

**DISEÑO DEL PROYECTO PARA IMPLEMENTACIÓN DE UNA SALA TIA
(TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION) Y ADAPTACIÓN DE UN PROCESO
INDUSTRIAL PARA DESARROLLO DE PRACTICAS DE ENTRENAMIENTO EN
LAS ÁREAS DE INSTRUMENTACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL.**

**LIDIA YANETH NEITA DUARTE
RICARDO IVÁN PRADA MEDINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
2008**

**DISEÑO DEL PROYECTO PARA IMPLEMENTACIÓN DE UNA SALA TIA
(TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION) Y ADAPTACIÓN DE UN PROCESO
INDUSTRIAL PARA DESARROLLO DE PRACTICAS DE ENTRENAMIENTO EN
LAS ÁREAS DE INSTRUMENTACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL.**

**LIDIA YANETH NEITA DUARTE
RICARDO IVÁN PRADA MEDINA**

**Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Electrónico**

**Director:
Ing. JOSÉ ALEJANDRO AMAYA PALACIO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
2008**

Dedicado a...

A Dios, porque siempre me ha señalado el camino.

A mis padres, quienes son mi fortaleza, mi fuente de protección y amor.

A mi hermana, quien es mi inspiración y me obliga a seguir.

A mi hermano, por sus palabras de aliento.

A mi abuela Sara, por su amor, sus consejos durante su corta existencia, pero que siempre estarán en mi memoria.

A Cristina, Paula, Isley, Jorge, Miguel y Ricardo Andrés, por su amistad incondicional y sincera en estos años.

A Ricardo Juan, por su empeño en la culminación de esta meta.

A mis amigos y compañeros en general, por tantos momentos vividos.

A los seres estupendos, que hicieron posible la formación de mi segundo hogar durante estos seis años.

Lidia Y. Neita Duarte

Dedicado a...

A Dios creador del universo y dueño de mi vida.

A mis padres, Ricardo y Olga por el apoyo incondicional que me dieron a lo largo de la carrera, por hacer de mí la persona de la cual hoy ellos se sienten orgullosos.

A mi tía Martha Isabel, porque por más de 15 años, estuvo a mi lado y el de mis hermanos aportando cada día un granito de arena para nuestro crecer personal.

A mis hermanos Cesar y Laurita, porque a su manera me dieron apoyo y animo en los momentos que sentí caer.

A mis abuelos José Vicente, Cándida Rosa porque le aportaron mucho a mi vida.

A Jeimy Natalia por ser como es.

A Jaime Sarmiento y a BAVARIA S.A por la gran oportunidad que me brindaron.

A Lidia por su espíritu e interés en la culminación de este proyecto.

A todos mis compañeros por los buenos y malos momentos, por las tragedias y las alegrías, por los triunfos y las derrotas, en fin gracias.

A la Universidad Industrial de Santander y sus profesores por brindarme su conocimiento.

Y por ultimo agradezco a los hermanos de la Salle y al grupo JM por enseñarme que la fe en Cristo realmente mueve montañas.

Ricardo Juan Prada Medina

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo expresan sus más sinceros agradecimientos a todas aquellas personas e instituciones que con sus aportes hicieron posible la culminación de esta etapa de la vida:

Al profesor José Alejandro Amaya Palacio, por su compromiso, su entusiasmo y dedicación a su labor, la formación de nuevos ingenieros.

A los demás miembros de la E3T, por sus conocimientos y vivencias transmitidas en estos años de nuestra vida universitaria.

A nuestros amigos y compañeros, por los buenos ó malos momentos compartidos, que nos permitieron crecer como personas.

Al Ingeniero Luis Miguel Ariza Flórez, por su apoyo incondicional en el desarrollo de este proyecto.

A nuestra Alma Máter por brindarnos los espacios y los recursos para nuestra formación como Ingenieros.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
1. CONCEPTOS PRELIMINARES.....	3
1.1 ANTECEDENTES AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, CONTROL AUTOMÁTICO E INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA	3
1.1.1 Automatización Industrial.	3
1.1.2 Control de un Proceso.....	4
1.1.3 Instrumentación Electrónica.	5
1.2 INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO TIA	6
1.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LOS LABORATORIOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, SISTEMAS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE LA E3T	10
1.3.1 Laboratorio de Instrumentación Electrónica.....	10
1.3.2 Laboratorio de Sistemas de Control.....	16
1.3.3 Laboratorio de Automatización Industrial.	17
1.3 APOLOGÍA DEL PROYECTO	19
1.4 PROPUESTA DE INNOVACIÓN.....	20
2. FASES DE LA PROPUESTA.....	21
2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO	21
2.1.1 Proceso de fabricación del yogurt	22
2.1.2 Proceso de elaboración de la cerveza.....	25
2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA	35

2.3 ADAPTACIÓN DEL PROCESO A UN MODELO DE ESCALA EDUCATIVA	37
2.3.1 Descripción del proceso de la sala TIA.	38
3. DESCRIPCIÓN SALA TIA PROPUESTA	47
3.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y ELEMENTOS	47
3.1.1 Tanque de H ₂ O.	48
3.1.2 Tanque dos.	50
3.1.3 Tanque tres.	51
3.1.4 Tanque de desechos.	53
3.1.5 Sistema doble vía.	54
3.1.6 Sistema de enfriamiento.	56
3.1.7 Sistema de envase.	57
3.1.8 Descripción de los otros dispositivos y elementos presentes en la sala TIA.	58
3.2 ALCANCE DE LA SALA TIA.	60
3.3 PROPUESTA DE LA SALA TIA PARA EL BANCO DE PROYECTOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER.	61
4. SOFTWARE DE IMPLEMENTACIÓN	62
4.1 STEP 7	62
4.1.1 Lenguaje KOP.	63
4.1.2 Lenguaje AWL.	64
4.1.3 Lenguaje FUP.	65
4.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN	67
4.2.1 HART®.	67

4.2.2 PROFIBUS.....	68
4.3 WinCC.....	69
4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS IMPLEMENTADOS PARA LA SALA TIA.....	70
4.4.1 Descripción de la estructura de programación en STEP7.....	70
4.4.2 Descripción del Supervisorio.....	79
4.5 MÍMICO DEL PROCESO.....	89
CONCLUSIONES.....	91
OBSERVACIONES.....	94
RECOMENDACIONES.....	96
BIBLIOGRAFÍA.....	98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Estructura de TIA.....	7
Figura 2. Laboratorio de Instrumentación Electrónica.....	10
Figura 3. Prototipo de nivel.	11
Figura 4. Prototipo de Temperatura.	12
Figura 5. Prototipo de caudal.	13
Figura 6. Primer prototipo de presión.....	14
Figura 7. Segundo Prototipo de Presión.	15
Figura 8. Tercer prototipo de presión.....	15
Figura 9. Módulos Feedback.....	16
Figura 10. Equipo de servosistemas.	17
Figura 11. Bancos de relés.	18
Figura 12. PLC nano TSX07 y consola de programación FTX117.	18
Figura 13. Proceso Cervecerero.	26
Figura 14. Proceso de maceración.	32
Figura 15. Convenciones para los diagrama de flujo del proceso.....	40
Figura 16. Bosquejo de la sala TIA.....	46
Figura 17. Bosquejo del tanque H ₂ O de la sala TIA.....	48
Figura 18. Boceto del tanque 2.....	50
Figura 19. Croquis del tanque 3.....	52
Figura 20. Bosquejo del tanque tres.....	54
Figura 21. Diseño del sistema doble vía.	55
Figura 22. Boceto del sistema de envase.	57
Figura 23. Símbolos básicos SETP 7.....	63
Figura 24. Lenguaje KOP.....	64
Figura 25. Programa en AWL.....	65

Figura 26. Modelo de programa en FUP	65
Figura 27. Señal HART	68
Figura 28. Ventana principal del proyecto tanques	71
Figura 29. Bloque FC1	72
Figura 30. Bloque FC2	72
Figura 31. Bloque FC3	73
Figura 32. Función PID (FC4)	73
Figura 33. Función FC5.	74
Figura 34. Presentación Inicial HMI.	80
Figura 35. Presentación general.	81
Figura 36. Presentación tanque 1.	83
Figura 37. Presentación tanque 2.	84
Figura 38. Presentación del tanque de agua.	84
Figura 39. Presentación tanque de desechos.	85
Figura 40. Presentación del sistema de dos vías.	86
Figura 41. Gráfico del sistema de llenado sin botella y banda estática.	87
Figura 42. Gráfico de movimiento de la banda.	87
Figura 43. Gráfico de la detección de la botella.	88
Figura 44. Gráfico del llenado de la botella.	88
Figura 45. Mímico sala TIA	90

LISTA DE ESQUEMAS

Esquema 1. Diagrama del proceso de elaboración del yogurt.....	23
Esquema 2. Diagrama de flujo de la elaboración de la cerveza.	27
Esquema 3. Malteado.	28
Esquema 4. Línea de producción del mosto.	30
Esquema 5. Diagrama de flujo del proceso de la sala TIA	41
Esquema 6. Diagrama de flujo del proceso de aseo de los tanques.	44
Esquema 7. Diagrama de flujo de la rutina de supervisión de tanques.	75
Esquema 8. Diagrama de flujo de arranque de proceso.....	76
Esquema 9. Diagrama de flujo de la rutina de llenado.....	77
Esquema 10. Diagrama de flujo de la rutina de CIP (cleaning in place).	78
Esquema 11. Diagrama de flujo de la rutina del tanque de desechos.	79

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A.....	100
ANEXO B.....	111
ANEXO C.....	112
ANEXO D.....	128
ANEXO E.....	133

RESUMEN

TITULO

DISEÑO DEL PROYECTO PARA IMPLEMENTACIÓN DE UNA SALA TIA (TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION) Y ADAPTACIÓN DE UN PROCESO INDUSTRIAL PARA DESARROLLO DE PRACTICAS DE ENTRENAMIENTO EN LAS ÁREAS DE INSTRUMENTACIÓN, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL.*

AUTORES

LIDIA YANETH NEITA DUARTE
RICARDO IVÁN PRADA MEDINA†

PALABRAS CLAVES: Automatización de procesos, Instrumentación electrónica, Sistemas de Control, Concepto Totally Integrated Automation (TIA), Controlador programable (PLC), Protocolos de comunicación, Periferia descentralizada, Interfaz gráfica de usuario (GUI).

DESCRIPCIÓN

En este documento se aborda el desarrollo de la propuesta para la implementación de una sala TIA como herramienta pedagógica en la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T), para la integración de las áreas de Automatización de procesos, Instrumentación electrónica y Sistemas de control.

Inicialmente, se realiza un marco teórico de los temas de Automatización, Instrumentación, Control y el concepto TIA. Igualmente, se hace una descripción general de los laboratorios de Instrumentación Electrónica, Sistemas de Control y Automatización de procesos de la E3T. La solución propuesta se basa en la adaptación a nivel académico de un proceso industrial; particularmente, se propone una planta piloto de cuatro tanques, una unidad de enfriamiento de agua y una banda transportadora que simula varias actividades del proceso seleccionado, la fabricación industrial de la cerveza.

Tras la elaboración de la adaptación del proceso, se procede a la selección de los equipos e instrumentación de la sala, se detallan los datos técnicos más relevantes de cada uno de ellos; la elaboración de los diagramas de flujo de control del proceso de la interfaz gráfica y la rutina programada para el PLC; posteriormente, se describe en forma breve el mímico de la sala TIA. Finalmente, se conciben las conclusiones, observaciones donde se resumen lo realizado en este trabajo de grado y las recomendaciones para ampliar y mejorar los laboratorios mencionados anteriormente.

* Trabajo de Grado

† Facultad de Ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, y de Telecomunicaciones. Director: Ing. José Alejandro Amaya Palacio

SUMMARY

TITLE

DESIGN OF THE PROJECT FOR IMPLEMENTING OF A TIA ROOM (TOTALLY INTEGRATED AUTOMATION) AND ADAPTATION OF AN INDUSTRIAL PROCESS FOR TREATMENT AND DEVELOPMENT IN AUTOMATION, INSTRUMENTATION AND CONTROL.[‡]

SHOWED BY

LIDIA YANETH NEITA DUARTE
RICARDO IVÁN PRADA MEDINA[§]

KEYWORDS: Automation process, Electronic instrumentation, Systems of control, Totally Integrated Automation (TIA) concept, Programmable logic controller (PLC), Communication protocols, Graphical user interface (GUI).

DESCRIPTION

This document talks about the development of the process to implement a TIA room as a pedagogical tool in the electronic, electric and telecommunication engineering school (E3T) for integration of automation process, electronic instrumentation and system control.

First of all, a theoretic framework is done about automation, instrumentation, control, and TIA concept, also, a general description of the instrumentation, system control and automation process labs is done of the E3T. The purpose is based on the adaptation in an academic level of an industrial process; particularly is proposed a pilot plant with four tanks an unit of getting cold water and a transporting band that simulates several activities of the selected process, the industrial made beer.

After the adaptation of the process, the selection of the equipment and instrumentation of the room is proceeded, current technical data are detailed. System Flow Diagram elaboration of graphic interface and the programmed routine for PLC. Finally, the conclusions are done, observation where is summarized all in this work done and the recommendation to improve and broaden this study the labs mentioned before.

[‡] Project of Degree

[§] Physical-mechanics Engineerings Faculty. Electricity, electronics and telecommunication Engineerings School. Manager: Eng. José Alejandro Amaya Palacio.

INTRODUCCIÓN

La automatización de procesos se encuentra en una búsqueda constante de soluciones óptimas para los requerimientos de la industria mundial como son la reducción de los tiempos de proceso, costos de producción, confiabilidad en los clientes, seguridad tanto del recurso humano como de las instalaciones físicas y disponer de información en tiempo real, teniendo en cuenta las capacidades y requisitos específicos de la empresa o sector.

