLC, reutilizarse, reduce el cableado, de configuración y programación flexible, permite controlar sistemas complejos e sofisticados, con confiabilidad y garantía según Ruano Herrería & Zambrano Balseca (2009)

### **Arquitectura interna de un PLC**

La estructura básica de un PLC está constituida por los siguiente elementos: Fuente de alimentación, CPU, módulo de entradas y módulo de salidas, terminal de programación, periféricos, interfaces de comunicación y memoria según EPN (2014).

**Ilustración 9:** Arquitectura interna de un PLC

Fuente: (Borger, 2002)

### Como trabaja un PLC

Un PLC realiza funciones básicas que son las siguientes según (Ruano Herrería & Zambrano Balseca, 2009):

- Detección: Lectura de la señal de los captadores distribuidos por el sistema de fabricación.
- Mando: Elaborar y enviar las acciones al sistema mediante los accionadores y preaccionadores.
- Dialogo hombre máquina: Mantener un dialogo con los operarios de producción, obedeciendo sus consignas e informando sobre el proceso.

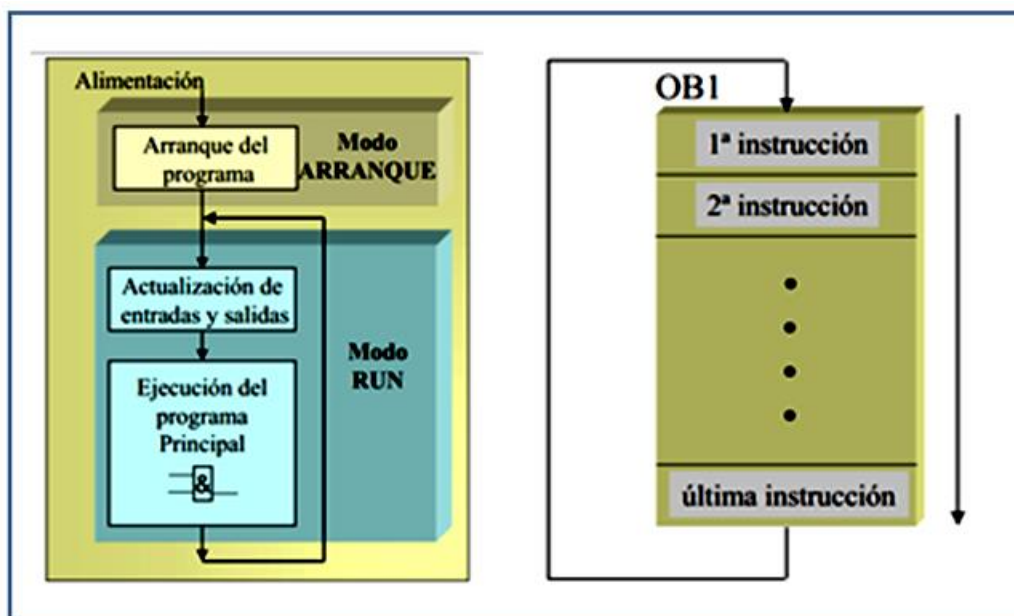
- Programación: Para introducir, elaborar y cambiar el programa de aplicación del PLC. El diálogo de programación debe permitir modificar el programa incluso con el PLC controlando la máquina.

También realiza funciones complementarias según (Ruano Herrería & Zambrano Balseca, 2009):

- Redes de comunicación: Permiten establecer comunicación con otras partes de control. Las redes industriales permiten el intercambio de datos entre PLCs a tiempo real.
- Supervisar: permiten comunicarse con ordenadores provistos de programas de supervisión industrial. Esta comunicación se realiza por una red industrial o por medio de una simple conexión por el puerto serie del ordenador.
- Control de procesos continuos: Además de controlar sistemas de eventos discretos los PLC llevan incorporadas funciones que permiten el control de procesos continuos. Disponen de módulos de entrada y salida analógicas y la posibilidad de ejecutar reguladores PID que están programados en el PLC.
- Entradas – salidas distribuidas: Los módulos de entrada /salida pueden estar distribuidos por la instalación, se comunican con la unidad central del PLC mediante un cable de red.
- Buses de campo: Mediante un solo cable de comunicación se pueden conectar al bus captadores y accionadores. El autómatas consulta

cíclicamente el estado de los captadores y actualiza el estado de los accionadores.

**Ilustración 10:** Procesamiento cíclico de un PLC



Fuente: (Universidad del País Vasco, 2008)

#### 2.2.4. El autómatas SIMATIC S7-1200

Controlador de la gama de controladores SIMATIC de Siemens, sucesor del S7-200 y está disponible desde junio del 2009. De modelo o diseño modular/compacto para sistemas de automatización con funciones lógicas, de alto rendimiento, HMI o redes. Desarrollado por razones económicas, permite controlar una gran variedad de dispositivos y aplicaciones, su aplicación se extiende desde la sustitución de los relés y contactores hasta tareas complejas de la automatización plenamente integrada (TIA: Totally Integrated Automation), en estructuras o sistemas de distribución. El S7-1200 y la herramienta de programación STEP 7 Basic cubren las diferentes necesidades de automatización de cada caso. (CATEDU, 2012).

**Tabla 3:** Especificaciones del PLC Siemens S7 - 1200

<b>Fabricante</b>	Siemens
<b>Módulo Central</b>	CPU 1214 AC/DC/relé
<b>Programa correspondiente</b>	Step 7 Basic V 11
<b>Tensión nominal de alimentación</b>	230 V AC
<b>Tensión nominal de carga</b>	24 V DC
<b>Consumo</b>	Nominal 50 mA, máximo 150 mA
<b>Max. Intensidad al conectar</b>	20 A
<b>Número de entradas digitales</b>	14
<b>Número de entradas analógicas</b>	2
<b>Número de salidas digitales</b>	10 relé
<b>Perdidas</b>	14 W

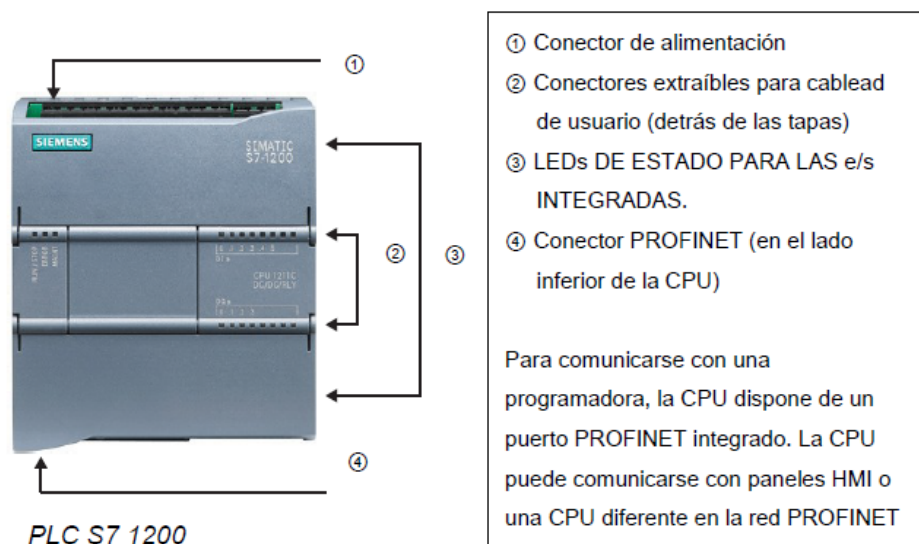
Fuente: (Saludes & Ramos, 2011)

## **CPU**

Incorpora un microprocesador, una fuente de alimentación, circuitos de entrada y salida, puerto Profinet (para comunicarse con una computadora o con paneles HMI), E/S de alta velocidad (analógicas y digitales) todo en una carcasa compacta. Una vez descargado el programa, la CPU contiene la lógica necesaria para vigilar y controlar los dispositivos, las entradas y cambia el estado de las salidas según la programación, puede incluir lógica booleana, instrucciones de contaje y temporización, funciones matemáticas y comunicación con otros dispositivos según el departamento de electricidad-electrónica I.E.S Segundo de Chomón Teruel (2012).

**Ilustración 11:** PLC Siemens S7 - 1200

Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

**Ilustración 12:** Componentes del PLC Siemens 1200.

Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

El hardware SIMATIC S7-1200 puede instalarse con flexibilidad, rápido y fácil tanto en posición horizontal como vertical ya que tiene clips para

un montaje en perfil DIN de 35 mm, que son extraíbles. (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

### **Módulos de señales**

Las CPU admiten la conexión de hasta ocho Módulos de Señales, ampliando las posibilidades de utilizar E/S digitales o analógicas sin tener que aumentar físicamente el tamaño del controlador. Pueden adaptarse individualmente, modificarlos para adaptarlos a cualquier necesidad, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

**Ilustración 13:** Módulos de señales



Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

Entradas: Para funciones de conteo y medición, el controlador SIMATIC S7-1200 posee hasta 6 contadores. Tres entradas de 100 kHz y otras tres de 30 kHz integradas, brindan lectura de encoders incrementales, contajes de frecuencia y la captura rápida de eventos de

proceso. (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

Salidas: En el controlador SIMATIC S7-1200 se han integrados 2 salidas que pueden funcionar como salidas de tren de pulsos (PTO) o como salidas con modulación de ancho de impulsos (PWM). Si se configuran como PTO, ofrecen una secuencia de impulsos con un factor de trabajo del 50% y hasta 100 kHz, para la regulación controlada de la velocidad y posición de motores paso a paso y servo accionamientos. La realimentación para las salidas de tren de pulsos proviene internamente de los dos contadores de alta velocidad. Si se configuran como salidas PWM, ofrecen un tiempo de ciclo fijo con punto de operación variable. Esto permite regular la velocidad de un motor, la posición de una válvula o el ciclo de trabajo de un calefactor. (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

### **Módulos de comunicación**

La CPU del PLC puede ampliarse hasta con 3 Módulos de Comunicación (RS485 y RS232) para conexiones punto a punto en serie, basadas en caracteres. Esta comunicación se programa y configura con sencillas instrucciones, o bien con las funciones de librerías para protocolo maestro y esclavo USS Drive y Modbus RTU, incluidas en el SIMATIC STEP 7 Basic. (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel). (2012)).



**Ilustración 14:** Módulos de comunicación

Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica  
I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

**Memoria**

Permite seleccionar y designar el tamaño de la memoria de programa y la de datos. Hasta 50 KB de memoria de trabajo en el controlador, con libre configuración del tamaño de memoria de programa y de datos de usuario, pueden definirse hasta 2048 Bytes como remanentes (ante un corte de alimentación). Los datos designados no tienen por qué ser contiguos. También tiene una memoria portátil el SIMATIC Memory Card que permite transferir fácilmente programas a varias CPU (solo es insertar la tarjeta de memoria en la CPU). La tarjeta permite guardar varios archivos o actualizar el firmware del controlador, módulos de señales y módulos de comunicación. (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

**Ilustración 15:** Memoria del PLC Siemens



Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S

Segúndo de Chomón (Teruel), 2012)

### **Regletas de bornes desmontables**

Todos los componentes hardware del PLC están equipados con regletas de bornes desmontables (ofrecen comodidad eficiencia, flexibilidad y ahorro de tiempo a la hora de instalar o sustituir componentes de hardware), con cablearlo una vez, ahorrar espacio en el armario eléctrico. La CPU 1214C sólo tiene 110 mm de ancho, y las CPU 1212C y 1211C sólo 90 mm junto con los Módulos de Comunicación y Señales. (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segúndo de Chomón (Teruel), 2012)

### **Comunicación Industrial - Redes Industriales**

Para la comunicación industrial o redes industriales existen distintas soluciones para la comunicación de un PC con un PLC. Antes de ver las soluciones conviene explicar dos modelos, el primero es el modelo OSI, en el cual se basan la mayoría de los sistemas de comunicación entre dispositivos, y el segundo es el modelo TCP/IP, que es el estándar más

empleado en la actualidad, el cual es el fundamento de la red Internet.  
(Marín Iturrarte, 2010)

**Tabla 4:** Soluciones para la comunicación de un PC con un PLC

	<b>Modelo OSI (Open Systems Interconnection)</b>	<b>Modelo TCP/IP</b>
<b>CAPAS</b>	1. Aplicación	1. Nivel de Aplicación
	2. Presentación	2. Nivel Transporte
	3. Sesión	3. Nivel de internet (red)
	4. Transporte	4. Nivel de acceso a la red
	5. Red	5. Nivel Físico
	6. Enlace de Datos	
	7. Física	

Fuente: (Marín Iturrarte, 2010)

**Ilustración 16:** Modelo OSI y modelo TCP/IP



Fuente: (Marín Iturrarte, 2010)

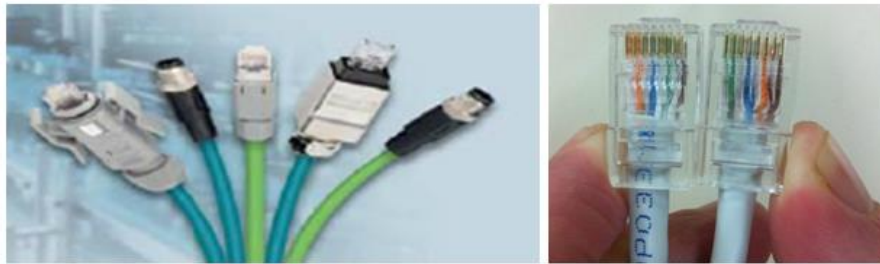
Para la comunicación y conexión con otros controladores y equipos HMI incluso de otros fabricantes, el controlador SIMATIC S7-1200 con su interfaz a través del protocolo de comunicación S7, protocolos abiertos de Ethernet TCP/IP nativo e ISO-on-TCP. Capacidad de comunicación se configura con bloques estándar T-Send/T-Receive del SIMATIC STEP 7 BASIC, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

Ethernet Industrial y sus medios de transmisión reúne una serie de requisitos que deben cumplir las redes de comunicación industrial. Los sistemas de bus modernos, requieren redes de comunicación incluso para grandes distancias. (Centro Aragonés de Tecnologías para la Educación)

Para el cableado Ethernet basado en RJ45 y M12, Phoenix Contact ofrece componentes industriales. El cableado Ethernet, los conectores y cables de datos deben cumplir ciertos requisitos: deben permitir la conexión sencilla y segura incluso bajo las condiciones más severas, la zona de producción y campo con sus requerimientos de funcionamiento como estar expuesto a la humedad, los golpes que pueden existir en ambientes industriales, temperatura extrema y vibraciones; máxima longitud de 100m, versión híbrida (datos + energía). Los componentes de cableado con índice de protección IP67 e IP20 y la evaluación de su idoneidad para aplicaciones industriales, su robustez de la carcasa del conector, la compensación de tracción, la sujeción como protección contra las fuerzas laterales, la resistencia a los aceites y la protección EMC.

El conector RJ45 de 8 polos especificado en la IEC 60603-7 [1] para el cableado Ethernet y está disponible en Cat. 5 y Cat. 6 según la norma ISO/IEC 11801:2002 [2]. La protección IP20 es para el cableado dentro de los armarios de control y el IP67 es para el cableado robusto en campo.

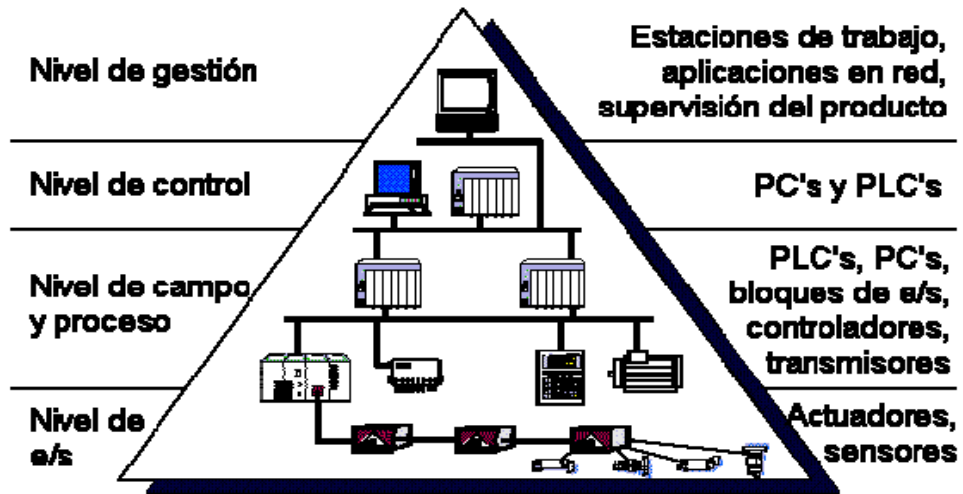
### **Ilustración 17:** Tipos de conectores.



Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S  
Segundo de Chomón (Teruel), 2012) (Llorente, 2012)

### **Tipología de cables para ethernet y profinet**

Los cables de cobre simétricos en el cableado industrial Ethernet, cables de par trenzado con 2 o 4 pares trenzados utilizados normalmente, cumplen las exigencias de Cat. 5 conforme a la ISO/IEC 11801:2002. Los cables están equipados con una pantalla trenzada y un papel aluminio protector (cable SF/UTP). En los cables de Cat 6, los pares de cable tienen una pantalla con papel de aluminio (cable s/FTP). En la versión de 4 pares trenzados, ambos tipos de cable tienen capacidad Gigabit. Para el cableado Profinet, se han especificado los cables de 4 hilos en estrella con una sección de conductor de 22 AWG, este cumple con la Cat. 5.

**Ilustración 18:** Niveles sistema automatizado/Pirámide automatización.

Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

**Tabla 5:** Características y montaje del simulador S7-1200.

1	<b>Ingeniería / Puesta en marcha / Servicio</b> - Especifico S7	1	<b>IO Distribuidas</b> - PROFinet IO
2	<b>Visualización con TD/OP/OS</b> - Especifico S7 y PROFINET	5	<b>Acceso remoto via navegador WEB</b> - Estándares IT y PROFINET
3	<b>Intercambio de datos entre dispositivos inteligentes</b> - Especifico S7 y PROFINET - Comunicación S7	6	7
		<b>Conexión a supervisión / MES OPC, Softnet</b> - OPC, Softnet - Socket TCP/IP	

Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

## **Campo de aplicación y beneficios**

Intercambio de grandes cantidades de datos: en el entorno de Megabytes. (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

Transferencia de datos segura, aún en el caso de la existencia de perturbaciones electromagnéticas.

Altas prestaciones aún si existen muchos participantes, brinda amplia superficie de cobertura y alcanza grandes distancias, incluso entre dispositivos de múltiples tipos (comunicación entre aparatos de ingeniería, ordenadores y dispositivos de control). Múltiples tipos de comunicaciones e interconexión entre la oficina técnica y el mundo de la Automatización.

Red de fábrica de gran potencia, líder universal dentro de las redes industriales para el nivel de célula, combina técnicas eléctrica y óptica. Ahorro de costes y eficacia en miles de instalaciones de montaje y cableado. Coexiste con otras aplicaciones Ethernet. Como: Novell, LAN-Manager, TCP/IP.

## **Interfaz PROFINET integrada**

El SIMATIC S7-1200 dispone de esta interfaz que se comunica con el SIMATIC STEP 7 BASIC, permitiendo la programación y la comunicación con los paneles de la gama SIMATIC HMI BASIC PANELS, con controladores adicionales para la comunicación de CPU a CPU y con equipos de otros fabricantes para ampliar las posibilidades de integración

mediante protocolos abiertos de Ethernet, la interfaz de comunicación o interconexión de SIMATIC S7-1200 tiene la conexión RJ45 inmune a perturbaciones con función Autocrossing, permite hasta 16 conexiones Ethernet y alcanza una velocidad de transferencia de datos hasta de 10/100 Mbits. Reducir al mínimo las necesidades de cableado con flexibilidad de red, puede usarse con SIMATIC S7-1200 el Compact Switch Module CSM 1277, así configurar una red homogénea o mixta, con topologías de línea, árbol o estrella, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

PROFINET es el estándar abierto de la industria Ethernet, con estándares como TCP/IP, para programar y conectarse con equipos HMI y otros controladores en un contexto de campo distribuidos. El controlador puede funcionar indistintamente como PROFINET I/O device o como PROFINET I/O controller, una comunicación unificada desde el nivel de campo hasta el nivel de control, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

**Ilustración 19:** Interfaz gráfica de programación del PLC.



Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)



## Funciones

SIMATIC tiene funciones tecnológicas integradas que brindan fiabilidad, versatilidad, probadas e innovadoras, desde el contaje y la medición al control de velocidad, procesos, posición y ciclo, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012).

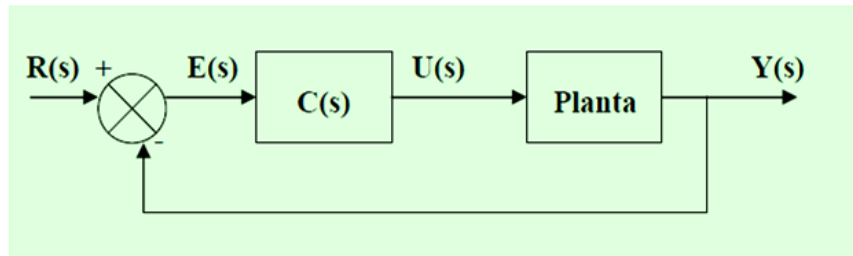
**Ilustración 20:** Led indicadores del PLC Siemens 1200.



Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S  
Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

## PID

Las letras PID corresponden a las acciones: Proporcional, Integral y Derivativa. Corresponde a la estructura de control mas usada en el medio industrial. (Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María (2010)

**Ilustración 21:** Lazo de control SISO según ELO (2014)

Fuente: (Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María, 2010)

Según el Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María (2010): Los controladores PID se pueden describir mediante sus funciones de transferencia, relacionando el error  $E(s)$  con la salida  $U(s)$  del controlador.

**Ilustración 22:** Control PID y sus funciones de transferencias

$C_P(s) = K_p$	<i>Proporcional</i>
$C_{PI}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_r s}\right)$	<i>Proporcional e Integral</i>
$C_{PD}(s) = K_p \left(1 + \frac{T_d s}{\tau_D s + 1}\right)$	<i>Proporcional y Derivativo</i>
$C_{PID}(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_r s} + \frac{T_d s}{\tau_D s + 1}\right)$	<i>Proporcional, Integral y Derivativo</i>
donde $T_r =$ constante denominada "Tiempo de Reset"	
$T_d =$ constante denominada "Tiempo Derivativo"	

Fuente: (Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María, 2010)

La función CPID(s) es conocida como la forma estándar, otras alternativas son:

**Ilustración 23:** Función CPID y forma estándar con otras alternativas

$$C_{serie}(s) = K_s \left(1 + \frac{I_s}{s}\right) \left(1 + \frac{D_s s}{\gamma_s D_s s + 1}\right) \quad \text{forma serie}$$

$$C_{paralelo}(s) = K_p + \frac{I_p}{s} + \frac{D_p s}{\gamma_p D_p s + 1} \quad \text{forma paralela}$$

Fuente: (Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María, 2010)

Para la funcionalidad y Control PID - lazos de regulación, el S7-1200 admite hasta 16 lazos de regulación PID el software incorpora un asistente de configuración dispone también de panel PID Autotuning permite aplicaciones de control de proceso con lazo de regulación cerrado (calcula automáticamente valores de ajuste óptimos para las componentes proporcional, integral y derivativa), estos lazos de regulación pueden configurarse fácilmente con un objeto tecnológico de regulación PID, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012).

### **Software o sistema de ingeniería SIMATIC Step7 Basic (TIA Portal)**

Tiene un panel de mando de ejes para la puesta en marcha de accionamientos de motores paso a paso y servo accionamientos. Permite el control, tanto automático como manual, de un único eje de movimiento,

y ofrece información de diagnóstico online, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

El panel de sintonía para la puesta en marcha de PID, integrado o incluido en el Simatic Step7 Basic, optimiza el lazo de regulación PID de forma rápida y precisa. Ofrece funcionalidad Autotuning y ajuste manual para las variables lazos de regulación, y al mismo tiempo una presentación gráfica de su evolución, (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012).

### **2.2.5. Virtualización**

Según Velásquez (2009):

Es la técnica empleada sobre las características físicas de algunos recursos computacionales, para ocultarlas de otros sistemas, aplicaciones o usuarios que interactúen con ellos.

La virtualización de un sistema operativo es el uso de una aplicación de software para permitir que un mismo sistema operativo maneje varias imágenes de los sistemas operativos a la vez.

Esta tecnología permite separar el hardware del software, lo cual posibilita a su vez que múltiples sistemas operativos, aplicaciones o plataformas de cómputo se ejecuten simultáneamente en un solo servidor o PC.

#### Ventajas

- Los usuarios pueden ser provistos de dos o más ambientes de trabajo completamente independientes entre sí.

- La virtualización permite conservar los mismo equipos terminales o de trabajo y realizar todos los cambios de versiones y plataformas vía un entorno virtualizado en la red y teniendo como fuente al servidor.

Hay en general dos formas de catalogar la virtualización: virtualización de plataforma y virtualización de recursos.

### **Virtualización de plataforma**

Se trata de simular una máquina real (servidor o PC) con todos sus componentes (los cuales no necesariamente son todos lo de la máquina física) y prestarle todos los recursos necesarios para su funcionamiento. En general hay un software anfitrión que es el que controla las diferentes máquinas virtuales sean atendidas correctamente y que está ubicado entre el hardware y las máquinas virtuales. Dentro de este esquema caben la mayoría de las formas de virtualización más conocidas, incluidas la virtualización de sistemas operativos, la virtualización de aplicaciones y la emulación de sistemas operativos.

### **Virtualización de recursos**

Permite agrupar varios dispositivos para que como uno solo, o al revés, dividir un recurso en múltiples recursos independientes. Generalmente se aplica a medios de almacenamiento. También existe una forma de virtualización de recursos muy popular que no es sino las redes privadas virtuales o VPN, abstracción que permite a un PC conectarse

a una red corporativa a través de la Internet como si estuviera en la misma sede física de la compañía.

### **2.2.6. Estándares**

Los estándares son importantes porque reducen el problema de la incompatibilidad.

#### **Estándar IEC 1131-3**

Estandarización en la programación de control industrial, el cual pretende ser la base real para estandarizar los lenguajes de programación en la automatización industrial, haciendo el trabajo independiente de cualquier compañía. Se puede dividir el estándar en dos partes: elementos comunes (que son los tipos de datos, variables, configuración, recursos, tareas, unidades de organización de programa, gráfico funcional secuencial) y lenguajes de programación (literales y gráficos, la forma de programación de arriba abajo Top-down y de abajo a arriba o bottom-up), (PLCopen, 2011)

**EIA-485 (Electronic Industries Association)** Norma para el bus de transmisión de datos multipunto diferencial RS-485.

**AS/NZS 2064 (clase A)** es la norma que cumple el PLC S7 1200

**EIA / TIA 568 B.2.**

**TIA** (Telecommunication Industry Association)

**IT / PROFINET**

**TCP/IP**

**ISO / IEC 11801:2002.**

### 2.2.7. Micro-controlador

Son circuitos integrados que incorporan todos los bloques funcionales de un Sistema Microprocesador en un único encapsulado. Necesitan una tensión continua (5V, 3,3V, 2,5V, 1,5V...) y un oscilador para funcionar. Interpretan (decodifican) combinaciones de bits (instrucciones) y generan señales digitales internas y/o externas. Ejecutan de manera continua una secuencia de instrucciones (programa) que permite controlar un sistema o subsistema electrónico, (Ccori, 2013).

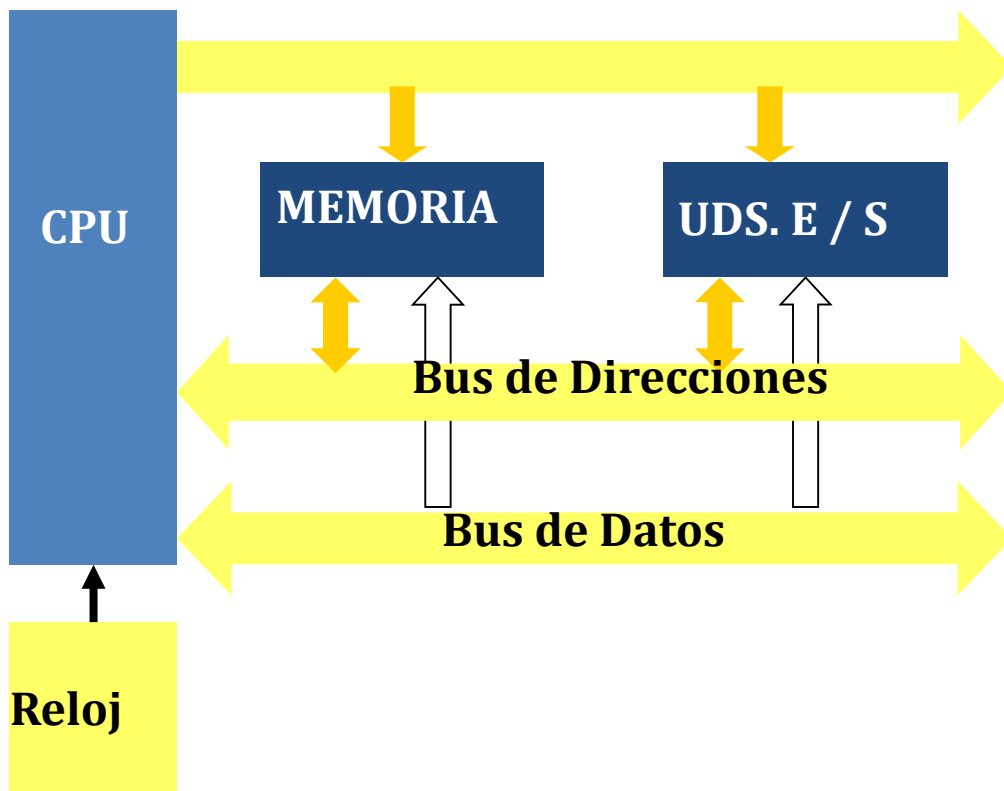
#### **Basado en la estructura de Von Newman**

Según (Ccori, 2013) sus bloques básicos son los siguientes:

- CPU, Central Process Unit o Unidad Central de Proceso. Formada por dos bloques: Unidad de Control y Unidad de Proceso.
- Memoria, donde residen las instrucciones del programa y sus datos.
- Módulos E/S, elementos encargados de recibir y entregar información al exterior.

Los tres módulos están conectados entre sí por medio de los Buses de Comunicación. Cada bus está formado por un conjunto de conductores por los cuales se transmite la información digital.

**Ilustración 24:** Sistema basado en la estructura de Von Newman.

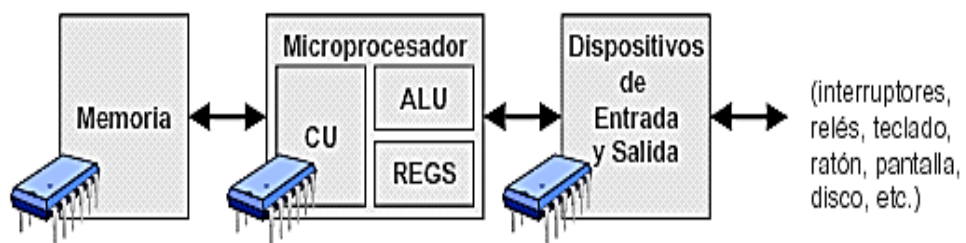


Fuente: (Carceler, 2012) (Ccori, 2013)

### Diferencias entre microprocesador y micro-controlador.

Las diferencias se describen gráficamente a seguir:

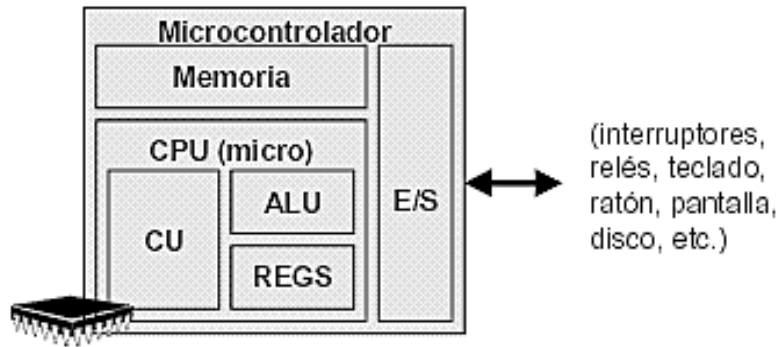
**Ilustración 25:** Sistema microprocesador



Fuente: (Ccori, 2013)

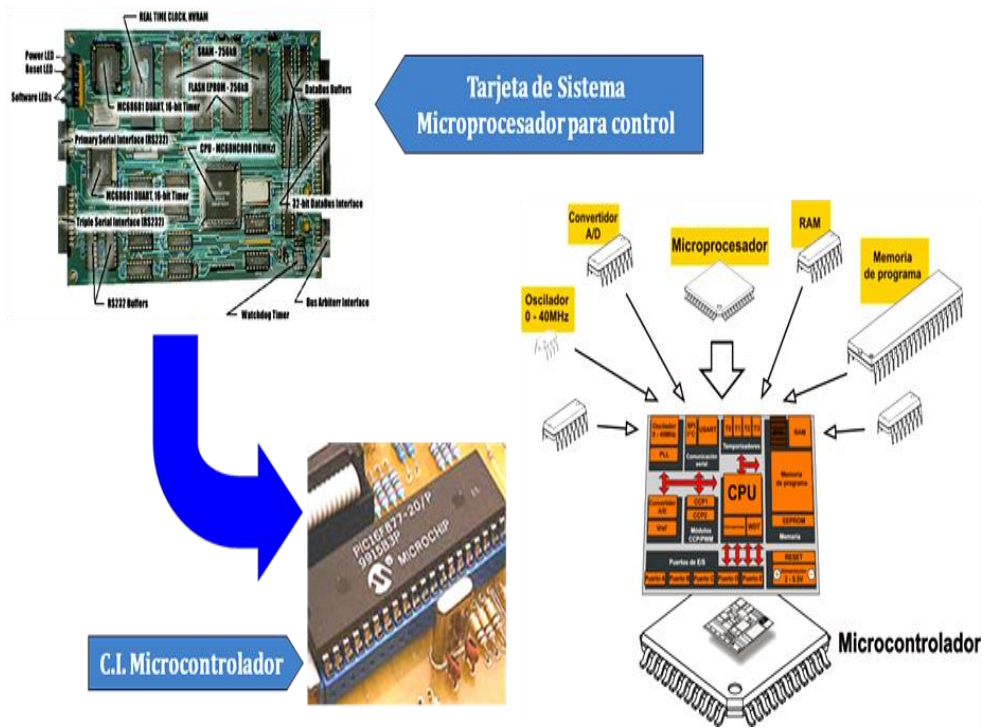


**Ilustración 26:** Sistema microcontrolador.



Fuente: (Ccori, 2013)

**Ilustración 27:** Micro-controlador y microprocesador.



Fuente: (Ccori, 2013)

### Ilustración 28: Sistemas empotrados con micro-controladores.



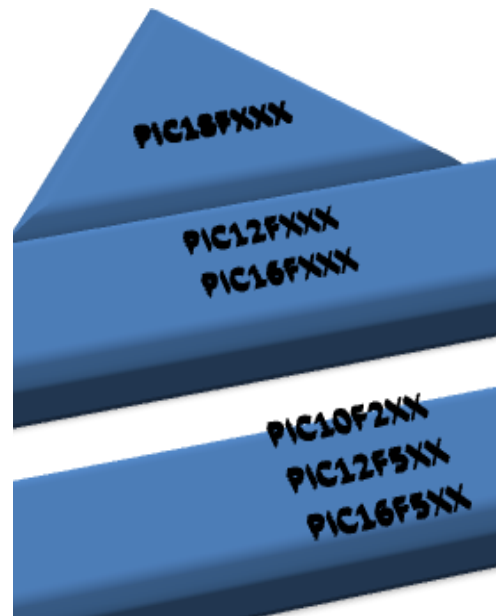
Fuente: (Ccori, 2013)

### Micro-controladores PIC

Tiene las siguientes características:

- Eficiencia de código: gran compactación de programas y reducción de instrucciones, permitiendo rapidez de ejecución: A freq. de 40MHz → 25 000 000 de instr./seg.
- Seguridad en acceso: Separa memoria de datos y de programa.
- Compatibilidad de pines y código entre dispositivos (familias), gran variedad de versiones en distintos encapsulados (8 - 84 pines). Herramientas de desarrollo software y hardware variados y de bajo coste.

**Ilustración 29:** Gama de micro-controladores de 8 bit.



FUENTE: (Ccori, 2013)

**Ilustración 30:** Gama de micro-controladores de 16 y 14 bits

**GAMA MEJORADA**

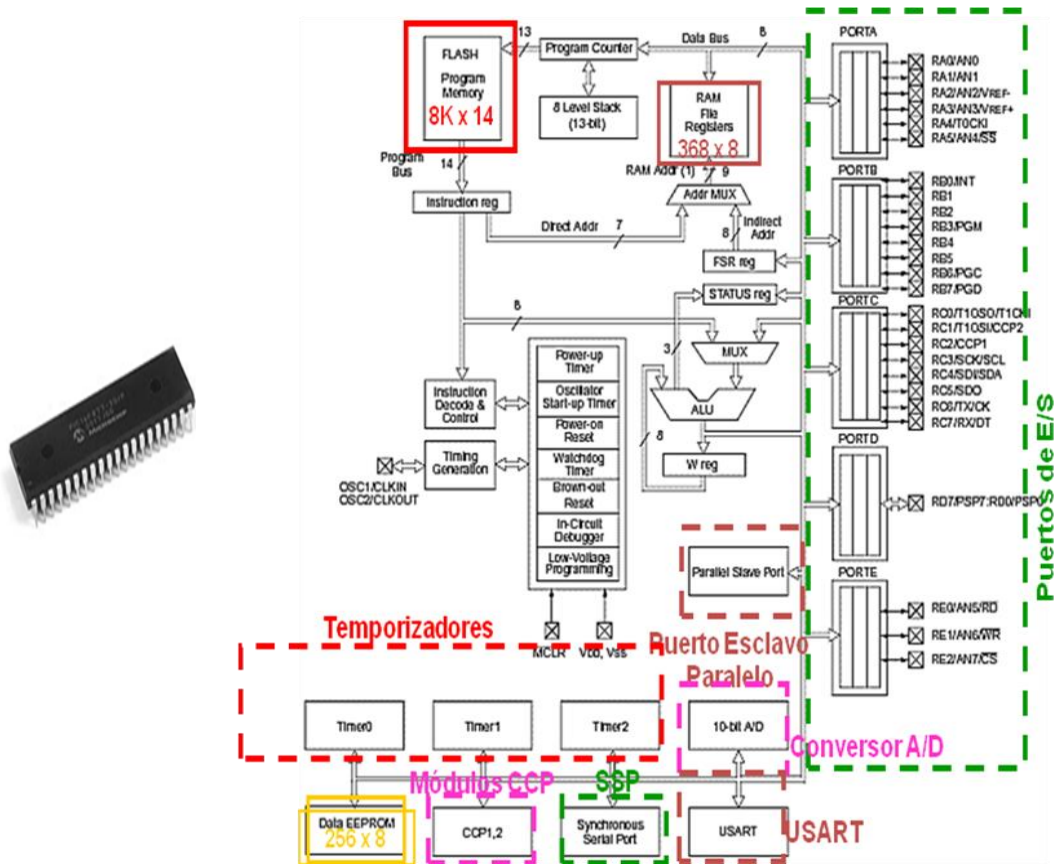
*77 instrucciones de 16 bits.*

**GAMA MEDIA**

*33 instrucciones de 14 bits.*

FUENTE: (Ccori, 2013) (Urbina, 2012)

Ilustración 31: Estructura interna PIC 16F877.



Fuente: (Eliezer, 2010) (Ccori, 2013)

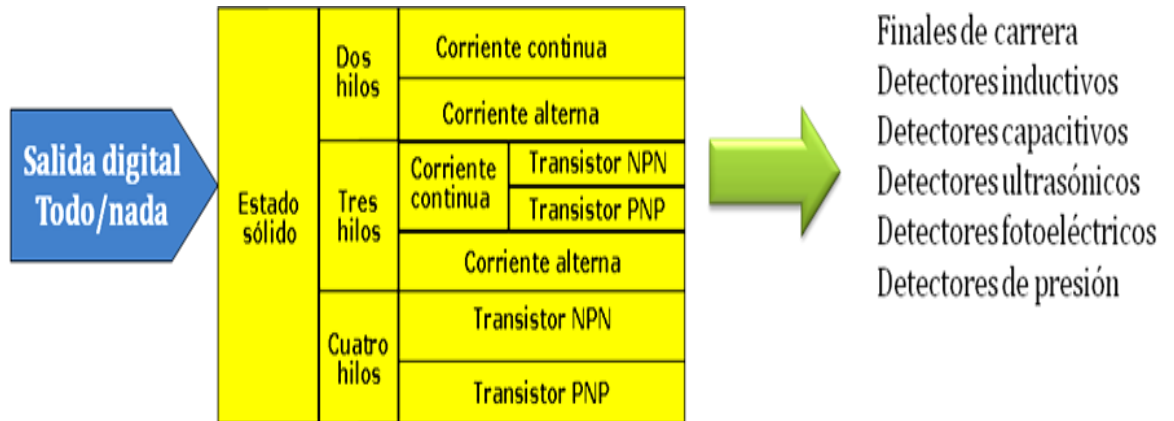
### 2.2.8. Sensor

Un sensor es un transductor el cual se utiliza para convertir variaciones del tipo mecánico, magnético, térmico, óptico o químico en señales del tipo eléctrico según la Universidad San Martín de Porres (2009).

Elementos que convierten magnitudes físicas en magnitudes eléctricas, que luego son transferidas a la parte de mando, para así conocer el estado del sistema. Son de varios tipos (inductivos, capacitivos, ópticos, magnéticos, ultrasónico, eléctrico, etc.) y tiene varias aplicaciones (detectar

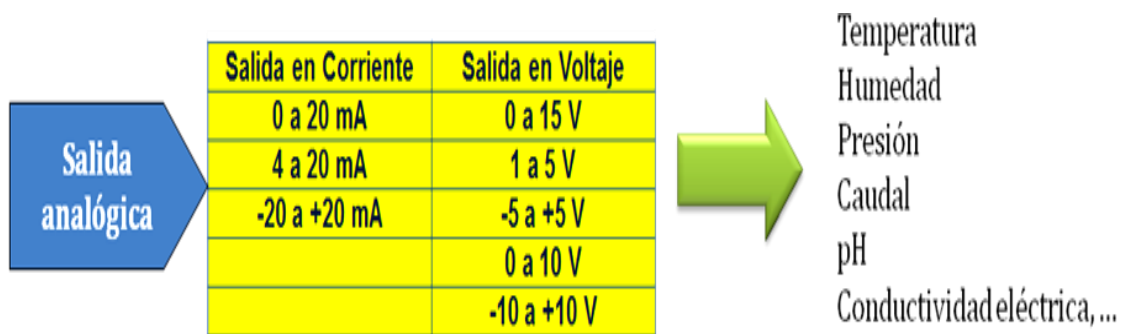
presencia, medir el nivel, la presión, temperatura, flujo, pH, etc.), (Ruedas Escobar, 2008)

**Ilustración 32:** Sensor de salida digital.



Fuente: (Departamento de Tecnología Electrónica Universidad de Vigo, 2007)

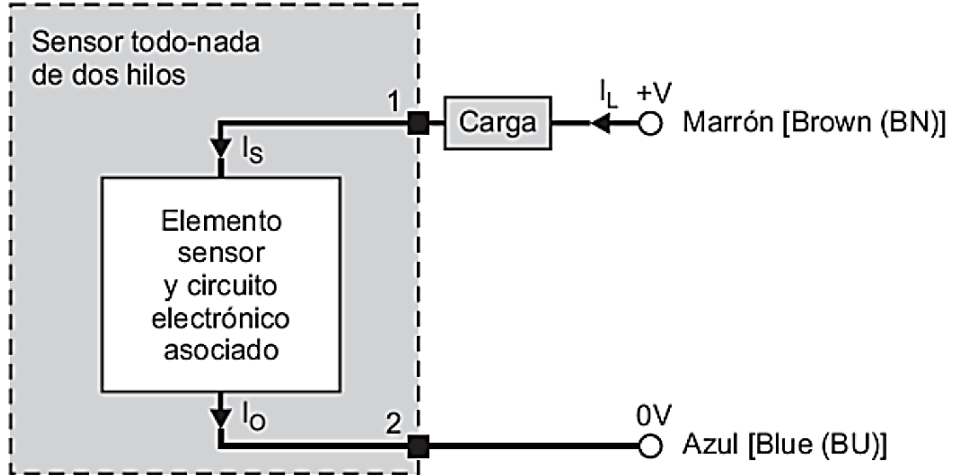
**Ilustración 33:** Sensor de salida analógica.



Fuente: (Departamento de Tecnología Electrónica Universidad de Vigo, 2007)

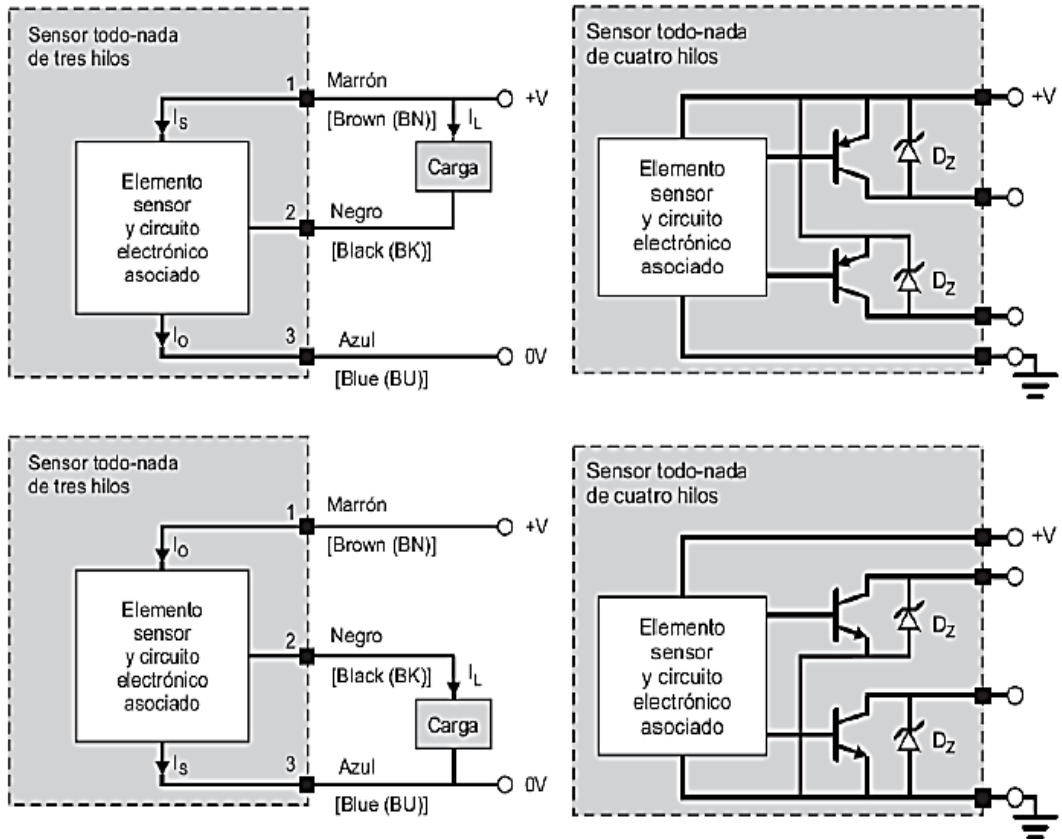
**Tipos de sensores de salida todo-nada**

**Ilustración 34:** Sensor todo-nada de dos hilos.

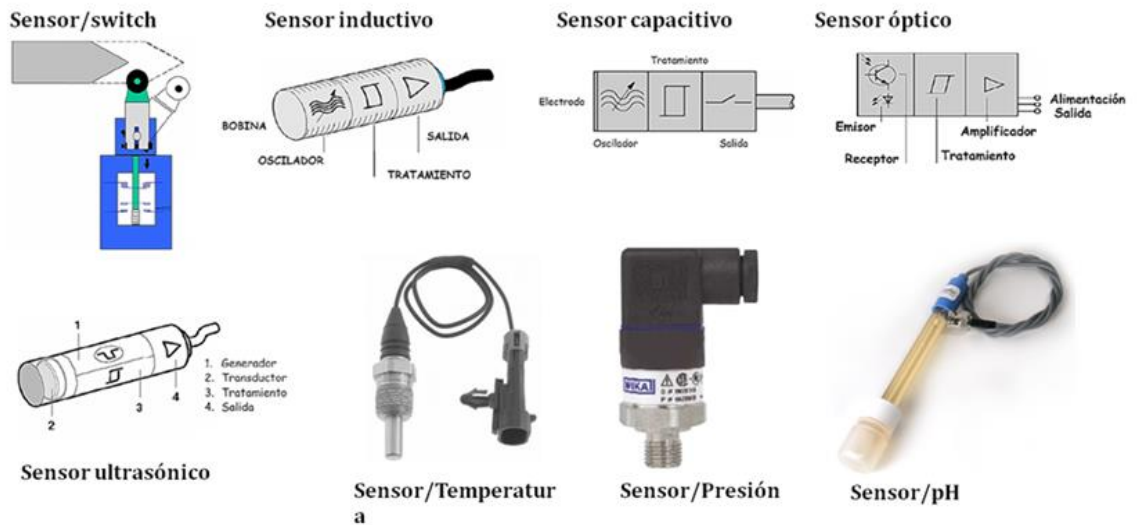


Fuente: (Daniels777, 2009)

**Ilustración 35:** Sensor todo-nada de tres hilos.



Fuente: (Daniels777, 2009)

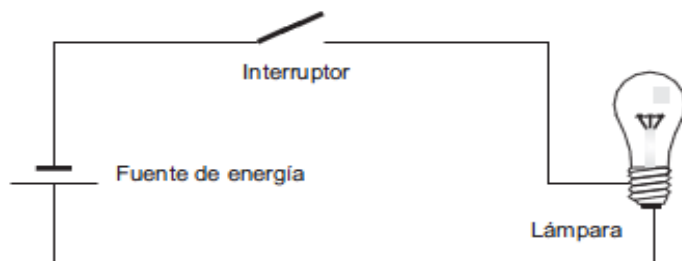
**Ilustración 36:** Variedad de sensores según su función.

Fuente: (Ccori, 2013)

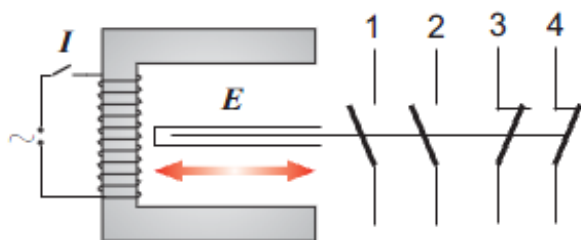
Hay varios sensores para utilizar para este tipo de proyecto, sensores de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica, temperatura.

### 2.2.9. Relé

Es un interruptor automático cuya conexión se realiza (y se mantiene) por medio de corriente eléctrica y un electroimán; con él podemos realizar diversas combinaciones y sus aplicaciones son múltiples. Las clases y características de los relés varían según la función a realizar y fabricante.

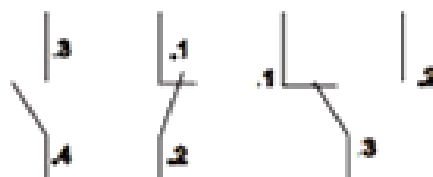
**Ilustración 37:** Circuito eléctrico básico.

Fuente: (Portland Public Schools, 2012)

**Ilustración 38: Relé**

Fuente: (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado, 2013)

**Ilustración 39: Nomenclatura y representación contactos abiertos y cerrados en relés.**



Fuente: (Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado, 2013) (De la Rosa Sánchez, 2012)

### Relé térmico

De protección contra sobrecargas eléctricas. Los encontramos en protección de motores. Le “salvan” la vida al motor y evita males mayores en la línea.

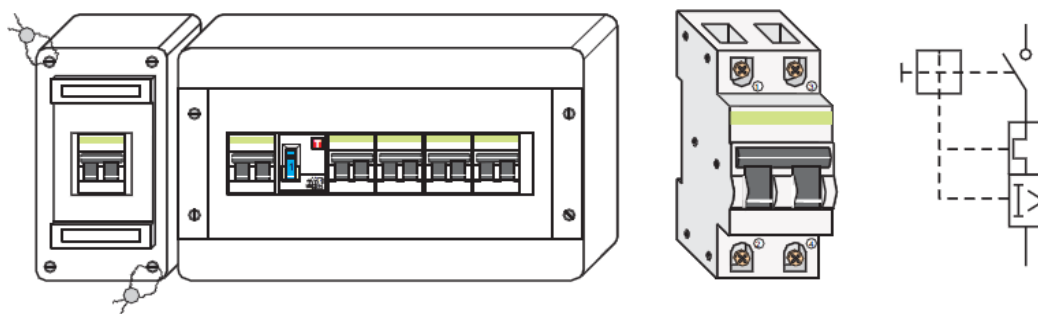
### Relé magneto-térmico

De protección contra sobrecargas con protección tipo relé térmico + relé electromagnético. Tiene muchas aplicaciones en el campo de la electricidad, los podemos encontrar en la vivienda en el cuadro general de



mando y protección, realizando diversas funciones. En viviendas a este relé se le conoce como PIA (pequeño interruptor automático).

**Ilustración 40:** Relé magneto-térmico.



Fuente: (Direct electro, 2013)

### 2.2.10. Contactor

Según Carlos González (2013): Es un interruptor accionado a distancia por medio de un electroimán.

Un contactor está constituido como el relé pero tiene la capacidad de soportar grandes cargas en sus contactos principales, aunque la tensión de alimentación de su bobina sea pequeña. Principalmente consta de 10 bornas de conexión (variará según modelo y marca):

- 2 para la alimentación de la bobina.
- 2 para un contacto abierto o cerrado usado en el circuito de control (contacto auxiliar). Este contacto se puede suplementar con bloques específicos de contactos que se asocian físicamente al contactor; pueden ser NC-NC; NC-NO-NO-NC; NO-NO, etc.

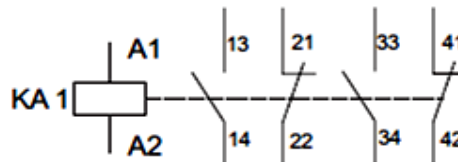
- 6 para la conmutación de las líneas de potencia (Contactos principales).

**Ilustración 41:** Símbolo normalizado relé o contactor auxiliar



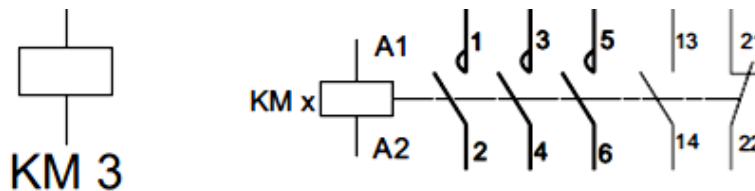
Fuente: (Fonseca Mancera & Alvarez Salazar, 2011)

**Ilustración 42:** Simbología completa de un relé



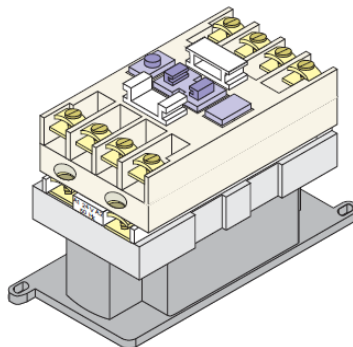
Fuente: (Fonseca Mancera & Alvarez Salazar, 2011)

**Ilustración 43:** Simbología del contactor



Fuente: (Fonseca Mancera & Alvarez Salazar, 2011)

**Ilustración 44:** Aspecto de un contactor industrial.



Fuente: (Fonseca Mancera & Alvarez Salazar, 2011)

## **Partes del contactor**

**Carcaza:** Es el soporte fabricado en material no conductor, con un alto grado de rigidez y resistencia al calor, sobre el cual se fijan todos los componentes conductores.

**Electroimán:** Es el elemento motor del contactor. Está compuesto por una serie de elementos cuya finalidad es transformar la energía eléctrica en magnetismo, generando un campo magnético muy intenso, el cual a su vez producirá un movimiento mecánico.

**Bobina:** Es un arrollamiento de alambre de cobre muy delgado y un gran número de espiras, que al aplicársele tensión genera un campo magnético.

**Núcleo:** Es una parte metálica, de material ferromagnético, generalmente en forma de E, que va fijo en la carcasa. Su función es concentrar y aumentar el flujo magnético que genera la bobina (colocada en la columna central del núcleo), para atraer con mayor eficiencia la armadura.

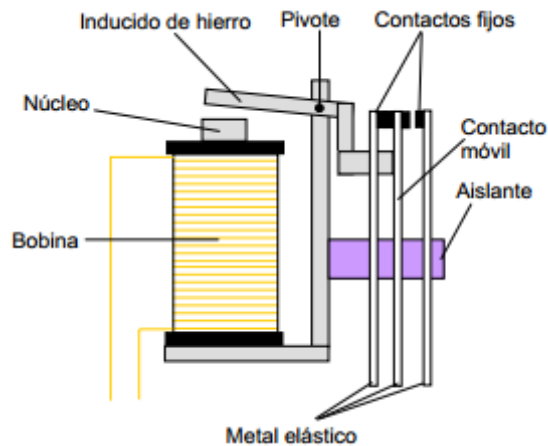
**Armadura:** Elemento móvil, cuya construcción se parece a la del núcleo, pero sin espiras de sombra, su función es cerrar el circuito magnético una vez energizada la bobina, ya que en este estado de reposo debe estar separado del núcleo, por acción de un muelle. Este espacio de separación se denomina entre hierro o cota de llamada. Las características del muelle permiten que, tanto el cierre como la apertura del circuito magnético, se realicen en forma muy rápida (solo unos 10 milisegundos).

**Contactos:** Son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de corriente, tanto en el circuito de potencia como en el circuito de mando, tan pronto se energice la bobina, por lo que se denominan contactos instantáneos. Todo contacto está compuesto por tres elementos: dos partes fijas ubicadas en la coraza y una parte móvil colocada en la armadura, para establecer o interrumpir el paso de la corriente entre las partes fijas. El contacto móvil lleva un resorte que garantiza la presión y por consiguiente la unión de las tres partes.

Según *electronicafacil* (2004) los contactos son elementos conductores que tienen por objeto establecer o interrumpir el paso de la corriente, ya sea en el circuito de potencia o en el de mando, tan pronto como se energice la bobina. Éstos se pueden dividir en:

- Contactos principales: Su función específica es establecer o interrumpir el circuito principal, permitiendo o no que la corriente se transporte desde la red a la carga.
- Contactos auxiliares: Contactos cuya función específica es permitir o interrumpir el paso de la corriente a las bobinas de los contactores o los elementos de señalización, por lo cual están dimensionados únicamente para intensidades muy pequeñas.

**Ilustración 45:** Estructura básica de un contactor o relé.



Fuente: (Hervás Chico, 2013)

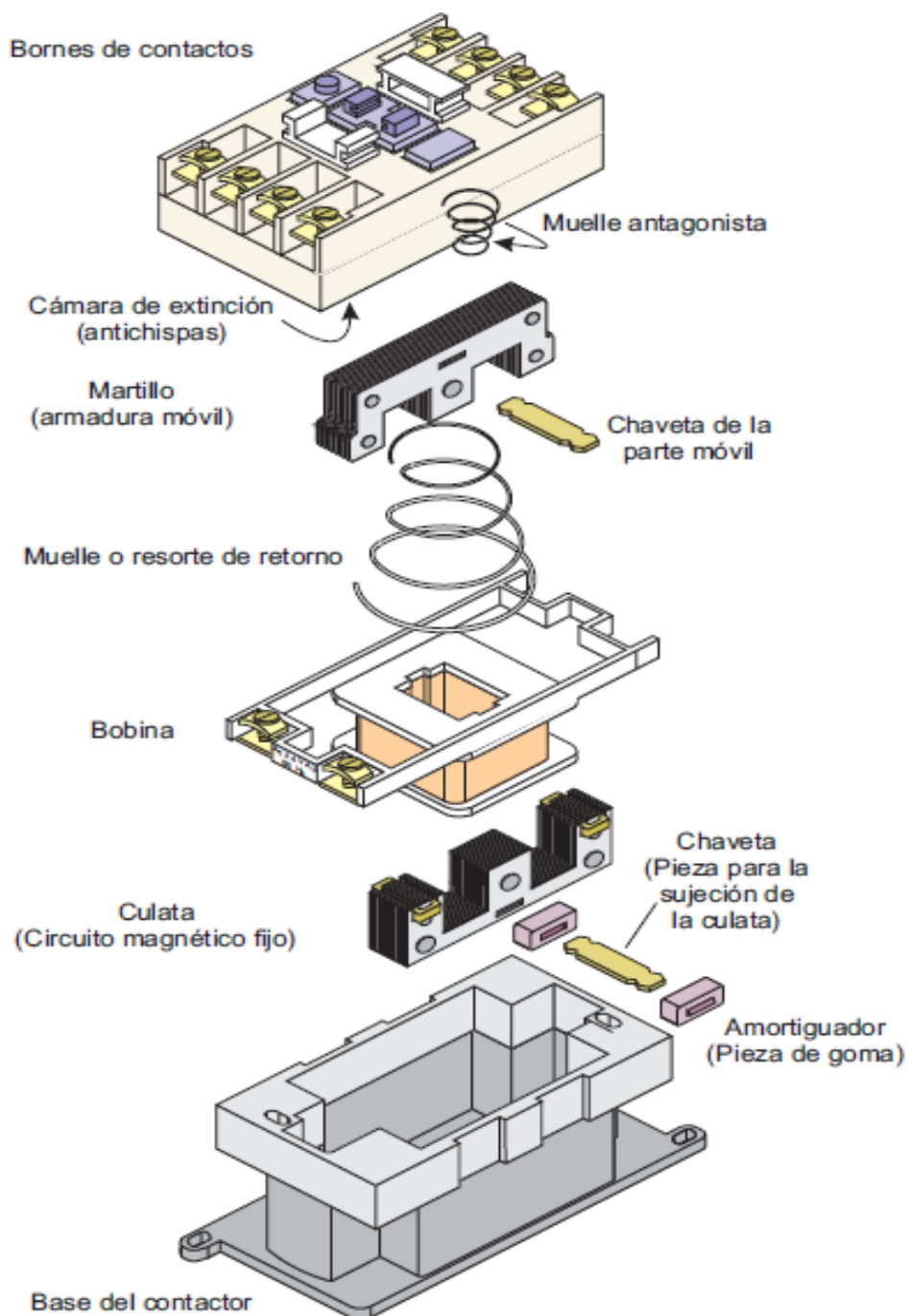
**Funcionamiento del contactor**

El flujo magnético produce un campo electromagnético, superior al par resistente de los muelles (resortes) que separan la armadura del núcleo, de manera que estas dos partes pueden juntarse estrechamente.

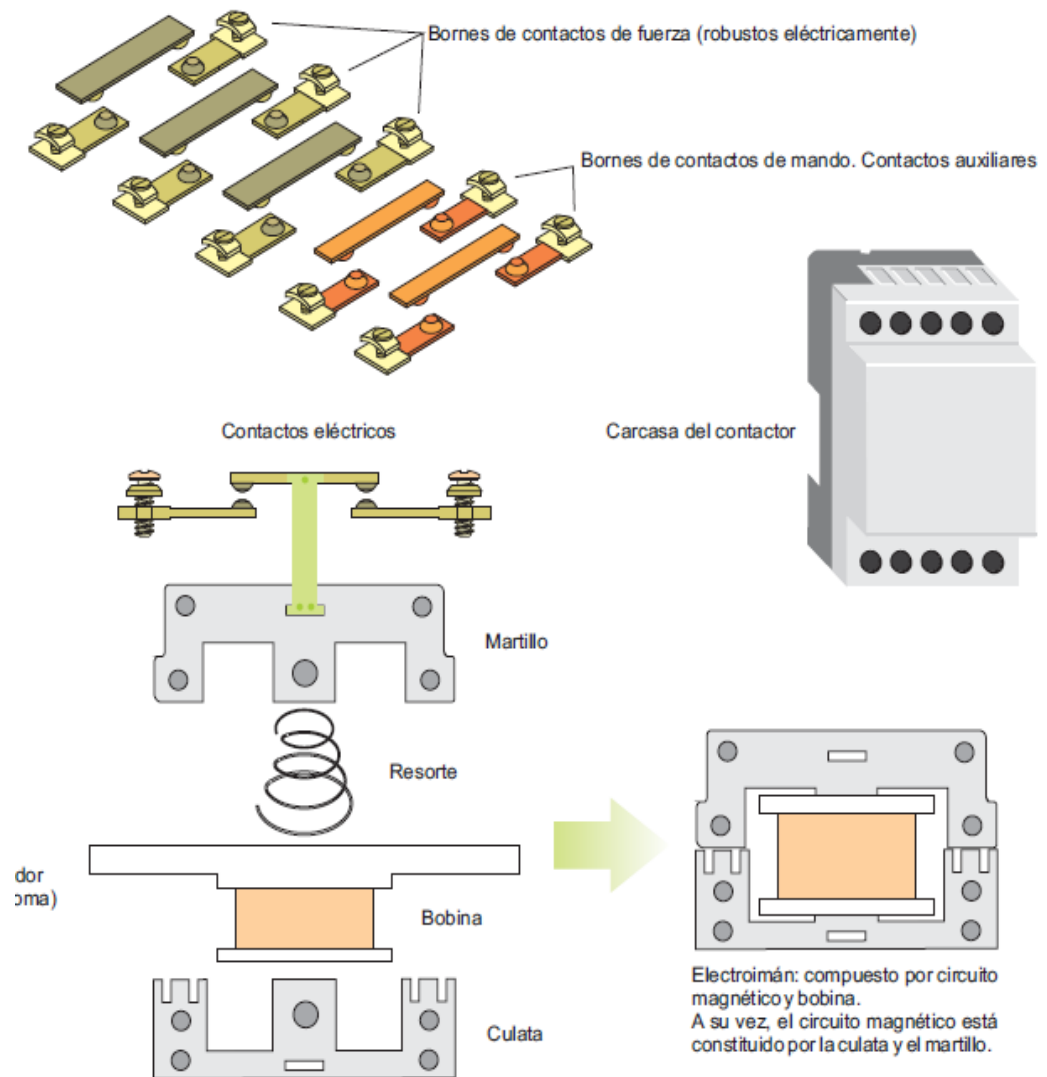
Cuando una bobina se energiza con corriente alterna (AC) la intensidad absorbida por esta, denominada corriente de llamada, es relativamente elevada, debido a que en el circuito prácticamente solo se tiene la resistencia del conductor. Esta corriente elevada genera un campo magnético intenso, de manera que el núcleo puede atraer a la armadura, a pesar del gran entrehierro y la resistencia mecánica del resorte o muelle que los mantiene separados en estado de reposo. Una vez que se cierra el circuito magnético, al juntarse el núcleo con la armadura, aumenta la impedancia de la bobina, de tal manera que la corriente de llamada se reduce considerablemente, obteniendo de esta manera una corriente de mantenimiento o trabajo mucho más baja.

Cuando el par resistente del muelle es mayor que el par electromagnético, el núcleo no lograra atraer la armadura o lo hará con mucha dificultad. Por el contrario, si el par resistente del muelle es demasiado débil, la separación de la armadura no se producirá con la rapidez necesaria.

**Ilustración 46:** Partes internas del contactor



Fuente: (Fonseca Mancera & Alvarez Salazar, 2011)

**Ilustración 47:** Otras partes del contactor

Fuente: (Laguna Guerrero, 2012)

### 2.2.11. Actuador

Dispositivo inherentemente mecánico cuya función es proporcionar fuerza para mover o “actuar” otro dispositivo mecánico. La fuerza que provoca el actuador proviene de tres fuentes posibles: Presión neumática, presión hidráulica, y fuerza motriz eléctrica (motor eléctrico o solenoide), según Vildósola C. (2013).

Transforman la energía en trabajo (fuerza lineal o giratoria, el movimiento lineal o giratorio, capacidad de regulación, acumulación de energía y transporte, aspectos ambientales, costes de energía), según Ruedas Escobar (2008).

El actuador más común es el actuador manual o humano (una persona mueve o actúa un dispositivo haciéndolo funcionar; así se hizo conveniente automatizar este proceso según Vildósola C. (2013).

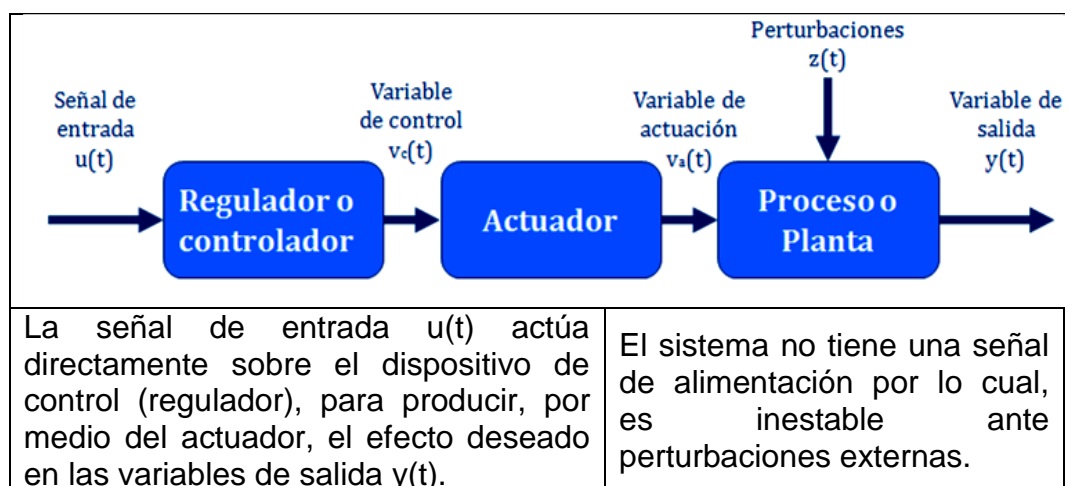
### Tipos de actuadores

Dependiendo del origen de la fuerza el actuador se denomina “neumático”, “hidráulico” o “eléctrico” según Vildósola C. (2013).

### Funcionamiento

Es importante comprender su funcionamiento para su correcta aplicación.

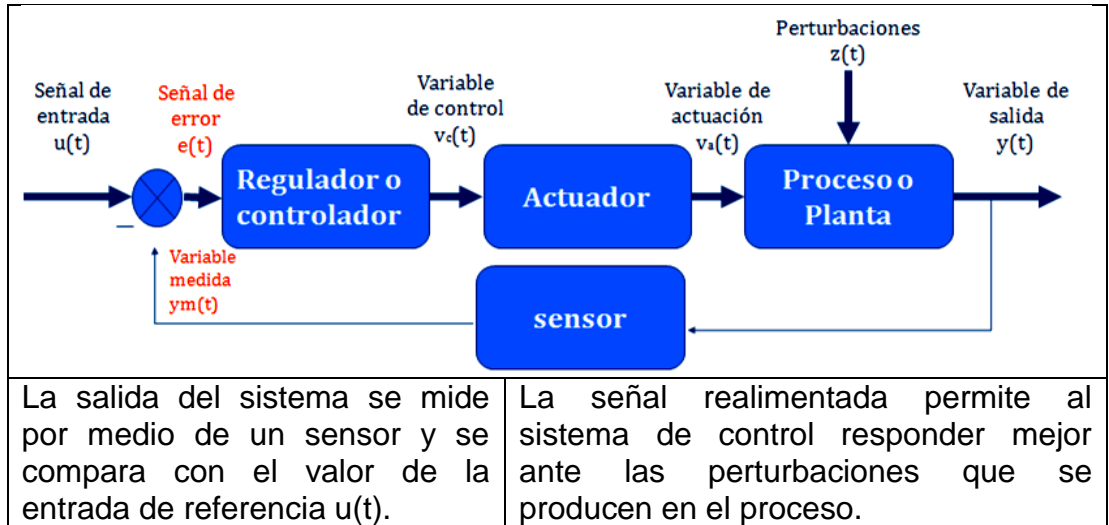
**Ilustración 48:** Control en lazo abierto



Fuente: (Armesto Quiroga, 2007)



### Ilustración 49: Control en lazo cerrado

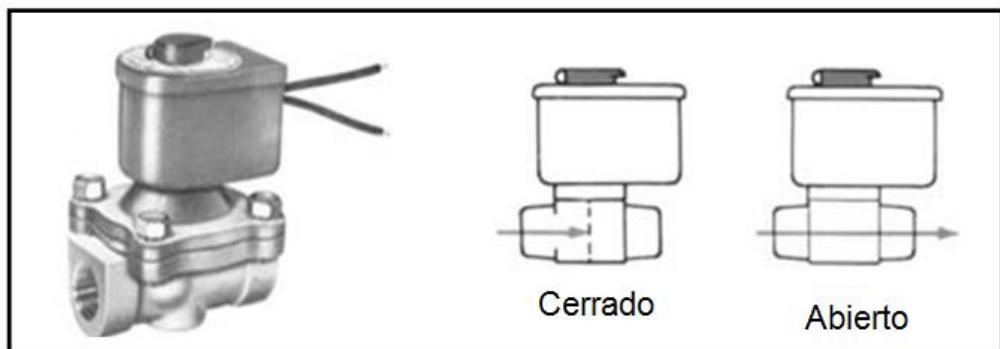


Fuente: (Armesto Quiroga, 2007)

### Electro válvula (actuador hidráulico)

La válvula solenoide es un dispositivo eléctrico, utilizado para controlar el flujo de líquidos o gases en posición completamente abierta o cerrada. A diferencia de las válvulas motorizadas, las cuales son diseñadas para operar en posición moduladora, la válvula de solenoide no regula el flujo, según Fidena.

### Ilustración 50: Electro-válvula cerrada y abierta



Fuente: (Tecnoficio, 2011)

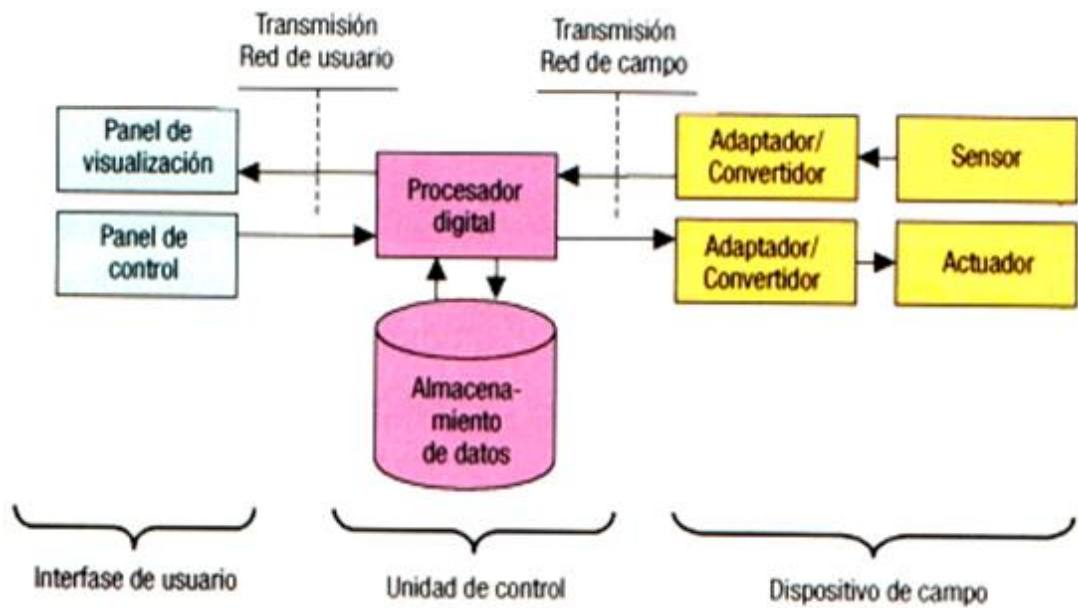
### 2.2.12. Sistemas SCADA

Es una aplicación software de control de producción, que se comunica con los dispositivos de campo y controla el proceso automáticamente desde el ordenador. El control lo hacen los controladores digitales y/o autómatas programables conectados a un ordenador, realiza funciones de diálogo con el operador, tratamiento de la información y control de la producción. (Ccori, 2013)

La lógica escalera a menudo es escrita en forma no estructurada lo que se hace difícil de analizar y corregir. Esto puede ser remediado mediante un simple enfoque estructural llamado diagrama de estados. Un diagrama de estados es una representación pictórica, un tipo especial de diagrama de flujo, de un proceso de control secuencial que muestra los posibles caminos que el proceso puede tomar y las condiciones booleanas necesarias para pasar de un estado al otro.

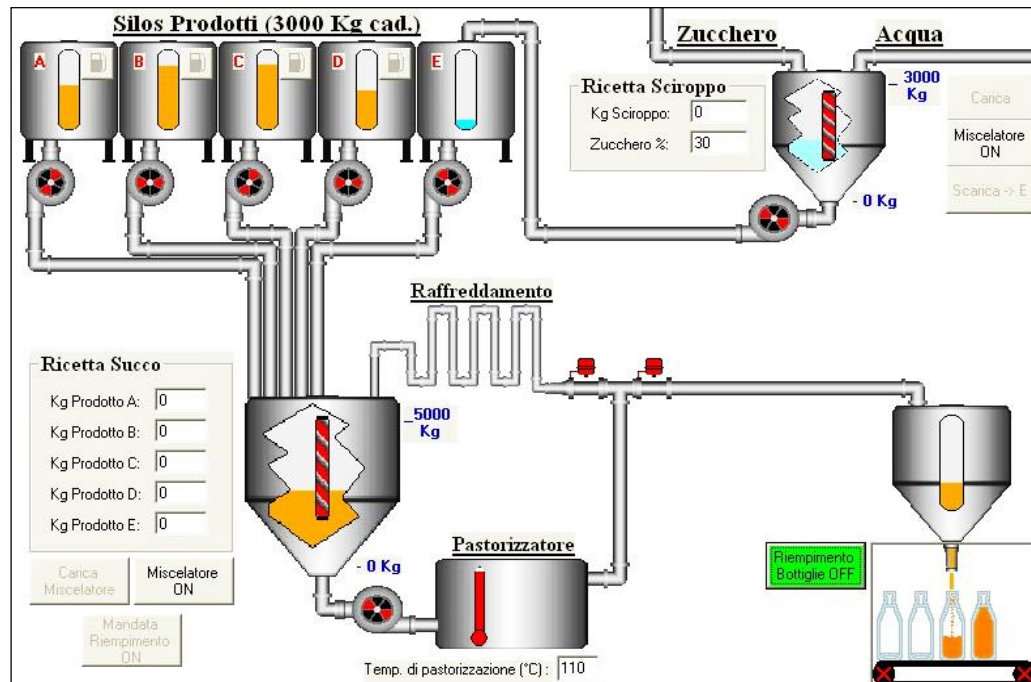
- El primer paso en este enfoque a la programación estructurada es preparar una descripción de lo que se necesita hacer.
- El segundo paso es trasladar esta descripción a un diagrama de estados, determinando los estados únicos a través de los cuales el proceso avanza. Cualquier cambio que se dé en las condiciones de salida necesita ser mostrado en un nuevo estado.
- El tercer paso es conectar estos estados con líneas y flechas para indicar las direcciones de cambio deseado.
- Finalmente, se agregan las condiciones lógicas, escritas en forma booleana, que causan un cambio de un estado a otro.

**Ilustración 51:** Esquema básico de un SCADA.



Fuente: (De Castro Lozano & Romero Morales, 2014)

**Ilustración 52:** Ejemplo de Software de control de producción.



Fuente: (Tecnologias Logicas, 2008) (Ccori, 2013)

## Funciones Principales de SCADA

Según (Ccori, 2013):

- **Adquisición** de datos, para recoger, procesar y almacenar la información recibida.
- **Supervisión**, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- **Control**, para modificar la evolución del proceso, actuando bien sobre los reguladores autónomos básicos (consignas, alarmas, menús, etc.) bien directamente sobre el proceso mediante las salidas conectadas.

## Componentes Hardware del sistema SCADA

Según (Ccori, 2013):

- Ordenador Central o MTU (master terminal unit).
- Ordenadores Remotos o RTU's (remote terminal units).
- Red de comunicación.
- Instrumentación de campo.

## Interfaz de comunicación del sistema SCADA

Según (Ccori, 2013):

- **Interface OPC** (OLE for Process Control)

- **Redes Industriales**, Nivel bus de campo, Nivel LAN, Nivel LAN/WAN.
- **Bus de Campo**, BITBUS, Profibus, S-BUS, FIP, MIL-STD-1553B

### 2.2.13. LabView

Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench, es un entorno de desarrollo de aplicaciones, un software, u lenguaje de programación que permite el diseño y creación de sistemas de adquisición de datos (recolectar), procesarlos (presentación, visualización, análisis y compartir), medidas, instrumentación y control. LabView, 2011 es Programa de Servicio Estándar (SSP). Permite crear interfaces de usuario rápida y personalizadas, tiene bibliotecas integradas y específicas para ingeniería de funciones de software e interfaces de hardware. Permite conectarse e integrarse a hardwares (GPIB, VXI, RS-232, RS-485 y tarjetas de adquisición de datos plug-in, incluyendo instrumentos de escritorio, tarjetas insertables, controladores de movimiento y controladores lógicos programables o PLCs). En cuanto a compatibilidad (permite usar múltiples tipos de archivos), innovación, despliegue de múltiples objetivos, procesamiento en paralelo y multi-núcleo.

Permite utilizar estándares de software como TCP/IP y ActiveX. (Euskal Herriko Unibertsitatea, 2003)

LabView permite acelerar la productividad, procesar imágenes y señales, controlar instrumentos, automatizar sistemas de pruebas y validación,

realizar sistemas de embebidos de monitoreo y control, desarrollo e implementación de software, simulación, generación de reportes.

Ejemplo de aplicaciones: Control de temperatura, control/acelerador de partículas

#### **2.2.14. Fisiología vegetal**

Según el catedrático Fernando Pérez Leal, es importante conocer cómo transpira una planta, porque lo hace, cuando ocurre este fenómeno y que cambios metabólicos se llevan a cabo cuando la planta está realizando sus funciones vitales (como la nutrición mineral, la absorción de agua, fotosíntesis y respiración, entre otros), conocer su estructura (tejidos vegetales, la célula, órganos reproductores) y sobre todo lo relacionado a plantas cultivadas dentro del campo de la agricultura, la cual está relacionada a diferentes ramas de la ciencia como: la biología, botánica, fisiología, genética, matemática, agroindustrias, automatización, etc.

Funciones básica de las plantas según Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (2012):

1. Absorción de agua.
2. Transporte de agua.
3. Transpiración.
4. Nutrición Mineral.
5. Fotosíntesis.

6. Respiración.

7. Crecimiento y Desarrollo.

**Tabla 6:** Funciones básicas de las plantas

<b>Funciones</b>	<b>Definición</b>
Absorción de agua	Se da a través de las raíces, desde el exterior hasta el interior de la planta, y las fuerzas que intervienen
Transporte de agua	Cuando el agua se encuentra en el interior de la raíz, se transporta hacia todas las partes de la planta a través de los conductos vasculares.
Transpiración	Es la pérdida de agua, en forma de vapor, por las distintas partes de la planta, produciendo un efecto refrigerante. Una mínima cantidad de agua es retenida por la planta, la mayor cantidad se evapora y pasa a la atmósfera a través de las hojas y de otras estructuras aéreas. Está relacionada al crecimiento de las plantas, la fotosíntesis y la absorción de dióxido de carbono.
Nutrición Mineral	Es el proceso por el cual las plantas adquieren los elementos químicos esenciales necesarios para su crecimiento y desarrollo. El término elemento esencial mineral o nutriente mineral fue propuesto por Arnon y Stout en 1939. Es necesario para el óptimo crecimiento y desarrollo de la planta y su ausencia provoca un síntoma característico. Los nutrientes minerales son introducidos y transportados a través del flujo hídrico, son llevados hasta el interior de cada célula donde serán utilizados para la síntesis de los compuestos que actúan en el metabolismo celular.
Fotosíntesis	La luz solar es transformada en energía química por las plantas. Existen estructuras que se encargan de estas transformaciones y se sintetiza la glucosa.
Respiración	Son una serie de reacciones necesarias para desdoblar u oxidar la glucosa, que fue sintetizada en fotosíntesis, y liberar energía en forma de ATP que luego será utilizada en el resto del metabolismo celular. Ciclo de Krebs.
Crecimiento y Desarrollo	Describe el uso de la energía "producida" en la respiración en forma de ATP para la división celular y como consecuencia de esta división de la célula el consiguiente crecimiento de la planta. Los fitorreguladores endógenos y exógenos su importancia y posible aplicación en la agricultura. Existen los mecanismos que provocan la germinación de las semillas y el crecimiento y formación de las primeras estructuras de la nueva a planta.

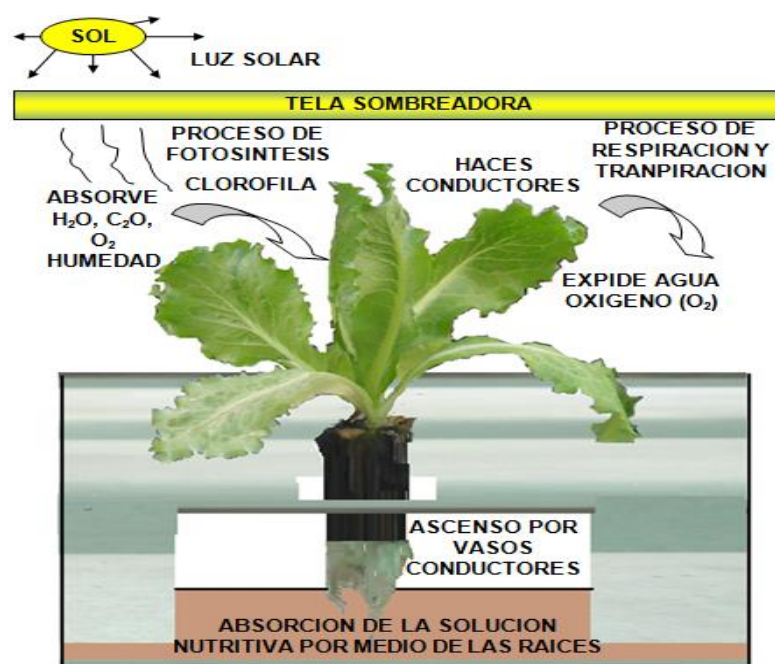
Fuente: Entrevista al Doctor Fernando Pérez Leal

(Catedrático del curso de Fisiología Vegetal)

Según la explicación brindada por el catedrático y encargado del Centro de Investigación Hidropónico de la UNU el Doctor Fernando Pérez Leal: En el día ocurren diversos procesos, por la luz, la planta transpira, realiza fotosíntesis, foto-respiración y ocurren cambios metabólicos, favorece el transporte de minerales y absorción de agua desde la raíz hasta la parte aérea.

Para que haya transpiración tiene que haber apertura de estomas como si fueran los poros de las plantas que se abren y se cierran cuando hay luz. La luz ejerce un efecto en el cambio de pH de la célula oclusiva. La luz sirve para la fotosíntesis de las células oclusivas, a través del cual se producen azúcares, aumentando la presión osmótica de las células oclusivas, que hace que el agua ingrese y se abra; porque cuando hay cambio en la constitución de los azúcares a almidones cambia el potencial osmótico, la célula oclusiva pierde agua y se cierra cuando no hay luz.

**Ilustración 53:** Proceso de transpiración y el sistema hidropónico



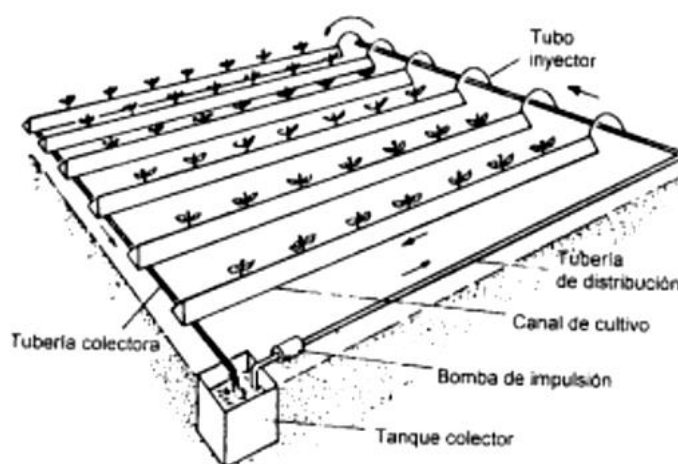


Esta pérdida de agua, en mayor cantidad se evapora y pasa a la atmósfera por la planta, una mínima cantidad de agua es retenida. Colaborando con el crecimiento de las plantas, la fotosíntesis y la absorción de CO<sub>2</sub>.