Dentro de esta situación, el desarrollo de la electrónica en los campos de la microelectrónica y nanoelectrónica ha permitido dar grandes pasos en la conquista de estos retos. Estos avances son tomados por multinacionales del sector como SIEMENS AG, Schneider Electric, General Electric, entre otras; para el desarrollo de hardware como instrumentación electrónica, motores, protecciones, controladores, etc.; y de software, con el propósito de cumplir con los retos impuestos por los procesos productivos y por ende obtener beneficios a nivel socio-económico.

Se debe considerar que los avances tecnológicos en las áreas de automatización de procesos, instrumentación electrónica, redes de comunicaciones, y sistemas de control, en los últimos años han evolucionado a pasos agigantados. Con esta perspectiva la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander ha asumido el reto de mejoramiento de sus laboratorios en pro de la formación idónea de sus egresados y ampliar sus programas de especializaciones, maestrías y doctorados cumpliendo con estándares de alta calidad.

Finalmente, el objetivo de este proyecto, es proponer una sala totalmente automatizada para el laboratorio de instrumentación electrónica, donde converjan las materias de automatización de procesos, redes de comunicación industrial, sistemas de control e instrumentación electrónica. La planta piloto es basada en un proceso de la industria colombiana, con instrumentación, actuadores, software, accionamientos y controladores de última generación.

En este documento el lector encontrará la descripción actual de los laboratorios, la descripción del proceso base de la sala, la adaptación del mismo a nivel educativo para su fácil entendimiento, los instrumentos y elementos seleccionados, los programas desarrollados, la implementación de un mímico de la planta y el desarrollo de la propuesta de la sala para ser entregada al banco de proyectos de la Universidad Industrial de Santander.

1. CONCEPTOS PRELIMINARES

En este capítulo se tratan los conceptos básicos que encierran la Automatización Industrial, la Instrumentación Electrónica y el Control de un Proceso, como se relacionan, además las nociones del significado de *TIA* (Totally Integrated Automation) desarrollado por SIEMENS AG y se hace una breve descripción física de los laboratorios de control, automatización Industrial e Instrumentación Electrónica de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones de la Universidad Industrial de Santander. Además, una apología del proyecto y la solución planteada.

1.1 ANTECEDENTES AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, CONTROL AUTOMÁTICO E INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA

El hombre desde varios siglos AC ha tratado de reducir el esfuerzo del ser humano en los procesos al mismo tiempo en que mejora su calidad y tiempo empleado en el desarrollo de estos por medio de la tecnología. Esto permitió la creación de la disciplina de ingeniería de Automatización Industrial que a su vez abarca con los campos de la Instrumentación Electrónica y los Sistemas de Control.

1.1.1 Automatización Industrial. “Es el conjunto de las disciplinas teóricas y

tecnologías que intervienen en la concepción, la construcción y el empleo de los sistemas automáticos”⁵.

En los sistemas productivos, la automatización permite incorporar al proceso dispositivos tecnológicos que buscan la flexibilidad, la eficiencia, la calidad y seguridad de la infraestructura y del recurso humano del mismo.

Existen diferentes estructuras de sistemas automatizados que dependen del tipo de proceso, las variables involucradas, factores económicos y administrativos y las necesidades tecnológicas, éstas son el sistema de control centralizado, el sistema de control distribuido (DCS) y el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition).

1.1.2 Control de un Proceso. Se realiza mediante implementación de un sistema de control, el cual permite la regulación de las variables del proceso sin importar las influencias externas (perturbaciones) comparando el valor de variable o condición a controlar, con un valor deseado (set point), para tomar una acción de corrección de acuerdo con la desviación existente (error).

Existen dos sistemas de control: en lazo abierto y en lazo cerrado. El primero son sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control y el último son sistemas que mantienen una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control; se denominan *sistemas de control realimentado*.

Los componentes básicos de un sistema de control automático se enumeran a continuación:

⁵ MANTILLA SAAVEDRA, Juan Carlos. Memorias del Diplomado Instrumentación, Automatización y Control virtual. UPB. Bucaramanga, 2006.

- TRANSMISOR = (SENSOR ÷ TRANSDUCTOR) + ACONDICIONADOR, su función es medir.
- CONTROLADOR= Cerebro del sistema de control, su función es decidir.
- ELEMENTO FINAL DE CONTROL= Ejecutor de la acción de control, su función es maniobrar⁶.

Objetivos de un sistema de control automático son:

- Manipulación automática de variables.
- Mantenimiento y mejoramiento de la calidad del proceso.
- Optimización de procesos productivos.
- Seguridad industrial⁷.

1.1.3 Instrumentación Electrónica. Se aplica en el *sensado*⁸ y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales realiza el monitoreo y control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas⁹.

Las variables físicas y químicas a medir o controlar pueden ser:

Variables primarias: Temperatura (T), Presión (P), Nivel (L) y Caudal (F).

Variables secundarias: Densidad (D), Humedad (M), Velocidad (S), Viscosidad (V), peso (W), Voltaje (E), Tiempo (K), Posición (Z), etc.

⁶ RONCANCIO RODRIGUEZ, Rafael. Curso de Instrumentación Electrónica. Universidad Industrial de Santander, 2000.

⁷ MANTILLA SAAVEDRA, Op cit., p. 1.

⁸ Es medir el estado de una variable en cualquier instante por medio de un elemento primario, que es acondicionada por medio de un transductor para ser entregada y analizada al proceso.

⁹ Fuente: http://es.wikipedia.org/wiki/Instrumentaci%C3%B3n_electr%C3%B3nica, junio de 2008.

Existe una nueva tendencia que es la instrumentación virtual, esta involucra un PC que ejecuta un Software, éste es capaz de adquirir la señal, involucrar la interfaz hombre-máquina, funciones de análisis y procesamiento de señales, almacenamiento de datos y comunicaciones con otros equipos. Un ejemplo de software es LabVIEW, algunos buses de comunicación son RS-232, USB, etc.

1.2 INTRODUCCIÓN DEL CONCEPTO TIA¹⁰

La variedad y complejidad de los procesos productivos han propiciado la búsqueda de soluciones a los problemas de calidad, tiempo de elaboración, costos y competitividad de los productos. Las soluciones están enfocadas a automatizar partes de la planta y existe una mezcla de varias tecnologías y proveedores, esto ha hecho que la información proveniente del proceso pase por diferentes interfaces causando problemas de comunicación y mayor tiempo de producción.

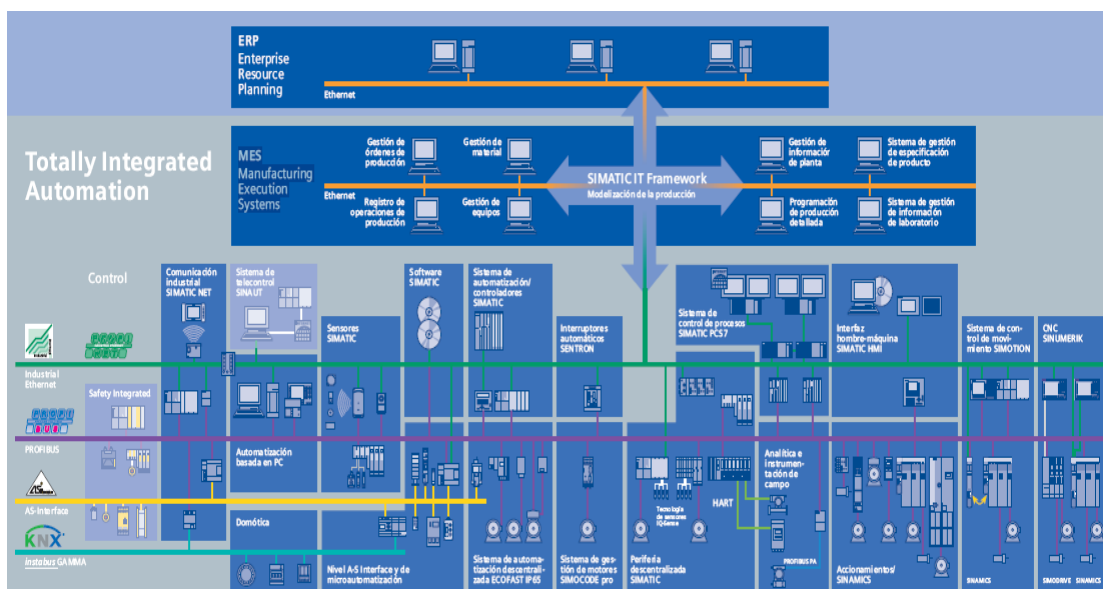
Totally Integrated Automation (TIA) es un método desarrollado en 1996 por Siemens Automation and Drives (A&D), una de las divisiones de Siemens AG, como base para las soluciones personalizadas en el campo de la automatización. Esta estrategia plantea la homogenización e integración de los sistemas, esto no sólo permite reducir el número de interfaces, también asegura la máxima transparencia de datos en todos los niveles, desde el nivel de campo, pasando por el nivel de producción, hasta el de gestión con MES (*Manufacturing Execution System*) y ERP (*Enterprise Resource Planning*), es decir, está presente desde la materia prima hasta el producto final. Totally Integrated Automation es una base única y común a todos los sectores industriales para ofrecer soluciones de

¹⁰ Tomado de los diferentes folletos de SIEMENS disponibles en www.siemens.com/totally-integrated-automation.

automatización personalizadas, como energía, refinería, industria química, tratamiento de aguas, cemento, vidrio, petróleo, gas, minería, metalúrgica, farmacéutica, alimentos, bebidas, automotriz, etc.

En la Figura 1 se muestra la organización del concepto Totally Integrated Automation, donde se pueden apreciar los diferentes componentes de TIA y su distribución en un proceso industrial desde el campo hasta la gestión administrativa.

Figura 1. Estructura de TIA



Fuente: folletos disponibles en www.siemens.com/totally-integrated-automation.

Un sistema TIA (de SIEMENS) se distingue por las siguientes características:

- Almacenamiento de datos comunes: los datos son almacenados solo una vez en bases de datos comunes y son gestionados por el usuario.

- Sistemas escalables: todos los componentes inherentes y sistemas son configurados, programados, llevados a la práctica, depurados y monitoreados con un kit de software completamente integrado y modular.
- Interfaz Abierta: la comunicación está totalmente integrada, de manera que se encuentra libre de que se pueda producir algún problema en el intercambio de datos entre diferentes sistemas. PROFIBUS es utilizado como bus de comunicaciones.
- Integración Completa: La completa integración de la tecnología de accionamientos. Las herramientas para la configuración, diagnóstico y puesta en marcha, se encuentran integradas en STEP 7.
- Reducción de costos: reducción de costos en configuración, mantenimiento y formación de personal son resultados de este concepto de integración. El óptimo uso del hardware permite que los costos se vean reducidos.
- Compatibilidad y modularidad: las soluciones de automatización generadas no son sistemas cerrados, se pueden ampliar a través de la modularidad de sus componentes y software. No hay problema en que sean sistemas centralizados o abiertos.
- Bases de datos comunes: son también útiles en una tercera parte de los sistemas con interfaces estándar predefinidos. OPC (OLE para Control de Procesos) permite la representación de los datos procesados en una aplicación basada en Windows, a través de la cual se pueden observar y actuar sobre dichos procesos.

Las ventajas planteadas son:

- Menor costo en el ciclo de vida de la producción.
- Menor tiempo de lanzamiento del producto al mercado.
- Mayor productividad.
- Coordinación Optimizada de todos los componentes y menor complejidad.
- Mayor seguridad.
- Soluciones de automatización perfectamente adaptadas a los requisitos particulares.
- Operación optimizada de maquinaria y proceso.
- Protección de la inversión y del capital intelectual.
- Reducción de costos de construcción y mantenimiento de plantas.
- Mayor disponibilidad y flexibilidad del sistema.
- Mejoramiento de la calidad.

Los diferentes sistemas que conforman TIA son software y controladores SIMATIC, el nivel de gestión de producción (Manufacturing Execution System, MES) hasta enlazar con el nivel de gestión de empresa (Enterprise Resource Planning, ERP), conforman SIMATIC IT; para el nivel de operaciones se emplea el sistema de control de procesos SIMATIC PSC7 (DSC) y/o el sistema SCADA SIMATIC WinCC (Windows Control Center); en el nivel de control se utilizan controladores SIMATIC, interfaces hombre máquina SIMATIC HMI, comunicaciones industriales SIMATIC NET (Ethernet Industrial, PROFIBUS, AS-Interface), control numérico SINUMERIK, sistemas de control de movimiento SIMOTION y Safety Integrated; por último en el nivel de campo se encuentra SIMATIC Sensor, en instrumentación de campo la gama SITRANS y sistemas de accionamiento SINAMICS.

1.3 DESCRIPCIÓN FÍSICA DE LOS LABORATORIOS DE AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL, SISTEMAS DE CONTROL E INSTRUMENTACIÓN ELECTRÓNICA DE LA E3T

En la actualidad las materias de Instrumentación Electrónica y Sistemas de Control cuentan con un laboratorio ubicado en el salón 209 del edificio de Alta Tensión, el laboratorio de Automatización de Procesos se encuentra en el salón 115 del edificio Laboratorios de Pesados.

1.3.1 Laboratorio de Instrumentación Electrónica¹¹. Este laboratorio se creó en el año 2001, se diseñó para el manejo de cuatro variables (nivel, temperatura, caudal, y presión) por medio de prototipos con los cuales se desarrollan las diferentes prácticas. Cuenta con 8 mesas y 22 sillas para ser utilizadas por los estudiantes en las prácticas como se observa en la Figura 2.

Figura 2. Laboratorio de Instrumentación Electrónica.



Fuente: Autores.