### 2.2.15. Hidroponía

En Sudamérica, la tecnología es específicamente utilizada para regiones con carencias de suelo y/o agua o con exceso de frío o calor, donde las condiciones ambientales naturales inhiben el crecimiento vegetal, esta es la principal barrera mental para el desarrollo de la hidroponía en Sudamérica. En países desarrollados, como Japón, Estados Unidos, Canadá, España, Holanda, Israel, China entre otros, es una actividad de alto rendimiento, de carácter complejo y sofisticado incluso para viajes espaciales o a la Antártida, para fines comerciales y sociales usado a nivel familiar, escolar, personas con discapacidad o de la tercera edad. Se puede cultivar en invernaderos o invernáculos con diferentes climas (Marulanda e Izquierdo, 1997).

**Ilustración 54:** Esquema básico del sistema hidropónico (Cooper 1979)



## Ventajas y desventajas

Entre las desventajas se mencionan al costo de las instalaciones.

**Tabla 7:** Análisis comparativo de cultivos tradicionales e hidropónicos o sin suelo

<b>Aspecto</b>	<b>Sobre Suelo</b>	<b>Sin Suelo/Hidroponía</b>
Nutrición de la planta	Muy variable, difícil de controlar	Controlada, estable, fácil de chequear y corregir
Espaciamiento	Limitado a la fertilidad	Densidades mayores, mejor uso del espacio y la luz
Control de malezas	Presencia de malezas	Prácticamente inexistentes
Enfermedades y patógenos del suelo y nematodos	Enfermedades del suelo	No existen patógenos del suelo
Agua	Plantas sufren estrés ineficiente uso del agua	No existe estrés hídrico, pérdida casi nula

Fuente: Universidad de Osaka - Japón JICA, Curso de Horticultura

Protegida 1998.

**Ilustración 55:** Modelo de cultivo hidropónico no automatizado en sustrato sólido.



Fuente: (Hacer hidroponía fácil, 2009)

**Tabla 8:** Comparación de hortalizas cultivadas en hidroponía y cultivo tradicional

Cultivo	Hidropónico		Tradicional	
	Producción Cosecha T/ha	Nº Cosechas por año	Rendimiento Total Año T/Ha	Rendimiento Total Año T/Ha
Frijol	11,5	4	46	6
Pepino	250,5	3	750	30
Berenjena	28	2	56	20
Lechuga	31,3	10	313	52
Pimentón	32	3	96	16
Tomate	187,5	2	375	100

Fuente: (Universidad Peruana Cayetano Heredia, 2013)

Análisis comparativo de diferentes especies de hortalizas cultivadas en hidroponía y cultivo tradicional

**Tabla 9:** Análisis comparativo entre Geoponía e Hidroponía.

Cultivo en Tierra	Cultivo Hidropónico
<b>Número de plantas</b>	
<i>Limitado por la nutrición que puede proporcionar el suelo y la disponibilidad de la luz.</i>	<i>Limitado por la iluminación; así es posible una mayor densidad de plantas iguales, lo que resulta en mayor cosecha por unidad de superficie.</i>
<b>Preparación del suelo</b>	
<i>Barbecho, rastreo, surcado.</i>	<i>No existe preparación del suelo.</i>
<b>Control de malas hierbas</b>	
<i>Gasto en el uso de herbicidas y labores culturales</i>	<i>No existen y por lo tanto no hay gastos al respecto.</i>
<b>Enfermedades y parásitos del suelo</b>	
<i>Gran número de enfermedades del suelo por nematodos, insectos y otros organismos que podrían dañar la cosecha. Es necesaria la rotación de cultivos para evitar daños.</i>	<i>Existen en menor cantidad las enfermedades pues prácticamente no hay insectos u otros animales en el medio de cultivo. Tampoco hay enfermedades en las raíces. No se precisa la rotación de cultivos.</i>
<b>Agua</b>	
<i>Las plantas se ven sujetas a menudo a trastornos debidos a una pobre relación agua-suelo, a la estructura del mismo y a una capacidad de retención baja.</i>	<i>No existe stress hídrico; se puede automatizar en forma muy eficiente mediante un detector de humedad y control automático de riego.</i>

<i>Las aguas salinas no pueden ser utilizadas, y el uso del agua es poco eficiente tanto por la percolación como por una alta evaporación en la superficie del suelo.</i>	<i>Se puede emplear agua con un contenido relativamente alto de sales, y el apropiado empleo del agua reduce las pérdidas por evaporación y se evita la percolación.</i>
---	--

#### **Fertilizantes**

<i>Se aplican a boleo sobre el suelo, utilizando grandes cantidades, sin ser uniforme su distribución y presentando además considerables pérdidas por lavado, la cual alcanza en ocasiones desde un 50 a un 80%.</i>	<i>Se utilizan pequeñas cantidades, y al estar distribuidos uniformemente (disueltos), permiten una absorción más homogénea por las raíces; además existe poca pérdida por lavado.</i>
--	--

#### **Nutrición**

<i>Muy variable; pueden aparecer deficiencias localizadas. A veces los nutrientes no son utilizados por las plantas debido a una mala estructura del terreno o a un pH inadecuado, del cual hay dificultad para muestreo y ajuste.</i>	<i>Hay un control completo y estable de nutrientes para todas las plantas, fácilmente disponible en las cantidades precisas. Además hay un buen control de pH, con facilidad para realizar muestras y ajustes.</i>
--	--

#### **Desbalance de nutrientes**

<i>Una deficiencia nutricional o el efecto tóxico de algunos elementos en exceso puede durar meses o años.</i>	<i>Este problema se soluciona en unos cuantos días.</i>
--	---

#### **Calidad del fruto**

<i>A menudo existe deficiencia de Calcio y Potasio, lo que da lugar a una escasa conservación.</i>	<i>El fruto es firme, con una capacidad de conservación que permite a los agricultores cosechar la fruta madura y enviarla, a pesar de ello, a zonas distantes. Algunos ensayos han mostrado un mayor contenido de vitamina A en los jitomates cultivados bajo técnicas hidropónicas, respecto a los cultivados en tierra.</i>
--	--

#### **Esterilización del medio**

<i>Vapor, fumigantes químicos, trabajo intensivo, proceso largo al menos dos o tres semanas.</i>	<i>Vapor, fumigantes químicos con algunos de los sistemas. Con otros se emplea simplemente Ácido Clorhídrico o Hipoclorito Cálcico. El tiempo para la esterilización es corto</i>
--	---

#### **Costo de producción**

<i>Uso de mano de obra, fertilizantes, fungicidas, insecticidas, preparación del suelo, etc.</i>	<i>Todas las labores pueden automatizarse, con la consiguiente reducción de gastos. No se usan además implementos agrícolas. En resumen: ahorro de tiempo y dinero en estos aspectos.</i>
--	---

	<b>Sustratos</b>
<i>Tierra.</i>	<i>Posibilidad de emplear diversos sustratos de reducido costo, así como materiales de desecho.</i>
	<b>Mano de obra</b>
<i>Necesariamente se debe contar con conocimientos, o asesoría.</i>	<i>No se necesita, a pequeña escala, mano de obra calificada.</i>

Fuente: (Olimpiadas Nacionales de Contenidos Educativos en Internet, 2002)

### **Componentes de un cultivo hidropónico**

1. Diseño del sistema hidropónico propuesto a implementar.
2. Semillas del tipo de cultivo de hortaliza a sembrar.
3. Sustrato: que es el medio de cultivo donde se agregan los nutrientes y sirve de soporte a una planta. Para hidroponía a diferencia de la tierra, el sustrato no aporta ningún elemento a la nutrición de la planta o sea es un material inerte que puede ser líquido como el agua o sólido como la grava o arena lavada.
4. Contenedor o recipiente donde se va colocar el cultivo. Pueden ser de plástico, en cajas, bolsas, tubería de PVC, y otros.
5. Ambiente: Es el espacio donde se mantiene al cultivo. En este caso puede ser controlado, semi-controlado como en un invernadero, pero también se puede cultivar al aire libre como en una azotea o en un patio, procurando sembrar las hortalizas en la estación adecuada del año.

6. Equipo de control. Sensores, Actuadores (Solenoides, Válvulas, etc.), Hardware y Software.
7. Estrategias y políticas de control del sistema automatizado.
8. Base de datos.

### **Usos de la hidroponía**

Existen grandes instalaciones hidropónicas a lo largo del mundo para el cultivo de flores y verduras (Alpizar, 2004). Hay grandes invernaderos hidropónicos en funcionamiento en Tucson, Phoenix (Arizona, Estados Unidos) y Abu Dhabi (instalación con aguas desalinizada del Golfo Pérsico).

Hoy la hidroponía es una rama de la ciencia agronómica, que ayuda a la alimentación de millones de personas desde los desiertos de Israel, Líbano y Kuwait, hasta Sri Lanka, Filipinas, Calcuta, en América Latina Venezuela, Perú, Chile, Ecuador, Paraguay, Brasil, Colombia (Barbado, 2005).

En estos últimos años la producción de vegetales se ha centrado en los cultivos de alto precio como tomates, pepinos, lechugas. La producción aumentó junto con la demanda en estos productos. Es posible cultivar hidropónicamente un gran número de plantas (Rodríguez et al. 2004). Se puede cultivar hortalizas de hojas, frutos o de raíz; cultivos que producen tubérculos, bulbos, tallos; plantas aromáticas, medicinales, ornamentales, flores (Marulanda e Izquierdo, 1997). También la hidroponía es muy

usada para producir forraje fresco para alimentar animales de granja (Arano, 1998).

### **Sustratos para cultivos hidropónicos**

Se utiliza un sustrato especial en lugar de tierra, algunos de los sustratos más utilizados son: aserrín, cáscara de arroz, cáscara de arroz carbonizado, grava, tezontle negro, tezontle rojo, grazón, tepojal, arena de río, piedra pómez, fibra de coco, carbón mineral, carbón vegetal, lana de roca, vermiculita, perlita.

#### **2.2.16. Tipos de sistemas hidropónicos**

Según Rodríguez et al. (2004), Básicamente los sistemas de producción de cultivos hidropónicos se pueden clasificar en dos grandes grupos a saber según el tipo de sustrato que utilizan como sigue:

- Sistemas hidropónicos en agua.
- Sistemas hidropónicos con sustrato.

Cada uno de estos dos tipos de sistemas hidropónicos cuenta con una serie de variantes, que dependen básicamente de la forma en que se dispone el sustrato y el recipiente utilizado para ello. Por ejemplo en los sistemas hidropónicos con sustrato líquido se encuentran, el sistema de raíz flotante y el sistema re-circulante o NFT; para los sistemas

hidropónicos que emplean sustrato sólido se cuenta con el sistema de canales, sistema de cajuela y el sistema de mangas colgantes.

### **Sistema hidropónico de raíz flotante**

Según Rodríguez et al. (2004), de todos los métodos de cultivo sin suelo, el cultivo en agua, por definición, es el auténtico cultivo hidropónico. El sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó tanto a nivel experimental como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo.

En este tipo de sistema hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de duroport o tecnopor perforada para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido o solución nutritiva.

Las hortalizas aprovechables por sus hojas que con frecuencia son cultivadas de esta forma son: Lechuga, albahaca, apio, etc. Principalmente, porque estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces, absorbiendo eficientemente el oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

Este sistema ha sido probado en diferentes lugares con fines comerciales y su funcionamiento básico sigue vigente hasta la actualidad. A nivel comercial se realizaron una serie de mejoras fundamentales relacionadas principalmente al factor limitante que es la oxigenación. La principal técnica comercial es la técnica de lujo profundo DFT (Deepflow Technique),



donde planchas de tecnopor flotan sobre una solución nutritiva aireada frecuentemente a través de una compresora.

Cabe afirmar que esta técnica permite optimizar el crecimiento y desarrollo del cultivo, logrando reducir su período vegetativo con bajo consumo de agua. Además de la obtención de plantas saludables y libres de enfermedades lo cual genera importantes ventajas de tipo sanitario. Así mismo permite aprovechar áreas pequeñas.

### **Sistema hidropónico NFT**

Según Huertohidroponicocch (2013) el pionero de esta técnica fue Allen Cooper, en el Glass house Crops Research Institute, en Littlehampton (Inglaterra), en 1965. El término NFT (Nutrient Film Technique) fue utilizado en dicho instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudiera disponer oxígeno necesario. Otros trabajos llamaron a esta técnica “técnica de flujo de nutrientes”, puesto que la solución de nutrientes circula de forma continua (Schippers, 1979), también llamado sistema recirculante. Este sistema es mayormente utilizado para cultivos comerciales de lechuga y hierbas. (Carrasco e Izquierdo, 1996).

Es un sistema complejo, pero muy eficaz para la producción a gran escala. La cantidad del líquido que fluye por las raíces de la planta debe ser poco; es decir, que apenas toque las raíces y el tallo de la planta; para ello es importante que los canales sean de estructura rectangular. El

choque constante del fluido en las raíces impulsa a la planta a crecer más rápido, lo cual acorta el ciclo de cultivo, haciéndolo altamente rentable (Alpizar, 2004).

La NFT es una técnica de cultivo en agua en la cual las plantas crecen teniendo su sistema radicular dentro de un tubo de plástico, a través del cual circula continuamente la solución de nutrientes (Rodríguez et al. 2004).

### **Sistemas hidropónicos con sustrato y riego por goteo**

Según Resch (2001). Dentro de los sistemas hidropónicos, el sistema de riego por goteo es el más usado a nivel mundial, principalmente con lana de roca (rockwool en inglés). El área mundial destinada a la producción con lana de roca está en el orden del 60%. La lana de roca es un sustrato obtenido por fusión de la roca, lo cual luego es hilado en fibras y embolsado o precintado en bloques y planchas. Su principal característica es que contiene muchos espacios vacíos (97%), lo cual permite sostener niveles muy altos de agua disponible y también un buen contenido de aire.

Es el principal medio usado en países donde lo fabrican como Holanda, España, EEUU. Por ser la lana de roca un material de volumen y, debido al alto costo del flete para su importación, es preferible y aconsejable utilizar sustratos naturales, locales alternativos en países donde no se produce. La piedra pómez es un sustrato natural excelente. (Rodríguez et al. 2004)

La solución nutritiva o el agua son suministradas a cada planta a través de goteros conectados en mangueras de goteo de polietileno de color negro. El riego se hace aplicando pequeñas cantidades de solución nutritiva directamente a la zona radicular. El sistema es muy usado para la producción de cultivos de fruto como tomate, pimiento, melón, pepinillo y sandía. (Rodríguez et al. 2001).

### **Sistemas hidropónicos de columnas**

Este sistema permite una alta producción de plantas por unidad de área pero está restringido solo para plantas de porte pequeño. Es muy usado para la producción de fresas. Las plantas que crecen en un sistema de columnas deben estar bien iluminadas, de lo contrario tendrían una menor tasa fotosintética, afectando su rendimiento. (Rodríguez et al. 2004).

Las columnas pueden ser mangas plásticas de 8 micras de espesor y de 25 y 30cm de diámetro, o macetas de termopor de 3,4 a 4,0 litros de capacidad, las cuales van apiladas una sobre otra; también puede utilizarse tubos de PVC de 6 ó 8 pulgadas de diámetro, aunque no es aconsejable por su mayor costo con respecto a las dos primeras opciones. En cada columna de 8 macetas apiladas se pueden cultivar hasta 32 plantas. (Samperio, 2004).

Las columnas, mangas o macetas contienen un sustrato liviano, como piedra pómez o perlita; o mezclados con arena, turba, musgo, cascarilla de arroz o fibra de coco. (Rodríguez et al. 2004).

La solución nutritiva se distribuye por mangueras de polietileno negro que corren sobre las columnas. Sobre cada columna, se coloca un gotero conectado a una cruceetas con 4 micro-tubos de 3mm de diámetro, los cuales se colocan en diferentes puntos de la columna: 1, 3, 5 y 7 desde arriba hacia abajo. Cuando se enciende el sistema de riego, la solución nutritiva ingresa por cada micro-tubo, de tal forma que todo el sustrato se humedece por gravedad. Cuando se emplean mangas plásticas, los micro-tubos se colocan en cada agujero de la primera línea superior. (Rodríguez et al. 2001).

### **Sistema hidropónico de canaletas suspendidas**

En países con fuerte demanda de fresas; sobre todo para mejorar y obtener producción en invierno, las plantas son cultivadas en invernaderos y emplean canaletas o canales de PVC. El sistema fue fabricado en Israel por Polygal Industries, el cual consiste en láminas plásticas corrugadas en forma de U de 10cm de profundidad y 12cm de ancho; sobre las canaletas se colocan contenedores de termopor; los diámetros de los agujeros es de 5cm; los agujeros están separados cada 20cm. Las láminas corrugadas se colocan sobre una sección de gotero de PVC. Las canaletas van suspendidas a 1,2-1,6m del suelo; alturas mayores complican la observación de las plantas y el manejo de cultivo. El distanciamiento entre canaletas es 0,8-1,0m (Rodríguez et al. 2004).

El sustrato que se coloca en los contenedores debe ser liviano como perlita, piedra pómez; se puede usar mezclas de musgo, fibra de coco,

aserrín de pino y / o cascarilla de arroz. La solución nutritiva se aplica con sistema de riego por goteo. (Rodríguez et al. 2004).

### **2.2.17. Agromática**

Es la aplicación de los principios y técnicas de la informática o computación a las teorías y leyes del funcionamiento y manejo de los sistemas agropecuarios. Tecnología de avanzada en lo referido al tratamiento de los datos del sector agropecuario, integrada con la electrónica y las telecomunicaciones. Considera a los sistemas biológicos mediante los modelos de simulación de crecimiento y desarrollo de cultivos, representa matemáticamente su comportamiento: cuantificando las variables. Y así calcular cuál será el resultado de un cultivo. Poder evaluar el impacto de distintas alternativas de manejo bajo diversas condiciones, proyectando los posibles rendimientos y los costos asociados según Rivero (2013).

Para el control automático existen dos tipos de procesos de producción vegetal agrícola:

- Cultivos intensivos: en general protegidos, en invernadero.
- Cultivos extensivos: en general a cielo abierto o protegido con telas especiales.

El objetivo de producción coincidente con el de control es de maximizar el rendimiento y minimizar el costo asociado.

## **Automatización de la Fertirrigación Hidropónica**

La hidroponía hecho principalmente en sustratos, es el sistema de producción más intensivo.

En horticultura sustrato es cualquier medio que se utilice para el cultivo de plantas en contenedores, entendiéndose por contenedor cualquier recipiente que tenga dimensiones determinadas (desde una maceta para semillas hasta grandes extensiones de terreno) y con drenaje libre. El sustrato proporciona nutrientes y agua a las raíces de las plantas, de la combinación de la palabra fertilidad e irrigación nace la fertirrigación. Y con «tecnológicas» y la horticultura, nace «la fertirrigación automática», que desencadenaría un interés de varios investigadores.

Ediciones de Horticultura afirma que se ha producido la tercera gran revolución del riego: primero el riego localizado, después la fertirrigación en cultivos protegidos y ahora, la completa automatización de la fertirrigación, y la automatización de los sistemas.

Pilar Lorenzo, en su ponencia «Hidroponía y Automatización», dice que existen en España 2500 ha (contando Canarias) de cultivo en sustrato fuera del suelo (hidroponía más cultivo en maceta), incluyendo el cultivo en saco de arena. A su vez, Hugo Macía comentaba en su charla «¿Cómo funcionan los equipos automáticos de la Fertirrigación?» que España es el segundo país del mundo con una mayor superficie fertirrigada, alrededor de 200.000 ha, la necesidad de incrementar la rentabilidad de la producción hortícola y las restricciones de uso de

algunos suelos para el cultivo ha conllevado un aumento de la utilización de las técnicas del cultivo hidropónico en España.

### **Invernaderos – tela sombreadora**

¿Por qué un invernadero?- Patricia Peñaloza, académica de la PUCV, explica que el cultivo bajo protegido permite tener un control de ciertos factores para la luminosidad se utilizó una malla sombra como estrategia de producción donde ingresa la luz solar con ciertos requerimientos fotosintéticos y de calor, y que deje escapar el mínimo de energía.

**Ilustración 56:** Modelos de invernaderos



Fuente: (Ininsa, 2013) (Sarralde, 2010)

(Tecnologías de horticultura mediterránea, 2012)

**AEDES**, sistema creado para el control de invernáculos y plantaciones a campo abierto, (horticultura, fruticultura, floricultura, o arboricultura) según las necesidades de cada productor, controla todos los eventos, cumple

con los horarios de riego y fertilización, dosifica nutrientes, levanta cortinas, anota temperaturas y humedad, regular presiones, enciende iluminación, etc. y ante una falla seria, el sistema le avisa telefónicamente para decidir qué hacer, además de poder monitorear y/o cambiar los parámetros desde su casa a través de una PC sin necesidad de asistir personalmente al lugar.

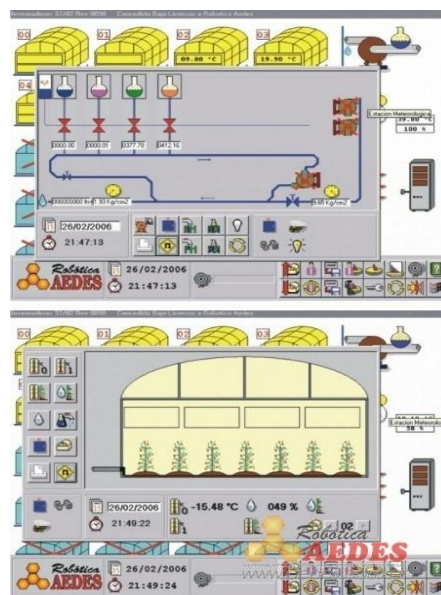
**Ilustración 57:** Invernaderos automatizados.



Fuente: (Universidad Técnica Federico Santa María, 2013)

(Sabatergrup, 2010)

**Ilustración 58:** Interfaz gráfica de sistema IN-32/02 de robótica



Fuente: (Robótica AEDES, 2014)



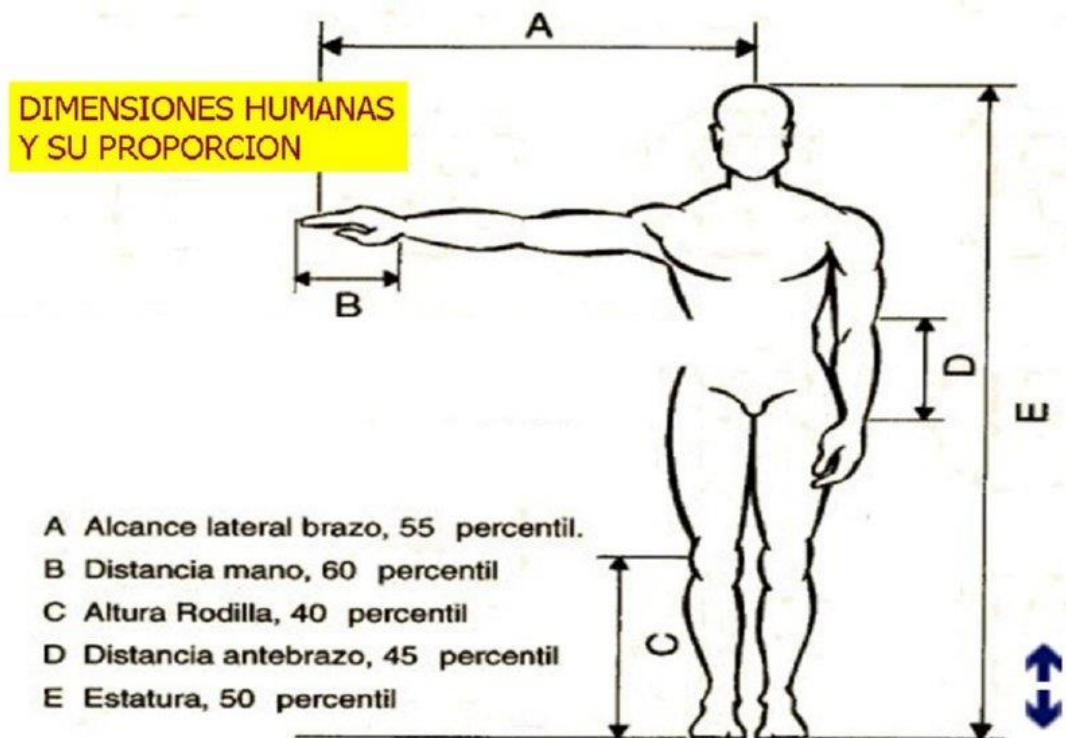
### **2.2.18. Ergonomía en la agromónica hidropónica**

La ergonomía en la agromónica hidropónica es importante, permitir maximizar el rendimiento, pero el hecho que sea automatizada no quiere decir que es completamente independiente del ser humano, el cual siempre de alguna manera va a tener que intervenir. Por lo tanto es necesario garantizar seguridad para aquellas personas involucradas en este tipo de actividad, existen algunos y escasos estudios y antecedentes hacen referente a este punto, de manera general que prevén las formas de reducir la fatiga teniendo en cuenta las limitaciones humanas, condiciones mínimas de trabajo, comodidad y adaptación, minimizar el esfuerzo físico y movimientos inconvenientes de la columna vertebral; vigilar el ambiente y el manejo de los elementos electrónicos, delimitar los límites de actuación, prevención de accidentes y evitar riesgos.

La hidroponía a comparación con el cultivo en suelo desde el punto de vista ergonómico nos ofrece muchas ventajas, ya que permite una mejor postura del trabajador, permitiendo que la afección a la salud humana sea mínima.

A continuación se menciona algunos puntos que se tuvo en cuenta para la implementación del sistema:

**Ilustración 59:** Disposiciones humanas y su proporción



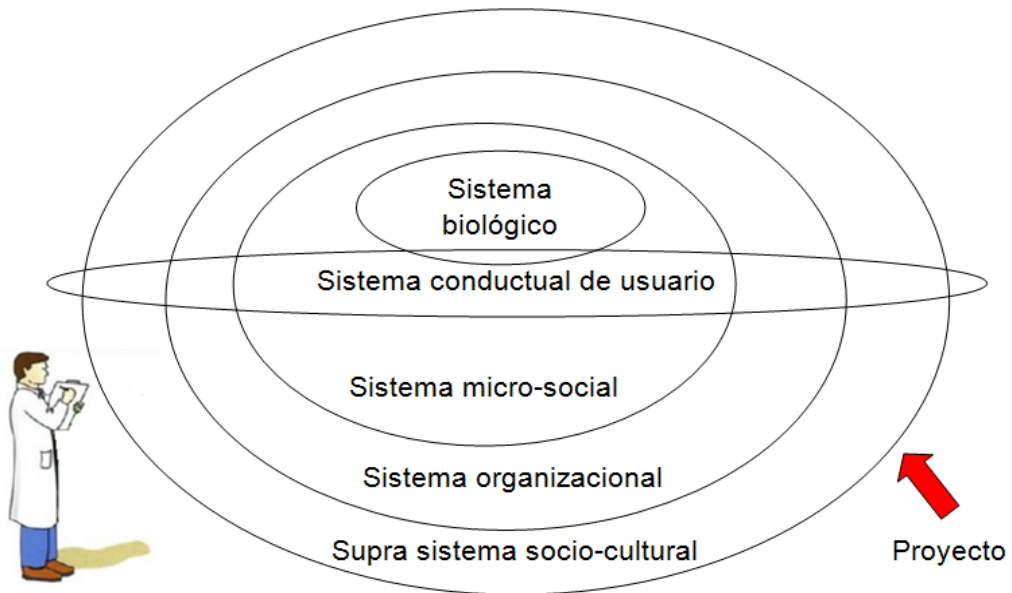
Fuente: (Castañares Gandía, 2013)

Bajo un análisis sistémico persona – máquina, el ambiente (que puede ser una sala de operaciones, sala de servidores).

Existen estudios sobre la ergonomía en la agricultura que indican que los valores angulares de la columna vertebral en el plano sagital debe ser de  $27,43 \pm 0,51^\circ$  y en el plano frontal fueron de  $17,93 \pm 0,70^\circ$ , estos valores están relacionados con una estatura del trabajador considerada como mínima de 1,50 m (estatura baja) como punto de referencia así como las dimensiones de las camas presentaron valores de  $88,69 \pm 8,87$  cm de altura y 0,75 cm de profundidad, considerando los contornos de las camas de cultivo.

En base a ello se buscó soluciones simples, rápidas y de bajo costo para alcanzar los objetivos de la implementación de manera óptima.

**Ilustración 60:** Análisis sistémico persona - máquina



Fuente: (Castañares Gandía J. , 2013)

**2.2.19. Control y manejo de la solución nutritiva**

La solución nutritiva, también llamada de solución acuosa, es un compuesto químico de macro y micro nutrientes, (elementos necesarios, vitales e imprescindibles que en las cantidades adecuadas permite el crecimiento, desenvolvimiento normal de las plantas, en caso contrario de encontrarse un desequilibrio podría causar toxicidad, deficiencia, estrés o muerte, por lo tanto el control y manejo adecuado debe permitir tener siempre disponible los elementos esenciales para la vida vegetal.

Existen varias técnicas para el control de la solución nutritiva por medio de sensores específicos, que a través de esa información que permiten

medir y reponer o remediar la falta o exceso de los parámetros de la solución nutritiva como el nivel de fertilidad, CE, pH. Para ello podemos considerar el criterio propuesto por Furlani et al. (1998), el cual dice que mediante la adición de la solución-stock podemos ajustar las composiciones químicas, ya que existe una relación entre los nutrientes semejantes a los que fueron extraídos por las plantas.

Por ejemplo la medición de la conductividad eléctrica nos ayuda a evitar los problemas de deficiencia y toxicidad, particularmente a los que se refiere a micronutrientes según (Hochmuth, 2001).

La medición de la fertilidad nos va a indicar la concentración deseada, cuando adicionar solución stock. En cambio el pH nos va a indicar el potencial de hidrógeno de la solución si la solución se encuentra neutra, alcalina o básica.

Todo ello lo debemos llevar a la aplicación de software, que nos va a posibilitar el monitoreo en tiempo real, en un sistema de control de lazo cerrado o malla cerrada que quiere decir que hay una retroalimentación de las variables y las políticas de control, tornando posible el ajuste automático de la solución nutritiva conforme al ideal o al punto deseado, para lograr que nuestro sistema hidropónico le brinde a las plantas las condiciones ambientales que le ofrece la naturaleza.

Todo ello exige una cierta rigurosidad por parte de la automatización.

### **Conductividad eléctrica (CE)**

La CE indica el contenido de sales en la solución. El rango de CE requerido para un adecuado crecimiento del cultivo se encuentra entre 1,5 y 2,5 mS/cm. Se recomienda realizar esta evaluación por lo menos una vez por semana en las etapas de post-almacigo y trasplante definitivo. Si la solución nutritiva supera el límite del rango óptimo de CE se debe agregar agua o en caso contrario renovarla totalmente, (Rodríguez et al., 2004).

La medición de este parámetro se puede realizar con un medidor portátil denominado conductímetro o conductivímetro, el cual debe calibrarse según las indicaciones de su proveedor, para evitar errores en el manejo de la solución nutritiva.

### **pH**

Es el índice que permite valorar la concentración de iones hidrógeno (H) contenidos en una solución. Las soluciones con pH menor de 4 o pH mayor que 9 no deben emplearse para la producción vegetal, porque son muy ácidas o muy alcalinas respectivamente. Si se determina el pH de los suelos agrícolas que son más apropiados para un determinado cultivo. Así también se puede determinar el pH que requieren los cultivos hidropónicos, (Barbado, 2005).

La disponibilidad de nutrientes varía de acuerdo al pH de la solución nutritiva, por eso es recomendable mantenerla dentro de un rango que va de 5,5 a 6,5 en el cual todos los nutrientes están disponibles para la

planta. Para disminuir el pH se agrega un ácido como ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico y para aumentar el pH adicionar una base o un álcali como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio. (Rodríguez et al. 2001).

### **Oxigenación de la Solución Nutritiva**

La falta de oxigenación produce la fermentación de la raíz en la solución y como resultado la pudrición de la raíz. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario esta se torna marrón oscura debido a muerte del tejido radicular (Rodríguez et al. 2001).

La oxigenación puede ser manual, agitando la solución manualmente por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere una mayor oxigenación, manual o mecánica, mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día (Hoyos et al. 2002).

### **Temperatura, oxígeno y patógenos**

Las soluciones nutritivas hidropónicas contienen todos los minerales que la planta requiere. Existen otros factores importantes con respecto a las soluciones nutritivas. La temperatura de la solución debe estar dentro del rango correcto. Si la solución es muy fría, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también. Tiene un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por estar debajo de lo deseado. También existen problemas cuando la temperatura es muy alta y esto afecta la absorción mineral. El mejor rango de temperatura está entre 18 y 25°C para la

mayoría de cultivos. Enfriar la solución es más fácil que calentarla. En una producción de escala doméstica probablemente la forma más fácil de calentar la solución es con un calentador de pecera que consume un watt por cada litro de solución, para un tanque de 100 litros consume 100 watt. Si la temperatura es mayor a 30°C el crecimiento será afectado. Se reporta que en Australia, un cultivo de lechuga donde la solución tenía 39°C (102°F) y aunque no lucían muy brillantes todavía estaba vivo.

Aparte de los efectos directos sobre el sistema radicular, la temperatura es importante porque determina la cantidad de oxígeno que puede estar disuelto dentro de la solución.

El agua o una solución nutritiva fría pueden disolver más oxígeno que el agua o una solución caliente, ya que la cantidad total de oxígeno disuelto puede estar limitada y en el mejor de los casos, es importante mantenerlo en un punto alto. Las raíces como cualquier órgano vivo necesitan oxígeno para trabajar apropiadamente. Es posible asfixiar a las raíces si no hay suficiente oxígeno disuelto en la solución.

Otra razón por la cual la solución debe estar bien oxigenada es por los patógenos (organismos que causan enfermedades). La enfermedad más común, en plantas cultivadas hidropónicamente es el Pythium.

Este hongo inicialmente torna las raíces marrones, conforme la enfermedad progresa las raíces mueren y se rompen. La mejor forma de saber si la planta tiene Pythium es coger la raíz y darle un suave tirón, si la raíz se separa tiene Pythium y las plantas no tendrán una buena producción. Un factor común en la mayoría de las infestaciones es el bajo nivel de oxígeno

disuelto en la solución nutritiva; esto es fácil de corregir. Una bomba de pecera con piedra porosa es un método económico y efectivo para asegurar la saturación de oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

Con sistemas tales como el NFT, la solución cae desde las mesas al tanque, esta acción es suficiente para oxigenar la solución. También existen productos, como Oxyplus, que son excelentes oxigenadores. Este producto es una solución fuerte de peróxido de hidrógeno que se rompe en oxígeno y agua. Durante este proceso existe otra forma de oxígeno producido (ion oxígeno) que eliminará a los patógenos tales como el Pythium. Es una forma excelente de obtener oxígeno en sistemas estáticos o no re-circulantes donde la carencia de oxígeno es un problema.

### **Mantenimiento del volumen de la solución nutritiva**

Las plantas absorben más agua y a mayor velocidad que los elementos minerales, lo que producirá un incremento de la conductividad eléctrica. Por lo que recomienda añadir agua hasta alcanzar un valor de la C.E. apropiado para la planta, (Rodríguez et al. 2001).

### **Duración y cambio de la solución nutritiva**

La vida útil de la solución de nutrientes depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las plantas. La medida semanal de la conductividad eléctrica nos indicará el nivel de concentración de la solución, si es alto o bajo. La vida media de la solución nutritiva que haya sido ajustada por medio de análisis semanales suele ser de dos



meses. En caso de no efectuarse dichos análisis se recomienda un cambio total de la solución nutritiva a las 3 ó 4 semanas (Rodríguez et al. 2004).

### 2.2.20. La lechuga

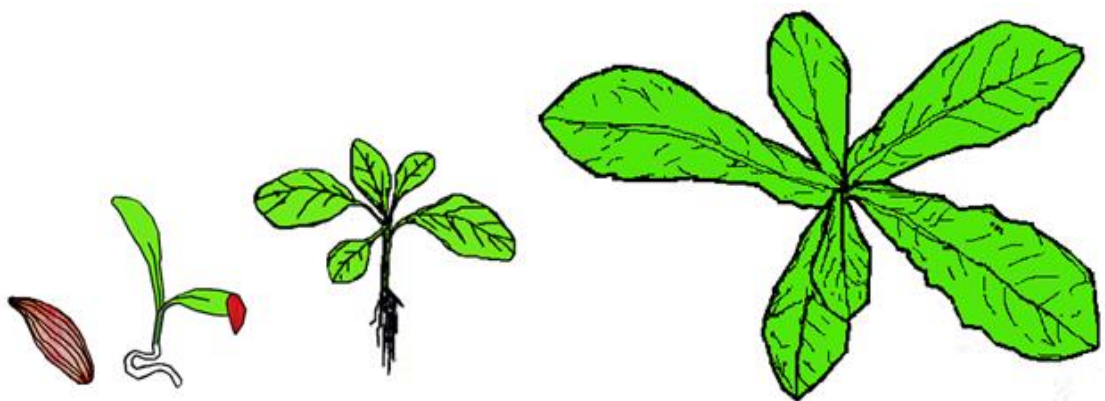
**Ilustración 61:** Lechuga Boston y Gread Lake

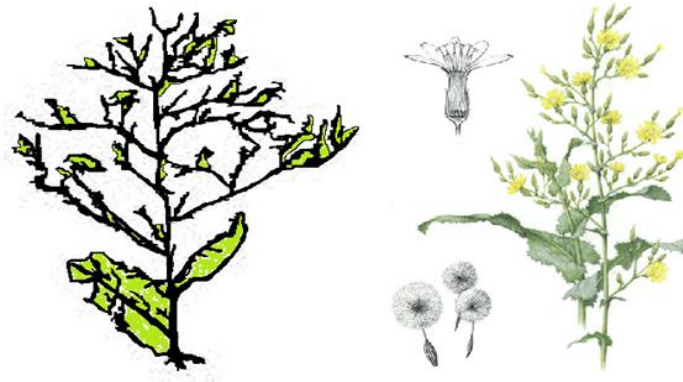


**Ilustración 62:** Hojas de lechuga Boston y Gread Lake



**Ilustración 63:** Desarrollo de la lechuga



**Ilustración 64:** Desarrollo de la lechuga en floración

Fuente: (Euskalnet, 2014)

**Tabla 10:** Clasificación científica de la lechuga

<b>Reino:</b> Plantae	<b>Familia:</b> Asteraceae	<b>Género:</b> Lactuca
<b>División:</b> Magnoliophyta	<b>Subfamilia:</b> Cichorioideae	<b>Especie:</b> sativa
<b>Clase:</b> Magnoliopsida	<b>Tribu:</b>	<b>Nombre binomial:</b>
<b>Orden:</b> Asterales	Lactuceae	Lactuca sativa

### Origen

Lactuca sativa, la lechuga, es una planta anual propia de las regiones semi-templadas, cultivada con fines alimentarios. Existen muchas variedades, y su cultivo es cada vez mayor en invernaderos, se puede consumir durante todo el año. Normalmente se toma cruda, como ingrediente de ensaladas y otros platos, pero algunas de origen chino poseen una textura más robusta y por ello se emplean cocidas.

El nombre genérico “Lactuca” procede del latín lac-tis (leche). Tal etimología refiere al líquido lechoso (o sea, de apariencia “láctea”) de la savia que exudan los tallos de esta planta al ser cortados. El adjetivo específico “Sativa” hace referencia a su carácter de especie cultivada.

### Descripción Botánica

Planta con raíz pivotante y ramificada en unos 25cm. El crecimiento se desarrolla en roseta; las hojas se disponen alrededor de un tallo central, corto y cilíndrico que gradualmente se va alargando para producir las inflorescencias, formadas por capítulos de color amarillo (parecidos al diente de león) reunidos en corimbos. Las semillas están provistas de un vilano plumoso.

**Tabla 11:** Variedades de lechuga

<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Beluga</b>	De cogollos apretados y densos, semejantes a la col; carece casi por completo de sabor, pero goza de amplio uso por su crujiente textura y la facilidad para cortarla finamente. Es la variedad que puede cultivarse en tanques hidropónicos.
<b>Romana</b>	de cogollo largo, con hojas aproximadamente lanceoladas, menos gruesa que las icegerg pero gruesas y crujientes. Se la conoce en España como oreja de mula.
<b>Francesa</b>	de cogollo redondo, hojas finas y textura mantecosa; tiene un sabor delicado pero intenso. Se le conoce también como Boston.
<b>Batavia</b>	Similar a la francesa, de cogollo suelto, hojas rizadas y textura mantecosa.
<b>Hoja de roble</b>	La llamada lechuga, de hojas rizadas y cogollo suelto, distinguida por el color morado de sus hojas, no es una variedad de L. sativa sino de achicoria, <i>Cichorium intybus</i> .

Fuente: (Alvarado et al., 2001)

**Tabla 12:** Tipos de lechugas

<b>Capistrano</b>	Excelente tolerancia a la floración prematura 'bolt' y al quemado del borde de las hojas, Buena calidad general y color
<b>Clemente</b>	Comportamiento consistente por muchos años. Buen potencial de peso, cosecha uniforme, buena calidad de cabeza.
<b>Conquistador</b>	Cabezas altas, verde brillante con buen llenado. Buen potencial de rendimiento. Adecuada para mercado fresco y corazones.
<b>Del Rey</b>	Cabezas grandes, uniformes, vigorosas. Tolerante a la nervadura gruesa, al borde quemado de las hojas y a la floración prematura.
<b>Del Rio</b>	Crecimiento vigoroso en tiempo frío. Excelente protección de la cabeza, cosecha uniforme, corazón corto.
<b>Black Seeded Simpson Fax</b>	Variedad con muchos años en el mercado utilizada en zonas tropicales cálidas.
<b>Climax Fax</b>	Tolerante al frío. Cabezas muy firmes y grandes. Color verde. 95 días a maduración.
<b>Esmeralda</b>	Excelente tolerancia a floración prematura y al quemado de los bordes de las hojas. Notable potencial de peso. Variedad de amplia adaptación y de comportamiento consistente.
<b>Great Lakes 118</b>	Cabezas grandes, verde oscuro, muy firmes, cosechable todo el año y adaptable a muchas zonas del país.
<b>Great Lakes 407 Fax</b>	Variedad de gran adaptabilidad. Recomendable para siembras en Primavera, Verano y muy temprano en otoño.
<b>Greenday</b>	Cabezas uniformes, buena retención. Tolerante al quemado de los bordes de las hojas.
<b>Grizzly</b>	Cabeza grande con buena protección. Atractiva forma de violonchelo. Buen potencial de rendimiento.
<b>Krypton</b>	Cabeza grande, hábito abierto. Excelente tolerancia a la floración prematura y color verde excepcional.
<b>Magnum</b>	Excelente color, gran adaptabilidad, buena para empaque. Cabezas densas, pesadas. Cosecha en temporada fresca.
<b>Mohawk</b>	Cosecha uniforme. Excelente textura, atractiva forma de violonchelo.
<b>Sharpshooter</b>	Excelente uniformidad de cosecha y potencial de rendimiento, buena textura. Forma de violonchelo. Normalmente bajo costo de cultivo y cuidado. Patente USA No. 5,973,232.
<b>Target (MF)</b>	Variedad tipo salinas de la más alta calidad. Tolerante/resistente a varios tipos de 'downy mildew'.
<b>Boston</b>	Es un miembro de la familia mantecosa, tiene textura aterciopelada similar a la mantequilla de las hojas, en el corazón o en el centro interno de la cabeza. Rico en vitaminas K, B, C y A y fuente de sodio, calcio, potasio y magnesio. contiene niveles significativos de lactucarium.

Fuente: (Alvarado et al., 2001)

**Tabla 13:** Hojas de lechuga

<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Grand Rapids TBR</b>	Color verde medio. Cultivo comercial y huerto familiar.
<b>Greenday (PVP 9700038)</b>	Vede oscuro. Cabezas uniformes, buena retención. Tolerante al quemado de los bordes de las hojas.
<b>Krypton (PVP 9700037)</b>	Verde oscuro. Cabeza grande, hábito abierto. Excelente tolerancia al 'bolt' y color verde excepcional.
<b>Red Line (PVP 9700036)</b>	Rojo. Tolerante a la floración prematura. Amplia ventana de cosecha, buen potencial de rendimiento.
<b>Red Sails (PVP 8400001)</b>	Rojo oscuro. Cultivo comercial y huerto familiar. Premio AAS. Mantiene bien el color, tolerante a la floración prematura.
<b>Royal Green (PVP 8700142)</b>	Verde medio. Buen potencial de rendimiento, muy uniforme. Tipo Waldmann's Green de amplia adaptación. Tolerante al 'bolt' (floración prematura).
<b>Tango</b>	Verde intenso. Cultivo comercial y huerto familiar, para ensalada.

Fuente: (Alvarado et al., 2001)

**Tabla 14:** Buttehead y Romaine

<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Encore (PVP 9200258)</b>	Verde oscuro. Estructura grande, abierta, hojas flexibles. Buen potencial de rendimiento.
<b>Buttehead</b>	
<b>Esmeralda (PVP 8700183)</b>	Verde brillante. Excelente tolerancia a 'bolt' (floración prematura) y al quemado de los bordes de las hojas. Notable potencial de peso. Variedad de amplia adaptación y de comportamiento consistente.
<b>Capistrano (PS 77393)</b>	Verde oscuro. Excelente tolerancia a 'bolt' (floración prematura) y al quemado de los bordes de las hojas. Notable potencial de peso. Variedad de amplia adaptación y de comportamiento consistente.
<b>Romaine</b>	
<b>Clemente (PVP 92000022)</b>	Verde oscuro. Comportamiento consistente por muchos años. Buen potencial de peso, cosecha uniforme, buena calidad de caeza.
<b>Conquistador (PVP 0136)</b>	Verde oscuro. Cabezas altas, verde brillante con buen llenado. Buen potencial de rendimiento. Adecuada para mercado fresco.

Fuente: (Alvarado et al., 2001)

## Enfermedades

Algunas de las enfermedades que son comunes a los miembros del género *Lactuca* son las siguientes:

- **Antracnosis** (*Marssonina panattoniana*)
- **Botritis** (*Botrytis cinerea*)
- **Mildiu** (*Bremia lactucae*)
- **Esclerotinia** (*Sclerotinia sclerotiorum*).
- **Septoriosis** (*Septoria lactucae*)
- **Virus del mosaico de la lechuga**
- **Virus del bronceado del tomate** (TSWV del inglés *Tomato spotted Wilt Virus*).

**Ilustración 65:** Enfermedades de la lechuga



Fuente: (Agromática, 2014)

**Tabla 15:** Variedad de plagas de la lechuga

<b>Variedad</b>	<b>Descripción</b>
<b>Trips (Frankiniella occidentalis)</b>	Es una plaga que causa mayor daño al cultivo, pues es transmisora de virus del bronceado del tomate (TSWV). La importancia de estos daños directos (ocasionados por las picaduras y las hendiduras de puestas) depende del nivel poblacional del insecto (aumentando desde mediada la primavera hasta bien entrado el otoño. Normalmente el principal daño que ocasiona no es el directo sino el indirecto transmitiendo el virus. La presencia de este virus en las plantas empieza por provocar grandes necrosis foliares, y rápidamente éstas acaban muriendo
<b>Minadores (Liriomyza trifolii y Liriomyza huidobrensis)</b>	Forman galerías en las hojas y si el ataque de la plaga es muy fuerte la planta queda debilitada.
<b>Mosca blanca (Trialeurodes vaporariorum)</b>	Produce una melaza que deteriora las hojas, dando lugar a un debilitamiento general de la planta.
<b>Pulgonos (Myzus persicae, Macrosiphum solani y Narsonovia ribisnigri)</b>	Es una plaga sistemática, siendo su incidencia variable según las condiciones climáticas. El ataque suele ocurrir cuando el cultivo está próximo a la recolección. Aunque si la planta es joven, y el ataque es considerable, puede arrasar el cultivo, además de ser entrada de alguna virosis que lo haga inviable. Los pulgonos colonizan las plantas desde las hojas exteriores y avanzando hasta el interior, excepto la especie Narsonovia ribisnigri, cuya difusión es centrífuga, es decir, su colonización comienza en las hojas interiores, multiplicándose progresivamente y trasladándose después a las partes exteriores.

### **Fisiología del Cultivo de la lechuga**

La lechuga soporta como temperatura máxima los 30 °C y como mínima asta -6 °C. Exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche. Cuando soporta temperaturas bajas durante algún

tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia.

La humedad relativa conveniente es del 60 al 80%, aunque en determinados momentos puede ser menos del 60%. Los problemas que presenta en invernadero es el exceso de humedad ambiental, por lo que se recomienda cultivarlo en el exterior, siempre que las condiciones climatológicas lo permitan. Prefiere suelos ligeros, arenoso-limosos y con buen drenaje. El pH óptimo se sitúa entre 6,7 y 7,4. Vegeta bien en suelos húmíferos, pero si son excesivamente ácidos será necesario encalar.

En ningún caso admite sequía, aunque es conveniente que la costra del suelo esté seca para evitar en todo lo posible la aparición de podredumbres de cuello.

Los mejores sistemas de riego son por goteo (cuando se cultiva en invernadero) y las cintas de exudación (cuando el cultivo se realiza en el exterior). También se utiliza el riego por gravedad y por aspersión.

Esta planta es muy exigente en potasio y al consumir más potasio va a absorber más magnesio, por lo que es necesario equilibrar al abonar el cultivo.<sup>1</sup> También es muy exigente en molibdeno durante la primera etapa del desarrollo.

### **Composición química**

Según RioFruit (2002) La lechuga tiene, alto contenido de agua (90-95%). Es rica en antioxidantes, como las vitaminas A, C, E, B1, B2,



B3, B9 y K; minerales: fósforo, hierro, calcio, potasio y aminoácidos. Las hojas exteriores más verdes son las que tienen mayor contenido en vitamina C y hierro. También tiene Lactucina (lactona), lactucopicrina, ácidos grasos, ácido cítrico y málico, asparagina y otras sustancias. Energía 13 Kcal. Sodio 5mg. Vitamina A 1500 UI.

**Tabla 16:** Contenido de (agua, proteína, carbohidratos, grasa, fibra,) 100 gramos de lechuga en dos reportes diferentes.

<u>Agua</u>	<u>Proteína</u>	<u>Carbohidratos</u>	<u>Grasa</u>	<u>Fibra</u>
g	g	g	g	g
95	1,3	2,2	0,2	1,1
94	1,4	2,3	0,2	-

Fuente: (Seguridad alimentaria, 2012)

**Tabla 17:** Contenido de (Potasio, Calcio, Fósforo, Magnesio Sodio, Hierro, Niacina y Ácido Fólico) en 100 gramos de lechuga en dos reportes diferentes.

<u>Potasio</u>	<u>Calcio</u>	<u>Fósforo</u>	<u>Magnesio</u>	<u>Sodio</u>	<u>Hierro</u>	<u>Niacina</u>	<u>Ácido fólico</u>
mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg	mg
224	37	33	11	32	1,1	0,4	0,11
-	-	-	-	-	0,3	-	-

Fuente: (Seguridad alimentaria, 2012)

**Tabla 18:** Contenido de vitaminas (vitamina A, vitamina B1, vitamina B2, vitamina C, vitamina E, vitamina K) 100 gramos de lechuga en dos reportes diferentes.

<u>Vitamina</u> <u>A</u> mg	<u>Vitamina</u> <u>B1</u> mg	<u>Vitamina</u> <u>B2</u> mg	<u>Vitamina</u> <u>C</u> mg	<u>Vitamina</u> <u>E</u> mg	<u>Vitamina</u> <u>K</u> mg
0,24	0,062	0,078	13	0,57	0,03
-	-	-	8	-	-

Fuente: (Seguridad alimentaria, 2012)

### Usos medicinales

Las lechugas han sido y son utilizadas en infusión como un ansiolítico moderado que facilita el dormir. Sin embargo en la remota antigüedad especialmente en Egipto se rendía culto a las deidades consideradas patrocinadoras de la libido ofrendándoles plantas de lechuga. Este culto parecía paradójico hasta que en el 2006 se descubrió que una dosis moderada de los alcaloides presentes en la lechuga tiene efectos ligeramente afrodisíacos, mientras que una elevada actúa a la inversa, como ansiolítico.

Características principales de los productos cultivados bajo tecnologías hidropónicas, propiedades de la lechuga comprobadas científicamente: Los principios amargos, principalmente la lactucina y la lactucopicrina de la especie *Lactuca virosa* L., presentan efectos neurosedantes, (Vólák y Stodola, 1990).

### **Precauciones de higiene para el consumo**

En aquellos países en que la higiene de las aguas de regadío es deficiente, o incluso se riega los cultivos con aguas servidas, la lechuga representa una importante fuente de infección de enfermedades gastrointestinales como la fiebre tifoidea, el cólera y salmonelosis, por lo que es muy recomendable consumirlas bien lavadas con agua potable y desinfectadas con una solución microbicida.

#### **2.2.21. Proceso de producción de la lechuga**

Como ya habíamos mencionado arriba en las etapas del proceso de producción de la lechuga, por ejemplo para 2,100 lechugas mensuales cultivadas en 50m<sup>2</sup> podemos apreciar las siguientes etapas: Primero se hace la preparación de almácigos tiene una duración de 15 días, el trasplante dura 1 día, el cultivo hidropónico dura de 20 días, la cosecha se realiza a los 36 días del almacigado (en el día 36).

A continuación se describe el proceso de producción de la lechuga.

#### **El almacigado**

Se realiza en sustrato sólido que puede ser: arena o cascara de arroz carbonizado, y durante la germinación recibe riegos inter-diarios y después de la germinación se riega con solución nutritiva diluida al 50%. Las condiciones ambientales serán de 20 grados de temperatura, humedad relativa mayor al 50% y luz del 75%.

## **El trasplante**

Se realiza a partir de las cuatro de la tarde y antes del trasplante, las plantas son sometidas a una reducción del riego con el fin de favorecer el endurecimiento de las plantas. Se extraen las plantas del sustrato y se colocan en el medio de cultivo hidropónico, tratando de no doblar las raíces ni maltratarlas sujetándolas con una esponja o espuma fenólica.

## **Cultivo hidropónico**

Previamente se preparan las soluciones stock con las sales minerales que contienen los elementos esenciales para el desarrollo del cultivo, estas soluciones stock son utilizadas en la preparación de la solución nutritiva de acuerdo a las necesidades nutricionales de las plantas en un recipiente a partir del cual se va a distribuir a las plantas de acuerdo a las instalaciones hechas para el crecimiento de las plantas y el modelo o sistema hidropónico, pudiendo ser NFT o raíz flotante o sustrato sólido. Tanto el control de la solución stock como el control de la solución nutritiva se realiza en forma automática por medio de un ordenador y sensores que medirán la concentración de sales en la solución nutritiva, el pH, la conductividad eléctrica, el elemento mineral, el oxígeno, la humedad relativa del ambiente, la luminosidad y la temperatura. Se contará para ello con equipos informáticos, válvulas, solenoides, switch, timer o relojes controladores, etc., según el caso lo requiera. El sustrato para cultivo hidropónico en medio sólido, podrá ser vermiculita, gravilla o arena gruesa mezclada con cáscara de arroz carbonizada o carbón vegetal.

## **Cosecha**

Se realiza tomando en cuenta el estado fisiológico de la maduración o punto de cosecha de la especie (según el caso).

### **2.3. Definición de Términos Básicos**

#### **Automatismo**

Sistema que permite ejecutar una o varias acciones sin intervención manual.

(Lopez, 2014)

#### **Automatización**

Aplicación de sistemas automáticos en la realización de un proceso. (Lopez)

#### **Autómata o controlador**

Regula el comportamiento dinámico de un sistema mediante órdenes de mando. Mínima intervención humana. (Armestto Quiroga, 2007)

#### **Bus de campo**

Red digital de bajo coste, transmisión en serie que sirve para transmitir datos entre los PC's, PLC's y los dispositivos de campo como sensores y actuadores. (Guelcomtudeyanguel, 2009)

#### **Control en lazo abierto**

Sistema de control en el que la salida no tiene efecto sobre la acción del control. (Ejemplo: lavadora, semáforos, etc.). (Armestto Quiroga, 2007)

### **Control en lazo cerrado**

Sistema de control en el que la salida tiene un efecto directo sobre la señal a controlar. (Armestto Quiroga, 2007)

### **Ergonomía**

“Ergo” significa trabajo, “Nomos” significa conocimiento leyes.

Ciencia que trata de obtener el máximo rendimiento, reduciendo los riesgos de error humano a un mínimo, al mismo tiempo que trata de disminuir la fatiga y eliminar en tanto sea posible los peligros para el trabajador; estas funciones se realizarán con la ayuda de los métodos científicos y teniendo en cuenta al mismo tiempo las posibilidades y limitaciones humanas debidas a la anatomía, la fisiología y la psicología según la OMS - Organización Mundial de la Salud (1974).

### **Experto humano**

Es una persona que es competente en un área determinada del conocimiento o del saber según Ferreira (2014)

Es alguien que sabe mucho sobre un tema determinado y que puede dar un consejo adecuado. Esta experiencia sólo se adquiere tras un largo aprendizaje y a base de mucha experiencia según Ferreira (2014)

### **Inteligencia artificial (IA)**

Rama de la computación y relaciona un fenómeno natural con una analogía artificial a través de programas de computador. Ingeniería, basada en una

relación deseable de entrada-salida para sintetizar un programa de computador. Es la elaboración de programas basados en comparaciones con la eficiencia del hombre, contribuyendo a un mayor entendimiento del conocimiento humano según Loiza.

### **Planta**

Es cualquier equipo físico que se desea controlar (motor, horno, reactor, caldera, etc.). Planta también es llamado la cultura o denominación genérica de cualquier vegetal, en el caso particular del proyecto es el elemento biológico la razón de ser de un sistema hidropónico. (Armestto Quiroga)

### **Proceso**

Cualquier serie de operaciones que se desea controlar con un fin determinado. (Armesto Quiroga, 2007)

### **Proceso industrial**

Parte del sistema en que, a partir de la entrada de material, energía e información, se genera una transformación sujeta a perturbaciones del entorno, que da lugar a la salida de material en forma de productos; hay tres tipos de procesos continuos, discretos y batch según Ponsa & Granollers (2014).

### **Perturbación**

Acción y efecto de trastornar el estado estable del sistema eléctrico según el sistema de información energética.

## **Realimentación**

Su significado es volver a alimentar, quiere decir que la señal de salida (tensión o intensidad) o parte de esta, la introducimos en la malla de entrada (en serie o paralelo) del circuito en cuestión según Rodríguez (2014)

## **SCADA**

SCADA proviene de las siglas de Supervisory Control And Data Acquisition en español quiere decir Adquisición de datos y supervisión de control.

## **Sistema**

Conjunto de elementos, físicos o abstractos, relacionados entre sí para realizar una función específica. (Armesto Quiroga, 2007)

Un sistema es un conjunto de partes o acontecimientos que son interdependientes entre sí e interaccionan, por lo que puede ser considerado como un todo, llamamos sistemas a los conjuntos compuestos de elementos que interactúan. (AulaTicBio, 2013)

## **Sistemas de información**

Piattini, Manzano, Cervera y Fernández (2000), indican que “un conjunto formal de Procesos que, operan sobre una colección de datos estructurada según las necesidades de la empresa, recopilan, elaboran y distribuyen la información (o parte de ella) necesaria para las operaciones de dicha empresa y para las actividades de dirección y control correspondientes (decisiones) para desempeñar su actividad de acuerdo a su estrategia de negocio”.



Laudon & Laudon (2004), indican que: Un Sistema de Información se define técnicamente como un conjunto de componentes interrelacionados que reúne, obtiene, procesa, almacena y distribuye información para apoyar la toma de decisiones y el control de una organización. Los Sistemas de información se apoyan en hardware y software para procesar y diseminar información.

Piattini, et al. (2000), indican que “El objetivo de un Sistema de Información es ayudar al desempeño de las actividades en todos los niveles de la organización, mediante el suministro de la información adecuada, con la calidad suficiente, a la persona apropiada, en el momento y lugar oportuno, y con el formato más útil para el receptor”.

### **Sistemas expertos (SE)**

Solo por hacer mención. Es básicamente un programa de computadora basado que lleva a cabo tareas que generalmente sólo realiza un experto humano según Ferreira.

Son programas de computación que capturan el conocimiento de un experto y tratan de imitar su proceso de razonamiento cuando resuelven los problemas de un determinado dominio; es incorporar en la base de conocimiento del sistema el conocimiento de un experto e intentar simular el razonamiento humano por medio de un conjunto de programas de computación por Scarabino (2000).

## **Variables del sistema**

Magnitudes que definen el comportamiento de un sistema, (Armestto Quiroga, 2007).

Entre tanto la automatización se percibe como una alternativa a una mayor eficiencia en la conducción de las labores culturales y en la economía agrícola, pero que su aplicación requiere ser investigada. Con respecto a lo arriba indicado se planteó la ejecución de la presente tesis sobre “**aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.**

## **2.4. Hipótesis**

### **2.4.1. Hipótesis general**

Si en la técnica de hidroponía automatizada se monitorea el nitrógeno, pH y conductividad eléctrica mediante la aplicación de software en un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*), entonces se logrará el balance y control de la solución nutritiva en Pucallpa.

### **2.4.2. Hipótesis específicas**

- 1) Es posible Identificar un rango adecuado de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica con la aplicación de SW para mantener balanceada la solución

nutritiva en un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada.

- 2) La aplicación de SW propicia un grado de asociación o correlación con la mejora del control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.
- 3) Que el diseño de la aplicación de software o sistema computarizado cumpla con el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.
- 4) Que la tecnología del sistema automático de control para automatización añadida a la técnica de sistemas de cultivo hidropónico de lechuga, es más eficiente que otros métodos de cultivos de lechuga hidropónica semi-automatizada y no automatizada.

## **2.5. Conceptualización de variables**

Su elaboración es sintetizando el fenómeno desde el punto de vista de la teoría existente acerca del mismo en otras palabras es la visión y definición teórica del fenómeno.

### **2.5.1. Variable independiente**

Aplicación de software:

La aplicación de software para el cultivo hidropónico automatizado, consistió en el control computarizado del balance de la solución nutritiva, mediante un controlador lógico programable (PLC), que activa la bomba eléctrica para el fluido de la solución nutritiva, previa dosificación de los nutrientes necesarios para las plantas.

**Toma de lectura del contenido de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica (CE), lo que permite realizar dosificaciones para el mantenimiento de un nivel adecuado de la solución nutritiva con regulaciones de pH.**

**Así mismo la lectura de temperatura e intensidad de luz, para relacionar las condiciones ambientales en el cultivo de lechuga.**

Esta labor fue monitoreada desde un computador, a través de un software de programación TIA Portal V11 y el programa LABVIEW. Mediante éstos, se tomó la lectura permanente durante todo el proceso de estudio del comportamiento lo que va ocurriendo en el proceso de cultivo de lechuga.

Así mismo mediante Oracle VM Virtual Vox y Team Viewer se monitoreó el funcionamiento del sistema a través de PC con la ayuda de internet.

**El sistema automatizado con respecto a su parte lógica estuvo compuesto por los siguientes elementos:**

**Tabla 19:** Composición de la parte lógica del sistema automatizado

<b>COMPONENTE LÓGICO</b>	<b>FUNCIÓN</b>
<b>Windows 7</b>	Sistema operativa de la máquina anfitrión
<b>Virtual Vox</b>	Virtualización
<b>Window XP</b>	Sistema Operativo en la máquina virtual
<b>Tia Portal</b>	Controla PLC, permite programar.

<b>LabView</b>	La interfaz gráfica de control
<b>SCADA</b>	Interpreta entre LabView y TIA Portal
<b>Servidor OPC</b>	Enlaza la PC con el PLC.
<b>TeanWiever</b>	Comunicación on line entre computadoras.

Además del sistema automatizado controlado con PLC se implementaron otros dos sistemas con fines de determinar las diferencias y bondades que son:

- Hidroponía Semi automatizada con control mediante timer.
- Hidroponía no automatizada (Sistema hidropónico de raíz flotante)

Es importante mencionar que según definiciones el desarrollo de software no es una definición de investigación, por tanto la aplicación de software implica solo la utilización de un instrumento. Nuestro experimento está dirigido a producir e instalar un proceso, sistema y/o servicio, controlado, para **así verificar si la aplicación de software mejora el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (Lactuca sativa) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y CE en Pucallpa.** Comparando luego la aplicación de software para el sistema automatizado, con la no aplicación de software de los sistemas semi-automatizado y no automatizados conocer las diferencias y bondades de la aplicación de software para el sistema de cultivo hidropónico.

### **2.5.2. Variable dependiente**

- Control automatizado del balance de N de la solución nutritiva
- Control automatizado del balance de pH de la solución nutritiva
- Control automatizado del balance de la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva
- Control automatizado integrado de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica
- Rendimiento productivo
- Ergonomía/comodidad

### **2.5.3. Variable interviniente**

- Variedad de lechuga.
- Solución nutritiva
- Temperatura de Pucallpa.

### **2.5.4. Unidad de análisis**

Unidad: Propiedad de todo ser, en virtud de la cual no puede dividirse sin que su esencia se destruya o altere. (Oceano Uno, 1993)

Análisis: distinción de las partes de un todo hasta llegar a conocer sus principios o elementos, estudio que define las líneas maestras de una aplicación con vistas a desarrollar una solución mecanizada. (Oceano Uno, 1993).

Módulo de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali (Sistemas de cultivos hidropónicos):

- Hidroponía automatizada
- Hidroponía semi-automatizada
- Hidroponía no automatizada

Para evaluar rendimiento de la investigación, se tomaron 10 plantas al azar de cada contenedor que conforman la muestra o unidad experimental de cada una de las cuatro camas de cultivo.

### **Muestra experimental de automatización**

Para el control automatizado se tomó Información diaria de los sensores de nitrógeno, pH y CE de la solución nutritiva contenida en el depósito de reciclaje del sistema hidropónico.

## **2.6. Operacionalización de las variables**

Son los índices de los indicadores de las variables.

Operación: ejecución de una cosa. (Oceano Uno, 1993)

Operacionalismo: método que inquiriere no solo el objeto que debe ser observado, sino las operaciones realizadas por los observadores. (Oceano Uno, 1993)

Operar: realizar, llevar a cabo algo. (Oceano Uno, 1993)

Operacionalización es el proceso de llevar una variable desde un nivel abstracto a un plano más concreto, su función básica es precisar al máximo el significado que se le otorgue a una variable en un determinado estudio, también es un forma de explicar cómo se miden las variables que se han seleccionado, a través de sus dimensiones e indicadores, empleando técnicas o metodología para la recolección de datos; un conjunto de procedimientos que describen las actividades que un observador debe realizar para medir las variables, los criterios para evaluar la definición operacional está basado en tres puntos: adecuación al contexto, confiabilidad y validez, todo ello previa revisión de la literatura compatibles con los objetivos de la investigación.

### **2.6.1. Variable independiente**

- **Aplicación de software y hardware.-** para el sistema de cultivo hidropónico automatizado, consistió en la implementación tecnológica utilizado para activar solenoides, válvulas, temporizadores en el sistema NFT, en función de la información de los sensores de elementos minerales como de **nitrógeno, pH, conductividad eléctrica**, conectados a un procesador de información y un ordenador buscando el balance automatizado en el medios de cultivo hidropónico, en función de la solución normal una vez instalado el cultivo y buscando la mejor y la mayor eficiencia en productividad.

Los indicadores de los niveles en N, pH y CE de los sensores, fueron continuamente monitoreados y analizados de los valores obtenidos de la



solución nutritiva, asegurando el control del balance de la solución nutritiva según las lecturas de un sistema de cultivo de lechuga.

Obtenido los resultados se ubicó la diferencia con los otros métodos de hidroponía que no usaron software como:

- **Semi - automatizada.-** Consistió en la utilización de control del riego por timers.
- **Hidroponía no automatizada.-** Consistió en el sistema de raíz flotante, donde las plantas de lechuga flotan sobre planchas de tecnopor sobre una solución nutritiva.

**Tabla 20:** Indicadores del sistema

<b>DIMENSIONES</b>	<b>INDICADORES</b>
Usuarios	Rendimiento, comodidad e interacción
Software	Operatividad, Portabilidad, Flexibilidad, Usabilidad, Eficiencia, Arquitectura Cliente/Servidor, Escalable, Robustez
Acceso a los datos	Base de datos, manejo de la información, acceso a datos, integridad de datos, confidencialidad, (en unidades)
Base de sucesos	Cantidad de hechos (en unidades)
Base de conocimientos	Número de información (por día)
Entradas y salidas	Tiempo de ejecución (por segundo)
Motor de inferencias	Respuesta de los procesos (por segundo)
Reglas	Cantidad de ordenes (unidades)
Nitrógeno	Rango establecido para el cultivo de lechuga fue de 50 a 150 ppm (partes por millón) o mg/l (miligramos por litro)
pH (potencial hidrogeno)	Concentraciones de iones de hidrogeno (H <sup>+</sup> ) y iones de hidróxido (OH <sup>-</sup> ) escala de 0 a 14, siendo pH 7 el neutral, arriba de 7 son alcalinos, y debajo de 7 son ácidos. Para el pH de la lechuga la escala fue de 5.5 a 6.5
CE (conductividad eléctrica)	El rango establecido para el cultivo de lechuga fue de 0,6 – 1,8 (mili Siemens por cm) mSm <sup>-1</sup>
Temperatura	Grados centígrados (°C)
Luz	Footcandels (fc)
Rendimiento	Productivo.
Ergonomía	Comodidad

### 2.6.2. Variable dependiente

- Control automatizado del balance de nitrógeno de la solución nutritiva. Se realizó antes de que llegue al mínimo o máximo de lo normal.
- Control automatizado del balance de pH de la solución nutritiva, Se realizó antes que llegue al punto límite de lo requerido por la planta.
- Control automatizado del balance de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, se realizó en función de lo establecido en forma conveniente para el cultivo de baja conductividad eléctrica para equilibrar la transpiración de la planta con la absorción del agua por las raíces.
- Control automatizado integrado de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica.
- Rendimiento productivo en peso promedio por planta.
- Ergonomía/comodidad se analizará las ventajas y desventajas que ofrece la automatización con relación a la no automatización.

### 2.6.3. Variable interviniente

- Ubicación geográfica de Pucallpa
- Gread Lake, Variedad de lechuga que puede crecer mediante hidroponía, bajo condiciones de Pucallpa.
- Solución nutritiva, preparado en función de las fórmulas establecidas por Hoagland y Arnon
- Clima de Pucallpa, a considerar precipitaciones pluviales, horas de sol, horas de luz, temperatura, humedad relativa del aire, viento.
- Disponibilidad de materiales informáticos.

## **2.7.Observaciones a registrar o datos a considerar**

- Fecha de inicio y final del experimento: se considerará a partir de la instalación de las plantas de lechuga en el sistema hidropónico. iniciando el 07 de Diciembre del 2013 y culminado el 23 de Junio del 2014, al cosechar las lechugas.
- Apariencia del cultivo normal o anormal en relación con la solución nutritiva u otros factores.
- Tiempo de cosecha de las lechugas
- Control del medio acuoso en el que se desarrollaron las plantas.
- Oxigenación del medio de cultivo
- Condiciones climatológicas durante el desarrollo del cultivo
- Consumo de sales minerales
- Presencia de plagas y enfermedades

## CAPITULO III

### 3. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

Según (Hernandez Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2010)

#### 3.1. Método de investigación

##### 3.1.1. Tipo de investigación

Este proyecto es una investigación aplicada.

La investigación aplicada se desarrolla o bien para determinar posibles usos de las evidencias encontradas en la investigación básica, o para determinar nuevos métodos o formas de lograr objetivos específicos o predeterminados. Ella considera el conocimiento disponible y su extensión para resolver problemas. Los resultados de la investigación aplicada se utilizan principalmente para validar un determinado número de productos, operaciones, métodos o sistemas. La investigación aplicada le da forma operacional a las ideas.

Según la clasificación de Mario Tamayo y Tamayo, el tipo de investigación aplicada, busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren, es la que será aplicada en este proyecto de investigación.

Para el presente trabajo se utilizó las ciencias empíricas, ya que se trató de verificar la hipótesis con la realidad, o sea con el mundo empírico, con la aplicación de software para el sistema automatizado, con los sistemas semi-automatizado y no automatizados queremos hacer solo una

comparación, así demostrar también las bondades de la aplicación de software para el sistema de cultivo hidropónico en medio líquido.

Se utilizó las ciencias físicas, la informática, la química, la fisiología vegetal y la biología que tuvo que ver con el crecimiento y desarrollo de la planta en un medio conformado por agua, minerales y ambiente.

Además se realizó un estudio de rentabilidad para satisfacer las interrogantes del modelo de nuestra investigación orientada a la realidad en Pucallpa.

### **3.1.2. Nivel de investigación**

El nivel de investigación es Correlacional debido a que pretende determinar el grado de relación entre la variable independiente y la variable dependiente. El tipo de investigación que con mayor probabilidad podría responder a preguntar acerca de la relación entre variables o sucesos se llama investigación correlacional según Salkind (1998).

### **3.1.3. Tipo de experimento**

Según el concepto de desarrollo experimental:

El trabajo sistemático se basa en los conocimientos obtenidos de las investigaciones o las experiencias prácticas, los cuales son dirigidos a producir nuevos materiales, productos o dispositivos, a instalar nuevos procesos, sistemas y servicios, o a mejorar sustancialmente aquéllos ya producidos o instalados.

### 3.1.4. Ubicación del experimento

Módulo de Hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, se encuentra dentro de las instalaciones de la universidad.

**Tabla 21:** Tabla datos de la ubicación del experimento

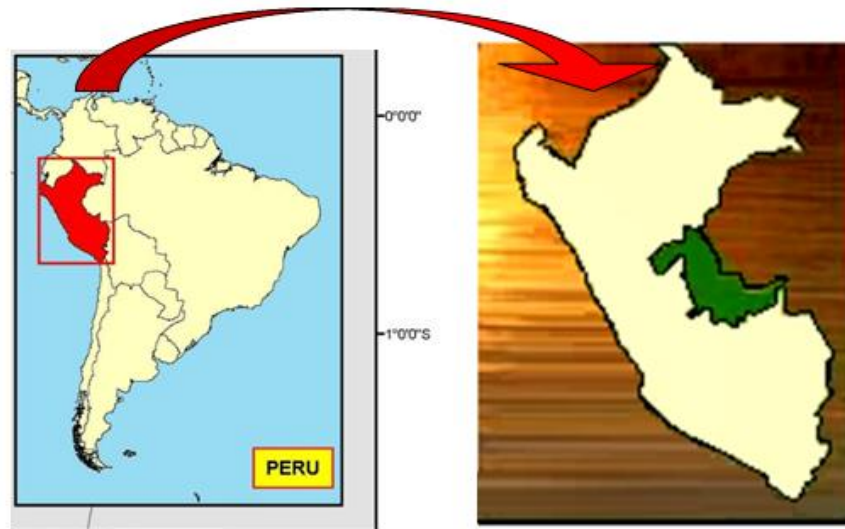
<b>Lugar</b>	campus de la Universidad Nacional de Ucayali
<b>Área</b>	módulo de Hidroponía de la Facultad de Ciencias Agropecuarias de la UNU
<b>Dirección</b>	Km 6,00 de la Carretera Federico Basadre, Distrito de Calleria, provincia de Coronel Portillo, región de Ucayali
<b>Coordenadas</b>	- Longitud : 74°53"00" - Latitud : 08°24"25" - Altitud : 156,972 m. s. n. m.

**Ilustración 66:** Frontis de la Universidad Nacional de Ucayali



Fuente: (Universidad Nacional de Ucayali, 2015)

**Ilustración 67:** Mapa del Perú en Sur América y de la Región Ucayali



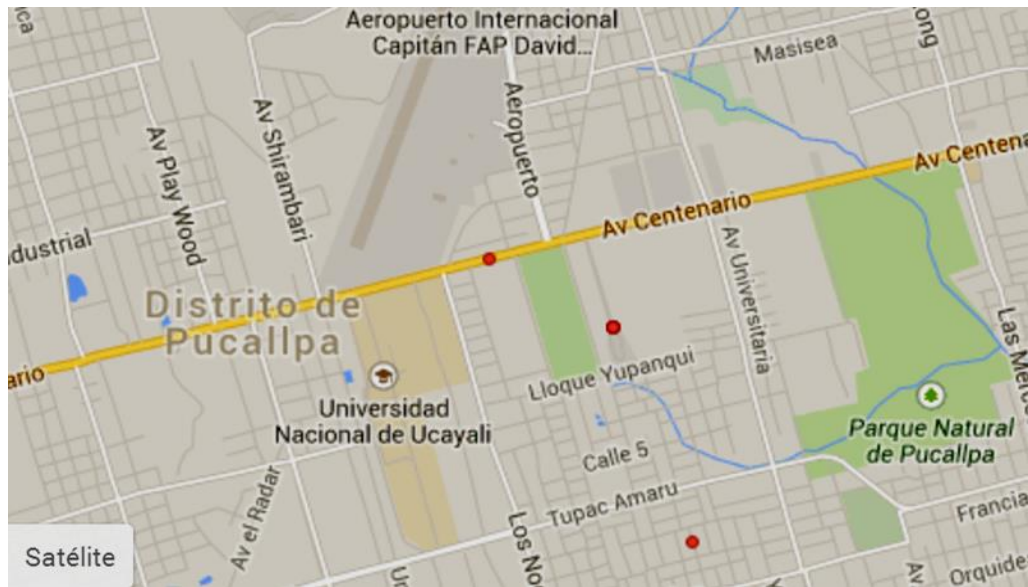
**Ilustración 68:** Mapa político de la Región Ucayali



Fuente: (Miranda Ruiz, 2013)

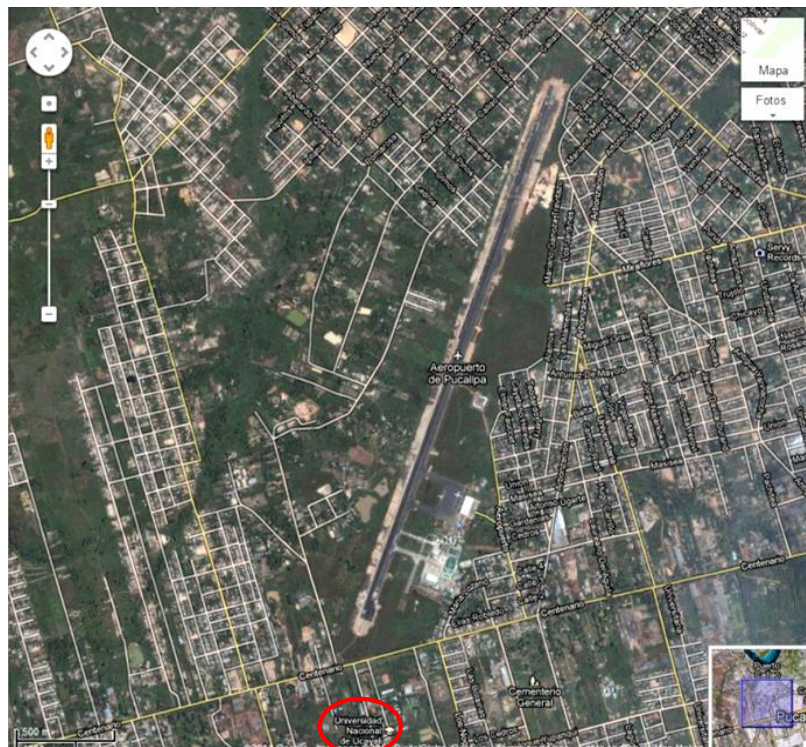


**Ilustración 69:** Ubicación geográfica en el plano



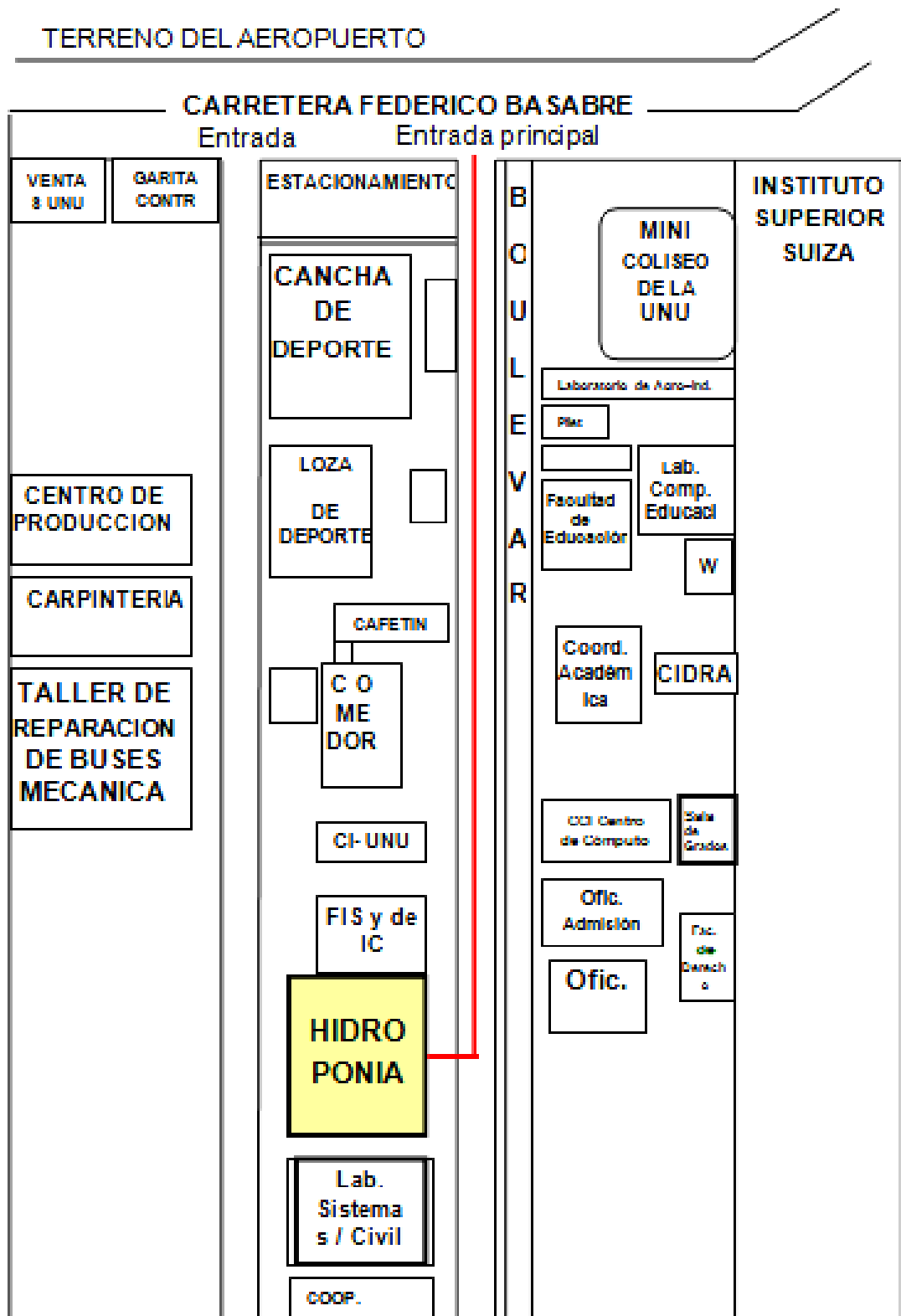
Fuente: (Google maps, 2014)

**Ilustración 70:** Vista satelital de la ubicación geográfica de la UNU

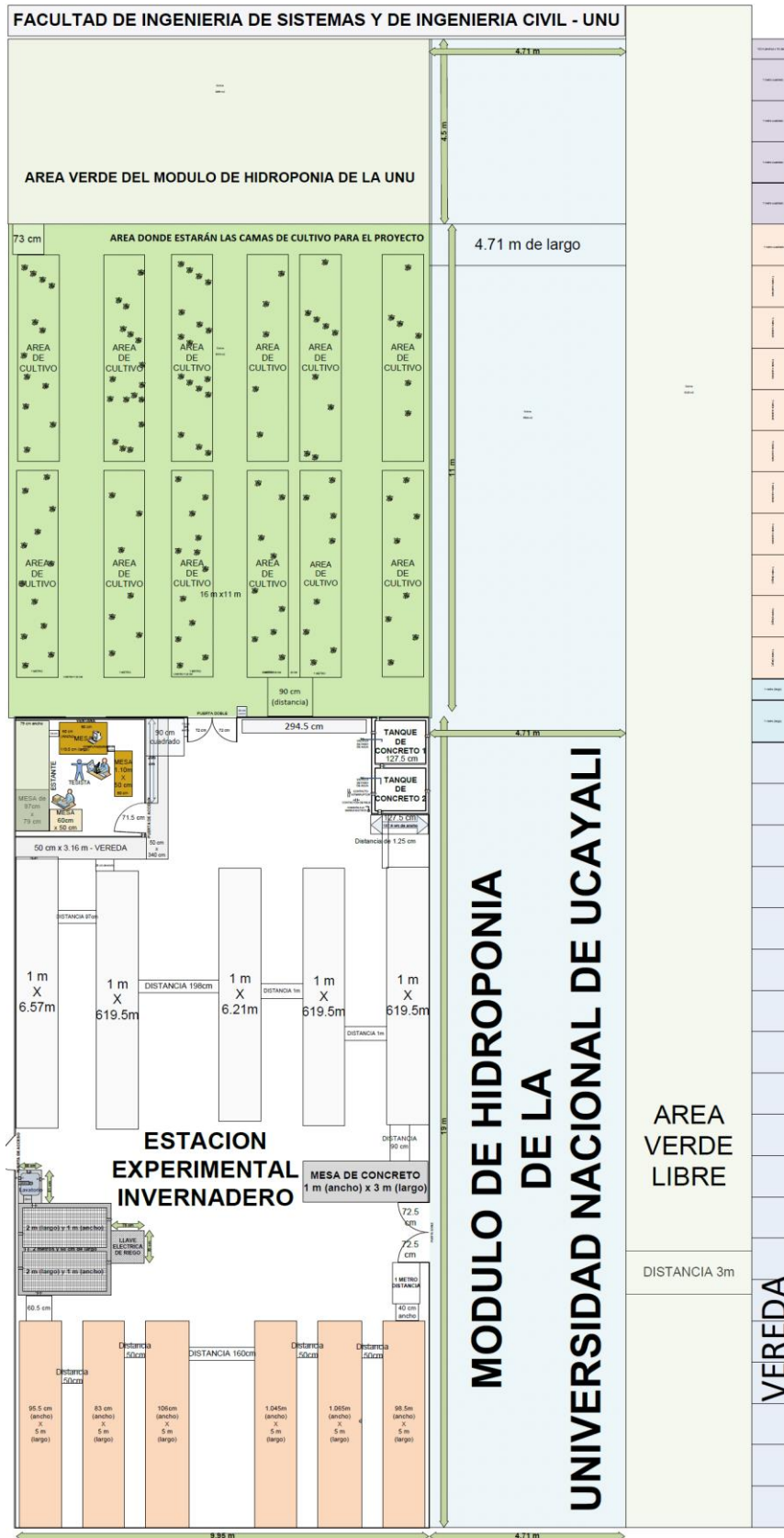


Fuente (Google Maps, 2014)

**Ilustración 71:** Ubicación del Centro de Investigación Hidropónico dentro del campus universitario.



**Ilustración 72:** Croquis del Centro de Investigación Hidropónico de la UNU



**Ilustración 73:** Frontis del Centro de Investigación Hidropónico de la UNU



Dibujo de la estación experimental invernadero del Centro de Investigación Hidropónico de la Universidad Nacional de Ucayali.

### 3.1.5. Duración del estudio

El presente trabajo tuvo una duración de 6 meses, iniciando el 07 del mes de Diciembre del 2013 y culminado el 23 de Junio del 2014.

### 3.2. Condiciones climatológicas

Según el sistema Holdrige, Ucayali se clasifica como “Bosque Húmedo Tropical” y según la clasificación de los bosques amazónicos pertenece al ecosistema “Bosque tropical semi – siempre verde estacional”. Cochrane 1982.

El clima de la región es cálida, húmeda y con lluvias bastantes concentradas casi todo el año, solo en el mes de junio se da un fenómeno climático especial llamado “fríos de San Juan” donde la temperatura baja bruscamente por algunos días. Su elevada precipitación pluvial alcanza una media anual de 2000mm, la cual varía durante todo el año, presentándose periodos secos definidos entre julio y agosto, y con intensa precipitación entre noviembre y marzo. La temperatura fluctúa entre 17,4°C y 36,5°C, con una media anual de 26,9°C, registrándose la más alta entre mayo y agosto, y las mínimas entre diciembre y mayo.

**Tabla 22:** Datos climatológicos registrados durante el experimento.

#### Diciembre Año 2013

MESES DEL AÑO	TEMPERATURA °C				H.R. %	Evap. mm	ETP mm	P.Pluv. mm/mes	Horas sol	VIENTOS	
	máx.	min.	med.	osc.						m/seg	direc.
DIC	32,0	22,9	27,5	9,1	81	130,2	136,4	88,1	187,6	2,3	NW
<b>PROM</b>	31,3	22,4	26,9	8,8	83,5	103,3	131,4	150,7	160,1	1,6	

*Fuente:* (Estación Meteorológica de la UNU, 2013)

#### Diciembre Año 2014

MESES DEL AÑO	TEMPERATURA °C				H.R. %	Evap. mm	ETP mm	P.Pluv. mm	Horas sol	VIENTOS	
	máx.	min.	med.	osc.						m/seg	direc.
ENE	30,7	22,8	26,2	7,8	85,6	94,6	139,0	180,9	115,5	1	N
FEB	30,8	22,9	26,9	7,9	85,6	84,4	120,5	90,8	94,2	1,6	N
MAR	29,8	22,8	26,3	7	86,5	89,8	130,4	165,2	88,6	1,6	N
ABR	30,7	22,7	26,7	7,9	84,9	101,1	128,2	246,1	129,7	1,4	SE
MAY	30,4	22,5	26,5	7,9	84,4	89,9	131,4	66,8	137,9	1,5	SE
JUN	30,9	22,1	26,6	8,8	81,8	94,2	127,7	232,4	191,1	1,6	E
<b>PROM</b>	31,3	22,4	26,7	8,7	82,3	101,6	130,7	158,7	140,8	1,7	

*Fuente:* (Estación Meteorológica de la UNU, 2014)

La precipitación mensual más alta fue de 246,1mm en el mes de Abril de 2014 y la más baja fue en el mes de Mayo de 2014 con 66,8mm. La humedad relativa más alta se registró en Marzo de 2014 con 86,5% y la menor Humedad relativa en Diciembre de 2013 con 81,0%.

El mayor número de horas de sol se registró en junio del 2014 con 191,1 horas y menor presencia de horas de sol se registró en marzo de 2014 con 88,6 horas. La mayor evaporación en diciembre de 2013 con 130,2mm y menor evaporación en febrero de 2014 con 84,4mm. Mayor evapotranspiración en enero de 2014 con 139mm, menor evapotranspiración en Febrero de 2014 con 120,5mm.

Mayor velocidad de viento en el mes de diciembre de 2013 con 2,3m/seg, con orientación noroeste, y menor velocidad de viento en enero de 2014 con 1m/seg con orientación norte. La orientación del viento en los 7 meses predominó norte con mayor frecuencia de 3 meses, seguido de sur este con una frecuencia de 2 meses. Sin embargo cabe indicar aunque en el 2013 y 2014 no hubo vientos fuertes que causan daños, en la Amazonía peruana los vientos de orientación sureste pueden volverse fuertes en los meses de julio, agosto o setiembre y causar daños, más cuando se presentan como tormentas tropicales con remolinos.

La temperatura máxima registrada en el mes de Diciembre del 2013 fue 32,0°C y el menor valor en marzo 2014 con 29,8°C; en cuanto a mínima se registró la mínima más alta en los meses de Diciembre de 2013 y Febrero de 2014 con 22,9°C y la mínima más baja en junio de 2014 con 22,1°C, estando la temperatura media alrededor de 26,7°C y las oscilaciones en 8,7°C. En el interior del Módulo de Hidroponía se registraron datos de temperatura y humedad cada 15 días y la

temperatura promedio fue de 29,5°C máximo y 20,5°C como mínimo, con humedad relativa de 78% en promedio.

### 3.3. Materiales, insumos y equipos

#### 3.3.1. Requerimiento de software

**Tabla 23:** Requerimientos para el sistema automatizado

Software	Hardware
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sistema operativo Windows: Windows 7 (máquina anfitrión) y Windows XP (huésped).</li> <li>• STEP 7 Basic – TIA Portal V11</li> <li>• OPC Server 2012</li> <li>• LabView 2012</li> <li>• Virtual Box (Máquina virtual)</li> <li>• Paquete de Ofimática.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Mínimo de procesador: Pentium Core 2 Duo.</li> <li>• Mínimo de RAM: de 2 a 4 GB.</li> <li>• Tipo de sistema operativo 64 bits pero también trabaja en 32 bits.</li> <li>• Velocidad: 2.53 GHz a 3.90 GHz</li> <li>• Mínimo de Disco duro: 500 GB.</li> <li>• Conexión a internet.</li> </ul>

**Tabla 24:** Requisitos para instalar TIA Portal

Procesador Core 2 Duo 2GHz o superior 2GB de RAM Tarjeta gráfica de 512 MB o superior; DirectX 9.0 o superior 4 GB de espacio libre en el disco duro; Windows XP en adelante
---

Fuente: (De ingeniería, 2014)

**Tabla 25:** Requisitos mínimos y recomendados para instalar LabView

	Mínimo	Recomendado
<b>Procesador</b>	Pentium III/Celeron 866 MHz o su equivalente	Pentium 4/M o su equivalente
<b>RAM</b>	256 MB	1 GB
<b>Resolución de la pantalla</b>	1024 x 768 pixeles	1024 x 768 pixeles
<b>Sistema Operativo</b>	Windows Vista/XP/2000	Windows Vista/XP
<b>Espacio en Disco</b>	1.6 GB	1.6 GB

Fuente: (Vera Romero, 2015)

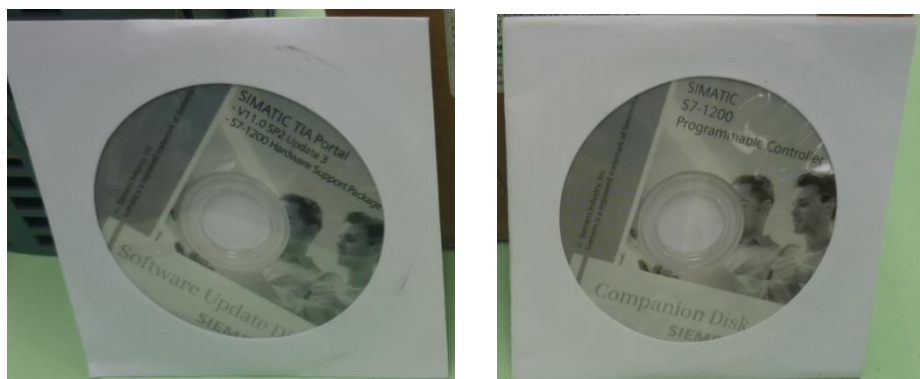
**Tabla 26:** Requisitos para instalar OPC Servers 2012

Software	Hardware
Windows 7 (32-bit and 64-bit)	Procesador 2.0 GHz
Windows Vista (32-bit and 64-bit)	RAM 1 GB instalado
Windows XP Service Pack 2 or later	180 MB espacio disponible en disco
Windows Server 2008 R2 (64-bit)	Tarjeta Ethernet
Windows Server 2003 R2 (32-bit)	Super VGA (800x600) o tarjeta de video de alta resolución
	CD-ROM or DVD Drive

Fuente: (National Instruments Corporation, 2011)

NI OPC Servers no soporta Windows NT/Me/2000/98/95 o Ediciones de Windows Server no R2

Para la instalación del Software se procedió primero a instalar una máquina virtual, luego se instaló dentro de la máquina virtual el sistema operativo XP, dentro de este el programa del controlador del PLC - TIA Portal versión 11 con los cd de instalación:

**Ilustración 74:** CD con el instalador del Software

El CD NI Device Drivers incluye drivers por defecto para el LabView.



El instalador de LabView puede ser descargado directamente de la página web de National Instruments una versión de prueba para estudiantes para un periodo de aproximadamente 6 meses.

### 3.3.2. Materiales

**Tabla 27:** Materiales de escritorio, laboratorio y de recolección de datos

Escritorio	Laboratorio	Recolección de datos
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Plumones</li> <li>• Lápiz</li> <li>• Lapicero</li> <li>• Etiquetas</li> <li>• Letrero</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probetas de vidrio</li> <li>• Mortero</li> <li>• Pipetas (7), para cada solución respectivamente</li> <li>• Vasos precipitados</li> <li>• Reloj</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ficha para obtención de datos</li> <li>• Ficha de resumen</li> <li>• Cuaderno de apuntes</li> <li>• Cuaderno de campo</li> </ul>

**Tabla 28:** Materiales para el cultivo hidropónico, agronómicos y de seguridad biológica

Cultivo Hidropónico	Agronómicos	Seguridad biológica
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Planchas de tecnopor (Poliestireno expandido)</li> <li>• Tanque de 1100 l.</li> <li>• Esponjas</li> <li>• Tubos de PVC</li> <li>• Baldes de plásticos de 100 litros y de 10 litros</li> <li>• Plástico negro de 6 micras</li> <li>• Envases de tecnopor</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Carretilla</li> <li>• Pala</li> <li>• Rafia</li> <li>• Regadera</li> <li>• Bomba de mochila</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Botas</li> <li>• Guantes de hule</li> <li>• Lentes</li> <li>• Sombrero</li> <li>• Jabón desinfectante</li> <li>• Alcohol</li> </ul>

### 3.3.3. Insumos

**Tabla 29:** Insumos orgánicos/inorgánicos y reguladores

Orgánicos e Inorgánicos	Reguladores
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Semillas de lechuga Great Lake</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácidos para regular el pH (Ácido sulfúrico, Ácido fosfórico o Ácido nítrico,</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fertilizantes</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Soluciones stock</li> <li>• Sales minerales</li> <li>• Legía (limpieza)</li> </ul>	<p>Ácido Clorhídrico)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Bases para regular el pH (Hipoclorito de sodio, hidróxido de sodio, de potasio o de amoniaco).</li> <li>• Soluciones tamponadas para la calibración del pH, conductividad eléctrica.</li> </ul>
--	--

### 3.3.4. Equipos

**Tabla 30:** Equipos eléctricos/electrónicos y accesorios

<b>Eléctricos y electrónicos</b>	<b>Accesorios</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Electrobomba de 0,5 HP o bomba de agua (actuador)</li> <li>• Válvulas solenoides (actuador)</li> <li>• Contactores (actuador)</li> <li>• Timer</li> <li>• Sensores: conductivímetro, pHmetro y de nitrógeno.</li> <li>• PLC S7-1200</li> <li>• Balanza electrónica de precisión en g</li> <li>• Cable de datos</li> <li>• Fuente reguladora de Voltaje</li> <li>• Módulo de Señal</li> <li>• Módulo de Comunicación</li> <li>• Tablero de control</li> <li>• Cable UTP</li> <li>• Cable GPT 3 - 16 AWG</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cámara fotográfica</li> <li>• Cámara de vigilancia</li> <li>• Rieles para tablero de control</li> <li>• Alicates</li> <li>• Crimpeador</li> <li>• Multitester</li> <li>• Mini-lan-tester</li> <li>• Caja de herramientas</li> <li>• Juego de destornilladores</li> </ul>

**Ilustración 75:** Características de la bomba



## Herramientas de medición

**Ilustración 76:** Sensores de pH, conductividad eléctrica, nitrógeno, nitrato y luz ambiental

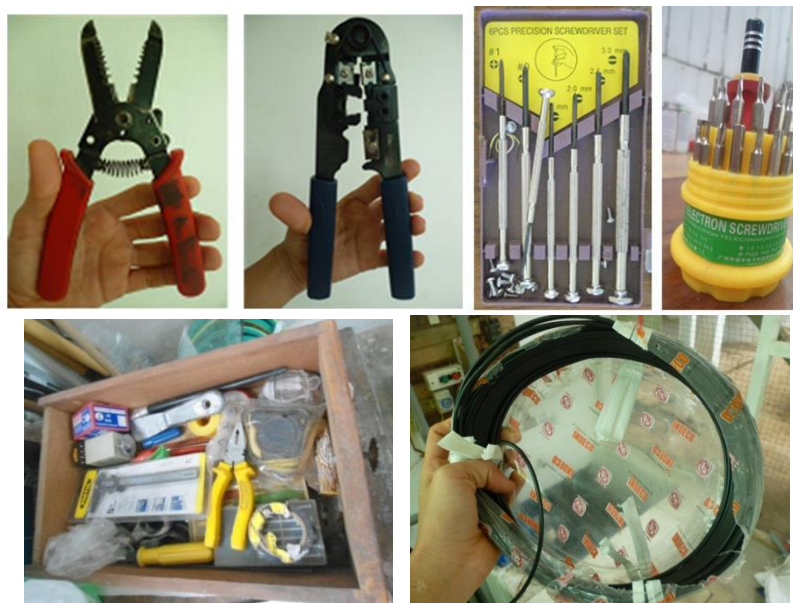


Sensor de pH, sensor de conductividad eléctrica, sensor de nitrógeno líquido, sensor de nitrógeno

## Herramientas y accesorios

Aquí tenemos el alicate para pelar el plástico que cubre el cobre de los cables y el crimpador.

**Ilustración 77:** Alicata cortador de cables, crimpador, juego de destornilladores, caja de herramientas y Cable GPT 3 - 16 AWG



### 3.4. Detalles de la construcción e implementación de los sistemas

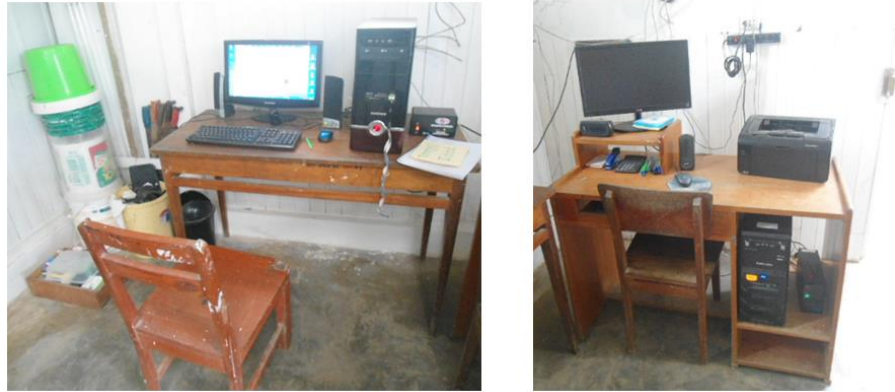
**Ilustración 78:** Oficina del Centro de Investigación Hidropónico (módulo de hidroponía) de la UNU



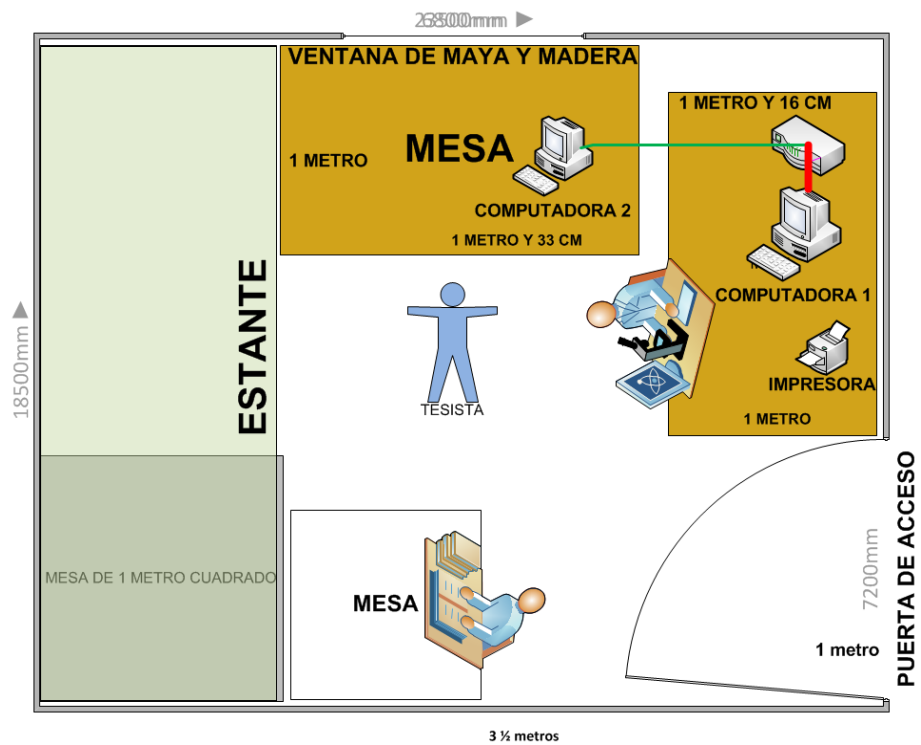
Al lado izquierdo los micro-nutrientes y al lado derecho los macro-nutrientes.

A continuación se muestra una fotografía de la estación de trabajo donde se instaló el sistema de control.

**Ilustración 79:** Computadoras para la investigación



**Ilustración 80:** Croquis de la oficina



### 3.4.1. Al comienzo del experimento en la huerta del módulo de Hidroponía

**Ilustración 81:** Determinación del área de cultivo al inicio del experimento



### 3.4.2. Lugar donde se armaron las camas de la parte automatizada

Se comenzó armando lo que sería la parte automatizada.

Primero se preparan los soportes de madera de las camas de cultivo.

**Ilustración 82:** Mesa de madera para colocar las planchas de fibra de vidrio



**Ilustración 83:** Colocación de las planchas de fibra de vidrio encima de la mesa de madera



**Ilustración 84:** Sombreadero de las camas de cultivo para las lechugas, para el sistema automatizado, semi-automatizado y de raíz flotante.



### 3.4.3. Los reservorios subterráneos para la solución nutritiva

En un inicio se encontró dos cisternas subterráneas y 2 cisternas superficiales en el módulo de hidroponía, las cuales requerían de algunos arreglos para poder ser utilizada en el proyecto. El lugar donde se encontró las cisternas subterráneas al comienzo se encontraba sin protección, abierto, luego se tuvo que cerrar el área con malla metálica y un techo de madera, para instalar los tableros de control de los sistemas hidropónicos automatizado y semi automatizado, los sensores y las válvulas solenoides con la finalidad de que se encuentre protegido y con acceso restringido en su interior.



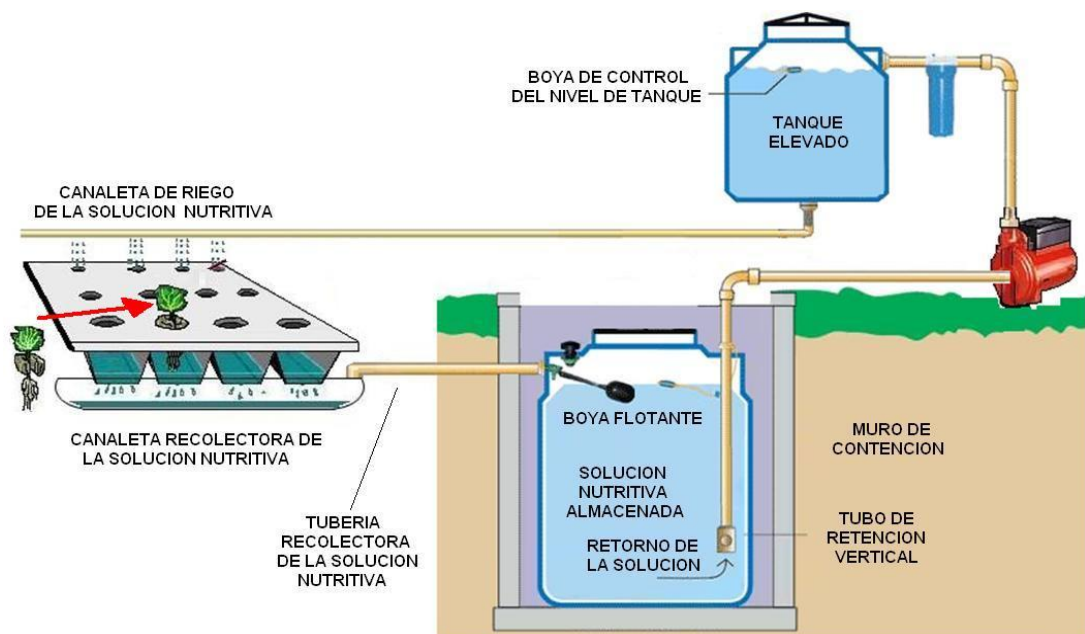
**Ilustración 85:** Lado izquierdo de la cisterna para el sistema automatizado y lado derecho para el sistema semi-automatizado



**Ilustración 86:** Se requirió cambiar los tanques pequeños 200 litros por de 600 litros.

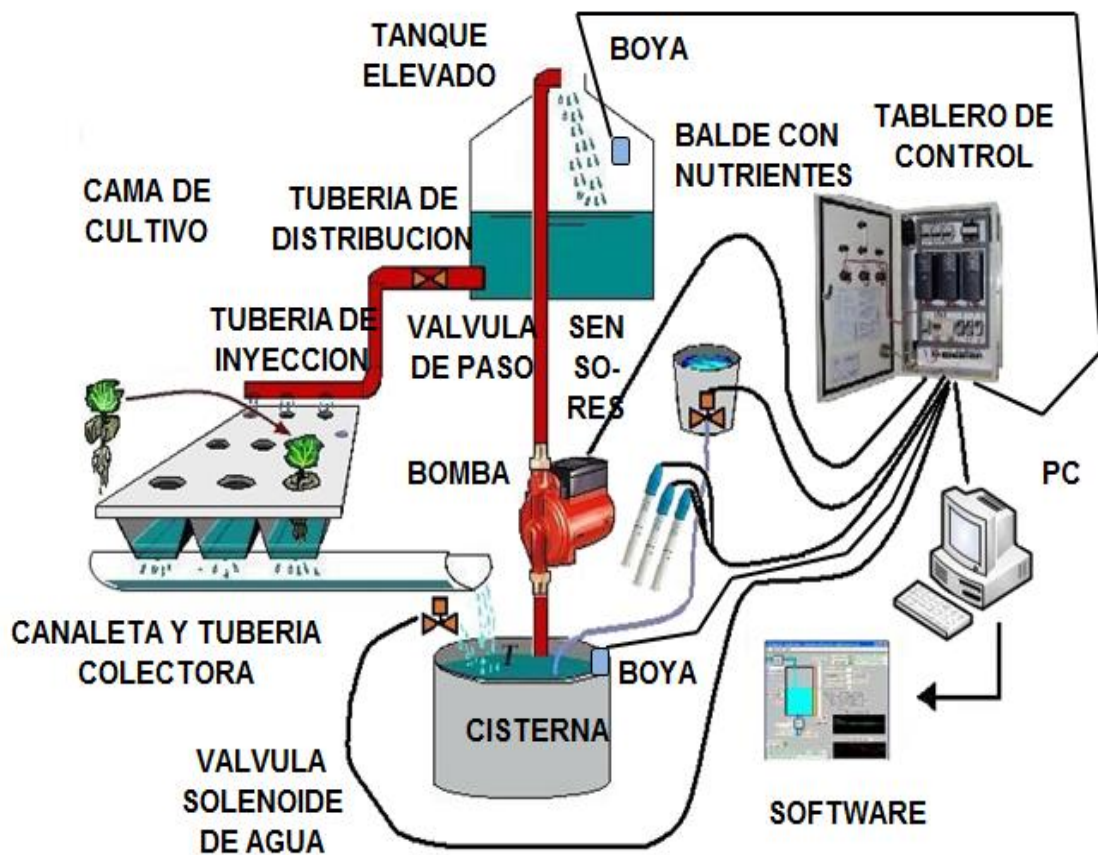


**Ilustración 87:** Esquema del sistema hidropónico NFT



Este esquema muestra el recorrido de la solución nutritiva. Se hizo una conexión de las camas con las cisternas colectoras de solución nutritiva. Observamos que en esta figura no se cuenta con el tablero de control, sensores ni válvulas solenoides como en el sistema automatizado.

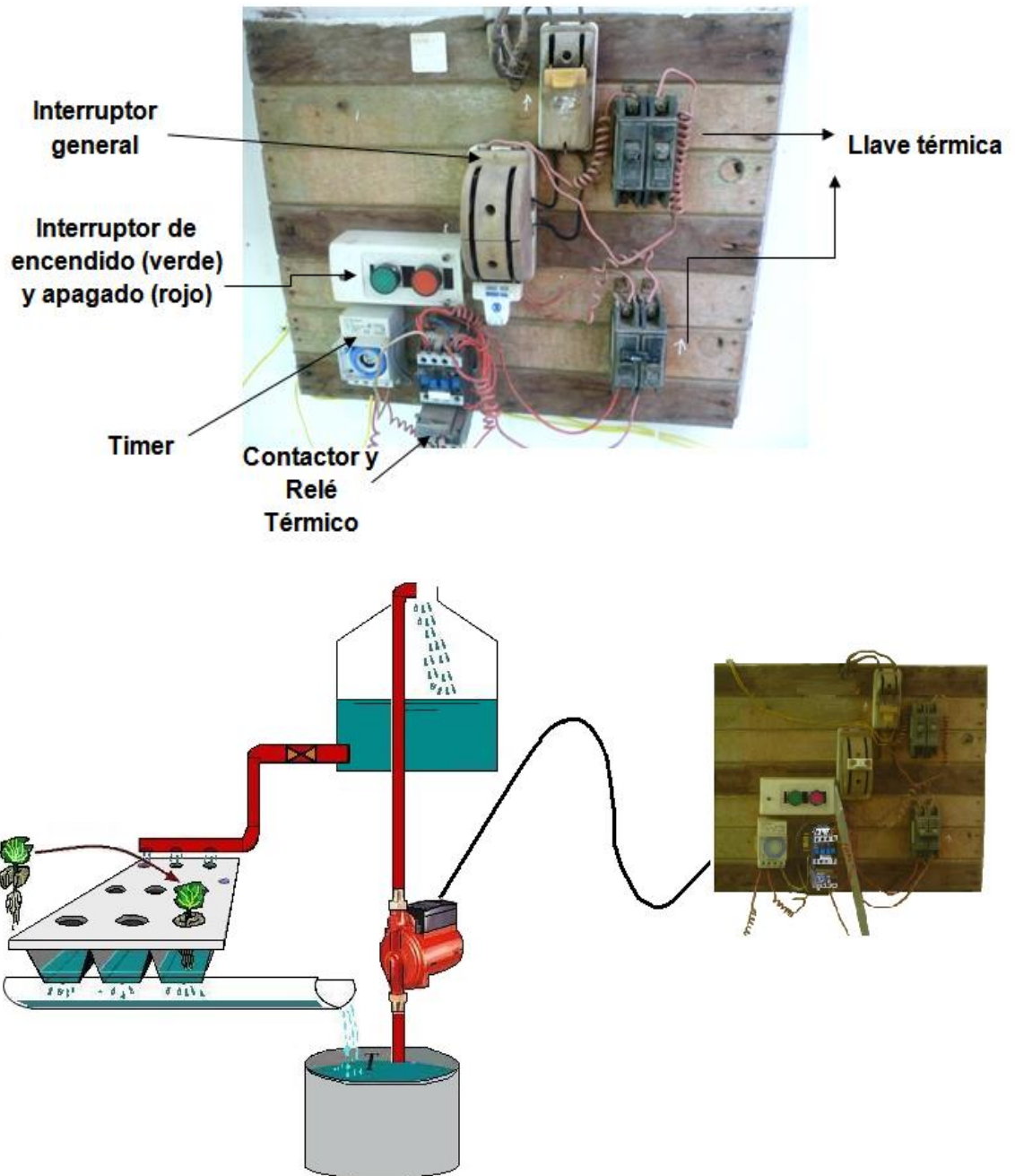
**Ilustración 88:** Sistema automatizado utilizando un tablero de control con PLC y la PC con la aplicación de software



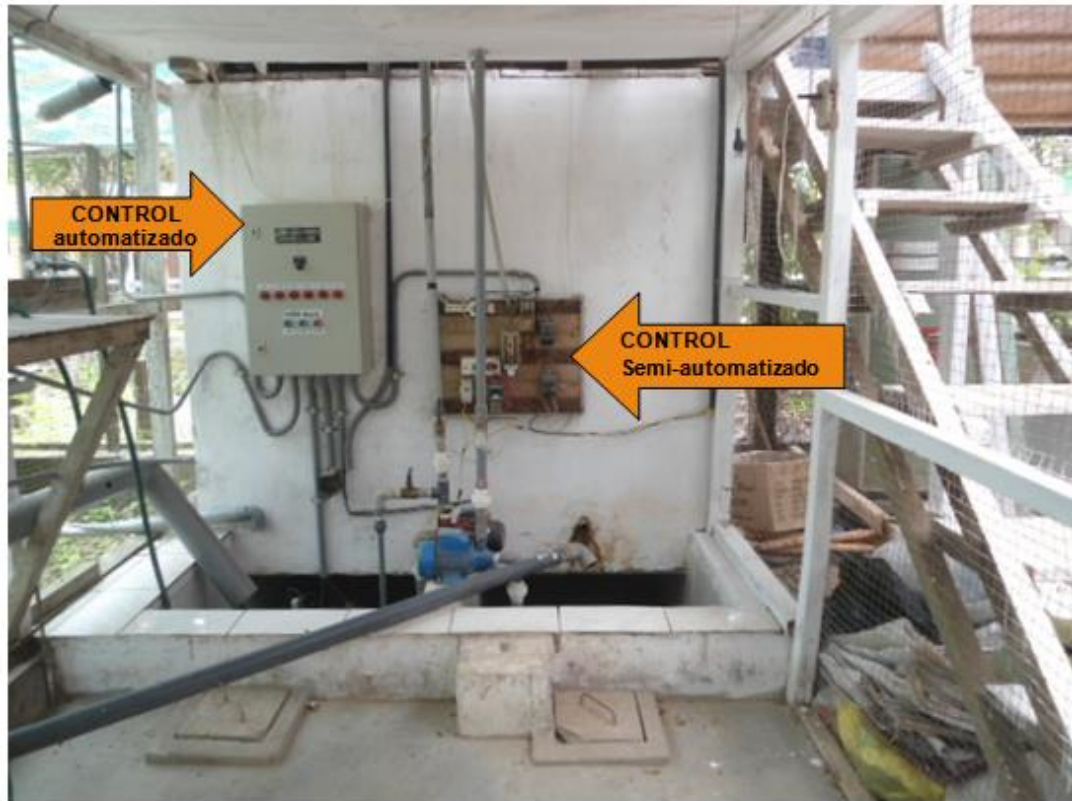
Se pensó en la implementación aplicando y utilizando software.

La implementación del sistema pasó por un proceso de mejora continua.

Desde el inicio del experimento hasta el final.

**Ilustración 89:** Tablero de llaves y sistema de control semi-automatizado

**Ilustración 90:** Instalación del PLC para el control del sistema automatizado al costado del tablero del sistema semi automatizado.



Y al costado de las dos cisternas podemos ver que se ha colocado una escalera que conduce a un segundo nivel donde se ubicaron dos tanques Rotoplas y los depósitos con las soluciones stock de los diferentes fertilizantes.

Abajo podemos observar en las fotografías que existen dos cajas con tapa de cemento y asa de fierro, donde se encuentran ubicadas las llaves de alimentación para agua que consiste en dos válvulas manuales, a la izquierda además para el sistema automatizado se tiene una válvula solenoide al llegar al terminal del caño de agua, dicha válvula se activa automáticamente según los requerimientos del sistemas; en la segunda

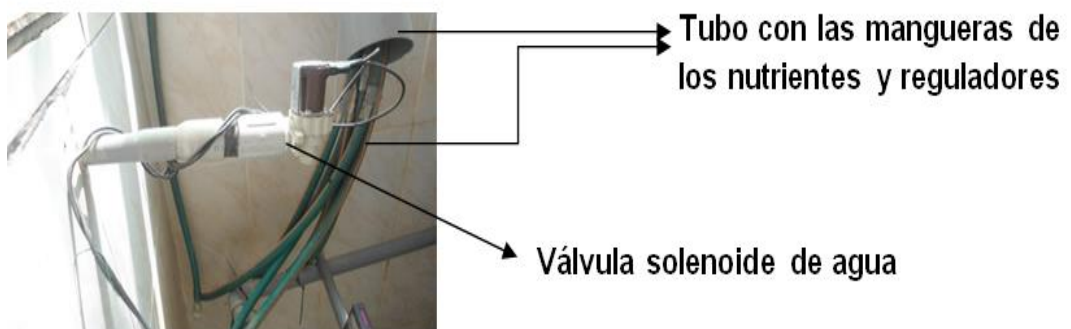
entrada de agua se dejó como en un principio, lo cual implicó que para una inyección de agua, esté procedimiento tiene que llevarse a cabo de forma manual.

**Ilustración 91:** Cajas llaves de entrada de agua a las cisternas



Ingreso de agua del lado izquierdo (automatizado) y del lado derecho (semi-automatizado) se puede observar que la llave del lado izquierdo (automatizado) se encuentra abierta pero a la salida del tubo se encuentra la válvula solenoide que va a regular el paso del agua (que se cierra y se abre con un pulso eléctrico o de corriente).

**Ilustración 92:** Válvula solenoide para el paso de agua en el sistema automatizado

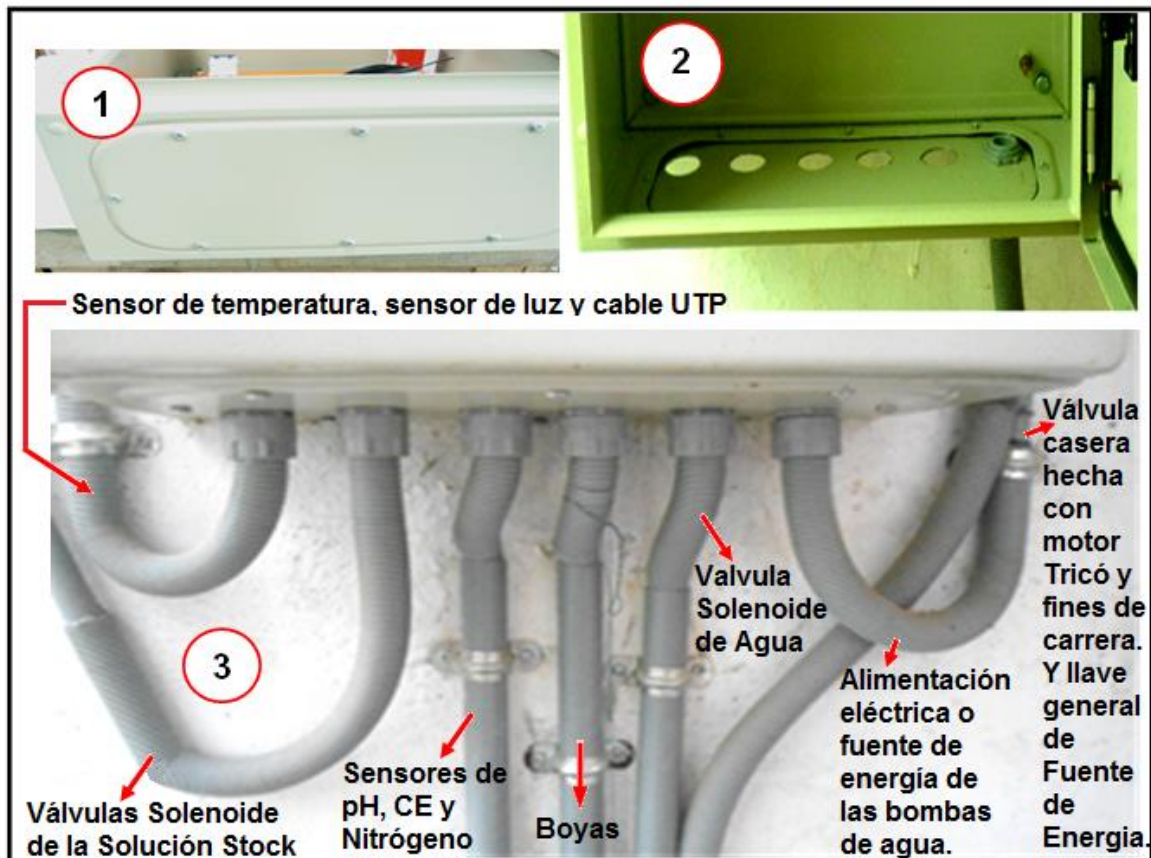


### 3.5. Sistema automatizado: instalación de los componentes eléctricos y electrónicos

**Ilustración 93:** Detalles del armado del tablero de control



**Ilustración 94:** Perforado de agujeros en la base del tablero de control para las conexiones



Primero para poder conectar los sensores que recolectarán información de la solución nutritiva de los tanques colectores, los cables tienen que salir del tablero de control desde la parte inferior del tablero. En la imagen segunda (al extremo del lado derecho superior) se aprecia que en uno de los agujeros está colocada una manguera, por dicha manguera pasaron algunos cables de conexión. Tercero del mismo modo por los otros agujeros pasaron los diferentes cables de conexión.

**Ilustración 95:** Ubicación del tablero de control en la pared, sobre los reservorios subterráneos.



**Ilustración 96:** Corte de rieles de soporte para PLC del tablero de control

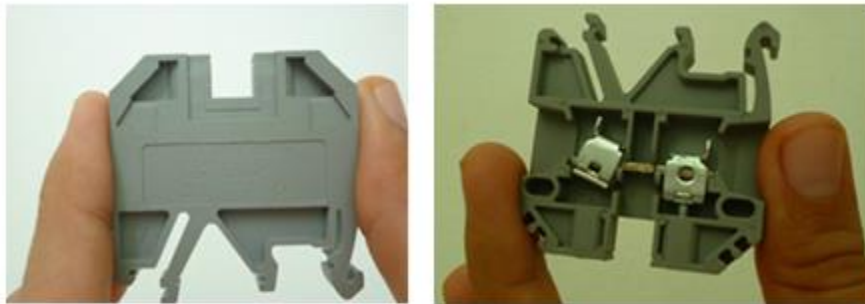




**Ilustración 97:** Entornillado del soporte de rieles en el tablero de control



**Ilustración 98:** Instalación de las borneras



**Ilustración 99: SM 1231 AI**



**Ilustración 100: SM 1232 AQ**



**Ilustración 101: CPU 1214 C**



**Ilustración 102: Transformador de voltaje**

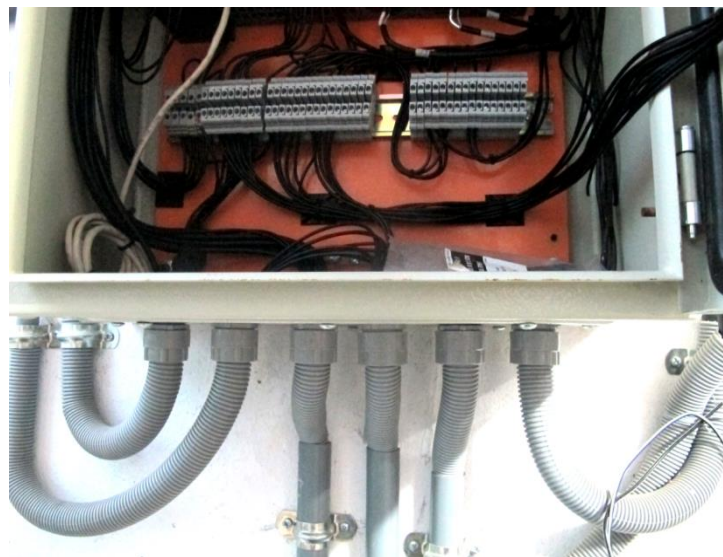


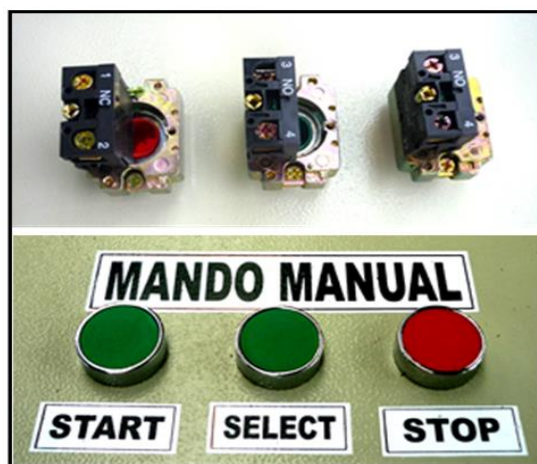
**Ilustración 103:** Instalación de los componentes eléctricos y electrónicos**Ilustración 104:** Instalación del cableado eléctrico y electrónico

**Ilustración 105:** Conexión de las borneras



**Ilustración 106:** Ordenando los cables con sujetadores y tubos aisladores



**Ilustración 107:** Selector de funcionamiento de modo automático o manual**Ilustración 108:** Pulsadores

Pulsadores para el mando de control manual del vertimiento de la solución stock.

**Ilustración 109:** Leds indicadores

Tanque 1: NaOH; tanque 2: HNO<sub>3</sub>; tanque 3: MgSO<sub>4</sub>; tanque 4: KNO<sub>3</sub> y

Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> tanque 5: Fe-EDTA y micro-elementos; tanq 6: KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>.

**Ilustración 110:** Potenciómetro, leds indicadores y botones de selección



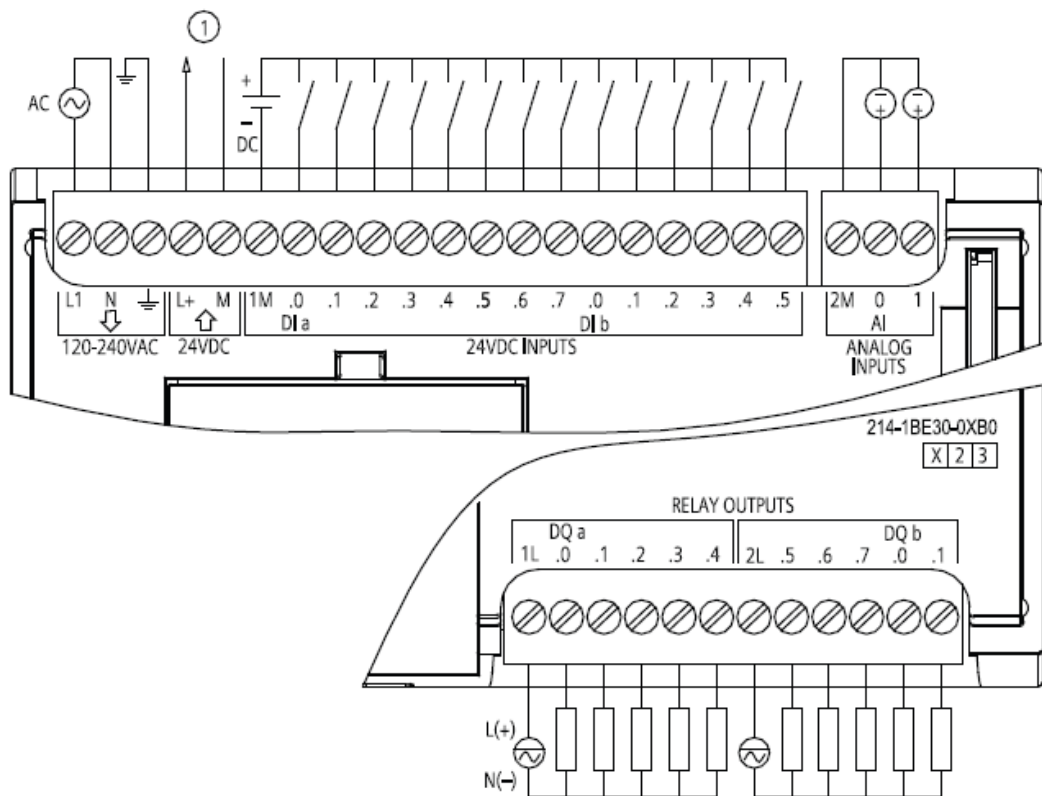
Conexión potenciómetro, leds indicadores y botones de selección de la puerta del  
tablero de control

### 3.5.1. Diagramas del cableado en el PLC S7 1200

Según el manual del PLC tiene dimensiones físicas de 110 x 100 x 75 mm.

Memoria de usuario: memoria de trabajo (50 KB), memoria de carga (2MB) y memoria remanente (2KB)

**Ilustración 111:** A-7 CPU 1214C AC/DC/relé(6ES7 214-1BE30-0XB0)

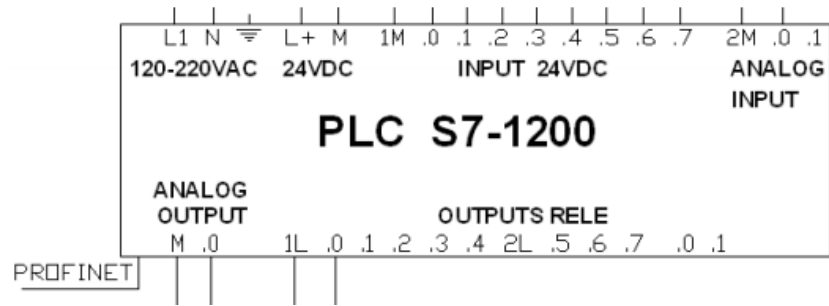


① Alimentación de sensores 24 V DC

Fuente: (Siemens, 2009)

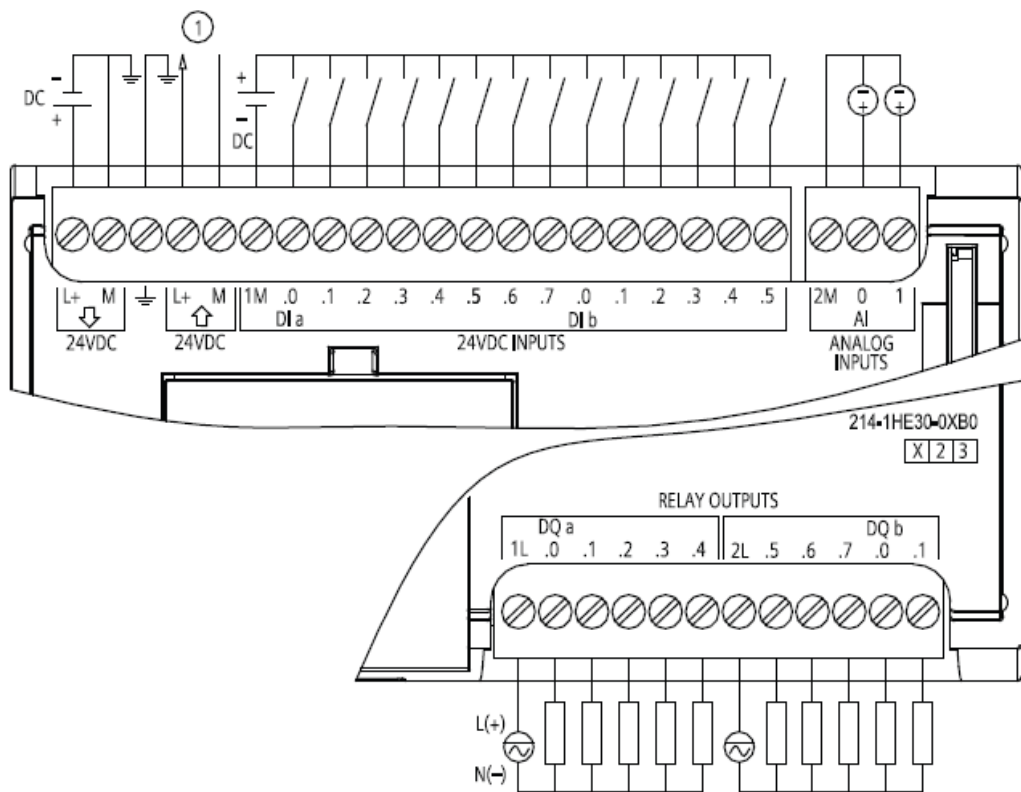


**Ilustración 112: Esquema del PLC S7-1200**



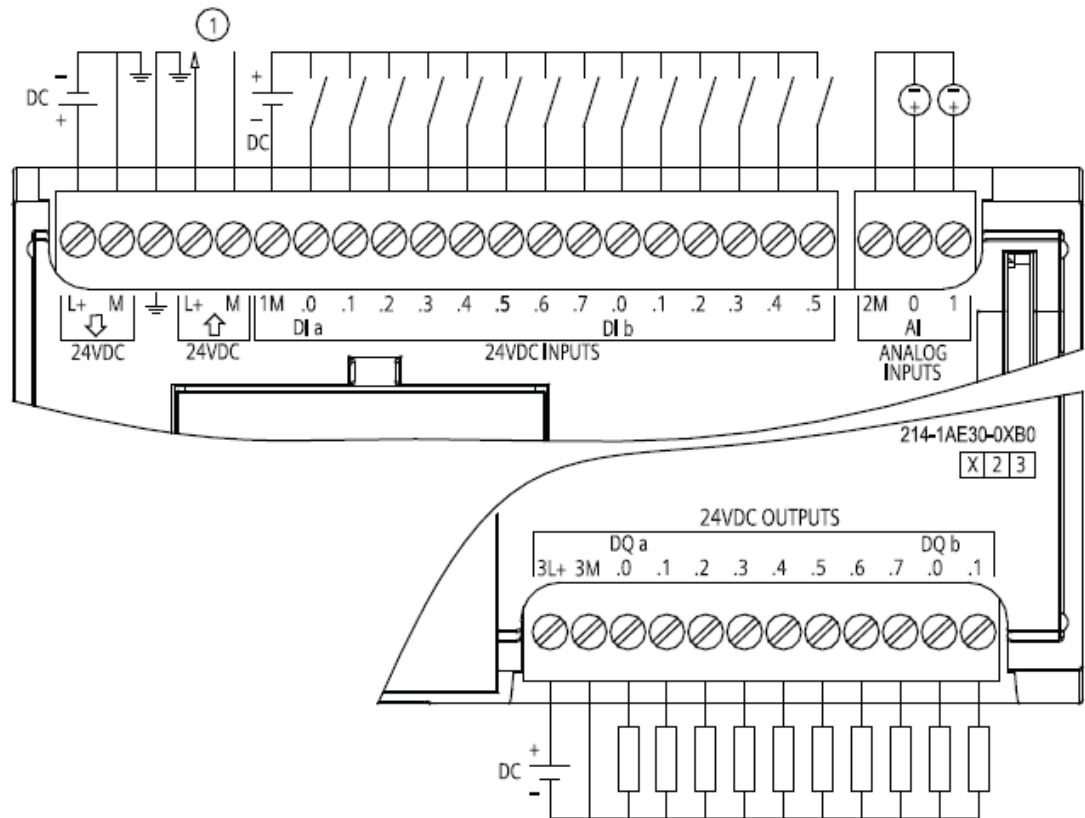
Fuente: (Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel), 2012)

**Ilustración 113: A-8 CPU 1214C DC/DC/relé (6ES7 214- 1HE30-0XB0)**



① Alimentación de sensores 24 V DC

Fuente: (Siemens, 2009)

**Ilustración 114:** Módulos de señales digitales (SMs)

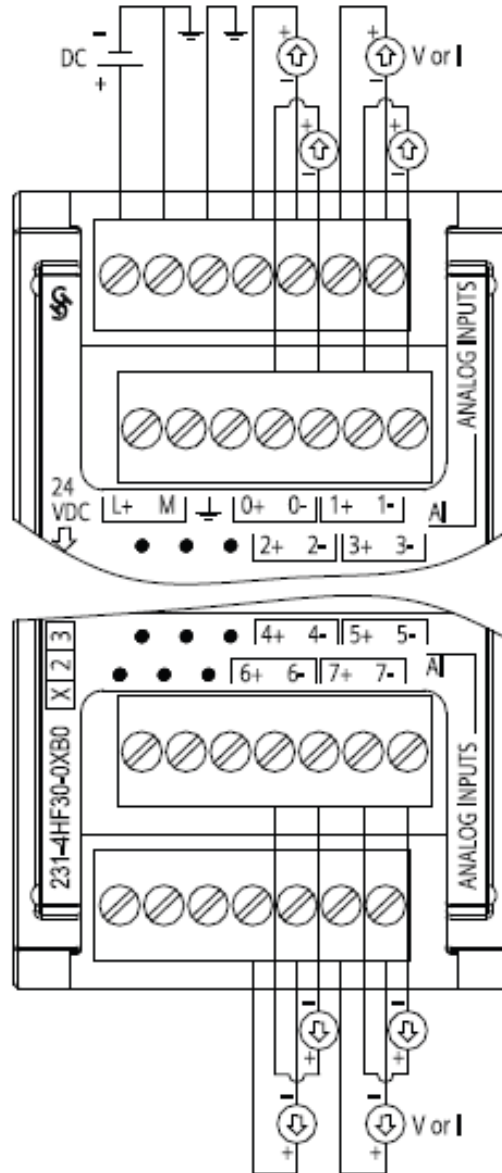
① Alimentación de sensores 24 V DC

### A-9 CPU 1214C DC/DC/DC (6ES7 214-1AE30-0XB0)

Fuente: (Siemens, 2009)

**Ilustración 115:** Módulos de señales analógicas (SMs) SM 1231 AI

### SM 1231 AI 8 x 13 bit

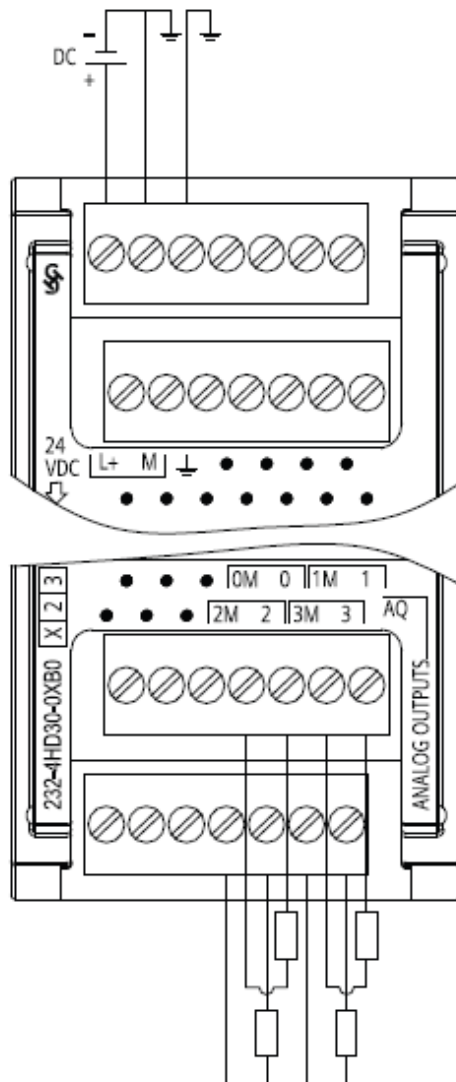


**6ES7 231-4HF30-0XB0**

Fuente: (Siemens, 2009)

**Ilustración 116:** Módulos de señales analógicas (SMs) SM 1232 AQ

**SM 1232 AQ 4 x 14 bit**

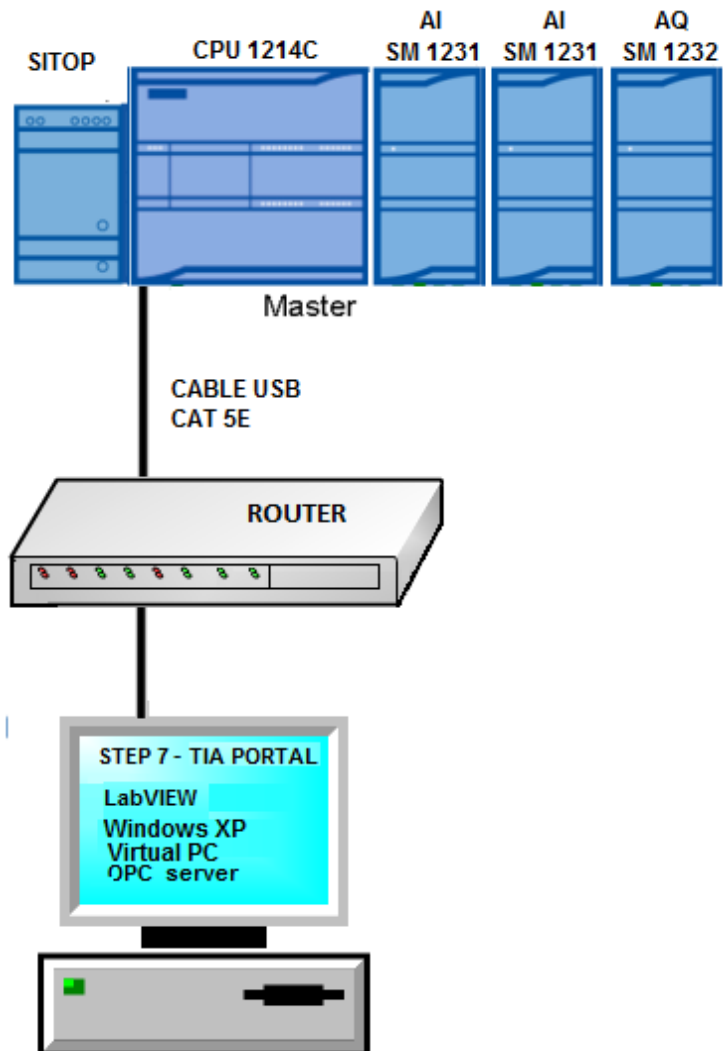


**6ES7 232-4HD30-0XB0**

Fuente: (Siemens, 2009)

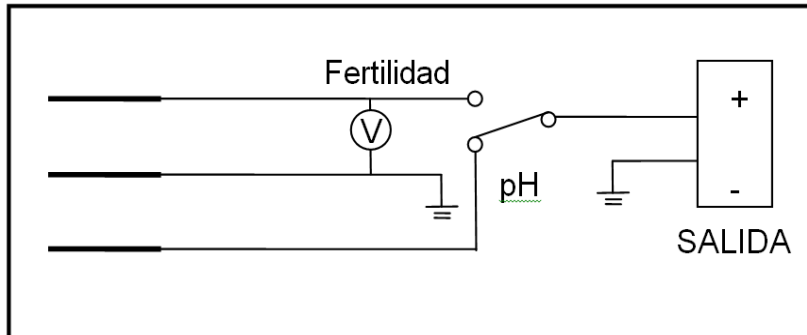
### 3.5.2. Diagrama de conexión de componentes de control

Ilustración 117: Diagrama de conexión de componentes de control

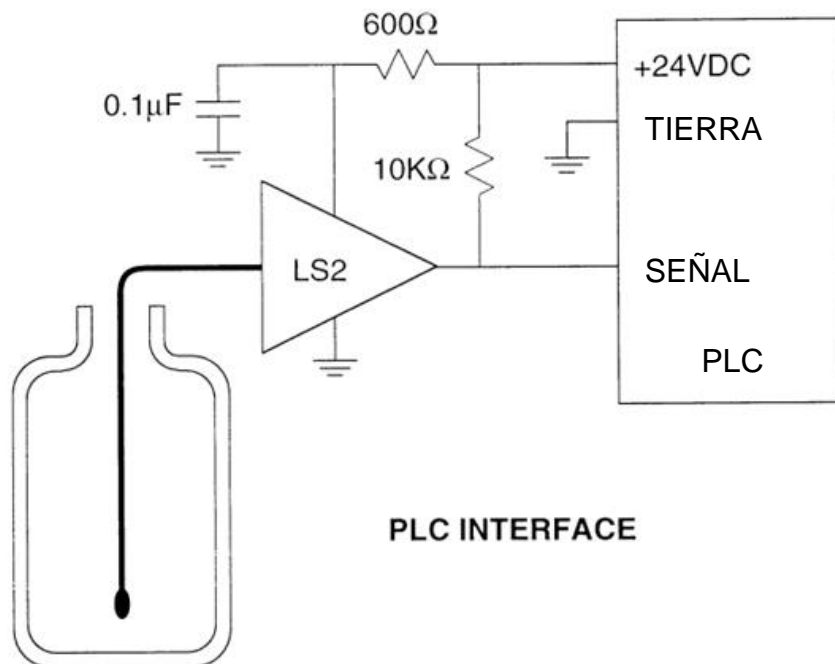


### 3.5.3. Diagrama de conexión de los sensores

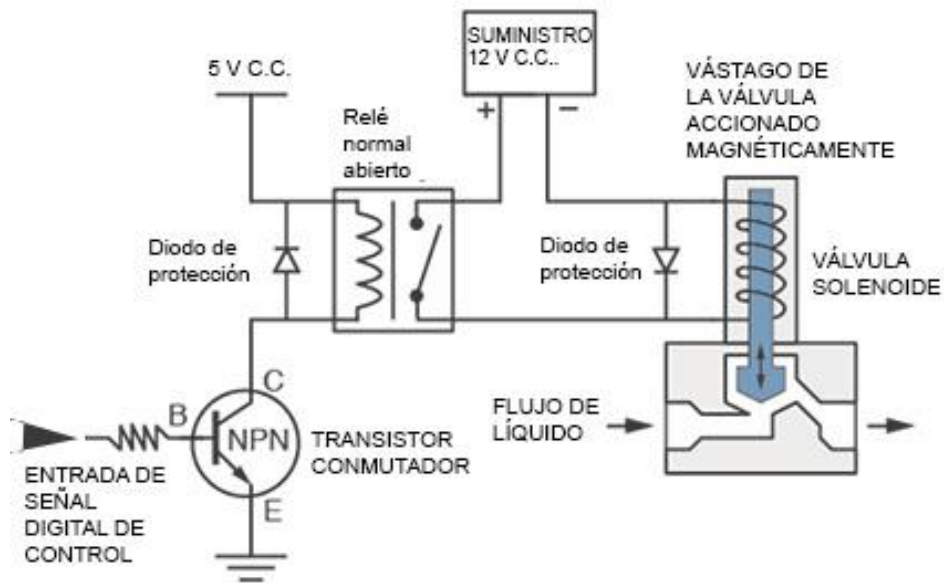
**Ilustración 118:** Diagrama de la conexión de los sensores.



**Ilustración 119:** Diagrama de la conexión del sensor de nitrógeno con el PLC y de los demás sensores



Fuente: (Teragon, 2014)

**Ilustración 120:** Diagrama del circuito eléctrico de la válvula solenoide

Fuente: (Tecnoficio, 2011)

### 3.5.4. Seguridad

Se ha considerado dos tipos de seguridad: seguridad física y seguridad lógica.

Seguridad lógica

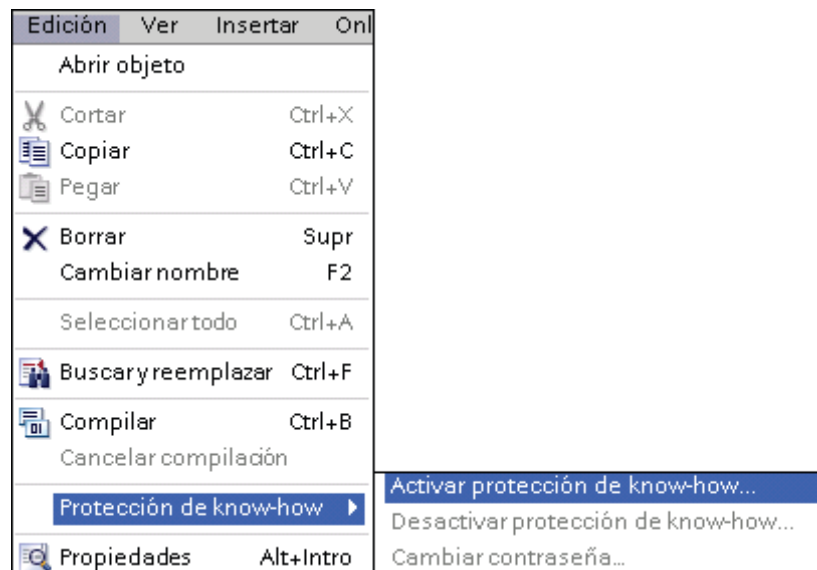
Para ello se ha pensado en restringir el acceso a través de cuentas de usuario de modo restringido, protección anti-copia, etc.

#### Seguridad TIA Portal V11

Se ha impido el acceso no autorizado a los bloques lógicos (OB, FB o FC) del programa. Se ha creado una contraseña para limitar el acceso al bloque lógico.

Para proteger el bloque contra copia, elija el comando "Protección de know-how" del menú "Edición". Se debe introducir luego la contraseña. Cuando a un bloque se configura para que tenga protección de anti-copia no será posible acceder al código del bloque si no se introduce la contraseña.

**Ilustración 121:** Protección anti-copia



### Seguridad OPC

Según Wikipedia (2014) Existen tres niveles de seguridad OPC: Seguridad Inválida (libre acceso entre Cliente/Servidor), seguridad DCOM (clientes seleccionados tienen acceso limitado a servidores OPC. No hay un control total sobre sistemas operativos como Linux, Unix), seguridad OPC: El Servidor OPC (sirve como un regulador de control de acceso a fabricantes de sistemas operativos como Linux y Unix sobre objetos específicos de acceso restringido que son expuestos por el Servidor OPC).

Según (National Instruments, 2011) para la seguridad conexiones de cliente OPC para hacer frente a la demanda por mejorar a OPC y la



seguridad de configuración DCOM, servidores NI OPC 2012 se esfuerzan por cumplir el estricto cumplimiento de DCOM en el arranque.

Esta configuración del servidor se habilita a través del cuadro de diálogo “Runtime Options” (Opciones de tiempo de ejecución) que se encuentra localizado en el menú Administration (Administración) clicando “Setting” (Configuración) “Runtime Options” (Opciones de Tiempo de Ejecución) La opción se encuentra localizada debajo de “OPC Connection Security” (OPC Opciones de Seguridad) en el “checkbox” (en la casilla) “Use DCOM configuration utility settings” (Usar la Configuración de la utilidad de configuración DCOM ). La configuración por defecto está marcada. NI OPC Servers en 2010 o antes, esta opción es a través de la configuración haciendo clic en Herramientas → Opciones → Configuración OPC. La configuración por defecto está deshabilitada o desactivada. Esto significa que mientras se configura DCOM, los clientes locales pueden conectarse. Los usuarios no pueden conectarse a servidores OPC NI 2012, pero son capaces de conectarse a servidores OPC NI 2010 o versiones anteriores, debe desmarcar esta opción.

#### Seguridad LabView.

Brinda opciones de configuración que incluye opciones de seguridad para permitir o denegar el acceso a ciertos usuarios, máquinas o archivos.

## Seguridad TeamViewer

Según Wikipedia (2015) su función es conectarse remotamente a otro equipo, para compartir y controlar escritorios, reuniones en línea, videoconferencias y transferencia de archivos entre ordenadores.

Según TeamViewer GmbH (2010) TeamViewer GmbH proveedor que cuentan con un sistema de gestión de la calidad certificado conforme a ISO 9001.

Con los estándares internacionales son revisados cada año por medio de auditorías externas. TeamViewer se sometió a una inspección de seguridad llevada a cabo por la alemana Fiducia IT AG (una operadora de centros de procesamiento de datos para alrededor de 800 bancos alemanes) y fue homologado para el uso en estaciones de trabajo en bancos.

Las sesiones de TeamViewer están codificadas mediante infraestructura de clave pública RSA (1024-bit) y AES (256-bit). En la configuración predeterminada, el programa usa uno de los servidores de TeamViewer.com para conectar el equipo local y el remoto. Sin embargo, en el 70% de los casos, después del protocolo de enlace se establece una conexión directa a través de UDP o TCP.13. Wikipedia (2015).

Todas las versiones de TeamViewer utilizan cifrado completo, basado en 2048 bit RSA / intercambio de claves pública y privada de 256 bits AES codificación sesión. Utiliza el mismo nivel de seguridad como https / SSL y se considera seguro para los estándares actuales. El intercambio de claves garantiza que el canal de datos está completamente codificada de cliente a

cliente y que cualquier routers o servidores intermedios sean incapaces de leer o analizar el flujo de datos según Teamviewer (2015).

### **Seguridad física**

Con respecto a la seguridad física utilizó un tablero de control tipo gabinete o armario eléctrico, que permiten protegerlos no solo de la manipulación indebida de personas no autorizadas, sino también de los factores ambientales como lluvia, calor, polvo, ruido eléctrico, humedad, etc. En el mercado podemos encontrar diferentes tipos de tableros grandes, medianos y pequeños.

**Ilustración 122:** Tablero o gabinete de control del PLC



También hay que considerar que los dispositivos PLC deben estar alejados de fuentes de calor, alta tensión e interferencias, porque así prolongaremos la vida útil de estos dispositivos, también no debemos juntar los cables de datos o comunicación con los cables de corriente ya sea AC (corriente alterna) o DC (corriente continua).

Otro aspecto importante, es asegurar la seguridad de los operarios según UJI, ya que los PLCs S7-1200 son controladores abiertos si no se cumple con los requisitos de montaje, puede producirse la muerte, lesiones corporales graves y/o daños materiales.

Ejemplo de seguridad: Una prensa en la que el operario introduce una chapa para después darle al pulsador de marcha. La secuencia del automatismo debería permitir la puesta en marcha de la prensa solo cuando el operario pulsa de forma simultánea dos pulsadores separados. De esta forma se garantiza que las dos manos quedan fuera de la prensa cuando ésta actúa según UJI.

La tecnología o técnica de implementación del automatismo debe garantizar la seguridad, pudiendo utilizar elementos especiales ya que si por alguna razón falla el sistema de control pueden producirse situaciones de peligro según UJI.

Por ejemplo, el automatismo de un PLC debe garantizar que la apertura produzca la parada instantánea de la máquina, sin definir una secuencia para que así sea, sino que hay que utilizar un interruptor y un relé de seguridad que corte la alimentación independientemente del autómatas programable que la controla según UJI.

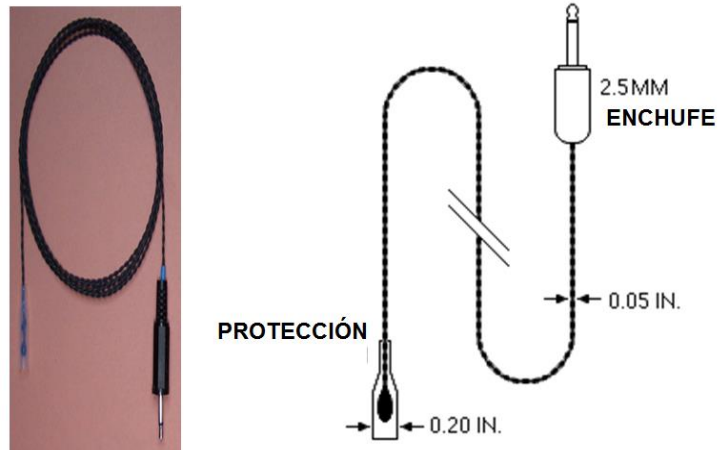
Para restringir el acceso al tablero de control y los equipos electrónicos como sensores y válvulas.

### 3.6. Soporte de los sensores

**Ilustración 123:** Armando el soporte de los sensores

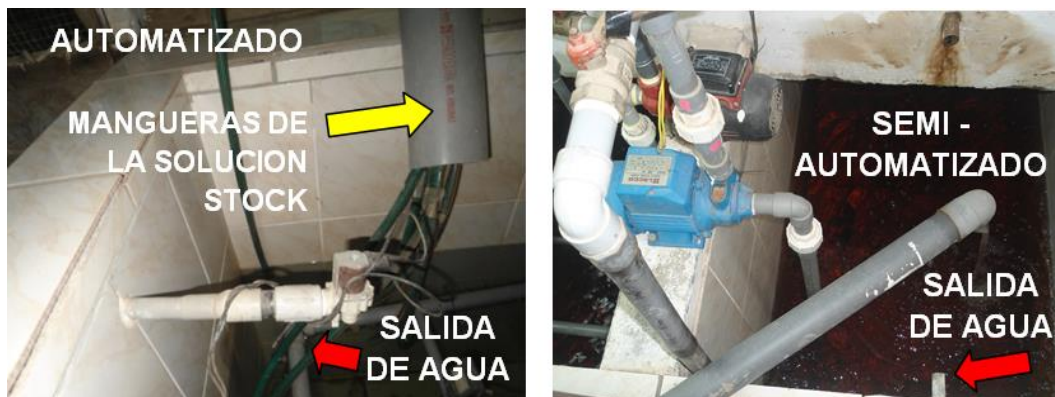


**Ilustración 124:** Sensor de nitrógeno líquido



Fuente: (Teragon, 2014)

**Ilustración 125:** Ingreso de agua para el sistema automatizado y semi-automatizado



En la figura arriba podemos observar salida con mangueras a la izquierda que son las que descargan los diferentes soluciones stock con nutrientes a la cisterna, también soluciones de hidróxido de sodio y ácido nítrico para regular el pH por los sensores que fueron acomodados y sujetos a un tubo de PVC de 1 pulgada de diámetro, dentro del taque. La solución nutritiva fue mezclada sus nutrientes en el reservorio subterráneo que viene a ser la cisterna. Y en la fotografía de la derecha tenemos el tubo que descarga la solución nutritiva de sus respectivas camas.

**Ilustración 126:** Cisterna automatizada antes y después de la instalación de la válvula solenoide



**Ilustración 127:** Preparación de los sensores de prueba**Ilustración 128:** Conexión de los sensores de prueba  
nitrógeno, pH y CE

### 3.7. Descripción de algunos instrumentos, materiales utilizados y procesos

**Ilustración 129:** Limpieza de la cisterna subterránea para solución nutritiva del sistema automatizado



Es la misma cisterna antes y después de la limpieza que siempre se procuró realizarla después de terminado un tratamiento para iniciar otro.

Y para realizarla hay que considerar que para ello debemos considerar los aspectos de bioseguridad, como el hecho de tener el sistema desconectado del suministro eléctrico antes de comenzar con cualquier tipo de manipulación de los elementos para el proceso de limpieza ya que existe el riesgo de electrocutarse o de recibir alguna descarga eléctrica y por tener agua que es un elemento que es buen conductor de electricidad.



### 3.7.1. Boyas eléctricas

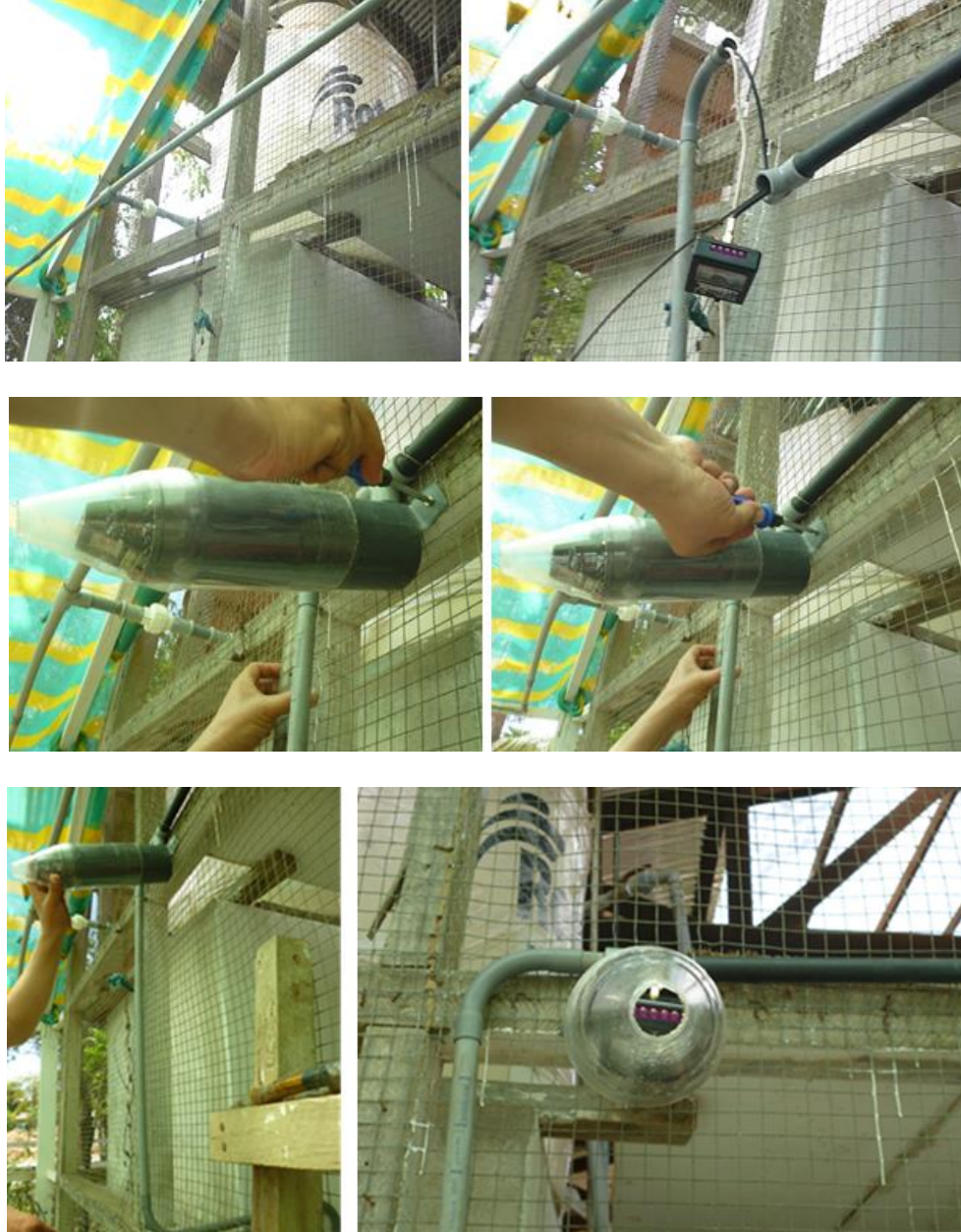
**Ilustración 130:** Conexión de la boya del automatizado



Las boyas de los tanques del sistema automatizado (tanque de distribución – arriba y tanque colector - abajo) están conectados electrónicamente al PLC haciendo el papel de sensores y válvulas que van a indicar el pase o cierre de la recirculación del fluido nutricional o solución nutritiva. También va a ser un indicador para el accionamiento de la válvula de ingreso de agua y del motor de impulsión o bomba de agua.

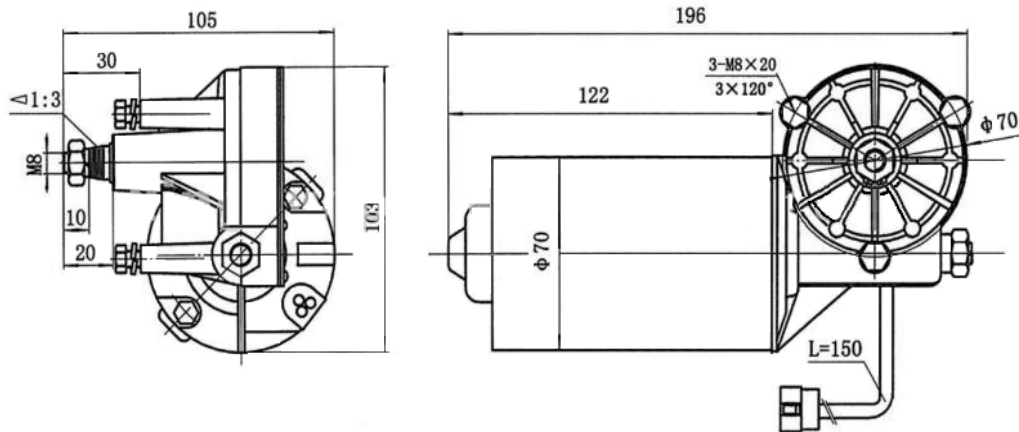
### 3.7.2. Sensor de luz

**Ilustración 131:** Instalando sensor de luz



### 3.7.3. Instalación Motor Tricó

**Ilustración 132:** Motor Tricó



Fuente: (King-wiper, 2014)

La válvula de pase con Motor Tricó está conectó al PLC

**Ilustración 133:** Contactor del motor Tricó



**Ilustración 134:** Esta es otra una versión mejorada del primer motor tricó con válvula de PVC de 1”.



**Ilustración 135:** Instalación del motor Tricó protegido de la lluvia con plástico



**Ilustración 136:** Instalación de una fuente para el motor tricó.



#### 3.7.4. Instalación de dos tanques Rotoplas de 600 litros de capacidad

**Ilustración 137:** Se instalaron dos tanques Rotoplas de 600 litros de capacidad en el segundo nivel de la planta para el sistema de riego automatizado y semi-automatizado respectivamente.



### 3.7.5. Baldes con solución stock de nutrientes y reguladores de pH

Al comienzo los baldes contenedores estaban en el primer nivel y las válvulas solenoides no actuaban adecuadamente por falta de presión.

**Ilustración 138:** Al comienzo los baldes contenedores estaban en el primer nivel



**Ilustración 139:** Después a la solución stock y reguladores de pH se les ubicó en segundo piso.



Los baldes contenedores de nutrientes fueron llevados al segundo piso, lo que al comienzo estaban en el primer nivel de la planta, todo el sistema se asemeja a una planta industrial, el motivo del cambio de lugar fue porque las válvulas solenoides necesitaban de una fuerza de inyección que podía ser obtenida a través de la gravedad.

**Ilustración 140:** Recipientes con las soluciones reguladoras de pH



1. Básico = Hidróxido de sodio 1molar

2. Ácido = Ácido Nítrico 1Normal

**Ilustración 141:** A continuación los recipientes con los macronutrientes



3.  $MgSO_4$  = Sulfato de magnesio

4.  $KNO_3$  y  $CaNO_3$  = Nitrato de potasio y nitrato de calcio

6.  $KH_2PO_4$  = Fosfato mono-potásico



**Ilustración 142:** Los siguientes galones de plástico con quelato de hierro micronutrientes.



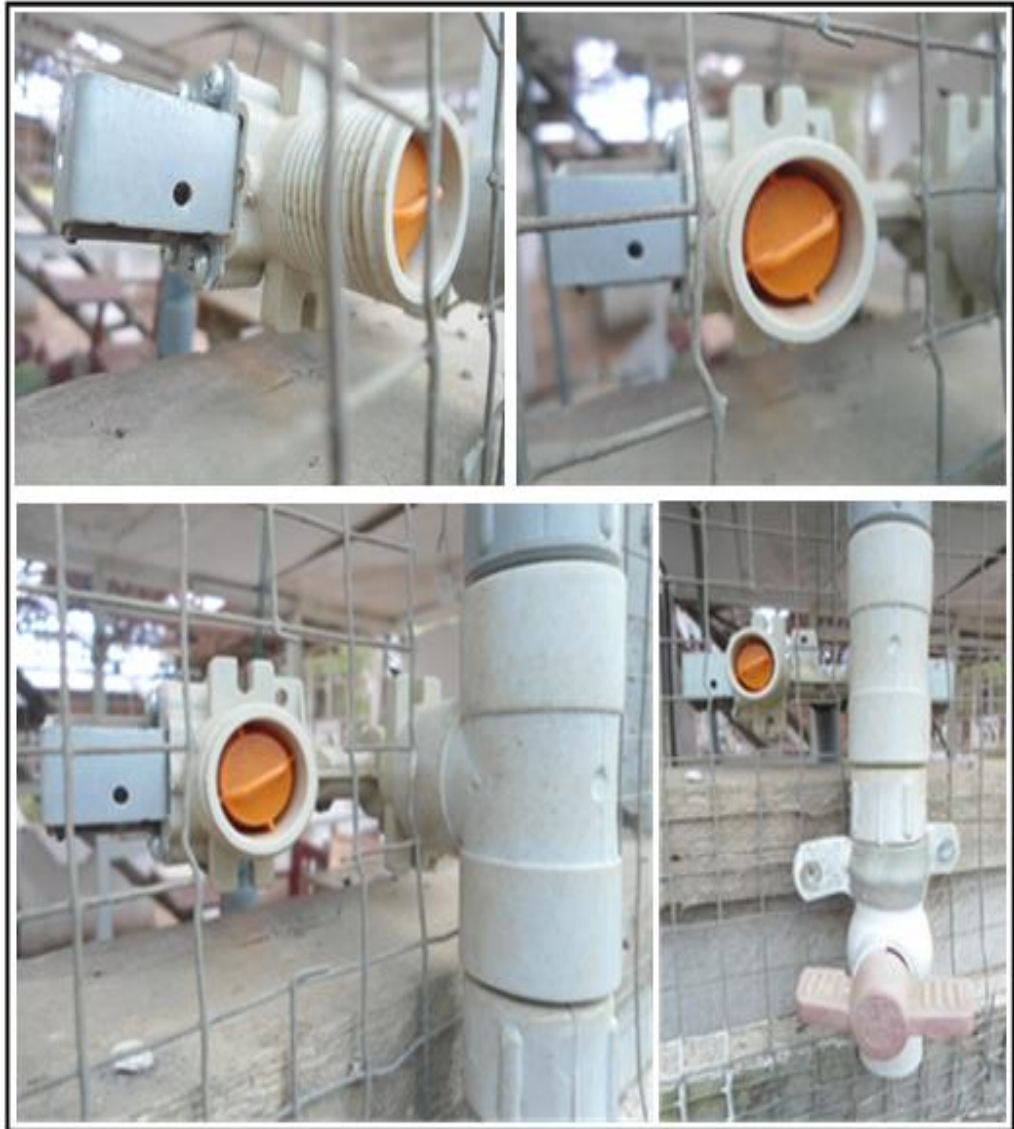
5. Fe EDTA = quelato de hierro

5. Micronutrientes

### **3.7.6. Válvulas solenoides de los de los recipientes con solución stock y reguladores de pH**

Se tuvo que armar, las válvulas solenoide de la solución nutritiva y cada tanquecito contenedor (que previamente fueron lavadas, luego pintadas con plateado y perforadas con un tubo de fierro caliente), al comienzo se colocaron en el primer nivel de la planta (o sea en el primer piso), luego se mandaron los tanques al segundo piso o nivel de la planta para que la gravedad ejerza una presión sobre la válvula la cual es necesaria para que pueda funcionar, ya que dichas válvulas son productos electrónicos para fines industriales.

**Ilustración 143:** Instalaciones finales de las válvulas solenoides de los fertilizantes y reguladores



**Ilustración 144:** Instalación de la válvula solenoide para el llenado de agua

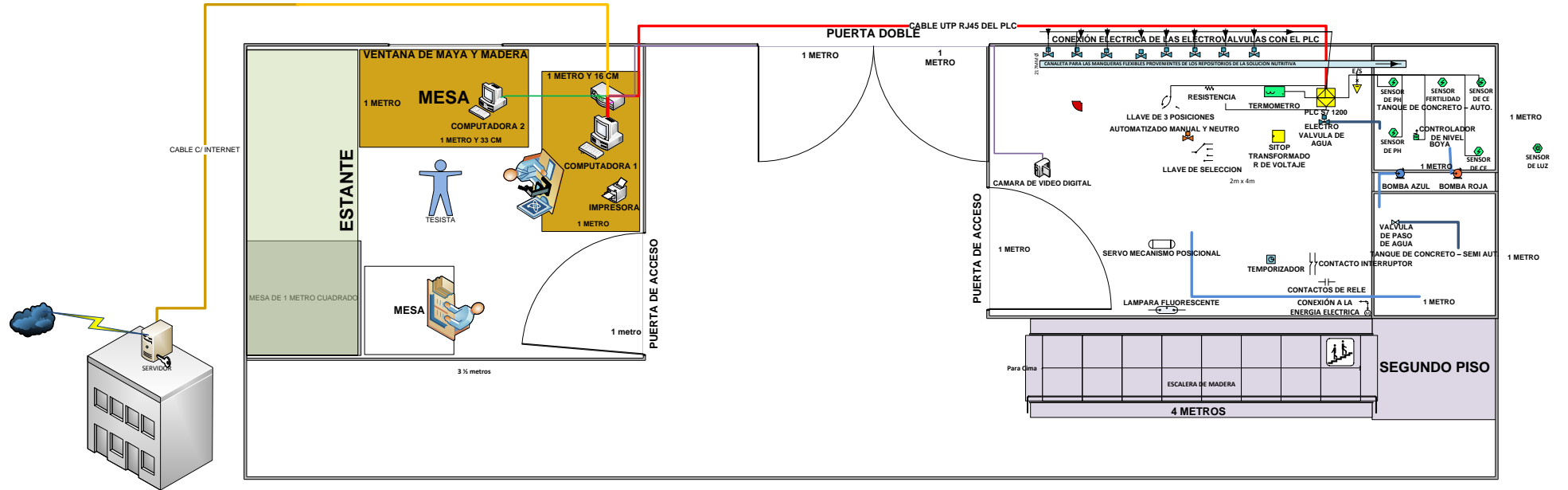


**Ilustración 145:** Conexión del tablero de control y la computadora



Es una conexión LAN (Profinet)

Ilustración 146: Conexión en red



**Ilustración 147:** El sistema de control de los reservorios o tanques se distribuyeron en dos niveles abajo y arriba, a continuación su descripción



**Ilustración 148:** Primer nivel de la planta de control



En el primer nivel encontramos: las cisternas (para el sistema automático y semi-automático), la escalera que va al segundo nivel hay una mesa donde están colocadas las válvulas con sus respectivas mangueras que van a verter el contenido de los baldes de solución nutritiva en las cisternas, el tablero de control, el tablero de llaves cuchilla, las canaletas y conexiones del sistema eléctrico y electrónico, el ambiente del primer nivel como es un área restringida está protegida por mallas, tiene una puerta de acceso, tiene un foco fluorescente y tiene cámara filmadora, las tuberías de agua, las bombas, los sensores, las válvulas, el techo las paredes que lo cercan, el cerrojo (barra de hierro con manija, movable entre dos armellas, que cierra la puerta este último según el diccionario UNO).