¹¹ NOVOA, Daniel, PRADA, Jorge y SAYAGO, Sandra. Planeación, Diseño y Realización del Laboratorio de Instrumentación Electrónica para la E3T: Trabajo de grado. UIS. Bucaramanga, 2001

Prototipo para medición de Nivel. Se fundamenta en la medición de nivel por medio de presión diferencial se aprecia en la Figura 3. El prototipo comprende los siguientes elementos:

- Transmisor de presión diferencial electrónico marca Honeywell modelo STD 930, rango 0 a 30 PSI, con display y posee protocolo Hart.
- Dos válvulas solenoides dos vías marca Uni-d, alimentación 110 v dc.
- Tanque de acrílico abierto de 40cm de diámetro, 260cm de alto y 8mm de espesor.

Figura 3. Prototipo de nivel.



Fuente: RAMÍREZ, Diego y TORRES, Edgar. Sistema de Gestión para un Prototipo de Sistema SCADA en el laboratorio de Instrumentación Electrónica de la E3T: trabajo de grado. UIS. Bucaramanga, 2007.

Prototipo para medición de Temperatura. Consiste en un lazo de control es capaz de mantener una temperatura determinada de un tanque de agua en un

rango de 100°C a la temperatura ambiente, el prototipo se indica en la Figura 4. El prototipo posee los siguientes elementos:

- Un tanque de acrílico de 40 cm de diámetro, 90 cm de alto y 5 cm de espesor.
- Una resistencia de inmersión de 2000 W de potencia.
- Una termocupla industrial con cabezote tipo J.
- Un controlador universal UDC 3000.
- Un par de electroválvulas marca UNI-D y un juego de relés.

Figura 4. Prototipo de Temperatura.



Fuente: Autores.

Prototipo para medición de caudal. El prototipo está basado en el principio de medidor de caudal másico los cuales son los que determinan el caudal en

masa del fluido, el principio que se aplica es el de presión diferencial ocasionada por un obstáculo. El obstáculo es una platina de orificio como se ve en la Figura 5.

Los elementos empleados en el montaje son:

- Transmisor de presión diferencial electrónico marca Honeywell modelo STD 930, rango 0 a 30 PSI, con display y posee protocolo Hart.
- Platina de orificio con $\beta = 0.27021$ y un $\varnothing = 14.19$ mm en acero inoxidable.
- Bridas con orificio en acero al carbón con 5% de níquel, de 2" X 300 libras, de cara levantada (RF), THD (roscadas) con sus respectivos espárragos.
- Sección de Tubería de 1" a 2" con regulador de presión, válvulas de entrada, juego de válvulas para regulación de caudal.

Figura 5. Prototipo de caudal.



Fuente: Autores.

Prototipos para medición de Presión. Existen tres prototipos de medición de presión. El primero de ellos se basa en la medición de presión manométrica en

tramos de tubería que se encuentran sobre cada mesa, este sistema está constituido por: Transmisor de Presión Manométrico Inteligente Honeywell y Transmisor de Presión Manométrico no Inteligente Winter. El segundo es un *prototipo de calibración*, permite aprender a calibrar Transmisores de presión diferencial y Por último el tercer prototipo es un sistema de control de Presion on – off , por medio de un switch de presión y una válvula solenoide.

Los prototipos existentes con sus componentes se muestran a continuación en Figura 6, Figura 7 y Figura 8.

Figura 6. Primer prototipo de presión.



Fuente: Autores.

Figura 7. Segundo Prototipo de Presión.



Fuente: Autores.

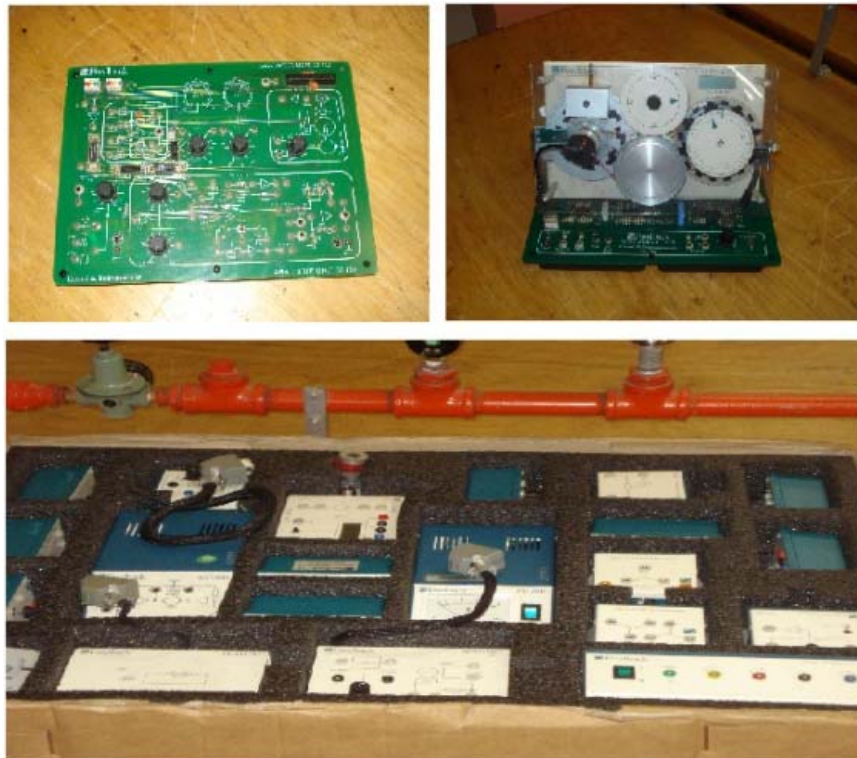
Figura 8. Tercer prototipo de presión.



Fuente: NOVOA, Daniel, PRADA, Jorge y SAYAGO, Sandra. Planeación, Diseño y Realización del Laboratorio de Instrumentación Electrónica para la E3T: Trabajo de grado. UIS. Bucaramanga, 2001.

1.3.2 Laboratorio de Sistemas de Control. Se encuentra ubicado en segundo piso del edificio de Alta Tensión en el salón 209, para el desarrollo de las prácticas con los módulos de Feedback y el equipo de servosistemas modular de 20 piezas o para el desarrollo del proyecto de la materia, estos equipos se ilustran en la Figura 9 y la Figura 10; y en el salón 205 para las prácticas de simulación con Matlab®¹².

Figura 9. Módulos Feedback.



Fuente: Autores.

¹² MATLAB es la abreviatura de Matrix Laboratory (laboratorio de matrices). Es un programa de análisis numérico creado por The MathWorks en 1984. En: <http://es.wikipedia.org/wiki/MATLAB>, mayo de 2008.

Figura 10. Equipo de servosistemas.

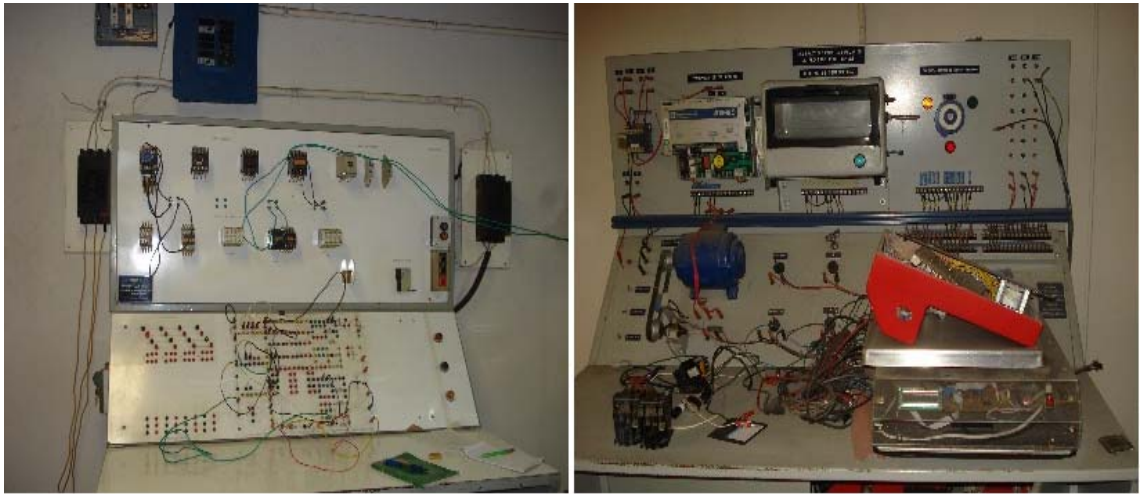


Fuente: Autores.

1.3.3 Laboratorio de Automatización Industrial. Se encuentra dividido en software y hardware, el software empleado en las prácticas es LabVIEW¹³ se realiza en el salón 111 y el hardware en el salón 115 del edificio Laboratorios de Pesados, para las prácticas de hardware existen 3 bancos de relés para practicar la lógica cableado, 8 PLCs nano TSX07, tres consolas de programación FT117 marca TELEMECANIQUE, actualmente no se encuentran en uso y un computador para programar los PLCs en el sistema operativo DOS. En la Figura 11y Figura 12 se observan los elementos del laboratorio.

¹³ LabVIEW es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. Este programa fue creado por National Instruments (1976). En: <http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>, mayo de 2008.

Figura 11. Bancos de relés.



Fuente: Autores.

Figura 12. PLC nano TSX07 y consola de programación FTX117.



Fuente: Autores.

1.3 APOLOGÍA DEL PROYECTO

La automatización de procesos ha sumido nuevos retos como mayor productividad, eficiencia, calidad, menor tiempo y costos producción, sin importar el sector industrial. Esto ha propiciado el fortalecimiento de las relaciones entre el sector industrial, la academia y los centros de desarrollo tecnológico en la búsqueda de nuevas tecnologías que proporcionen soluciones eficientes y eficaces en beneficio de la competitividad de las empresas y en el desarrollo de los países.

El acercamiento entre la industria y la academia se necesita para lograr una retroalimentación que beneficie a las dos partes; en cuanto a la academia el fortalecimiento de los proyectos de investigación con mejor tecnología, además del contacto de los profesionales con la tecnología y las necesidades del sector; por parte de la industria el mejoramiento de los procesos por los proyectos desarrollados en la academia.

La E3T ha desarrollado proyectos en búsqueda del mejoramiento tecnológico de los laboratorios como apoyo a la parte académica, para enfrentarse a los nuevos desafíos que se imponen y en el pro de mantener la alta calidad de sus egresados y la adecuación de los conocimientos y la formación integral de sus estudiantes, se encuentra en la fase de modernización de sus laboratorios y dotación de los mismos. Dentro de este proceso, se ha diagnosticado que los laboratorios de Instrumentación Electrónica, Automatización de Procesos y Sistemas de Control, requieren de una fuerte repotenciación y dotación, con el fin de estar a la vanguardia, atender las actuales necesidades de los estudiantes de la escuela y permitir la creación de diplomados, especializaciones y maestrías en los campos de la automatización.

1.4 PROPUESTA DE INNOVACIÓN

Se plantea la creación de un modelo a escala de un proceso productivo existente en nuestro país, que maneje el mayor número de variables posibles. Esto permite crear un espacio donde la Automatización, la Instrumentación y el Control se relacionen como es en la industria, porque ninguna actúa por separado ya que las tres mutuamente se apoyan. Además, en el modelo a escala se pretende utilizar la mayor cantidad de componentes industriales para lograr una familiarización de los estudiantes con la tecnología empleada en la industria en estos días, permitiendo el acercamiento a un ambiente industrial que es uno de los objetivos planteados en la materia de Instrumentación Electrónica.

El modelo a escala se denomina sala TIA; se explora el concepto de TIA desarrollado por SIEMENS AG ya que esta empresa cuenta con un programa de cooperación con la educación (SCE), que es un proyecto que se enmarca en la relación educación e industria.

El proyecto pretenden crear un ambiente industrial que permita la familiarización de los estudiantes con la industria y se diseño para que la instrumentación y los demás elementos presentes en la sala sean de diferente tipo, y con esto crear una infraestructura que permita conocer varios elementos de los tratados en las clases teóricas.

2. FASES DE LA PROPUESTA

En este capítulo se comienza con el desarrollo de la propuesta de la sala TIA, se trata en primer lugar la selección del proceso base de la planta piloto, esto abarca la preselección de dos procesos industriales presentes en la industria colombiana y la descripción de los mismos. Posteriormente, la justificación del proceso seleccionado; finalmente, se expone la adaptación del proceso a un modelo de escala educativa.

2.1 SELECCIÓN DEL PROCESO

La primera fase es la selección del proceso productivo que se va a tomar como referencia para la sala TIA. Los procesos seleccionados son procesos existentes en la industria colombiana en empresas con un grado tecnológico. Los procesos preseleccionados son la preparación del yogurt y la elaboración de la cerveza.

A continuación se hace una descripción general de la manufactura del yogurt y la cerveza, según sus procesos y variables empleadas, se selecciono él más adecuado como modelo para la sala TIA:

2.1.1 Proceso de fabricación del yogurt ^{14, 15.} Según la FAO (Food and Agricultural Organization) el yogurt se define como leche coagulada obtenida por la fermentación láctica ácida debida a las bacterias *Lactobacillus bulgáricus* y *Streptococcus thermophilus* sobre leche pasteurizada o concentrada, con o sin adición (leche en polvo, azúcar, etc).

Este producto es de alto valor nutricional, es rico en vitaminas del complejo B, además de la presencia del ácido láctico que favorece el desarrollo de la flora intestinal; por estas razones y por el bajo precio es un producto de consumo masivo en diferentes países.