**Ilustración 150:** Segundo nivel de la planta de control



**Ilustración 151:** Los tanques de los sistemas automatizado y semi-automatizado

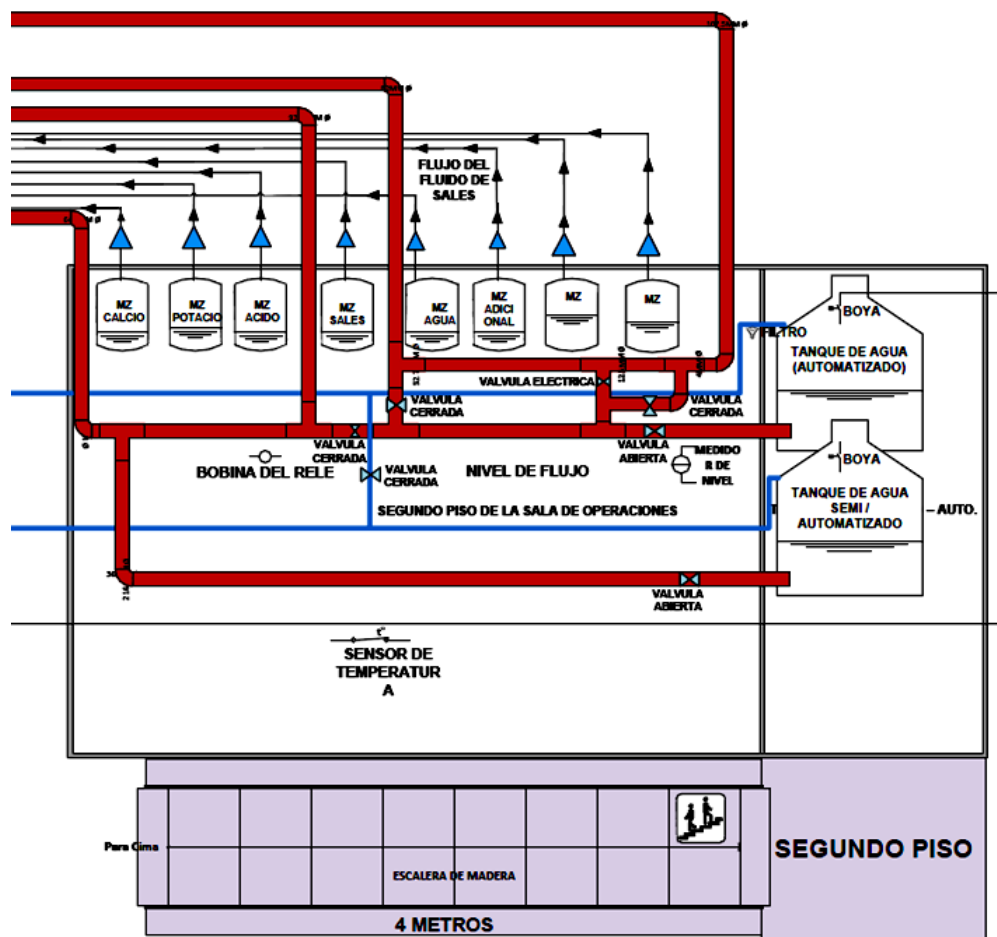


**Ilustración 152:** Boyas que funcionan como válvulas que cierran y abren el paso.



La boya está conectada al sistema. Y a través de impulsos eléctricos se enviará la señal al programa del PLC para que pueda este realizar determinadas acciones: Si el agua en este tanque está lleno, se abrirá la válvula (que fue fabricada o elaborada con el motor Tricó) y se apagará la bomba. Si el agua en este tanque está vacío, se cerrará la válvula hecha con motor Tricó y se activará la bomba.

**Ilustración 153: Croquis del segundo piso**



Tuberías

**Ilustración 154:** Tubería de distribución de la solución nutritiva en el segundo nivel



**Ilustración 155:** Llave general de paso de corriente o switch.



### 3.8. Detalles de las camas de cultivo o contenedores

Las camas fueron de fibra de vidrio con orificios y pintados con pintura esmalte de color plateado, se usaron para los sistemas NFT automatizado y semi automatizado. En un inicio se usaron vasos descartables para la siembra de las lechugas, luego se cambió por tubetes de PVC, hechos por los tesisas.

Para lograr la primera instalación del sistema hidropónico con los mínimo que requiere para la primera siembra como se muestra la siguiente figura, se procedió a un conjunto de pasos que se siguieron con la finalidad de observar el comportamiento del sistema, primero sin los componentes electrónicos de la automatización.

**Ilustración 156:** Primeras siembras de lechuga en vasos descartables, para ver el comportamiento de los soportes de las plantas.



Después se optó por los tubetes de PBC, por ser durables y reutilizables.

### 3.8.1. Fabricación de los tubos embonados

**Ilustración 157:** Embonados de tubos de PVC de 1" de diámetro y 8cm de longitud.



Los tubos de PVC son 100% reciclables, utilizados para fijar a la planta de lechuga con esponja sintética que absorberá la solución nutritiva; con una longitud de 8cm, con embone de 14,5cm diámetro, lado inferior de 10,5cm.

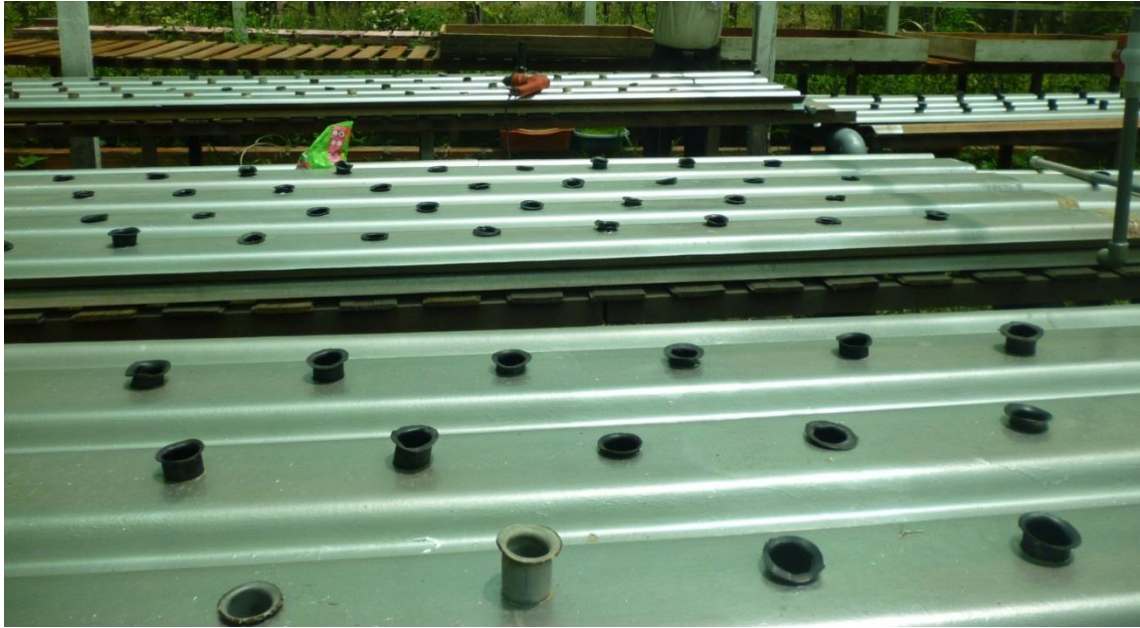
### 3.8.2. Colocación de tubos embonados en las camas

**Ilustración 158:** Colocación de los tubos embonados en las camas de cultivo o contenedores



Las camas (Contenedores de fibra de vidrio) se pintaron con plateado para que no permita pasar la luz a las raíces, así evitar la propagación y desarrollo de algas en las canaletas de las camas, así mismo para mantener fresco el micro ambiente de las raíces.

**Ilustración 159:** Camas hidropónicas



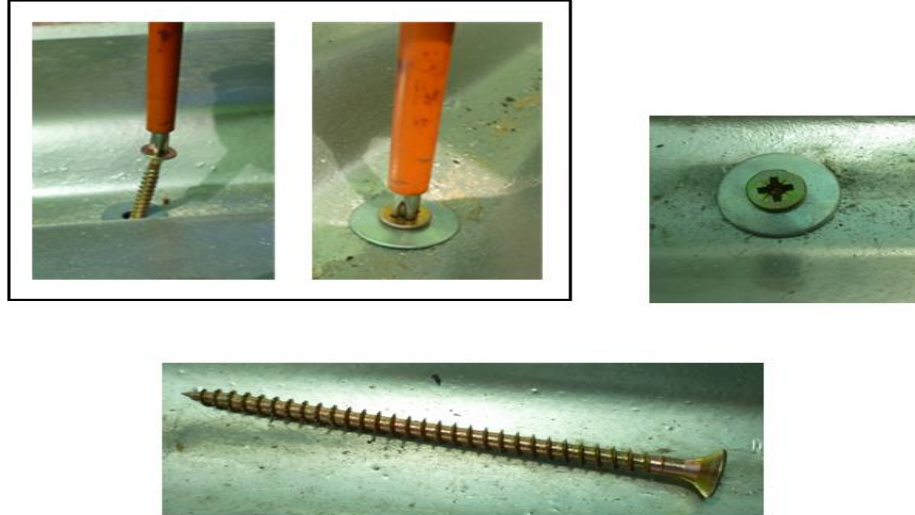
### 3.8.3. Angulo de inclinación de las camas

**Ilustración 160:** Angulo de inclinación de las camas de cultivo fue de 1%.



### 3.8.4. Entornillado de las camas

**Ilustración 161:** Entornillado y fijación de las camas



### 3.8.5. Instalación de las canaletas o tubería colectora de la solución nutritiva.

**Ilustración 162:** Instalación de las canaletas y tubería



Aquí podemos apreciar el soporte de madera a las instalaciones hidropónicas y el tubo listo para hacer el empalme.



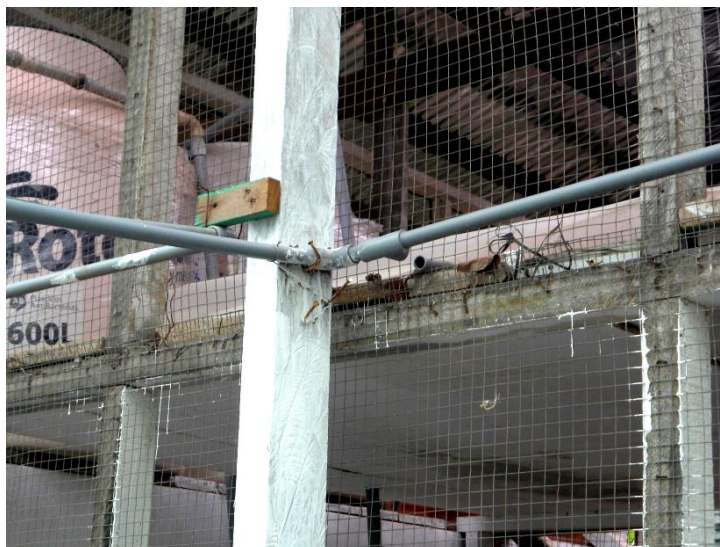
**Ilustración 163:** Cambios en las conexiones de tubos de reciclaje de solución nutritiva.



Al comienzo los tubos de recolección de la solución nutritiva en el sistema automatizado se unían en un tubo en forma de “Y”, luego fue modificado a otro tubo en forma de “T”.

### 3.8.6. Conexión de las tuberías para el riego del sistema automatizado y semi-automatizado.

**Ilustración 164:** Instalación de la tubería de distribución de solución nutritiva.



### 3.8.7. Tela sombreadora

Colocación del sombreador del cultivo hidropónico de lechuga malla Rasquell 75% de luz.

**Ilustración 165:** Interior antes de iniciar la siembra de lechuga

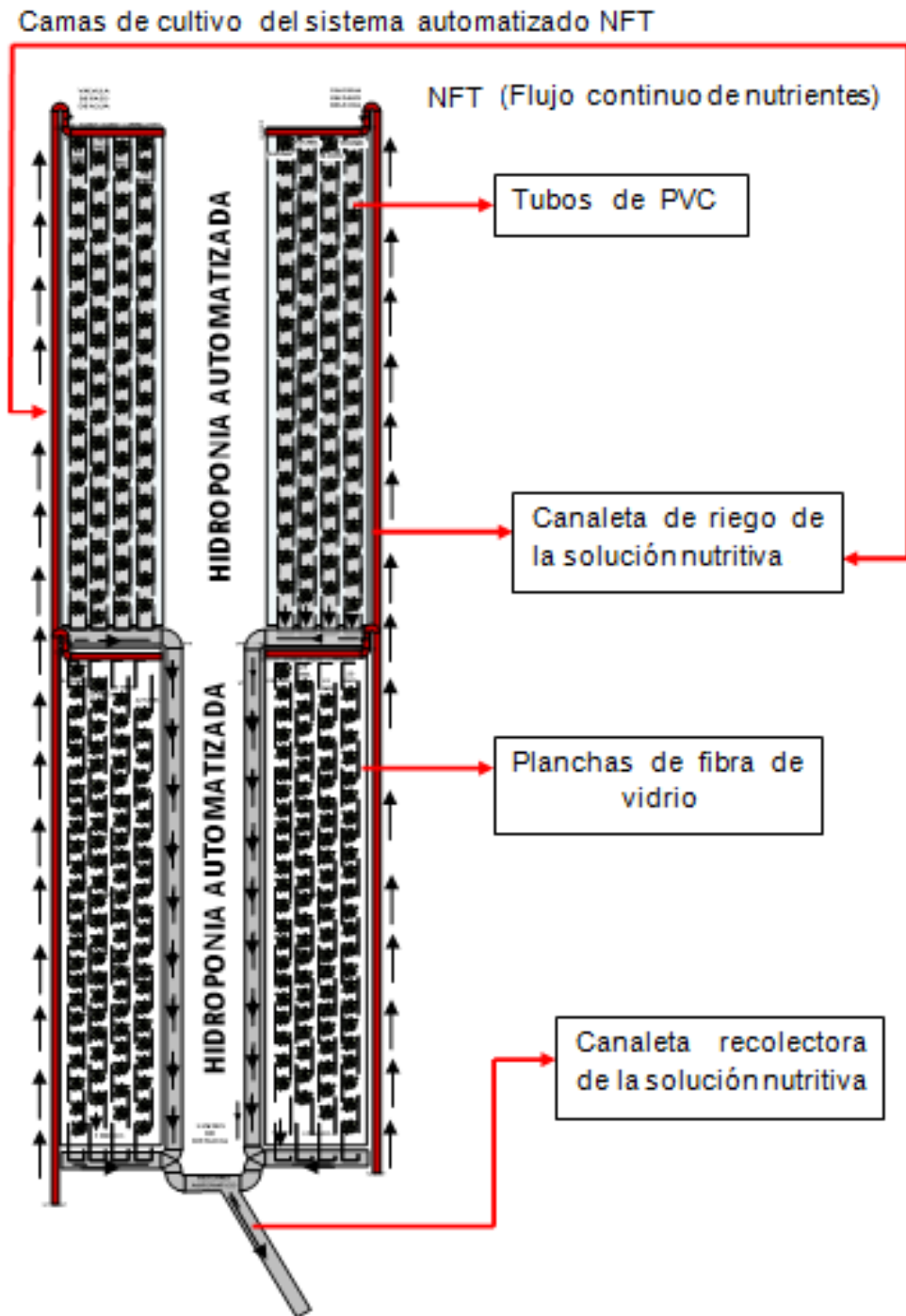


### 3.8.8. Armado de las camas del sistema hidropónico a raíz flotante -sistema no automatizado

**Ilustración 166:** Armado de las camas del sistema hidropónico raíz flotante - sistema no automatizado



**Ilustración 167:** Componentes de las camas del sistema automatizado



Se implementó dos tipos de contenedores, 2 con 4 hileras de tubos de PVC y dos compuestas por planchas de fibra de vidrio. Además de tubos de riego y canaletas recolectoras. En la Ilustración las flechas nos indican el sentido del flujo de la solución nutritiva.

### 3.9. Principales aplicaciones

#### 3.9.1. Llenado de agua en el reservorio automatizado

**Ilustración 168:** Llenado de agua en el reservorio automatizado



**Ilustración 169:** Observación del llenado del reservorio subterráneo de 1200 litros de capacidad



En la imagen se está tomando nota del tiempo de duración mínimo para el llenado del tanque hasta el nivel de los sensores, para considerarlo en la programación de la aplicación de software.

### 3.9.2. Llenado de agua al reservorio semi – automatizado

**Ilustración 170:** Llenado de agua al reservorio semi – automatizado



En el reservorio del sistema semi-automatizado el llenado de agua es manual (basta con abrir la válvula para llenarla) a comparación de los reservorios del sistema No Automatizado que hay que acarrear agua con un balde hasta el lugar donde se encuentra ubicado.

### 3.10. Preparación de la solución stock y solución nutritiva

Se preparó la solución concentrada stock o madre, según Hoagland y Arnon (Ver tabla de soluciones stock y sus principales componentes según Hoagland y Arnon) para constituir en diferentes proporciones las soluciones nutritivas del experimento. Cuando la solución lleva todos los elementos minerales esenciales (N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Cu, Zn, Mn, Mo, B) se denomina completa (Ver tabla de Solución de micronutrientes).

Para la preparación, es necesario que los materiales a usar sean limpios, para lo cual se lavaron con detergente y luego se enjuagaron varias veces, primero con agua de caño y luego con agua destilada.

Las soluciones stock se colocaron en recipientes de plásticos (galones de 20 litros) lavados, desinfectados, y enjuagados varias veces cuidando que en su estructura no contenga elementos tóxicos.

Se elaboró la solución nutritiva de acuerdo a las siguientes tablas, dosificando de esa manera las soluciones stock, se manejaron las soluciones nutritivas y el agua para evitar cambios que afecten al cultivo, se monitoreó y reguló el contenido de nutrientes, conductividad eléctrica y pH de modo que no afecten al cultivo.

**Tabla 31:** Soluciones stock y sus principales componentes según Hoagland y Arnon.

Si	Sustancia	g/l	Mol.	Concentración de elementos (ppm)					
				Ca	N	K	Mg	S	P
A	Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> H <sub>2</sub> O	236,16	1	40080	28020	-----	-----	-----	-----
B	KNO <sub>3</sub>	101,10	1	---	14010	39160	---	---	---
C	SO <sub>4</sub> Mg	120,37	1	---	---	---	24310	32060	---
D	KH <sub>2</sub> PO	135,15	1	---	---	39160	---	---	30970
E	Micro nutrient.								
F	Fe-EDTA								

Fuente: Pérez, 1998.

**Tabla 32:** Solución de micronutrientes (E).

Sustancias	Concentración de elementos ( ppm )							
	g/l	Mn	Cl	B	Zn	S	Cu	Mo
<b>MnCl<sub>2</sub>H<sub>2</sub>O</b>	1,81	502	628	---	---	---	---	---
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	2,86	---	---	439	---	---	---	---
<b>ZnSO<sub>4</sub>-7H<sub>2</sub>O</b>	0,1	---	---	---	29,2	14,2	---	---
SO <sub>4</sub> <b>Cu</b> -H <sub>2</sub> O	0,1	---	---	---	---	12,9	25	---
H <sub>2</sub> <b>Mo</b> O <sub>4</sub> H <sub>2</sub> O	0,1	---	---	---	---	---	---	53

Fuente: Pérez 1998.

F: Fe- EDTA 26,10 g l<sup>-1</sup> } Se diluyó en 700 ml de agua destilada conteniendo  
 FeSO<sub>4</sub> 7H<sub>2</sub>O 24,90 g l<sup>-1</sup> } 268 ml de NaOH (40 g l<sup>-1</sup>) y completado a 1 litro.

**Tabla 33:** Solución stock en ml para preparar un litro de solución nutritiva completa para cultivo de lechuga.

Característica de la Solución Nutritiva	A	B	C	D	E	F	Agua
<b>Completo</b>	5	5	2	1	1	1	985

Uso de Soluciones stock en ml para preparación de un litro de Solución nutritiva completa como medio de cultivo para la lechuga.



**Ilustración 171:** Pesando la sal de fosfato monopotásico en balanza electrónica para preparar la solución stock de fosfato monopotásico.



Luego se vertieron en su respectivo recipiente, que se encuentra ubicado en el segundo piso de la planta.

**Ilustración 172:** Recipientes ubicados en el segundo piso de la planta.



### 3.11. Obtención de las plántulas de lechuga

Primero se obtuvo las semillas de la variedad Great Lake. Se prepararon los almácigos en camas con arena, donde se realizó la germinación. Para el cultivo automatizado se requirió de 90 lechugas, igual que para los demás sistemas de cultivo, pero se tuvo mayor cantidad de lechugas almacenadas para atender el plan de contingencia ya que las lechugas como seres vivos son tiernos y frágiles al momento de manipular o incluso al dejarlo instalado en su lugar definitivo estas plantas pueden estresarse por efectos del clima y otros factores, por lo que se tuvo que reemplazar en los primeros días después de efectuado el trasplante.

**Ilustración 173:** Semillas de lechuga Great Lake



Luego se colocaron en un balde con arena para mezclar y homogenizar antes de distribuirla en el almacigo o cama de germinación.

**Ilustración 174:** Semillas de lechuga Great Lake a ser mezclada con arena.



Semillas de lechuga Great Lake a ser mezclada con arena (ilustración de la izquierda). Mezclando la arena con las semillas de lechuga en un balde (ilustración de la derecha).

**Ilustración 175:** Remoción y desinfección con legía (Hipoclorito de sodio) de las camas donde se va a realizar el almácigo.



**Ilustración 176:** Nivelación de la arena y a compactación ligera.



Antes de colocar las semillas en las camas de almácigo, se procedió a regar con agua por nebulización.

**Ilustración 177:** Nebulizando las camas de almácigo



**Ilustración 178:** Válvulas nebulizadoras



**Ilustración 179:** Dispersión de semillas de lechuga en las camas de almácigo, al boleado, junto con la arena, se hizo de manera que no queden amontonadas en un solo lugar.



Una vez almacigado, fue importante regar las camas con frecuencia de tres veces al día.

**Ilustración 180:** Germinación de las semillas de lechuga



**Ilustración 181:** Camas de almácigo de Eternit con plantas lechuga dentro del Módulo de Investigación Hidropónica de la UNU.



Las camas de almácigo tienen una altura 75cm a 85cm permiten trabajar con comodidad sin esforzar la columna vertebral.

Se realizaron almácigos de semillas de lechuga great lake en arena contenidas en pequeñas bateas para el primer experimento y también para ver el porcentaje de germinación, el cual estuvo por encima del 98% en arena previamente esterilizada, irrigados con solución nutritiva hasta antes de su trasplante.

### 3.11.1. Tamizando la arena para el almacigado

**Ilustración 182:** Tamizando la arena para el almacigado



### 3.11.2. Preparación de los almacigos en bateas de plásticos

**Ilustración 183:** Preparando los almacigos en bateas de plásticos



### 3.11.3. Lechugas Great Lake germinadas en el almácigo listas para ser trasplantadas

**Ilustración 184:** Lechugas germinadas en el almácigo



En la imagen se puede apreciar como se hizo el traslado de las plántulas de lechugas a las camas de cultivo acomodándolas en un inicio en los vasos descartables y esponjas, para luego ser cambiados por tubos de PVC.



**Ilustración 185:** Transplante de las plántulas de lechuga

### 3.12. Colocación de las lechugas en el medio de cultivo y cambio de la solución nutritiva

Una vez preparado los medios de cultivo de soluciones nutritivas se procedió poner las plantitas, sujetadas con esponjas sintéticas a la altura del cuello. Luego se colocaron en los recipientes en el lugar asignado en el Módulo de Hidroponía. Tanto para sistema hidropónico automatizado como para raíz flotante se tuvo el cuidado de mantener el nivel inicial de la solución nutritiva y cambiar las soluciones a los 14 días de instalado en el sistema de raíz flotante (sistema no automático), luego a los 21 y 28 días; mientras que para el sistema automatizado no se cambió la solución sino se monitoreó permanentemente y corrigió en forma automática el balance de la solución nutritiva el función de la concentración inicial de nitrógeno, pH y la conductividad eléctrica (C.E.) según la información proporcionado **por los**

**sensores respectivos, procesado por el software y ejecutado por el ordenador.** Así mismo en los sistemas de raíz flotante y automatizada se determinaron los cambios que ocurren en la solución con respecto a pH y conductividad eléctrica mediante instrumentos portátiles y sensores.

Por otro lado se efectuó el repique o reposición de plantas muertas inmediatamente después del trasplante, para lo cual nuevas plantas fueron extraídas del almácigo, lavadas, y colocadas en el respectivo orificio del recipiente (tubo de PVC) o de la plancha de tecnopor sujetándolas con la esponja sintética por parte del cuello, total se evaluaron 40 plantas por unidad experimental de las 90 plantas de lechuga asignadas por cada plancha o contenedor, 360 plantas por tratamiento automatizado y semi automatizado respectivamente.

**Ilustración 186:** Se desinfectaron lavando las esponjas y tubetes de PVC con legía.



A las pequeñas plantas de lechuga extraídas del almácigo se las puso en un balde con agua antes de colocar en los tubetes para que no estresen.

**Ilustración 187:** Lechugas para el transplante



Luego se procedió a envolver con una esponja y en seguida se colocó en un tubete embonado.

**Ilustración 188:** Lechuga siendo colocada en los tubos embonados con esponjas



En la imagen de arriba se ilustra que la esponja envuelve a la raíz de la planta.

**Ilustración 189:** Lechugas trasladadas a las camas de cultivo



Y se lleva a las camas de cultivo destinado para que en estas las plantas puedan desarrollarse y crecer hasta la cosecha.

**Ilustración 190:** Las plántulas en sus respectivos lugares



### 3.13. Cultivo de la lechuga *Great Lake*

**Ilustración 191:** Planta de lechuga en pleno crecimiento.



**Ilustración 192:** Lechugas creciendo saludables en los contenedores (camas de cultivo).



### 3.14. Inspección de plagas y enfermedades

No hubo presencia de plagas ni de enfermedades que ataquen al cultivo.

No hubo necesidad de aplicar pesticidas ni agro-químicos de control.

### **3.15. Control del nitrógeno, pH y CE de la solución nutritiva**

En el sistema automatizado y no automatizado las mediciones de los Nutrientes, pH y la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva fueron revisados a diario.

El nivel de pH se mantuvo ligeramente ácido en la solución, en el rango de 5,5 a 6,5 para que los elementos nutritivos dispongan una mejor solubilidad y absorción. Para ello fue necesario la aplicación de ácidos nítrico como corrector para bajar la alcalinidad y de hidróxido de sodio para subir la acidéz. Para ello se utilizó la programación del PLC a travez del software TIA Portal Versión 11 para controlar las válvulas electrónicas o solenoides de los recipientes conteniendo el ácido nítrico o el hidróxido de sodio.

Otro factor que fue necesario controlar fue la salinidad de la solución nutritiva. Para ello se midió la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva. Se utilizó la programación del PLC a travez del software TIA Portal Versión 11 para controlar las válvulas electrónicas o solenoides para la inyección de los nutrientes desde las soluciones stock, cuando se abren al recibir el pulso eléctrico desde el controlador. Similar acción se realizó para controlar los niveles de nutrientes como el nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, azufre, los micronutrientes y el Fe de la solución nutritiva por pulsos eléctricos del orden de milisegundos de forma que la apertura se va realizando sucesivamente hasta que la lectura de los parámetros de control, pH, CE y nitrato se ajustan al valor deseado.

También se pudo controlar la fertirrigación que se realizó en forma coordinada la apertura de válvula eléctrica al llenarse el tanque superior y

cerrar luego de vaciarse dicho tanque, para luego activar el bombeo de la solución del tanque colector al tanque superior, determinado según las indicaciones en **el software**. **El software (del sistema automatizado) a través de los sensores detecta que falta agua y la vierte automáticamente hasta llegar al nivel indicado por la boya, durante el proceso en que el nivel de la solución nutritiva de las cisternas estén al tope de la válvula para que no sobrepase, al activar el pulso eléctrico fijado desde la programación de software controlador previa lectura de la indicación de la boya que cierra el pase de la válvula del agua, y activa la electrobomba del tanque colector para enviar la solución nutritiva al tanque superior. Los sensores estaban sobre un flotador sumergidas en la solución para que no haya errores de medición,** así se obtuvo las medidas del pH, CE, nitrato, temperatura. La proporción de aplicación entre los distintos fertilizantes de la solución stock que constituyen el abonado de la solución nutritiva se mantuvo constante. El aporte de nutrientes se puede regular determinando un tiempo necesario de riego, cuando la boya del tanque en el segundo nivel indicaba que falta agua, entonces la bomba estará inyectando solución nutritiva al tanque de arriba, una vez terminado de bombear se apagaba la bomba gracias a la boya ubicada en el tanque del segundo nivel y la válvula casera de motor trico se abría o se mantenía cerrada. Así se mantiene el volumen estimado de la solución nutritiva mediante el bombeo, estando en función de las necesidades o demanda del riego. En este proyecto no se ha determinado un horario de riego, porque el sistema es continuo, solo descansaba la activación de la bomba, dejando de funcionar cuando el tanque del segundo

piso estaba lleno y se activaba cuando el tanque de abajo está lleno. El tiempo de demora de llenado del tanque depende de la boya, no se ha determinado una hora fija para realizar el riego o para repetirlo, pero si después de activada la bomba no hay suficiente agua en el tanque, el PLC activaba la válvula de agua para llenarlo al tope.

En el sistema semiautomatizado y de raíz flotante no automatizados el llenado del agua al **tanque reservorio y contenedores respectivamente, más la adición de los diferentes componentes de la solución nutritiva fue aplicado de forma manual.** Así también la regulación del pH, se realizó de forma independiente del abonado para mantener los niveles deseados de acidez.

**Ilustración 193:** Válvula Solenoide llenando con agua el reservorio para solución nutritiva activada por el PLC del sistema automatizado



El aporte de agua se pudo regular, una vez llegado al tope fue detectado por la boya, inmediatamente se activaba la bomba y comenzaba a enviar agua hacia el tanque del segundo piso, pero cuando comenzaba a cerrarse arriba, se cerraba la válvula de salida de agua para que haya una regulación en el flujo de agua, una vez que se llena arriba se abre la válvula de salida y comienza a regarse las camas de cultivo aprovechando la gravedad.



Se observó que debido al incremento del calor se iba incrementando la evaporación el agua de la solución nutritiva además de que las plantas van absorbiendo de la solución según la demanda de nutrientes y por la transpiración.

El control del nitrato, pH y conductividad eléctrica se dió a partir de los valores críticos establecidos. Los sensores estaban posicionados en el tanque del primer piso.

**El pH.-** Según Pérez (1998) es la forma de medir el grado de acidez de la solución nutritiva. La planta se comporta mejor si la solución es ligeramente ácida; esto significa un pH entre 5,5 y 6,5. Fuera de este rango algunos minerales, aunque estén presentes en la solución, hay restricciones en la disponibilidad para ser absorbidos por las raíces. Esto por supuesto afecta a la planta. Entonces se programó para que se hagan las correcciones y se mantenga el pH dentro del rango adecuado.

**La CE.-** de una solución nutritiva es una medida de la concentración de sales. El rango de CE recomendado por el Dr. Pérez, responsable del módulo de hidroponía de la UNU a raíz del monitoreos de trabajos anteriores fue de 0,6 a 1,8 mS/cm adecuado para el cultivo de lechuga debido a las condiciones climáticas de Pucallpa de alta radiación y temperatura.

**Agua.-** El agua disponible para preparar las soluciones nutritivas en la Universidad Nacional de Ucayali es el agua de pozo. No presentó inconvenientes de contaminantes ni de contenidos de elementos minerales para la plantas.

### 3.16. Validación de las técnicas e instrumentos de medición

Para la validación de las técnicas e instrumentos de medición que ayudan a conceptualizar, observar y cuestionar, se utilizó el multi-tester para comprobar el correcto funcionamiento de los dispositivos electrónicos, se verificaron la coherencia de los datos obtenidos por los sensores y se contrastó con los pHmetros, Conductímetros portátiles como Handy lab LF11 para medir la conductividad eléctrica y el Handy lab pH11 para medir el pH. Se verificó la correcta comunicación entre los cables de red a través de un Mini Lan tester.

Es pertinente mencionar que todas estas mediciones se examinaron con un multímetro, al momento de conectar estos voltajes con las entradas analógicas y digitales del PLC, y a través del programa LabView se logró visualizar estos valores en una computadora directamente via 0/4 – 20 mA o señal digital (Profibus, Modbus RTU, Ethernet IP, Modbus TCP)

Hay que considerar que a pesar de tomar las medidas preventivas siempre se produjo algún tipo de discontinuidad de la alimentación de corriente en el sistema ya sea por fallas en el sistema de control o del corte temporal del fluido eléctrico, en ocasiones afectando el suministro de nutrientes en la planta y la información de los sensores.

Considera también que las tres mayores fuentes de nitrógeno utilizadas en la agricultura son urea, amonio y nitrato, por ello se utilizó un sensor combinado para mediciones de amonio y nitratos.

### **Calibración del sensor de nitrógeno**

El AL10 y el VarION plus 700 IQ de ISE WTW no requieren de ajustes de calibración para el control de la depuración, las interferencias se auto-compensan, asegura resultados confiables.

### **Calibración del sensor de pH**

Para la calibración tiene como regla seguir los procedimientos recomendados por el fabricante del medidor de pH teniendo en cuenta las técnicas de operación útiles dados en la página 1. La frecuencia de calibración es una función del electrodo, el medidor de pH y las soluciones que el electrodo está expuesto. El electrodo y el medidor siempre deben ser calibrados junto con la frecuencia de calibración determinado por la experiencia. Utilice dos tampones, para examle 7 y 4 o 7 y 10, use el siguiente procedimiento paso a paso, tanto para la calibración en tampones y para mediciones de muestras.

1. Retire el electrodo de su botella de remojo y el guardar la botella.
2. Agitar vigorosamente el electrodo en una solución de enjuague.
3. Agite el electrodo con una acción rápida para eliminar las gotas residuales de solución.
4. Agitar vigorosamente el electrodo en el tampón o muestra y permitir que el electrodo para descansar contra la pared del vaso de precipitados.
5. Permita que la lectura se estabilice y luego tomar la lectura

6. Repita estos pasos para cada muestra o tampón determinación.

Limpeza de los electrodos El recubrimiento de la bombilla pH puede conducir a la lectura errónea incluyendo lapso acortada (pendiente). El tipo de recubrimiento determinará la técnica de limpieza. Revestimiento blando se puede eliminar mediante agitación vigorosa o por el uso de una botella con atomizador. Química orgánica o recubrimientos duros deben eliminarse químicamente 5-10% de ácido clorhídrico (HCl) en remojo durante unos minutos menudo elimina muchas de revestimiento. Si la limpieza no restaura el reacondicionamiento rendimiento puede ser juzgado. No utilice cepillo o abrasivos en el electrodo.

### **Calibración del sensor de conductividad eléctrica**

Calibración. Calibrar el sensor de acuerdo con las instrucciones de medida y control del fabricante utilizando conocidos estándares certificados de conductividad. Utilice una selección completa de estándares de calibración. Asegúrese y calibre en el vaso precipitado largo o balde agitando la muestra con el electrodo. Evite las burbujas tanto como sea posible, las burbujas causan lecturas erróneas.

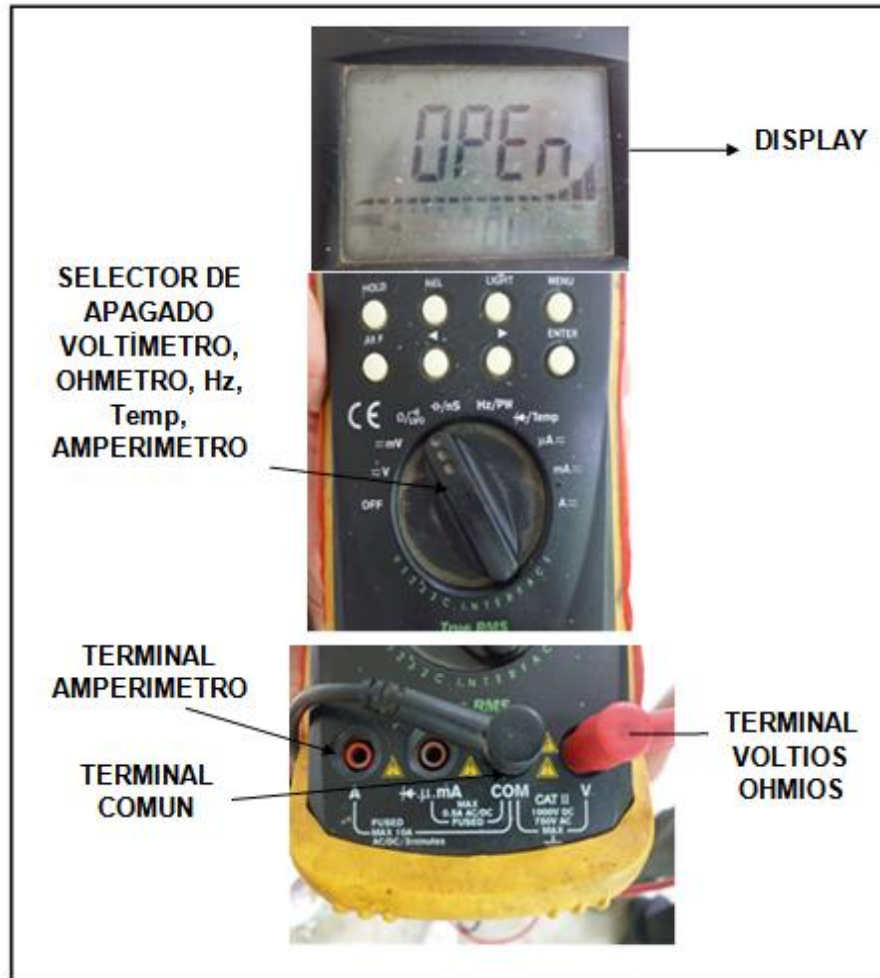
Cuidado y Limpieza Limpieza. C5150 y C5150T electrodos tienen una superficie de medición de grafito. Limpie las superficies con un detergente suave o un 5% de HCl en taza o vaso de precipitados. No lije o desgaste la superficie del grafito como la abrasión cambia el área de superficie y causaría lecturas erróneas.

C5200 and C5200TC electrodos tiene un platino negro recubierto de platino en la superficie de medición. No toque la superficie de platino negro ya que eliminará el revestimiento de Platinum Negro que no puede ser reemplazado. Limpie con un 5% HCl o detergente.

**Ilustración 194:** Instrumentos de medición complementarios



FUENTE: Mini-LAN tester (Qsmartbuy, 2014), Multitester: (Gami, 2014), pH-metro: (Lab synergy, 2013), conductivímetro: (Handylab LF115, 2014)

**Ilustración 195: Multitester**

Las funciones son seleccionadas por medio de un conmutador.

**Ilustración 196:** Testeando las válvulas solenoides**Técnicas de medición para la calibración**





Se usaron ciertas técnicas para poder realizar el trabajo de campo para la investigación como:

La sonda de calibración se limpió con agua oxigenada y agua destilada. Se determinó y ajustó la constante celular de calibración, así se evitó obtener valores erróneos o inexactos, con la calibración se determinó un valor constante que fue registrado e ingresado en la memoria del instrumento en

el caso de sensores. Se realizó a través de intervalos antes de empezar el cultivo, el manual recomienda hacerlo cada seis meses según SCHOTT (2014). El instrumento mostraba en su display el nivel en el cual se encuentra el estado del electrodo o sonda de medición.

❖ **Técnica de medicación para calibración del pH-metro**

**Tabla 34:** Calibración del pH-metro.

INDICACION	ASIMETRIA (mV)	Pendiente (mV/pH)
 Electrodo completamente sumergido	-15 ... +15	-60.5 ... -58
 Electrodo semi sumergido	-20 ... +20	-58 ... -57
 Electrodo algo sumergido	-25 ... +25	-61 ... -60.5 ○ -57 ... -56
 Electrodo sin sumergir	-30 ... +30	-62 ... -61 ○ -56 ... -50
E3	➤ -30 o > 30	< - 62 o > - 50

Fuente: manual de instrucciones del SET Handy lab pH11.



Si obtenemos un valor de asimetría entre -30 mV y +30 mV donde su pendiente de medición está entre -62 ... -61 o -56 ... -50, podremos limpiar la sonda de medición (este rango de valores se mostrará cuando no está en contacto con ninguna solución o sea al aire libre).

Pero si nos muestra valores de asimetría menores de -30 o mayores de 30 y una pendiente con valores menores de -62 o bien mayores de -50 quiere decir que hay alguna falla y que debe corregirse.

#### ❖ **Técnica de medición para calibración del sensor de nitrógeno**

El sensor viene calibrado, por lo que no hay proceso.


#### ❖ **Técnica de medición para calibración del conductímetro**

Para poder calibrarlo de la misma forma que el pHchímetro, el conductímetro mostrará en su display el nivel de la solución a evaluar según el electrodo o sonda de medición.

La constante celular es determinada con el estándar de control 0,01 mol/l KCl.

Se pudo determinar la constante celular efectiva de la célula conductímetra por medio de la calibración con el estándar de control en los siguientes rango: 0.450 ... 0.500  $\text{cm}^{-1}$  y 0.800 ... 1.200  $\text{cm}^{-1}$ .

**Tabla 35:** Calibración de la conductividad eléctrica

INDICACION	Constante celular ( $\text{cm}^{-1}$ )
 Electrodo completamente sumergido	0,450 ... 0,500 $\text{cm}^{-1}$ 0,800 ... 1,200 $\text{cm}^{-1}$
E3 Solucionar el problema de según un breve diagnóstico y corrección de fallas	Fuera de los rango 0,450 ... 0,500 $\text{cm}^{-1}$ o 0,800 ... 1,200 $\text{cm}^{-1}$

Fuente: Manual de instrucciones del Handy lab LF11

La constante celular es determinada con el estándar de control 0,01 mol/l KCl.

**Ilustración 197:** Buffer o solución tamponada para calibrar el sensor de pH



**Ilustración 198:** Solución electrolítica para calibrar el sensor de conductividad eléctrica



**Evaluación de la calibración**

Después de la calibración, el instrumento debe evaluar automáticamente el estado, el valor de cada evaluación será captado por el electrodo e indicado en el display.

El electrodo debe estar completamente sumergido y tener una constante celular de ( $\text{cm}^{-1}$ ) que va desde  $0.450 \dots 0.500 \text{ cm}^{-1}$  y  $0.800 \dots 1.200 \text{ cm}^{-1}$ . Para realizar el diagnóstico y corrección de fallas simplemente los valores no deben estar fuera de los rangos indicados.

❖ **Sensores que no necesitan calibración del sensor de nitrato y amonio**

Según la información de los sensores de Nitrato este no requiere de calibración porque ya viene configurados listos para usar, de fábrica. Con el sensor **ISE WTW** (sensor de nitrógeno **VarION Plus 700 IQ**) La medición ISE se basa en la selección de la membrana adecuada para cada sustancia. Los electrodos aseguran una medición estable a lo largo de la

útil gracias a la madurez de su tecnología y la calidad de su fabricación, limpieza y consumo de energía.

Sensor de nitrógeno **VarION Plus 700 IQ** es un sensor combinado para mediciones de ion selectivo de Amonio y Nitratos. Las interferencias se compensan automáticamente para asegurar que los resultados sean confiables. Robustos electrodos que aseguran una larga vida útil y fácil limpieza. Para llevar a cabo las mediciones, simplemente es montar el electrodo el sensor, todo es automático, los valores, salen compensados, los valores están disponibles directamente vía 0/4 – 20 mA o señal digital (Profibus, Modbus RTU, Ethernet IP, Modbus TCP). Este sensor permite la medición de Nitrato y altas cargas de amonio en agua de procesos.

Es posible medir los altos valores de amonio ( $\leq 2.000$  mg/l  $\text{NH}_4\text{-N}$ ) con el sensor Varion plus 700 IQ directamente en el medio.

**Tabla 36:** Medición de Amonio

Electrodos integrables	Electrodo de referencia	VARiON Plus Ref
	Electrodo de medición	VARiON Plus $\text{NH}_4$
	Electrodo de compensación	VARiON Plus K
Rango de medición/ Resolución	$\text{NH}_4\text{-N}$	1 ... 2,000 mg/l / 1 mg/l; 0,1 ... 100 mg/l / 0,1 mg/l;
	$\text{NH}_4^+$	1 ... 2.850 mg/l / 1 mg/l; 0,1 ... 129,0 mg/l / 0,1 mg/l;
Rango de compensación	de $\text{K}^+$	1 ... 1.000 mg/l 1 mg/l

Fuente: Manual del VarION Plus 700 IQ

**Tabla 37:** Medición de nitrato

Electrodos integrables	Electrodo de referencia	VARiON Plus Ref
	Electrodo de medición	VARiON Plus NO <sub>3</sub>
	Electrodo de compensación	VARiON Plus Cl
Rango de medición/ Resolución	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> N	1... 1.000 mg/l / 1 mg/l; 0,1 ... 100 mg/l / 0,1 mg/l;
	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	5 ... 4.500 mg/l / 1 mg/l; 0,5 ... 450,0 mg/l / 0,1 mg/l;
Rango de compensación	de Cl <sup>-</sup>	1 ... 1.000 mg/l 1 mg/l
Medición y compensación de la temperatura	Termistor NTC Integrado, Rango Exactitud Resolución	0 °C ... +40 °C, ±0,5 K, 0,1 K, t <sub>95</sub> < 20 s

Fuente: Manual del VarION Plus 700 IQ

### 3.17. Procedimiento de recolección de datos

Para los propósitos de la investigación, a partir de las 10 plantas que conforman la muestra o unidad experimental.

- **Muestra experimental**

Información diaria de los sensores de N, PH y CE, de cultivar 360 plantas en el sistema de hidroponía automatizada.

- **Fuente de datos**

La información adquirida de la solución nutritiva por los sensores de nitrógeno, pH y CE.

### 3.18. Tratamiento de los datos

Las técnicas que se tomaron en cuenta para el análisis de datos de la automatización fue la visualización estadística. La información sobre los datos ayudó a elegir el tipo de análisis. El análisis exploratorio de datos (EDA), se usó para crear diagramas gráficos forma rápida. LabView ofrece varios tipos de análisis estadísticos, como media de desviación estándar. Para poder aceptar o rechazar la hipótesis se, con la información obtenida de los sensores se procedió al análisis de los datos aplicando métodos o procedimientos estadísticos, representando los datos a través de tablas, figuras y gráficos, del análisis y procesamiento de los mismos fueron llevados a una respectiva interpretación.

#### **Ilustración 199:** Sensores en prueba



En esta investigación se usó la herramienta Ms Excel para manipular dichos datos obtenidos de los resultados, datos recolectados de fuentes primarias a través del trabajo de campo según las variables de la investigación. También se usaron fuentes secundarias.

### 3.19. Definición de las herramientas propuestas en la implementación

Se utilizó el LabView 2012, Máquina Virtual VirtualBox (para la virtualización), sistema operativo XP, TIA Portal V11, Microsoft Visio 2010, Microsoft Office 2007, acceso y conexión a Internet, una PC Service Pack 3 con procesador Intel Core 2 Dúo CPU como mínimo de 2.53 GHz 3.00 GB de RAM, para que pueda soportar el sistema.

### 3.20. Metodologías para la implementación

#### 3.20.1. Administración del proyecto e ingeniería de software

**Tabla 38:** Aspectos del QUIEN del desarrollo del Sistema y la aplicación de SW

<b>QUIEN</b>	
<b>¿A quién concierne?</b>	La construcción del sistema por y el uso de la herramienta computacional para el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica, concierne en forma directa a los responsables del Centro de Investigación Hidropónico de la UNU, a los tesisistas alumnos.
<b>¿Quién está implicado en la decisión?</b>	La decisión de construir recae sobre las autoridades máximas de la Universidad Nacional de Ucayali, y de la Facultad de Ingeniería de Sistemas y de Ingeniería Civil ya que son ellos los que asignan los recursos necesarios para el desarrollo del sistema.
<b>¿Quién va a crear el sistema?</b>	Los que van a crear el sistema son: los tesisistas, el experto (agronomo) y usuario.
<b>¿Quién lo empleara?</b>	El uso directo de la herramienta computacional (sistema basado en conocimientos del experto en fisiología vegetal, mas no utiliza la lógica difusa),

---

este sistema puede ser utilizado con los mismos expertos, agricultores, docentes, alumnos de la Facultad de Agronomía para prácticas de Fisiología Vegetal, Automatización con PLC, tesis, etc.

---

**Tabla 39:** Aspectos del QUE de desarrollo de Sistema y la aplicación del Software

	<b>QUE</b>
<b>¿Para qué sirve?</b>	Esta herramienta está diseñada para ayudar a controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga ( <i>Lactuca sativa</i> ) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y CE.
<b>¿Cuál es su finalidad?</b>	Minimizar el tiempo de la captura de datos del pH, CE y nivel de nitrógeno de la solución nutritiva, aprovechar al máximo los recursos hídricos y de nutrientes, conseguir su reaprovechamiento a través de la recirculación y control de los mismos a través de la automatización.
<b>¿Reemplazara a los expertos humanos o por el contrario a revalorizar el trabajo de los expertos en su tarea, ayudándolos a comprender mejor y así a ampliar sus horizontes, mejorando la calidad de sus decisiones, formándolos?</b>	<p>La aplicación de software está diseñada para ser usada por un experto o cualquier persona en general, esta sistema ayuda en el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y CE.</p> <p>Reemplaza al experto en sus tareas repetitivas de supervisión y control, pero no lo reemplaza del todo.</p> <p>La aplicación de software permite mejorar la calidad de las decisiones en un proceso de cultivo agrícola, agiliza y facilita ciertos procesos repetitivos y de control.</p>



**Tabla 40:** Aspectos del DONDE de desarrollo del sistema

<b>DONDE</b>	
<b>¿Dónde va a ser utilizado?</b>	La herramienta computacional será utilizado en una computadora estacionaria utilizando el sistema operativo Windows XP, con la utilización de una máquina virtual.
<b>¿Va a ser repartido en varias copias o se utilizará localmente?</b>	El sistema se utilizará en forma local, pero puede ser asistido remotamente a través de la aplicación Team Viewer.
<b>¿Se utilizará en el interior de la Universidad o en el exterior de esta?</b>	Se utilizara en el interior del Centro de Investigación Hidropónico de la UNU, también puede ser usado remotamente o instalado en otra área.

**Tabla 41:** Aspectos del COMO del desarrollo del sistema y aplicación de Software

<b>COMO</b>	
<b>¿Cómo se usara el sistema?</b>	El Sistema se usara de una manera sencilla, con una interfaz gráfica amigable.
<b>¿Va a ser utilizado por expertos para mejorar sus rendimientos?</b>	El sistema puede ser utilizado tanto por los expertos, pero siempre es necesaria de vez en cuando su supervisión especializada.
<b>¿Va a ser utilizado por personas no expertas a modo de guía?</b>	
<b>¿Va a ser utilizado por personas especialmente preparado para manejarlo?</b>	El sistema también puede ser utilizado por personas no expertas, basta una pequeña y breve capacitación en el uso del sistema.
<b>¿Se utilizará para reemplazar a los expertos o para ayudarlos?</b>	De ninguna manera el sistema reemplazara a los expertos del todo ni a los encargados de manejar y controlar el manejo del sistema que puedan existir en el Centro de Investigación Hidropónico de la UNU, su papel es de apoyo.

**Tabla 42:** Aspectos del CUANTO de desarrollo del sistema y aplicación de SW

<b>CUANTO</b>	
<b>¿Cuánto costaran los equipos para realizar el desarrollo del sistema con el uso de la herramienta computacional indicada?</b>	El precio de los dispositivos, de los equipos está detallado en el proyecto presentado por el Ingeniero Pérez Leal para el acondicionamiento <i>de un sistema de control automático computarizado en cultivos hidropónicos de hortalizas.</i>
<b>¿Cuánto costaran los materiales para realizar el desarrollo del sistema experto con el uso de la herramienta computacional indicada?</b>	El anexo 1 de este informe está el presupuesto de los requerimientos para este trabajo de investigación.
<b>¿Cuánto será el costo del desarrollado del sistema y aplicación de Software?</b>	2500,00

**Tabla 43:** Ingeniería de Software

<b>Configuración de Hardware</b>	<b>Configuración de Software</b>	<b>Análisis y desarrollo de la aplicación.</b>
Comunicación y conexiones en red, instalación de módulos de expansión de entradas y salidas digitales (módulos digitales, analógicos y de comunicación. Instalación de accesorios. Conexión de sensores y actuadores. Uso de memoria. comprobar el funcionamiento actuando sobre las entradas y observando la iluminación de los Leds de entradas y salidas	<p>Instalación de la Máquina Virtual y del Windows XP</p> <hr/> <p style="text-align: center;"><b>Configuración de Software del TIA PORTAL V11</b></p> <hr/> <p>Crear proyecto Configurar el controlador Crear el programa Cargar el programa en el controlador PLC Probar el programa Crear una imagen HMI</p> <hr/> <p>Configuración PID (controlador)</p>	<p>Identificación y definir procesos, programación de los principales bloques de funciones Interfaz gráfica de usuario LabView utilizado como Scada que permite la comunicación con los dispositivos de campo (PLC, etc.). Base de datos La comunicación OPC (a través de la arquitectura cliente-servidor) Configuración del CPU, el protocolo IP, guardar proyecto y observar el funcionamiento en el editor KOP e interfaz.</p>

### 3.20.2. Selección de la metodología de desarrollo

Este proyecto es una investigación Aplicada, el nivel de investigación fue Correlacional (determinar el grado de relación entre la variable independiente y la variable dependiente.), bajo un concepto de desarrollo experimental, con una metodología sistemática basada en los conocimientos obtenidos de las experiencia e investigaciones, dirigidos a producir e instalar nuevos procesos, sistemas y servicios, o a mejorar sustancialmente aquéllos tradicionalmente utilizados.

### 3.20.3. Diseño estadístico.

Para **rendimiento productivo por 3 sistemas de cultivo** de lechuga (*L. sativa*) en el presente trabajo de investigación se utilizó el Diseño Completamente Randomizado (DCR), con 3 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento teniendo 12 unidades experimentales.

Luego por 2 **épocas de cosecha** con 4 repeticiones respectivamente, totalizando 24 unidades experimentales; considerando la unidad experimental como el peso promedio de 10 plantas de lechuga obtenidos en cada contenedor.

Para la prueba de promedios se utilizó la prueba de Tukey  $\alpha = 0,05$ .

Para los datos de los sensores se adecuó los niveles de voltaje captados por los sensores y llevados al PLC quienes lo trasmitían a una computadora que colectaba los datos en forma digital, tales datos fueron

transformados a nivel de N, PH, CE y para una correcta interpretación, de acuerdo a lo siguiente:

Los valores máximos y mínimos registrados se equipararon con los valores máximos y mínimos de la lectura patrón leído con los respectivos instrumentos como medidor de nitrato en ppm, pHmetro, conductivímetro en mS/cm y Donde a era el valor máximo leído por el PLC dividido entre, b el valor mínimo leído por el PLC, igual al valor máximo del parámetro según instrumentos, dividido entre el valor mínimo leído por los instrumentos en la solución nutritiva.

**Tabla 44:** Ecuación para la transformación de datos de los sensores a la medida de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica

$$x = V_{MI} - \frac{(V_{MI} - V_{mI})(V_{MPLC} - V_{iPLC})}{V_{MPLC} - V_{mPLC}}$$

$x$  : Valor Ajustado equivalente

$V_{MI}$  : Valor máximo medido con instrumento

$V_{mI}$  : Valor mínimo medido con instrumento

$V_{MPLC}$  : Valor máximo leído por PLC

$V_{iPLC}$  : Valor intermedio leído por PLC

$V_{mPLC}$  : Valor mínimo leído por PLC

Para los análisis del nitrógeno, pH, conductividad eléctrica, se utilizaron técnicas de muestreo y correlación lineal.

**Tabla 45:** Modelo estadístico

---


$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Cualquier observación en estudio.

$U$  = Media general.

$T_i$  = Efecto del  $i$  – ésimo tratamiento en estudio.

$E_{ij}$  = Error o residual.

---

**Tabla 46:** Esquema del análisis de variancia

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>
Tratamientos	2
Error	9
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>

**Tabla 47:** Las características de la parcela experimental.

---

Número de tratamiento (Sistemas)	= 3
Número de Veces cultivadas (tratamiento)	= 2
Número de repeticiones (contenedores)	= 4
Número de plantas evaluadas por unidad experimental	= 10
Número total de plantas por $m^2$	= 24
Número de unid. Experimentales para sistemas de cultivo	= 12
Número de unidades experimentales para veces cultivadas	= 12

---

#### 3.20.4. Metodología propuesta

Se utilizaron como métodos un conjunto de criterios y pasos según las características y los requerimientos particulares del proyecto, directrices corporativas, la experiencia y sapiencia de los desarrolladores y del experto para llevarlo a cabo se siguieron directrices generales y recomendadas tomando en cuenta las experiencias de otros profesionales, manuales y videos tutoriales. **Para implementar todo este sistema hidropónico, se planteó lo siguiente:**

1. Cuando se empezó el experimento, se definió la ubicación del proyecto el cual se ejecutó en el Módulo de Hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali, kilómetro 6 de la carretera Federico Basadre – Pucallpa.
2. Se estableció cuatro planchas de fibra de vidrio con canaletas rectangulares de cuatro canales cada una, de cuatro metros de largo.
3. Cada plancha se realizó 90 perforaciones por un tubo de fierro caliente, de una pulgada de diámetro destinada para alojar un tubete de PVC donde se fija a cada planta.
4. En el sistema las plantas fueron soportadas en las planchas, que atuaban como contenedores, sujetos por tubos embonados de tamaño de aproximadamente 8 cm de largo y su respectiva esponja de 8 cm de largo, que fueron colocados dentro del tubo embonado, son la finalidad de darle una comodidad a la planta.

5. Para que el flujo de nutrientes se mantenga circulando se requirió de la instalación de una electrobomba que recoge la solución nutritiva de un tanque y la eleva a otro tanque, a partir del cual se distribuya al sistema de cultivo de lechuga. Se implementó el sistema NFT (del inglés: Nutrient Film Technique) también llamado sistema re-circulante, a través de una conducción de tubos, por donde fluye la solución nutritiva desde su punto de concentración que son los tanques, pasando por las estaciones de cultivo y volviendo al tanque colector o punto inicial para repetir el proceso de circulación.

7. Para la activación del sistema bombeo de la solución nutritiva fue necesario la implementación de la combinación de componentes Hardware y Software en un solo sistema, que se realizó en forma automática a través de un tablero de control y la computadora, el cual almacenaba los datos. La implementación del tablero de control que incluye la instalación del PLC, y conexión de sensores y actuadores con una PC donde estuvo instalada la interfaz de monitoreo y control.

8. Una vez instalado se realizaron pruebas del funcionamiento del sistema hidropónico automatizado con lo que respecta al montaje, configuración de los dispositivos electrónicos y la programación del PLC y la comunicación Punto a punto PtP (peer to peer).

9. Se prepararon los almácigos para la lechuga 15 días antes de su establecimiento en los sistemas hidropónicos. En cada uno de los sistemas se tomaron las medidas de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica, temperatura y luz, después de la aplicación de los nutrientes en

la solución nutritiva. Para la preparación de la solución nutritiva se aplicaron las fórmulas de Hoaglan y Arnon (1972).

10. La parte agronómica estuvo reforzada por el profesional agrónomo de la especialidad en fisiología vegetal de la UNU.

11. La parte automatización estuvo reforzada por profesionales en electrónica de la Universidad Nacional de Ucayali (UNU) y de la Universidad Nacional San Agustín de Arequipa (UNSA).

12. Una vez establecido las plantas de lechuga en los sistemas hidropónicos se realizaron constantes controles de los aspectos agronómicos y de automatización; se tomó la lectura permanente, durante todo el proceso de estudio del comportamiento del sistema en el proceso de cultivo de lechuga.

13. Se evaluó el peso fresco y el peso seco de la parte aérea de la planta de lechuga al final del experimento, en la cosecha. se tomaron al azar las muestras representativas de 10 plantas de cada contenedor siguientes parámetros: Peso fresco y peso seco de la parte aérea en gramos.

14. Se consideró la información continua de los sensores en cuanto a nitrógeno (N), pH, conductividad eléctrica (CE), temperatura y luminosidad desde el repique a los contenedores hasta la cosecha, que fueron interpretados por análisis estadísticos.

15. Se tomaron en cuenta las correcciones de nutrientes, en base a a la información de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica a través de las dosificaciones para el mantenimiento de un nivel adecuado de la solución



nutritiva, que efectuó el sistema de control, labor que fue monitoreada desde un ordenador, a través de softwares de programación TIA Portal y LabView.

16. Se repitió el experimento durante dos veces consecutivas con la finalidad de afinar los parámetros de control y los factores que afectan el desarrollo de las plantas de lechuga.

17. Para evaluar la parte agronómica, se utilizó el diseño completo randomizado con sus respectivos tratamientos y cuatro repeticiones del experimento y los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente.

### 3.20.5. Estudio preliminar

**Tabla 48:** Consideraciones previas

---

Memoria
Bloques funcionales o de función (OB, FC e FB)
Bloques de datos (DB)
Conceptos básicos sobre PLCs
Cuadro comparativo de fabricantes
Arquitectura Interna
Lenguajes de Programación
Introducción a IHM
Conceptos avanzados de los PLC S7-1200 Siemens
Conceptos de Redes Industriales
Introducción a TIA portal
PWM e PTO
Lógica Digital
Funciones matemáticas en el PLC
Entradas y salidas analógicas
Características eléctricas de entradas y salidas
Contadores Rápidos – HSC
Diagrama Lógico (DIL o Function Block Diagrama - FBD)
Diagrama de Contactos (DIC o LADDER)

---

### 3.20.6. Desarrollo del prototipo del sistema

Este modelo de hidroponía ha pasado por un proceso de mejora continua.

### 3.20.7. Desarrollo del sistema

Se realizó por etapas, luego por mejoras y documentación.

### 3.20.8. Evaluación

El monitoreo y evaluación a través del muestreo:

- En un sistema de cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*), cultivado en solución nutritiva completa, que **monitorea el contenido de nitrógeno**, mediante software (SW), entonces se logrará el balance automatizado de solución nutritiva, en Pucallpa.
- En un sistema de cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*), cultivado en solución nutritiva completa, que **monitorea el pH mediante software**, entonces se logrará el balance automatizado de solución nutritiva, en Pucallpa.
- En un sistema de cultivo hidropónico de lechuga (*Lactuca sativa*), cultivado en solución nutritiva completa, que **monitorea el contenido de conductividad eléctrica** mediante software, entonces se logrará el balance automatizado de solución nutritiva, en Pucallpa.
- **Recopilar los datos de N, pH, CE, rendimiento productivo y económico de la lechuga**, ergonomía/comodidad del sistema

automatizado y **Analizar los procesos y normalizarlos** para **lograr el balance de solución nutritiva**, hasta **obtener el análisis y diseño de un sistema automático de control** para el módulo de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali en Pucallpa.

**Ilustración 200:** Monitoreo de las variables



Fuente: Elaboración propia con imágenes del internet.

Cosecha, muestreo, procesamiento de la información, generación gráfica de la tendencia de los datos adquiridos por los sensores, inyección de agua a través de la apertura de la válvula solenoide, inyección de la solución nutritiva, corrección del pH y de la conductividad eléctrica.

- Monitoreo On-Line del sistema.
- Diagnóstico Rápido
- Herramientas de prueba y depuración
- Medida de la productividad (Se mide la productividad porque es un punto de referencia importante para la agricultura de precisión), se puede lograr a través de la medición del peso fresco y seco de la hojas

y las raíces de las lechugas, para ello utilizaremos una balanza electrónica.

- Almacenar, mostrar y exportar datos
- Los datos son captados por los sensores, que son transferidos a través del PLC al computador.
- Los datos captados por los sensores son usados para generar gráficos y a su vez podemos realizar el cálculo de la productividad.
- Unidades de volumen:



- 1 lb = 0.45359237 kg
- 1 in = 2.54 cm
- 1 ft = 30.48 cm
- 1ha =10.000 m<sup>2</sup>
- 1 acre = 4 046,85642 m<sup>2</sup>
- 1saca = 60kgs
- 1 US bushel = 35.239072 litros



El presente trabajo tuvo una duración de 6 meses, iniciando el 7 del mes de diciembre del 2013 y culminado el 23 de junio del 2014.

**Ilustración 202:** Cronograma de actividades del proyecto

Nombre de la tarea	Fecha de Inicio	Fecha final	Dura...	P2		P3			P4			P1			P2			P3			P4		
				Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov
<b>Actividades del proyecto</b>	<b>01/06/13</b>	<b>09/07/14</b>	<b>402d</b>	Actividades del proyecto																			
1. Exploración del área de trabajo	01/06/13	12/06/13	12d	■ 1. Exploración del área de trabajo																			
2. Recopilación y análisis de la información obtenida del área de trabajo	12/06/13	18/06/13	7d	■ 2. Recopilación y análisis de la información obtenida del área de trabajo																			
3. Captura de los requerimientos del sistema hidropónico	18/06/13	22/06/13	5d	■ 3. Captura de los requerimientos del sistema hidropónico																			
4. Documentar de manera ordenada la información obtenida	22/06/13	25/06/13	4d	■ 4. Documentar de manera ordenada la información obtenida																			
5. Solicitar financiamiento	25/06/13	25/06/13	1d	■ 5. Solicitar financiamiento																			
6. Adquisición de materiales	23/10/13	17/12/13	56d	■ 6. Adquisición de materiales																			
7. Aplicar metodología	07/12/13	23/06/14	197d	■ 7. Aplicar metodología																			
8. Captura de datos del sistema	07/12/13	23/06/14	197d	■ 8. Captura de datos del sistema																			
9. Documentación final	23/06/14	09/07/14	17d	■ 9. Documentación final																			

## Preparación de los almácigos

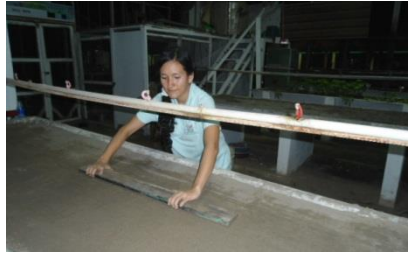
**Ilustración 203:** Proceso de desinfección las camas de almácigo



**Ilustración 204:** Rastrillado de la cama de almácigo para facilitar la extracción de elementos que no sean arena pura como piedra y plántulas



**Ilustración 205:** Aplanamiento ligero de la arena de la cama de almácigo



**Ilustración 206:** Dispersión de las semillas de lechugas que se prepararon en una bandeja



**Ilustración 207:** Esparciendo semillas de lechuga Great Lake



**Ilustración 208:** Lechugas de Great Lake en la cama de almácigo





**Ilustración 209:** Lechugas que germinaron



**Ilustración 210:** Cama de almácigo con lechugas que germinaron



**Ilustración 211:** Detalle de lechugas que germinaron

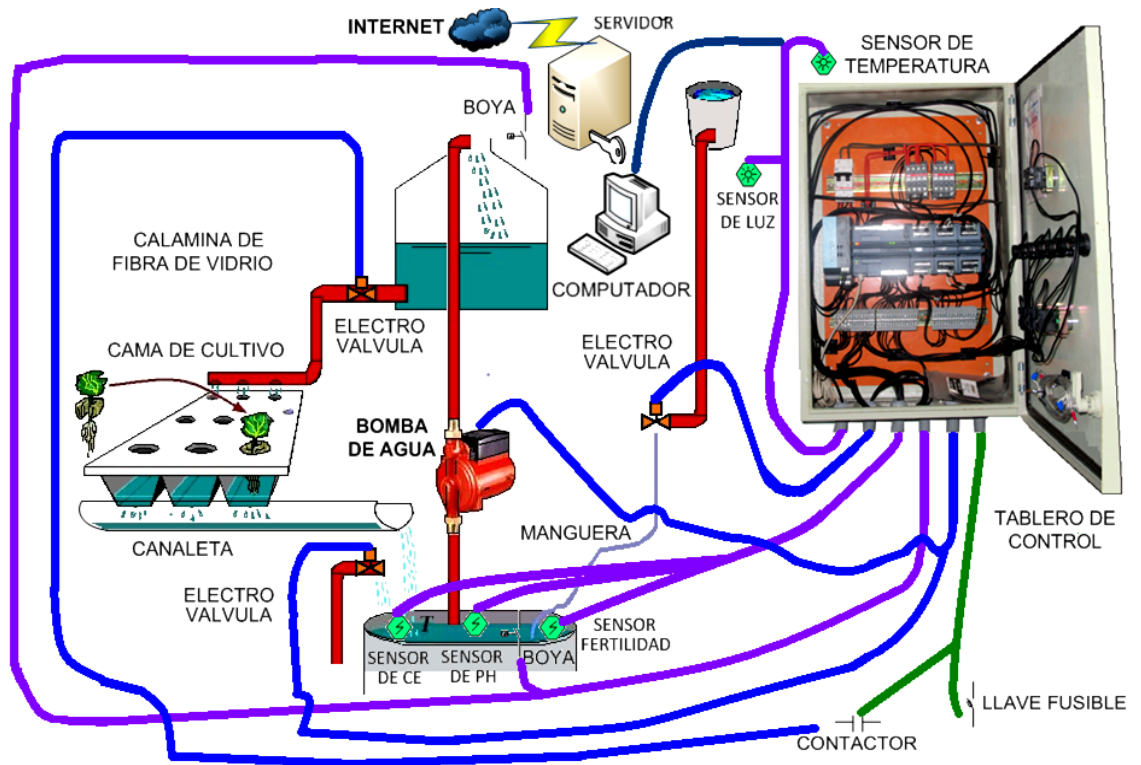


**Ilustración 212:** Área de cultivo automatizado, semi automatizado y no automatizado



### 3.21.2. Diseño de la implementación realizada del sistema hidropónico automatizado

Ilustración 213: Implementación realizada del sistema



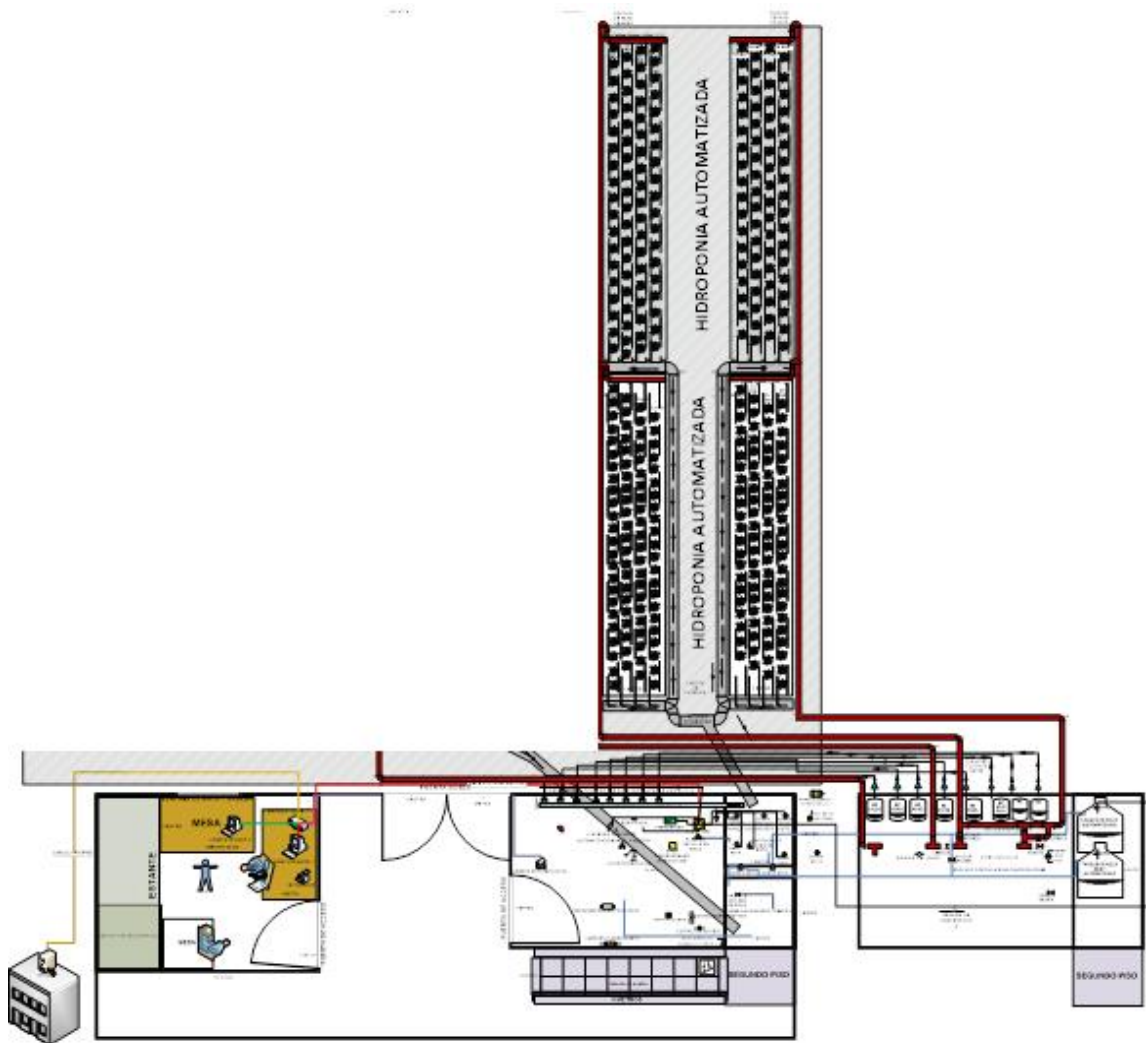
Como ilustración hemos pintado de color azul las conexiones con las electro-válvulas y la bomba de agua para diferenciar a los actuadores (la salida del sistema).

Y para indicar la conexión con los sensores hemos pintado de color morado.

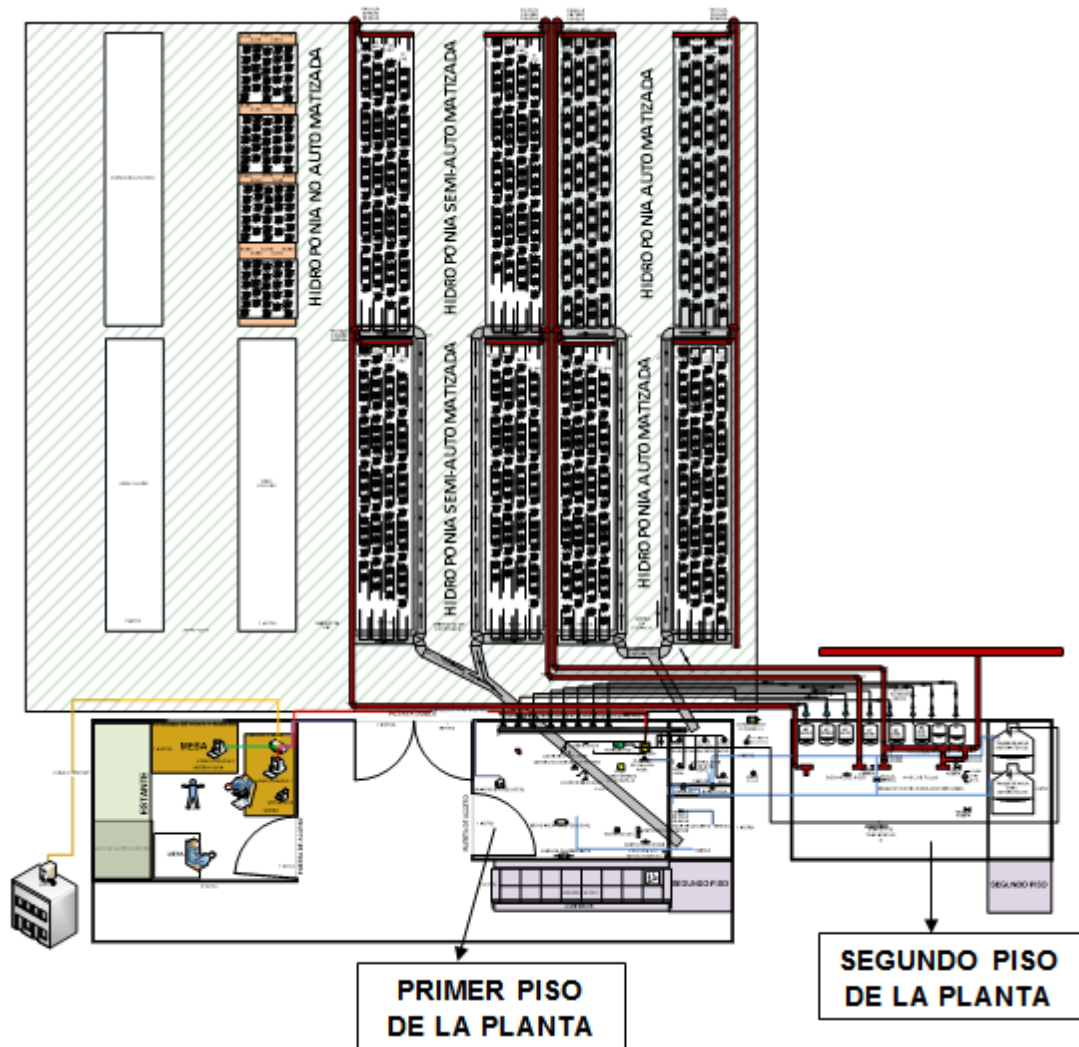
Con color verde estamos indicando la conexión a la entrada de corriente y también a la conexión con un contactor que accionará una válvula fabricada por nosotros a través de un motor Trico para regular el paso del agua de manera de controlar su fluidez.

### 3.21.3. Diseño de la distribución de las camas de cultivo del sistema automatizado

**Ilustración 214:** Esquema general del sistema automatizado



**Ilustración 215:** Diseño de los tres sistemas hidropónicos el no automatizado al lado izquierdo, el semi-automatizado intermedio, automatizado al lado derecho.



**Ilustración 216:** Verificando los datos en la computadora.



#### 3.21.4. Instalación de la máquina virtual VirtualBox

La interfaz principal de VirtualBox, es igual en cualquier sistema operativo.

Para agregar una Máquina Virtual se dio clic en el botón con título NUEVA.

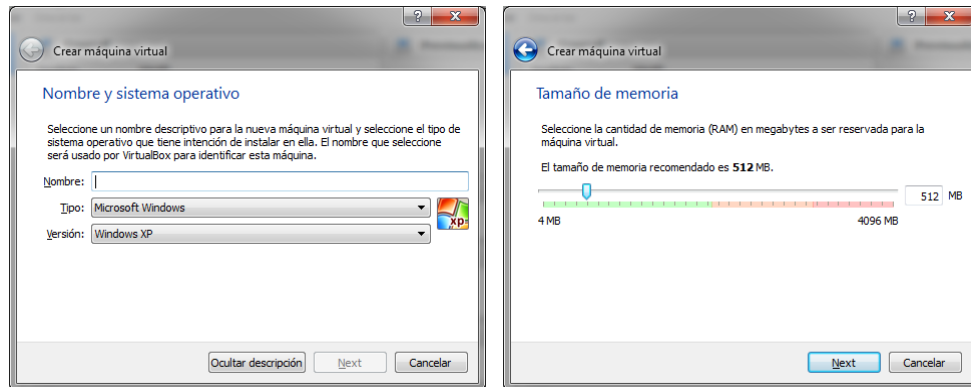
**Ilustración 217:** Agregar nueva máquina virtual en VirtualBox



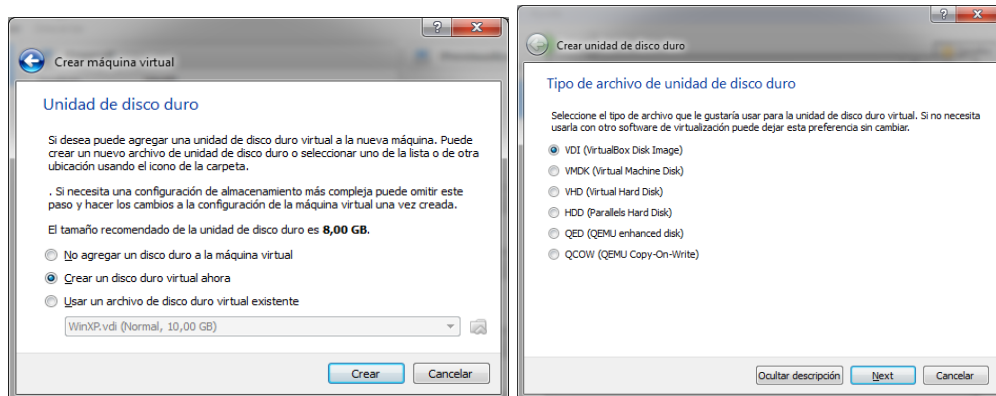
Siguiendo el procedimiento de Moran (2013), se ingresó el nombre de la Máquina Virtual "Windows XP", y se dio clic en Siguiente. Se le asignó Memoria RAM, por defecto aparecerá 192MB de RAM. Esa cantidad de memoria RAM es lo que le permites al SO Virtual usar la memoria de la

máquina anfitrión, lo recomendado es que se use de la Mitad de la RAM hacia abajo, de lo contrario la PC se volverá lenta.

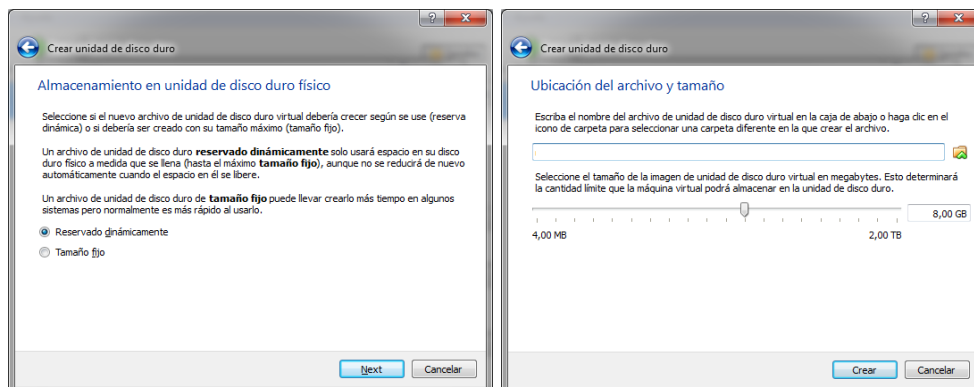
**Ilustración 218:** Asignación del nombre de la maquina virtual y del tamaño de memoria



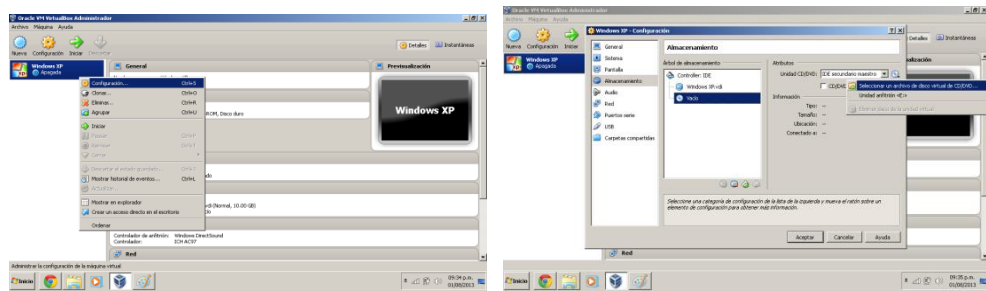
**Ilustración 219:** Creación de una unidad de disco duro y su tipo de archivo



**Ilustración 220:** Asignamos almacenamiento - ubicación y tamaño del archivo

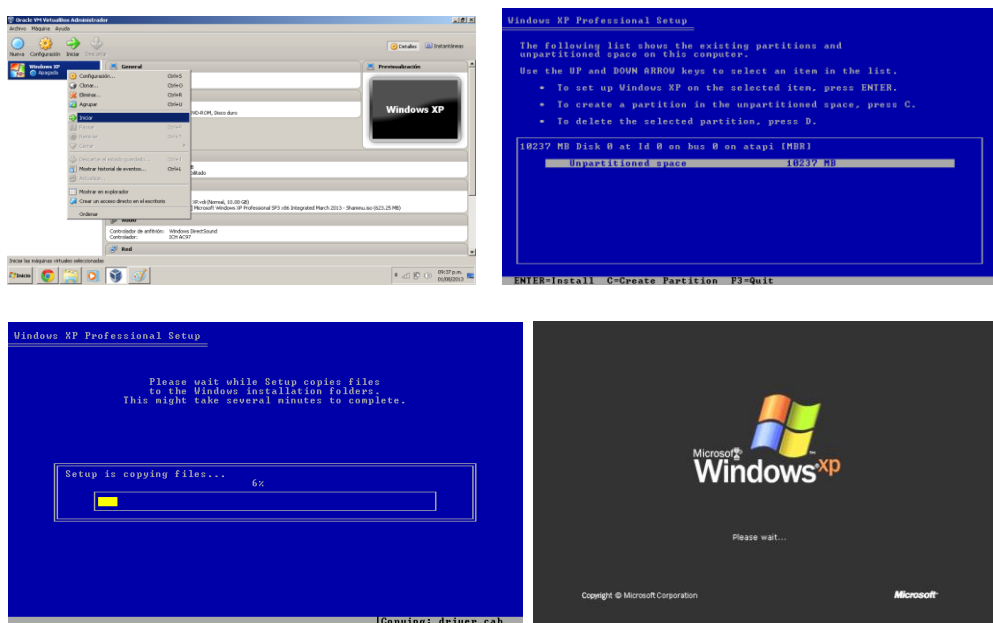


### Ilustración 221: Seleccionamos el ISO y damos click en Abrir



### 3.21.5. Instalación de Sistema Operativo XP

#### Ilustración 222: Instalación de Sistema Operativo XP



Se guarda y se selecciona “iniciar”, se acepta los términos con F8, se elige la partición, el sistema de archivos; se formatea y comienza a copiar los archivos para la instalación finalmente se reinicia.

Una máquina virtual es un software que simula a una computadora y puede ejecutar programas como si fuese una computadora real, como "un duplicado eficiente y aislado de una máquina física".

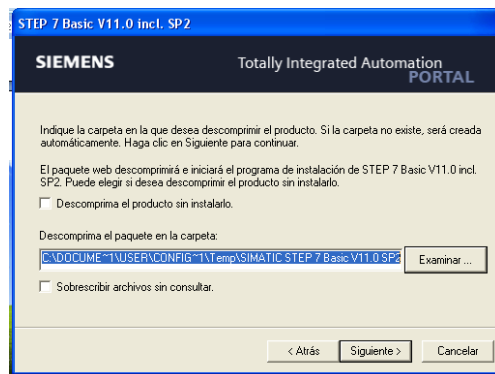
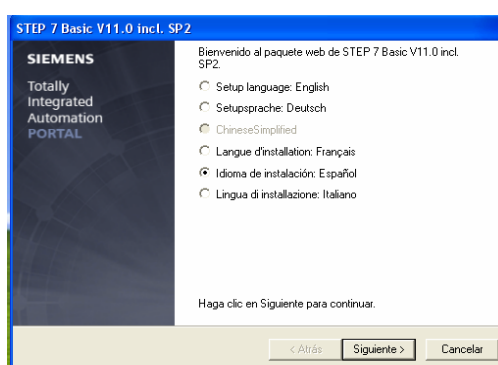
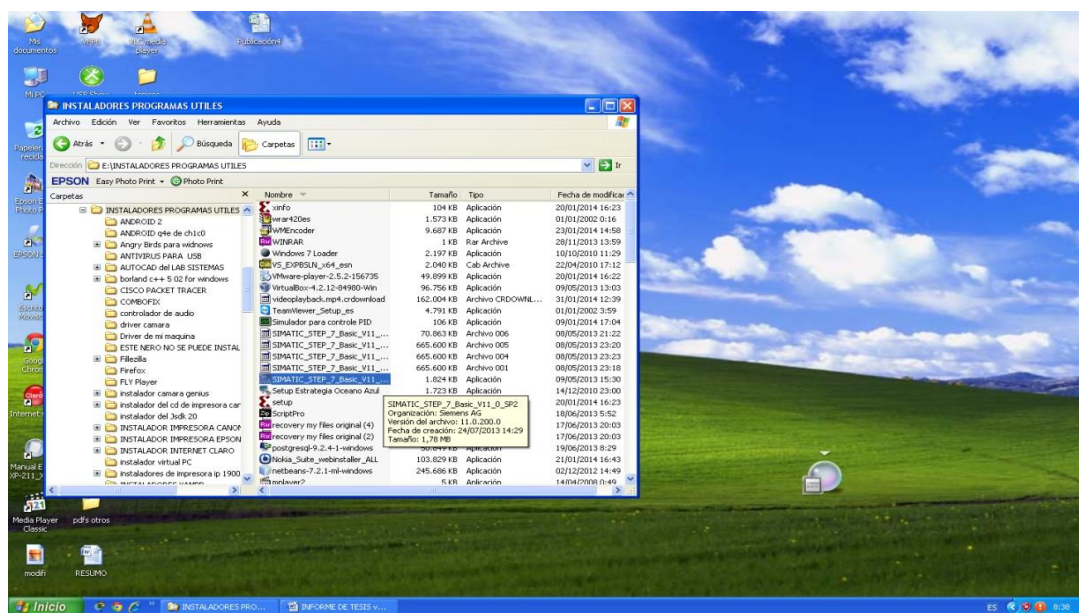


Se instaló el Windows XP en una Máquina Virtual con la finalidad de proteger los puertos y los archivos del sistema general del entorno de programación del PLC, ejecutar versiones antiguas de programas que se requirieron y que no son compatibles con Windows Vista, 7 ó 8.

Si se quisiera abrir una vez creada y guardada es solo seleccionar el Archivo de disco Virtual y damos doble clic para abrir.

### 3.21.6. Instalación del STEP 7 Basic V11.0

Ilustración 223: Instalación del STEP 7 Basic V11.0

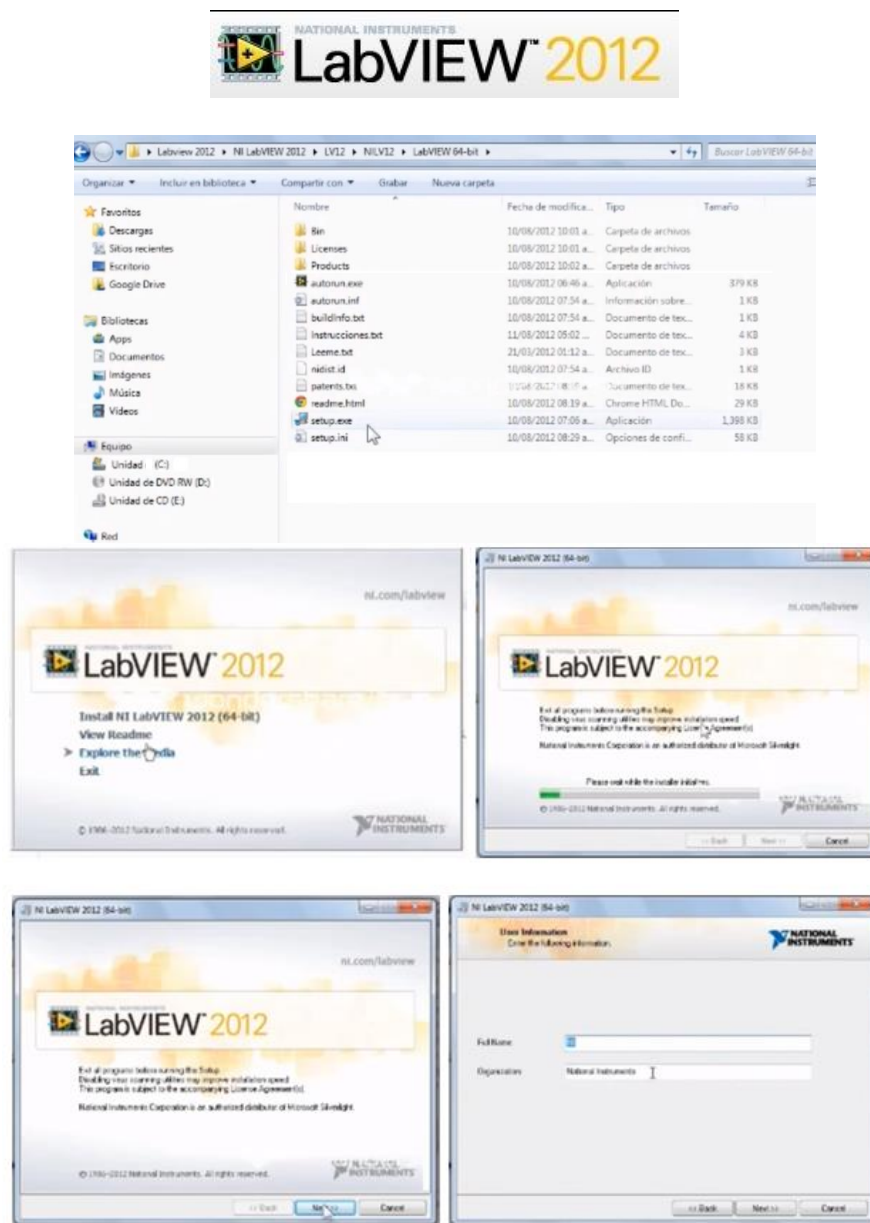


Se siguen los pasos a seguir según el software de instalación.

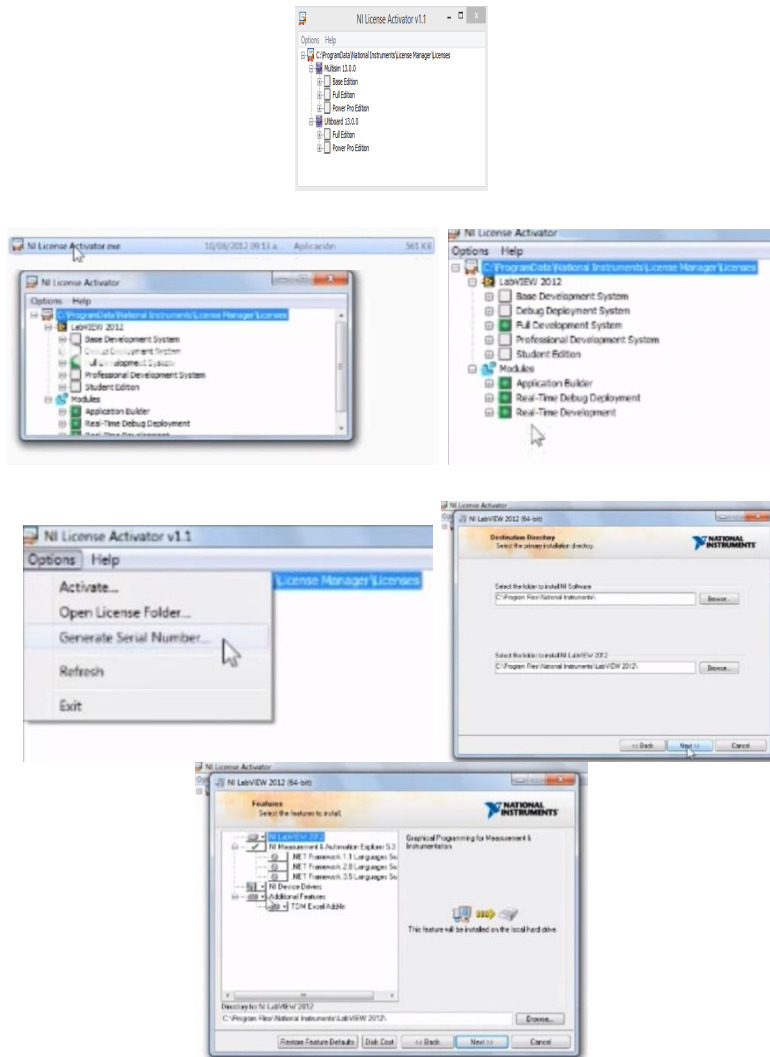
### 3.21.7. Instalación de LabVIEW

Primero se Instala LabVIEW con sus modulos y Toolkits. Segundo se Instala los Controladores Dispositivos. En la pagina National Instruments permite descargar una versión de prueba complemente funcional gratis por un tiempo limitado “LabVIEW Student Edition” o tambien se puede utiilizar el cd de instalación. Tercero es la instalación de LabVIEW.

**Ilustración 224:** Instalación de LabVIEW



**Ilustración 225:** Activador de Licencia NI (National Instruments)



**Ilustración 226:** Selección de actualizaciones y contrato de licencia de NI (National Instruments)

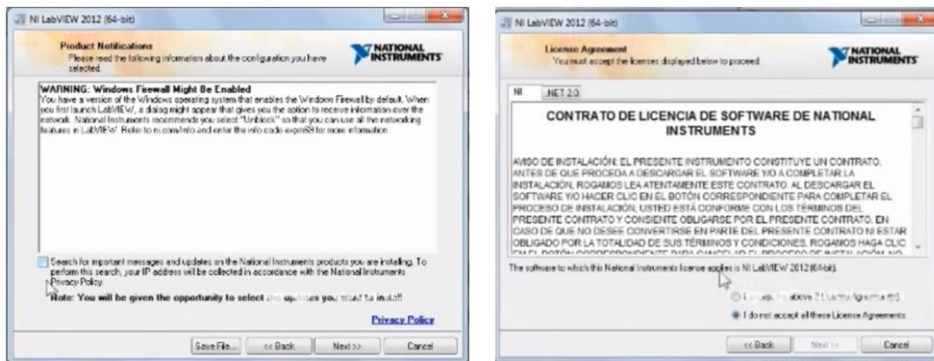
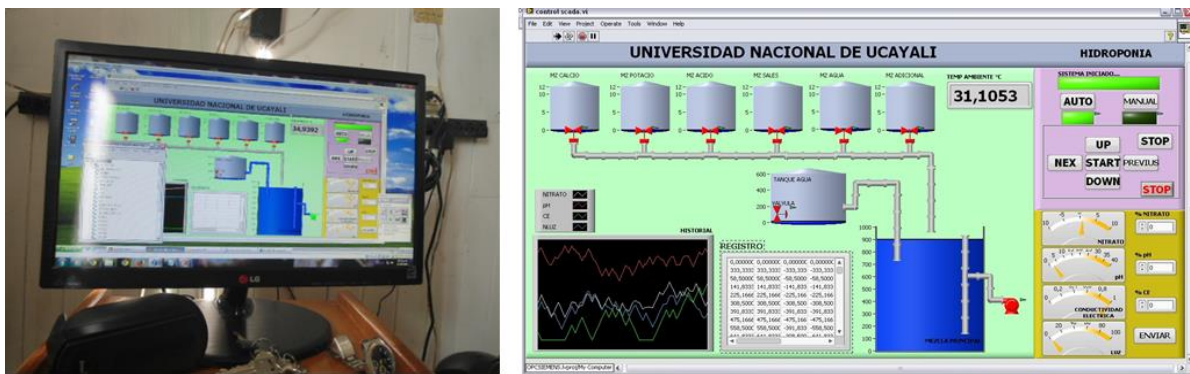
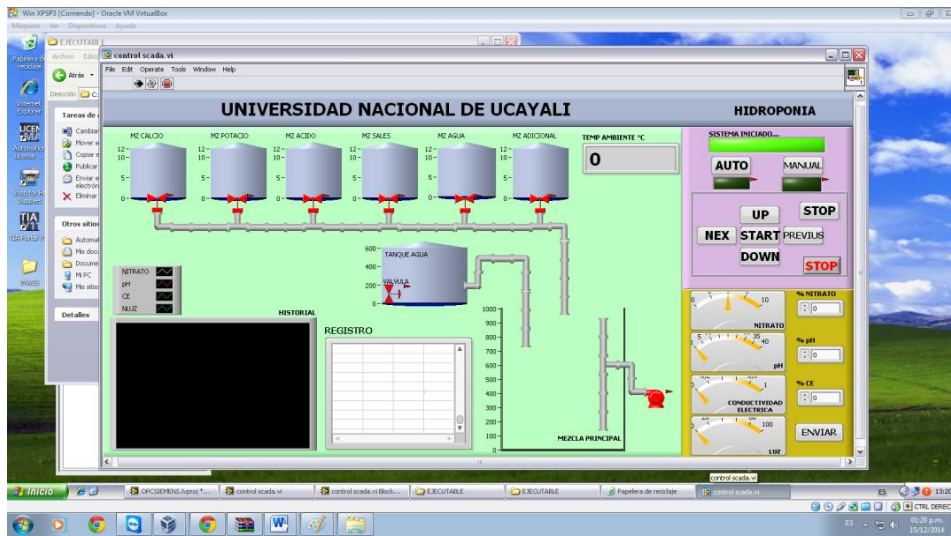
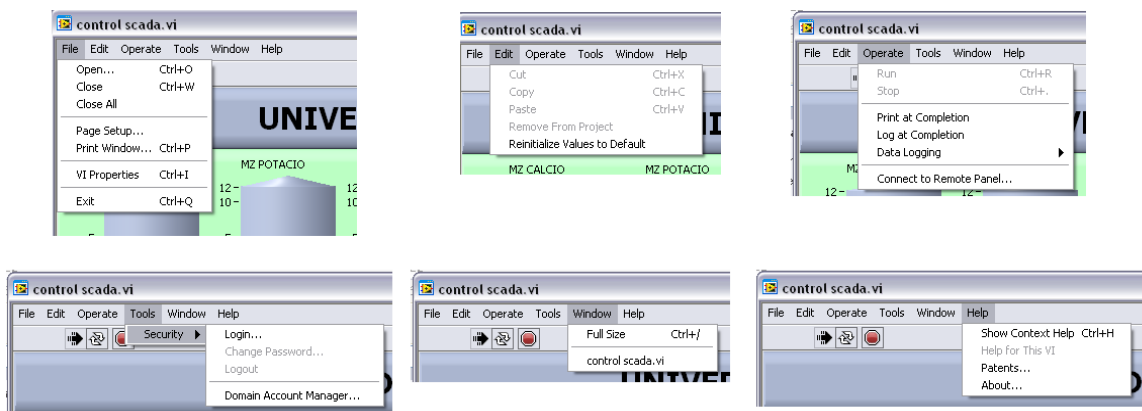


Ilustración 227: La interfaz.



Se crea la interfaz en LabView, para ello se cuenta con un conjunto de herramientas.

Ilustración 228: Contenido de la barra de menú del ejecutable

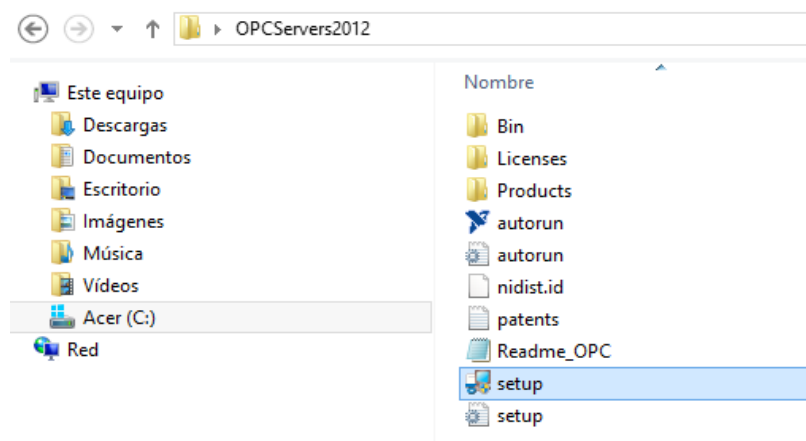


### 3.21.8. OPCSIEMENS.Ivproj

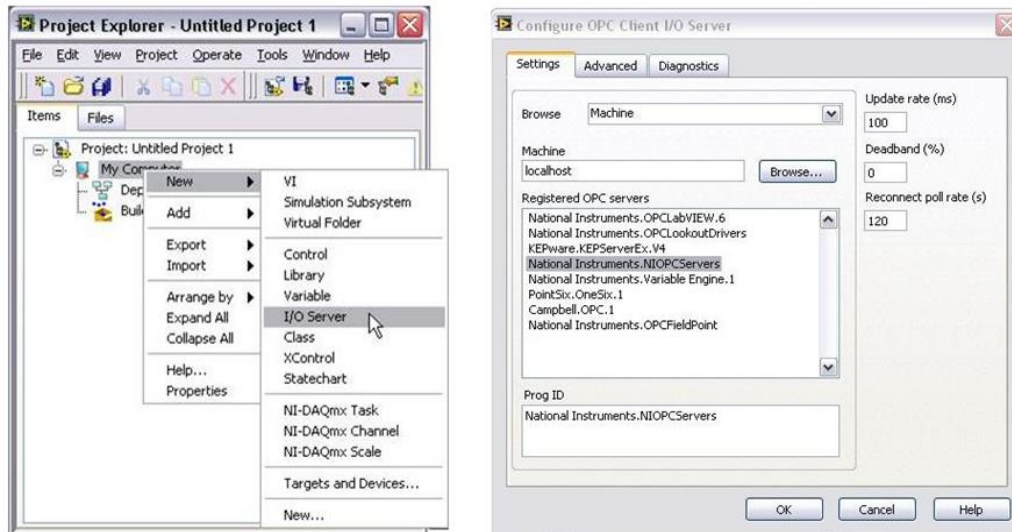
Según National Instruments (2015) los servidores OPC proporciona una única interfaz de conexión con múltiples dispositivos, facilitando la utilización de nuevos protocolos de comunicación. Ofrece una plataforma única para la entrega de las mediciones de alto rendimiento y control para sistemas industriales, nuevos y existentes. Servidores NI OPC se conectan a través del cliente OPC en LabView Registro de Datos y Control de Supervisión (DSC) Módulo para permitir a desarrollar un sistema HMI / SCADA.

Según National Instruments Latinoamerica (2013) el software NI LabView puede comunicarse con cualquier controlador lógico programable (PLC) de diferentes formas. OPC (OLE for Process Control) define el estándar para comunicar datos en tiempo real entre los dispositivos de control de una planta y las interfaces hombre-máquina (IHM). Los servidores OPC están disponibles virtualmente para todos los PLCs y para PACs (Programmable Automation Controller).

**Ilustración 229:** Instalación de OPC Server 2012



**Ilustración 230:** Comunicación de LabView con un PLC conectado a la red utilizando OPC.



Se creará una interfaz en LabView para las etiquetas (tags) OPC llamadas I/O Server. El I/O Server automáticamente actualiza LabView con los valores de las etiquetas actuales en el rango que usted especifica.

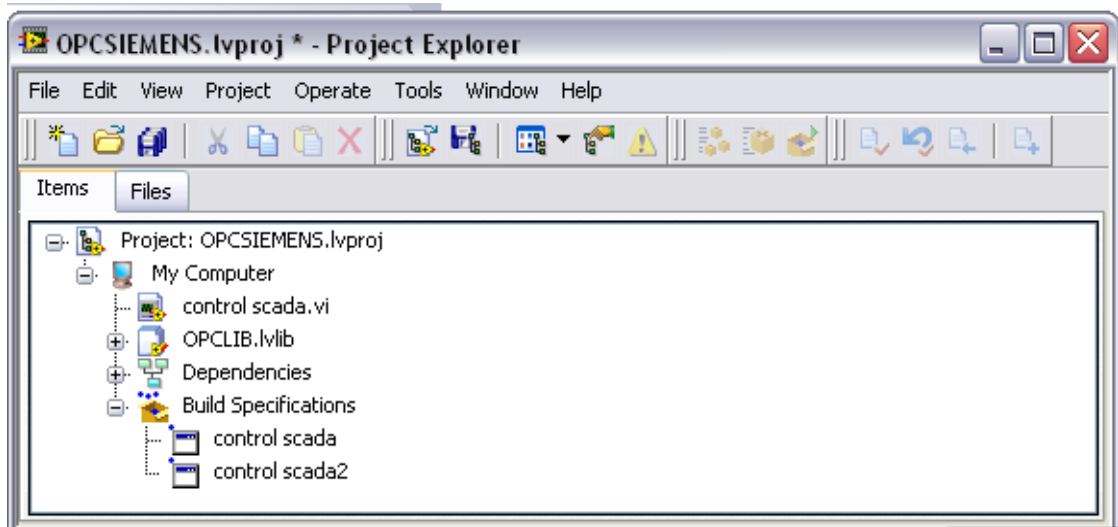
1. La ventana de Getting Started. Se hace clic en File » New Project para abrir un Nuevo proyecto en LabView.
2. En la ventana LabView Project, se hizo clic derecho en My Computer y seleccione New » I/O Server, como se muestra.
3. Se seleccionó OPC Client en la ventana Create New I/O Server y se hizo clic en Continue.
4. Se seleccionó National Instruments.NIOPCServers en el campo Registered OPC servers y ajuste Update rate (ms) a 100. Esto crea una conexión de LabView hacia las etiquetas del OPC, las cuales se actualizan cada 100 ms.

5. Se seleccionó OK. Una biblioteca se creó automáticamente en la ventana project explorer para manejar el I/O Server.
6. Se guardó el proyecto como OPCDemoProject y la biblioteca como OPCDemoLibrary seleccionando File » Save All de la ventana Project Explorer.
7. Se creó las variables compartidas, las cuales están limitadas en las etiquetas del OPC, se dió acceso nativo en LabVIEW a los datos del PLC.
8. Se seleccionó todos los objetos y se hizo clic en Add y OK para crear las variables compartidas que están limitadas a las etiquetas del OPC del PLC y cargarlas dentro de Multiple Variable Editor.
9. En Multiple Variable Editor, se seleccionó Done para añadir las variables compartidas que fueron creadas anteriormente.
10. Se guardó la nueva biblioteca en la ventana del proyecto haciendo clic derecho en la biblioteca y seleccionando Save As.

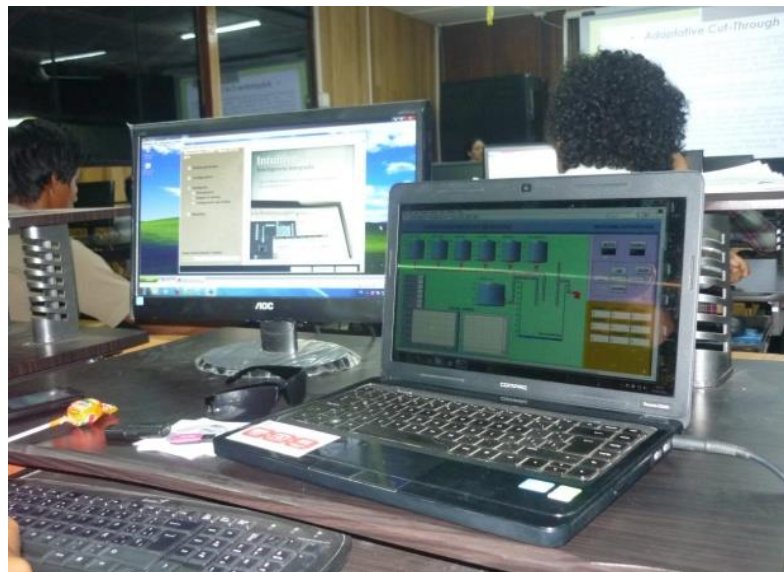
A partir de ese punto se accedió a los datos nativos del PLC en LabVIEW por medio de las variables compartidas.

Desde El explorador del proyecto o Project Explorer, seleccione Tools » Distributed System Manager para abrir una ventana donde puede manejar sus variables compartidas en diferentes formas.

En el árbol se hizo clic derecho en la biblioteca OPCItems, y se seleccionó watch list para desplegar las variables compartidas, donde se encontraban las etiquetas OPC del PLC.

**Ilustración 231:** OPCSIEMENS.lvproj

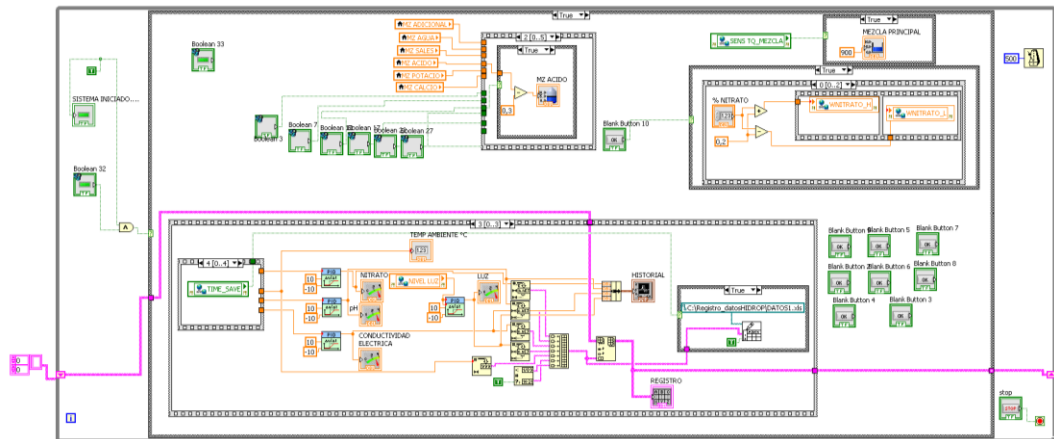
### 3.21.9. Programación en LabView

**Ilustración 232:** Se crea la interfaz gráfica de usuario

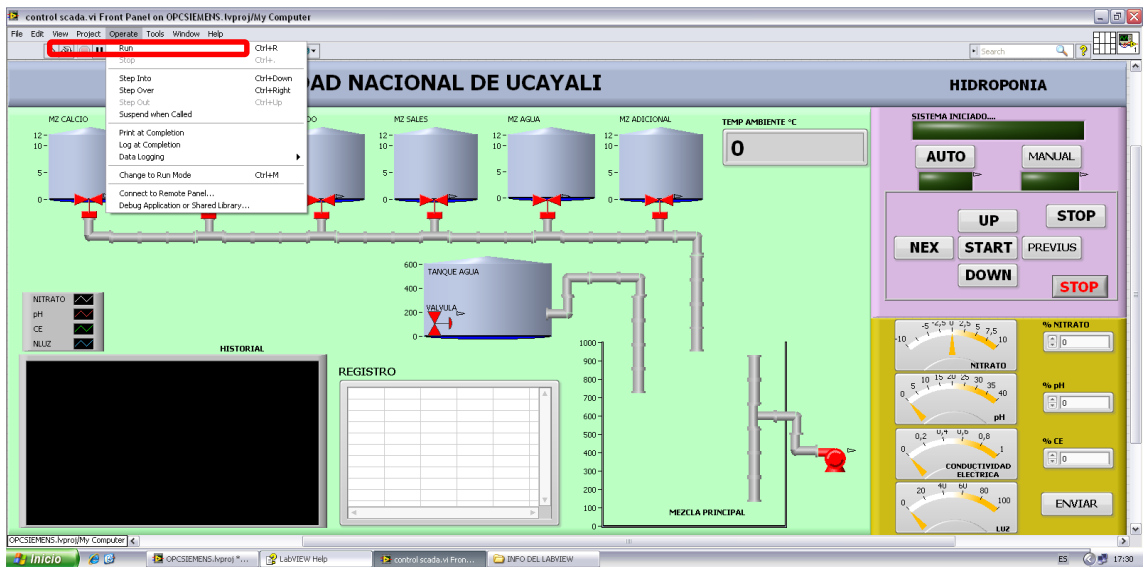
En la ventana del VI se selecciona Window » Show Block Diagrama o si no se presiona <Ctrl+E> para mostrar el diagrama de bloques.



**Ilustración 233:** Diagrama de bloques



**Ilustración 234:** Para hacer correr el programa utilizar el comando RUN.



**Ilustración 235:** Verificación del estado de conexión con el PLC.

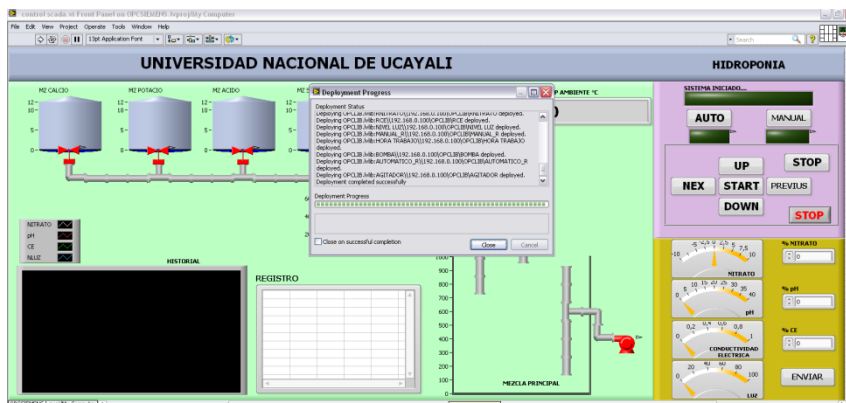


Ilustración 236: Inicializando el control SCADA.

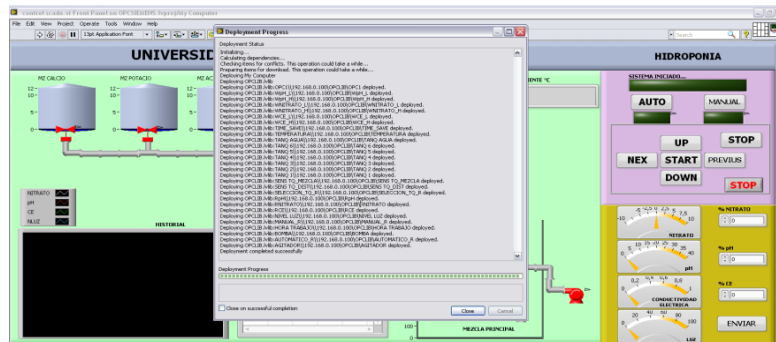


Ilustración 237: Lectura de datos.

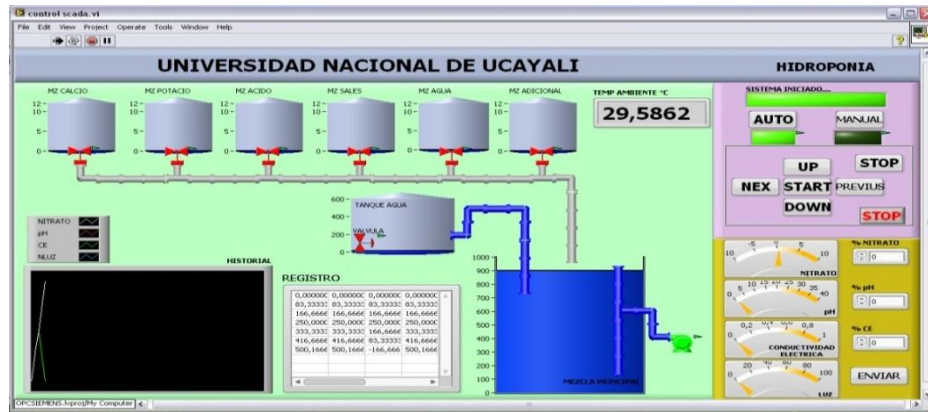


Ilustración 238: Funcionamiento de la bomba de agua según la interfaz

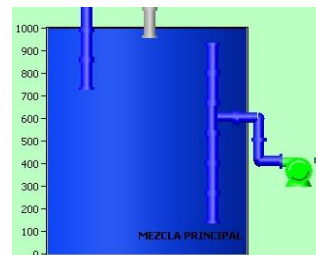
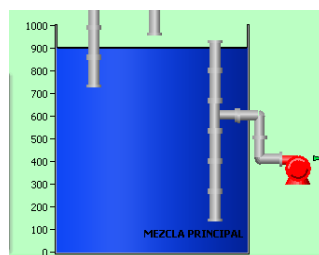
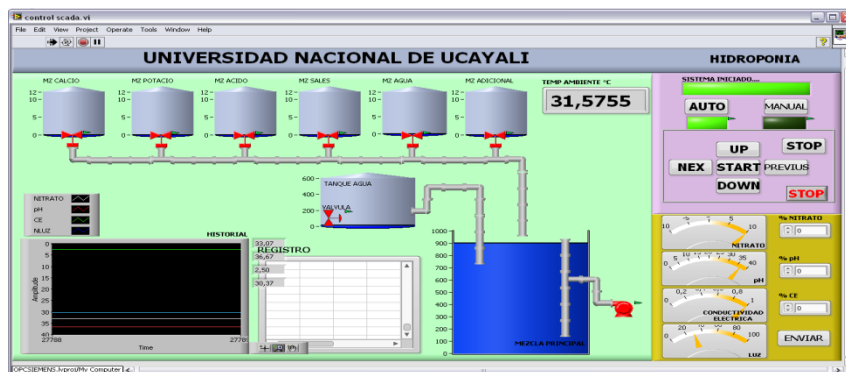
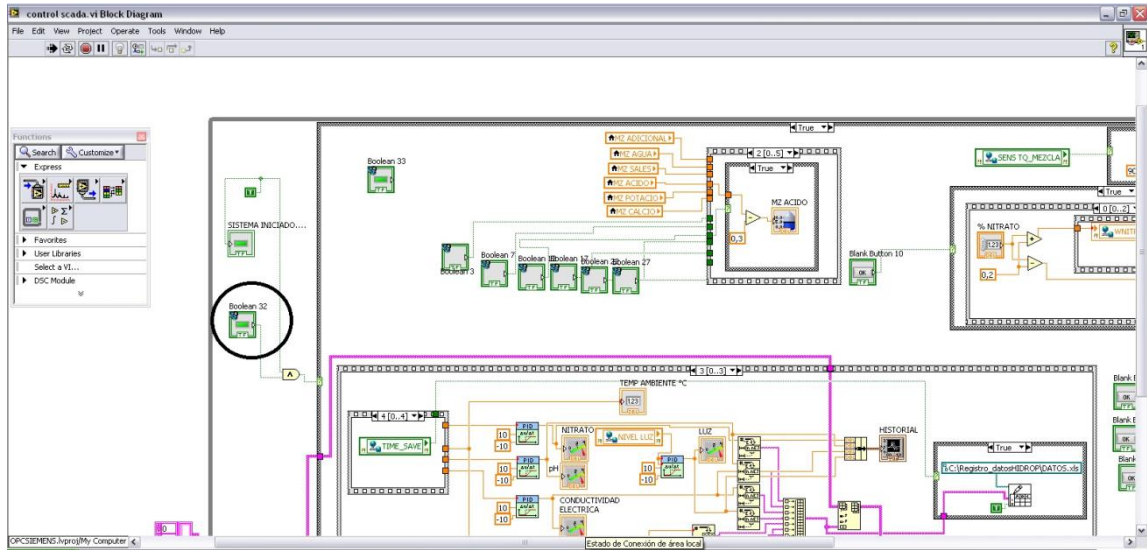
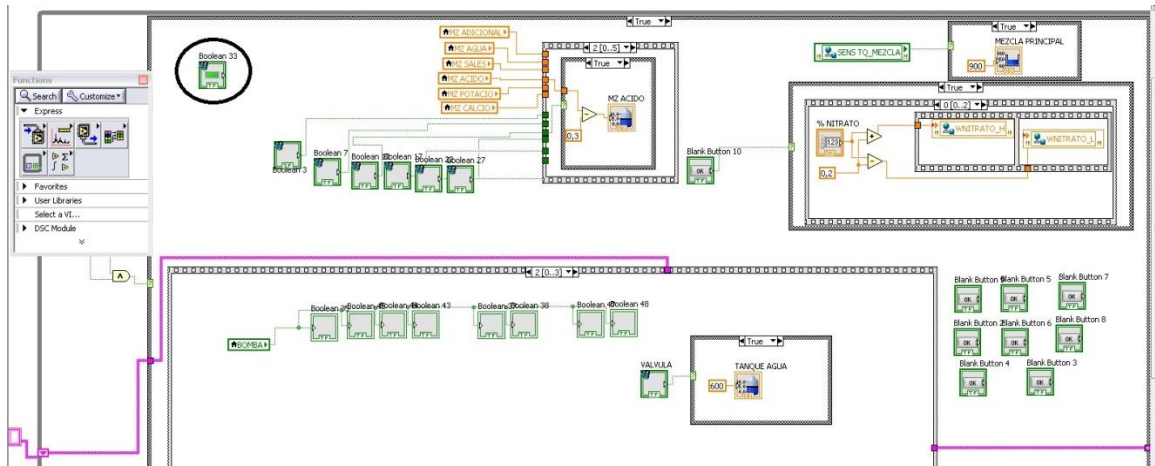


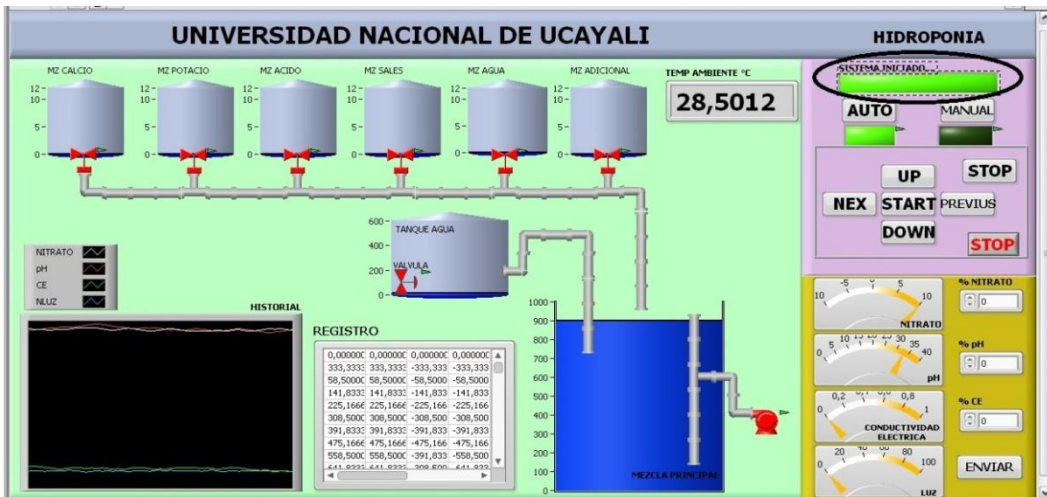
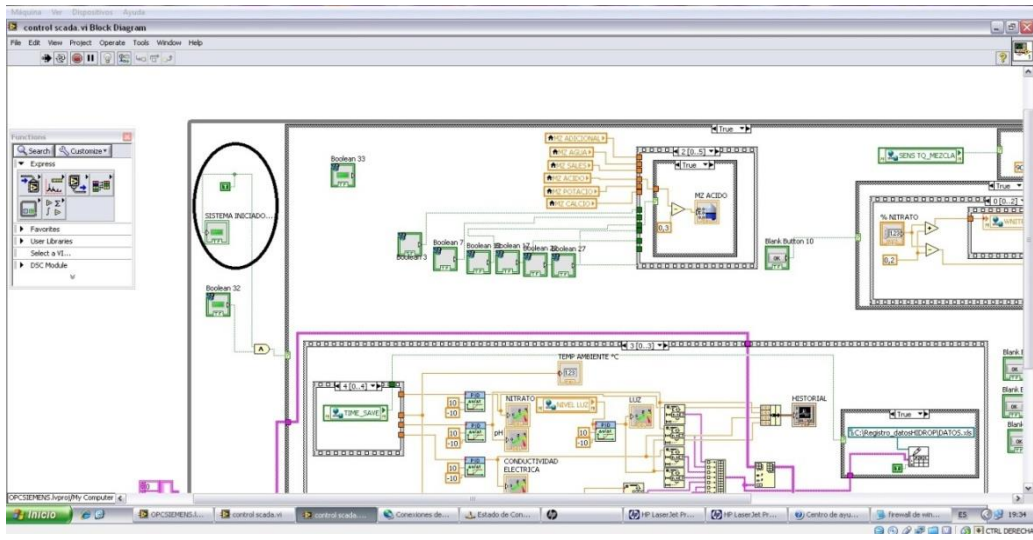
Ilustración 239: Led Indicador/selector del automático en el diagrama de bloques



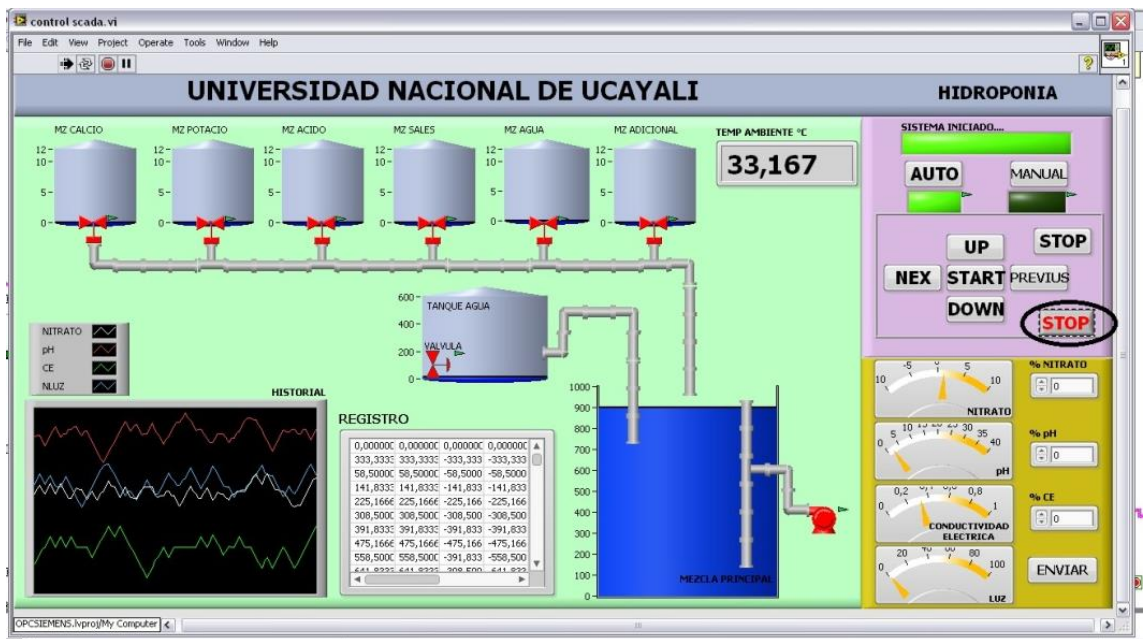
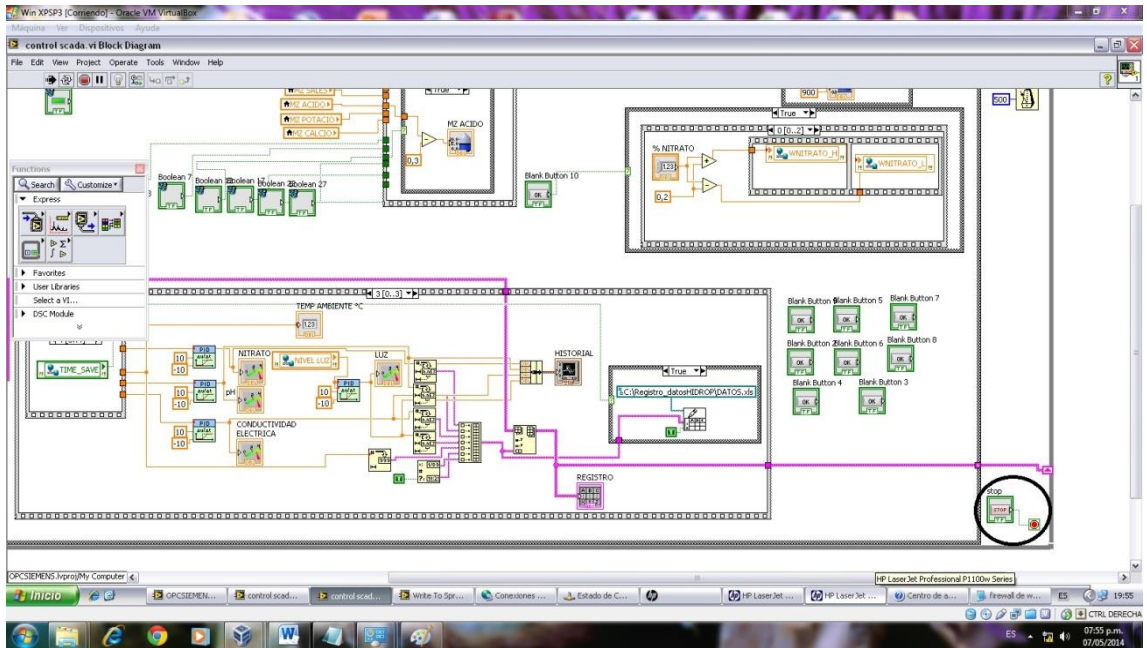
**Ilustración 240:** Led Indicador de activación del sistema en modo manual en el diagrama de bloques.



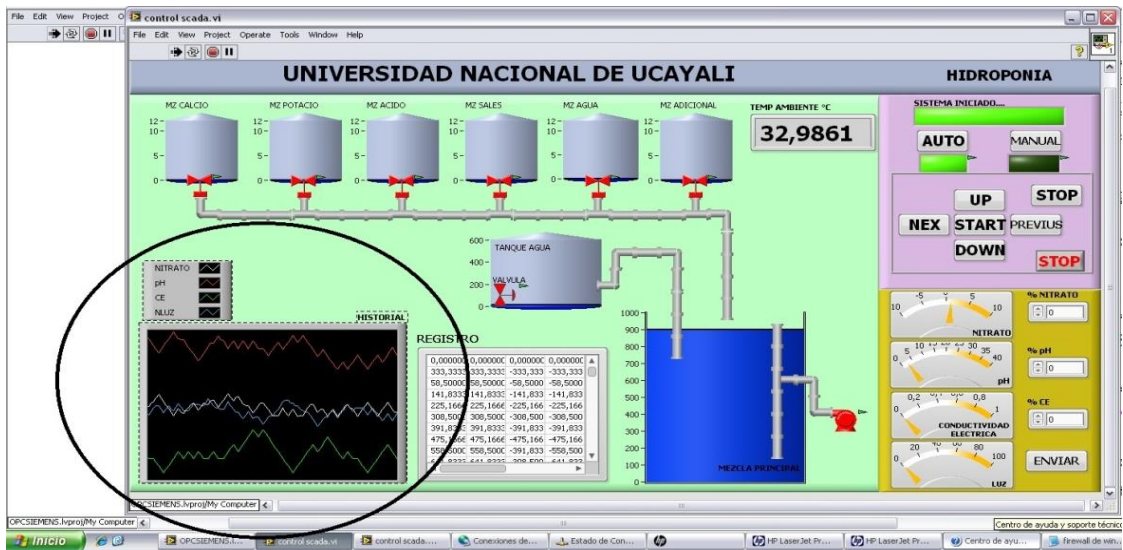
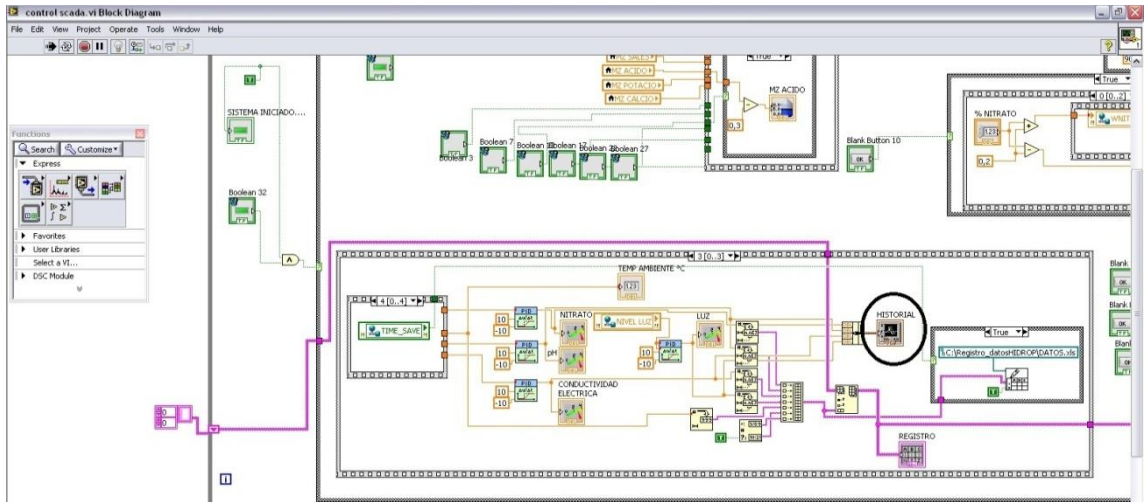
**Ilustración 241:** Indicador LED de que el sistema está iniciado en el diagrama de bloques y en la interfaz



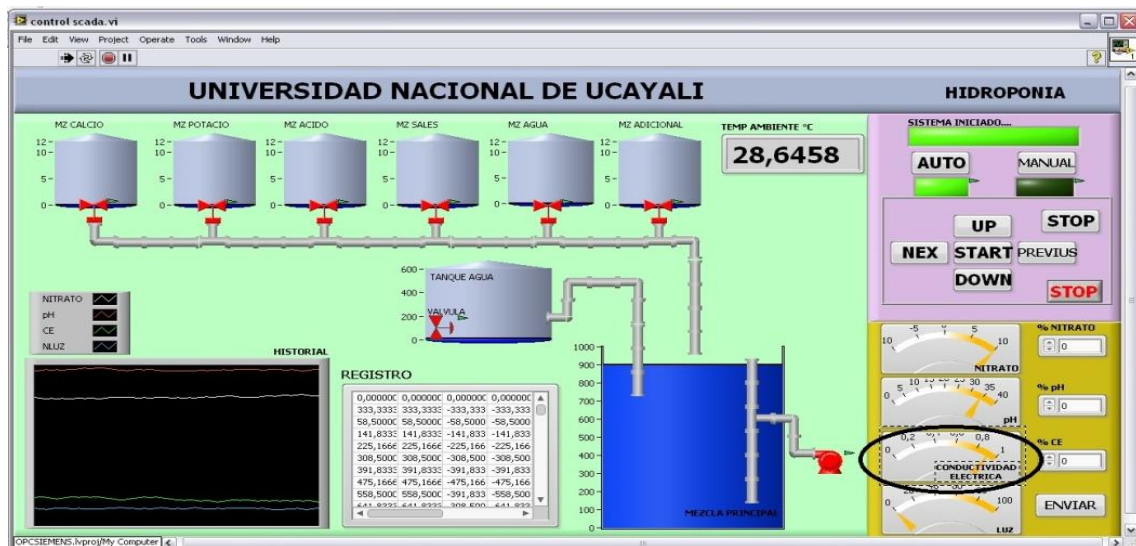
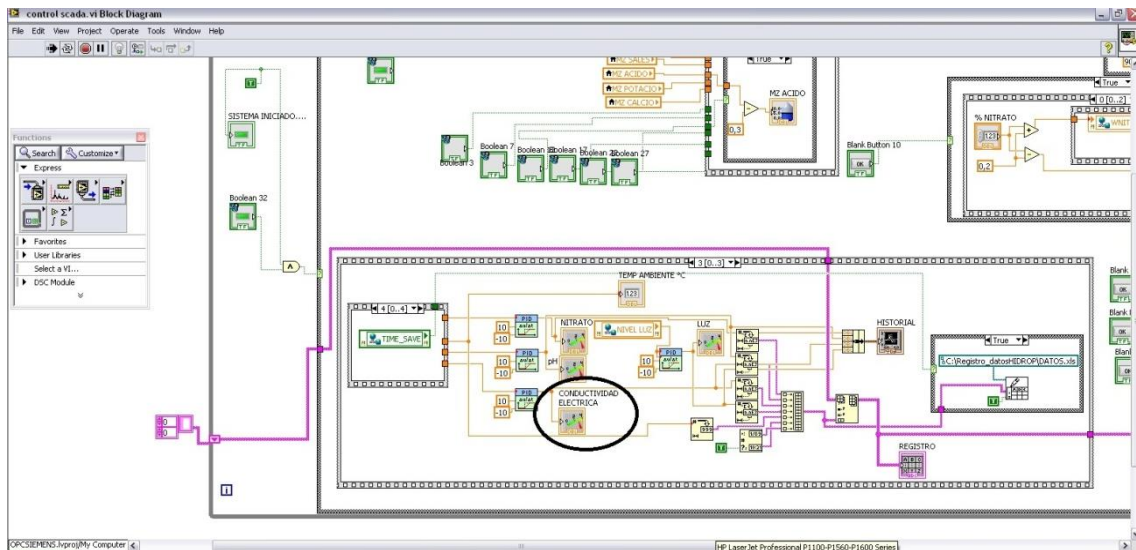
**Ilustración 242:** Botón stop en el diagrama de bloques y en la interfaz



**Ilustración 243:** Gráfico historial en el diagrama de bloques y en la interfaz.

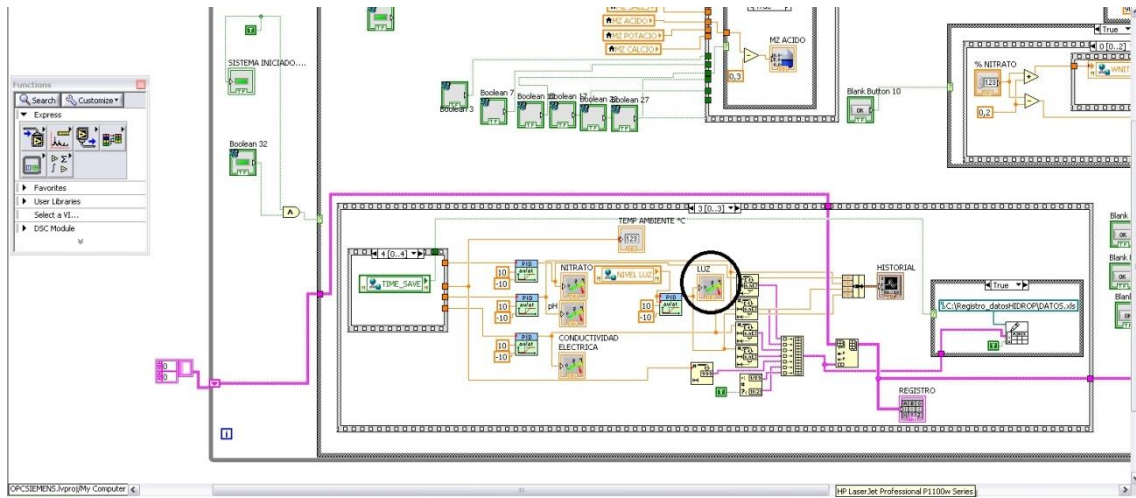


**Ilustración 244:** Nivel de conductividad eléctrica en el diagrama de bloques y la interfaz

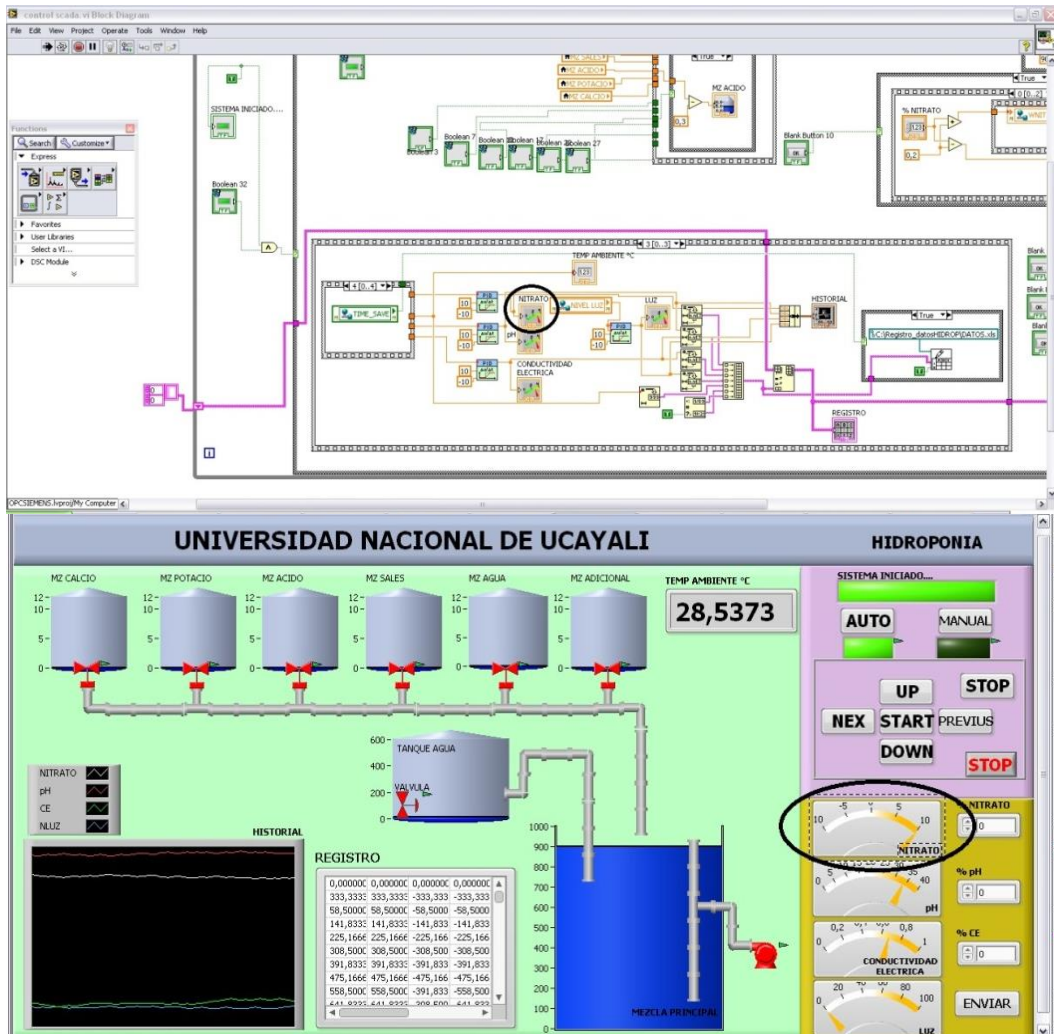




**Ilustración 245:** Intensidad de luz en el diagrama de bloques y en la interfaz



**Ilustración 246:** Nivel de nitrógeno en el diagrama de bloques y en la interfaz.



**Ilustración 247:** Nivel de PH en el diagrama de bloques y en la interfaz

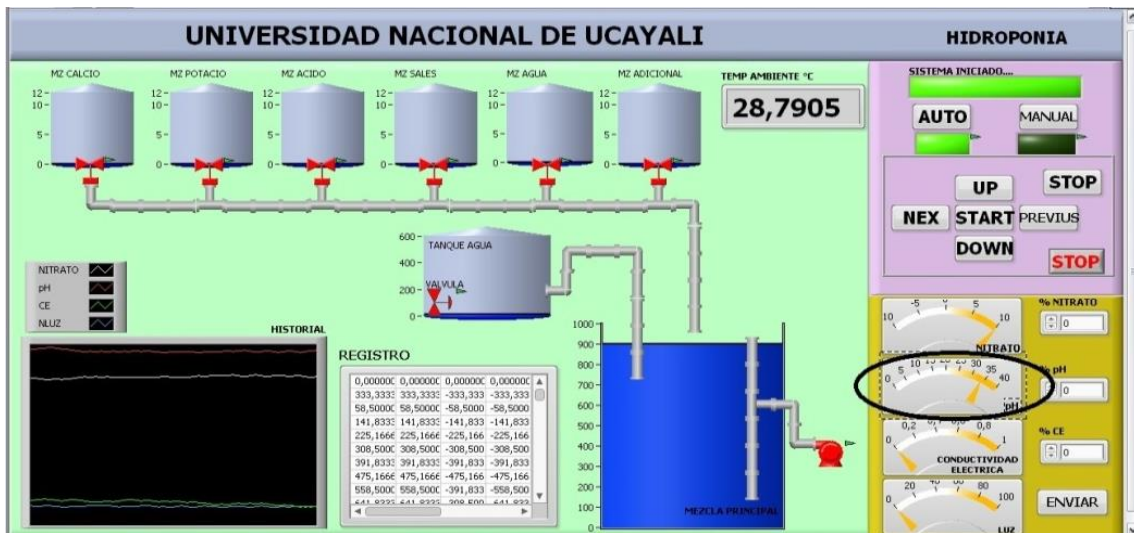
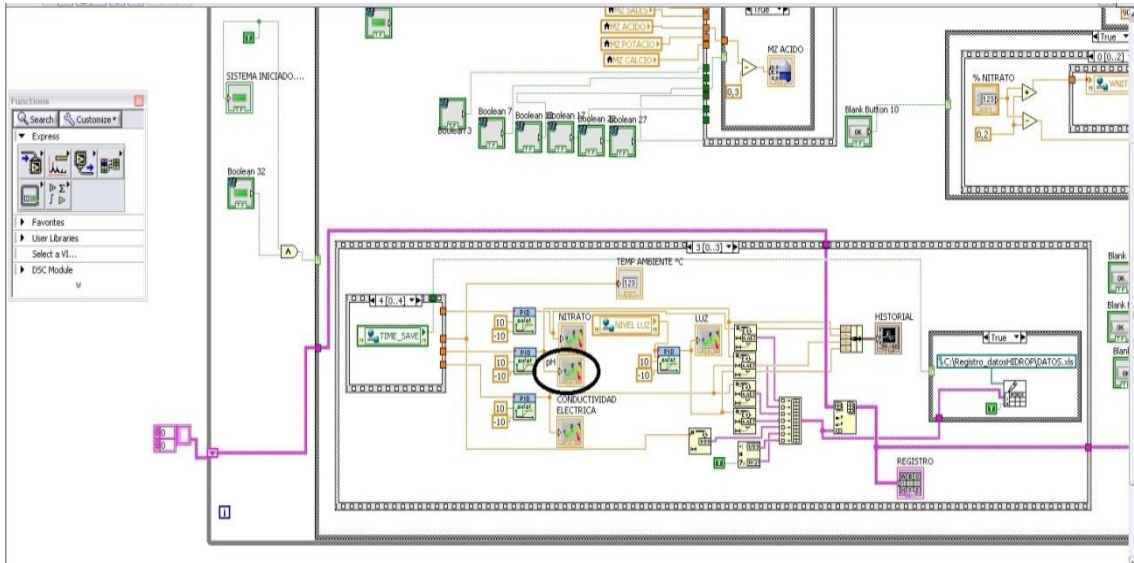
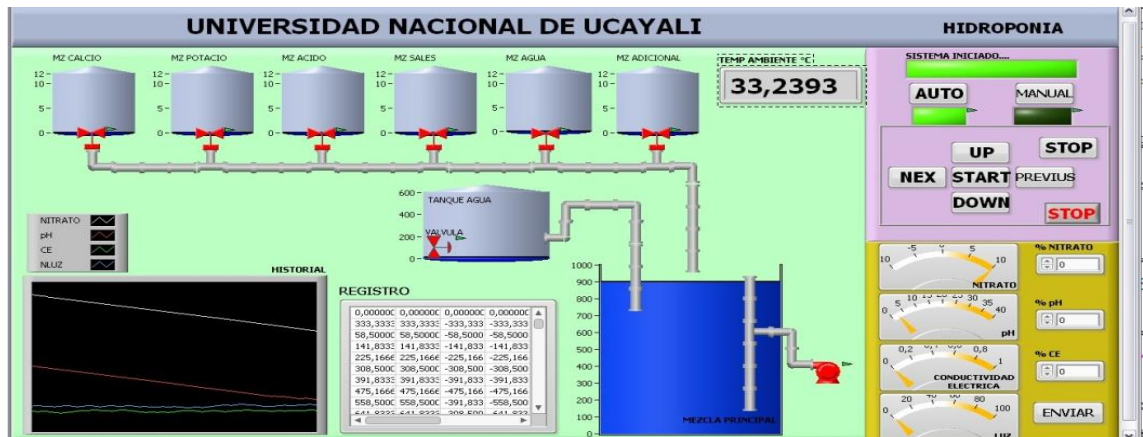
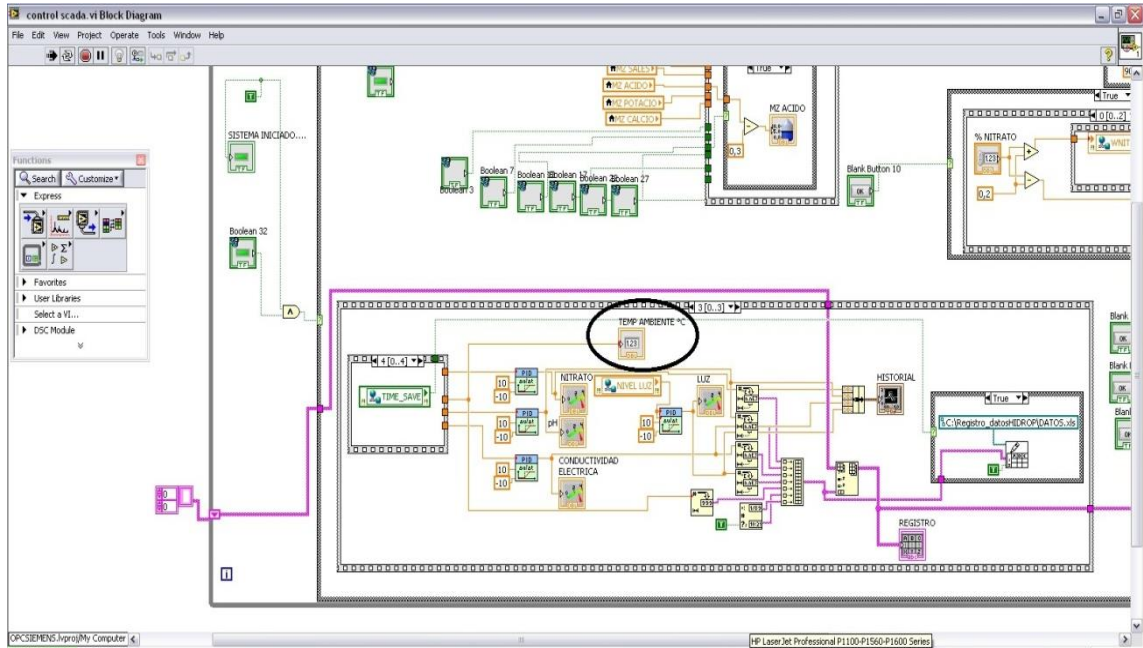


Ilustración 248: Nivel de temperatura en el diagrama de bloques y en la interfaz



**Ilustración 249:** Led indicador de activación del modo manual en el diagrama de bloques y en la interfaz

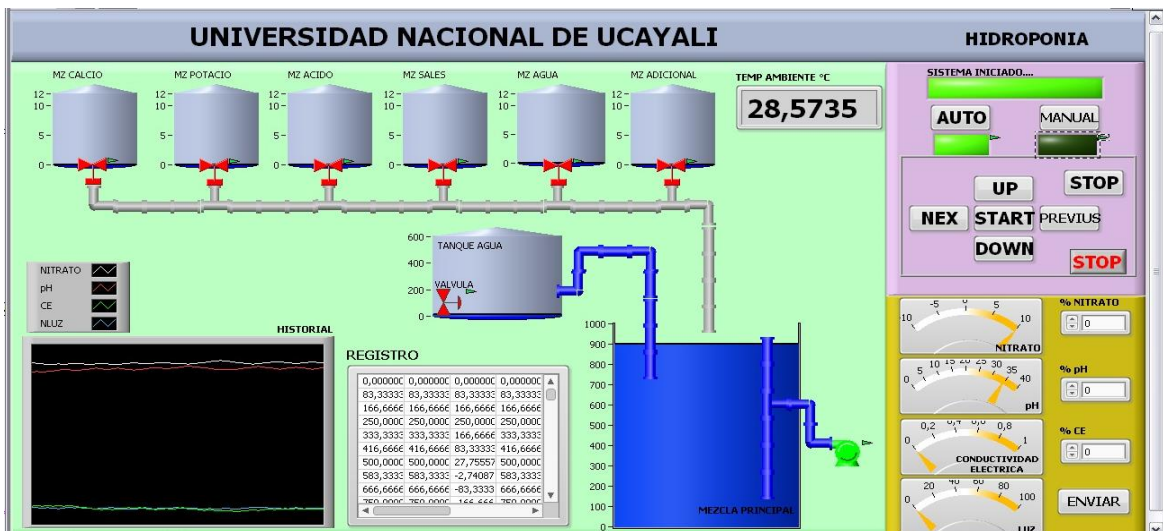
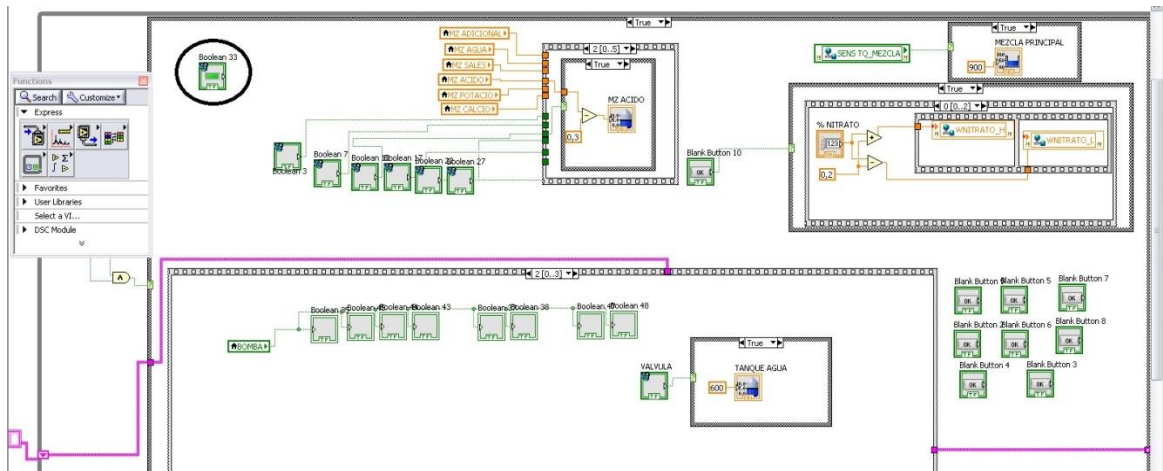
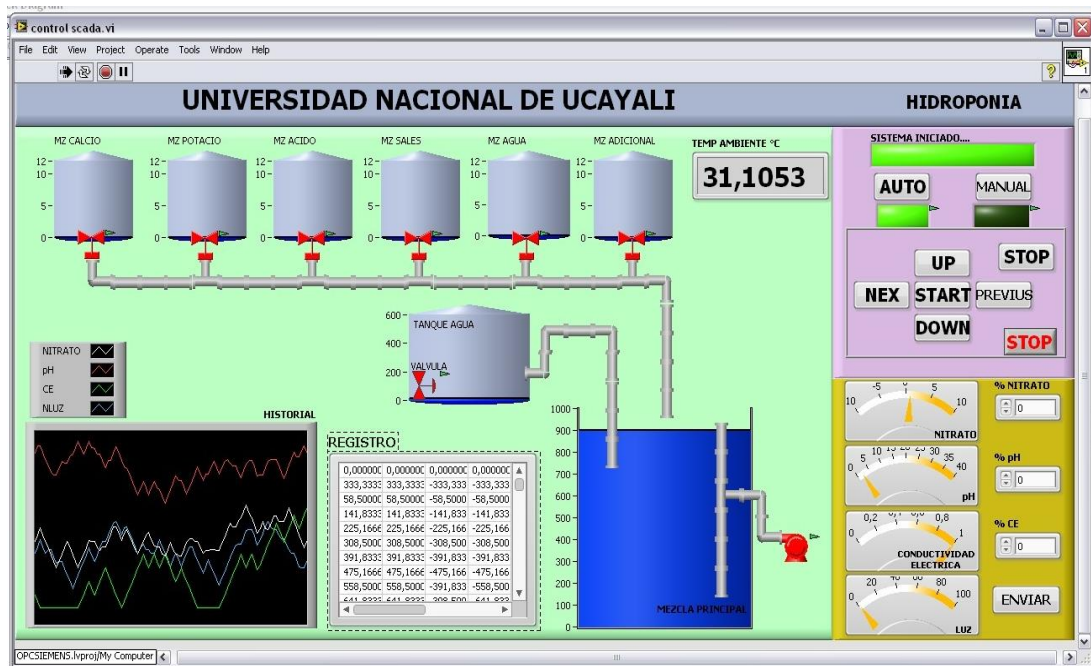
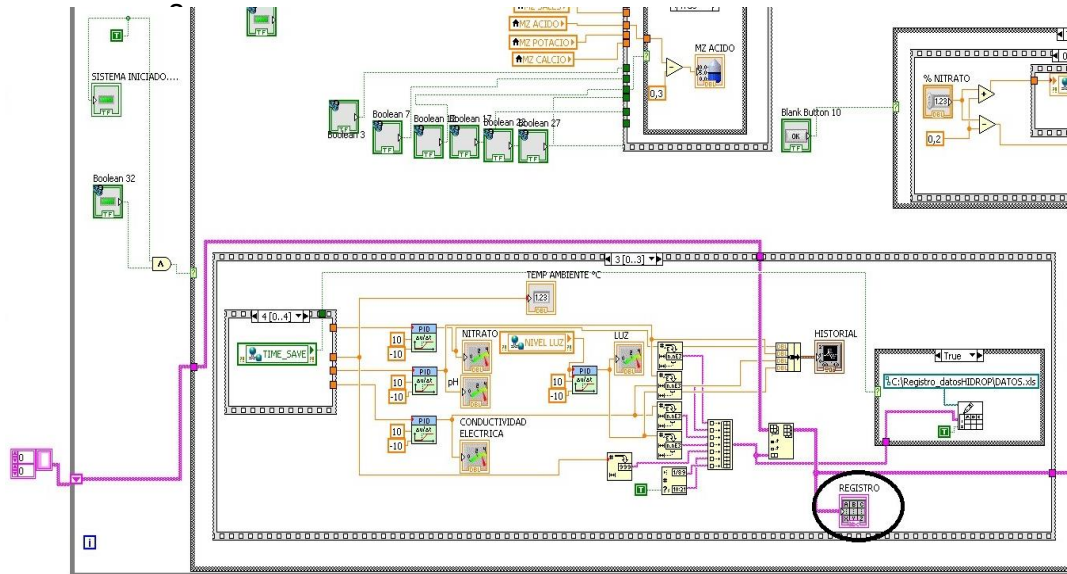
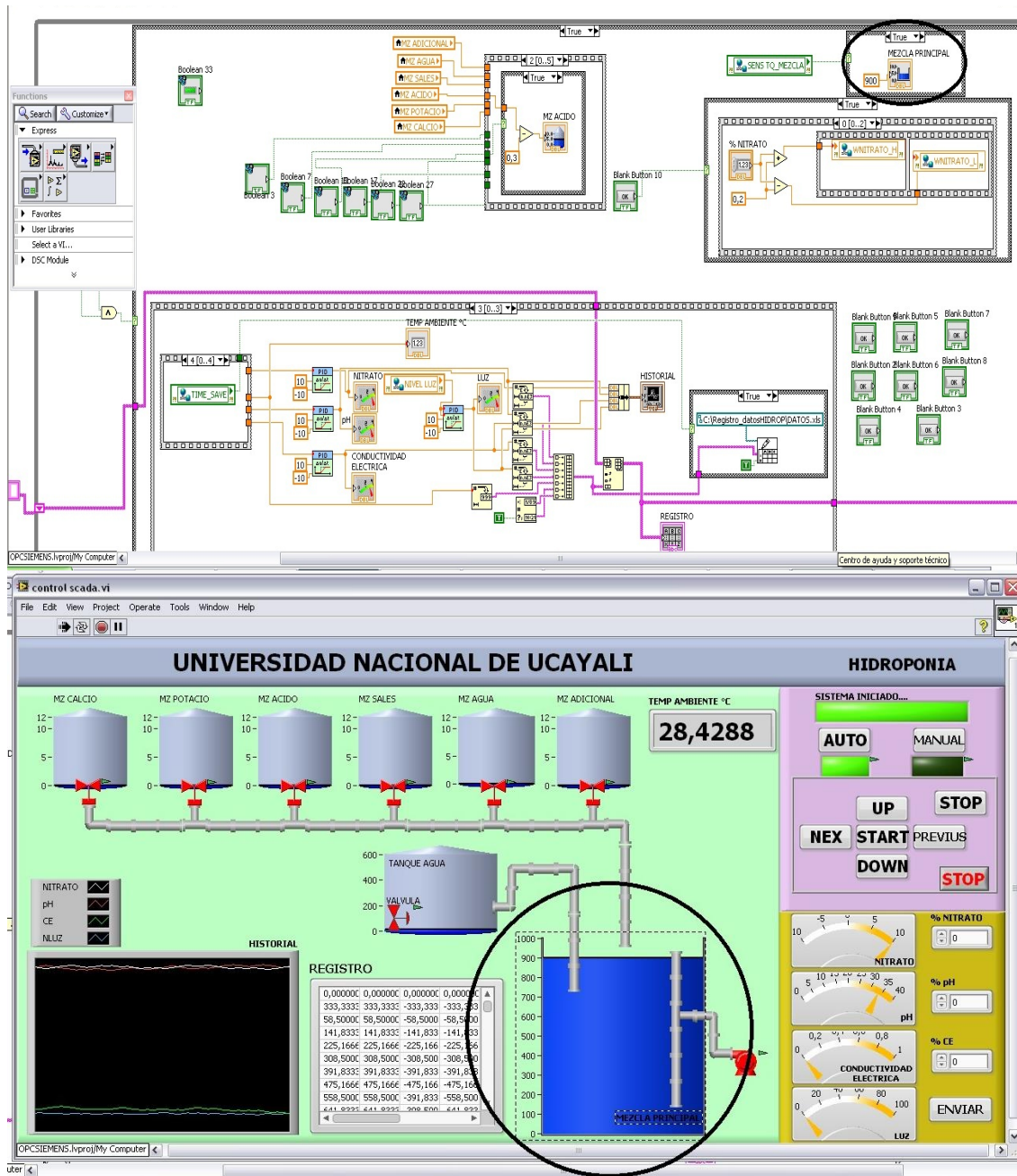


Ilustración 250: Registro en el diagrama de bloques y en la interfaz gráfica.

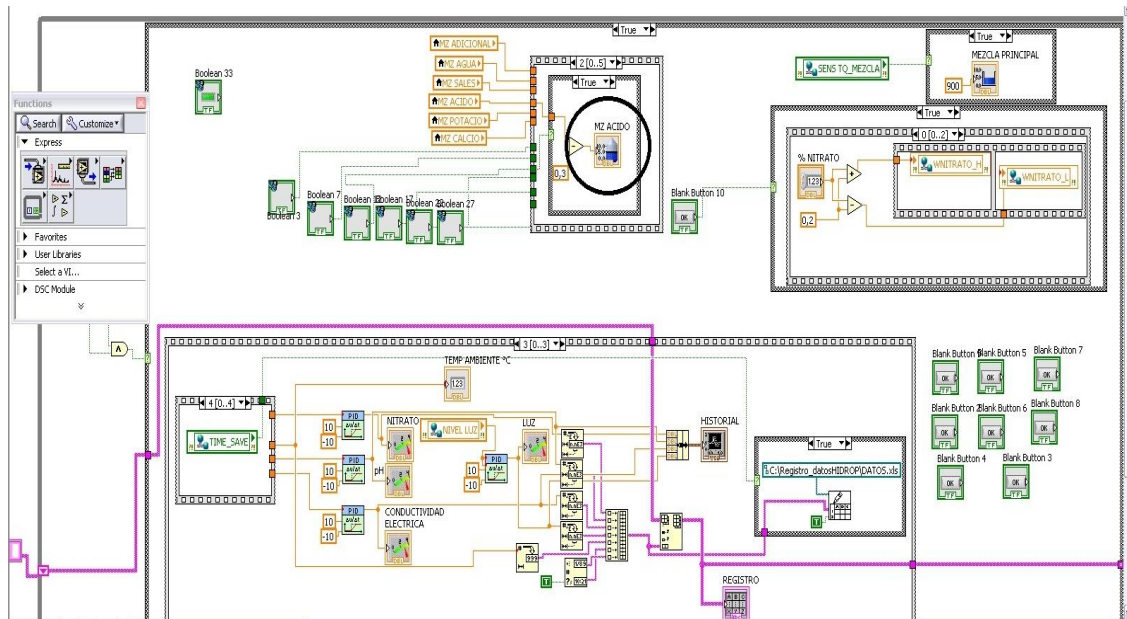
u



**Ilustración 251:** Mezcla en el tanque principal en el diagrama de bloques y en la interfaz.



**Ilustración 252:** Mezcla del ácido para regular el pH en el diagrama de bloques y en la interfaz.



### UNIVERSIDAD NACIONAL DE UCAYALI

### HIDROPONIA

**MZ CALCIO**    **MZ POTACIO**    **MZ ACIDO**    **MZ SALES**    **MZ AGUA**    **MZ ADICIONAL**

**TANQUE AGUA**  
VALVULA

**MEZCLA PRINCIPAL**

**TEMP AMBIENTE °C**  
**28,6097**

**NITRATO**    **pH**    **CE**    **NLUZ**

**HISTORIAL**

**REGISTRO**

0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
333,3333	333,3333	-333,333	-333,333
58,50000	58,50000	-58,5000	-58,5000
141,8333	141,8333	-141,833	-141,833
225,1666	225,1666	-225,166	-225,166
308,5000	308,5000	-308,500	-308,500
391,8333	391,8333	-391,833	-391,833
475,1666	475,1666	-475,166	-475,166
558,5000	558,5000	-558,500	-558,500
641,8333	641,8333	-641,833	-641,833

**SISTEMA INICIADO...**

**AUTO**    **MANUAL**

**UP**    **STOP**

**NEX**    **START**    **PREVIOUS**

**DOWN**    **STOP**

**% NITRATO**  
0

**NITRATO**  
0 5 10 15 20 25 30 35 40

**% pH**  
0 5 10 15 20 25 30 35 40

**pH**  
0,2 0,4 0,6 0,8 1

**% CE**  
0

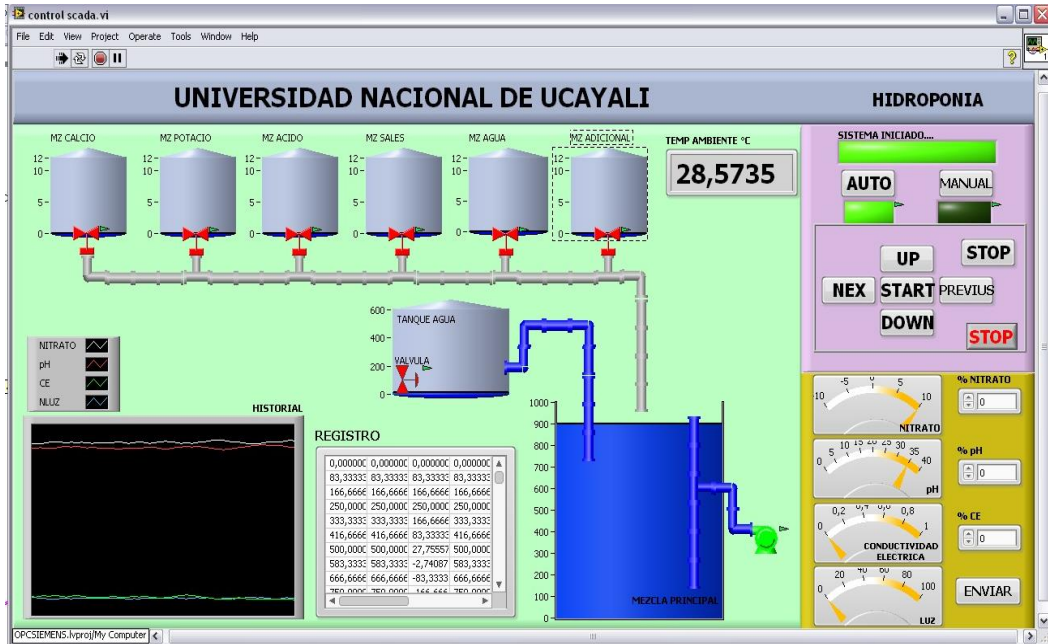
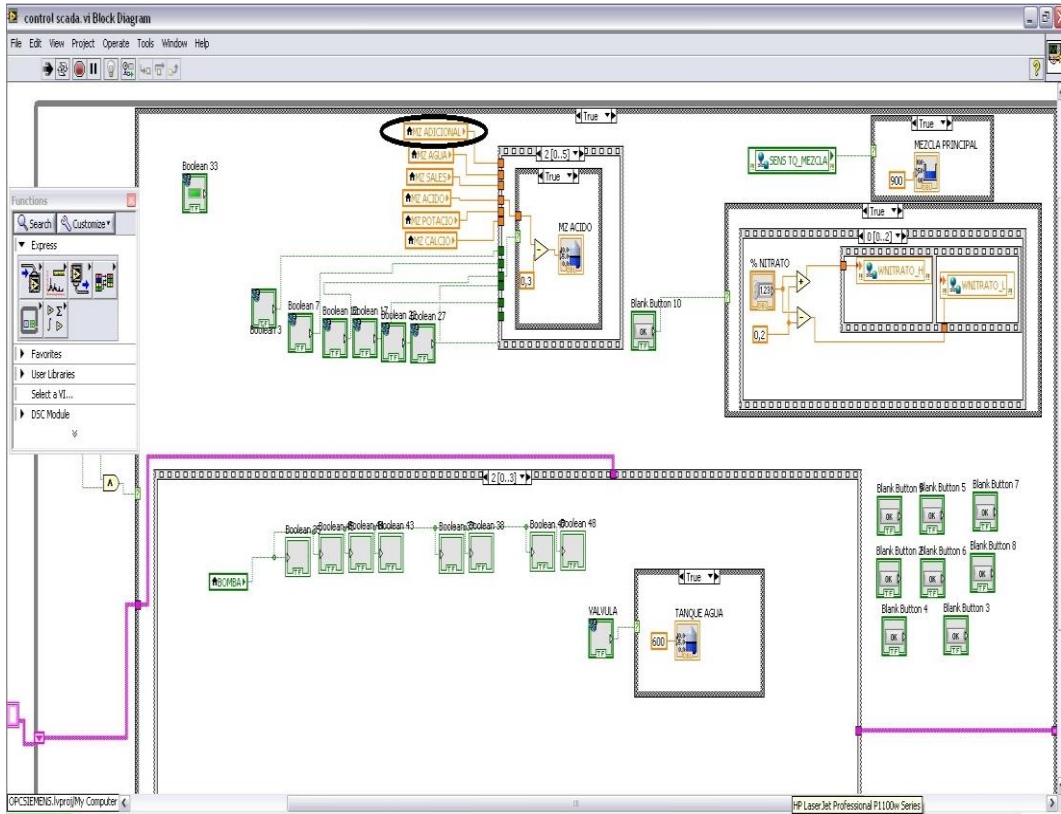
**CONDUCTIVIDAD ELECTRICA**  
0 20 40 60 80 100

**LUZ**

**ENVIAR**



**Ilustración 253:** Mezcla Adicional en el diagrama de bloques y en la interfaz.



**Ilustración 254:** Todos los tanques conteniendo solución stock para regular el contenido de nitrógeno, pH y Conductividad eléctrica en el diagrama de bloques y en la interfaz.