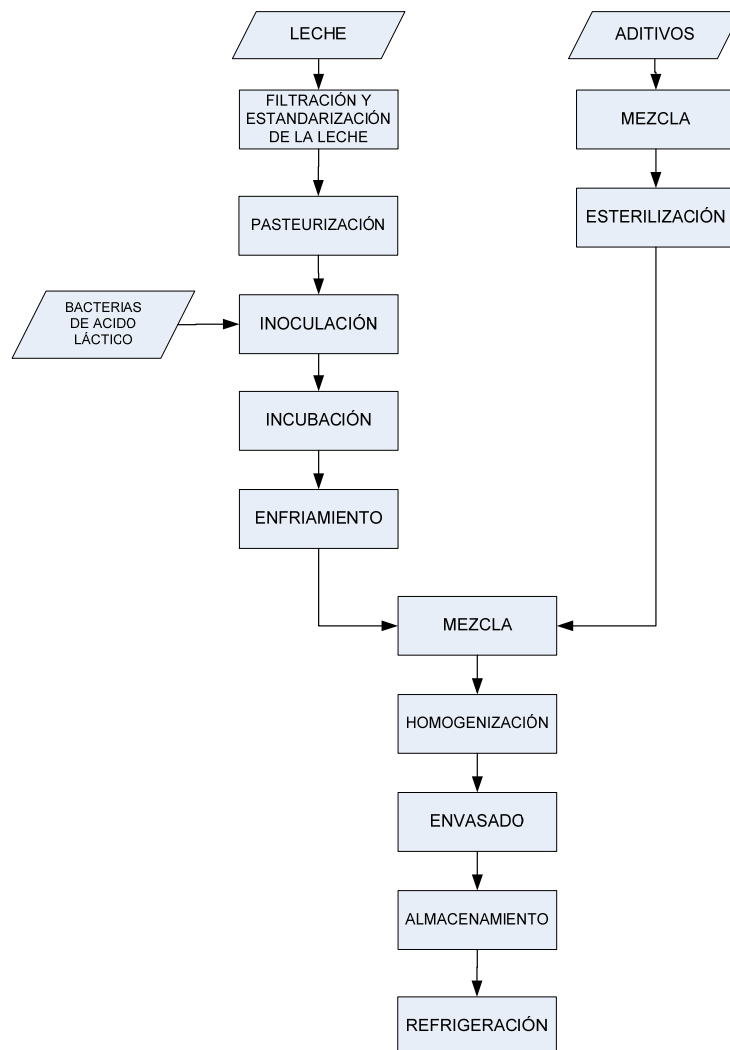
Descripción del proceso. Las materias primas fundamentales son leche entera o descremada, fresca o en polvo y las bacterias señaladas anteriormente, los aditivos presentes son el azúcar, zumos de fruta, aromatizantes y estabilizantes.

El proceso se desarrolla en nueve pasos fundamentales (Esquema 1), dependiendo del tipo de yogurt hay ciertas variaciones en el proceso; el proceso fundamental es el que se describe a continuación.

¹⁴ BARRERA, Leonardo y PIGNATO, María Fernanda. Conferencia en Biotecnología láctea.

¹⁵ BAUMAN, Guillermo y LOGO, Emiliano. Artículo el yogurt: un alimento esencial, en www.monografias.com, noviembre de 2007.

Esquema 1. Diagrama del proceso de elaboración del yogurt.



Fuente: Autores.

Filtración y Estandarización. La leche es bombeada a un filtro donde es centrifugada para eliminar las impurezas insolubles y normalizar el contenido de grasa; después dependiendo del tipo de yogurt en se adicionan azúcar y leche en polvo para elevar los sólidos.

Pasteurización. El procedimiento óptimo es elevar la temperatura entre 90 y 92° Celsius y se mantiene esta temperatura durante 10 ó 15 minutos. Posteriormente, es enfriada a la temperatura óptima de inoculación (42 – 45°C) y luego es enviado al tanque de inoculación.

Inoculación e Incubación. Se agrega los cultivos de bacterias que permitirán a la leche fermentarse, adicionado el fermento se debe mantener la temperatura entre 42 y 45 ° Celsius hasta cuando el PH alcance un valor menor o igual a 4,6.

Enfriamiento. Alcanzado el PH, es necesario llevar el yogurt a una temperatura entre los 10 y 15°C, con el fin de parar la fermentación y evitar que el yogurt siga acidificándose.

Mezcla y Esterilización de los Aditivos. Saborizantes y algunos aditivos son mezclados y esterilizados en un sistema de esterilización de altas temperaturas y corto tiempo (HTST).

Mezcla y Homogenización. Se realiza para romper el coagulo formado en las etapas anteriores y se mezclan con las aditivos esterilizados hasta que alcanza una consistencia homogénea por medio de agitación.

Envasado, almacenamiento y refrigeración. Se controla el cerrado hermético del envase para mantener la inocuidad del producto; se debe controlar que el envase y la atmósfera durante el envasado sean estériles. El producto, debe ser almacenado a una temperatura de 4°C, y en condiciones adecuadas de higiene.

2.1.2 Proceso de elaboración de la cerveza. La cerveza es una bebida alcohólica proveniente de la modificación del almidón de la cebada u otros cereales y luego es fermentada en agua y aromatizada. Según datos históricos su fabricación data alrededor de 3500 A.C. ó desde la aparición del pan entre 10000 A.C y 6000 A.C.

En Colombia los primeros registros de fabricación de cerveza son en el Convento de San Simón en el año 1850¹⁶, en el año de 2001 se crea el *Grupo Empresarial Bavaria (GEB)* que agrupa a todo el sector de bebidas y a finales del 2005 el grupo anglo-sudafricano *Grupo SAB-Miller* compra la totalidad de las acciones.

Existen diferentes grupos de cervezas: Grupo I: Cervezas de baja fermentación (tipo Pilsen, Dortmund, Munich, Bock); Grupo II: Cervezas de alta fermentación (tipo Ales, Scotch, Stout, cervezas malteadas, otras cervezas especiales o regionales, cervezas de abadía, cervezas blancas, vinos de cebada); Grupo III: Cervezas ácidas incluyendo de fermentación espontánea (Lambic, Gueuze, Faro, Kriek); Grupo IV: Cervezas aromatizadas; Grupo V: Cervezas de mesa; Grupo VI: Cervezas sin alcohol; Grupo VII: Bebidas de malta¹⁷.

Descripción del proceso ^{18,19}. La elaboración de la cerveza involucra varios procesos; las etapas generales se muestran en el Esquema 2 y la Figura 13 se muestra el proceso cervecero con más detalle.

¹⁶ Fuente: <http://www.historiacocina.com/historia/cerveza/colombia1.htm>, junio de 2008.

¹⁷ Club Colombia obtuvo una de las máximas distinciones de calidad cervecera en el mundo- Comunicado de prensa- SAB Miller- 26 de mayo de 2008.

¹⁸ Apéndice 1- El proceso de la elaboración de la cerveza, Grupo León Jimenes y Cervecería Nacional Dominicana, disponible en: <http://www.glj.com.do/home.php/>, noviembre de 2007.

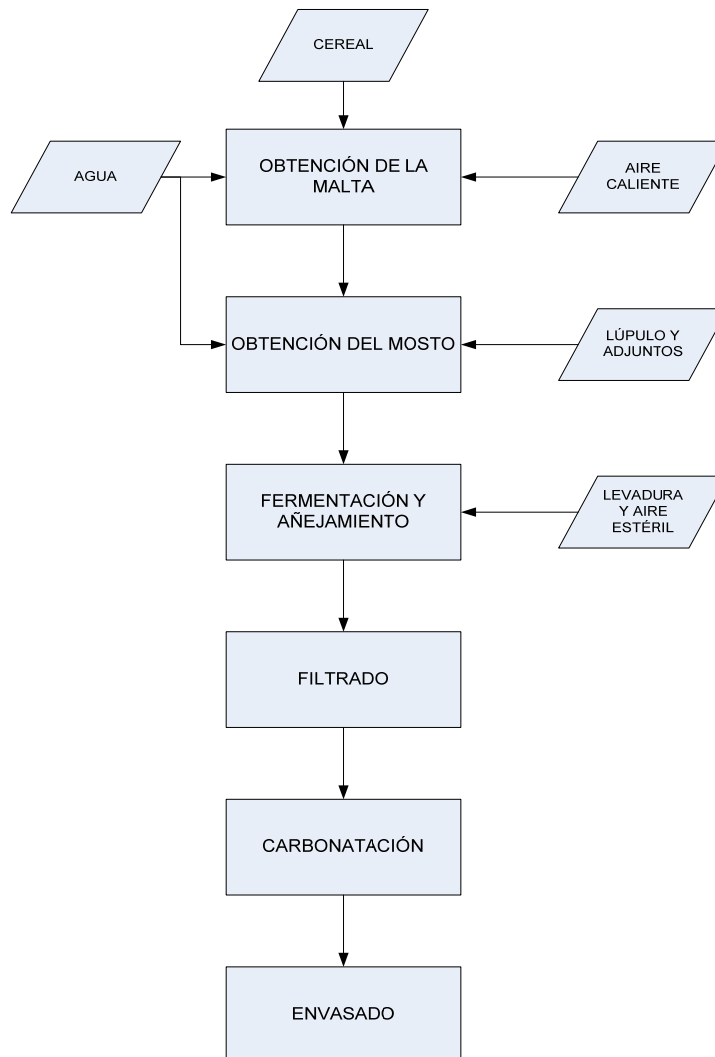
¹⁹ Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso/empresa.htm>, noviembre de 2007.

Figura 13. Proceso Cervecerero.



Fuente: Folleto cervecería de Bucaramanga, GEB, junio de 2006.

Esquema 2. Diagrama de flujo de la elaboración de la cerveza.



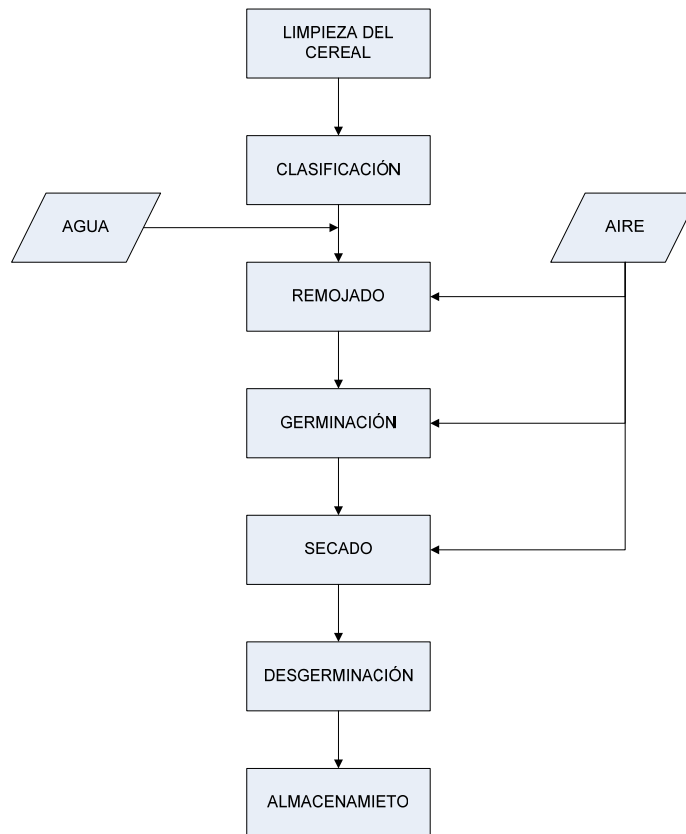
Fuente: Autores.

Las materias primas son los cereales, la cebada es el más empleado en la cervecería occidental y debe maltearse, para obtener la malta; entre el 90 y 92% de la cerveza es agua; esta debe ser de la más alta calidad y pureza; el lúpulo, aporta el sabor amargo y el aroma característico del producto; los adjuntos, aportan almidón al proceso y ayudan al sabor de la cerveza; y la levadura, permite

obtener el alcohol y demás componentes del producto, dependiendo de la receta a preparar se utilizan cepas diferentes.

Obtención de la malta. Es el primer paso en la elaboración de la cerveza. El malteado con lleva varias fases, como se muestra en el Esquema 3.

Esquema 3. Malteado.



Fuente: Autores.

El primer paso es limpiar y clasificar el grano de la cebada para el proceso ya que debe ser homogéneo para brindar estabilidad al producto, requisito de calidad;

después se deja en remojo para que el grano se hinche, en esta fase se inyecta aire a una temperatura entre 18 y 20°C, la cebada permanece entre 20 y 25 horas con una humedad cercana al 45%.

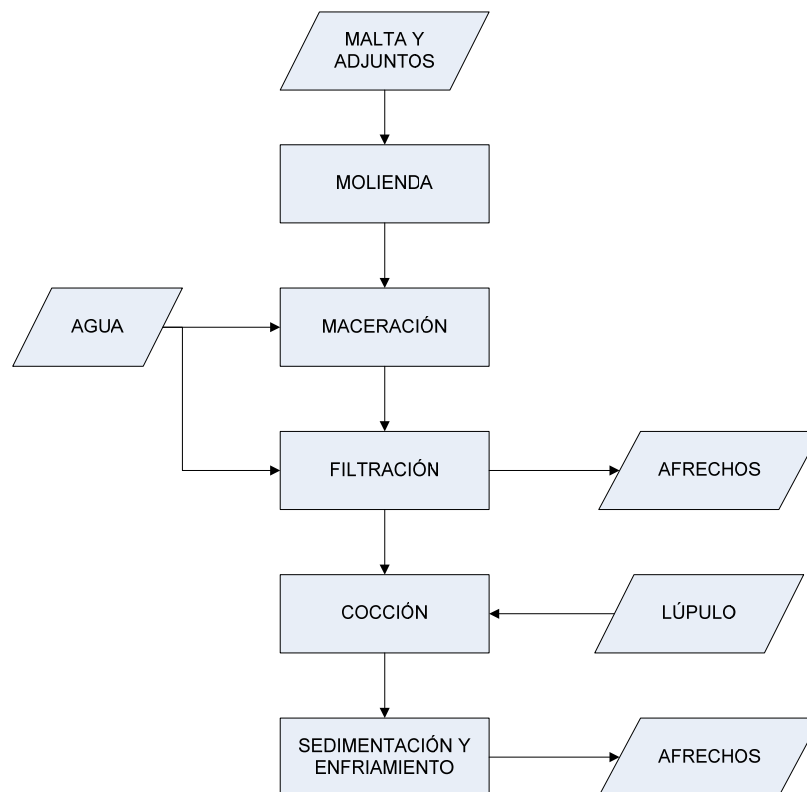
Luego se transfiere el grano húmedo a un recipiente donde se efectúa la germinación. El especialista da seguimiento al comportamiento del grano, generalmente demora entre 4 y 5 días y debe existir una humedad cercana al 45%.

Posteriormente, se interrumpe el proceso de germinación y los granos son secados con aire caliente para eliminar el germen, la humedad disminuye alrededor del 3 al 6% y se debe hacer un control de temperatura en las primeras 20 horas aproximadamente, la temperatura debe ser cercana a los 60°C y finalizando cerca de 3 horas, la temperatura debe estar entre 80 a 85 °C, después se debe enfriar a una temperatura inferior de 22°C. Por último, se limpia la malta, se almacena y es llevada a la cervecería.

Las cervecerías prefieren comprar la malta a empresas especializadas como materia prima y omitir esta fase del proceso. Cada tipo de cerveza depende de un proceso particular de malteado, esto depende de la variedad de cebada o cereal empleado; esto incide en el sabor y el color de la cerveza.

Obtención del mosto. Esta fase conlleva numerosos cambios físico-químicos. En el Esquema 4, se muestran las diferentes etapas de la línea de producción del mosto.

Esquema 4. Línea de producción del mosto.



Fuente: Autores.

La primera etapa es la molienda, en esta etapa la malta y los adjuntos se limpian, los granos de malta son transformados en harina por medio de la molienda separando la cáscara de la harina, al igual que los adjuntos empleados en el proceso como arroz ó maíz son triturados.

En el proceso de maceración se usan dos ollas, la olla de crudos y la olla de mezclas. La harina de malta y el triturado de arroz o maíz son depositados en la olla de mezclas y en la olla de crudos, respectivamente.

En la olla de crudos aparte de los adjuntos se deposita cierto porcentaje de harina de malta según la receta a preparar. La temperatura de la masa (agua + adjuntos

+ malta) es elevada gradualmente a partir de la temperatura ambiente por medio de un protocolo de trabajo que depende de la clase de cereal que se esté macerando.

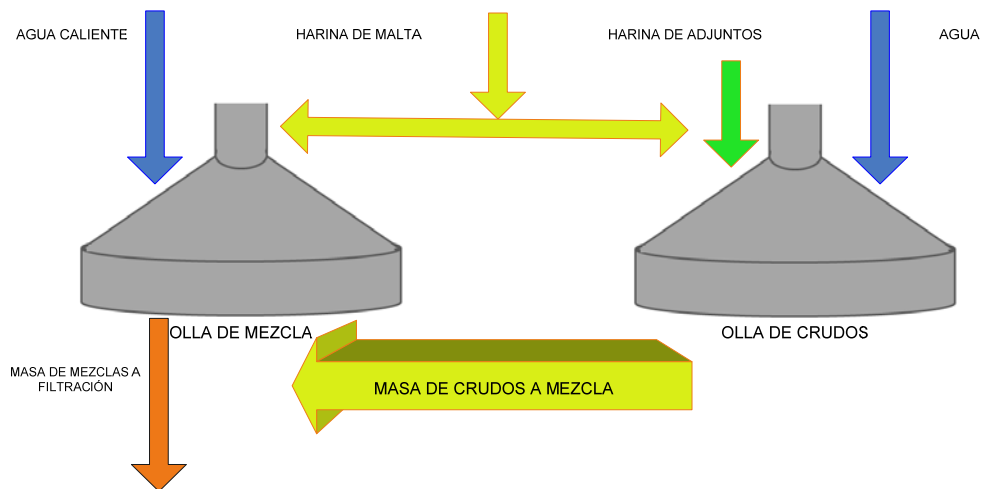
Un protocolo general de trabajo, se inicia con la temperatura ambiente y se eleva gradualmente hasta 68°C y se deja descansar por espacio de 20 minutos; posteriormente, es elevada gradualmente hasta la temperatura de ebullición y se deja hervir durante 25 minutos, finalizado este tiempo la masa es bombeada a la olla de mezclas.

En la olla de mezclas la temperatura inicial del agua es de 35°C en el momento del ingreso de la malta esta temperatura se debe mantener por espacio de 15 minutos, luego se debe elevar la temperatura hasta 50°C dejándola en reposo hasta cuando la masa de la olla de crudos es bombeada, para ser mezcladas con agitación constante.

Lo anterior, permite elevar la temperatura de la masa (masa de crudos + masa de mezclas) en la olla de mezclas aproximadamente a 65°C, se deja descansar la solución por un tiempo de 40 minutos, luego es elevada nuevamente hasta 72°C dejándola descansar nuevamente por espacio de 15 a 30 minutos, después se eleva a 76°C nuevamente se deja descansar aproximadamente 5 minutos, finalizado el descanso la masa de mezclas es bombeada a la olla de filtración.

En el proceso de maceración (Figura 14) es crítica la calidad del agua empleada, el control de temperatura y los tiempos de las diferentes operaciones. La agitación se hace por medio de aspas movidas por motores.

Figura 14. Proceso de maceración.



Fuente: Autores.

De la olla de filtración se obtiene un líquido azucarado y claro llamado mosto que es enviado a la olla de cocción, esta operación se conoce como primera filtración. Los residuos sólidos todavía contienen sustancias solubles aún apreciables; por esta razón se vierte agua a 75°C para comenzar una segunda filtración. El mosto obtenido en esta segunda operación es reunido con el primer mosto en la olla de cocción. Los residuos sólidos llamados afrechos, se colectan y generalmente se utilizan como alimento para animales.

La olla de cocción debe cumplir una relación de altura del mosto y el área del fondo debe ser 1:2 para lograr una buena evaporización (8% al 12% por hora) con el fin de inactivar enzimas para evitar degradaciones y la coagulación de ciertas sustancias nitrogenadas que pueden causar turbidez.

En la fase de cocción se agrega el lúpulo en dos momentos al iniciar y al finalizar, el primero para concentrar el sabor y el segundo para otorgar al líquido el aroma.

El mosto se deja hervir entre 60 y 90 minutos. Con esto se logra la esterilización del mosto.

El enfriamiento del mosto se hace en dos etapas la primera es la sedimentación que debe durar menos de una hora porque el mosto puede ser atacado por microorganismos. La sedimentación retiene los materiales sólidos del mosto, es un tanque cilíndrico donde el líquido experimenta un *efecto Whirlpool*²⁰; el mosto se deja reposar entre 20 ó 40 minutos; la temperatura baja hasta 85°C ó 90°C aproximadamente. La torta del fondo del tanque es enviada a donde se depositan los afrechos.

La segunda fase de enfriamiento se hace por medio de intercambiadores de calor de placas y se utiliza agua a 1°C – 2°C fluyendo en contracorriente para lograr un enfriamiento total. El tránsito del mosto por el enfriador debe llevarse a cabo mediante conductos rigurosamente aislados del aire. Después, que el mosto alcanza una temperatura entre 10°C y 15°C, la etapa de tránsito al fermentador, se inyecta aire estéril y la levadura, con el fin de iniciar el proceso de fermentación.

Fermentación y Añejamiento. Después que el mosto es enfriado, es llevado al tanque de fermentación donde se le inyecta un tipo puro de levadura y una porción de aire estéril que permita el proceso de fermentación. De la fermentación del mosto se obtienen dos subproductos que son el etanol y el gas carbónico (CO₂). El CO₂ es extraído para ser utilizado en otra fase del proceso. Además, de los anteriores productos existe una liberación de energía (reacción exotérmica), por este motivo, la temperatura del tanque de fermentación debe controlarse y mantenerse entre 5°C y 10°C; el lapso de tiempo donde los azúcares del mosto se convierten en los subproductos es variable, generalmente entre 6 y 9 días.

²⁰ El líquido entra en forma tangencial y con presión, lo que produce un fluido circular (movimiento centrífugo) esto permite que las partículas insolubles se vayan depositando en el fondo del tanque. Fuente: <http://www.mailxmail.com/curso/empresa/cerveza/capitulo5.htm>, noviembre de 2007.

Finalizado este tiempo el tanque se lleva cerca de los 0°C y dependiendo del tipo de levadura empleado esta se sedimenta en la parte superior o inferior del líquido; extraída la levadura es enviada a los tanques de maduración o añejamiento. En este punto la cerveza se denomina verde, joven o virgen.

En los tanques de maduración se debe controlar la temperatura y el tiempo, estas dos variables dependen del tipo de cerveza que se esté fabricando, generalmente el tiempo es superior a dos semanas, y la temperatura se encuentra entre -2°C y 0°C. En el añejamiento se realiza para refinar el sabor y el aspecto cristalino de la cerveza.

Filtrado. La cerveza se filtra eliminando el máximo de materiales insolubles que pueda presentar, como levadura o proteínas coaguladas. En esta etapa la cerveza adquiere el brillo y la transparencia que la hacen atractiva para el consumidor.

Carbonatación. Esta fase después del filtrado la cerveza es inyectada con dióxido de carbono purificado, antioxidantes y agua desaireada (sin oxígeno). El gas carbónico aporta sabor, aroma, sensación de frescura y protección a contaminaciones microbianas, además es necesario para que la cerveza produzca una buena formación de espuma. Terminado este procedimiento la cerveza es enviada a tanques de contrapresión, se llaman así por estar sometidos a una presión superior a la atmosférica; donde la cerveza se le da un reposo de 4 a 8 horas antes de pasar al salón de envasado.

Envasado. La cerveza depositada en los tanques de contrapresión es llevada directamente a las líneas de embotellado. En el salón de embotellado se

encuentran diferentes tipos de envase, los tres básicos son: botellas, latas y barriles; estas deben estar en las mejores condiciones asépticas.

En las líneas de embotellado se deben controlar la agitación del líquido, para que la cerveza pierda la menor cantidad de gas carbónico, no aumente la temperatura y no entre en contacto con el aire.

Después que la cerveza es envasada en las latas o botellas se debe someter a un proceso de pasteurización para evitar riesgos microbiológicos y garantizar la estabilidad del producto. La pasteurización consiste en calentar la cerveza a 60°C durante un periodo mayor a media hora.

2.2 JUSTIFICACIÓN DE LA SELECCIÓN DEL PROCESO DE ELABORACIÓN DE LA CERVEZA

La sala TIA es una adaptación a nivel educativo de un proceso productivo, este debe ofrecer el mayor número de actividades y variables que se pueda controlar y analizar en el laboratorio, el proceso no debe ser demasiado complejo, y las variables a controlar deben ser fáciles de sensar por el costo y la comprensión del proceso.

Los dos procesos anteriores son de flujo continuo donde se especializan en la elaboración de un producto en grandes volúmenes; además, cuenta con diferentes actividades y manejan diferentes tipos de variables para sólidos, líquidos y gases. Por esta razón, se incluyeron en la selección del proceso base para la sala TIA.

El proceso se elige mediante los criterios de mayor número de actividades, los fluidos manejados, las variables de proceso y la fácil adaptabilidad de nuevos procesos.

El proceso de elaboración de la cerveza maneja las siguientes variables de proceso: humedad, temperatura, presión, nivel, caudal, densidad, velocidad, peso, tiempo, y posición. Los fluidos que maneja son: líquidos (agua, mosto, cerveza) y gases (aire y CO₂); y manipula sólidos (malta, lúpulo, levadura, adjuntos y afrechos). Las actividades desarrolladas son molienda, secado, pasteurización, germinación, remojo, filtración, mezclado, cocción, sedimentación, enfriamiento, carbonatación y envase.

En el proceso de fabricación del yogurt se tienen las actividades de pasteurización, filtración, incubación, inoculación, mezclado, enfriamiento y envase. El fluido presente es líquido (leche), y trata con sólidos como: azúcar, fruta, bacilos, leche en polvo. Las variables de proceso son: temperatura, presión, nivel, caudal, velocidad, viscosidad, humedad, PH, peso, tiempo, y posición.

En la descripción general de los procesos se observa:

- Las variables de procesos son similares, y se desarrollan actividades parecidas.
- El proceso de elaboración de la cerveza se elige por el manejo de tres fluidos, y porque la mayoría de las actividades de la fabricación del yogurt se encuentran en él.
- El criterio de las variables no es relevante porque las variables involucradas en su mayoría son las mismas, la diferencia está entre el manejo de la densidad y humedad en el proceso cervecero y el PH en el proceso del yogurt.

- El proceso de elaboración de la cerveza permite la adaptabilidad de otros procesos por el gran número de actividades y de elementos que se necesitan.

Por lo anterior se toma como base de la sala TIA el proceso de elaboración industrial de la cerveza.

2.3 ADAPTACIÓN DEL PROCESO A UN MODELO DE ESCALA EDUCATIVA

La planta piloto se diseña con el objetivo de simular varias actividades del proceso cervecero donde se controlan algunas de las variables de proceso; esto permite observar la reacción del proceso ante las perturbaciones y se pueden analizar y tomar acciones para contrarrestarlas y así mantener las condiciones en el valor deseado.

El proceso de la planta contiene varias operaciones de las existentes en el proceso cervecero real, es necesaria la acotación porque el objetivo no es la producción de cerveza, es dar una visión aplicada de un proceso industrial mediante el manejo de sistemas modernos de automatización de procesos, que permita al estudiante de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones fortalecer sus conceptos básicos y el acercamiento con las nuevas tendencias tecnológicas en la áreas de Instrumentación Electrónica, Sistemas de Control y Automatización de procesos.