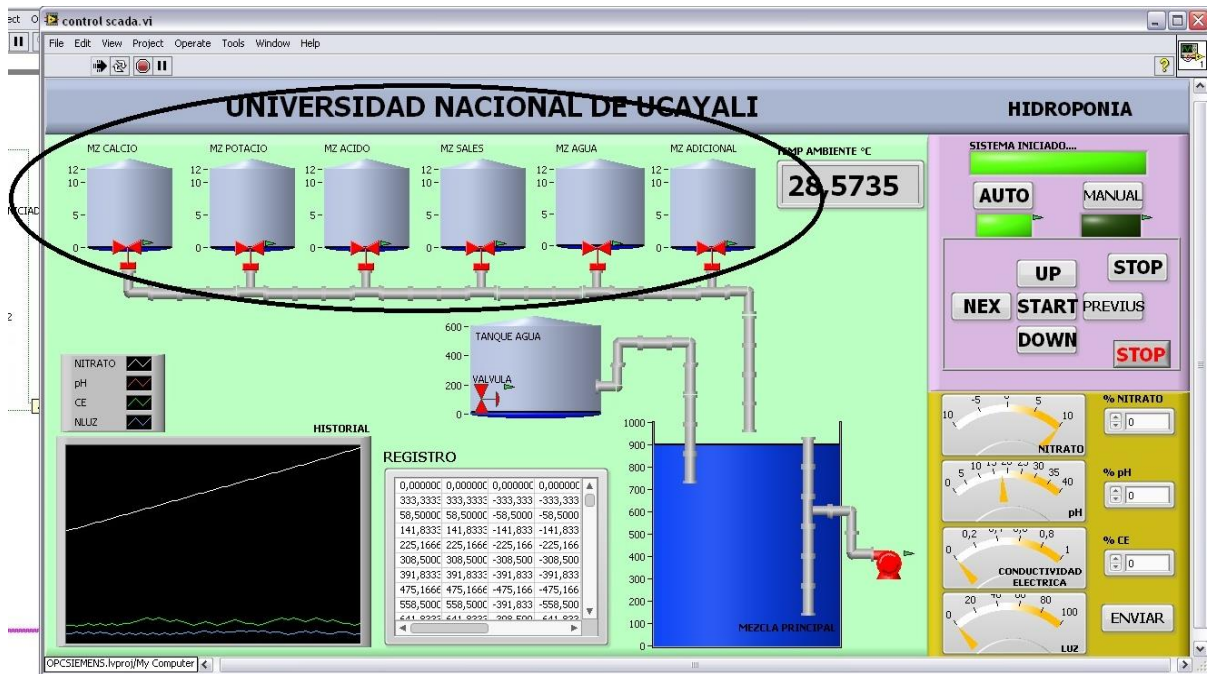
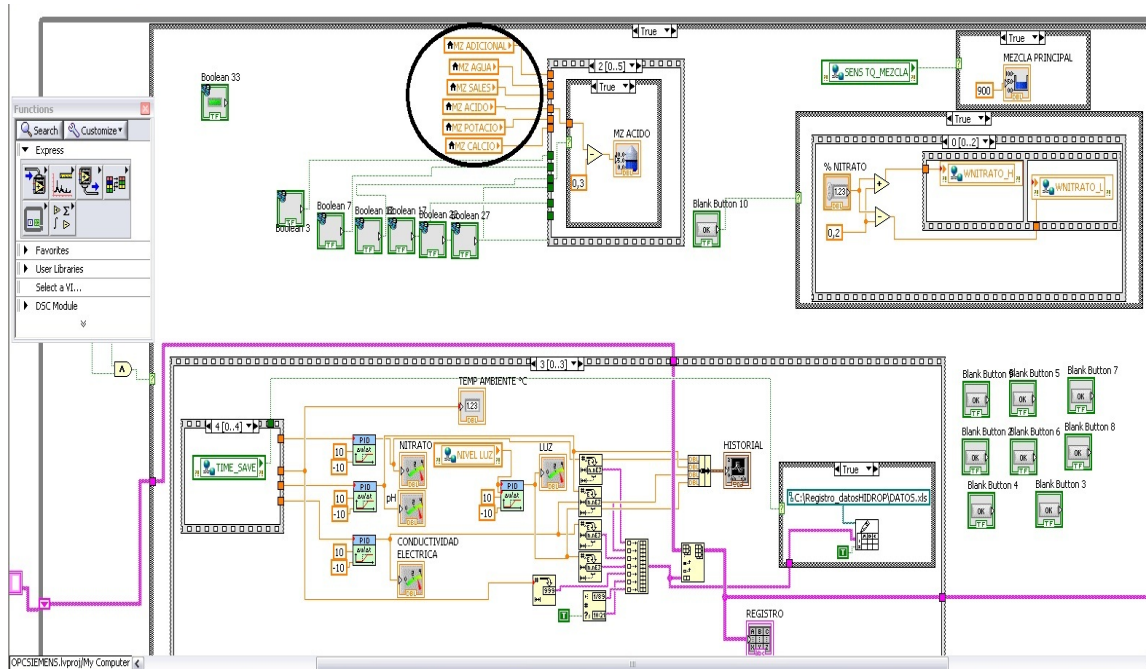
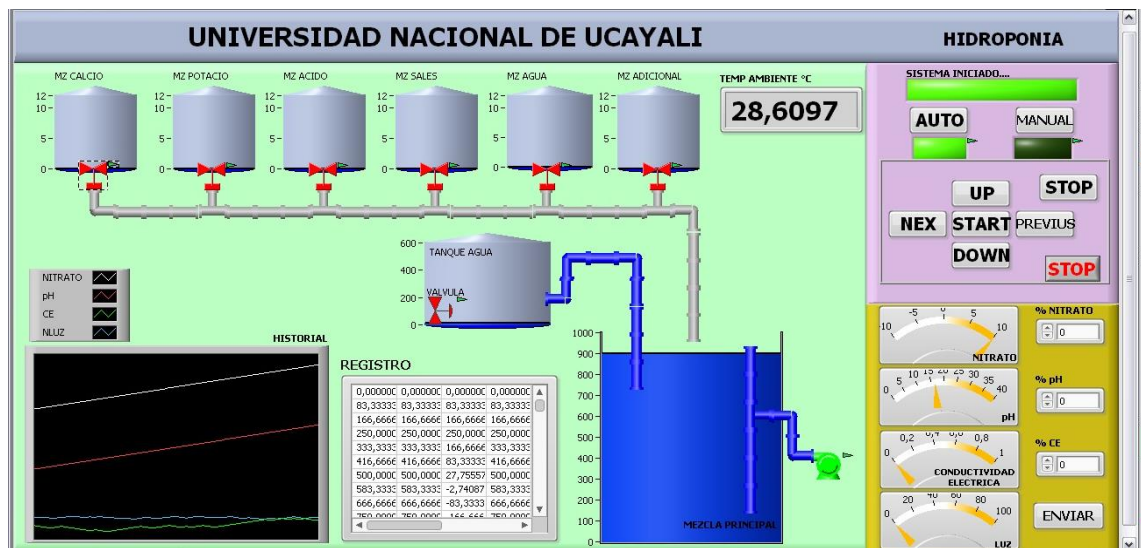
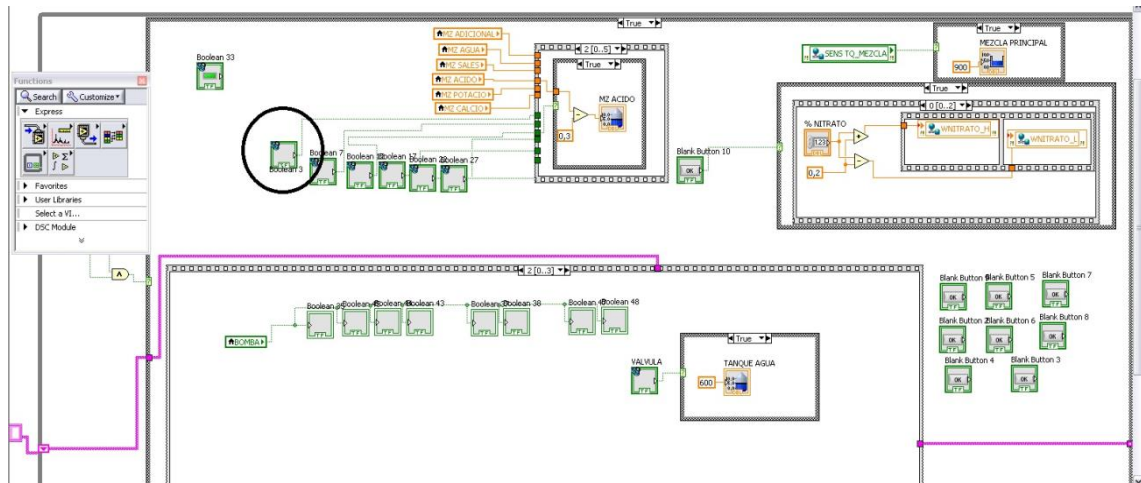
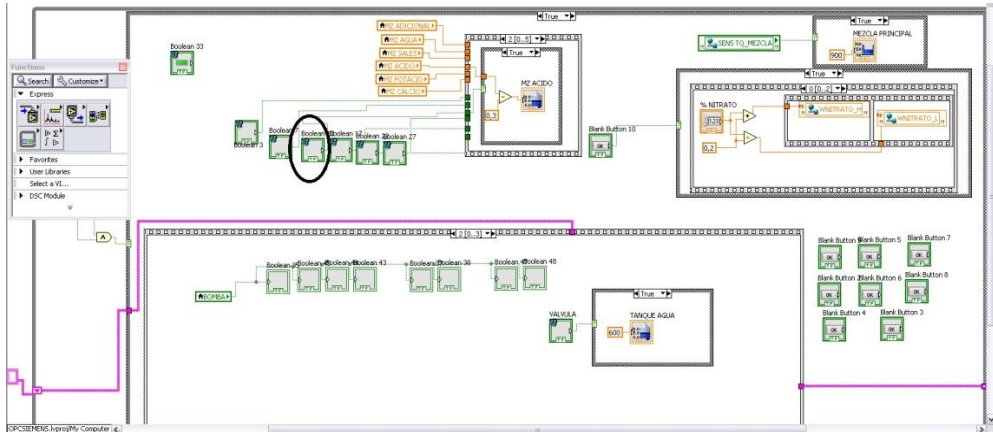


Ilustración 255: Válvula que mezcla calcio en el diagrama de bloques y en la interfaz.

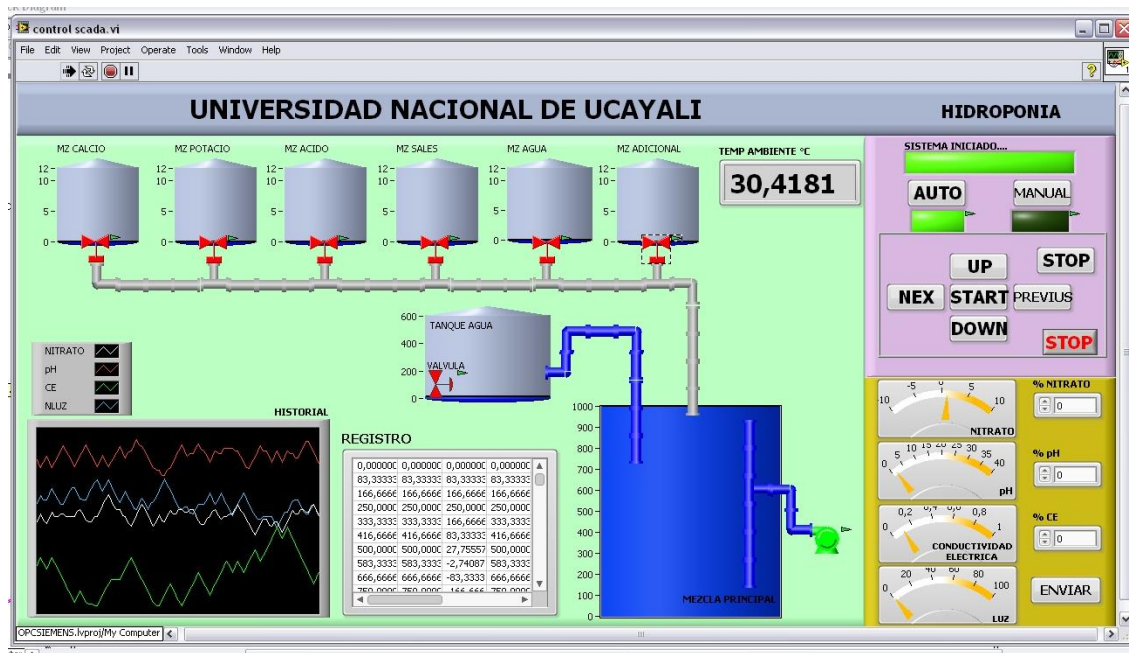
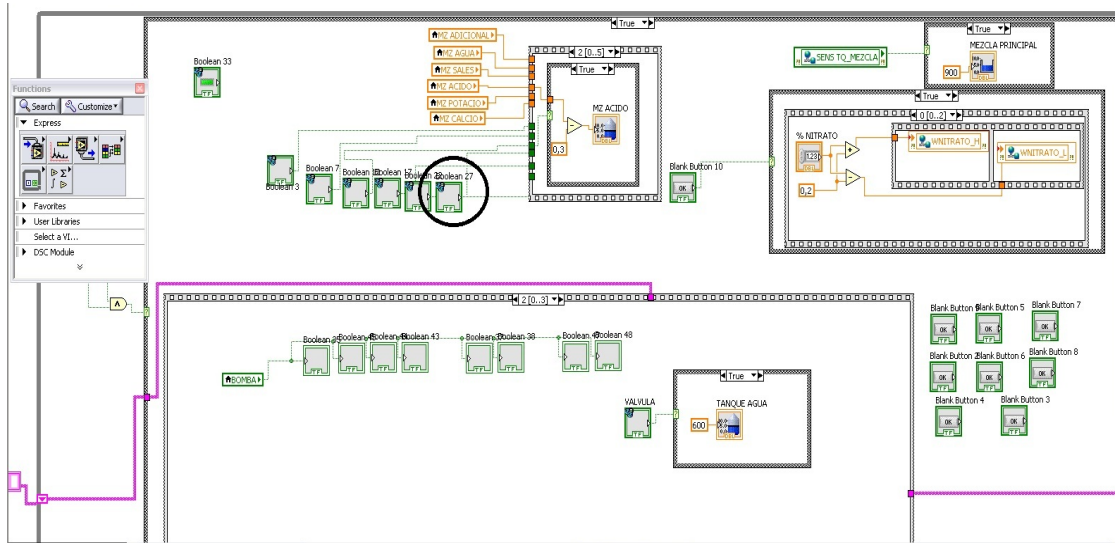


**Ilustración 256:** Válvula que mezcla ácido diagrama de bloques y en el interfaz

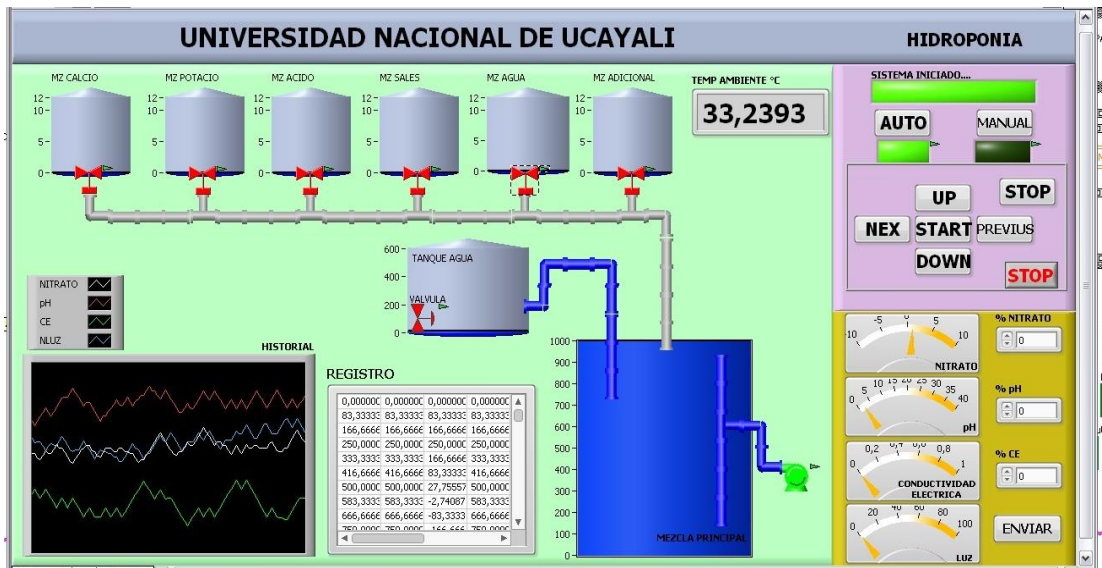
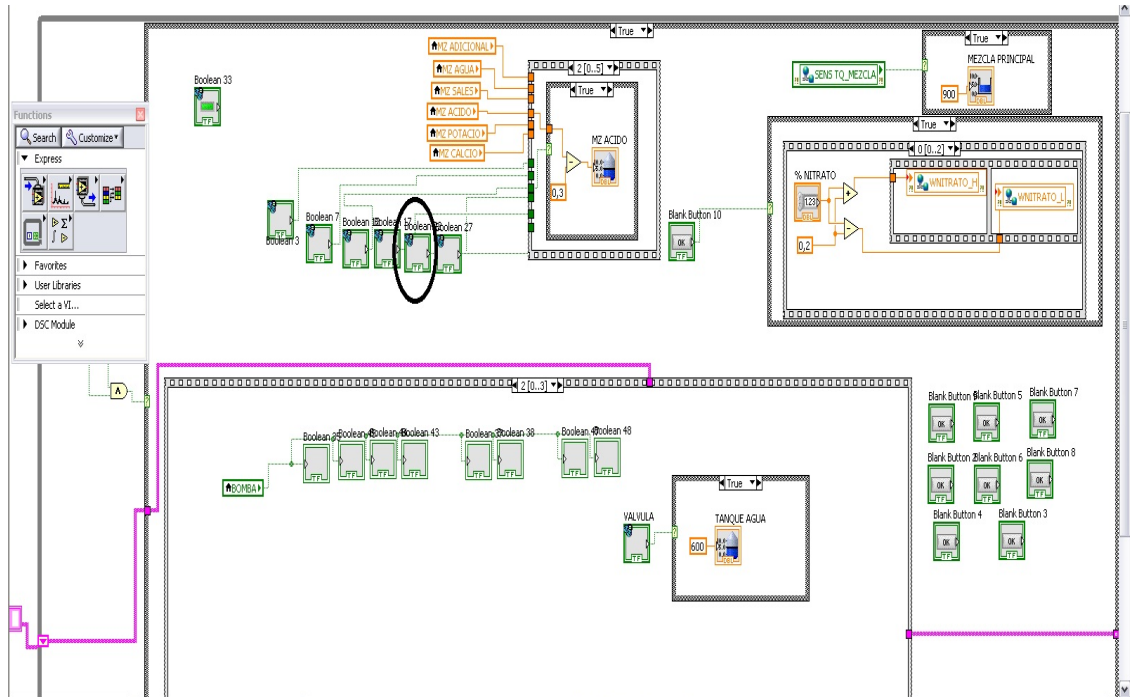


0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
83,3333	83,3333	83,3333	83,3333
166,6666	166,6666	166,6666	166,6666
250,0000	250,0000	250,0000	250,0000
333,3333	333,3333	166,6666	333,3333
416,6666	416,6666	83,3333	416,6666
500,0000	500,0000	27,9557	500,0000
583,3333	583,3333	-2,74087	583,3333
666,6666	666,6666	-83,3333	666,6666
750,0000	750,0000	-144,4444	750,0000

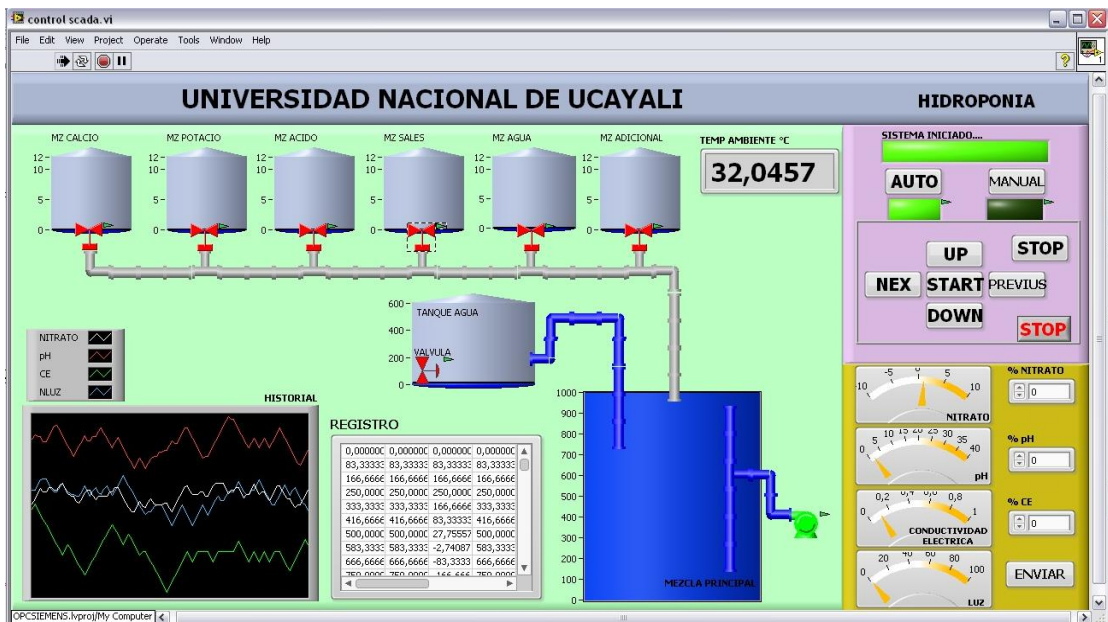
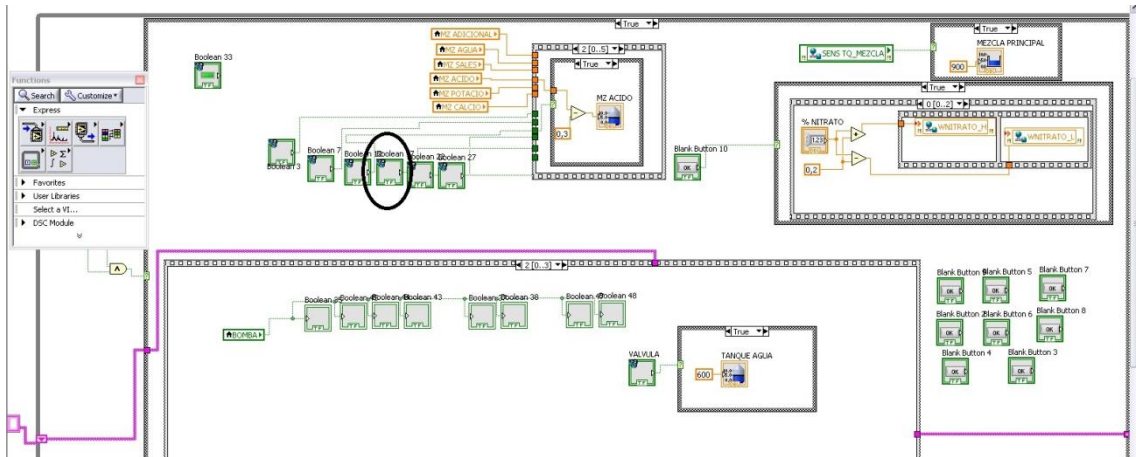
**Ilustración 257:** Válvula de mezcla adicional en el diagrama de bloques y en la interfaz



**Ilustración 258:** Válvula de mezcla agua en el diagrama de bloques y en la interfaz.

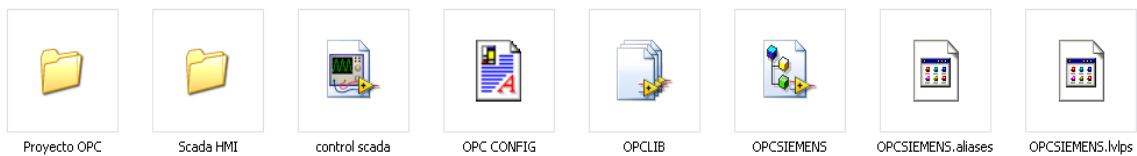


**Ilustración 259:** Válvula de mezcla sales block diagrama o diagrama de bloques y en la interfaz.



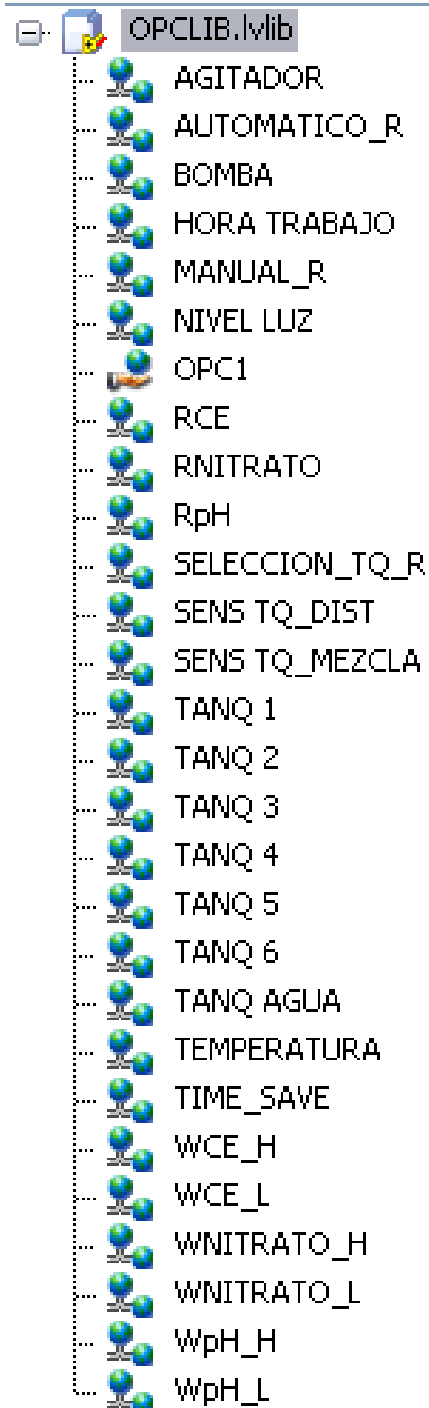
**3.21.10. Archivos del proyecto**

**Ilustración 260:** Archivos del proyecto



### 3.21.11. OPCLIB.lvlib

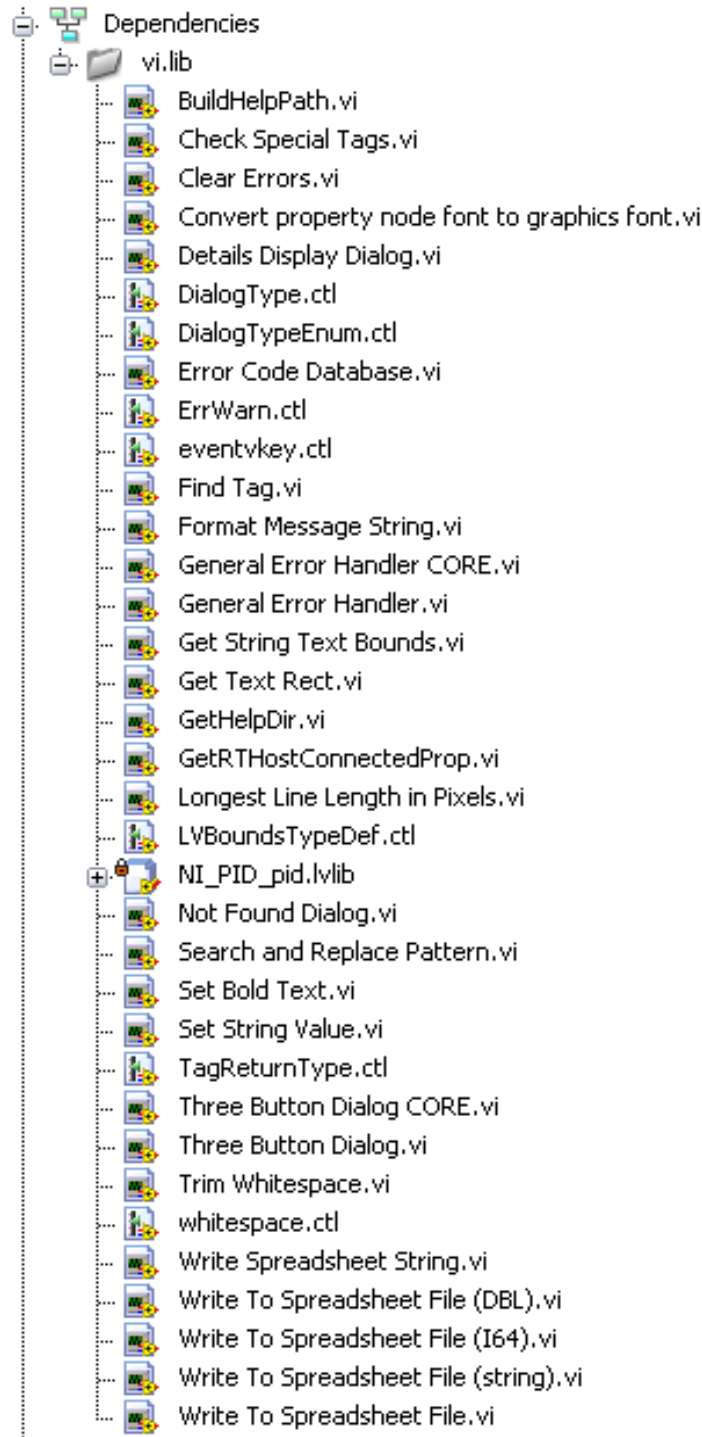
Ilustración 261: Librerías OPCLIB creadas





### 3.21.12. Librerías utilizadas

**Ilustración 262:** vi.lib utilizadas



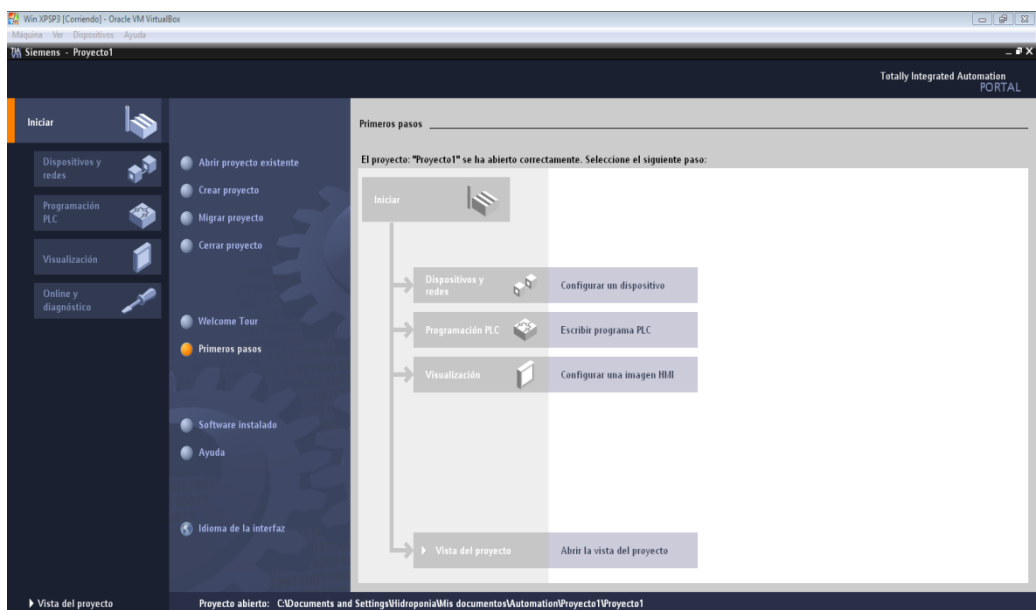
### 3.21.13. Entramos en el TIA Portal versión 11

**Ilustración 263:** TIA Portal versión 11



Luego podemos abrir, crear, migrar un proyecto, entonces le damos abrir el un proyecto.

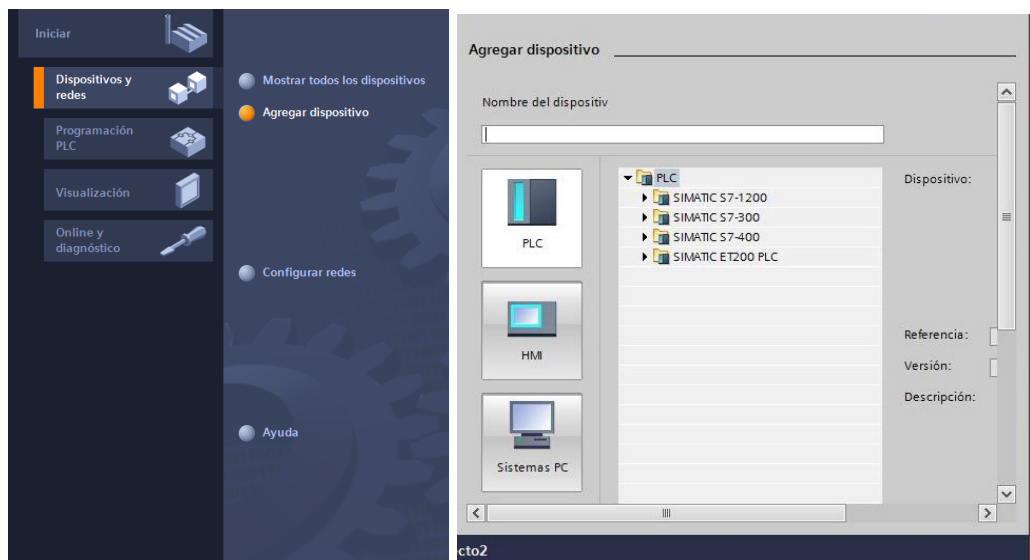
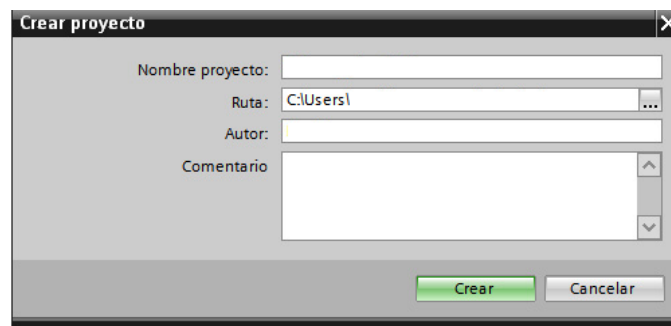
**Ilustración 264:** Interfaz del TIA Portal V11



Dentro del Programa del TIA Portal V11 para crear un proyecto la misma interfaz te da las opciones, los pasos a seguir para hacerlo o abrir

un proyecto ya existente. Al darle la opción crear proyecto, este se guardará de forma ordenada los datos y el programa donde estarán las órdenes de tarea de automatización. Lo primero que se tiene que hacer es insertar un controlador nuevo en el proyecto y configurar sus propiedades, dicho controlador debe coincidir con el hardware que se disponga en este caso la CPU 1214C es nuestro controlador, ello sera encontrado en la opción “Dispositivos y redes → Agregar dispositivo”.

**Ilustración 265:** Crear proyecto, darle nombre, ubicación, autor y propiedades



Fuente: (Infopl, 2014) (Tecno plc, 2015)

Es necesario identificar el hardware a utilizar (indicar los equipos instalados como el modelo de plc instalado, los módulos e/s, los módulos de comunicaciones, ya sea instalando manualmente o con la función "Detección de hardware", el software también brinda esta opción de autodetectar en el menú Online, donde STEP Basic cargará la configuración hardware de la CPU del PLC, incluyendo todos los módulos (SM, SB, CM), es solo seleccionar y después es cuestión de configurar los parámetros de la CPU y de sus módulos. De otro modo es utilizar el catálogo de hardware para especificar la CPU.

Para programar el plc se hace uso de diagramas ya sea en kop o FUP (bloque de funciones) o AWLs (este último no está disponible) depende de cuáles son los bloques a utilizar y los datos. Y esta programación puede ser lineal o estructurada.

También pueden crear bloques:

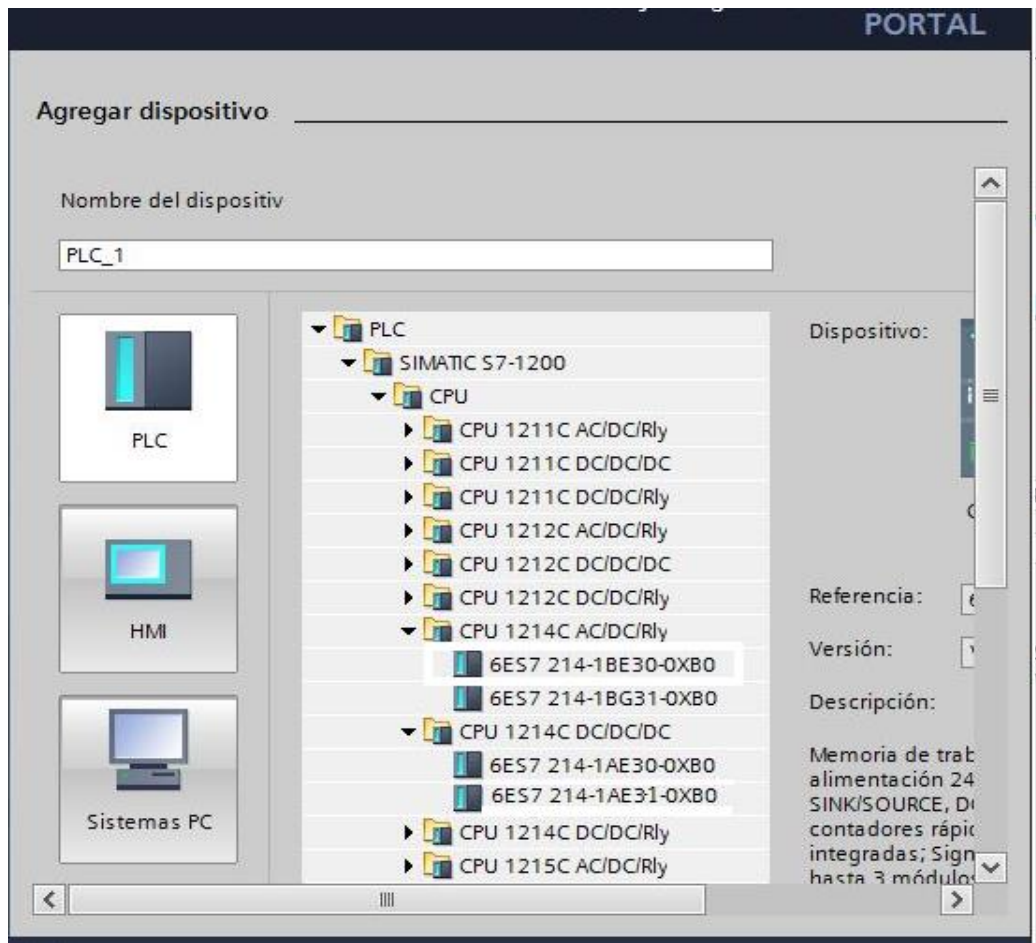
OB1 – Main (cíclico)

OBs – Activados por S.O., Arranque, y disparan Cíclicamente

FCs – Function Calls – Subrutinas S7 200, llamadas por el OB1 o por otras subrutinas. – Zona de datos compartida con las zonas de programa.

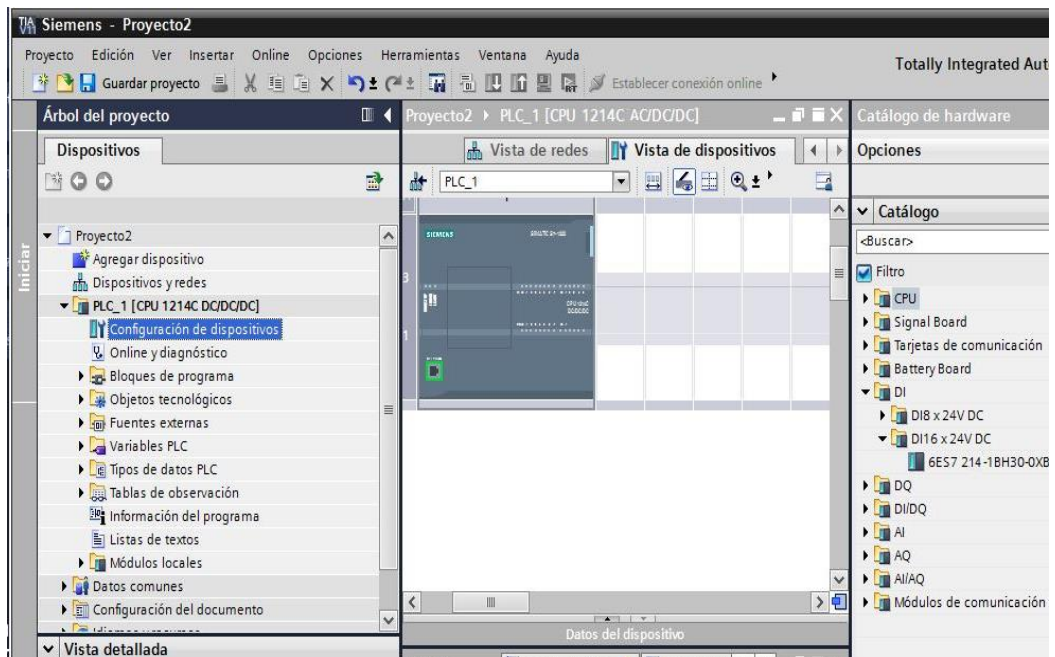
·FBs – Function Blocks – prog. Estructurada.

**Ilustración 266:** Se selecciona el dispositivo controlador



Luego se hace clic en agregar, luego se puede editar las configuraciones con el “Editor de dispositivos y redes”, así se puede configurar y parametrizar el dispositivo, interconectar con otros dispositivos, visualizar la información sobre las direcciones, la función zoom permite modificar la representación en el área gráfica, inter-conectar a través de sus interfaces, navegar, acceder a los objetos, ver de manera general los dispositivos, conexiones y comunicaciones, inspeccionar, ver las propiedades y editar los ajustes de los objetos seleccionados, adicionar diversos componentes según las necesidades y requerimientos desde el catálogo de hardware hasta el área de visualización, configurar y parametrizar módulos.

### Ilustración 267: Estructura de la vista de configuración de dispositivos



#### 3.21.14. Proceso de desarrollo para la aplicación de software

##### Configuración de la CPU

Para configurar los parámetros operativos de la CPU del PLC se selecciona el recuadro azul alrededor de la CPU y se utiliza la ficha “Propiedades” de la ventana de inspección.

Según Siemens (2009) dentro de propiedades se encuentra:

- Interfaz PROFINET: permite la configuración de la dirección IP de la CPU del PLC y su sincronización horaria. Observe que la CPU no tiene un dirección IP pre-configurada, esta se debe asignar manualmente durante la configuración de dispositivos, si la CPU está conectada a un router de la red, también es preciso introducir la dirección IP del router.

- DI, DO y AI que permite configurar la reacción de las E/S locales integradas digitales y analógicas.
- Los contadores rápidos y generadores de impulsos, para habilitarlos y configurarlos (HSC) y a los generadores de impulsos utilizados para las operaciones de tren de impulsos (PTO) y modulación de ancho de pulso (PWM).
- Arranque, esta opción permite la configuración de la reacción de la CPU del PLC a una transición de OFF a ON por ejemplo el arranque en estado operativo STOP o la transición a RUN tras un arranque en caliente.
- Hora, permite la configuración y ajuste de la hora, zona horaria, horario de invierno o verano.
- Protección, permite ajustar la protección de lectura/escritura y acceso a la CPU del PLC a través de una contraseña.
- Marcas de sistema y de ciclo: Permite habilitar un byte para "marcas de sistema" para los bits "Primer ciclo", "Siempre 1 (high)", "Siempre 0 (low)" y un byte para "marcas de ciclo" (cada bit se activa y desactiva con una frecuencia predefinida).
- Tiempo de ciclo: va a permitir definir el tiempo de ciclo máximo o un tiempo de ciclo mínimo fijo.
- Carga de comunicación: permite asignar el porcentaje del tiempo de la CPU que debe dedicarse a las tareas de comunicación.

## **Agregando módulos a la configuración**

Luego se puede seleccionar los módulos de señales (SM), los signal boards (SB) o los módulos de comunicación (CM).

Según Siemens (2009):

Los módulos de señales (SM) proveen E/S (entradas y salidas) digitales y analógicas. Estos módulos se conectan a la derecha de la CPU.

Los Signal Boards (SB) proveen unas pocas E/S adicionales a la CPU. La SB se inserta en el frente de la CPU, no se utilizó en este proyecto.

Los módulos de comunicación (CM) proveen un puerto de comunicación adicional (RS232 o RS485) a la CPU. Estos módulos se conectan a la izquierda de la CPU, (no se utilizó en este proyecto).

Para insertar un módulo en la configuración de hardware, se selecciona en el catálogo de hardware, haciendo doble clic en él o arrastrándolo hasta el slot resaltado.

## **Configuración de modo de arranque**

Según Siemens (2011):

Normalmente, por motivos de seguridad, en la configuración del equipo se tiene ajustado el modo de arranque "Arranque en caliente – Modo de servicio antes de desconectar la alimentación". De esta forma se evita que durante la fase de puesta en servicio la CPU, al volver la tensión de



alimentación, cambie involuntariamente al modo RUN, con ello se activen las salidas y por tanto se arranquen las máquinas conectadas a ellas.

Con este ajuste, si tiene que cambiar la CPU del estado STOP pasa a RUN, necesita disponer de una PG con STEP 7 V10.5 o STEP 7 V11, o bien la herramienta "S7-1200 Tool" (consulte la página del Customer Support con número ID 41737437). En cuanto la CPU cambie al estado de STOP, por ejemplo al conectar una tarjeta SD, al fallar un módulo de ampliación, o por cualquier otro motivo, para el cambio de la CPU al modo RUN, necesita un programa software. Solución: Se recomienda ajustar el modo de arranque "**Arranque en caliente – RUN**". En este caso, **la CPU cambia automáticamente al modo RUN al volver la tensión de alimentación**. De esta forma ya no es necesario que el cliente o el personal de servicio disponga de ningún programa para pasar la CPU de nuevo al modo RUN.

**Tabla 49:** Modos de arranque de la CPU S7-1200

<b>Modo de arranque</b>	<b>Comportamiento de la CPU</b>
<b>Sin arrancar</b>	La CPU permanece en STOP
<b>Arranque en caliente - RUN</b>	La CPU pasa al modo RUN al volver la tensión de alimentación
<b>Arranque en caliente – Modo de servicio antes de desconectar la tensión</b>	La CPU pasa al mismo modo de servicio que tenía antes de desconectar la alimentación.

Fuente: (Siemens, 2011)

Según Siemens (2011): A partir del STEP 7 V11 y del Firmware V2.0, existe la posibilidad de cambiar los modos de servicio desde el servidor Web, si éste está activado. Para ello proceda de la siguiente manera: Abra el buscador de Internet y arranque el servidor Web. Regístrese como "Administrador (Admin)". Seleccione la "página de inicio". Pulse en los botones "Go to RUN (Ir a RUN)" y "Go to STOP (Ir a STOP)" para cambiar el modo de servicio. Esta opción no se ha utilizado para este proyecto.

### **Edición de dispositivos y redes**

Para configurar, parametrizar y conectar dispositivos y módulos en red, puede utilizar un vista de red o una vista de dispositivos en el TIA Portal, incluso es posible conmutar entre ambos editores.

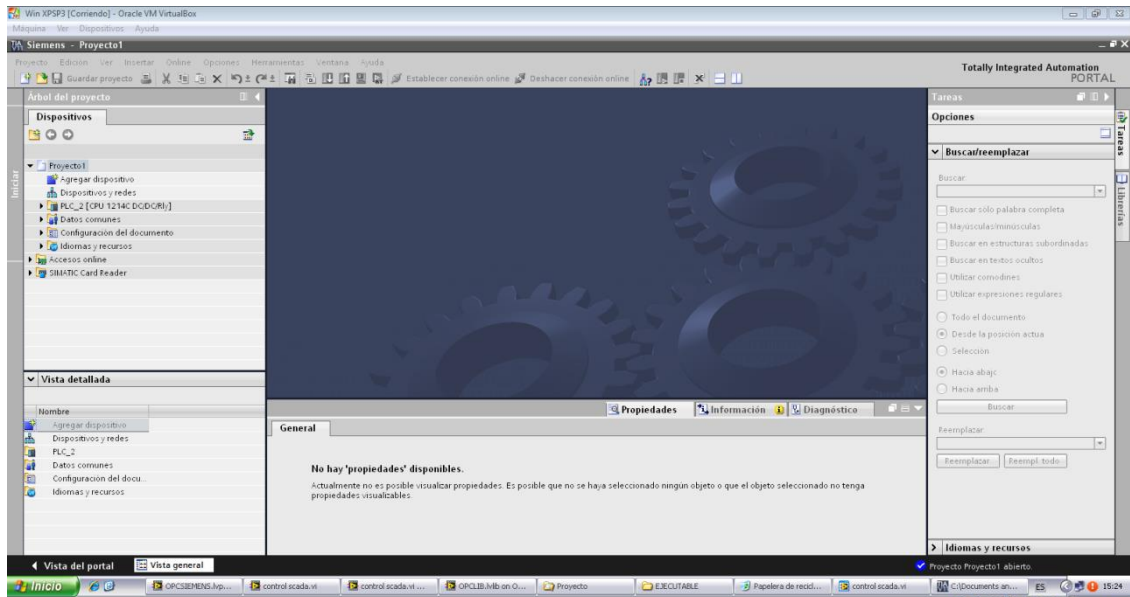
La vista de redes se puede configurar, parametrizar e interconectar dispositivos.

En el área de visualización se podrá ver los dispositivos de red, las redes, conexiones y relaciones, el catálogo de hardware y su interconexión a través de sus interfaces.

Se puede ajustar o editar las propiedades de los objetos seleccionados, se puede seleccionar la interfaz PROFINET, introducir la dirección IP del controlador en la opción de "Direcciones Ethernet".

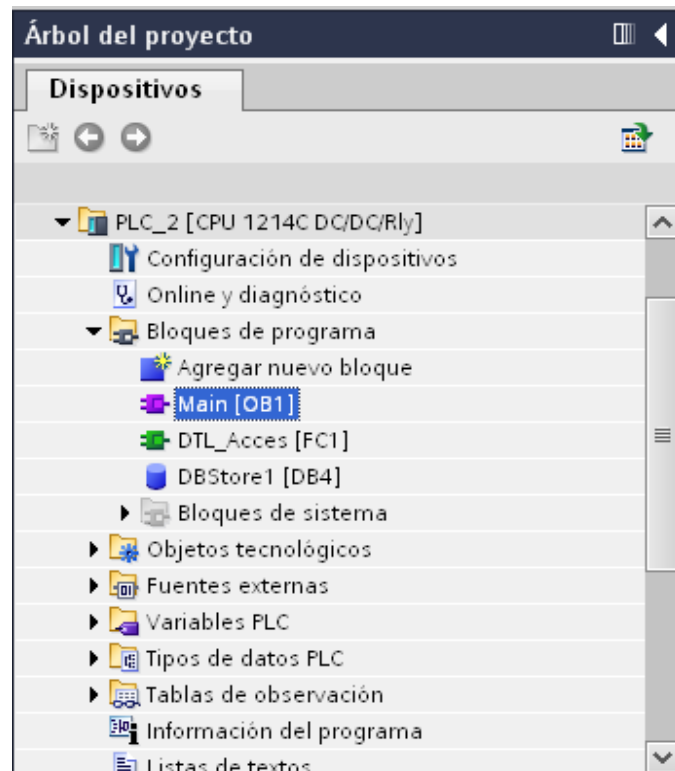
Y nos permite también "Guardar el proyecto".

## Ilustración 268: El proyecto creado



Nos vamos al arbol de proyecto y seleccionamos “Main OB1” para ver la programación.

## Ilustración 269: Árbol del proyecto



Junto con el controlador se crea automáticamente el bloque de organización "Main [OB1]". En dicho bloque de organización se ha creado el programa de usuario.

Los bloques de organización constituyen la interfaz entre el sistema operativo del controlador y el programa usuario, estos bloques son llamados por el sistema operativo y controlan varios procesos: comportamiento de arranque del sistema automatizado, ejecución cíclica del programa, ejecución del programa, tratamiento de errores.

El programa de usuario puede estar conformado por uno o varios bloques, mínimo es usa un bloque de organización, los bloques contienen todas las funciones necesarias para ejecutar la tarea de automatización, alguna de ellas es el tratamiento de datos de proceso, la combinación lógica de señales binarias, lectura y evaluación de valores analógicos, definición de señales binarias para la salida, salida de valores analógicos, reacción, diagnóstico al rebasar por defecto el rango de medición de un módulo de ampliación analógico. El tratamiento de anomalías durante la ejecución normal del programa.

A continuación nos muestra la función del bloque de organización, el entorno de trabajo del TIA Portal nos permite ingresar comentarios y títulos a cada segmento de programación, cada segmento a añadir depende del programador y para tener un orden cada segmento debe estar asociado una tarea de automatización.

Un bloque de organización se divide en segmentos, dichos segmentos se utilizan para estructurar programas. Cada bloque puede contener

novecientos noventa y nueve segmentos como máximo, en el bloque de organización "Main [OB1]" se crea un segmento automáticamente.

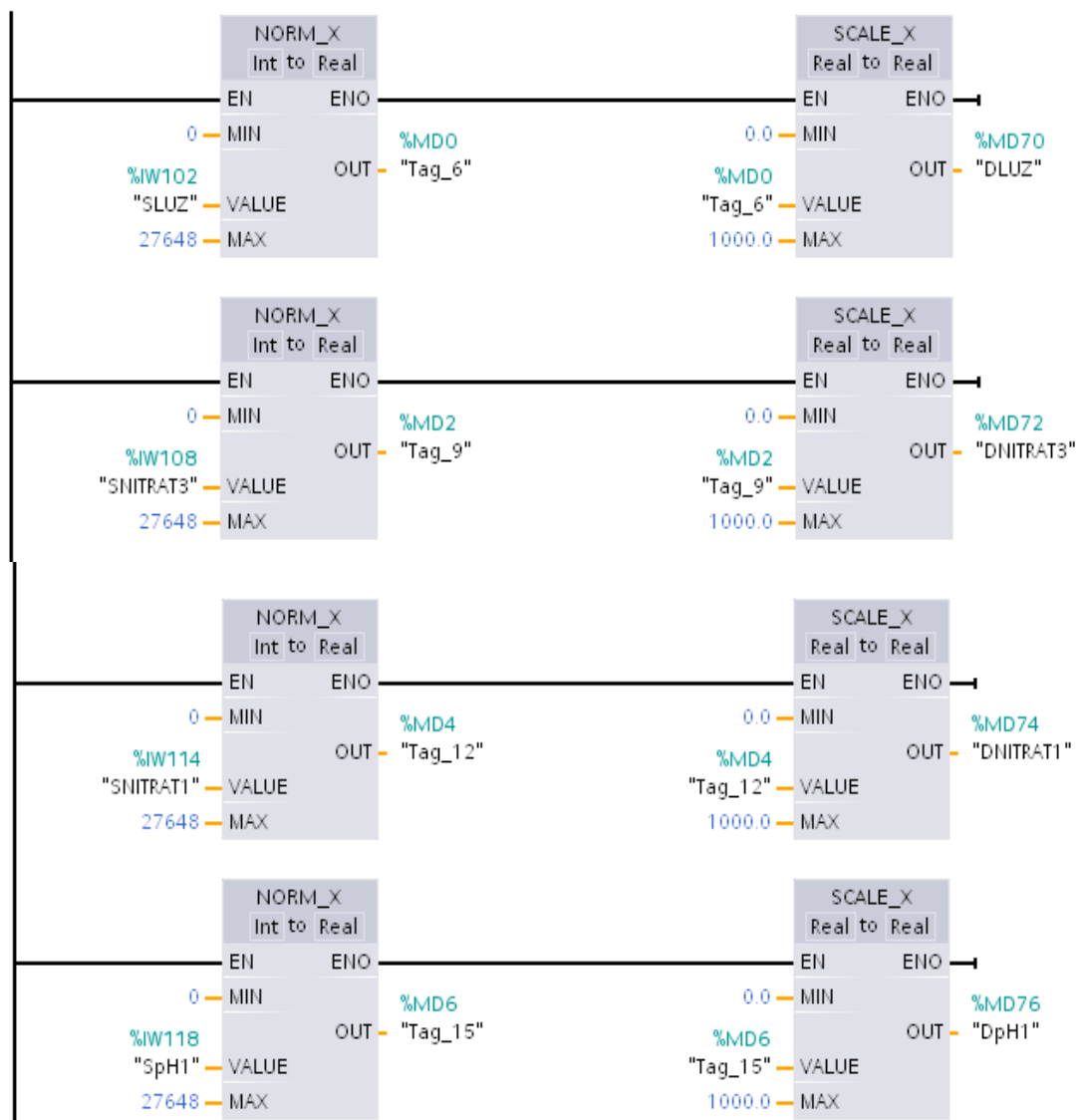
El programa de un bloque de organización puede crearse con diferentes lenguajes de programación en este caso se ha utilizado el lenguaje de programación KOP que imita los esquemas de circuitos, cada bloque está dividido en segmentos que a su vez están formados por una barra de alimentación y un circuito como mínimo

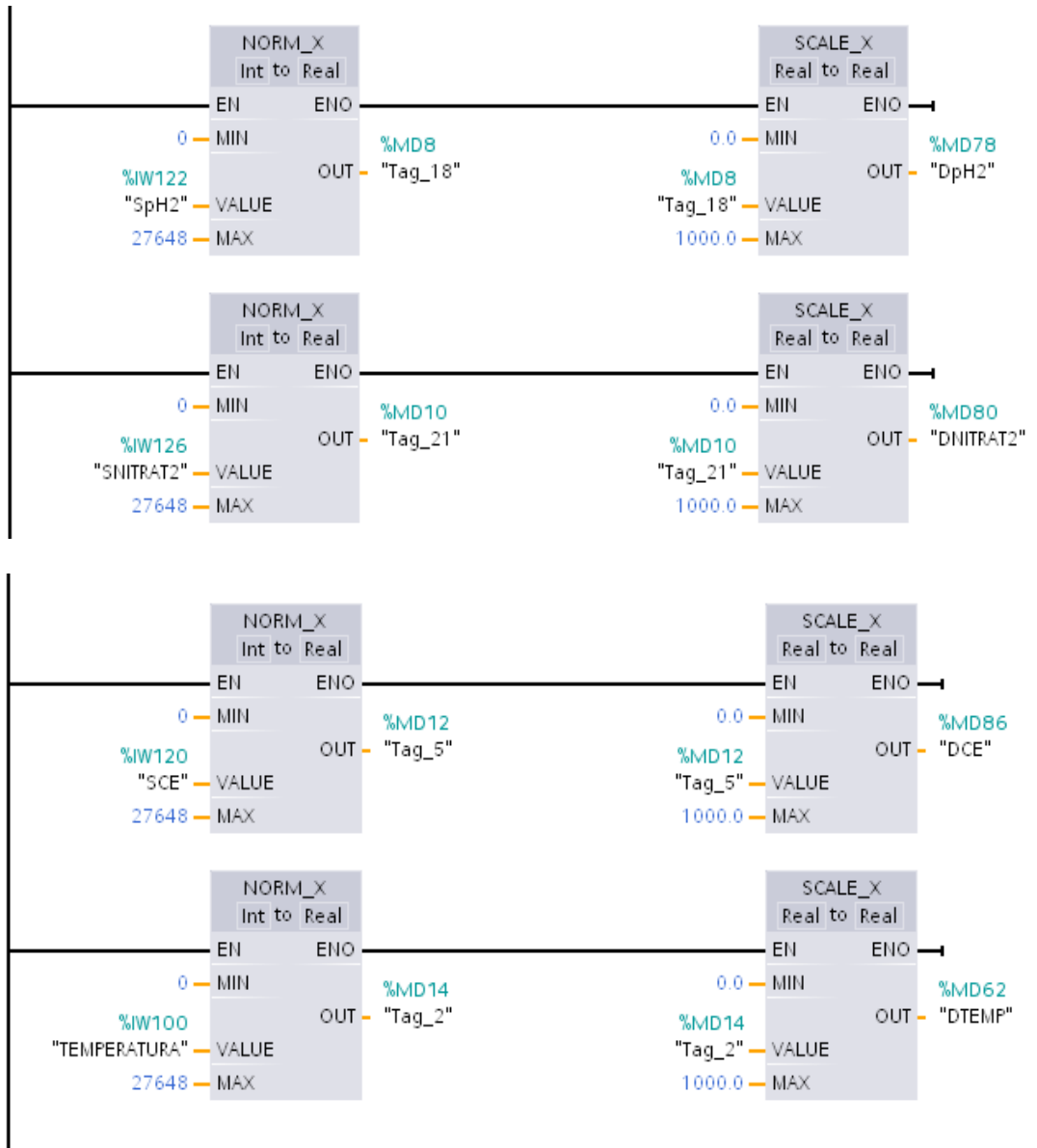
Un segmento puede ampliarse insertando circuitos adicionales, es posible programar conexiones en paralelo con ayuda de ramas. Los circuitos y segmentos se procesan de arriba abajo y de izquierda a derecha.

Primer segmento: En el primer segmento del proyecto, se tiene una rutina dedicada a la adquisición de datos analógicos que son del pH, nitrógeno, CE, temperatura, nivel de luz.

- **Primer segmento rutina dedicada a la adquisición de datos analógicos que son del pH, nitrógeno, CE, Temperatura, nivel de Luz**

**Ilustración 270:** Primer segmento rutina dedicada a la adquisición de datos analógicos de los sensores que son del N, pH, CE, Temperatura, nivel de Luz.





**Ilustración 271:** Lista de variables utilizadas en el primer segmento

▼ "SLUZ"	%IW102	
"Tag_6"	%MD0	
"DLUZ"	%MD70	
"SNITRAT3"	%IW108	
"Tag_9"	%MD2	
"DNITRAT3"	%MD72	
"SNITRAT1"	%IW114	
"Tag_12"	%MD4	
"DNITRAT1"	%MD74	
"SpH1"	%IW118	
"Tag_15"	%MD6	
"DpH1"	%MD76	
"SpH2"	%IW122	
"Tag_18"	%MD8	
"DpH2"	%MD78	
"SNITRAT2"	%IW126	
"Tag_21"	%MD10	
"DNITRAT2"	%MD80	
"Tag_5"	%MD12	
"SCE"	%IW120	
"DCE"	%MD86	
"TEMPERATURA"	%IW100	
"DTEMP"	%MD62	
"Tag_2"	%MD14	

La variable nitrato en realidad es la del nitrógeno. Se le ha puesto nitrato porque como el nitrógeno es un elemento bio-génico que se encuentra incorporado en las moléculas orgánicas, este desempeña un papel importante como indicador de requerimiento de nutrientes.

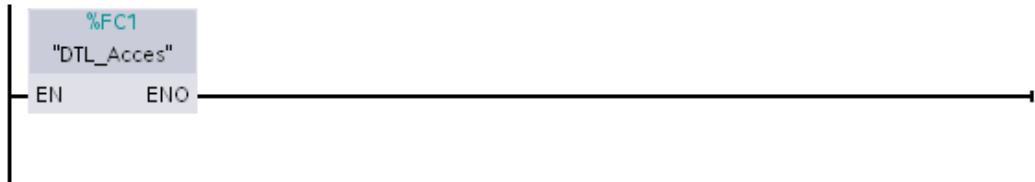
Hay que recordar, según (Massol-Deyá & Fuentes, 2002) El nitrógeno es un elemento constituyente básico de aminoácidos, ácidos nucleicos azúcares aminadas y los polímeros que las moléculas forman.

Segundo segmento: En el segmento 2, se tiene la rutina dedicada a la lectura de la hora y de la fecha del sistema.



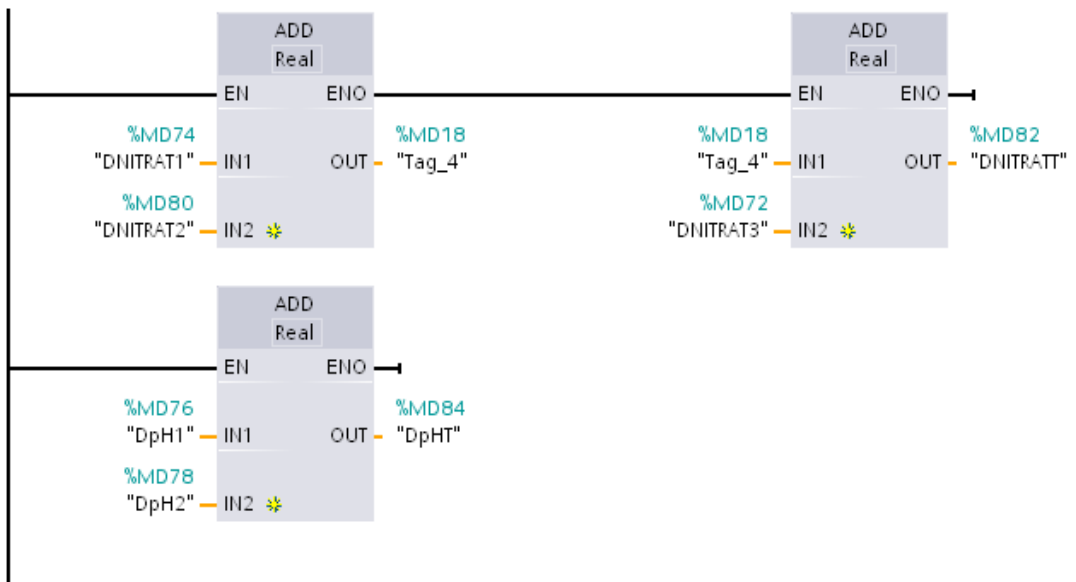
- **Segundo segmento de instrucciones rutina dedicada a la lectura de la hora y de la fecha del sistema**

**Ilustración 272:** Segundo segmento de instrucciones rutina dedicada a la lectura de la hora y de la fecha del sistema



- **Tercer segmento - rutina dedicada a promediar los valores de nitrato y pH**

**Ilustración 273:** Tercer segmento se tiene la rutina dedicada a promediar los valores de nitrato y pH

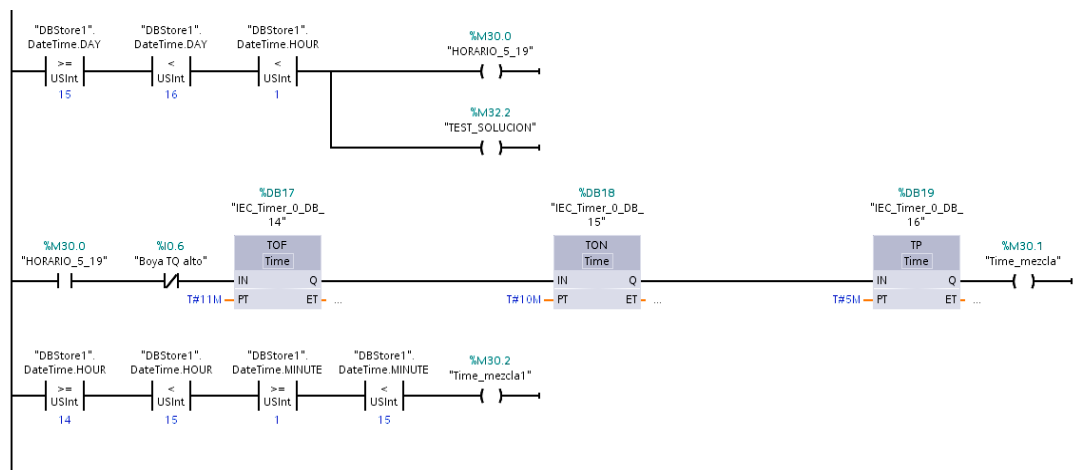


### Ilustración 274: Variables utilizadas en este segmento 3

"DNITRAT3"	%MD72
"DNITRAT1"	%MD74
"DpH1"	%MD76
"DpH2"	%MD78
"DNITRAT2"	%MD80
"DNITRAT1"	%MD82
"DpHT"	%MD84
"Tag_4"	%MD18

- **Cuarto segmento - rutina dedicada al análisis de los parámetros de la solución óptima**

### Ilustración 275: Cuarto segmento, rutina está dedicada al análisis de los parámetros de la solución óptima

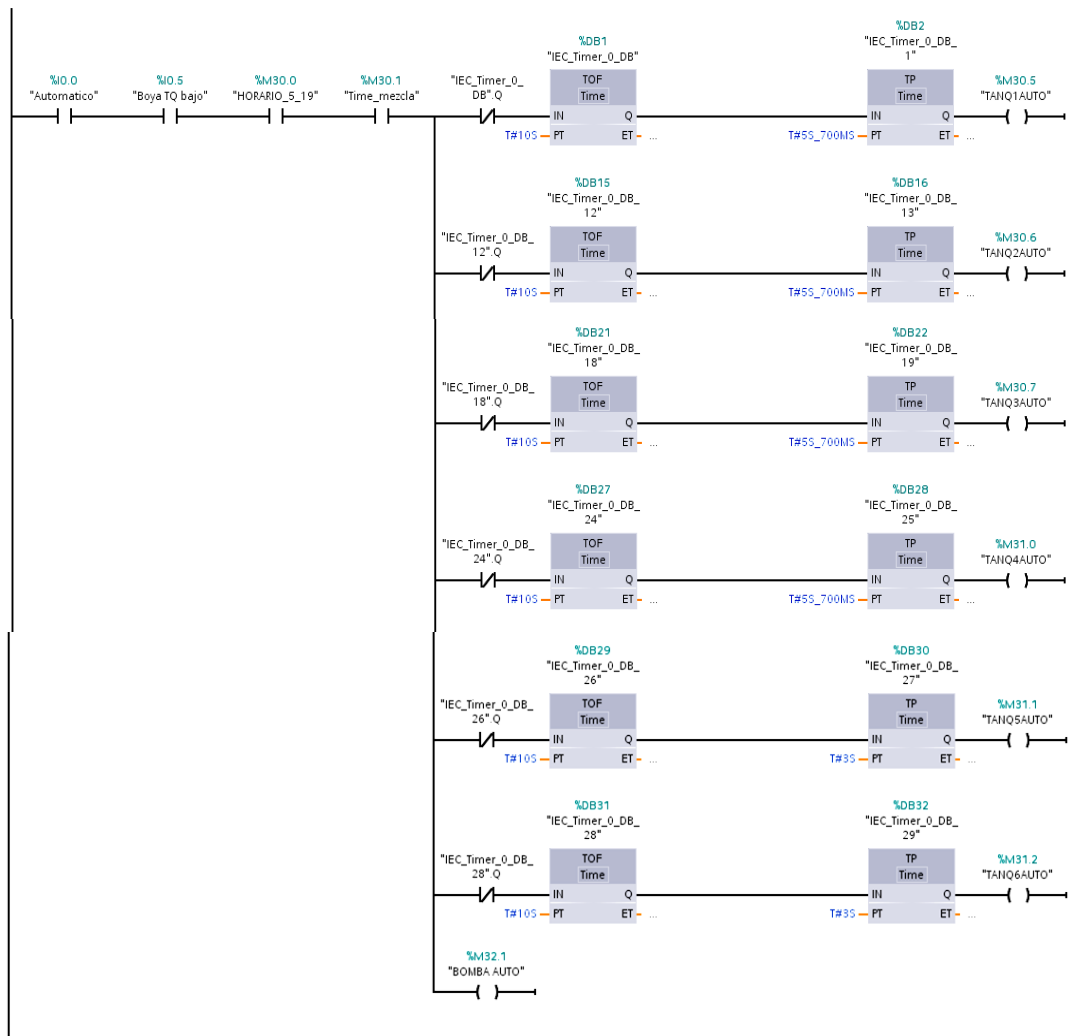


### Ilustración 276: Lista de variables utilizadas en el segmento 4

"DBStore1".DateTime.HOUR	
"HORARIO_5_19"	%M30.0
"Timemezcla1"	%M30.1
"DBStore1".DateTime.MINUTE	
"Timemezcla1"	%M30.2
"Boya TQ alto"	%IO.6
"TEST_SOLUCION"	%M32.2
"DBStore1".DateTime.DAY	

➤ **Quinto segmento- rutina dedicada a la apertura de las válvulas de los tanques de solución stock**

**Ilustración 277:** Quinto segmento, rutina dedicada a la apertura de las válvulas de los tanques de solución stock



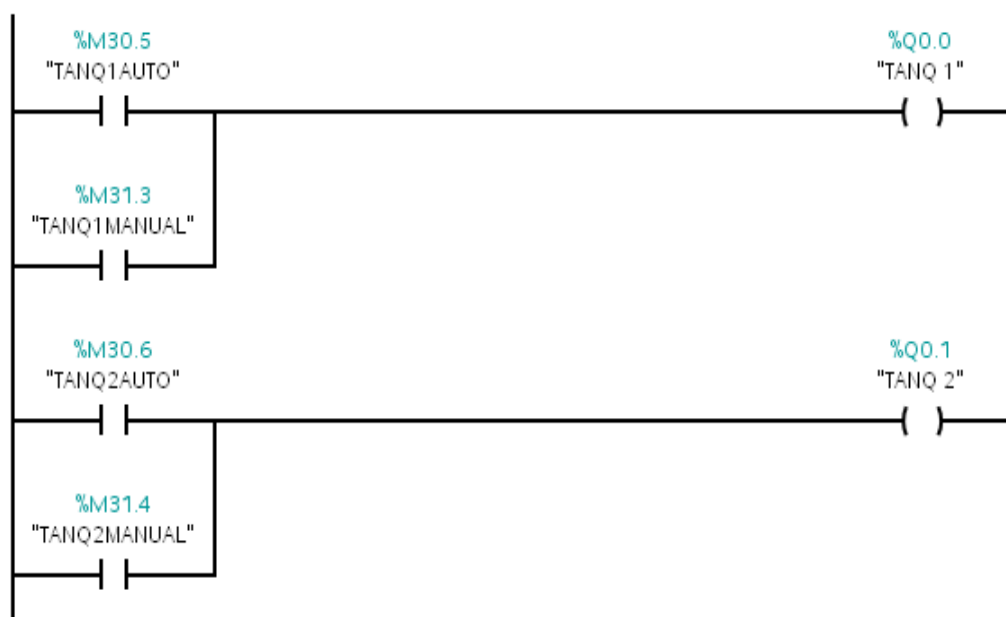
A continuación tenemos una lista de variables utilizadas en el segmento 5.

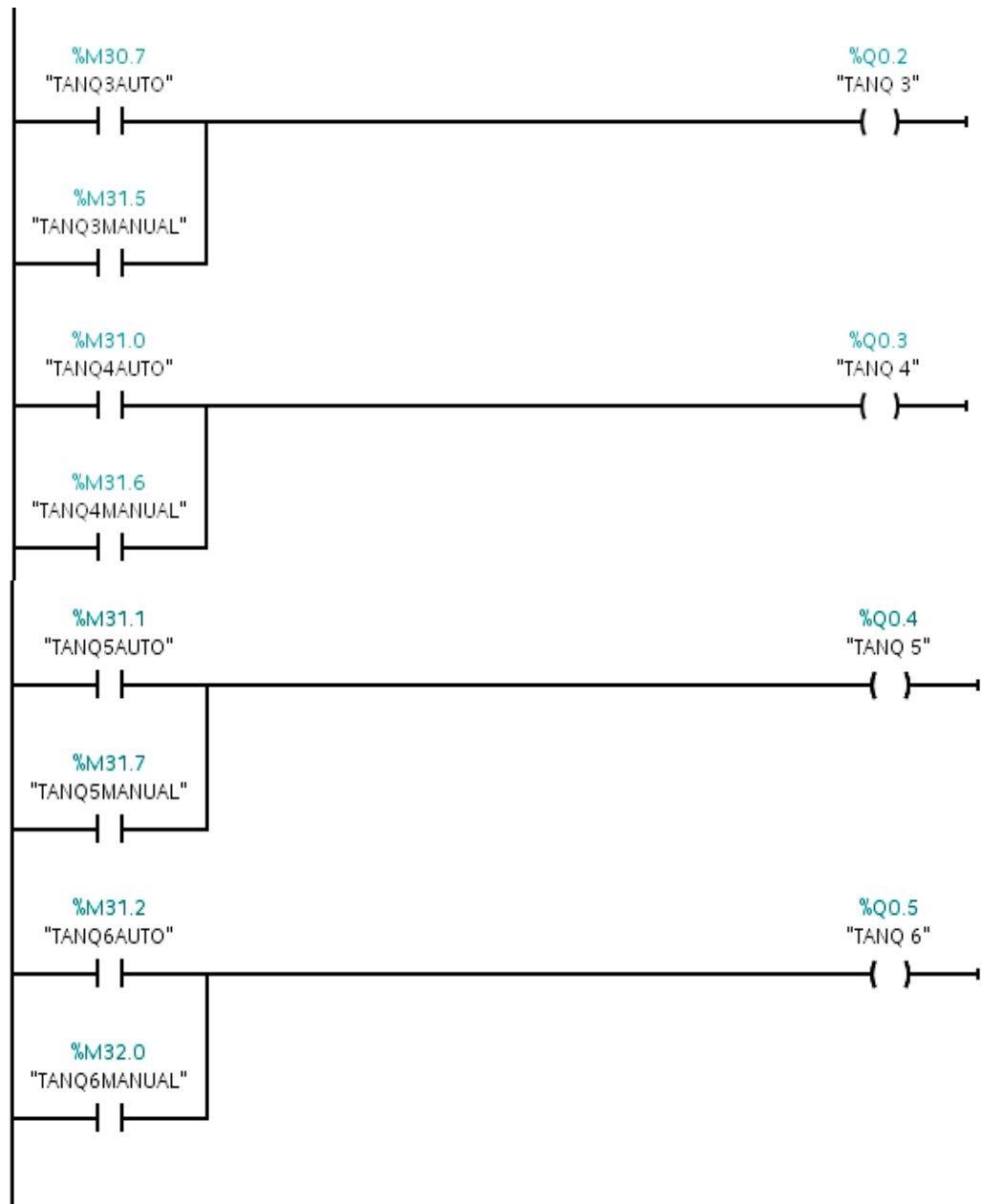
**Ilustración 278:** variables utilizadas en el segmento 5

▼ "Automatico"	%I0.0	
"Boya TQ bajo"	%I0.5	
"HORARIO_5_19"	%M30.0	
"Timemezcla"	%M30.1	
"IEC_Timer_0_DB".Q		
"IEC_Timer_0_DB_12".Q		
"IEC_Timer_0_DB_18".Q		
"IEC_Timer_0_DB_24".Q		
"IEC_Timer_0_DB_26".Q		
"IEC_Timer_0_DB_28".Q		
"TANQ1AUTO"	%M30.5	
"TANQ2AUTO"	%M30.6	
"TANQ3AUTO"	%M30.7	
"TANQ4AUTO"	%M31.0	
"TANQ5AUTO"	%M31.1	
"TANQ6AUTO"	%M31.2	
"BOMBA AUTO"	%M32.1	

- **Sexto segmento - rutina dedicada a la ejecución de los comandos del segmento 5**

**Ilustración 279:** Sexto segmento, rutina dedicada a la ejecución de los comandos del segmento 5.



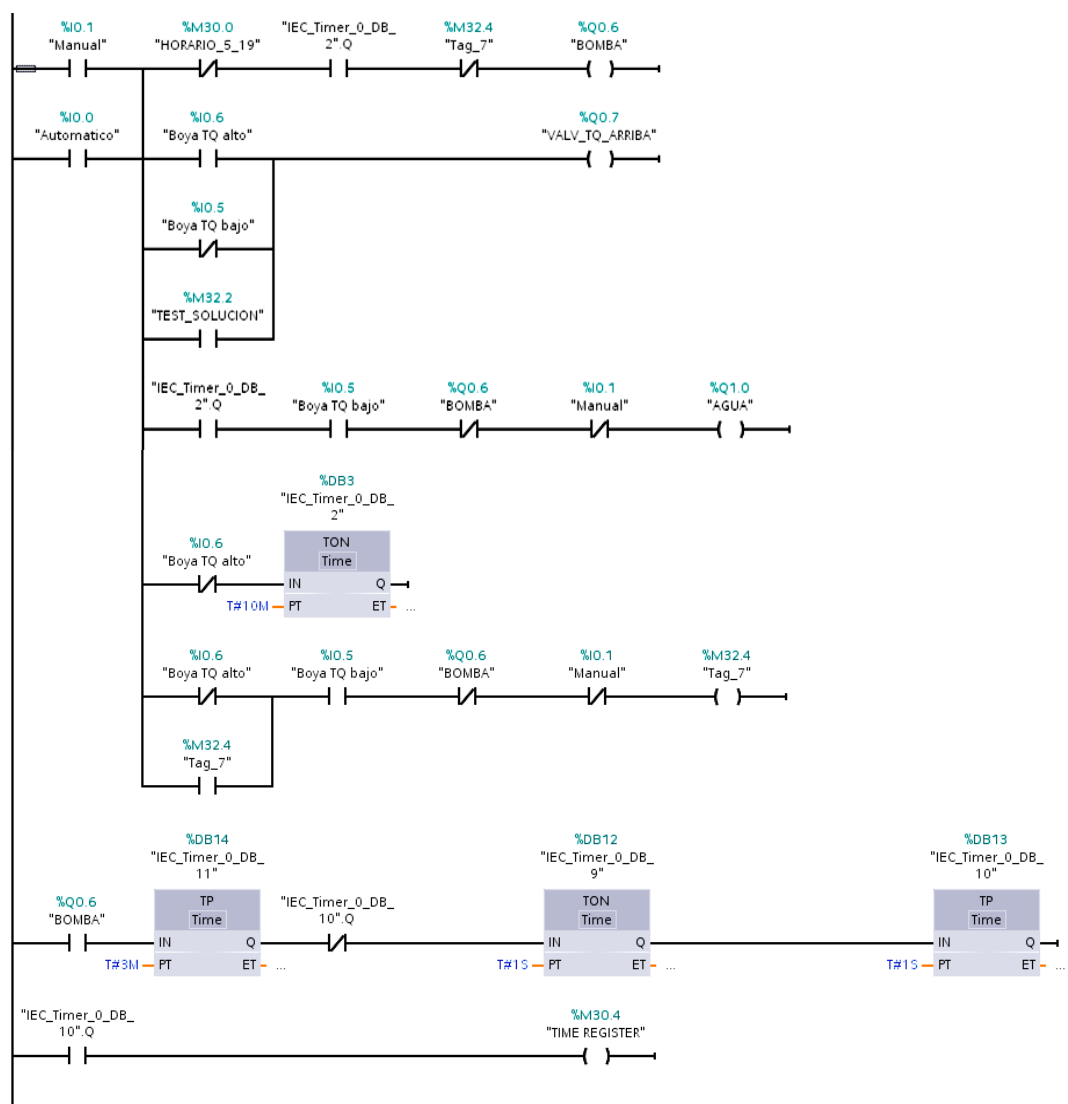


**Ilustración 280:** Lista de variables utilizadas en el segmento 6

▼ "TANQ 1"	%Q0.0	
"TANQ 2"	%Q0.1	
"TANQ 3"	%Q0.2	
"TANQ 4"	%Q0.3	
"TANQ 5"	%Q0.4	
"TANQ 6"	%Q0.5	
"TANQ1AUTO"	%M30.5	
"TANQ2AUTO"	%M30.6	
"TANQ3AUTO"	%M30.7	
"TANQ4AUTO"	%M31.0	
"TANQ5AUTO"	%M31.1	
"TANQ6AUTO"	%M31.2	
"TANQ1MANUAL"	%M31.3	
"TANQ2MANUAL"	%M31.4	
"TANQ3MANUAL"	%M31.5	
"TANQ4MANUAL"	%M31.6	
"TANQ5MANUAL"	%M31.7	
"TANQ6MANUAL"	%M32.0	

- **Septimo segmento - rutina dedicada a la verificación de los estados lógicos del sensor Boya (tanque del segundo piso y tanque del primer piso)**

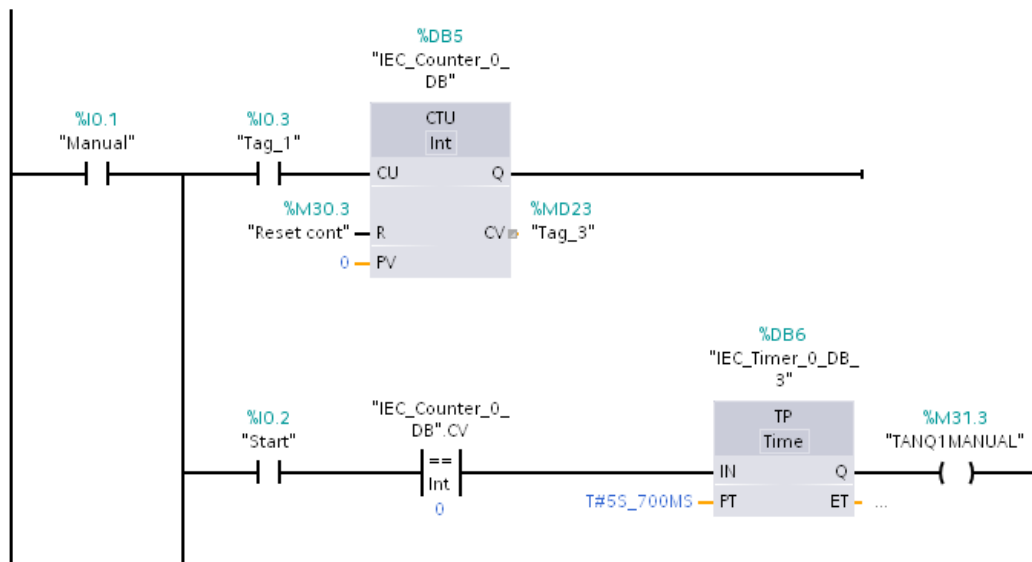
**Ilustración 281:** Septimo segmento, rutina dedicada a la verificación de los estados lógicos del sensor Boya (tanque del segundo piso y tanque del primer piso)



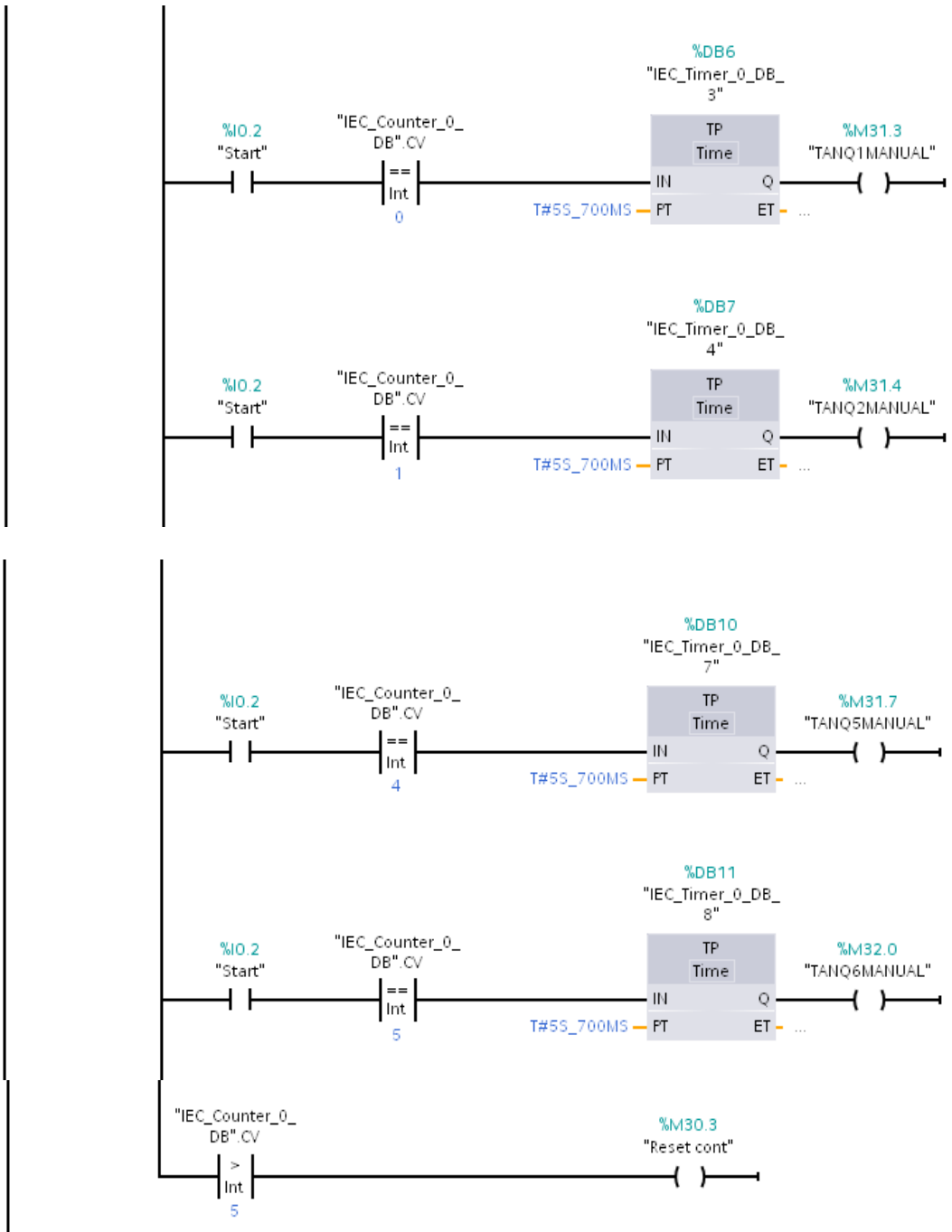
**Ilustración 282:** Lista de variables utilizadas en el segmento 7

"Automatico"	%IO.0	
"Boya TQ bajo"	%IO.5	
"HORARIO_5_19"	%M30.0	
"Manual"	%IO.1	
"IEC_Timer_0_DB_10".Q		
"TIME REGISTER"	%M30.4	
"VALV_TQ_ARRIBA"	%Q0.7	
"BOMBA"	%Q0.6	
"Boya TQ alto"	%IO.6	
"TEST_SOLUCION"	%M32.2	
"Tag_7"	%M32.4	
"IEC_Timer_0_DB_2".Q		
"AGUA"	%Q1.0	

- **Octavo segmento - rutina dedicada abrir las valvulas de cada tanque de solución stock en modo manual**

**Ilustración 283:** Segmento 8, rutina dedicada abrir las valvulas de cada tanque de solución stock en modo manual

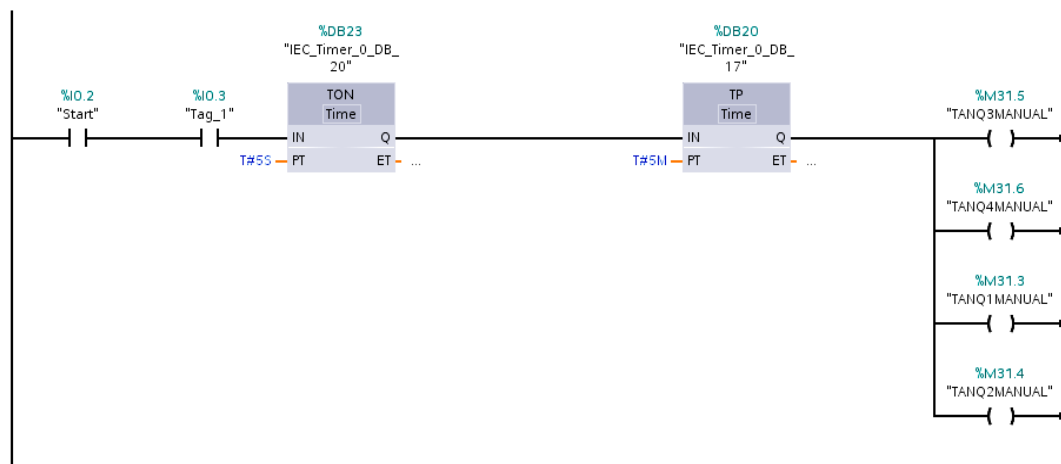




**Ilustración 284:** Lista de variables utilizadas en el segmento 8.

▼ "Manual"	%I0.1
"Tag_1"	%I0.3
"IEC_Counter_0_DB".CV	
"Start"	%I0.2
"Reset cont"	%M30.3
"Tag_3"	%MD23
"TANQ1MANUAL"	%M31.3
"TANQ2MANUAL"	%M31.4
"TANQ3MANUAL"	%M31.5
"TANQ4MANUAL"	%M31.6
"TANQ5MANUAL"	%M31.7
"TANQ6MANUAL"	%M32.0

- **Noveno Segmento - la rutina dedicada al manejo de los tanques de soluciones stock de modo manual**

**Ilustración 285:** Segmento nueve, rutina dedicada al manejo de los tanques de solución stock de modo manual**Ilustración 286:** Lista de variables utilizadas en el noveno segmento

▼ "Tag_1"	%I0.3
"Start"	%I0.2
"TANQ1MANUAL"	%M31.3
"TANQ2MANUAL"	%M31.4
"TANQ3MANUAL"	%M31.5
"TANQ4MANUAL"	%M31.6

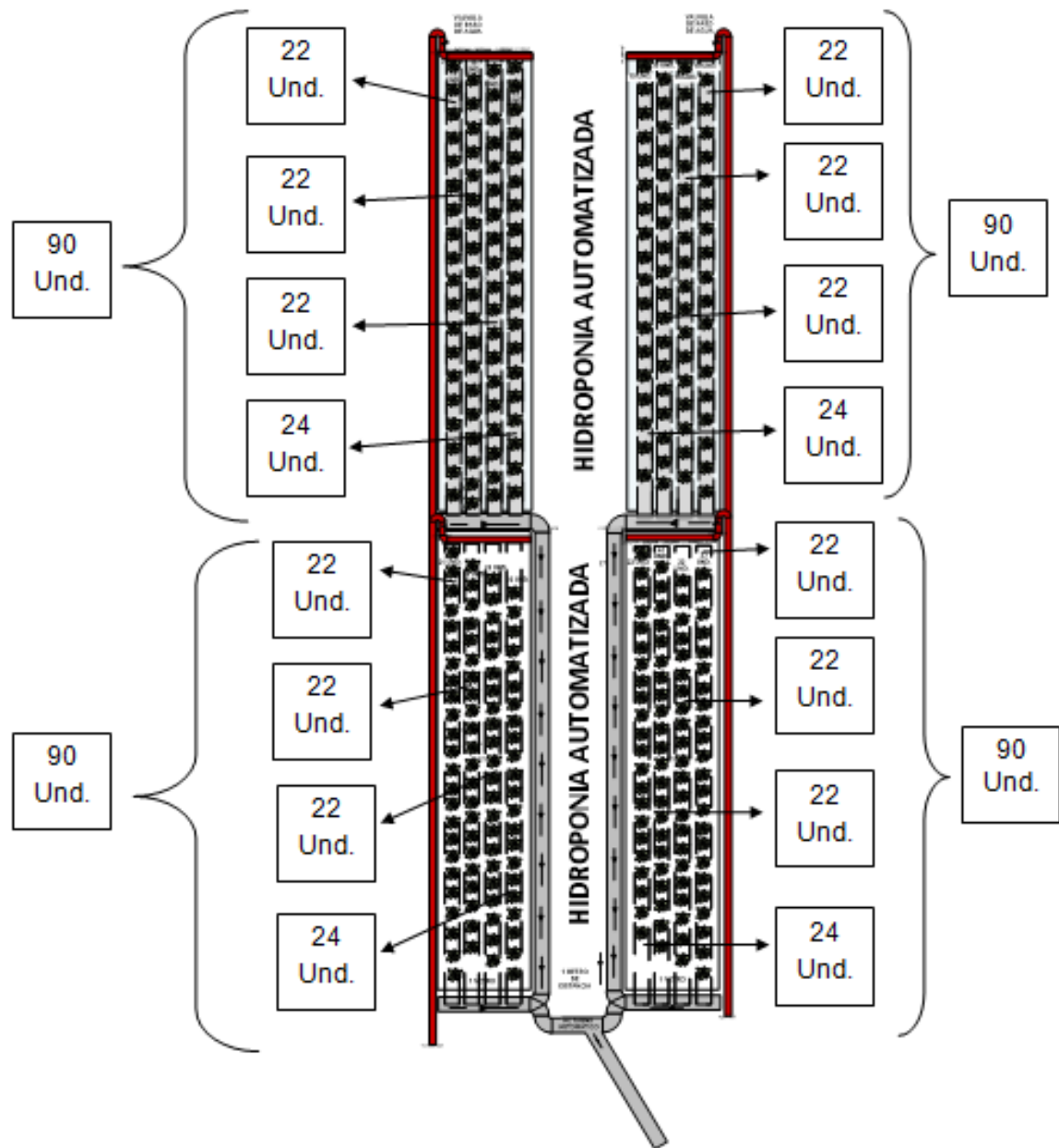
### 3.22. Población y muestra de lechugas

Plantación del cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) de los sistemas automatizado, semi automatizado y raíz flotante.