Las actividades tomadas para el desarrollo del proceso TIA son: obtención del mosto, maduración y envase, estas encierran el manejo de las variables de proceso principales y algunas secundarias (tiempo, velocidad, posición); para medir las variables la sala cuenta con instrumentos de tecnología de vanguardia,

con el objetivo que los estudiantes se familiaricen con las herramientas tecnológicas que existen el día de hoy para la solución de problemas en la industria; al igual disminuir la falencia de equipos que existe en los laboratorios, de esta manera se obtiene una infraestructura que cumple con los requisitos mínimos para ofrecer cursos, diplomados y especializaciones en el campo de la Instrumentación, Automatización y Control de procesos.

2.3.1 Descripción del proceso de la sala TIA. Se diseña la planta piloto con cuatro tanques, un sistema de enfriamiento y una banda transportadora; con el propósito de simular las tres actividades del proceso cervecero descritas anteriormente. Los cuatro tanques se ubican en tres niveles diferentes.

Los cuatro tanques se encuentran distribuidos de la siguiente manera: el primer tanque es de pre-llenado para los tanques 2 y 3, este se sitúa en el nivel superior; los tanques 2 y 3 se encuentran a la misma altura, en una posición intermedia, ellos simulan las ollas de mezcla, crudos, filtración y cocción; los tanques de maduración y contra presión; el cuarto tanque es de desechos y se encuentra en el nivel inferior. El propósito de los diferentes niveles es permitir el uso de bombas, válvulas proporcionales y la fuerza gravedad para control de caudal del fluido.

El proceso se inicia verificando el nivel de agua de los tanques 1, 2 y 3; si el nivel de agua es inferior al 95% del tanque 1, la válvula on-off ubicada en la línea principal se abre hasta el nivel deseado; por el contrario si existe agua en los otros tanques esta es llevada al tanque de desechos, si el nivel de líquido en este tanque es superior al 90% es purgado.

Una vez el tanque H₂O (tanque 1) se alcanza el nivel deseado, se abre la válvula proporcional del tanque 2, cuando se obtiene el 95% de la capacidad en este, se

cierra la válvula y se comienza la simulación del proceso de maceración. Este consiste en elevar la temperatura del líquido hasta 40°C y se mantiene por 5 minutos, pasado el tiempo se apaga la resistencia y se enciende el agitador del tanque por 3 minutos, transcurrida esta actividad se eleva la temperatura a 50°C por 5 minutos con el agitador encendido.

Terminada la simulación de maceración se envía el 100% del contenido del tanque 2 (simulación de la maceración) al tanque 3 (simulación de la cocción) controlando el caudal a 50 l/min. Seguidamente, se verifica el nivel de líquido, si es inferior al 95% se abre la válvula proporcional del tanque 3 para conseguir el nivel deseado. Posteriormente, el agua se eleva a 70°C cuando se alcanza este valor se agita por 6 minutos manteniendo la temperatura de 70°C, transcurrido el tiempo de agitación se deja reposar el líquido por 5 minutos y se emite una alarma de reposo.

A continuación, el líquido es llevado al sistema de enfriamiento donde se baja la temperatura a 10°C, cuando se logra la temperatura deseada y se detecta la presencia del recipiente se abre la válvula dosificadora, cuando se verifica el nivel del recipiente la válvula se cierra, se debe retirar para que la banda se mueva y se pueda detectar un nuevo envase y así comenzar un nuevo ciclo de llenado; se diseñó para envasar 10 recipientes; finalizada esta actividad se realiza una simulación de aseo de los tanques.

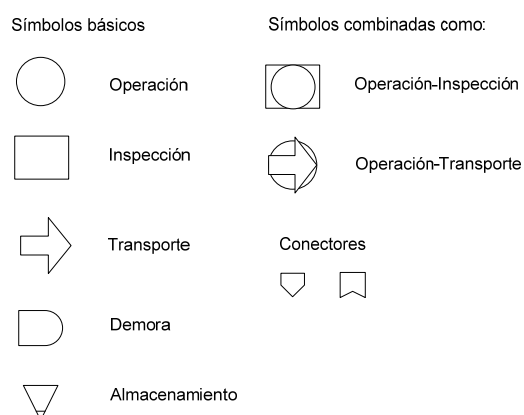
La actividad de aseo empieza con vaciar el tanque de cocción hacia el tanque de desechos, el líquido existente en él es bombeado a los tanques de maceración y cocción a 50 l/min, se encienden los agitadores de ambos por 3 minutos, luego se bombea del tanque de maceración al tanque de cocción y se agita por 2 minutos en este tanque; posteriormente, se bombea del tanque de cocción al tanque de maceración y nuevamente se agita por 2 minutos en este; terminado este proceso se lleva el contenido del tanque 2 al tanque de desechos, en el tanque de

desechos se revisa el nivel, si este sobrepasa el 70% se envía el agua al tanque H₂O hasta un nivel del 90%, cumplido este nivel se purga el tanque de desechos.

En el Esquema 5 y en el Esquema 6 se presentan los diagramas de flujo de los procesos de la sala TIA (simulación del proceso cervecero y de aseo de la planta conocido como CIP siglas en ingles de *cleaning in place*), donde se muestra paso a paso el desarrollo de los dos procesos y en la Figura 16 es muestra el bosquejo de la sala TIA propuesto. Las convenciones para los esquemas 5 y 6 se muestran en la Figura 15

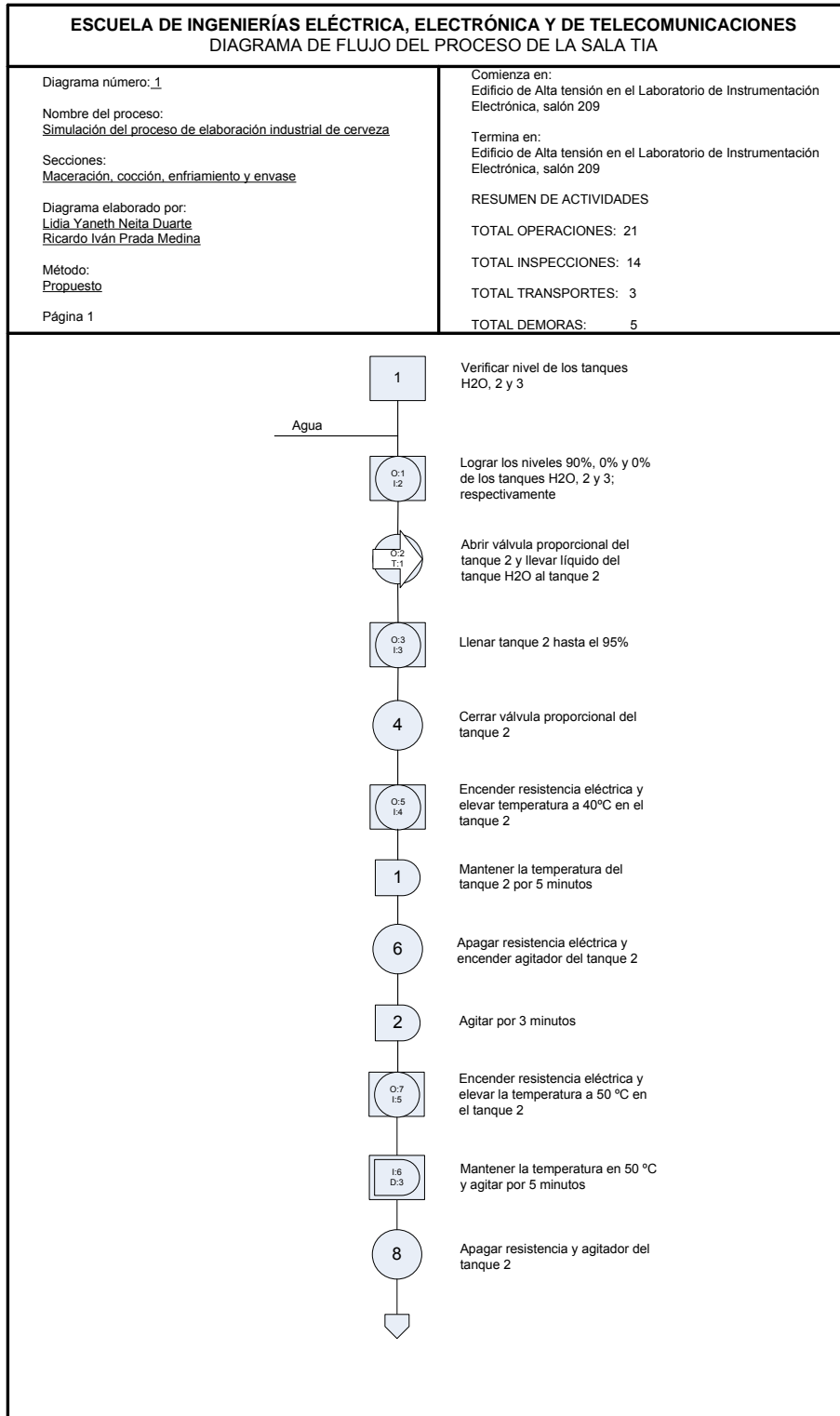
En los transportes del fluido se controla el caudal mediante las válvulas proporcionales ubicadas en la línea tanque de H₂O, tanque 2 y tanque 3. La línea entre los tanques 2 y 3 se controla mediante un variador de velocidad que regula la frecuencia de la bomba centrífuga permitiendo estar en el rango de medición del Caudalímetro, para este caso el set point es de 80 litros por minuto. El valor deseado de flujo en la línea del tanque de desechos con los tanques 2, 3 y H₂O es de 50 litros por minuto.

Figura 15. Convenciones para los diagrama de flujo del proceso.



Fuente: ORTIZ PIMIENTO, Néstor Raúl. ANALISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE LA EMPRESA. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1999.

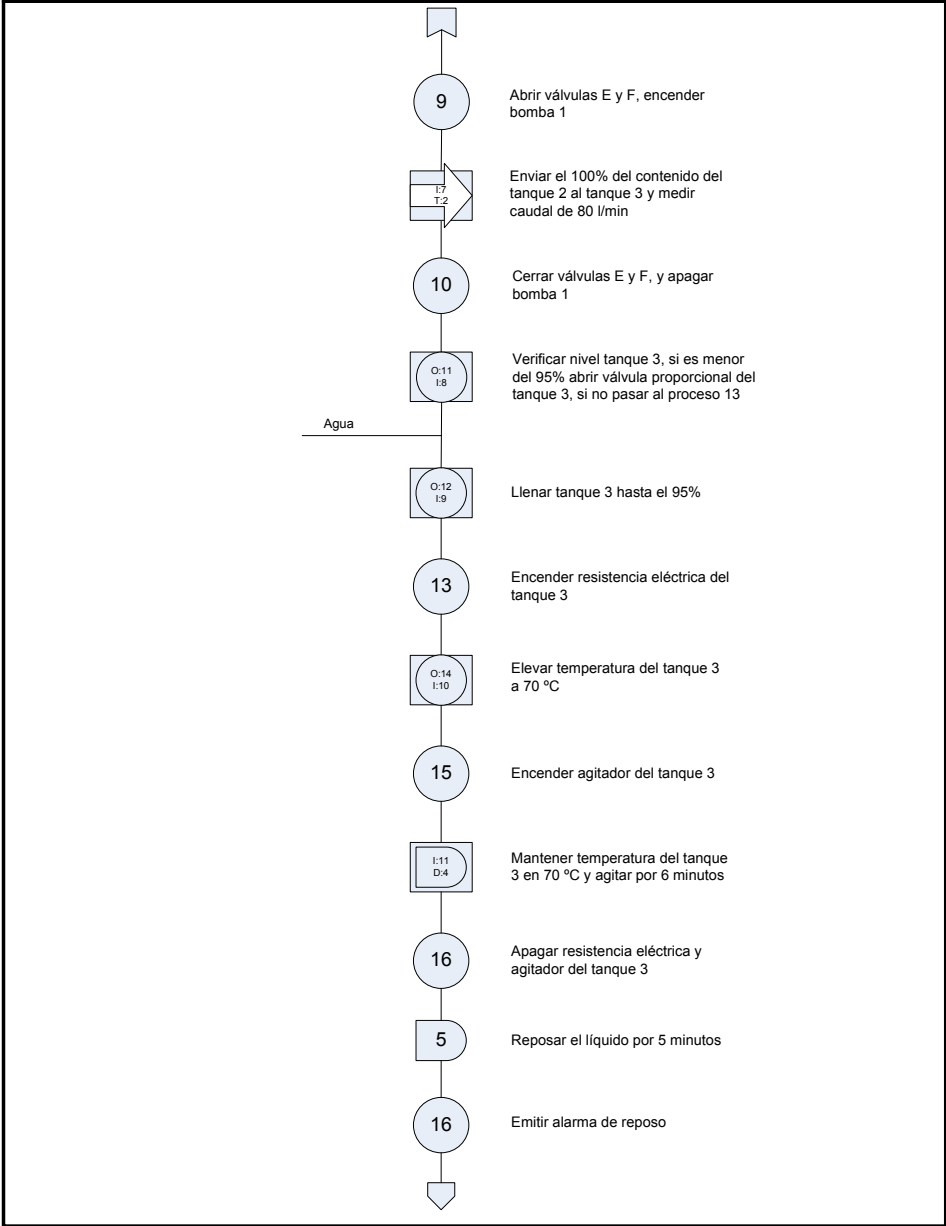
Esquema 5. Diagrama de flujo del proceso de la sala TIA





ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LA SALA TIA

Diagrama número: <u>1</u>	Comienza en: Edificio de Alta tensión en el Laboratorio de Instrumentación Electrónica, salón 209
Nombre del proceso: <u>Simulación del proceso de elaboración industrial de cerveza</u>	Termina en: Edificio de Alta tensión en el Laboratorio de Instrumentación Electrónica, salón 209
Secciones: <u>Maceración, cocción, enfriamiento y envase</u>	RESUMEN DE ACTIVIDADES
Diagrama elaborado por: <u>Lidia Yaneth Neita Duarte</u> <u>Ricardo Iván Prada Medina</u>	TOTAL OPERACIONES: 21
Método: <u>Propuesto</u>	TOTAL INSPECCIONES: 14
Página 2	TOTAL TRANSPORTES: 3
	TOTAL DEMORAS: 5





ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE LA SALA TIA

Diagrama número: 1
Nombre del proceso:
Simulación del proceso de elaboración industrial de cerveza
Secciones:
Maceración, cocción, enfriamiento y envase
Diagrama elaborado por:
Lidia Yaneth Neita Duarte
Ricardo Iván Prada Medina
Método:
Propuesto
Página 3

Comienza en:
Edificio de Alta tensión en el Laboratorio de Instrumentación
Electrónica, salón 209
Termina en:
Edificio de Alta tensión en el Laboratorio de Instrumentación
Electrónica, salón 209

RESUMEN DE ACTIVIDADES

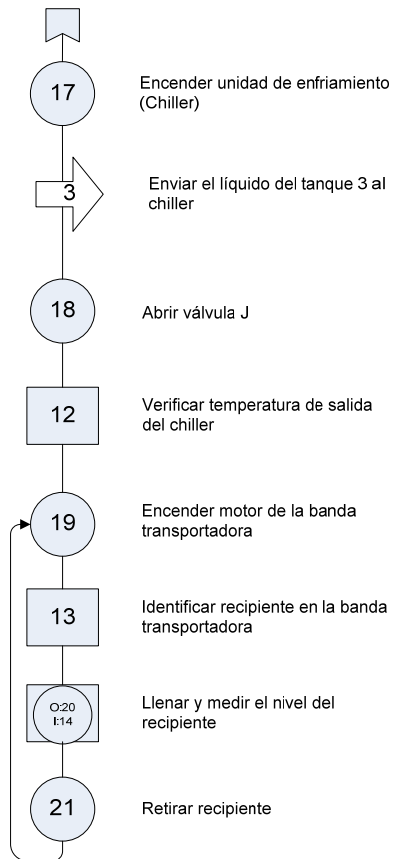
TOTAL OPERACIONES: 21

TOTAL INSPECCIONES: 14

TOTAL TRANSPORTES: 3

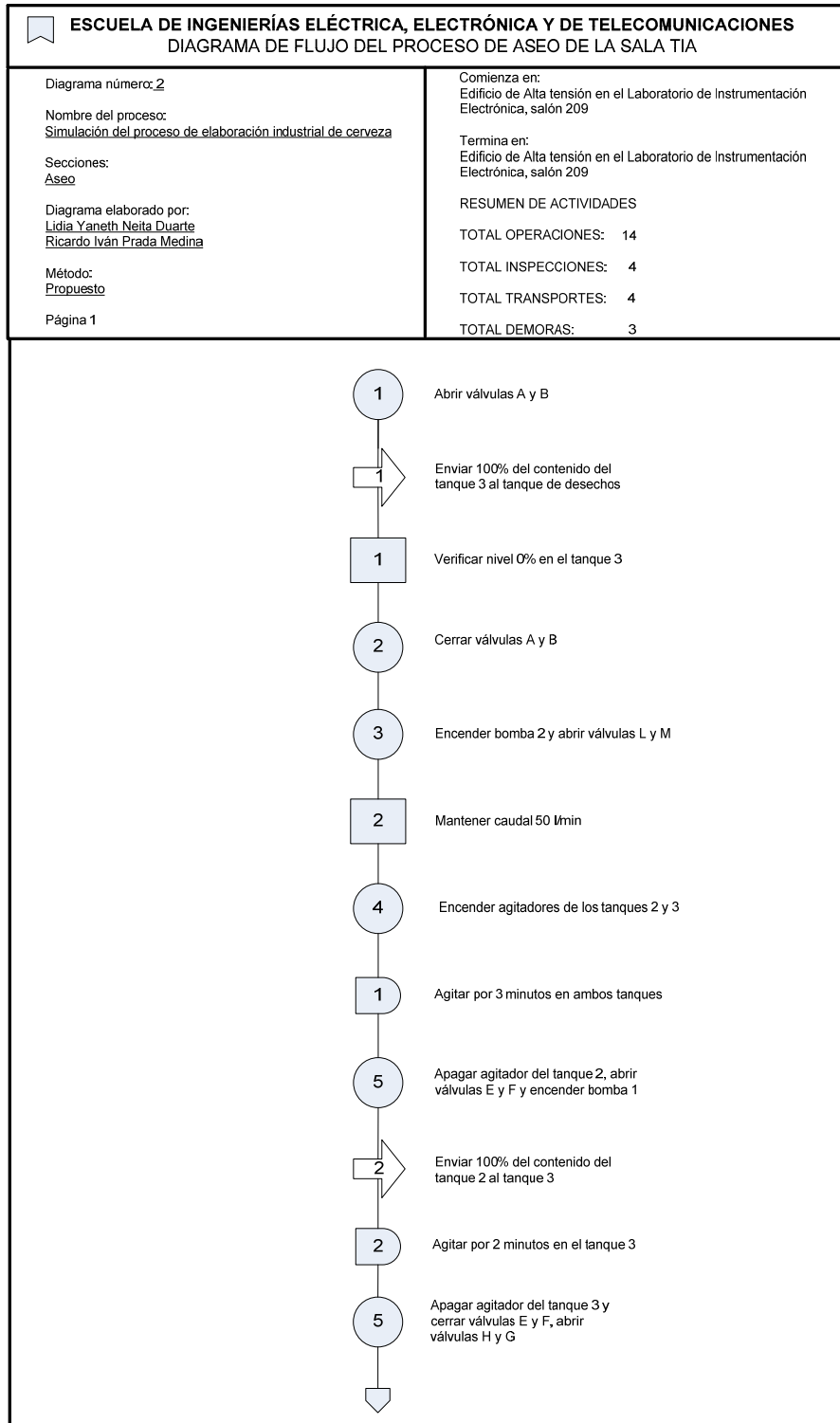
TOTAL DEMORAS: 5

El proceso se diseño para 10 recipientes



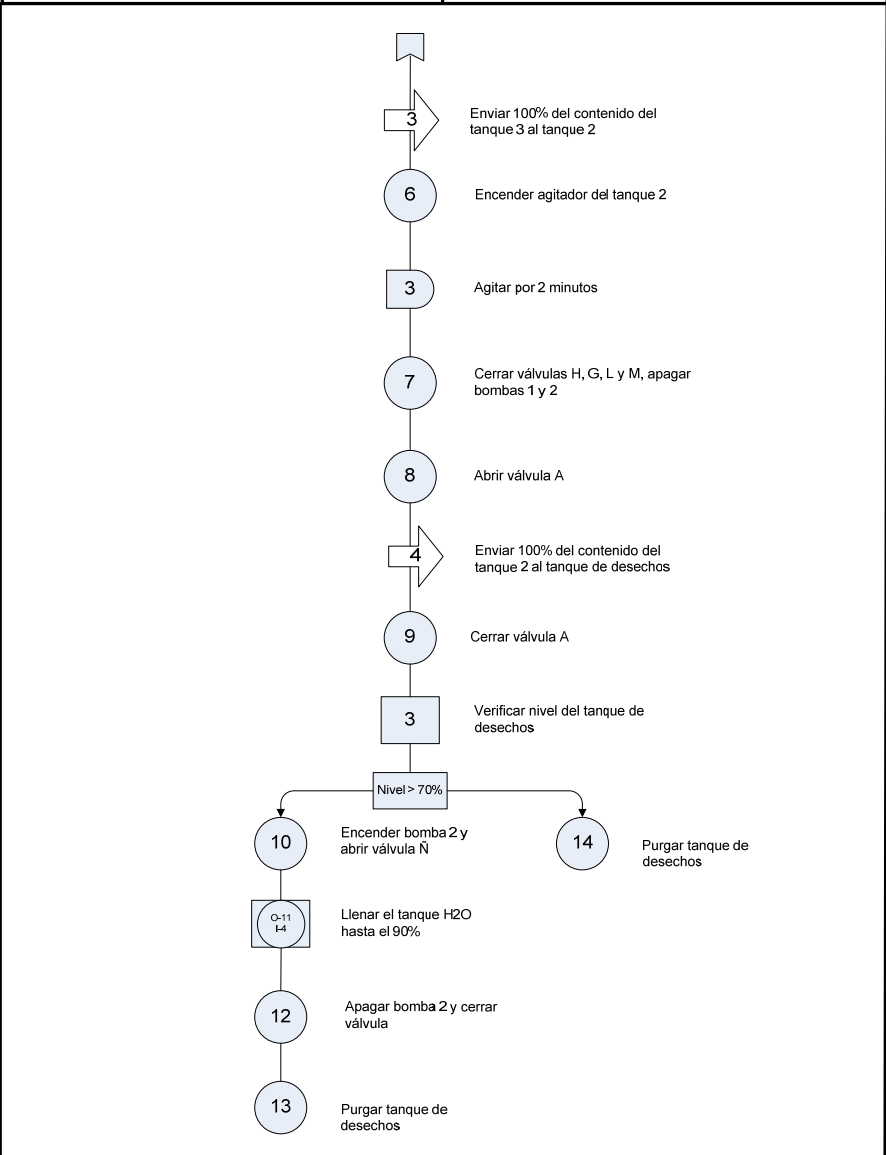
Fuente: Autores

Esquema 6. Diagrama de flujo del proceso de aseo de los tanques.



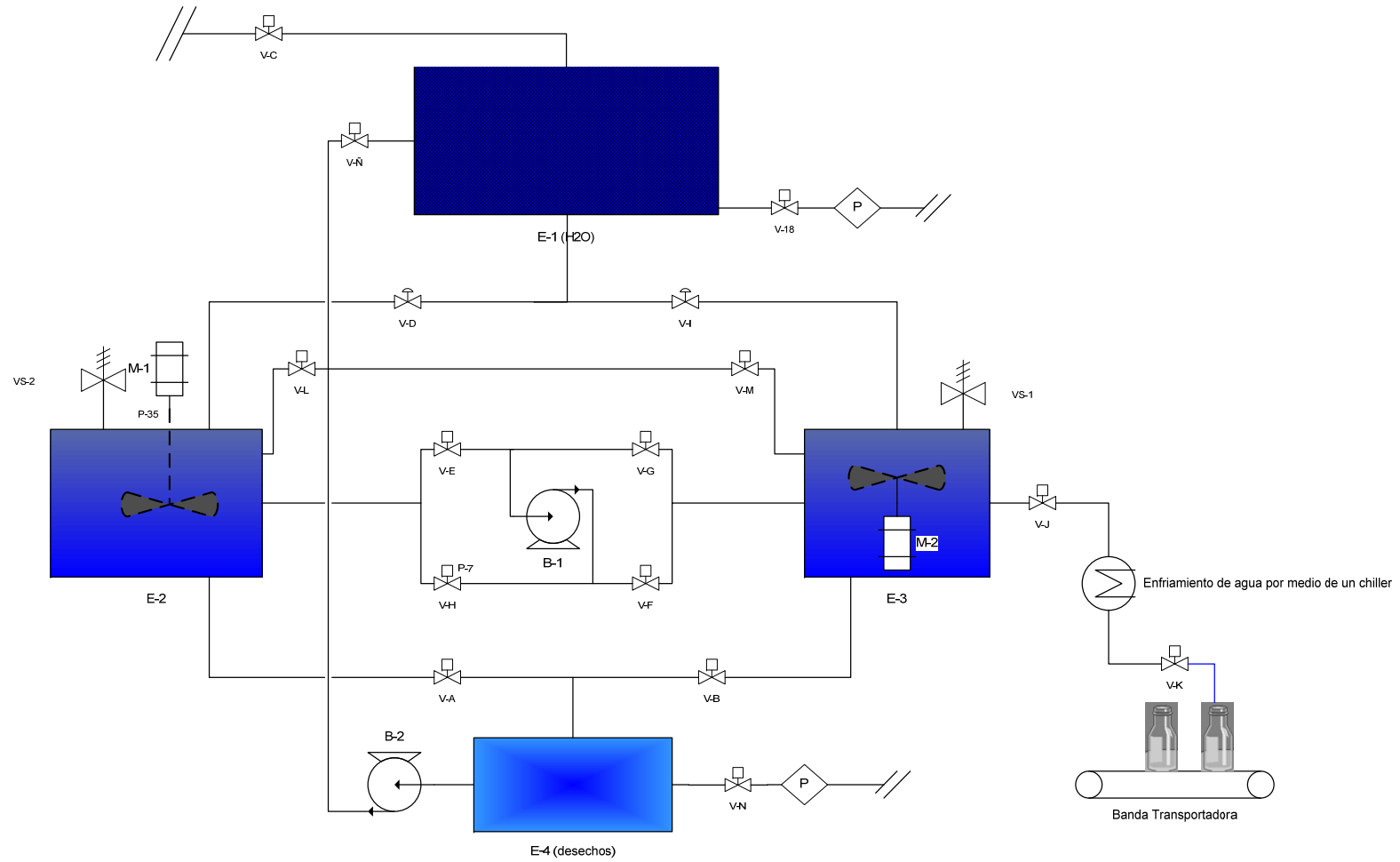
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE TELECOMUNICACIONES
DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO DE ASEO DE LA SALA TIA

<p>Diagrama número: <u>2</u></p> <p>Nombre del proceso: <u>Simulación del proceso de elaboración industrial de cerveza</u></p> <p>Secciones: <u>Aseo</u></p> <p>Diagrama elaborado por: <u>Lidia Yaneth Neita Duarte</u> <u>Ricardo Iván Prada Medina</u></p> <p>Método: <u>Propuesto</u></p> <p>Página 2</p>	<p>Comienza en: Edificio de Alta tensión en el Laboratorio de Instrumentación Electrónica, salón 209</p> <p>Termina en: Edificio de Alta tensión en el Laboratorio de Instrumentación Electrónica, salón 209</p> <p>RESUMEN DE ACTIVIDADES</p> <p>TOTAL OPERACIONES: 14</p> <p>TOTAL INSPECCIONES: 4</p> <p>TOTAL TRANSPORTES: 4</p> <p>TOTAL DEMORAS: 3</p>
---	--



Fuente: Autores

Figura 16. Bosquejo de la sala TIA



Fuente: Autores.