**Ilustración 287:** Población de lechuga

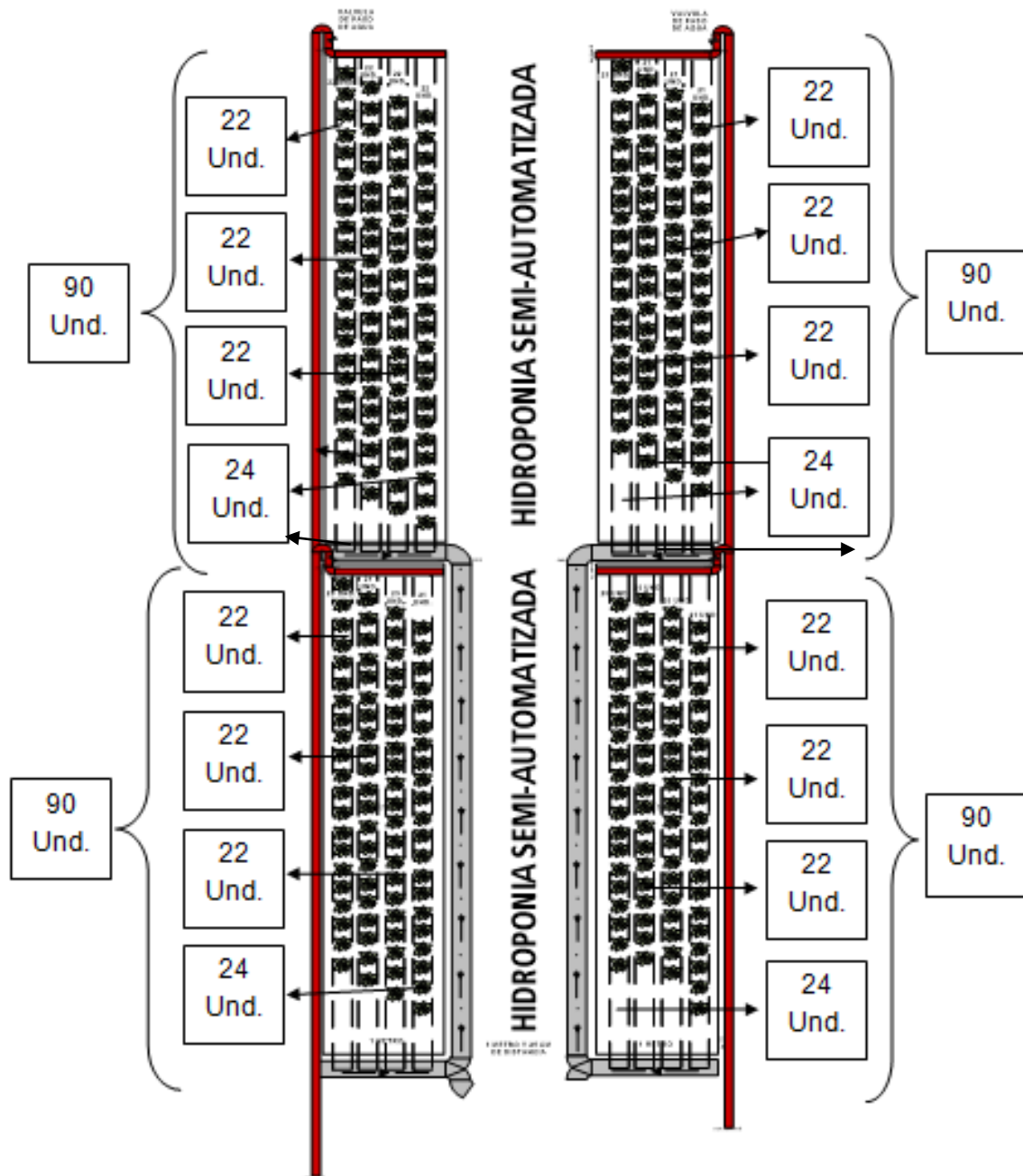


**Ilustración 288:** Cantidad de unidades de lechugas de la hidroponía automatizada



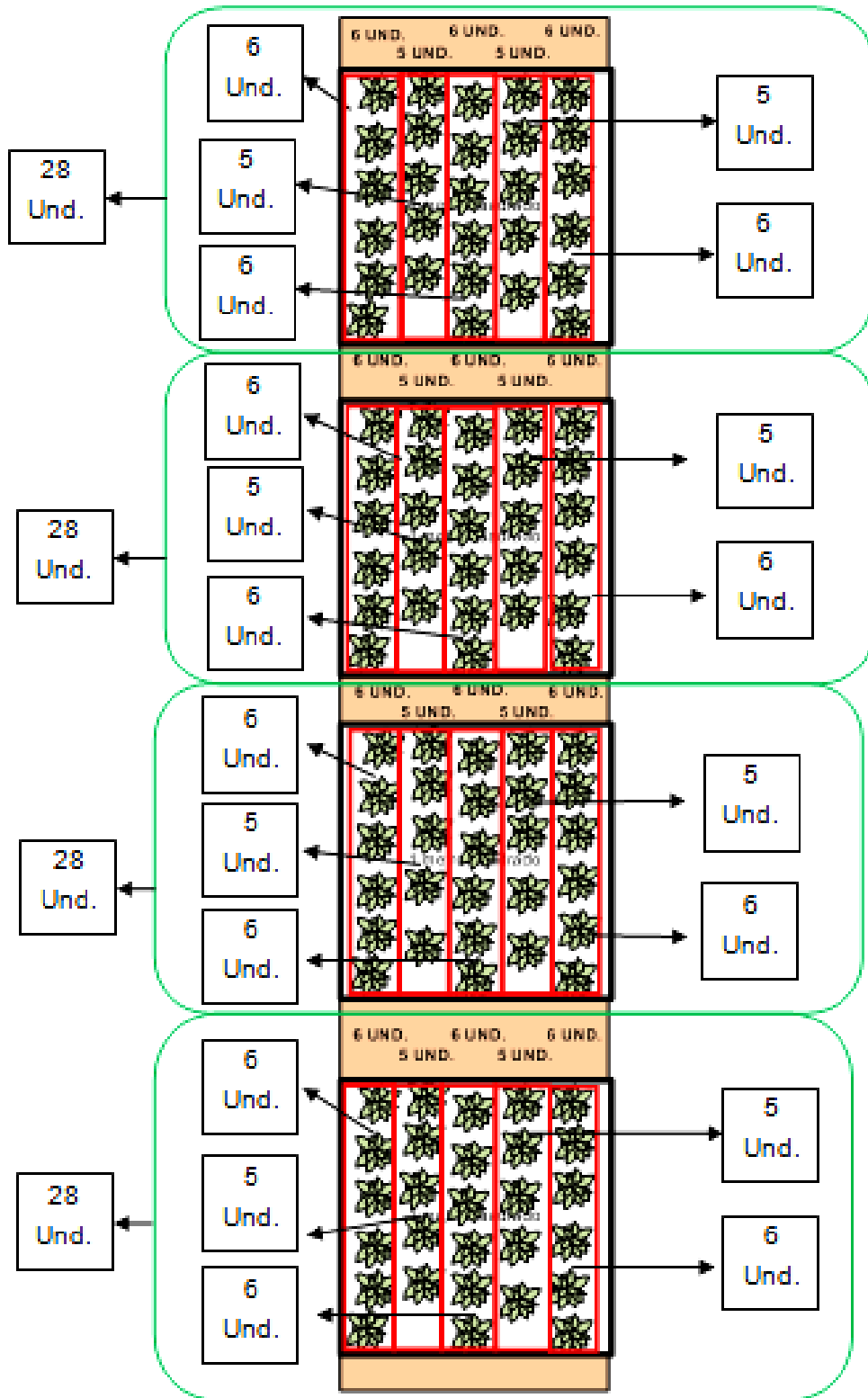
**Ilustración 289:** Cantidad unidades de lechugas en cada cama del sistema

Semi-automatizado



**Ilustración 290:** Cantidad unidades de lechugas en cada cama del sistema

Raíz Flotante



### 3.22.1. Muestra de lechugas

Plantas de lechuga para determinar el rendimiento productivo fue 40 plantas para cada tratamiento: hidroponía raíz flotante, 40 plantas, hidroponía semi automatizada 40 plantas y en hidroponía automatizada 40 plantas, total 120 plantas.

**Ilustración 291:** Planta de lechuga



**Ilustración 292:** Se corta la parte radicular



**Ilustración 293:** Pesando la parte aérea de la planta



**Ilustración 294:** Envolviendo a la lechuga para enviarla a la estufa



**Ilustración 295:** Estufa del laboratorio de fisiología vegetal para determinar el peso seco de lechuga





### 3.23. Instrumentos de recolección de datos

Las técnicas utilizadas para la recolección de datos fueron:

**Tabla 50:** Instrumentos de recolección de datos

<b>FUENTE</b>	<b>TÉCNICA</b>	<b>INSTRUMENTOS</b>
<b>Primaria</b>	Monitoreo de N, pH y CE	Hardware, Software, sensores (pH, CE, N).
	Ergonomía	Ventajas y desventajas
<b>Secundaria</b>	Rendimiento productivo	Peso por planta en g
	Ergonomía	Ventajas y desventajas
	Resumen	Ficha de resumen

Registro de datos para el control automatizado del balance de N, pH y CE, y para evaluar el rendimiento productivo y económico de lechuga.

**Ilustración 296:** Lechugas del cultivo automatizado



**Ilustración 297:** Contenedores con lechuga en el sistema NFT semi-automatizado.



**Ilustración 298:** Contenedores con cultivo No automatizado Raíz flotante.



**Tabla 51:** Etapas del proceso productivo

<b>Etapas</b>	<b>Almacigado</b>	<b>Trasplante</b>	<b>Cultivo hidropónico</b>	<b>Cosecha</b>
<b>Días</b>	14	1	14	30

Observación el número 14 en lo que respecta a la etapa del cultivo hidropónico (no automatizado) quiere decir que se va cambiar la solución nutritiva de este sistema para poder mantener un adecuado balance de la solución nutritiva, para seguir con el proceso de cultivo. La diferencia entre este y el cultivo automatizado es que este último no fue necesario cambiar la solución nutritiva para balancear por lo tanto de manera ininterrumpida va a continuar el cultivo hasta la cosecha.

**Tabla 52:** Observaciones del pH nitrógeno y conductividad eléctrica

<b>Día</b>	<b>pH</b>	<b>N</b>	<b>CE</b>	<b>Observaciones</b>
1	5.87	0.00	0.03	Antes de la aplicación de nutrientes, pH del agua
2	6.15	100.00	1.22	Después de aplicado los nutrientes al agua
3	6.14	99.00	1.21	
4	6.13	98.00	1.20	
5	6.12	97.00	1.19	
6	6.11	95.00	1.17	
7	6.09	93.00	1.15	
8	6.07	90.00	1.13	
9	6.05	87.00	1.09	
10	6.04	83.00	1.02	
11	6.03	80.00	0.98	
12	6.02	77.00	0.94	
13	6.01	74.00	0.85	
14	6.00	70.00	0.80	
15	5.99	67.00	0.75	
16	5.97	63.00	0.71	
17	5.94	59.00	0.66	
18	5.90	55.00	0.63	
19	5.85	50.00	0.60	

Aquí se aplicó más nutrientes en forma automática y luego + agua

20	6.21	150.00	1.80
21	6.13	125.00	1.50
22	6.11	120.00	1.45
23	6.07	115.00	1.37
24	6.03	110.00	1.31
25	6.00	105.00	1.25
26	5.90	100.00	1.19
27	5.80	95.00	1.12
28	5.50	94.00	1.60
29	5.49	92.00	0.97

Aquí se aplica NaOH, luego ácido nítrico a la solución hasta balancear el pH de la solución nutritiva

30	6.50	110.00	1.13
31	6.42	104.00	1.00
32	6.35	90.00	0.90
33	6.28	70.00	0.76
34	6.19	50.00	0.60

Aquí se aplica más nutriente en forma automática y luego + agua

35	6.40	150.00	1.80
36	6.38	130.00	1.60
37	6.32	122.00	1.52
38	6.28	111.00	1.47
38	6.15	104.00	1.31
40	6.13	91.00	1.05
41	6.11	83.00	0.93
42	6.08	75.00	0.84
43	6.05	65.00	0.73
44	6.03	59.00	0.69
45	6.02	52.00	0.63

Cosecha de lechuga

## CAPITULO IV

### 4. ANALISIS Y RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 4.1. Indicadores del sistema

**Tabla 53:** Indicadores del sistema

DIMENSIONES	INDICADORES
Usuarios	Tiene alto rendimiento, tiene entorno amigable, es interactivo permite el modo automático y manual para el control del sistema, permite la concurrencia de procesos, satisfacción de los usuarios, minimiza el tiempo promedio de los procesos de toma de datos.
Software	Permite la operatividad, control de la solución nutritiva (es la parte más importante de la técnica hidropónica, se basa en un equilibrio entre los valores óptimos para el cultivo), Portabilidad, Flexibilidad, Usabilidad, Eficiencia, Arquitectura Cliente/Servidor, es escalable y robusto (arranque- en caliente RUN), seguro
Acceso a los datos	Una base de datos, manejo de la información (entradas - sensores) oportuna y eficiente, acceso a datos de manera restringida, integridad de datos e información, confidencialidad
Base de sucesos	Cantidad de hechos ingresados (en unidades) Según los datos registrados durante el desarrollo de las lechugas <b>la cantidad de nutrientes disminuye, el valor del nitrógeno, pH y CE cambian.</b> Así tenemos una base de sucesos desde un inicio a un final del

---

 tratamiento.

1. Antes de la aplicación de nutrientes, pH del agua
2. Después de aplicado los nutrientes al agua
3. Aplicación de más nutrientes en forma automática y luego + agua
4. Aplicación de NaOH, luego ácido nítrico a la solución hasta balancear el pH de la solución nutritiva
5. Aplicación de más nutriente en forma automática y luego + agua
6. cosecha de lechuga

Total un mínimo de 6

---

Número de información periódica

- |                       |  |
|-----------------------|--|
| Base de conocimientos | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. <b>Nitrógeno</b></li> <li>2. <b>pH</b></li> <li>3. <b>CE</b></li> <li>4. Nutrientes</li> <li>5. Volumen de la Solución nutritiva</li> <li>6. Agua</li> <li>7. Temperatura</li> <li>8. Humedad relativa</li> <li>9. CO<sub>2</sub></li> <li>10. Iluminación</li> <li>11. Oxígeno disuelto</li> <li>12. Reguladores</li> </ol> |
|-----------------------|--|

Total una cantidad de 12 unidades

---

- |                    |  |
|--------------------|--|
| Entradas y salidas | Tiempo de ejecución (por segundo) <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Para el vertimiento o aplicación de</li> </ol> |
|--------------------|--|
-



---

	<p>nutrientes, se realiza al comienzo y se repite de forma automática con agregación de agua cada 20 días, luego después de 14 días y según las indicaciones del sensor de nitrógeno.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>2. Se aplica NaOH, luego ácido nítrico a la solución hasta balancear el pH de la solución nutritiva, según lo que indica los datos del sensor de pH</li> <li>3. Para regular la conductividad eléctrica</li> <li>4. El vertimiento de agua se realiza de manera automática si después de 15 minutos si no ha llegado al nivel de la boya.</li> <li>5. Accionamiento del actuador (bomba de agua)</li> <li>6. Accionamiento de los actuador válvulas solenoides</li> </ol>
Motor de inferencias	2 a 3 respuesta de los procesos por segundo
Reglas	Cantidad de ordenes o segmentos 9 unidades
Nitrógeno	<p>Rango establecido para el cultivo de lechuga fue de 50 a 150 ppm (partes por millón) o mg/l (miligramos por litro)</p> <p>A medida que pasa el tiempo el contenido de este y otros nutrientes disminuye debido a la absorción por la planta de la solución nutritiva.</p>
pH (potencial hidrogeno)	<p>Concentraciones de iones de hidrogeno (<math>H^+</math>) y iones de hidróxido (<math>OH^-</math>) escala de 0 a 14, siendo pH 7 el neutral, arriba de 7 son alcalinos, y debajo de 7 son ácidos.</p>

---

**Para el pH de la lechuga la escala se ajusta**

---

**entre 5,5 y 6,5 mediante la adición de NaOH o HCl.** Según los antecedentes bibliográficos y experiencia de los autores en cultivo de lechuga.

**pH solución = 6,15**

**pH del agua de pozo = 5,87**

CE (conductividad eléctrica)	El rango establecido para el cultivo de lechuga fue de 0,6 – 1,8 (mili Siemens por cm) $mSm^{-1}$												
	<b>Los componentes de Solución Completa utilizada al 100% de Hoagland y Arnonn en 1200 l/tanque de solución nutritiva.</b>												
Nutrientes	<table> <tr> <td>Nitrato de calcio (<math>Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O</math>)</td> <td>708,48g</td> </tr> <tr> <td>Nitrato de potasio (<math>KNO_3</math>)</td> <td>303,30g</td> </tr> <tr> <td>Sulfato de magnesio (<math>MgSO_4</math>)</td> <td>144,50g</td> </tr> <tr> <td>Fosfato mono-potásico (<math>KH_2PO_4</math>)</td> <td>81,12g</td> </tr> <tr> <td>EDTA</td> <td>1200ml</td> </tr> <tr> <td>Micronutrientes</td> <td>1200ml</td> </tr> </table>	Nitrato de calcio ( $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ )	708,48g	Nitrato de potasio ( $KNO_3$ )	303,30g	Sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ )	144,50g	Fosfato mono-potásico ( $KH_2PO_4$ )	81,12g	EDTA	1200ml	Micronutrientes	1200ml
Nitrato de calcio ( $Ca(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ )	708,48g												
Nitrato de potasio ( $KNO_3$ )	303,30g												
Sulfato de magnesio ( $MgSO_4$ )	144,50g												
Fosfato mono-potásico ( $KH_2PO_4$ )	81,12g												
EDTA	1200ml												
Micronutrientes	1200ml												
Temperatura	<p>Grados centígrados (<math>^{\circ}C</math>)</p> <p>Promedio máximo: <math>31,3^{\circ}C \sim 32,0^{\circ}C</math></p> <p>Promedio mínimo <math>22,4^{\circ}C \sim 29,8^{\circ}C</math></p> <p>Promedio med. <math>26,7^{\circ}C</math></p> <p>Promedio osc. <math>8,7^{\circ}C</math></p> <p>Contempla altas temperaturas todo el año</p>												
Luz	<p>Footcandels (fc)</p> <p>Baja intensidad luminosa</p> <p>intensidad lumínica promedio fue de 4,328 lux equivalente a 0,402084357 vela o foot candles</p>												
Rendimiento	Es productivo												

	<p>Permite una producción de pequeña escala con proyección a ser de mediana escala</p> <p>Los métodos de hidroponía pueden ser usados para una producción de gran escala puede ser expandible como lo es en la Estación Experimental Agrícola de California (Hoagland &amp; Arnon, 1938) para una producción comercial, la dificultad está en que tiene un alto costo en la implementación del sistema por los equipos y conocimiento técnico, contar con un módulo invernadero con climatización automatizada que este proyecto no lo contempló por temas presupuestales pero que es materia para próximas investigaciones.</p>
Ergonomía	<p>Es cómodo, facilita el trabajo del agricultor, ingeniería asistida por computadora, automatiza proceso de toma de datos, asistencia remota, calidad de servicio, flexibilidad, seguridad.</p>

## 4.2. Entradas y salidas del sistema hidropónico

### Diagrama de entradas y salidas para sistema hidropónico

La solución nutritiva, es quizá la parte más importante de toda la técnica hidropónica. La solución nutritiva de Hoagland y Arnonn contiene alrededor de 210 mg l<sup>-1</sup> de nitrógeno, 31.9 mg l<sup>-1</sup> de P, 234 mg l<sup>-1</sup> de K, 200 mg l<sup>-1</sup> de Ca y 64 mg l<sup>-1</sup> de S. La preparación se basa en un equilibrio entre los nutrientes con los valores óptimos para el cultivo.

Según Gómez (2008), habitualmente, las disoluciones nutritivas se preparan a partir de disoluciones madres, de concentración 200 veces superior a la disolución final en el caso de los macro-elementos y el Fe (hierro) y 1000 veces superior en cuanto a los micronutrientes. El pH de las soluciones se ajusta entre 5,5 y 6,5 mediante la adición de NaOH o HCl. Los elementos esenciales para el desarrollo normal de la planta, están contenidos en sales y en sustancias químicas compuestas y son, el nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Cloro (Cl), Hierro (Fe), Cobre Cu, Manganeso (Mn), Boro (B), zinc (Zn) y Molibdeno (Mo). Cada uno de estos elementos tiene una o varias funciones en el proceso de crecimiento de la planta, así como su carencia se traducen en síntomas específicos que se reflejan en la estructura de la planta. En el presente experimento no hubo síntomas característicos de cada elemento. Nutrientes menores o micro-elementos: son los que siendo esenciales para el desarrollo de las plantas, están contenidos en ellas, en muy pequeñas cantidades, que van desde 0,01% hasta 0,0001%. Este grupo de nutrientes lo componen los siguientes elementos: Hierro (Fe), Cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (boro), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), y cloro (Cl). Así mismo existen otros elementos cuyo valor nutricional es ínfimo, pero que sin embargo, en algunos casos puntuales, suelen tener influencia sobre la calidad de los frutos o semillas. También tienen presencia, aquellos que sin ser esenciales para las plantas, actúan indirectamente, ya sea como catalizadores de procesos o modificando el medio en que se desarrolla la planta, y permitiéndole a ésta, mejorar su performance.

Según los datos registrados durante el desarrollo de las lechugas la cantidad de nutrientes disminuye, el valor de pH y CE cambian.

## ENTRADAS

Niveles de nitrógeno, pH y CE en la solución son importantes.

Nitrógeno.- porque a medida que pasa el tiempo el contenido de este y otros nutrientes disminuye debido a la absorción por la planta de la solución nutritiva.

### **Función de pertenencia de conductividad eléctrica.**

## SALIDAS

Para este sistema las salidas fueron 1 bomba de agua, válvulas solenoides, por ello se creó la función de pertenencia para las correspondientes, para diseñar la función de pertenencia se definió un tiempo máximo de encendido a que el tanque superior se llene, luego cesa el bombeo y es aperturada la electro válvula que permite la circulación de la solución nutritiva hacia los contenedores con lechugas, siguiendo su curso hasta retornar al tanque inferior colector de la solución nutritiva, este es llenado hasta un tope de nivel superior pre establecido mediante la lectura de un sensor de nivel de llenado correspondiendo ser una boya; en el caso que no la solución recolectada no llegue al nivel establecido se activa la válvula solenoide que activa el ingreso de agua hasta completar el nivel esperado. Cabe mencionar que se aprovechó la ubicación del reservorio de solución ubicada en la parte superior respecto al nivel de las camas de cultivo que sustituyeren a sistema de bombeo continuo de nutrientes en solución. Así mismo una vez lleno el

tanque inferior colector se tomaron los registros de datos proporcionados por los sensores de nitrógeno, pH, y CE en la computadora y analizada estos valores por la lógica de programación servían para activar las válvulas solenoides de los tanques de las soluciones stock y reguladores de pH ubicados en la parte alta respecto al tanque colector, obedeciendo a los rangos pre establecidos, y de esa manera mantener en el nivel adecuado a la solución nutritiva y se mezclen satisfactoriamente. Para ello se tomó en cuenta el tiempo que tardan en bajar las soluciones en mezclar y en subirlas desde los depósitos. El tiempo de espera en estos actuadores permitieron que se combinen satisfactoriamente y el sistema de control tome una decisión correcta, este detalle se tomó en la programación.

### **Función de pertenencia de actuadores**

Una vez definidas las funciones de pertenencia, se crearon las reglas para cada uno de los actuadores, tomando matrices de reglas para facilitar su creación y tener en cuenta todas las posibilidades. Además se presentaron las superficies de control para ver cómo reaccionará el actuador:

### **Sensor de temperatura y luminosidad**

El sensor de temperatura que se utilizó fue un sensor comercial (LM35), en la salida de este sensor se leen decimas de volt. Con una ganancia de 10 en el amplificador de instrumentación los valores llegan a unidades de volt. Con las que se trabajó.

El sensor de la luminosidad utilizado fue Tempt6000, en este caso la ganancia fue de 1 porque el sensor trabaja en un rango de 0-5[V], consideramos un buen voltaje de trabajo:

### **Sensor de pH**

Se utilizó el sensor HI9813-5 de Hanna instruments, porque ya se contaba con él. Este sensor consiste en una probeta sumergible y un indicador digital donde se pueden ver los valores, se utilizó para regular el pH y medir pH de la solución nutritiva de los sistemas semi automatizado y raíz flotante, cuyos datos leídos sirvió para regular el pH en forma manual.

### **Componentes de Solución Completa utilizada al 100% de Hoagland y Arnonn en 1200 l/tanque de solución nutritiva.**

Nitrato de calcio ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ )	708,48g
Nitrato de potasio ( $\text{KNO}_3$ )	303,30g
Sulfato de magnesio ( $\text{MgSO}_4$ )	144,50g
Fosfato monopotásico ( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ )	81,12g
EDTA	1200ml
Micronutrientes	1200ml

**pH solución = 6,15**

**Agua de pozo = 5,87**

**pH rango establecido para la lechuga** 5,5 a 6,5 de acuerdo con los antecedentes bibliográficos y experiencia de los autores en cultivo de lechuga.

Según Berry (1996), la concentración de nutrientes para cultivar lechuga se debe encontrar en los siguientes rangos en  $\text{mg l}^{-1}$  : nitrógeno (70-250), fósforo (15-80), Potasio (150-400), Calcio (70-200), Magnesio (15-80), Azufre (20-200), Hierro (0,8-6), Manganeso (0,5-2), Boro (0,06-0,6), Cobre (0,05-0,3), Zinc (0,05-0,5) y Molibdeno (0,05-0,15). Los rangos establecidos para nitrógeno para este experimento fue de 50-150  $\text{mg l}^{-1}$ , siendo el óptimo 100  $\text{mg l}^{-1}$  según experiencia de los autores.

### **Sensor de conductividad eléctrica**

Para la lectura de datos de **conductividad eléctrica** se realizó el mismo procedimiento que el anterior.

Es pertinente mencionar que todas estas mediciones se examinaron con un multímetro, al momento de conectar estos voltajes con las entradas analógicas del PLC, y a través del programa LabView se logró visualizar estos valores en una computadora.

Solución nutritiva de entrada: 1,22mS/cm

- Salida de la solución, cuyo resultado fue plantas de lechuga de menor peso: CE: 0,26mS/cm

- Salida de la solución, plantas de lechuga a la cosecha con mayor peso: CE: 0,05mS/cm



- CE del agua: 0,03mS/cm.

**Rango establecido para la lechuga en el sistema automatizado CE: 0,6 a 1,8mS/cm**

En las imágenes se puede observar variaciones de voltajes mediciones que parecieran ser señales cíclicas y no constantes, como se había pensado. Además las variaciones se presentaron en tiempos muy cortos, del orden de segundo.

Para los datos de los sensores se adecuó los niveles de voltaje captados por los sensores y llevados al PLC quienes lo transmitían a una computadora que colectaba los datos en forma digital, tales datos fueron transformados a nivel de N, PH, CE y para una correcta interpretación, de acuerdo a lo siguiente:

Los valores máximos y mínimos registrados se equipararon con los valores máximos y mínimos de la lectura patrón leído con los respectivos instrumentos como medidor de nitrato en ppm, pHchímetro, conductivímetro en mS/cm y donde (a) era el valor máximo leído por el PLC dividido entre (b) el valor mínimo leído por el PLC, igual al valor máximo del parámetro según instrumentos, dividido entre el valor mínimo leído por los instrumentos en la solución nutritiva. Al analizar las mediciones fueron coherentes, un voltaje correspondiente a un valor de pH, con los modelos matemáticos antes generados, es decir se obtuvieron valores que pueden ser utilizados por el controlador.

## Programación

Utilizando LabView se realizó un programa para visualización de variables en una interfaz gráfica para aplicar el control a sus actuadores asociados de este modo generar tablas de datos de las variables para su posterior análisis.

**Ilustración 299:** Antes y después - puerta de acceso



**Ilustración 300:** Antes y después – área de cultivo



**Ilustración 301:** Antes y durante la investigación – dentro del invernadero



**Ilustración 302:** Sala o cuarto de control y operaciones

Esta sala de control es necesario para poder tener un orden, protección y facilidad de acceso para personas autorizadas y restricción para personas no autorizadas, como en esta sala se instaló el sistema hidropónico automatizado y semi-automatizada, se trabajaron con nitratos, agua, electricidad en voltajes de 220 voltios y 12 voltios, los tanque repositorios de las sales se colocaron en el segundo nivel accediendo a él por una escalera.

**Ilustración 303:** Cisternas subterráneas para el sistema automatizado y semi automatizado



**Ilustración 304:** Conexiones de los reservorios de agua de distribución



**Ilustración 305:** Conexiones de las canaletas de recolección



**Ilustración 306:** Lechugas listas para cosechar



**Ilustración 307:** Lechugas siendo cosechadas por invitados, camas desocupadas después de la cosecha



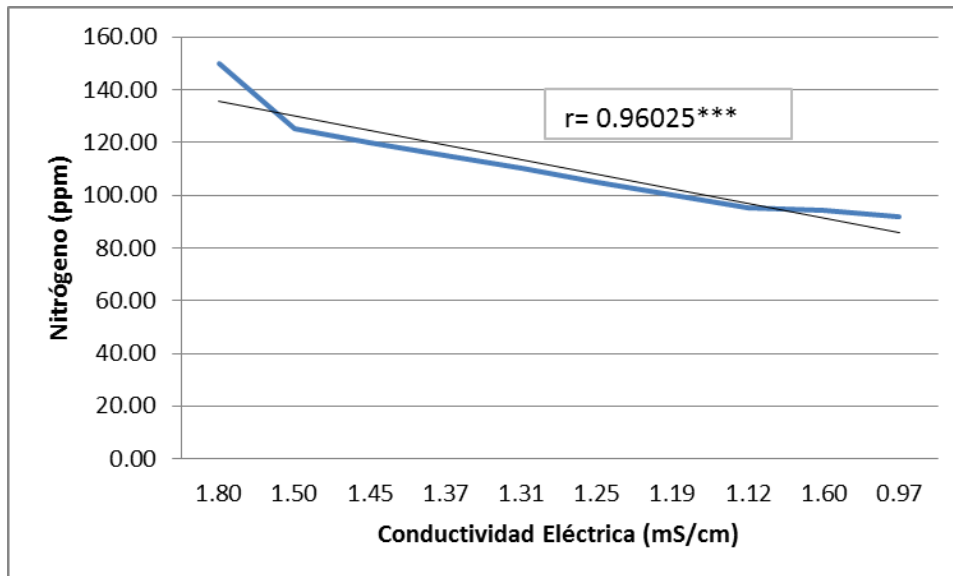
#### 4.3. Análisis de correlación del nitrógeno, pH, y conductividad eléctrica en una solución nutritiva para el crecimiento y producción del cultivo de lechuga

##### Análisis de correlación

El pH en la solución nutritiva está altamente correlacionada con la concentración de nitrógeno  $r=0.42714$  ( $P<0.01$ ) y éste con la conductividad eléctrica  $r=0.96025$  ( $P<0.01$ ). También se observa correlación positiva media  $r=0.29340$  no significativa ( $P>0.05$ ) del pH con la conductividad eléctrica.

Estos resultados nos indican que a medida que el pH de la solución nutritiva aumenta, la conductividad eléctrica y la concentración del nitrógeno, muestran tendencia similar.

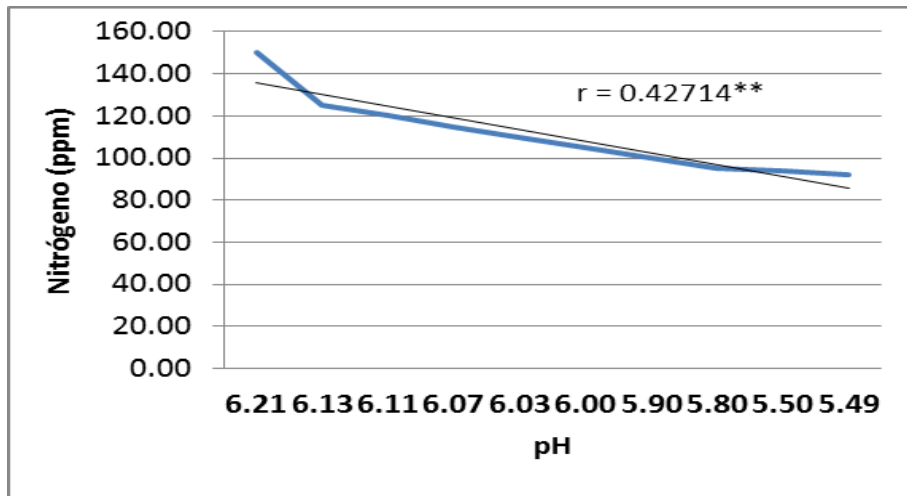
**Gráfico 1:** Correlación de la concentración de nitrógeno con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva



\*\* Altamente significativo ( $P < 0.01$ ).

R = coeficiente de correlación

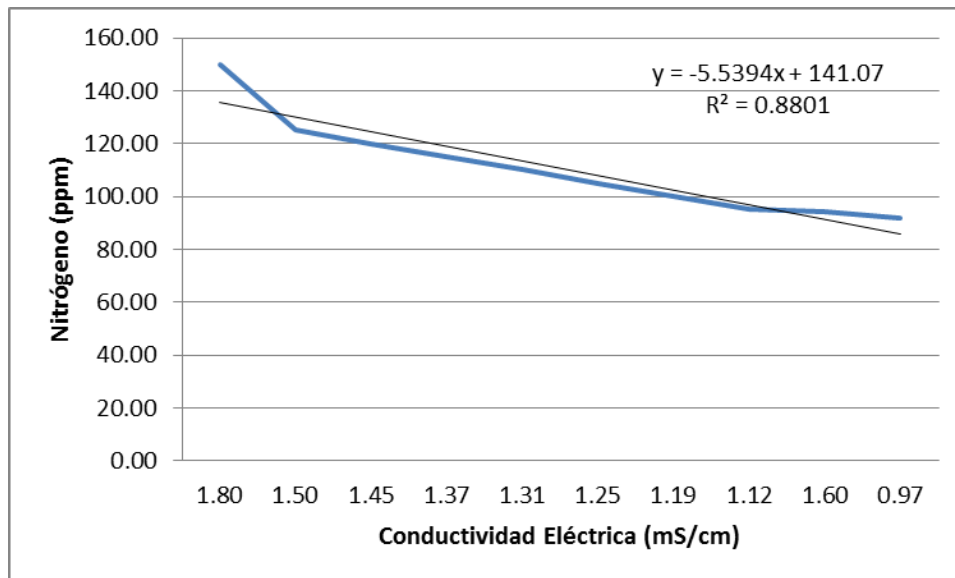
**Gráfico 2:** Correlación de la concentración de nitrógeno con el pH de la solución nutritiva



\*\* Altamente significativo ( $P < 0.01$ ).

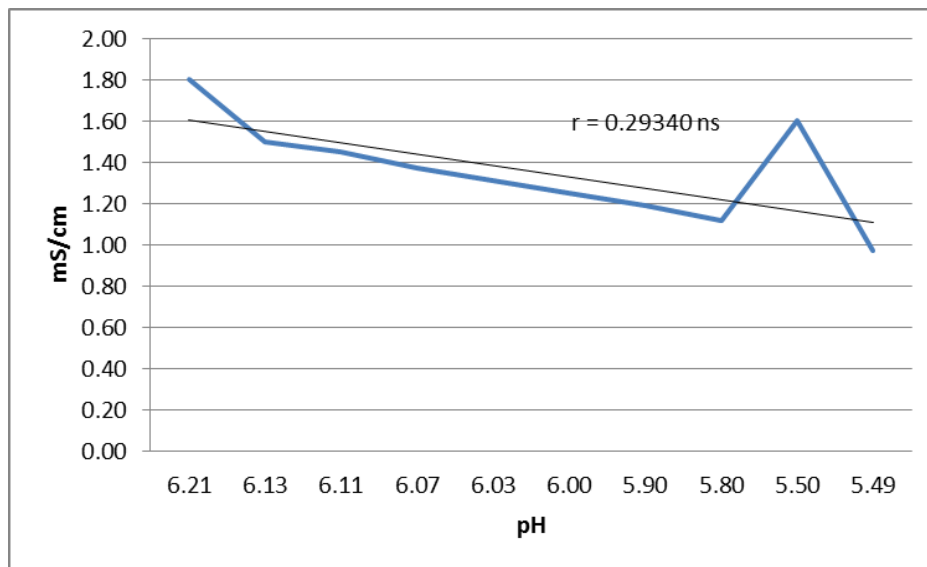
R = coeficiente de correlación

**Gráfico 3:** Relación de la concentración de nitrógeno con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva.



$R^2$  = coeficiente de determinación o regresión

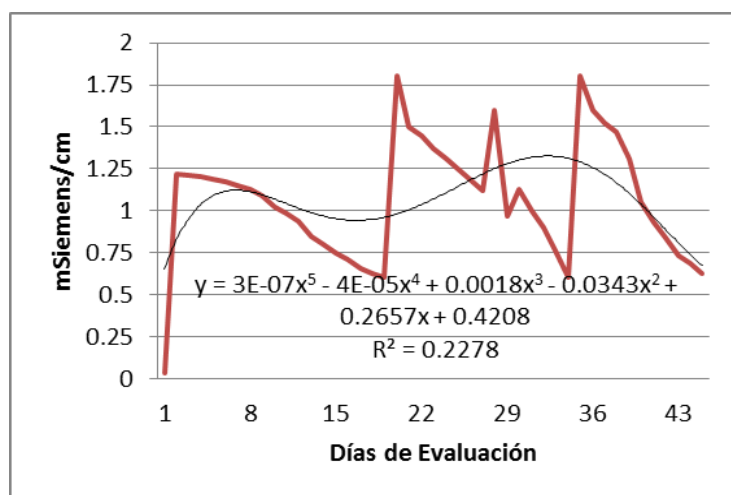
**Gráfico 4:** Correlación de la conductividad eléctrica con el pH de la solución nutritiva.



ns=no significativo ( $P>0.05$ )

R = coeficiente de correlación

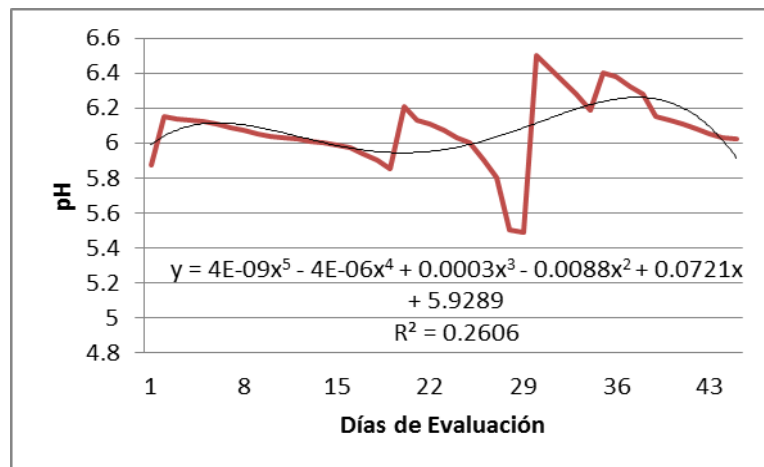
**Gráfico 5:** Relación polinómica de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva, con los días de evaluación.



$R^2$  = coeficiente de determinación o regresión

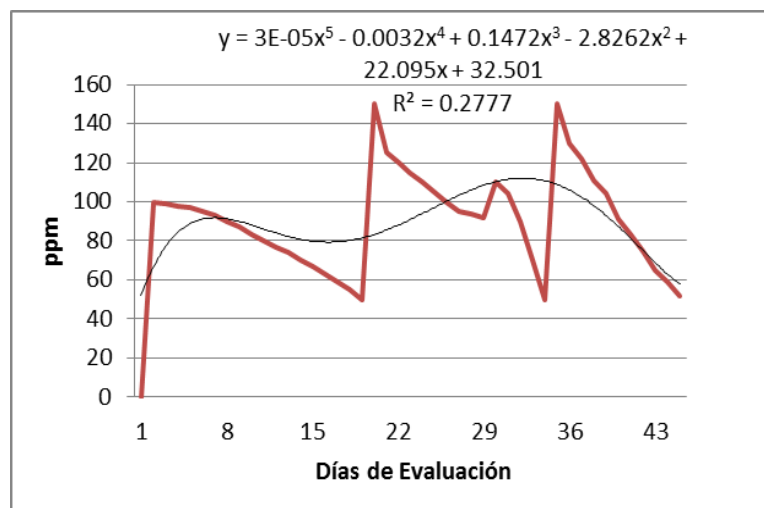


**Gráfico 6:** Relación polinómica del pH de la solución nutritiva con los días de evaluación.



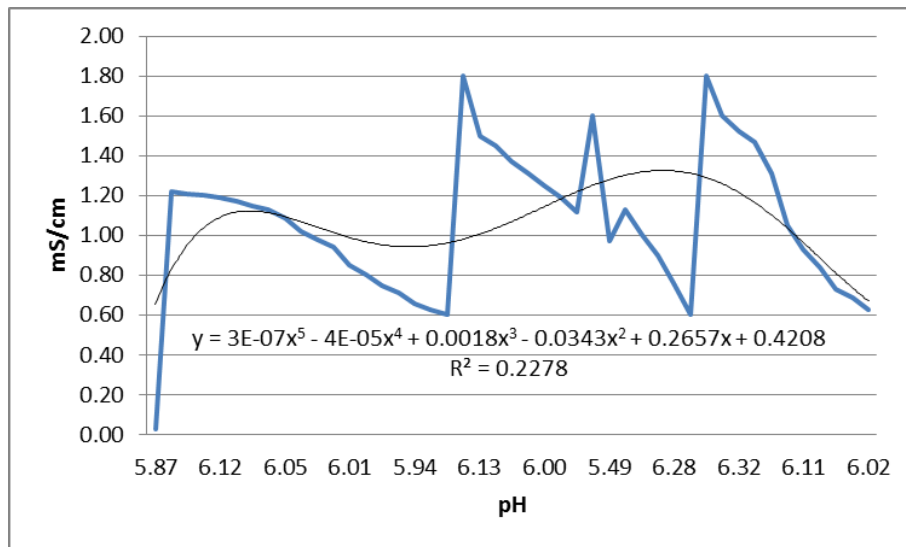
$R^2$  = coeficiente de determinación o regresión

**Gráfico 7:** Relación polinómica de la concentración de nitrógeno de la solución nutritiva con los días de evaluación.



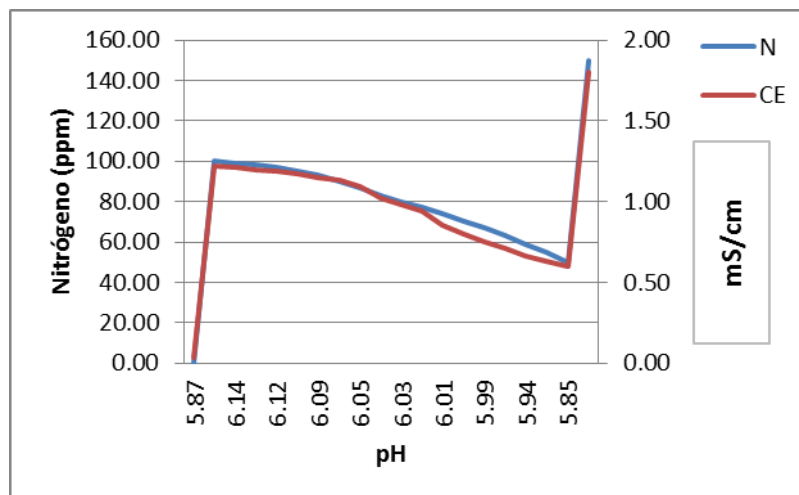
$R^2$  = coeficiente de determinación o regresión

**Gráfico 8:** Relación polinómica de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva con los días de evaluación



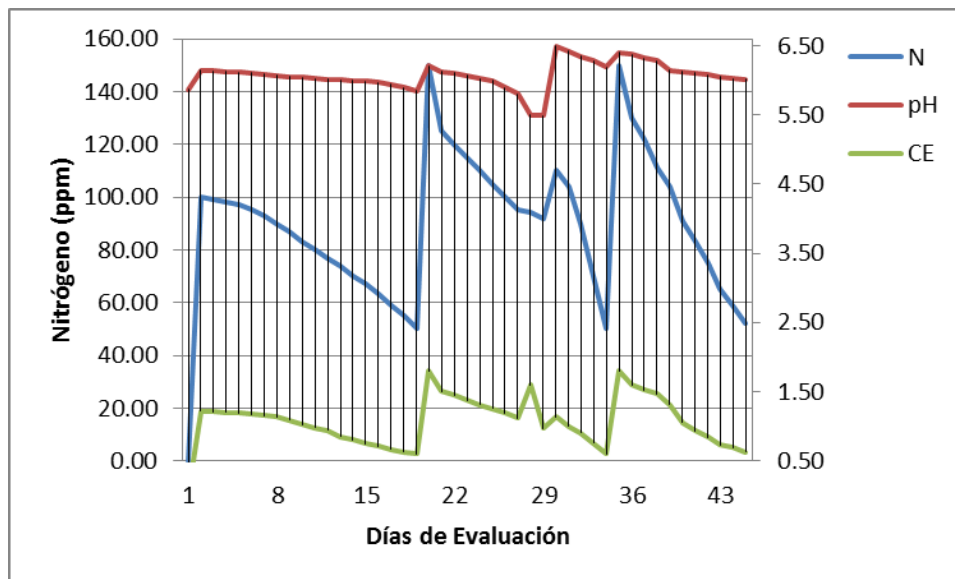
$R^2$  = coeficiente de determinación o regresión

**Gráfico 9:** Relación de la concentración de nitrógeno, conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva, en 45 días de evaluación



**Interpretación:** Muestra que hay un comportamiento o tendencia similar entre el nitrógeno (mS/cm) y el pH en los 45 días de evaluación.

**Gráfico 10:** Relación de la concentración de nitrógeno, conductividad eléctrica y pH de la solución nutritiva, en 45 días de evaluación



**Interpretación:** Muestra el comportamiento o la tendencia en el tiempo (45 días de evaluación) del nitrógeno, pH y de la CE (conductividad eléctrica) como un resumen.

**Tabla 54:** Matriz de correlación del pH con la concentración de nitrógeno y conductividad eléctrica de la solución nutritiva; evaluada durante 45 días de crecimiento vegetativo y productivo de lechuga

Variables	Día	Nitrógeno	pH	Conductividad Eléctrica
Día	1.00000	0.13067	0.20496	0.08380
Nitrogeno		1.00000	0.42714	0.96025
pH			1.00000	0.29340
Conductividad Eléctrica				1.00000

\*Significativo  $P < 0.05$ ; \*\*\* Significativo  $P < 0.0001$

**Interpretación:** En esta matriz se puede ver el análisis de cada una de las variables y se encontró correlaciones bi-variadas (de dos variables) que el nitrógeno está directamente correlacionado con el pH y con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Y el pH está correlacionado con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. Dentro de la celda el primer valor indica el valor de "r" y el segundo valor dentro de la misma celda indica la probabilidad de error. En el caso de la variable pH con la conductividad eléctrica es 0.0505 está o se encuentra entre los márgenes de aceptabilidad.

#### **4.4. Control del nitrógeno**

El indicador nitrógeno está directamente relacionado con la conductividad eléctrica, si baja la conductividad eléctrica de modo correspondiente también es un indicador de un descenso en el nitrógeno, si disminuye el nitrógeno también es un indicador que el nivel de nutrientes está bajo o que ya ha sido consumido. En otras palabras el nitrógeno y la conductividad tienen relación casi directa al aplicar el nitrógeno. Al aplicar nitrógeno también sube la conductividad.

#### **4.5. Control del pH**

En este caso los rangos de variación de pH de la solución nutritiva utilizada en el experimento estuvieron dentro o cercano de niveles favorables para la absorción de nutrientes por la planta que fue de 5,5 a 6,5, observándose

menor peso de lechuga, cuando el PH era menor en la solución al final del cultivo, relacionando este comportamiento con la época de cosecha y el estrés del cultivo. Permanecer en este rango mejora el crecimiento de las lechugas, salir de él; superior a 7 para la lechuga puede resultar en desnutrición porque no absorbe algunos nutrientes; valores menores de pH 5, presenta los mismos efectos con otros elementos minerales esenciales. Si la planta llegara a vivir en valores superiores o inferiores de pH presenta un crecimiento lento y síntomas de deficiencia de minerales. Se define pH como el índice que permite valorar la concentración de iones hidrogeno contenidos en una solución, se expresa con un número y puede estar comprendido entre 1 y 14. De esta forma es posible determinar el pH en el medio para un determinado cultivo, y por extensión, es posible determinar el pH que requieren los cultivos hidropónicos (Barbado, 2005). Por otro lado Rodríguez et al (2004), refieren que es recomendable mantenerla dentro de un rango que va de 5,5 a 6,5 en el cual los nutrientes están disponibles para la planta, y que para disminuir el pH se agrega un ácido como ácido sulfúrico, ácido fosfórico o ácido nítrico, también se puede aplicar ácido cítrico, vinagre; el sulfato ferroso acidifica la solución si no se ajusta bien la dosis puede quemar la planta. y para aumentar el pH adicionar una base o un álcali como hidróxido de potasio o hidróxido de sodio. Así mismo un pH de 5,8 es considerado óptimo para el crecimiento de las lechugas, aunque un rango entre 5,6 y 6,0 es aceptable fuera de este rango puede haber deficiencias nutritivas (Malca, 2001). Entre tanto Gutiérrez y Sánchez, (2012), mencionan que el pH de la solución debe ser mantenido entre 5,5 y 7,0. Cuando el valor de pH está debajo de 5,5 se debe adicionar bases para elevarlo como KOH, 1N y cuando

este sobre 7,0 adicionar ácidos para bajarlo como  $\text{H}_3\text{PO}_4$  1N;  $\text{H}_2\text{SO}_4$  1N;  $\text{HNO}_3$  1N o Ácido acético “vinagre”; estos deben diluirse con mucho cuidado.

En función de pertenencia de pH los valores donde se consideran bajos y altos fue definido así con el sistema automatizado y demás sistemas: Entrada pH 6,15. Salida de la solución en el sistema raíz flotante con plantas al final de menor peso: con pH 4,86 y salida de la solución, plantas al final de mayor peso en el sistema raíz flotante: pH 6,9, siendo el pH del agua 5,87.

Se utilizó el sensor HI9813-5 de Hanna instruments, porque ya se contaba con él. Este sensor consiste en una probeta sumergible y un indicador digital donde se pueden ver los valores, se utilizó para regular el pH y medir pH de la solución nutritiva de los sistemas semi automatizado y raíz flotante, cuyos datos leídos sirvió para regular el pH en forma manual.

#### **4.6. Control de conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva**

Entrada: 1,22mS/cm; Salida de la solución, plantas al final de nutrientes por la planta, el nivel CE disminuye ya que hay menos sales en la solución, a la vez, la CE de la solución aumenta cuando se retira el agua de la solución mediante procesos de evaporación y transpiración. Si la CE disminuye, esta puede ser aumentada añadiendo una pequeña cantidad de solución nutritiva concentrada. Si la solución nutritiva supera el límite del rango óptimo de CE se debe agregar agua o en caso contrario renovarla totalmente.

Del mismo modo Malca (2001), da un rango óptimo de este parámetro es entre 1,0 -2,0 mS/cm y recomienda que cuando el valor está más bajo se debe adicionar más sales. Y cuando este sobre estos se debe diluir

adicionando agua. Sin embargo, la manera correcta de evaluar las necesidades de reposición de nutrientes sería un análisis periódico de solución nutritiva, pero la obtención de resultados toma tiempo y esto tiene un costo. La medida de la CE de la solución nutritiva se realiza directamente en el tanque con un conductivímetro portátil adecuadamente calibrado. En función de pertenencia de pH los valores donde se consideran bajos y altos fue definido así con el sistema automatizado y demás sistemas; con tal conductividad bajo las condiciones climatológicas de Pucallpa, bajo sombra de malla rachell al 80% no hubo síntomas de deshidratación de las plantas en las horas de mayor radiación y temperatura del ambiente, como suele suceder si se cultiva con mayor CE y a campo abierto o con malla.

#### **4.7. Contenido de nutrientes en la solución nutritiva**

##### Contenido de nitrógeno

El rango establecido para el control automatizado de nitrógeno fue de 50 a 150ppm.

La solución nutritiva, es quizá la parte más importante de toda la técnica hidropónica. La solución nutritiva de Hoagland y Arnonn contiene alrededor de 210 mg l<sup>-1</sup> de nitrógeno, 31.9 mg l<sup>-1</sup> de P, 234 mg l<sup>-1</sup> de K, 200 mg l<sup>-1</sup> de Ca y 64 mg l<sup>-1</sup> de S. La preparación se basa en un equilibrio entre los nutrientes con los valores óptimos para el cultivo.

Según Gómez (2008), habitualmente, las disoluciones nutritivas se preparan a partir de disoluciones madres, de concentración 200 veces superior a la disolución final en el caso de los macroelementos y el Fe (hierro), y 1000

veces superior en cuanto a los micronutrientes. El pH de las soluciones se ajusta entre 5,5 y 6,5 mediante la adición de NaOH o HCl. Los elementos esenciales para el desarrollo normal de la planta, están contenidos en sales y en sustancias químicas compuestas y son, el nitrógeno (N), Fósforo (P), Potasio (K), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Azufre (S), Cloro (Cl), Hierro (Fe), Cobre Cu, Manganeso (Mn), Boro (B), zinc (Zn) y Molibdeno (Mo). Cada uno de estos elementos tiene una o varias funciones en el proceso de crecimiento de la planta, así como su carencia se traducen en síntomas específicos que se reflejan en la estructura de la planta. En el presente experimento no hubo síntomas característicos de cada elemento. Nutrientes menores o microelementos: son los que siendo esenciales para el desarrollo de las plantas, están contenidos en ellas, en muy pequeñas cantidades, que van desde 0,01% hasta 0,0001%. Este grupo de nutrientes lo componen los siguientes elementos: Hierro (Fe), Cobre (Cu), manganeso (Mn), boro (boro), Zinc (Zn), Molibdeno (Mo), y cloro (Cl). Así mismo existen otros elementos cuyo valor nutricional es ínfimo, pero que sin embargo, en algunos casos puntuales, suelen tener influencia sobre la calidad de los frutos o semillas. También tienen presencia, aquellos que sin ser esenciales para las plantas, actúan indirectamente, ya sea como catalizadores de procesos o modificando el medio en que se desarrolla la planta, y permitiéndole a ésta, mejorar su performance.

Se trata nada menos de la alimentación de la planta, frente a la resolución de éste tema, un profesional y una persona que apenas se inicia en esto tiene tres opciones:



- Adquirir directamente la mezcla balanceada de nutrientes de una marca comercial responsable, que puede ser en polvo o gránulos o líquido concentrado, amas para ser posteriormente diluidas en agua. Estos productos pueden contener en un mismo recipiente el macro y los micro-elementos (o elementos mayores y menores) o bien venir presentados en forma separada. En cuanto a las normas de dosificación, frecuencia entre las aplicaciones, en éste caso es necesario atenerse estrictamente a las recomendaciones indicadas por el elaborador.
- Disponer de una fórmula determinada y recurrir a un laboratorio comercial que efectúe el preparado correspondiente. Esta alternativa tiene la ventaja que le permite al hidroponista hacer su propia investigación, evaluar el comportamiento de diferentes soluciones y optimizar los resultados sin necesidad de contar con una serie de instrumentos imprescindibles para realizar la tarea de preparación del balanceado nutricional.
- Desarrollar fórmulas propias y efectuar la preparación del balanceado nutricional, a partir de la compra de sales básicas y quelatos, en un comercio especializado. En éste caso, se debe disponer de una balanza de precisión, instrumento para la medición de pH, una mini moledora que es necesaria para procesar la mayoría de las sales que generalmente vienen presentadas en forma de cristales o piedras, así como algún elemento que para deshidratar, o sea sales con alto contenido de humedad; una mezcladora que permita un mezcla homogénea incluso de los elementos menores, que suelen estar presenten en pequeñísimas cantidades y otros elementos adicionales (Gómez, 2008).

Es necesario destacar, que en toda formulación hidropónica es imposible lograr una solución nutricional óptima, o sea, que cubra exactamente todos los requerimientos de la planta, en las diversas condiciones ambientales y en los diferentes estados de desarrollo, puesto que depende de una serie de variables imposible de controlar, tales como: temperatura, humedad, duración del día, intensidad de la luz, especies de la planta, variedades, estado de desarrollo y edad, tipo de cultivo como de: hoja, fruto, raíz, bulbo, tallo, flores. Las sales que normalmente se pueden adquirir en nuestro país, no son elaboradas especialmente para hidroponía, por lo que con frecuencia se pueden presentar los siguientes problemas: Elevados grados de impureza; altos índices de humedad; las sales para hidroponía deben ser solubles en agua a temperatura del ambiente, pero usualmente son insolubles o parcialmente solubles. Para solucionar estos problemas, es importante recurrir a la provisión de sales importados de países que las producen con altos grados de pureza y mantener la provisión en aquellos comercios que mantengan la calidad.

Por otro lado lechuga es muy exigente en potasio y al consumir más potasio va a absorber más magnesio, por lo que es necesario equilibrar esta posible carencia. También es muy exigente en molibdeno durante la primera etapa del desarrollo. (Gómez, 2008).

Entre las principales materias primas que se emplea para la preparación de las soluciones nutritivas hidropónica Hoagland y Arnon. (Furlani et al, 1998; Pérez, 1998) se encuentran: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, fosfato monopotásico, quelato EDTA - Fe, sulfato ferroso,

micronutrientes: cloruro de manganeso, ácido bórico, sulfato de zinc, sulfato de cobre, ácido molíbdico. En función de pertenencia de contenido de nutrientes los valores donde se consideran bajos normales y altos, definido así con el sistema automatizado y demás sistemas

#### **4.8. Mantenimiento del volumen de la solución nutritiva**

Las plantas absorben más agua y a mayor velocidad que los elementos minerales, lo que produce un incremento de la conductividad eléctrica. Por lo que se añadió agua hasta alcanzar un valor de la CE apropiado para la planta, de acuerdo con Rodríguez *et al* (2001).

##### **4.8.1. Duración y cambio de la solución nutritiva**

La vida útil de la solución de nutrientes depende principalmente del contenido de iones que no son utilizados por las. En el caso del presente experimento se aplicó en el trasplante hasta los 14 primeros días al cambiar la primera solución aplicada al 50% de la concentración de Hoagland y Arnonn, a partir del cual se aplicó al 100% hasta la cosecha, para los 3 sistemas de cultivo, diferenciándose el Sistema automatizado que mantuvo la concentración en base a sensores y aplicación automática de nutrientes manteniéndose el balance, pH y conductividad eléctrica.

## 4.9. Control y Manejo de parámetros climáticos

### 4.9.1. Temperatura

Según Malca (2001), la lechuga soporta más las temperaturas elevadas que las bajas. Como temperatura máxima tendría los 30 °C y como mínima puede soportar hasta -6 °C. No es bueno que la temperatura del medio de cultivo baje más de 6 a 8 °C. Sin embargo exige que haya diferencia de temperaturas entre el día y la noche, con temperaturas bajas durante algún tiempo, sus hojas toman una coloración rojiza, que se puede confundir con alguna carencia; la temperatura controla la velocidad de crecimiento de las plantas; al aumentar la temperatura los procesos químicos se aceleran. La mayoría de los procesos químicos en las plantas están regulados por encima que funcionan al óptimo dentro de estrechos rangos de temperatura. Por encima y debajo de estos rangos, la actividad enzimática empieza a deteriorarse y esto causa alteraciones de los procesos bioquímicos, las plantas se estresan, el crecimiento se reduce y eventualmente la planta puede morir. La temperatura del ambiente debe mantenerse en niveles óptimos para un crecimiento rápido y exitoso. El ajuste recomendado para la lechuga es de 24°C (75°F) durante el día; y 19°C (55°F) durante la noche. Los registros de temperatura tomados durante el presente experimento indican que fue mayor de lo recomendado, debido a que el ambiente carecía de control, de este factor.

El sensor de temperatura que se utilizó fue un sensor comercial (LM35), en la salida de este sensor se leen decimas de volt. Con una ganancia

de 10 en el amplificador de instrumentación los valores llegan a unidades de volt. Con las que se trabajó.

#### **4.9.2. Humedad relativa**

Según Malca (2001), La humedad relativa conveniente para la lechuga es del 60 al 80%. Los problemas que presenta en invernadero es el exceso de humedad ambiental, por lo que recomienda cultivarlo en el exterior, siempre que las condiciones climatológicas lo permitan. La humedad relativa (HR) del aire en el invernadero influye en el grado de transpiración de las plantas. Una alta HR en el aire hace que transpiren menos las plantas, lo que reduce el transporte de nutrientes desde las raíces a las hojas y un menor enfriamiento de la superficie de las hojas; una humedad alta también puede ocasionar enfermedades de las hojas. Este factor estuvo fuera de control sin embargo con las medidas de humedad relativa tomadas en la estación meteorológica de la UNU se deduce que este factor estuvo cerca según época de cultivo.

#### **4.9.3. CO<sub>2</sub>**

Según Malca (2001), la concentración de CO<sub>2</sub> en el aire del invernadero influye directamente en la cantidad de fotosíntesis de las plantas. Una concentración normal del CO<sub>2</sub> al aire libre es alrededor de 350 mg l<sup>-1</sup>. Las plantas en un invernadero cerrado durante un día de sol puede reducir la concentración a 100 mg l<sup>-1</sup>, lo cual reduce seriamente el grado de fotosíntesis. En invernadero, aumentar la concentración de CO<sub>2</sub> de 1000 a 1500 Según Malca (2001), acelera el crecimiento. El CO<sub>2</sub> se

provee añadiendo CO<sub>2</sub> líquido. El ajuste recomendado para lechuga es de 1000 mg l<sup>-1</sup> cuando hay luz disponible para la fotosíntesis y 350 mg l<sup>-1</sup> durante las horas de oscuridad. Este factor estuvo fuera de control. Solo se contó con el CO<sub>2</sub> atmosférico en forma natural.

#### 4.9.4. Iluminación

Según Malca (2001), la iluminación se mide con un sensor cuántico, el cual mide la radiación activa fotosintética (RAF) en unidades de micromoles/m<sup>2</sup>/seg. RAF es la luz que permite a las plantas llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. Las medidas de RAF brindan una idea del ritmo de fotosíntesis y crecimiento que está teniendo la planta. Ajuste recomendado para lechuga es 17 moles/m<sup>2</sup>/seg. Como combinación de luz solar y suplementaria. El registro de este factor nos indica las condiciones de luz que hubo en el transcurso del experimento.

El sensor de la luminosidad utilizado fue **Tempt6000**, en este caso la ganancia fue de 1 porque el sensor trabaja en un rango de 0-5[V], consideramos un buen voltaje de trabajo.

#### 4.9.5. Oxígeno disuelto

Según Malca (2001), la medida del oxígeno disuelto indica la cantidad disponible en la solución nutritiva del estanque para que las raíces lleven a cabo la respiración. La lechuga crece satisfactoriamente, en un nivel de oxígeno disuelto de por lo menos de 4 mg l<sup>-1</sup>. Si no se añade oxígeno al estanque, los niveles de oxígeno disuelto caerán hasta prácticamente 0 mg l<sup>-1</sup>. La falta de oxígeno en la solución nutritiva detendrá el proceso de

respiración y dañará seriamente la planta. El oxígeno puro se añade al sistema de recirculación de los estanques. Generalmente el nivel se mantiene en 8 mg l<sup>-1</sup>. Ajuste recomendado para lechuga es por encima de 4 mg l<sup>-1</sup> (ppm).

Por otro lado Rodríguez *et al.* (2001), indica que la falta de oxigenación produce la fermentación de la solución, dando resultado la pudrición de la raíz, originada sin la aparición de microorganismos. Una raíz sana y bien oxigenada debe ser blanquecina, de lo contrario esta se torna oscura debido a muerte del tejido radicular. En el caso del experimento las raíces se mantuvieron blanquecinas.

La oxigenación puede ser manual, agitando la solución con la mano por algunos segundos por lo menos dos veces al día, cuando las temperaturas son altas se requiere una mayor oxigenación, pudiendo agitarse con más frecuencia o mediante una compresora, inyectando aire durante todo el día (Hoyos *et al.* 2002).

### Inspecciones técnicas

**Ilustración 308:** Cama de cultivo del semi automatizado (izquierda) y contenedores del sistema no automatizado o raíz flotante (derecha)



**Ilustración 309:** Ulises inspeccionando las camas de cultivo automatizado





**Ilustración 310:** Lechugas Great Lake sobre los contenedores en sistema NFT



**Ilustración 311:** Lechugas Great Lake en el sistema raíz flotante



**Ilustración 312:** Raíces de lechuga en el sistema raíz flotante



La Lechuga Great Lakes en condiciones óptimas ambientales es de cabeza grande, color verde oscuro, hojas muy firmes, de gran adaptabilidad. Bajo las condiciones dadas al cultivo en el presente experimento no formó cabeza.

#### **4.10. Enfermedades y patógenos**

Según Malca (2001), si la solución es muy fría, la tasa metabólica de la raíz baja y la absorción de nutrientes también, esto trae un efecto de retardo en el crecimiento de la planta por debajo de lo deseado. Existen problemas cuando la temperatura es muy alta y esto afecta la absorción mineral, si la temperatura es mayor a 30°C el crecimiento será afectado, un cultivo de lechuga donde la solución tenía 39°C (102°F) y aunque no lucían muy

brillantes todavía estaban vivas. Una solución que es muy fría tiene un efecto más perjudicial que una con temperatura un poco elevada. Aparte de los efectos directos sobre el sistema radicular, la temperatura es importante ya que determina la cantidad de oxígeno que puede estar disuelto dentro de la solución. El agua o una solución nutritiva fría pueden disolver más oxígeno que el agua o una solución caliente, ya que la cantidad total de oxígeno disuelto puede estar limitada y en el mejor de los casos, es importante mantenerlo en un punto alto. Es posible asfixiar ("ahogar") las raíces si no hay suficiente oxígeno disuelto en la solución.

Otra razón por la cual la solución debe estar bien oxigenada es por los patógenos (organismos que causan enfermedades). La enfermedad más común en hidroponía es el Pythium. Este hongo inicialmente torna las raíces marrones, conforme la enfermedad progresa las raíces mueren y se rompen. La mejor forma de saber si la planta tiene Pythium es coger la raíz y darle un suave tirón, si la raíz se separa tiene Pythium y las plantas no tendrán una buena producción. Un factor común en la mayoría de las infestaciones es el bajo nivel de oxígeno disuelto en la solución nutritiva; fácil de corregir. Una bomba de pecera con piedra porosa (un método económico y efectivo) asegura que la solución esté saturada de oxígeno disuelto. Con el sistema NFT, la solución cae desde las mesas al tanque, esta acción es suficiente para oxigenar la solución. Existen productos, como Oxyplus (excelentes oxigenadores), una solución fuerte de peróxido de hidrógeno que se rompe en oxígeno y agua. Durante este proceso existe otra forma de oxígeno producido (ion oxígeno) que eliminará a los patógenos tales como el Pythium, es excelente para obtener oxígeno en

sistemas estáticos o no re-circulantes donde la carencia de oxígeno es un problema.

#### 4.11. Ergonomía

Entre las desventajas para Ucayali se mencionan al costo de las instalaciones. A continuación se presenta un análisis comparativo de entre los sistemas hidropónicos.

**Tabla 55:** Comparativo entre técnicas hidropónicas

	<b>NO AUTOMATIZADO - RAIZ FLOTANTE</b>	<b>SEMI AUTOMATIZADO - NFT</b>	<b>AUTOMATIZADO - NFT</b>
Necesidad de oxigenación de la solución nutritiva. (De no ser atendidas adecuadamente las raíces podrías sufrir asfixia, y causar marchitez.)	Es mayor y esta puede hacerse de forma manual o instalando oxigenadores en los contenedores.	Oxigena al desplazarse de un lugar a otro, automáticamente accionando válvulas, abasteciendo con aire al medio mediante un dispositivo.	Oxigena al desplazarse de un lugar a otro, agita en forma automática a la solución, abasteciendo con aire el medio no requiere mano de obra.
Control de las variaciones de temperatura del medio líquido	Es más difícil	Es más fácil mediante la aireación de la solución	Es más fácil mediante la aireación de la solución
Hay un control completo, estable y preciso de nutrientes para todas las plantas	Fácil. Hay un buen control de pH, con facilita realizar muestras y ajustes en forma manual.	Fácil. Hay un buen control de pH y CE facilita para realizar muestras y ajustes en forma manual.	Fácil. Hay un buen control de pH y CE facilita realizar muestras y ajustes en forma automatizada.
Stress hídrico, si no se mantiene en condiciones adecuadas la CE y la luz.	No existe	No existe solo si la energía eléctrica se va y por largo tiempo(no circula la solución nutritiva).	No existe solo si la energía eléctrica se va intempestivamente y por largo tiempo.

Adición de agua y fertilizantes, regular la CE, pH y nitrógeno.	Manual	Manual	Automática
Consumo de energía eléctrica, funcionamiento en caso de ausencia y luego retorno.	Sí, no depende de ella. No requiere para su funcionamiento	Cuando se va la energía eléctrica para reactivar el sistema hay que accionar un botón, para el funcionamiento de la bomba que hará circular los nutrientes	Requiere para accionar la bomba para hacer circular los nutrientes y para el control de todo el sistema. Cuando se va la Energía eléctrica y retorna se prende solo.
Se debe cambiar toda la solución para garantizar un buen balance de nutrientes, pH y CE	Si	No	No
Contaminación ambiental por residuos de solución nutritiva.	Es mayor	Es menor	Es menor
Costos de instalación y complejidad	Baja.	Media.	Alta, requiere conocimientos y equipos informáticos, eléctricos y electrónicos.
Permiten una absorción más homogénea de nutrientes por las raíces	Si	No, la absorción es menos eficiente y homogénea que en el sistema de raíz flotante;	Si pero mayor que en el sistema semi automatizado.
Pérdida de agua por lavado y evaporación	No existe o es menor que en semi automatizado y automatizado.	Existe pérdida de agua por evaporación.	Existe pérdida de agua por evaporación.
Soporte de la planta	Utiliza un flotador.	Son fijas en un vaso o tubete.	Son fijas en un vaso o tubete.
Mano de obra (instalación)	Baja	Media o semi calificada	Calificada
Mantenimiento	Medio	Medio	Bajo
Monitoreo remoto	No	No	Si

El potencial productivo de la lechuga es mucho mayor que la obtenida en el presente experimento, la *Lactuca sativa* es una planta anual propia de las regiones semi-templadas, que se cultiva con fines alimentarios. Debido a las muchas variedades que existen, y a su cultivo cada vez mayor en invernaderos, se puede consumir durante todo el año. Normalmente se consume cruda, como ingrediente de ensaladas y otros platos. Los principios amargos, principalmente la lactucina y la lactucopicrina de la especie *Lactuca virosa* L., presentan efectos neurosedantes (Vólák y Stodola, 1990). Según reporte de la Universidad Peruana Cayetano Heredia (2013), la lechuga puede producir 31,3 t/ha, con 10 cosecha por año da un rendimiento de 313 t/ha en cambio en el sistema de cultivo en suelo por año sería de 52 t/ha/año.

#### **4.12. Consideraciones generales sobre los sistemas hidropónicos**

Del Cultivo hidropónico: previamente se prepararon las soluciones stock con las sales minerales que contienen los elementos esenciales para el desarrollo del cultivo, estas soluciones stock fueron utilizadas en la preparación de la solución nutritiva de acuerdo a las necesidades nutricionales de las plantas en un recipiente a partir del cual se va a distribuir a las plantas de acuerdo a las instalaciones hechas para el crecimiento de las plantas y el modelo o sistema hidropónico, NFT o raíz flotante. Tanto el control de la solución stock como el control de la solución nutritiva se realizaron en forma automática por medio de un ordenador y sensores que medirán la concentración de sales en la solución nutritiva, el pH, la conductividad eléctrica. La luminosidad y la temperatura en este caso se

registraron para referir las condiciones en que se desarrolló el cultivo. Se contó con equipos informáticos, válvulas, solenoides, switch, relojes controladores, según el caso lo requería. Luego de puesta en marcha el experimento resultó el sistema automatizado el más cómodo en ocupar mano de obra.

#### **4.13.1. Sistema hidropónico de raíz flotante**

Según Rodríguez *et al.* (2004), mencionan que de todos los métodos de cultivo sin suelo, el cultivo en agua, por definición, es el auténtico cultivo hidropónico. El sistema de raíz flotante fue uno de los primeros sistemas hidropónicos que se utilizó a nivel experimental, como a nivel de producción comercial, el cual maximiza la utilización del área de cultivo. En este tipo de sistema hidropónico, las plantas están soportadas en una plancha de Isopor, duroport o tecnopor, perforada para permitir el paso de las raíces hacia el medio líquido (solución nutritiva). Entre las hortalizas aprovechables por sus hojas cultivadas de esta forma son: Lechuga, albahaca, apio, debido a que estos cultivos tienen la capacidad de adaptar sus raíces al medio líquido, absorbiendo eficientemente los nutrientes y el oxígeno disuelto en la solución nutritiva.

Este sistema ha sido probado en diferentes lugares del mundo con fines comerciales y su funcionamiento sigue vigente hasta la actualidad. A nivel comercial se realizaron una serie de mejoras fundamentales relacionadas principalmente al factor limitante que es la oxigenación del medio de cultivo. La principal técnica comercial es la técnica de flujo profundo (DFT, Deep flow Technique), donde planchas de tecnopor flotan

sobre una solución nutritiva aireada frecuentemente a través de una compresora.

Cabe afirmar que esta técnica permite optimizar el crecimiento y desarrollo del cultivo, logrando reducir su período vegetativo con bajo consumo de agua. Además de la obtención de plantas saludables y libres de enfermedades lo cual genera importantes ventajas de tipo sanitario. Asimismo permite aprovechar áreas pequeñas.

La solución nutritiva debe renovarse cada 2 o 3 semanas. Los macronutrientes son consumidos más rápido por las plantas de mayor edad. La renovación de la solución nutritiva a su vez permitirá realizar una buena limpieza del tanque. Así mismo, se sugiere una desinfección preventiva y periódica de los recipientes de cultivo, tuberías y accesorias con hipoclorito de sodio (lejía) 10% después de cada cosecha. Se hace recircular una solución de lejía por 30 minutos y luego enjuagar con agua. Si la Cosecha es escalonada cerrar el ingreso de la solución nutritiva por el canal cosechado y luego canalizar la limpieza y desinfección.

#### **4.13.2. Sistema hidropónico NFT**

Para el control del sistema, se utilizó la misma solución que para los sistemas raíz flotante, automatizado y semi-automatizado, la diferencia estuvo en que cada sistema tuvo requerimientos diferentes.



En el sistema automatizado las variables del sistema son controladas y supervisadas por el software requiriéndose de configuraciones del Sistema.

**Tabla 56:** Antecedentes del sistema NFT

Historia	El pionero de la técnica NFT fue Allen Cooper, en el Glass house Crops Research Institute, en Littlehampotn (Inglaterra), en 1965.
El término NFT (Nutrient Film Technique)	Fue utilizado en dicho instituto para remarcar que la profundidad del flujo del líquido que pasaba a través de las raíces de las plantas debía ser muy pequeño (laminar), para que de esta forma siempre pudiera disponer oxígeno necesario.
Otros trabajos	Llamaron a esta técnica “técnica de flujo de nutrientes”, puesto que la solución de nutrientes circula de forma continua, también llamado sistema recirculante. Este sistema es mayormente utilizado para cultivos comerciales de lechuga y hierbas (Schippers, 1979; Carrasco e Izquierdo, 1996).

▪ **Hidroponía Semi automatizada (sistema NFT)**

Es un sistema complejo, pero muy eficaz para la producción a gran escala. La cantidad del líquido que fluye por las raíces de la planta debe ser poco; es decir, que apenas toque las raíces y el tallo de la planta; para ello es importante que los canales sean de estructura rectangular. El choque constante del fluido en las raíces impulsa a la planta a crecer más rápido, lo cual acorta el ciclo de cultivo, haciéndolo altamente rentable (Alpizar, 2004).

NFT es una técnica de cultivo en agua en la cual las plantas crecen teniendo su sistema radicular dentro de un tubo de plástico, a través del cual circula continuamente la solución de nutrientes (Rodríguez *et al.* 2004). Simplifica el sistema de riego, elimina la esterilización del suelo y asegura una cierta uniformidad en los nutrientes de las plantas, es recomendado para la producción de cultivos. En esta técnica tanto el agua como los nutrientes se regulan para que la planta se desarrolle adecuadamente. Se realiza el balance de la solución nutritiva, así como la regulación de pH, conductividad eléctrica, temperatura, humedad para optimizar la producción en función de las condiciones ambientales.

**Tabla 57:** Elementos constituyentes del sistema NFT según Cooper (1996)

<b>Tanque colector</b>	Elemento encargado de almacenar el drenaje procedente de los canales de cultivo que escurre hasta aquél por gravedad, por lo que resulta conveniente que se encuentre en la parte más baja de la explotación. El material de fabricación puede ser polietileno, PVC o fibra de vidrio, aunque también puede ser de metal tratado interiormente con pintura epóxica.
<b>Bomba de impulsión</b>	Se encarga de verter la solución del tanque colector en el extremo superior de los canales de cultivo. Dado que normalmente la diferencia de cotas a superar es pequeña el requerimiento de potencia resulta mínimo, aunque hay que tomar en cuenta que funcionará permanentemente, durante un largo período de tiempo, por lo que debe integrar componentes sólidos y de calidad.
<b>Tuberías de distribución</b>	Son las encargadas de conducir la solución nutritiva desde el tanque hasta la parte superior de los canales de cultivo. Serán de PVC o polietileno y su diámetro estará en función del caudal que deba circular por ellas, teniendo en cuenta que debe existir un caudal por cada canal de 2-3 litros por minuto para

	así establecer una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes.
<b>Canales de cultivo</b>	Constituyen el medio de sostén de las plantas y además la base sobre la que fluye la solución nutritiva. Dado que es necesario que la altura de la lámina de agua en el interior del canal no supere los 4 o 5 milímetros con el fin de conseguir una adecuada oxigenación de las raíces.
<b>Tubería colectora</b>	Es la que se encarga de recoger la solución nutritiva al final de los canales de cultivo y llevarla hasta el tanque colector por gravedad. Suele ser de PVC y debe tener una pendiente suficiente para asegurar la evacuación.

En lo que se refiere a su volumen del tanque colector, este está determinado por la superficie de cultivo. En muchas instalaciones la capacidad del tanque sólo representa el 10 y el 15 % del volumen total de solución que circula en el sistema, ya que el resto se encuentra contenido en las tuberías y canales. Sin embargo, cuando se realiza riego intermitente, el volumen disponible tiene que ser bastante mayor para acumular toda el agua en el momento de parada.

El tanque colector debe incorporar una boya que cierre la tubería de aporte de agua exterior al sistema, con el fin de mantener constante el nivel en el depósito y evitar su desbordamiento. De este modo, al producirse el consumo hídrico por parte del cultivo y bajar dicho nivel, a su vez descenderá la boya, permitiendo así que entre agua del exterior a la instalación.

En cuanto a la aplicación de fertilizantes, esta se realiza directamente al tanque a partir de unos depósitos de solución madre tomando en cuenta el contenido de nutrientes, la conductividad eléctrica y el pH de la solución que se aporta al cultivo.

Con el fin de hacer frente a las posibles averías de la bomba o fallos en el suministro eléctrico resulta conveniente instalar en paralelo un equipo de bombeo adicional, que entre en funcionamiento en caso de ser necesario. Resulta muy conveniente utilizar canales de cultivo de sección plana y no cóncava. En lo que se refiere a su longitud, esta no debe superar los 15m para asegurar unas condiciones adecuadas homogéneas en todo el canal y evitar la falta de oxígeno disuelto en la parte final del mismo. Por último, la pendiente longitudinal debe estar entre 1 y 2%, ya que, si resulta inferior, queda dificultado el retorno de la solución al tanque colector, y la altura de la lámina de agua puede ser excesiva. Por otro lado no es conveniente que sea mayor del 2%, ya que entonces se dificultaría la absorción de agua y nutrientes, especialmente cuando las plantas son pequeñas, por una excesiva velocidad de circulación de la solución en el canal.

- **Hidroponía automatizada (Sistema NFT)**

Hasta el presente, **la hidroponía** en Sudamérica, se conceptualiza como una tecnología específica para regiones con carencias de suelo y/o agua o con exceso de frío o calor, o donde las condiciones ambientales naturales inhiben el crecimiento vegetal, todo un marco conceptual, que se ha constituido la principal barrera mental para el desarrollo de la hidroponía en Sudamérica. Sin embargo en países altamente desarrollados, como Japón, Estados Unidos, Canadá, España, Holanda, Israel, China entre otros, es una actividad de altísimo rendimiento, que aparte de tener carácter complejo y sofisticado como cuando es usado

para viajes al espacio exterior del planeta o en la Antártida es usado con fines comerciales y sociales utilizando la técnica incluso a nivel familiar, escolar, de personas con discapacidad o de la tercera edad, a quienes también conviene la automatización.

En la actualidad se han desarrollado diversas modificaciones de este sistema, manteniendo el principio de la circulación de la solución nutritiva, bajo condiciones controladas (invernaderos) o al aire libre. Y se producen diversas variedades de lechuga. Aunque también se cultiva albahaca, tomate, pepino, y melón.

Según Malca (2001), la principal ventaja del sistema recirculante es la significativa reducción del consumo de agua y nutrientes para el número de plantas que se quiere producir, además requiere menos mano de obra, se anticipa la cosecha debido a un acortamiento del período de desarrollo del cultivo, se observa una mejor calidad del producto. Entre las desventajas del sistema se menciona el costo inicial relativamente elevado, se requiere un conocimiento técnico efectivo sobre el sistema, existen riesgos de pérdida por falta de energía eléctrica, una contaminación por patógenos en el agua puede afectar todo el sistema y requiere un control permanente y estricto del funcionamiento del sistema y de la solución nutritiva. Una modificación de este sistema hidropónico con buenos resultados es cuando permite mantener una capa de solución nutritiva en los canales de cultivo durante el tiempo que ésta no circula. Es decir, la circulación de la solución nutritiva puede no ser constante sino intermitente, por períodos de 15 minutos cada hora; lo cual permite un

ahorro considerable de energía eléctrica. En un área de aproximadamente 50m<sup>2</sup> se producen 1450 lechugas (equivalente a 29 lechugas por m<sup>2</sup>).

La tecnología informática se incorpora al sistema como parte integral de la producción hidropónica. Se utilizan sensores para monitorear los parámetros ambientales del invernadero, como temperatura del aire y de la solución nutritiva, la humedad y concentración del dióxido de carbono en el aire, la intensidad de la luz, entre tanto en la solución nutritiva se monitorea la composición de los nutrientes, el pH, los niveles de Oxígeno disuelto, la conductividad eléctrica entre otros.

En cuanto a la inyección de fertilizantes, esta se realiza directamente al tanque a partir de unos depósitos de solución madre en base a las lecturas tomadas por unas sondas que controlan la conductividad eléctrica y el pH de la solución que se aporta al cultivo al tanque hasta que de esta forma, unas electroválvulas permiten la caída por gravedad de los fertilizantes, y las lecturas se igualan con las consignas introducidas en el equipo electrónico encargado de controlar la apertura y cierre de dichas electroválvulas. También se pueden utilizar bombas inyectoras para incorporar las soluciones madres.

Tuberías de recolección, recoge la solución nutritiva desde los canales de cultivo y la lleva de retorno hacia el tanque, la solución desciende por gravedad oxigenándose cuando desemboca con mayor desnivel de la solución nutritiva del tanque.

Los canales de cultivo o contenedores, permiten el desarrollo del sistema radicular del cultivo, estos no deben exceder de 15m de largo, puede

producirse una insuficiente oxigenación. Además de mayor longitud son más difíciles de manejar durante la cosecha y la limpieza. Los canales más estrechos son aptos para plantas pequeñas como la lechuga mientras que los más anchos son apropiados para cultivos como tomate y pepinos, para evitar que la densa masa de raíces impida la circulación de la solución nutritiva. Los tubos de PVC de 3" de diámetro presentan en su caya superior agujeros de 1" de diámetro, con una distancia entre sus centros de 18cm o lo suficiente para el cultivo de lechugas, también se utiliza tubos de 4" cortados por la mitad a todo lo largo cubiertos con planchas de poliuretano expandido (termopor) perforadas. Los canales deberán tener una pendiente de 2%, desde la parte más alta del canal descenderá a través de los canales hasta salir de éstos y retornar al tanque; pendientes superiores dificultan la absorción de agua y nutrientes y pendientes inferiores impiden el retorno adecuado de la solución nutritiva al tanque. La forma del canal determina la altura de la película de solución nutritiva, si los canales con sección cóncava, no permiten la obtención de una fina película circulante, entonces se recomienda el uso de canales de sección rectangular.

Para este tipo de sistema normalmente se requieren electrobombas con motores de pequeña potencia para su acondicionamiento entre 0,5 HP o 1,0 HP. El flujo de solución nutritiva debe ajustarse en aproximadamente 2-3 l/min. Este caudal permite una oferta adecuada de oxígeno, agua y nutrientes. Para cultivos de mayor desarrollo radicular este flujo debe ser superior. Ya que la masa de raíces que se forma impide el paso de la solución nutritiva. El tiempo de funcionamiento de la electrobomba puede

ser controlado a través de un reloj temporizador o timer, para los flujos intermitentes. También pueden instalarse sistemas de protección ante posibles fallas de la energía eléctrica como un grupo electrógeno.

Con respecto a las bombas y sensores para hidroponía, la bomba se puede definir como una turbo máquina, usada para transformar la energía mecánica en hidráulica. Se emplean para bombear toda clase de líquidos. Un sistema de bombeo puede definirse como la adición de energía a un fluido para moverse o trasladarse de un punto a otro. La selección de una bomba busca un rendimiento alto, velocidad específica, tamaño del impulsor, velocidad de operación, ahorro de energía, que produzca la recirculación mínima segura.

Los sensores son dispositivos que detectan manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos o químicos, llamadas variables de instrumentación, como la temperatura, intensidad luminosa, distancia, inclinación, desplazamiento, presión, fuerza, torsión, humedad, pH, conductividad eléctrica y otras . Y convierte estos fenómenos físicos o químicos en un cambio de alguna de las siguientes variables, por ejemplo: resistencia eléctrica, capacidad eléctrica, tensión eléctrica, corriente eléctrica, entre otros.

La diferencia de un sensor respecto a un transductor, es que el sensor esta siempre en contacto con la variable a medir o a controlar. Recordando que la señal que nos entrega el sensor sirve para medir la variable, y también para convertirla mediante en circuitos electrónicos en una señal estándar (4 a 20 mA, o 1 a 5VDC) para tener una relación lineal con los cambios de la variable censada dentro de un rango (span),



para fines de control de dicha variable en un proceso. Puede ser un dispositivo que aprovecha una de sus propiedades con el fin de adaptar la señal que mida para que la pueda interpretar otro dispositivo. Por ejemplo el termómetro de mercurio que aprovecha la propiedad que posee el mercurio de dilatarse o contraerse con la acción de la temperatura.

**Tabla 58:** Componentes del sistema automatizado

<b>Semillas</b>	Del tipo de lechuga a sembrar, preparación de las plántulas; escogida la especie con que se va a trabajar se hace germinar en medio lo más aséptico posible.
<b>Sustrato y soporte</b>	Medio de cultivo donde se agregan los nutrientes y soporte para la planta. Para hidroponía a diferencia de la tierra, el sustrato no aporta ningún elemento a la nutrición de la planta o sea es un material inerte que puede ser líquido como el agua o sólido como la grava o arena lavada. Los soportes para raíz flotante son el tecnopor o isopor y la esponja.
<b>El tanque</b>	Almacena la solución nutritiva y su elección determinada por el material del que está construido, también por el número de plantas que se pretende cultivar. Además se deberán considerar las necesidades fisiológicas del cultivo en particular y la época del año. Puede ser de asbesto, fibra de vidrio, cemento, PVC, u otro material cuidando que en su estructura no contenga elementos tóxicos; protegido de la radiación solar para evitar el desarrollo de algas. La tapa debe ser de fácil remoción y debe facilitar el ingreso del tubo colector, para el retorno de la solución nutritiva (Pérez, 1998).
<b>Contenedores</b>	De madera, canaletas de fibra de vidrio y PVC, recipiente donde se va colocar el cultivo, tubería de PVC, y otros. Permite el paso de la solución nutritiva. Está conformado por: tuberías de distribución de la solución nutritiva hacia los canales de cultivo o contenedores, la dimensión de estos depende del volumen que transportarán a través del sistema.
<b>Ambiente</b>	el espacio donde se mantiene al cultivo. En este caso puede ser o no controlado, semi-controlado como en un invernadero, pero también se puede cultivar al aire libre como en una azotea o en un patio, procurando sembrar las hortalizas en la estación adecuada del año.
<b>Bombas</b>	La electrobomba tiene la función de impulsar la solución nutritiva desde el tanque hacia los canales de

	cultivo a través de las tuberías de distribución. Estas deben localizarse cerca al tanque y deben instalarse a un nivel superior de este.
<b>Equipos de control</b>	Sensores, válvulas solenoides, hardware y software, base de datos.

#### 4.13. Prueba de hipótesis

##### 4.13.1. Hipótesis general

“La aplicación de software mejora el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de N, pH y EC en Pucallpa”

##### 4.13.2. Explicación del cuadro de valores de indicadores del N, pH y CE

En este presente experimento se aplicó la correlación de las variables N, pH y conductividad eléctrica para ver si la magnitud de una depende de la magnitud de otra, se refiere a las mismas como a las variables independientes y dependientes.

Se encontró correlación de que cuando una variable se incrementa así lo hace la otra variable como el caso de nitrógeno con la conductividad eléctrica que está más relacionado que el pH, a esto en estadística recibe el nombre de correlación directa o positiva. En el caso del incremento de una variable acompañado de la disminución de otra (no se dio en el presente experimento) que vendría a ser una correlación inversa o negativa.

Según la hipótesis general sí es posible controlar el pH aunque no haya mucha correlación entre el nitrógeno y la conductividad eléctrica.

Los valores sobre la escala horizontal o abscisa son los rangos de valores de la variable independiente.

Los valores sobre la escala vertical u ordenada corresponden a los valores de la variable dependiente.

La representación gráfica de los datos es el punto de partida muy útil para la realización del análisis de correlación. Resultó útil estudiar la correlación entre pares de mediciones entre la misma variable.

En este experimento no hemos referido a la correlación como la idea general de dos variables relacionadas en alguna forma definida no ha habido mucho de matemáticas o estadística. La simple observación de las tres variables están relacionados y nos revelan una mejora del control del balance de la solución nutritiva y que tan estrechamente relacionadas se encuentran las variables.

El procedimiento consiste en determinar en primer lugar una tabla de rango de valores, la cual nos permite ubicar valores cuantitativos de los indicadores.

Posteriormente realizamos la comparación de valores entre indicadores de acuerdo al diseño de contrastación; esta comparación nos permite finalmente aceptar o rechazar la hipótesis de acuerdo a la estadística.

Todo por 2 épocas de cosecha con 4 repeticiones respectivamente, totalizando 8 unidades experimentales; considerando la unidad experimental como el peso promedio de 10 plantas de lechuga obtenidos en cada contenedor.

#### 4.13.3. Supuestos de la prueba de hipótesis

1. Los datos muestrales en el presente trabajo de investigación se utilizó el Diseño Completamente Randomizado (DCR), con 3 tratamientos y 4 repeticiones por tratamiento teniendo 12 unidades experimentales, así mismo evaluamos los 3 principales indicadores relevantes para la prueba de hipótesis que son el nitrógeno, pH y la conductividad eléctrica.
2. La hipótesis nula  $H_0$  es la negación de la relación existente entre la variable independiente y la variable dependiente y la hipótesis  $H_a$  es la afirmación correspondiente.
3. Se utilizó el **95%** del nivel de confiabilidad y **5%** del nivel de significancia.
4. Se acepta la hipótesis nula o se rechaza y se acepta la hipótesis alterna  **$H_a$** .

#### 4.13.4. Cálculo del valor crítico y la función de prueba

Para la prueba de promedios se utilizó la prueba de Tukey  $\alpha = 0,05$ .

Para los datos de los sensores se adecuó los niveles de voltaje captados por los sensores y llevados al PLC quienes lo transmitían a una computadora que colectaba los datos en forma digital, tales datos

fueron transformados a nivel de N, PH, CE y para una correcta interpretación, de acuerdo a lo siguiente:

Después de analizar Los valores máximos y mínimos registrados se equipararon con los valores máximos y mínimos de la lectura patrón leído con los respectivos instrumentos como medidor de nitrato en ppm, pHchímetro, conductímetro en mS/cm y donde a era el valor máximo leído por el PLC dividido entre, b el valor mínimo leído por el PLC, igual al valor máximo del parámetro según instrumentos, dividido entre el valor mínimo leído por los instrumentos en la solución nutritiva.

$$x = V_{MI} - \frac{(V_{MI} - V_{mi})(V_{MPLC} - V_{iPLC})}{V_{MPLC} - V_{mPLC}}$$

Dónde:

$x$  : Valor Ajustado equivalente

$V_{MI}$  : Valor máximo medido con instrumento

$V_{mi}$  : Valor mínimo medido con instrumento

$V_{MPLC}$  : Valor máximo leído por PLC

$V_{iPLC}$  : Valor intermedio leído por PLC

$V_{mPLC}$  : Valor mínimo leído por PLC

Para los análisis Nutrientes, pH, conductividad eléctrica, temperatura e intensidad de luz se utilizaron técnicas de muestreo y correlación lineal.

**Tabla 59:** Modelo estadístico

---


$$Y_{ij} = U + T_i + E_{ij}$$

$Y_{ij}$  = Cualquier observación en estudio.

$U$  = Media general.

$T_i$  = Efecto del  $i$  – ésimo tratamiento en estudio.

$E_{ij}$  = Error o residual.

---

### Esquema del análisis de variancia

**Tabla 60:** Análisis de variancia sistemas.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>
Tratamientos	2
Error	9
<b>TOTAL</b>	<b>11</b>

**Tabla 61:** Análisis de variancia de épocas de cosecha.

<b>F.V.</b>	<b>G.L.</b>
Tratamientos	5
Error	18
<b>TOTAL</b>	<b>23</b>

**Tabla 62:** Las características de la parcela experimental

<b>Característica</b>	<b>Unidades</b>
Número de tratamiento (Sistemas)	3
Número de Veces cultivadas (tratamiento)	6
Número de repeticiones (contenedores)	4
Número de plantas por unidad experimental	10
Número total de plantas por m <sup>2</sup>	24
Número de unidades experimentales para sistemas de cultivo	12
Número de unidades experimentales para veces cultivadas	18

Después de analizar las diferencias entre los tres sistemas hidropónicos, se puede concluir que no hay diferencias significativas en los resultados de producción de lechuga bajo sistemas hidropónicos. Sin embargo si hay una mejora al aplicar software.

#### **4.13.5. Resultados producción de lechuga bajo sistemas hidropónicos**

##### **Peso fresco por planta**

Los resultados de peso fresco de lechuga por planta, por fechas, bajo tres sistemas hidropónicos se muestran la siguiente tabla.

**Tabla 63:** Peso fresco de lechuga Great Lake en g por planta en tres sistemas hidropónicos en diferentes fechas de cosecha

Sistema hidropónico	cama	Cosecha por fechas	
		18/03/14	23/06/14
Automatizado	1	120,04	128,57
	2	120,89	129,44
	3	121,05	127,25
	4	120,38	127,26
<b>Promedio</b>		120,59	128,13
Semi Automatizado	1	121,22	126,16
	2	119,76	124,62
	3	121,09	125,46
	4	121,17	125,19
<b>Promedio</b>		120,81	125,36
No automatizado (raíz flotante)	1	129,90	139,63
	2	130,63	138,77
	3	130,40	139,51
	4	130,17	139,78
<b>Promedio</b>		130,27	139,42

**Tabla 64:** Análisis de variancia del peso fresco de lechuga

F.V	GL	SC	CM	VALOR F	Pr>F
Shidrop	2	666.821108	333.41055	665.26	<.0001***
Error (a)	9	4.510575	0.501175		
Fecha	1	300.61682	300.61682	850.46	<.0001***
Shidrop*Fecha	2	21.799408	10.899704	30.84	<.0001***
Error (b)	9	3.181275	0.353475		
Total	23				
R-Square 0.996809; C.V. = 0.466557; Media = 127.4308					
*** Altamente significativo (P< 0.001)					

Shidrop (sistema hidropónico).

Rendimiento de peso fresco (g/cama)

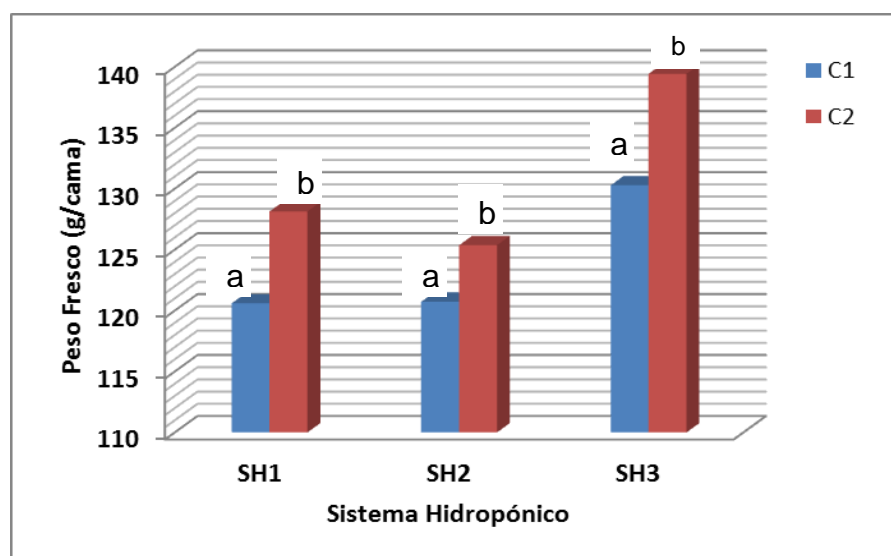
El análisis de variancia del peso fresco de lechuga expresado en gramos por cama, muestra diferencias altamente significativas (P<0.01) entre el



sistema hidropónico, las fechas de cosecha ( $P < 0.01$ ) y la interacción sistemas hidropónico por fecha de cosecha ( $P < 0.01$ ); con coeficiente de determinación  $R^2 = 0.9968$ ; coeficiente de variabilidad de 0.466 por ciento y media general de 127.4308 gramos por cama.

La prueba de comparación de promedios de Tukey ( $P < 0.05$ ), muestra que el sistema hidropónico No automatizado (Raíz flotante) con 134.8488 gramos por cama, fue superior al Automatizado que produjo 124.36 gramos por cama y al Semi-automatizado cuyo rendimiento fue 123.0838 gramos. En relación al momento de la cosecha, se observa que la cosecha 2 o segunda cosecha rindió 130.97 gramos por cama, siendo mayor ( $P < 0.05$ ) a la cosecha 1 o primera cosecha, en el que el peso fue 123.8917 gramos por cama.

**Ilustración 313:** Rendimiento de lechuga en peso fresco por sistema hidropónico (SH1: automatizado, SH2: semi-automatizado y SH3 no automatizado) en dos fechas de cosecha (C1 y C2).



Letras iguales sobre las barras, no presentan diferencias, según la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ )

### Peso seco por planta

Los resultados obtenidos para la variable peso seco por fechas bajo tres sistemas hidropónicos utilizados se muestran en el cuadro 19. Comprende solo a la parte aérea.

**Tabla 65:** Respuestas de los sistemas hidropónicos sobre el peso seco en g por planta.

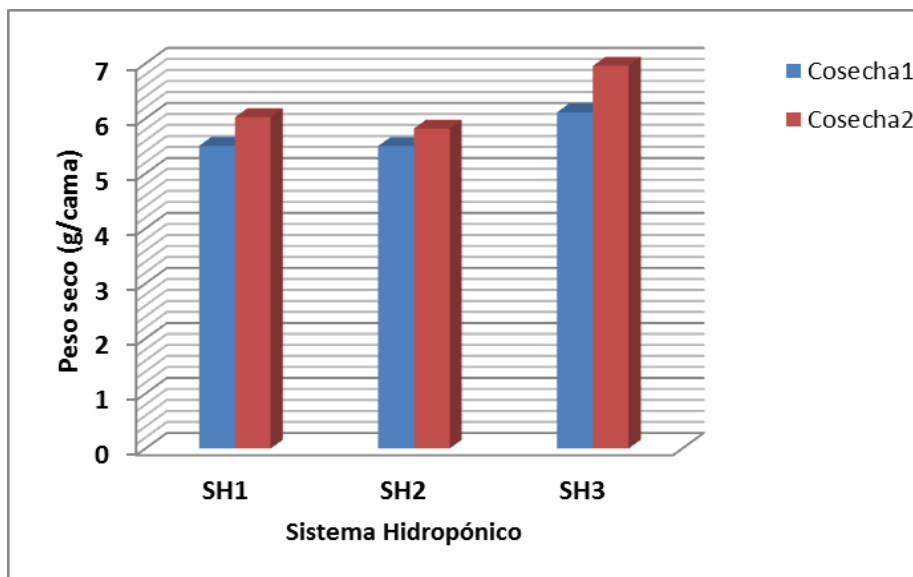
Sistema hidropónico	cama	Cosecha por fechas	
		18/03/14	23/06/14
<b>Automatizado</b>	1	5,49	6,03
	2	5,52	6,08
	3	5,52	5,99
	4	5,49	5,99
<b>Promedio</b>		5,50	6,02
<b>Semi Automatizado</b>	1	5,51	5,89
	2	5,45	5,74
	3	5,51	5,86
	4	5,53	5,78
<b>Promedio</b>		5,50	5,82
<b>No automatizado (raíz flotante)</b>	1	6,09	7,08
	2	6,16	6,88
	3	6,11	6,92
	4	6,09	6,95
<b>Promedio</b>		6,11	6,96

El análisis de variancia del peso seco de lechuga expresado en gramos por cama, muestra diferencias altamente significativas ( $P < 0.01$ ) entre el sistema hidropónico, las fechas de cosecha ( $P < 0.01$ ) y la interacción sistemas hidropónico por fecha de cosecha ( $P < 0.01$ ); con coeficiente de

determinación  $R^2 = 0.9954$ ; coeficiente de variabilidad de 0.91 por ciento y media general de 5.96 gramos por cama.

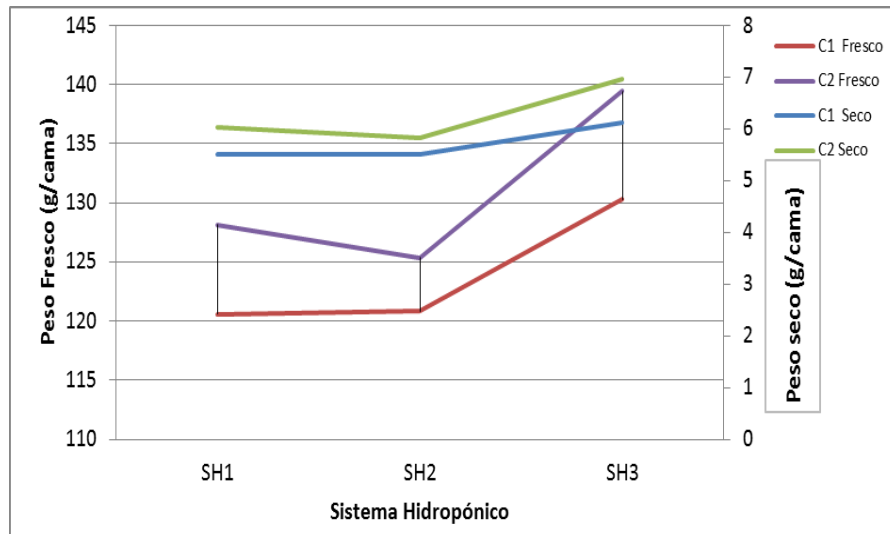
La prueba de comparación de promedios de Tukey ( $P < 0.05$ ), muestra que el sistema hidropónico No automatizado (raíz flotante) con 6.535 gramos por cama, superó al Automatizado con rendimiento de 5.764 gramos por cama y al Semi-automatizado que rindió 5.66 gramos. Con respecto al momento de la cosecha, se observa que la cosecha 2 o segunda cosecha con 6.26582 gramos por cama, fue mayor ( $P < 0.05$ ) a la cosecha 1 o primera cosecha, en donde el rendimiento fue 5.70583 gramos por cama (Figura y Cuadro).

**Ilustración 314:** Rendimiento de lechuga en peso seco por sistema hidropónico (SH1: automatizado, SH2: semi-automatizado y SH3 no automatizado) en dos fechas de cosecha (C1 y C2)



Letras iguales sobre las barras, no presentan diferencias, según la prueba de Tukey ( $P < 0.05$ )

**Ilustración 315:** Comparativo del rendimiento de lechuga en peso fresco y peso seco por sistema hidropónico en dos fechas de cosecha



Rendimiento de Peso Fresco y Seco (g/planta)

**Tabla 66:** Peso seco y peso fresco promedio (gramos/planta) de lechuga por sistema hidropónico y fechas de cosecha.

Sistema Hidropónico	Peso seco	Peso fresco
No automatizado (Raíz Flotante)	6.535 A	134.8488 A
Automatizado	5.76375 B	124.36 B
Semiautomatizado	5.65875 C	123.0838 C
<b>Fecha de cosecha</b>		
Cosecha 1	5.70583 B	123.8917 B
Cosecha 2	6.26583 A	130.97 A

El análisis de efectos simples del peso seco, muestra que el sistema hidropónico No automatizado (raíz flotante), en la primera y segunda cosecha de lechuga, con rendimiento de 6.1125 y 6.9575 gramos por cama, respectivamente; fue superior al peso que presentaron el sistema automatizado con rendimiento de 5,505 y 6,0225 y al semi-automatizado que produjo 5,5 y 5,8175 gramos por cama, en la primera y segunda

cosecha, respectivamente. Asimismo, en el rendimiento de peso fresco, se observó esta misma tendencia, es decir, el sistema hidropónico no automatizado con 130.275 y 139.4225, superó ( $P < 0.05$ ) al automatizado y al semi-automatizado cuyos rendimientos fueron 120.59, 128.13, 120.81 y 125.3575 gramos por cama, en la primera y segunda cosecha, respectivamente.

**Tabla 67:** Efectos simples del peso seco y peso fresco promedio (gramos/cama) de hoja de lechuga por sistema hidropónico y fechas de cosecha

Sistema Hidropónico	Peso seco		Peso fresco	
	Cosecha1	Cosecha2	Cosecha1	Cosecha2
No automatizado	6.1125 A	6.9575 A	130.275 A	139.4225 A
Automatizado	5.505 B	6.0225 B	120.59 B	128.13 B
Semiautomatizado	5.5 C	5.8175 C	120.81 B	125.3575 C

**Tabla 68:** Análisis de variancia del peso seco de lechuga

F.V	GL	SC	CM	VALOR F	Pr>F
Shidrop		2	3.66310833	1.8315542	699.21 <.0001***
Error (a)		9	0.023575	0.0026194	
Fecha		1	1.8816	1.8816	636.03 <.0001***
Shidrop*Fecha		2	0.283675	0.1418375	47.95 <.0001***
Error (b)		9	0.026625	0.0029583	
Total		23			
R-Square 0.995471; C.V. = 0.908655; Media = 5.985833					
*** Altamente significativo ( $P < 0.001$ )					

## CAPITULO V

### 5. CONCLUSIÓN Y RECOMENDACIÓN

#### 5.1. Conclusiones

La presente tesis está basada en la línea de automatización y control de procesos y al analizar la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo del nitrógeno, pH y conductividad eléctrica mediante la aplicación de software en un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) en Pucallpa se llegó a controlar el balance de la solución nutritiva en base a un rango pre establecido de las variables mencionadas y las respuestas del cultivo es coherente a la aplicación del control. Específicamente:

1. Mediante este sistema de control con el hardware y la aplicación de software se logra el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (*Lactuca sativa*) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa, debido a que se estableció un rango para las variables nitrógeno, pH y conductividad eléctrica adecuado para el cultivo de lechuga según la información bibliográfica y experiencias obtenidas en Pucallpa en el Software TIA PORTAL v11, OPC server 2012, y se creó la interfaz en el software LabView 2012 programado a través de un diagrama de bloques capaz de dar lectura a la información de los sensores y capturar los datos. En el software TIA Portal se establecieron los segmentos de rutina dedicada a la adquisición de datos analógicos de pH, nitrógeno, conductividad eléctrica, temperatura y luz. Así mismo el segmento de instrucciones de rutina dedicada a la lectura de hora y

fecha del sistema, la rutina dedica a promedios de valores de las variables, la rutina dedicada al análisis de los valores en base al rango establecido adecuado para el cultivo de lechuga, rutina dedicada a la apertura de válvulas de los tanques de la solución nutritiva stock, rutina dedicada a la verificación de los estados del sensor boya de los estados lógicos de los tanques conteniendo la solución nutritiva y apertura de válvulas solenoides para el añadido de agua y la rutina dedicada al manejo manual de los tanques de las soluciones stock de los nutrientes y reguladores de pH y conductividad eléctrica.

2. La aplicación de software propicia un grado de asociación y correlación con la mejora del control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga. Al monitorear nitrógeno, pH y conductividad eléctrica mediante software se pudo estandarizar la programación del sistema de cultivo de hidroponía automatizada y se encontró correlaciones bi-variadas que el nitrógeno está directamente correlacionado con el pH y con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y el pH correlacionado con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva. En cuanto al control del nitrógeno está relacionado con la conductividad eléctrica o sea si baja la conductividad eléctrica también indica el descenso en el nitrógeno, entonces el nitrógeno y la conductividad eléctrica tiene una relación casi directa es decir al aplicar nitrógeno también sube la conductividad. En el caso del pH en la solución nutritiva está altamente correlacionada con la concentración de nitrógeno, también se observa correlación positiva media no significa con la conductividad eléctrica o sea que si se aumenta la conductividad eléctrica y la concentración de nitrógeno la tendencia del pH es similar.

3. La aplicación de software o sistema computarizado cumplió con el control del balance de la solución nutritiva en un sistema de cultivo de lechuga bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa. De acuerdo a lo programado en el software se mantuvo el rango establecido de nitrógeno entre 50ppm y 150ppm. El pH de 5,5 a 6,5 y la conductividad eléctrica entre 0,6 a 1,8mS/cm. Siendo el pH de la solución inicial 6,15, el del agua 5,87, la conductividad eléctrica de la solución nutritiva de entrada 1,22mS/cm y del agua 0,03mS/cm. nitrógeno de la solución inicial fue de 100ppm y del agua cero. El día 19 se aplicaron más nutrientes en forma automática y luego más agua; el día 28 se aplicó hidróxido de sodio para elevar el pH y luego ácido nítrico para balancear al rango adecuado en forma automática. El día 33 se aplicaron más nutrientes de forma automática y más agua y el día 45 se efectuó la cosecha de la lechuga.

4. Al aplicar la tecnología del sistema automático de control añadida a la técnica del sistema de cultivo hidropónico de lechuga, cuyos resultados en cuanto a rendimiento en peso fresco y peso seco comparado con los sistema semi automatizado y no automatizado en dos fechas de cosechas todavía presenta una desventaja significativa, en el análisis de efecto simple muestra que el sistema hidropónico no automatizado (raíz flotante) fue superior al peso que presentaron al sistema automatizado y al semi automatizado respectivamente debido a que en el sistema raíz flotante la planta está en permanente contacto con la solución nutritiva, sin embargo en el aspecto ergonómico se presenta el inconveniente dar mayor oxigenación al medio. El control de las variables de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica de las



variables no se realiza como en el sistema automatizado, teniendo que realizar los cambios de solución nutritiva cada 15 días y las soluciones que se cambian, pasan a ser contaminantes del medio ambiente si es que no se reutilizan. En cuanto a costos las instalaciones y equipamiento del sistema automatizado es más elevado que de los demás sistemas mencionados. Por otro lado la calidad de la lechuga cosechada en los tres sistemas mencionados no fue la óptima debido a las condiciones climáticas de Pucallpa pues la lechuga necesita menor temperatura, mayor humedad relativa, regular la luz, CO<sub>2</sub> y oxígeno con mayor eficiencia, por lo que para producir lechuga con calidad se requiere de ambientes controlados por sistemas automatizados.

Finalmente se concluye que través de la aplicación de software se pone en marcha el concepto de ingeniería asistida por computadora para hacer posible la producción de lechugas hidropónicas bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo del pH, CE y nitrato en la región Ucayali posibilitando la producción en cualquier época del año.

La tendencia actual del consumo está en la exigencia de productos limpios y orgánicos a nivel mundial.

La mano de obra utilizada en un principio la instalación de todo el sistema requirió una suma de esfuerzos físicos y económicos, pero una vez instalado el sistema permite el mantenimiento, repetición de tratamiento, la limpieza, la ergonomía.

## 5.2. Recomendaciones

1. Mediante la aplicación de software es posible controlar el balance de la solución nutritiva en un sistema de cultivo de lechuga bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo del nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa. Aplicar software para el control del balance de la solución nutritiva a diferentes cultivos bajo la técnica de hidroponía automatizada monitoreando el nitrógeno, pH y conductividad eléctrica. Proyectar la aplicación de los resultados a mayor escala de cultivo.
2. Continuar investigando otras variables que afectan el cultivo de lechuga como las de carácter ambiental, para ello se requiere la construcción de invernaderos climatizados controlados en forma automática.
3. Usar nuevos instrumentos y equipos para lograr mayor eficiencia y menor costo de producción de lechuga y de otros cultivos en el sistema automatizado. Realizar más investigaciones sobre aplicación de tecnologías de vanguardia y sobre las nuevas e innovadoras técnicas y métodos de para automatizar los procesos de cultivo, donde participen en las prácticas y proyectos los estudiantes de ingeniería de sistemas, agroindustrias y de agronomía.

**BIBLIOGRAFÍA**

- Afonso Guedes, L. (enero de 2005). *Redes para automatización Industrial*. Recuperado el 16 de noviembre de 2014, de [http://libertas.pbh.gov.br/~danilo.cesar/outros/concurso\\_ufmg/Redes%20Para%20Automa%C3%A7%C3%A3o%20Industrial%20Cap%201.pdf](http://libertas.pbh.gov.br/~danilo.cesar/outros/concurso_ufmg/Redes%20Para%20Automa%C3%A7%C3%A3o%20Industrial%20Cap%201.pdf)
- Agromática. (14 de agosto de 2014). *Plagas y enfermedades de la lechuga*. Recuperado el 16 de 06 de 2015, de <http://www.agromatica.es/plagas-y-enfermedades-de-la-lechuga/>
- Alarcón Sanchez, A., & Jirón Proaño, M. (Octubre de 2007). *Implementación de un sistema de control mediante PLC ara un horno de una fábrica de acero*. Recuperado en diciembre de 2014, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/589/1/CD-0983.pdf>
- Alievi, C. A. (12 de 2008). *Automacao residencial com utilizacao de controlador lógico programável*. Recuperado el 13 de diciembre de 2014, de [http://www.aureside.org.br/temastecnicos/tcc\\_0410.pdf](http://www.aureside.org.br/temastecnicos/tcc_0410.pdf)
- Alonso, J. P. (2012). *www.acmor.org.mx*. Recuperado el 2 de enero de 2014, de <http://www.acmor.org.mx/cuamweb/reportescongreso/2012/SecCiencias/92-2-EscCiudCuernav-Hidroponia.pdf>
- Alpizar, L. (2004). *Hidroponía: Cultivo sin tierra*. Ed. Tecnología de Costa Rica. Cartago. 104p.

- Alvarado Chávez, D., Chávez Carraza, F., & Wilhelmina, K. A. (julio de 2001). Lechugas hidropónicas. Obtenido de [http://www.up.edu.pe/carrera/administracion/siteassets/lists/jer\\_jerarquia/editform/11lechugh.pdf](http://www.up.edu.pe/carrera/administracion/siteassets/lists/jer_jerarquia/editform/11lechugh.pdf)
- Ambiente, M. d. (s.f.). *RedPeIA*. Recuperado el 3 de enero de 2014, de [http://redpeia.minam.gob.pe/files/registro/noticias/4fe0ffe594198\\_Proyecto\\_de\\_investigacion\\_ambiental\\_\\_Modo\\_de\\_compatibilidad\\_.pdf](http://redpeia.minam.gob.pe/files/registro/noticias/4fe0ffe594198_Proyecto_de_investigacion_ambiental__Modo_de_compatibilidad_.pdf)
- Arano, C. (1998). *Forraje Verde Hidropónico y otras técnicas de cultivo sin tierra*. Buenos Aires. Argentina. 397p.
- Arano, C. (septiembre de 2007). *www.carlos-arano.com.ar*. Recuperado el 03 de enero de 2014, de [http://www.carlos-arano.com.ar/26\\_33.pdf](http://www.carlos-arano.com.ar/26_33.pdf)
- Armesto Quiroga, J. (2007). *Universidad de VIGO*. Recuperado el 02 de enero 2014, de Instalación de sistemas de Automatización y datos: [http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1362/ISAD\\_Tema1.pdf](http://tv.uvigo.es/uploads/material/Video/1362/ISAD_Tema1.pdf)
- AulaTicBio. (28 de enero de 2013). *biologiaygeologia.org*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de [http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a\\_ctma/u0\\_medio/u0\\_t1medio/concepto\\_de\\_sistema.html](http://biologiaygeologia.org/unidadbio/a_ctma/u0_medio/u0_t1medio/concepto_de_sistema.html)
- Barbado, J. L. (2005). *Hidroponía*. 1ra. Edición. Ed. Albatros. Buenos aires. Argentina. 192p.
- Borger, A. (2002). *Controladores Lógicos Programables*. Recuperado el 23 de julio de 2014, de

<http://www.industriaynegocios.cl/Academicos/AlexanderBorger/Docts%20Docencia/Seminario%20de%20Aut/trabajos/trabajos%202002/PLC/plc.htm>

Calderón Saenz, F. (8 de Mayo de 2009). *drcalderonlabs*. Recuperado el 3 de enero de 2014, de [http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia\\_de\\_la\\_Hidroponia/Historia\\_de\\_la\\_Hidroponia.htm](http://www.drcalderonlabs.com/Publicaciones/Historia_de_la_Hidroponia/Historia_de_la_Hidroponia.htm)

Carceler, V. (2012). Recuperado el 22 de diciembre de 2014, de <http://elpuig.xeill.net/Members/vcarceler/c1/didactica/apuntes/ud2/na1>

Carranco Quiñonez, C., & Celi Sánchez, C. J. (2010). *Desarrollo de un sistema HMI/SCADA diseñado con Lógica Difusa e implementado en un prototipo de prueba*. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

Carrasco, G. e Izquierdo, J. 1996. La Empresa hidropónica de Mediana Escala: La técnica de la solución nutritiva re-circulante NFT. Universidad de Talca-FAO. Santiago. Chile. 105p.

Castañares Gandía, J. (2013). *Análisis Sistémico Persona - máquina*. Recuperado el 28 de diciembre de 2014, de <http://www.jmcprl.net/ERGONOMIA01/Diapositiva01.html>

Castañares Gandía, J. M. (2013). *Introducción Ergonomía*. Recuperado el 28 de diciembre de 2014, de <http://www.jmcprl.net/ERGONOMIA01/Diapositiva23.jpg>

CATEDU. (2012). <http://www.catedu.es/>. Recuperado en enero de 2014, de <http://www.catedu.es/elechomon/s71200/CARACTERISTICAS%20Y%20MONTAJE%20DEL%20SIMULADOR%20S7-1200.pdf>

Ccori, J. M. (2013). Componentes Hardware del sistema SCADA. *Seminario de Sistemas de Control*, (pág. 40). Pucallpa.

Checa Sánchez, Juan. (30 de julio de 2002). [www.interempresas.net](http://www.interempresas.net). Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://www.interempresas.net/Horticola/Articulos/68556-Horticultura-hidroponica-en-Espana.html>

Cochrane, T. 1982. Caracterización agroecológica para el desarrollo de pasturas en suelos ácidos de América tropical. p. 23-44. En J.M. Toledo (ed.) Manual para la evaluación agronómica. Red Internacional de Evaluación de Pastos Tropicales- RIEPT. CIAT. Cali, Colombia. Cali, Colombia, CIAT. p 23-24.

Daniels777. (22 de febrero de 2009). *Blog de sensores*. Recuperado el 27 de 12 de 2014, de <http://daniels777.blogspot.com/>

De Castro Lozano, C., & Romero Morales, C. (2014). *Introducción a SCADA*. Recuperado el 17 de diciembre de 2014, de <http://www.uco.es/grupos/eatco/automatica/i hm/ descargar/ scada.pdf>

De ingeniería. (8 de noviembre de 2014). *Descargar Siemens TIA Portal SP1 V11*. Recuperado el 12 de noviembre de 2015, de <http://www.deingenieria.com/2014/11/descargar-siemens-tia-portal-sp1-v11.html>

De la Rosa Sánchez, P. (2012). *El contactor*. Recuperado el 15 de diciembre de 2014, de <http://roble.pntic.mec.es/pdes0012/AUTOMATISMOS%20INDUSTRIALES/NSAUT3TEOCONT.html>

Delgado López, J. C., Montoya Becerra, J., & Sandoval Rodríguez, O. A. (29 de 06 de 2007). *Control de temperatura con el PLC S7-200*. Recuperado el 12 de noviembre de 2014, de [http://ice.uaz.edu.mx/c/document\\_library/get\\_file?uuid=2e51ecff-ad05-46e0-9ebd-678433f0e112&groupId=54327](http://ice.uaz.edu.mx/c/document_library/get_file?uuid=2e51ecff-ad05-46e0-9ebd-678433f0e112&groupId=54327)

Departamento de Electricidad-Electrónica I.E.S Segundo de Chomón (Teruel). (2012). *Características y Montaje del Simulador S7-1200*. Recuperado el 05 de diciembre de 2014, de <http://www.catedu.es/elechomon/s71200/CARACTERISTICAS%20Y%20MONTAJE%20DEL%20SIMULADOR%20S7-1200.pdf>

Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María. (2010). *Control PID Clásico*. Recuperado el 13 de diciembre de 2014, de <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo270/informacion/CLASES/12%20CONTROL%20PID.pdf>

Departamento de Tecnología Electrónica Universidad de Vigo. (17 de enero de 2007). *Tipos de salida*. Recuperado el 01 de febrero de 2015, de *Salida Digital y Analógica*: <http://www.dte.uvigo.es/recursos/capacitivos/salidas/salidas.htm>

Direct electro. (2013). Almacén de Material Eléctrico. Recuperado el 28 de diciembre de 2014, de <http://www.direct-electro.es/node/7>

Eduardo. (04 de mayo de 2011). *Programacion de PLC* . Recuperado el 09 de noviembre de 2014, de <http://pharalax.com/blog/wp-content/uploads/2011/05/simb.png>

Electronicafácil. (2004). *Contactor*. Recuperado el 16 de enero de 2014, de <http://www.electronicafacil.net/tutoriales/Contactor.php>.

Eliezer. (08 de 2010). *Comparativa PIC16F84 VS PIC16F877*. Recuperado el 17 de enero de 2015, de <http://erazo-micromecatronik.blogspot.com/2010/08/comparativa-pic16f84-vs-pic16f877.html>

ELO. (s.f.). <http://www2.elo.utfsm.cl/>. Recuperado el 03 de enero de 2014, de <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo270/informacion/CLASES/12%20CONTROL%20PID.pdf>

Encrypted tbn2 gstatic. (23 de mayo de 2014). Recuperado el 12 de agosto de 2015, de <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQeW0dIDZAzMI2KBE0uZpwPg8J47FIA8IRQqWknkoAkGmiPsQJz>

EPN. (s.f.). *bibdigital.epn.edu.ec*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1253/1/CD-2054.pdf>

Estación Meteorológica de la UNU. (2013). *Datos Meteorológicos 2013*. Pucallpa: Estación Meteorológica de la UNU.



Estación Meteorológica de la UNU. (2014). *Datos Meteorológicos 2014*.

Pucallpa: Estación Meteorológica de la UNU.

Euskalnet. (2014). Lechuga en flor. Recuperado el 11 de diciembre de 2014,

de <http://www.euskalnet.net/loalv/plantasweb/imagenes/lechuga.gif>

Euskal Herriko Unibertsitatea. (23 de septiembre de 2003). *Introducción al*

*LabVIEW*. Recuperado el 14 de diciembre de 2014, de

<ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Instrumentacion/BK->

[ANGEL/10\\_LabVIEW/Introducci%F3n.PDF](ftp://ftp.ehu.es/cidira/dptos/depjt/Instrumentacion/BK-ANGEL/10_LabVIEW/Introducci%F3n.PDF)

Fernandes Ferreira, J. A. (1994). *Virtualização de autómatos programáveis*.

Recuperado el 14 de noviembre de 2014, de

[http://sweet.ua.pt/jaff/Download/Artigos\\_Teses/Tese%20de%20mestrado.p](http://sweet.ua.pt/jaff/Download/Artigos_Teses/Tese%20de%20mestrado.p)

[df](http://sweet.ua.pt/jaff/Download/Artigos_Teses/Tese%20de%20mestrado.p)

Ferreira, D. (s.f.). *sistemasexpertosproactivas.blogspot.com*. Recuperado el 02

de enero de 2014, de

<http://sistemasexpertosproactivas.blogspot.com/p/concepto-y->

[caracteristicas-de-los-se.html](http://sistemasexpertosproactivas.blogspot.com/p/concepto-y-caracteristicas-de-los-se.html)

Fidena. (s.f.). *www.fidena.edu.mx*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de

<http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/LibrosMaquinas/libros%20curricula/7o.>

[%20semestre/Refrigeracion%20II/Manual%20Tecnico%20de%20Refrigera](http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/LibrosMaquinas/libros%20curricula/7o.%20semestre/Refrigeracion%20II/Manual%20Tecnico%20de%20Refrigera)

[cion/07%20Valvulas%20Solenoides.pdf](http://www.fidena.edu.mx/biblioteca/LibrosMaquinas/libros%20curricula/7o.%20semestre/Refrigeracion%20II/Manual%20Tecnico%20de%20Refrigera)

Fonseca Mancera, S., & Alvarez Salazar, J. (16 de febrero de 2011).

*Siimbiología del contactor*. Recuperado el 04 de noviembre de 2015, de

<http://image.slidesharecdn.com/diapositivascontactores1-111107124556-phpapp02/95/diapositivas-contactores1-10-728.jpg?cb=1320670016>

Furlani, P. R. 1998. Soluciones Nutritivas para el cultivo Hidropónico. Composición Química y Manejo. Instituto Agronómico de Campañas. Sao Paulo, Brasil. 15p.

Galvão Guimarães, V. (febrero de 2011). *Automação e monitoramentoremoto de sistema de irrigacao na agricultura*. Recuperado el 13 de diciembre de 2014, de <http://www.ene.unb.br/adolfo/Monographs/Graduation/TG11%20Vin%C3%ADcius%20Galv%C3%A3o.pdf>

Gami. (05 de 2014). Recuperado el 13 de septiembre de 2014, de [http://gami.cl/image/cache/UT20B\\_L-500x500.jpg](http://gami.cl/image/cache/UT20B_L-500x500.jpg)

Glass, A. D. M. 1989. Plant Nutrition, An introduction to current concep, Jones an Bartlett Publishers.

González, Carlos. (2013). *El ABC de la automatización*. Recuperado el 28 de diciembre de 2014, de Contactor: <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/Contactor.pdf>

Google Maps. (julio de 2014). *Mapa lugar Universidad Nacional de Ucayali*. Recuperado el 04 de mayo de 2014, de [https://www.google.com.pe/maps/place/Universidad+Nacional+de+Ucayali/@-8.3948987,-74.5776093,15z/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0xc4016b83f8866a54?sa=X&ved=0ahUKEwi\\_k6vz\\_8DJAhXISyYKHR8ZCYQQ\\_BIlIdTAO](https://www.google.com.pe/maps/place/Universidad+Nacional+de+Ucayali/@-8.3948987,-74.5776093,15z/data=!3m1!1e3!4m2!3m1!1s0x0:0xc4016b83f8866a54?sa=X&ved=0ahUKEwi_k6vz_8DJAhXISyYKHR8ZCYQQ_BIlIdTAO)

Guelcomtudeyanguel. (11 de agosto de 2009).  
*guelcomtudeyanguel.files.wordpress.com*. Obtenido de  
<http://guelcomtudeyanguel.files.wordpress.com/2008/03/infor.pdf>

Hacer hidroponía fácil. (marzo de 2009). *Hidroponía*. Recuperado el 13 de  
agosto de 2014, de  
<http://hacerhidroponiafacil.blogspot.com/2009/03/contactame.html>

Handylab LF115. (04 de febrero de 2014). Recuperado el 06 de diciembre de  
2014, de <http://www.vinhkhai.vn/images/product/handylab%20LF115.jpg>

Hernandez Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. 2010.  
*Metodología de la investigación*. Mexico: McGrawHill.

Hervás Chico, J. (noviembre de 2013). Recuperado el 27 de diciembre de  
2014, de <http://josehervas.es/sensorizados/wp-content/uploads/2013/11/Relay.png>

Hidroponia Chile. (s.f.). *www.hidroponiachile.cl*. Recuperado el 02 de enero de  
2014, de <http://www.hidroponiachile.cl/>

Hidroponiaperu. (s.f.). *hidroponiaperu.webs.com*. Recuperado el 02 de enero  
de 2014, de  
<http://hidroponiaperu.webs.com/apps/photos/album?albumid=6716107>

Hoagland, D. R. & Arnon D. I. 1950. The water culture method of growing plant  
without soil. California Agriculture Experiment Station. Circular 347.

Hoagland, D. R. & Arnon D. I. 1972. Preparación de Solución Nutritiva Stock.  
Pp 12 – 15.

- Hochmuth, G. J. (2001). *Fertilizer management for greenhouse vegetable Florida greenhouse vegetable production handbook*. Vol 3. Institute of Food and Agricultural Sciences University of Florida. <http://edis.ifas.ufl.edu>
- Hoyos, M; Rodriguez, A Y Chang, M. 2002. Manual de Hidroponía Escolar. CIHNM. Lima. Perú. 18p.
- Hydroenv. (s.f.). <http://www.hydroenv.com.mx>. Recuperado el 03 de enero de 2014, de <http://www.hydroenv.com.mx/catalogo/blog/hola-mundo/>
- Huertohidroponicocch. (2013). Huerto hidropónico urbano escolar. Recuperado el 05 de enero de 2014, de <http://huertohidroponicocch.jimdo.com/sistema-t%C3%A9cnica-de-cinta-de-nutrientes-nft/>
- Idárraga Gómez, Y. S., & Niño Tabares, A. F. (2006). Diseño y Construcción de tableros simuladores para PLC Siemens S7-200 y desarrollo de guía para laboratorio. Medellín.
- INEI. (s.f.). [www.inei.gob.pe](http://www.inei.gob.pe). Recuperado el 2014, de [http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones\\_digitales/Est/Lib0847/libro.pdf](http://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib0847/libro.pdf)
- Infoplac. (2014). Dispositivos y redes - Agregar dispositivo. Recuperado el 16 de agosto de 2015, de [http://www.infoplac.net/files/imagenes/descargas/siemens/1866\\_04.png](http://www.infoplac.net/files/imagenes/descargas/siemens/1866_04.png)
- Ininsa. (2013). *Invernaderos e ingeniería*. Recuperado el 10 de diciembre de 2014, de

<http://www.fabricanteinvernaderos.com/productos/invernaderos/multicapilla-de-techo-curvo/>

Instituto Nacional de Tecnologías Educativas y de Formación del Profesorado. (2013). *Introducción a los microcontroladores*. Recuperado el 27 de diciembre de 2014, de <http://guindo.pntic.mec.es/rarc0002/all/microcon/microcon.htm>

Itescam. (s.f.). [www.itescam.edu.mx](http://www.itescam.edu.mx). Recuperado el 31 de Junio de 2013, de [https://www.google.com.pe/url?q=http://www.itescam.edu.mx/principal/syllabus/fpdb/recursos/r73348.PDF&sa=U&ei=up5GU4bRPIrF0QGYiID4AQ&ved=0CCQQFjAB&usg=AFQjCNFo\\_NUxJ3geqBK5tMkz5m26-LJTLw](https://www.google.com.pe/url?q=http://www.itescam.edu.mx/principal/syllabus/fpdb/recursos/r73348.PDF&sa=U&ei=up5GU4bRPIrF0QGYiID4AQ&ved=0CCQQFjAB&usg=AFQjCNFo_NUxJ3geqBK5tMkz5m26-LJTLw)

Laudon, kenneth C, Laudon Jane Price. (2004). *Sistemas de información gerencial*. Pearson Educación.

La Molina. (Septiembre de 2012). [www.lamolina.edu.pe](http://www.lamolina.edu.pe). Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://www.lamolina.edu.pe/hidroponia>

Labsynergy. (noviembre de 2013). handylab pH. Recuperado el 04 de diciembre de 2014, de <http://labsynergy.com/wp-content/uploads/2013/11/handylabpH11-pH12.jpg>

Laguna Guerrero, A. (20 de julio de 2012). *Elementos Básicos Automatismos Eléctricos I*. Recuperado el 26 de diciembre de 2014, de <http://4.bp.blogspot.com/-AmAPAUhs8W0/UAmORI9O2cl/AAAAAAAAABk/VDi1yIpRhgo/s1600/20aw7pc.jpg>

Llorente Alvaro. (5 de junio de 2012). Conectores para sensores. Recuperado el 03 de enero de 2014 de <https://www.cablesyconectoreshoy.com/conectores-para-sensores/>

Loaiza, R. (s.f.). *www.bvs.sld.cu*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de [http://www.bvs.sld.cu/revistas/san/vol2\\_2\\_98/san15298.htm](http://www.bvs.sld.cu/revistas/san/vol2_2_98/san15298.htm)

Lopez Garcia, D. (s. f.). *Introducción a la automatización*. Recuperado el 28 de marzo de 2014 de [http://www.uhu.es/diego.lopez/Al/auto\\_trans-tema1.pdf](http://www.uhu.es/diego.lopez/Al/auto_trans-tema1.pdf)

Malca, GO. (2001). *Seminario de agronegocios, lechugas hidropónicas (en línea)*. Lima, Perú, Universidad del Pacífico. 96 p. Recuperado el 17 marzo de 2002, de [www.upbusiness.net](http://www.upbusiness.net).

Pacífico. 96 p. Consultado 17 mar. 2002. Disponible en [www.upbusiness.net](http://www.upbusiness.net).

Marín Iturrarte, A. (2012). *Control de PLCs Siemens S7-1200 mediante el protocolo MODBUS a través del programa LABVIEW para realización de prácticas de comunicación industrial*. Navarra: Universidad Pública de Navarra. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://hdl.handle.net/2454/6711>

Martínez Caldevilla, E. & García Lozano, m. (1993). *Cultivos sin suelo hortalizas en climas del mediterráneo*. Ediciones de Horticultura.

Marulanda, C. e Izquierdo, J.1997 *La Huerta Hidropónica Popular: Manual técnico*. 2da Edición. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Edic. Santiago. Chile. 118p.

- Marulanda, C. 2003. Manual técnico: La Huerta Hidropónica Popular. 3ª ed. Santiago, Chile. 132 p.
- Massol-Deyá, A., & Fuentes, F. (2002). Nitrógeno. Recuperado el 11 de agosto de 2015, de <http://www.uprm.edu/biology/profs/massol/manual/p3-nitrogeno.pdf>
- Melo, J., & Arranca, C. (2009). *Sistema de Control para Cultivos Hidropônicos*. Recuperado el 13 de noviembre de 2014, de <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?view=000844849>
- Miranda Ruiz, E. (2013). *Agenda agraria Ucayall - Peru - 2013*. Recuperado el 28 de octubre de 2015, de <http://www.monografias.com/trabajos96/agenda-agraria-ucayali-2013/image003.png>
- Moran, C. (03 de agosto de 2013). *Como Instalar Windows XP en una Maquina Virtual*. Recuperado el 11 de julio de 2014, de <http://www.taringa.net/post/hazlo-tu-mismo/17011827/Como-Instalar-Windows-XP-en-una-Maquina-Virtual.html>
- National Instruments. (2011). National Instruments OPC Servers 2012 Readme. Texas: National Instruments.
- National Instruments. (2015). *NI OPC Server 2012*. Recuperado el 10 de noviembre de 2015, de <http://www.ni.com/download/ni-opc-servers-2012/2790/en/>
- National Instruments Corporation. (2011). *National Instruments OPC Servers 2012 Readme*. United States.

National Instruments Latinoamerica. (2013). *Conecte LabVIEW a Cualquier PLC*. Recuperado el 11 de noviembre de 2013, de <http://www.ni.com/white-paper/7906/es/>

Nise, N. S. (1998). *Control System Engineering*. New York: Wiley.

Oceano Uno. (1993). *Diccionario Enciclopédico Ilustrado* Barcelona Grupo Editorial Oceano

Olimpiadas Nacionales de Contenidos Educativos en Internet. (2002). *Cultivo Hidropónico*. Recuperado el 14 de febrero de 2015, de [http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos\\_aires/hidroponia/hidroponia\\_vs\\_cultivo\\_en\\_tierra.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos_aires/hidroponia/hidroponia_vs_cultivo_en_tierra.htm)

Ordax Cassá, Javier (2005). *Automatización de procesos industriales*. Recuperado el 24 de octubre de 2015, de <http://www.iit.upcomillas.es/pfc/resumenes/42bbf80238332.pdf>

Organización Mundial de la Salud. (1974). *Naturaleza de la Ergonomía*. Recuperado el 05 de Mayo de 2014, de [http://datateca.unad.edu.co/contenidos/256595/Contenido\\_en\\_Linea/Ergonomia/leccin\\_2\\_\\_naturaleza\\_de\\_la\\_ergonomia\\_\\_ii\\_parte.html](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/256595/Contenido_en_Linea/Ergonomia/leccin_2__naturaleza_de_la_ergonomia__ii_parte.html)

Parque Ecológico Proesmin. (s.f.). *parqueecologico.proesmin.com*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://parqueecologico.proesmin.com/index.php/temas/31-cultivos-tradicionales-arboles-frutales-hidroponia>



- Peñaloza Aspe, Patricia (s.f.). *Invernaderos de alta tecnología, una solución al clima*. Recuperado el 05 de agosto de 2014  
<http://www.sofofa.cl/mantenedor/detalle.asp?p=60&s=0&n=21391>
- Pérez, C. (2007). <http://isa.umh.es/asignaturas/ai/>. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://isa.umh.es/asignaturas/ai/transparencias/01.pdf>
- Pérez Leal, Fernando. 1988. Cultivo de planta con soluciones nutritivas. Universidad Nacional de Ucayali. Pp 1-50.
- Pérez Leal, Fernando. 1998. Hidroponía. Cultivo de Planas con soluciones nutritivas. Universidad Nacional de Ucayali. 116p.
- Pérez Leal, Fernando. 1998. Guía de prácticas de Fisiología Vegetal. Universidad Nacional de Ucayali. 1998. Pp 20-62.
- Perez Leal, F., & Dreyfus Ríos, M. (1998). Determinación de Rendimiento productivo de lechuga (*Lactuca sativa* L.) y apio (*Apio Graveolens* L.) en tres fórmulas hidropónicas sistema de raíz flotante. Pucallpa.
- Piattini Velthuis, MG, Calvo-Manzano, J. A., Cervera, J, Fernández, L.(1996). *Análisis y diseño de aplicaciones informáticas de gestión. Una perspectiva de ingeniería del software*. Madrid: Ra-ma.
- Piattini Velthuis, MG, Calvo-Manzano, J. A., Cervera, J, Fernández, L. (2000). *Análisis y diseño de aplicaciones informáticas de gestión. Una perspectiva de ingeniería del software*. Alfaomega Colombiana.

PLCopen. (2011). *Estandarización en la programación de control industrial.*

Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://isa.uniovi.es/genia/spanish/publicaciones/IEC%20%201131-3.pdf>

Ponsa, P., & Granollers, A. (s.f.). *www.epsevg.upc.edu*. Recuperado el 02 de

enero de 2014, de <http://www.epsevg.upc.edu/hcd/material/lecturas/interfaz.pdf>

Portland Public Schools. (2012). Recuperado el 26 de agosto de 2014, de

[http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC\\_66.HTM](http://www.pps.k12.or.us/district/depts/edmedia/videoteca/curso3/htmlb/SEC_66.HTM)

Promelsa. (2015). *Control de nivel de líquidos de boya y contacto*. Recuperado

el 02 de noviembre de 2015, de [http://www.promelsa.com.pe/fotos/Fotos\\_Catalogo/14504003.jpg](http://www.promelsa.com.pe/fotos/Fotos_Catalogo/14504003.jpg)

Qsmartbuy. (febrero de 2014). Recuperado el 02 de noviembre de 2014, de

<https://qsmartbuy.com/eshop/images/M260121.jpg>

Ramirez Miranda, L. (29 de mayo de 2013). *www.regioncusco.gob.pe*.

Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://www.regioncusco.gob.pe/grde/attach/curso-produccion-forraje-verde-hidroponico.pdf>

Resch, H. M. (2001). *Cultivo Hidropónicos. Nuevas técnicas de producción.*

Mundi-Prensa, Madrid, España. 557 p.

Ribas de Almeida, S. (2012). *Implementacao de controle supervisório em*

*CLPs usando linguagem de alto nível*. Recuperado el 13 de diciembre de

- 2014, de  
[http://www.tede.udesc.br/tde\\_busca/arquivo.php?codArquivo=2976](http://www.tede.udesc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=2976)
- RioFruit. (2002). *riofruit.com*. Recuperado el 03 de Junio de 2014, de  
<http://riofruit.com/lechuga.html>: <http://riofruit.com/index1.html>
- Rivero, C. R. (2013). Agromótica Aplicaciones de la Inteligencia Computacional a Procesos Agrícolas. *XXI CONEISC TARAPOTO 2013*, (pág. 40). TARAPOTO.
- Robótica AEDES. (06 de 2014). *Automatización y Gestión Industrial*. Recuperado el 28 de diciembre de 2014, de  
[http://www.aedes.com.ar/index.php?menu=3&submenu=3&cont\\_id=4](http://www.aedes.com.ar/index.php?menu=3&submenu=3&cont_id=4)
- Rodríguez-Delfín, A., Hoyos, M. y Chang, M. (2001). Soluciones Nutritivas en Hidroponía: Formulación y preparación. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- Rodríguez-Delfín, A., Chang, M., Hoyos, M. y Falcón, F. (2004). *Manual Práctico de Hidroponía*. 4ta ed. Centro de Investigación de Hidroponía y Nutrición Mineral, Universidad nacional Agraria La Molina. Lima. Perú.
- Rodríguez, D. G. (s.f.). *www.uhu.es*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de  
<http://www.uhu.es/dario.garcia/teoconrea.pdf>
- Rodríguez Fuentes, H., S. Muñoz, y E. Alcorta García. (junio 2006). *El tomate rojo. Sistema hidropónico (Sistema hidropónico para producción de tomate*

- en invernadero*). ISBN-968-24-7606-2. Editorial Trillas S.A. de C. V. México. 82p.
- RPP. (25 de mayo de 2013). *www.rpp.com.pe*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de [http://www.rpp.com.pe/2013-05-25-comercializan-lechugas-y-tomates-cultivados-en-techos-y-azoteas-de-lince-noticia\\_598008.html](http://www.rpp.com.pe/2013-05-25-comercializan-lechugas-y-tomates-cultivados-en-techos-y-azoteas-de-lince-noticia_598008.html)
- Ruano Herrería, E., & Zambrano Balseca, J. (2009). *Diseño, construcción y automatización con un PLC Allen-Bradley Micrologix 1100, de un caldero didáctico de vapor saturado*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Ruedas Escobar, C. M. (12 de agosto de 2008). *Automatización Industrial - áreas de aplicación para ingeniería*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de [http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL\\_10\\_MEC01.pdf](http://www.tec.url.edu.gt/boletin/URL_10_MEC01.pdf)
- Ruiz Vera, W., & Vásquez Guanocunga, R. F. (enero de 2012). *Construcción de un prototipo de lavadora de autos controlada por PLC*. Recuperado el 15 de diciembre de 2014, de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/4494/1/CD-4103.pdf>
- RuralNews. (08 de junio de 2012). *www.ruralnews.com.br*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://www.ruralnews.com.br/visualiza.php?id=71>
- Sabatergrup. (09 de 2010). Recuperado el 27 de diciembre de 2014, de [http://sabatergrup.blogspot.com/2010\\_10\\_01\\_archive.html](http://sabatergrup.blogspot.com/2010_10_01_archive.html)
- Salkind, Neil J. (1998). *Métodos de investigación*. Editorial Pearson Educación.

- Saludes, N., & Ramos, R. (2011). *Estudio, diseño e implementación de una planta piloto de tratamiento de aguas automatizada*. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Samperio, G. 2004. *Hidroponía Comercial*. 6ta reimpresión. Ed. Diana. México. 172p.
- Samperio, G. 2004. *Un paso más en la Hidroponía*. Ed. Diana. México. 372p.
- Santander Parra, F. (s.f.). *elmejorguia*. Recuperado el 2 de enero de 2014, de [http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Que\\_es\\_hidroponia.htm](http://www.elmejorguia.com/hidroponia/Que_es_hidroponia.htm)
- Sarralde, J. L. (04 de septiembre de 2010). *Visita del jardín invernadero en la histórica Estación de Atocha*. Recuperado el 18 de diciembre de 2014, de <http://guias-viajar.com/madrid/capital/jardin-invernadero-estacion-atocha/>
- Scarabino, J. C. (2000). <http://ciberconta.unizar.es/>. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://ciberconta.unizar.es/leccion/sistexpat/100.HTM>
- Schippers, P. A. 1979. The Nutrient Flow Technique a Versatile and Efficient Hydroponic Growing Method. Proc. Of 1 st Ann. Conf. Of the Hydroponic Society of America. Brentwood. CA.
- Schott. (s.f.). Recuperado el 02 de enero de 2014, de [http://www.si-analytics.com/fileadmin/upload/Gebrauchsanleitungen/Messgeraete/Taschengerate/INT/handylab-LF-11\\_Conductivity-Meter\\_600-KB\\_Spanish-PDF.pdf](http://www.si-analytics.com/fileadmin/upload/Gebrauchsanleitungen/Messgeraete/Taschengerate/INT/handylab-LF-11_Conductivity-Meter_600-KB_Spanish-PDF.pdf)

Seguridad alimentaria. (14 de febrero de 2012). *El valor nutricional de la comida peruana*. Recuperado el 28 de diciembre de 2014, de <http://seguridadalimentaria.wordpress.com/category/dieta-alimenticia/>

Siemens. (2009). *Manual de sistema del Controlador programable S7-1200*. Nurnberg: Siemens AG.

Siemens. (16 de diciembre de 2011). *Comportamiento de arranque de un s7-1200*. Recuperado el 12 de noviembre de 2015, de <https://support.industry.siemens.com/cs/document/51825007/%C2%BFc%C3%B3mo-es-el-comportamiento-de-arranque-de-un-s7-1200?dti=0&lc=es-WW>

SIGIA. (2011). *Investigación y Desarrollo*. Recuperado el 27 de julio de 2014, de <http://sigiaproyectos.com/wp-content/uploads/2012/08/pic03.png>

Sistema de información energética. (s.f.). *sie.energia.gob.mx*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de [http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario\\_elec\\_es.pdf](http://sie.energia.gob.mx/docs/glosario_elec_es.pdf)

Steidle Nieto , A. J. (2007). *istema computadorizado para preparo e aplicação de soluções nutritivas com base na estimativa da transpiração do tomateiro cultivado em casa de vegetação*. Recuperado el 12 de noviembre de 2014, de <http://livros01.livrosgratis.com.br/cp066186.pdf>

Tarrillo Olivas, H. (s.f.). *www.forrajehidroponico.com*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://www.forrajehidroponico.com/Principal.aspx>

Teamviewer. (2015). ¿Qué tan seguro es teamviewer? Recuperado el 02 de diciembre de 2015, de <https://www.teamviewer.com/en/help/14-How-secure-is-TeamViewer.aspx>

TeamViewer GmbH. (mayo de 2010). Información sobre seguridad con TeamViewer. Recuperado el 11 de agosto de 2015, de [http://www.manpreseg.es/pdf/TeamViewer\\_SecurityStatement\\_es.pdf](http://www.manpreseg.es/pdf/TeamViewer_SecurityStatement_es.pdf)

Tecnoficio. (2011). *Circuito eléctrico de una válvula solenoide*. Recuperado el 27 de diciembre de 2014, de <http://www.tecnoficio.com/electricidad/images/valvula%20solenoide%2022.jpg>

Tecnoficio. (2011). *valvula solenoide*. Recuperado el 17 de diciembre de 2014, de [http://www.tecnoficio.com/electricidad/valvula\\_solenoide.php](http://www.tecnoficio.com/electricidad/valvula_solenoide.php)

Tecnologías de horticultura mediterránea. (15 de agosto de 2012). *Un modelo simple para regar fresas en cultivo sin suelo*. Recuperado el 06 de enero de 2015, de <http://www.horticulturablog.com/2012/08/un-modelo-simple-para-regar-fresas-en.html>

tecnopl. (15 de mayo de 2015). *Crear un nuevo proyecto en TIA Portal v11*. Recuperado el 28 de noviembre de 2015, de <http://www.tecnopl.com/crear-nuevo-proyecto-en-tia-portal-v11/>

UJI. (s.f.). *www.uji.es*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de [www.uji.es/bin/publ/edicions](http://www.uji.es/bin/publ/edicions)

Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. (2012). *Descripción general de las funciones de una planta*. Recuperado el 07 de julio de 2014, de <http://fisiologiavegetal.mdelarosa.com.mx/introduccion.html>

Universidad de Osaka - Japón JICA. (1998). *Curso de Horticultura Protegida*. Recuperado el 02 de Enero de 2014, de [http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad\\_509.pdf](http://www.inia.org.uy/publicaciones/documentos/ad/ad_509.pdf)

Universidad del País Vasco. (2008). *Arquitectura de los automatats programables*. Recuperado el 06 de agosto de 2014, de [http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material\\_asignaturas/Fundamentos%20de%20Automatizaci%3n%20Industrial/Aut%3matas%20Programables/Arquitectura%20de%20los%20Aut%3matas%20Programables.pdf](http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material_asignaturas/Fundamentos%20de%20Automatizaci%3n%20Industrial/Aut%3matas%20Programables/Arquitectura%20de%20los%20Aut%3matas%20Programables.pdf)

Universidad Nacional de Colombia, S. B. (s.f.). *Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá*. Recuperado el 2 de enero de 2014, de [https://www.google.com.pe/url?q=http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap03/01\\_06.htm&sa=U&ei=H9YgU6WcNsb20gGxt4CgDw&ved=0CB8QFjAA&usg=AFQjCNH1V9Svj0X98Wq-wJY49rKzOTI-gw](https://www.google.com.pe/url?q=http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap03/01_06.htm&sa=U&ei=H9YgU6WcNsb20gGxt4CgDw&ved=0CB8QFjAA&usg=AFQjCNH1V9Svj0X98Wq-wJY49rKzOTI-gw)

Universidad Nacional de Ucayali. (2011). *Prospecto de Admisión 2011 - III*. Pucallpa.

Universidad Nacional de Ucayali. (2015). *Portal de la Universidad Nacional de Ucayali*. Recuperado el 14 de noviembre de 2015, de [http://www.unu.edu.pe/portal/images/resized/images/imagesportal//sl-1\\_960\\_400\\_960\\_400.jpg](http://www.unu.edu.pe/portal/images/resized/images/imagesportal//sl-1_960_400_960_400.jpg)



Universidad Peruana Cayetano Heredia. (2013). *Hidroponia*. Recuperado el 16 de enero de 2015, de [www.upch.edu.pe/facien/dcbf/bioaplicada/HIDROPONIA%201.ppt](http://www.upch.edu.pe/facien/dcbf/bioaplicada/HIDROPONIA%201.ppt)

Universidad Peruana Cayetano Heredia. (2013). *Hidroponia*. Recuperado el 11 de diciembre de 2014, de [www.upch.edu.pe/facien/dcbf/bioaplicada/HIDROPONIA](http://www.upch.edu.pe/facien/dcbf/bioaplicada/HIDROPONIA)

Universidad San Martín de Porres. (2009). *Sensores industriales*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://www.usmp.edu.pe/publicaciones/boletin/fia/info67/sensores.pdf>

Universidad Técnica Federico Santa María. (16 de octubre de 2013). *Desarrollo de software para la modulación de invernaderos*. Recuperado el 03 de enero de 2015, de <http://www.ingenieros.es/noticias/ver/cie-usm-desarrolla-un-software-para-la-modulacion-de-invernaderos-chile/4058>

Urbina, C. (11 de febrero de 2012). *La familia de microcontroladores PIC*. Recuperado el 14 de diciembre de 2014, de <http://cecilia-urbina.blogspot.pe/2012/02/la-familia-de-microcontroladores-pic.html>

Velásquez, E. (08 de 01 de 2009). *Virtualización*. Recuperado el 09 de diciembre de 2014, de <http://www.pymesyautonomos.com/tecnologia/que-es-la-virtualizacion>

Vera Romero, C. (2015). *Requerimientos\_Minimos\_del\_Sistema\_para\_LabView*. Recuperado el 13 de noviembre de 2015, de

[http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208007/208007/Requerimientos\\_Minimos\\_del\\_Sistema\\_para\\_LabView\\_2015.pdf](http://datateca.unad.edu.co/contenidos/208007/208007/Requerimientos_Minimos_del_Sistema_para_LabView_2015.pdf)

Vildósola C., E. (2013). *Actuadores*. Recuperado el 02 de enero de 2014, de <http://www.aie.cl/files/file/comites/ca/abc/actuadores.pdf>

Vólák, J. y Stodola, J. (1990). *Plantas medicinales*. Susaeta. Praga.

Web2feel. (2012). *hidroplante.blogspot.com*. Recuperado el 2 de enero de 2014, de <http://www.nasa.gov/missions/science/biofarming.html>: <http://hidroplante.blogspot.com/2012/10/hidroponia-no-espaco-nasa.html>

Wikipedia. (23 de 11 de 2014). OPC Seguridad. Recuperado el 08 de junio de 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/OPC#Seguridad>

Wikipedia. (29 de 10 de 2015). TeamViewer. Recuperado el 15 de noviembre de 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/TeamViewer#Seguridad>

Wikipedia. (29 de 10 de 2015). TeamViewer. Recuperado el 14 de noviembre de 2015, de <https://es.wikipedia.org/wiki/TeamViewer#Seguridad>

Wikipedia.2012. La enciclopedia libre. Myrciariadubia. Real Jardín Botánico de Kew: World Checklist of Selected Plant Families. Consultado el 29 de abril de 2010

4bp blogspot. (2013). *Evolución de las técnicas de control*. Recuperado el 13 de noviembre de 2014, de [http://4.bp.blogspot.com/\\_sXFEff0BXY/TR1F\\_42bQII/AAAAAAAAAM0/EDMI3ymDLJM/s1600/9.JPG](http://4.bp.blogspot.com/_sXFEff0BXY/TR1F_42bQII/AAAAAAAAAM0/EDMI3ymDLJM/s1600/9.JPG)

## Referencias web

[http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos\\_aires/hidroponia/variables\\_y\\_soluciones\\_nutritvas.htm](http://www.oni.escuelas.edu.ar/2002/buenos_aires/hidroponia/variables_y_soluciones_nutritvas.htm)

[http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/que\\_es\\_hidropon%EDa.htm](http://www.lamolina.edu.pe/FACULTAD/ciencias/hidroponia/que_es_hidropon%EDa.htm)

<http://www.hidroponiaaldia.com/2010/08/sistema-de-gestion-y-automatizacion-de.html>

<http://www.hidroponiaaldia.com/2010/02/automatizacion-de-la-fertirrigacion-y.html>

Enfermedades de los hidropónicos:

<http://agricultura.uprm.edu/sea/clinica/CIdiaEnfHidrop.pdf>

Monitorización y control de invernaderos:

<http://www.esi2.us.es/RIC/JZaragoza05/JZaragoza02.pdf>

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap03/01\\_06.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap03/01_06.htm)

[http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap02/03\\_11.htm](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ciencias/2000051/lecciones/cap02/03_11.htm)

<http://hidroponia.itgo.com/Hidrop1.htm>

<http://usuarios.lycos.es/Theo/id57.htm>

<http://www.corazonverdecr.com/historia.htm> y <http://www.wkap.nl>

<http://www.liceus.com/cgi-bin/ac/pu/AutomatizacionMedioambiental.pdf>

<http://www.automation.siemens.com/mcms/automation/de/industrielle-kommunikation/Seiten/Default.aspx>

[http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material\\_asignaturas/Laboratorio%20de%20Comunicaciones%20Industriales/Documentaci%F3n/04%20-%20Industrial%20Ethernet.pdf](http://www.disa.bi.ehu.es/spanish/ftp/material_asignaturas/Laboratorio%20de%20Comunicaciones%20Industriales/Documentaci%F3n/04%20-%20Industrial%20Ethernet.pdf)

<http://www.cs.utexas.edu/~EWD/transcriptions/EWD03xx/EWD340.html>

<http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/resource/view.php?id=14273>

[http://www.experiencefestival.com/a/History\\_of\\_software\\_engineering\\_-\\_1985\\_to\\_present\\_No\\_silver\\_bullet/id/5134751](http://www.experiencefestival.com/a/History_of_software_engineering_-_1985_to_present_No_silver_bullet/id/5134751)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Herramienta\\_CASE](http://es.wikipedia.org/wiki/Herramienta_CASE)

[http://es.wikipedia.org/wiki/Metodolog%C3%ADa\\_de\\_desarrollo\\_de\\_software](http://es.wikipedia.org/wiki/Metodolog%C3%ADa_de_desarrollo_de_software)

[http://en.wikipedia.org/wiki/History\\_of\\_software\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/History_of_software_engineering)

<http://www.dagstuhl.de/Reports/96/9635.pdf>

plant physiology online (www.plantphys.net)

<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/4871/1/133.pdf>

tecnologiapyme. (2008). *Tecnología Pyme*. Recuperado el 04 de enero de 2014, de <http://m.tecnologiapyme.com/software/que-es-la-virtualizacion>

# **ANEXOS**

## ANEXO 1: Presupuesto

### a. Desarrollador del proyecto

Este costo se da en base a un sueldo mensual para el desarrollador del proyecto de S/. 500 nuevos soles que multiplicado por el tiempo estimado para el desarrollo del proyecto (6 meses) hacen un total de 3000 nuevos soles.

### b. Costo del proyecto

El costo del proyecto se da en base a un sueldo mensual

**Tabla 69:** Requerimientos a ser financiado por la UNU.

Nº	Rubro	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Costo total (S/.)
1	<b>Mano de obra</b>				
	Preparación de la solución stock	jornal	5	15	155,00
	<b>Sub total</b>		<b>155,00</b>		
2	<b>Materiales Insumos y Equipo para el Experimento</b>				
	Semillas de lechuga	g	100	30	30,00
	Fertilizantes (Ver cuadro ...)	global		300	300,00
	<b>Sub total</b>		<b>330,00</b>		
3	<b>Útiles de escritorio</b>				
	Papel Bond A4	millar	2	36	30,00
	CD	unidad	5	1	5,00
	Elaboración del informe	unidad	5	80	200,00
	<b>Sub total</b>		<b>235,00</b>		
4	<b>Transporte</b>				
	Pasajes a Lima	unidad	140	2	280,00
	Servicio de capacitación				1500,00
	<b>Sub total</b>		<b>1780,00</b>		
<b>Costo total del proyecto S/.</b>					<b>2500,00</b>

Fuente: Equipo investigador

**c. Presupuesto general**

**Tabla 70:** Presupuesto general.

<b>Descripción</b>	<b>Costo en soles (S/.)</b>
Desarrollador del proyecto	2500,00
Mano de obra	155,00
Materiales, Insumos, Equipos y otros	330,00
Útiles de escritorio	235,00
Transporte y alimentación	1780,00
<b>Total S/.</b>	<b>5 000,00</b>

Fuente: Equipo investigador

**ANEXO 2: Visita técnica de los jurados en el primer nivel de la planta**

**Ilustración 316:** Visita técnica de los jurados en el primer nivel de la planta





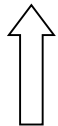
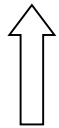
**ANEXO 3: Visita técnica de los jurados en el segundo nivel de la planta****Ilustración 317: Visita técnica de los jurados en el segundo nivel de la planta**

## ANEXO 4: Matriz de consistencia sistémica

DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA	FORMULACIÓN	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES / INDICADORES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN						
<p><b>TÍTULO:</b> "Aplicación de software para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa"</p>	<p><b>GENERAL:</b> ¿En la técnica de hidroponía automatizada si se monitorea el nitrógeno, pH y CE (conductividad eléctrica), mediante la aplicación de software en un sistema de cultivo lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) ¿Será posible lograr el balance y control de la solución nutritiva en Pucallpa??</p>	<p><b>GENERAL:</b> Establecer el balance y control de la solución nutritiva a través del monitoreo del Nitrógeno, pH y conductividad Eléctrica en la técnica de hidroponía automatizada mediante aplicación de software en un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en Pucallpa.</p>	<p><b>GENERAL:</b> "Si en la técnica de hidroponía automatizada se monitorea el nitrógeno, pH y conductividad eléctrica mediante la aplicación de software en un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>), entonces se logrará el balance y control de la solución nutritiva en Pucallpa."</p>	<p><b>SUJETO:</b> Técnica de Hidroponía Automatizada</p> <p><b>VAR. INDEPENDIENTE</b> Aplicación de Software para monitorear el N, pH y CE.</p> <p><b>VAR. DEPENDIENTE:</b> Balance de la solución nutritiva.</p> <p><b>INTERVINIENTE:</b> Pucallpa. Variedad de lechuga. Solución nutritiva Clima de Pucallpa.</p> <p><b>UNIDADES DE ANÁLISIS:</b></p> <p>- Nitrógeno, pH y conductividad eléctrica del módulo de hidroponía automatizada.</p> <p>-Módulo de hidroponía semi- automatizada.</p> <p>-Módulo de hidroponía no automatizada.</p>	<p><b>VARIABLE INDEPENDIENTE:</b> <b>Aplicación de Software</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Usuarios</li> <li>✓ Software</li> <li>✓ Acceso a los datos</li> <li>✓ Base de sucesos</li> <li>✓ Base de conocimientos</li> <li>✓ Entradas y salidas</li> <li>✓ Motor de inferencias</li> <li>✓ Reglas</li> <li>✓ Nitrógeno</li> <li>✓ pH (potencial hidrogeno)</li> <li>✓ CE (conductividad eléctrica)</li> <li>✓ Temperatura</li> <li>✓ Luz</li> <li>✓ Rendimiento</li> <li>✓ Ergonomía</li> </ul> <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE:</b> <b>Control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de N, pH y EC</b></p> <p>Balance de CE. (mS/cm) Balance de N (ppm) Balance de pH (unidades) Rendimiento productivo (gramos) Ergonomía (comodidad)</p> <p><b>VARIABLE INTERVINIENTE:</b> Pucallpa. Variedad de lechuga. Solución nutritiva (Hoagland y Arnon) Clima de Pucallpa.</p>	<p><b>TIPO DE INVESTIGACIÓN:</b> Aplicada</p> <p><b>NIVEL DE INVESTIGACIÓN:</b> Correlacional: causa - efecto</p> <p><b>DISEÑO DE INVESTIGACIÓN:</b> Experimental</p> <p><b>POBLACIÓN:</b> Información diaria de los sensores de Nitrógeno, PH y CE, de cultivar 360 plantas de lechuga en el sistema de hidroponía automatizada, se obtuvo 3 datos por segundos.</p> <p><b>MUESTRA:</b> Promedio diario de la información de los sensores en 45 días de nitrógeno, pH y CE. 3 datos por segundo. En 4 repeticiones: 40 plantas de lechuga en hidroponía semi-automatizado 40 plantas en hidroponía raíz flotante, 40 plantas en hidroponía automatizada. Total: 120 plantas</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; margin-top: 10px;"> <thead> <tr> <th style="text-align: center;">Fuentes</th> <th style="text-align: center;">Técnicas e instrumentos</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">Primaria</td> <td style="vertical-align: top;">Monitoreo de N, pH y CE a través de sensores. Hardware, Software.</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center; vertical-align: top;">Secundarias</td> <td style="vertical-align: top;">Rendimiento productivo (peso por planta en g), ergonomía (ventajas y desventajas), resumen (ficha)</td> </tr> </tbody> </table>	Fuentes	Técnicas e instrumentos	Primaria	Monitoreo de N, pH y CE a través de sensores. Hardware, Software.	Secundarias	Rendimiento productivo (peso por planta en g), ergonomía (ventajas y desventajas), resumen (ficha)
Fuentes	Técnicas e instrumentos											
Primaria	Monitoreo de N, pH y CE a través de sensores. Hardware, Software.											
Secundarias	Rendimiento productivo (peso por planta en g), ergonomía (ventajas y desventajas), resumen (ficha)											
<p><b>SINTOMAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• El coste de los productos alimenticios se ha duplicado y triplicado en los últimos años.</li> <li>• Los riesgos de hambre generalizada.</li> <li>• Alimentos contaminados amenaza seria para la salud.</li> <li>• El cambio climático amenaza la producción de alimentos.</li> </ul> <p><b>CAUSAS:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Deficiente manejo en las prácticas de cultivo hidropónicos.</li> <li>• Inadecuado manejo de los recursos.</li> <li>• Reducción del espacio agrario laborable.</li> <li>• Empobrecimiento y erosión de suelos.</li> <li>• La contaminación física, biológica y química de los alimentos.</li> <li>• Demoras en los procesos</li> </ul> <p><b>PROBLEMA:</b> Inadecuado control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.</p>	<p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) ¿Cuáles son los procesos para controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema hidropónico automatizado de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa?</li> <li>2) ¿Cuál es diseño o arquitectura que debería tener la aplicación de software para el control de un cultivo hidropónico de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) en Pucallpa?</li> <li>3) ¿Cuál es el grado de asociación y correlación entre la aplicación de software y el control del balance de la solución nutritiva de un cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa?</li> <li>4) ¿En qué medida la aplicación de software mejora el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa?</li> </ol>	<p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Establecer los procesos de aplicación de software para mejorar el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa</li> <li>2) Establecer un diseño de aplicación de software apropiado para el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.</li> <li>3) Medir el grado de asociación o correlación entre la aplicación de software y el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.</li> <li>4) Proponer la aplicación de software para el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.</li> </ol>	<p><b>ESPECÍFICOS:</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Es posible Identificar un rango adecuado de nitrógeno, pH, conductividad eléctrica con la aplicación de SW para mantener balanceada la solución nutritiva en un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada.</li> <li>2) La aplicación de SW propicia un grado de asociación o correlación con la mejora del control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.</li> <li>3) Que el diseño de la aplicación de software o sistema computarizado cumpla con el control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo lechuga (<i>Lactuca sativa</i>) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.</li> <li>4) Que la tecnología del sistema automático de control para automatización añadida a la técnica de sistemas de cultivo hidropónico de lechuga, es más eficiente que otros métodos de cultivos de lechuga hidropónica semi-automatizada y no automatizada.</li> </ol>									

**ANEXO 5: Matriz de operacionalización de variables**

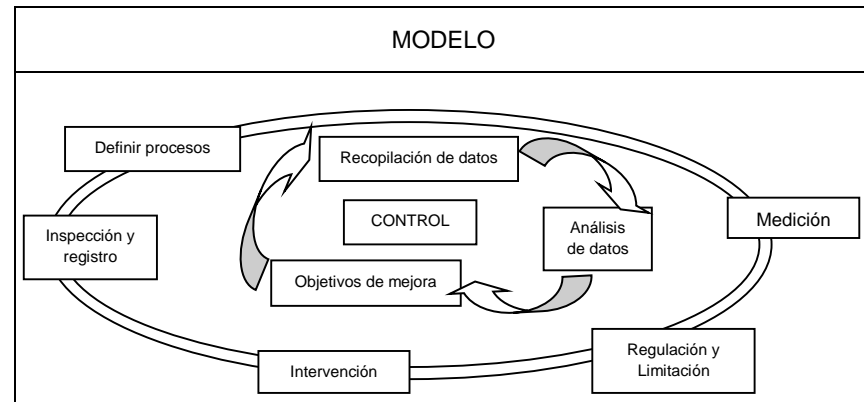
<b>INTERES DE LA INVESTIGACION</b>		Se decide realizar una investigación de tipo aplicada, con la aplicación de un software adecuado podremos controlar el balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo del nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa; con la finalidad de convertirse en una herramienta práctica y didáctica.	
<b>HECHOS</b>	Descripción del HECHO	<b>VARIABLE DEPENDIENTE</b>	<b>OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLE DEPENDIENTE</b>
	Problema	Esta variable debe salir del HECHO	<b>DIMENSION</b>
	Inadecuado control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (Lactuca sativa) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica en Pucallpa.	Control del balance de la solución nutritiva de un sistema de cultivo de lechuga (Lactuca sativa) bajo la técnica de hidroponía automatizada a raíz del monitoreo de nitrógeno, pH y conductividad eléctrica.	<b>SUB INDICADORES</b>
	Deficiente manejo en las prácticas de cultivo hidropónico y de los recursos. Reducido espacio agrario. Contaminación física, biológica y química de los alimentos. Demoras en los procesos	<b>INDICADOR</b>	Control
	Adecuado		
	No adecuado		



Autores que respaldan las variables y dimensiones	Pucallpa
	Módulo de Hidroponía de la UNU Ing. Mg. Administrativo Romel Pinedo Ríos (asesor) Ing. José Alipio Díaz Picón (co-asesor) Dr. Fernando Pérez Leal (responsable del módulo)

<b>CAUSA / EFECTO</b>	<b>SOLUCION</b>	Identificar el interés del investigador
		<div style="text-align: center;"> <p>Teoría</p> <p>Causa →  → Predictivo</p> <p>Solución</p> </div>
		Tipo de investigación
		Investigación Aplicada

<b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b>
Esta variable es la CAUSA del hecho
<b>Aplicación de software</b>
<b>INDICADOR</b>
Adecuado
No adecuado



**ANEXO 6: Otras instalaciones dentro del módulo de hidroponía**

**Ilustración 318:** Tanque o reservorio de agua para las camas almácigo y cultivo de cemento



**Ilustración 319:** Fila de camas de cultivo dentro del centro de investigación de hidroponía de la Universidad Nacional de Ucayali



**ANEXO 7: Autoridades de la Universidad Nacional de Ucayali (2014)**

**Ilustración 320: Autoridades de la UNU - 2014**



Rector de la Univeresidad Nacional de Ucayali

Dr. Roly Baldoceada Astete



Vicerrector Académico Dra. Otilia Hernández Panduro



Vicerrector Administrativo Dr. Jaime Alberto Pastor Segura



Ing. Romel Pinedo Ríos (Asesor de la tesis)

Decano de la facultad de ingeniería de sistemas y de ingeniería civil

**Ilustración 321: Colaboradores**



Dr. Fernando Pérez Leal

Responsable del Centro de Investigación

Hidropónico de la UNU



Ing. José Alipio Díaz Picón

Co-asesor de la tesis

## ANEXO 8: Investigadores

### Ilustración 322: Tesistas



Bach. Fiorella Isabel Pérez Reátegui



Bach. Ulises Fernando Pérez Reátegui