3. DESCRIPCIÓN SALA TIA PROPUESTA

Como se menciona en el capítulo anterior, la sala TIA se diseña basada en el proceso industrial de la cerveza, se trabaja con siete variables de proceso (Nivel, Caudal, Presión, Temperatura, Posición, Velocidad y Tiempo) que son las más importantes de la industria. La sala TIA se diseña con diferentes instrumentos de medición y control, esto permite que se otorgue a la planta piloto un nivel de Instrumentación valioso en elementos que permitirán a los estudiantes familiarizarse con los instrumentos de acuerdo con el tipo y función.

En la Figura 16 se observa el bosquejo de la distribución de los elementos y dispositivos de la sala TIA, para llegar a esta distribución final de los tanques y las válvulas se logra después de dos modelos iniciales, siendo el tercer modelo el más adecuado porque permite control de flujo mediante válvulas proporcionales, mediante bombas controladas por variadores de velocidad y el manejo de caudal ocasionado por la fuerza de gravedad.

3.1 DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS Y ELEMENTOS

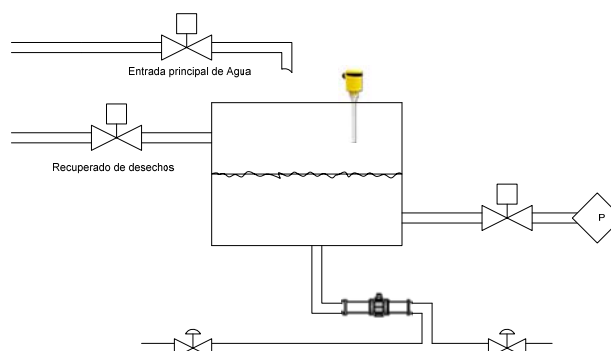
Como se ha indicado en el capítulo dos la sala cuenta con cuatro tanques, una banda transportadora, una unidad enfriadora de agua y otros elementos que hacen posible la simulación del proceso.

A continuación se describen siete sub-sistemas: los instrumentos de medición, actuadores, variables y demás elementos que se encuentran presentes en ellos. La fundamentación teórica, y algunos datos más específicos se encuentran en los anexos A, y C.

La mayoría de elementos son SIEMENS por su alto rendimiento, seguridad, y confiabilidad. Al emplear solo elementos de un solo proveedor se evitan las incompatibilidades entre dispositivo, con esto se logra menor tiempo de implementación.

3.1.1 Tanque de H₂O. Es un tanque cerrado en forma de prisma rectangular con base cuadrada de lados de 80 centímetros de longitud y 50 centímetros de altura, fabricado en acero inoxidable lámina de calibre 18. Se encuentra ubicado en el nivel superior de la planta piloto, tiene una capacidad neta de 150 litros. Las variables presentes en éste sub-sistema son el Nivel (L) y el flujo (Q), son medidas por medio de un sensor capacitivo y un medidor de flujo de efecto Coriolis, respectivamente; aprovechando las características eléctricas del líquido y la fuerza de Coriolis. El esquema del tanque se puede detallar en la Figura 17.

Figura 17. Bosquejo del tanque H₂O de la sala TIA



Fuente: Autores.

El sistema consta de los siguientes equipos y elementos:

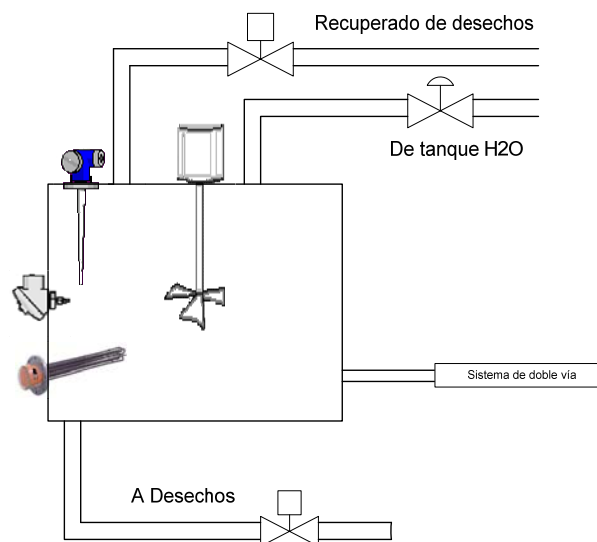
- Sensor capacitivo de nivel, marca SIEMENS modelo SITRANS LC 300, salida bucle de corriente de 2 hilos 4 a 20/20 a 4 mA, con display LCD.
- Tanque de acero inoxidable cerrado cuya base es cuadrada de 80 cm de lado y 50 cm de alto, tiene mirilla superior.
- Caudalímetro de efecto Coriolis marca SIEMENS modelo MASS 2100 DI 15, rango 0 a 5600 Kg/h (0 a 93.3 L/min).
- Transmisor marca SIEMENS modelo MASS 6000 Ex-d, 3 salidas: 1 salida de corriente 0 a 20 ó 4 a 20 mA, 1 salida de frecuencia de 0 a 10 kHz y 1 salida de relé y posee protocolo PROFIBUS PA.
- Tres electroválvulas de ½" marca DANFOSS, alimentación 24 V.
- Dos válvulas proporcionales de 0,5 pulgadas marca SAMSON serie 240 DN15 reguladoras de caudal con accionamiento neumático.
- Dos posicionadores electro-neumáticos SIPART PS2 marca SIEMENS, dos hilos (4 a 20 mA), actuador de doble efecto.

Los elementos del sistema funcionan cuando ocurren los siguientes eventos:

Se puede inicializar el proceso de la sala TIA en cualquier nivel del tanque, se sensa continuamente la capacidad formada entre la varilla del sensor y las paredes del tanque, el nivel de agua del tanque es lineal a la capacidad formada y es transmitido al PLC (controlador lógico programable) con una señal de 4 a 20 mA, si el nivel es menor del porcentaje de nivel propuesto se enciende la electroválvula de la línea principal (entrada principal de agua), cuando alcanza el nivel deseado se desenergizan la electroválvula y se energiza las válvulas proporcionales de salida hacia los tanques 2 y 3 de donde se controla la apertura de la válvula mediante el algoritmo implementado en el PLC, sensando la variable flujo mediante el sensor de efecto Coriolis y transmitida por el transmisor al PLC para hacer el cálculo de error entre el set point y el valor sensado.

3.1.2 Tanque dos. Es un tanque cerrado en forma de cilindro, con 0,6 m de alto y 0,5 m de diámetro en acero inoxidable calibre 18, donde se simula la actividad de maceración del proceso de la cerveza. En este tanque se estiman y se controlan las variables: nivel, temperatura, y tiempo. Las actividades presentes consisten en controlar el nivel y temperatura del líquido; la ilustración de los componentes del tanque se muestra en la Figura 18.

Figura 18. Boceto del tanque 2



Fuente: Autores.

El sub-sistema del tanque contiene tres lazos control de temperatura y nivel que permite mantener los valores deseados de estas variables de acuerdo con los requerimientos del proceso simulado. La variable tiempo se encuentra implícita en las actividades desarrolladas en la simulación del proceso de maceración en el tanque.

Este sub-sistema está constituido por un tanque cerrado de acero inoxidable con mirilla de 38 centímetros de diámetro y 60 centímetros de alto, calibre 18. Para el caso de la variable temperatura se cuenta con una resistencia eléctrica de inmersión de 2.0 kW de potencia, esta permite ir de 25 °C a 100 °C, para el caso de este tanque la temperatura máxima permitida es de 70°C; una Pt100 marca SIEMENS y transmisor de temperatura marca SIEMENS modelo SITRANS TF TH2, conexión de dos hilos 4 a 20 mA, con salida 4 a 20 mA, rango -40 a 85 °C y con indicador local.

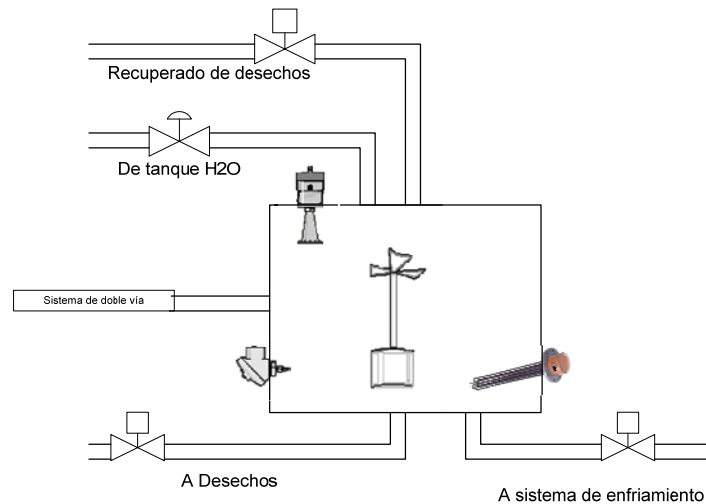
Para el control de nivel se cuenta con un transmisor compacto marca SIMENS modelo The Probe de 2 hilos, con un rango de 0,25 a 5 metros y una salida de 4 a 20 mA.

El sub- sistema del tanque dos cuenta con un agitador de 1/3 Hp marca (motor monofásico SIEMENS), velocidad nominal 1700 RPM, con arranque directo por medio de un arrancador SIRIUS 3RE11 de SIEMENS compuesto por guardamotor más contactor; un par de electroválvulas de 0,5 pulgadas, alimentación de la bobina 24V marca DANFOSS, se localizan en las líneas de entrada y salida de agua del tanque dos hacia el tanque de desechos y un válvula proporcional se encuentra en la línea compartida con el tanque de H₂O; a demás, cuenta con una salida al sistema de doble vía que se comunica con el tanque 3 con el tanque2, más adelante se especifica los componentes de este sistema. El PLC ejerce la función de controlador de todos los lazos de control presentes en la sala TIA.

3.1.3 Tanque tres. Es un tanque cerrado en forma cilíndrica, con las mismas dimensiones del tanque 2, donde se simula la actividad de cocción del proceso de la cerveza. En este tanque se encuentran los mismos lazos de control que en el

tanque 2, la diferencia se encuentra en los instrumentos de medición de las variables presentes. Los componentes del sistema de se indican en la Figura 19.

Figura 19. Croquis del tanque 3.



Fuente: Autores.

A continuación una descripción general de los componentes del sub-sistema del tanque tres:

- Un tanque de acero inoxidable calibre 18, cerrado de forma cilíndrica de 50 centímetros de diámetro y 60 centímetros de altura con mirilla.
- Una resistencia eléctrica de inmersión de 2,0 KW de potencia, fabricada por Resistencias Electro Sandoval S.A.
- Un termopar industrial con cabezote tipo J SIEMENS.
- Un transmisor de temperatura marca SIEMENS modelo SITRANS TF TH300 con conexión de dos hilos 4 a 20 mA, con protocolo HART, rango - 40 a 85 °C y con indicador local.

- Un transmisor de nivel de medición continua tipo radar marca SIEMENS modelo LR 200, con display, salida analógica de 4 a 20 mA, comunicación HART, rango de 0.30 a 20 metros.
- Un agitador de 1/3 Hp marca (motor monofásico SIEMENS), velocidad nominal 1700 RPM, con arrancador directo marca SIEMENS modelo SIRIUS 3RE11.
- Tres electroválvulas de ½" marca DANFOSS a 24 V.
- Un presóstato marca DANFOSS modelo KPI 35.

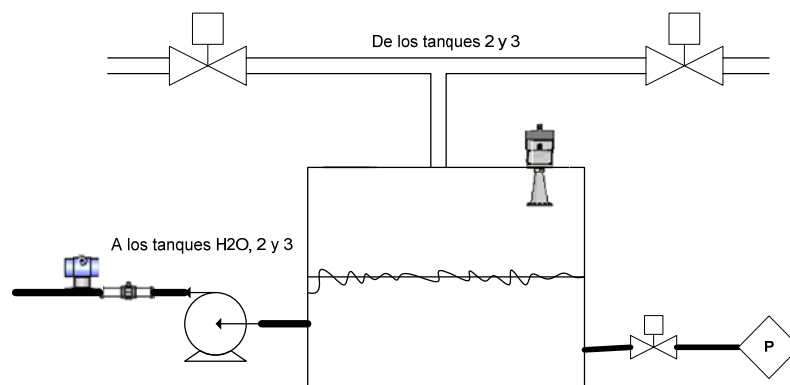
3.1.4 Tanque de desechos. Es un tanque de acero inoxidable calibre 18 en forma de prisma rectangular de base cuadrada de 80 cm de lado y 50 cm de alto. El bosquejo del sistema con sus respectivos componentes se observa en la Figura 20.

Para la medición de nivel se realiza con un transmisor de radar pulsado SITRANS Probe LR marca SIEMENS con frecuencia nominal de 5.8 GHz, un rango nominal de 0.30 a 2 metros, salida de 4 a 20 mA y posee protocolo HART.

El líquido que llega a este tanque proviene de los tanques 2 y 3; igualmente, tiene dos salidas, una hacia una bomba centrífuga trifásica de 1/3 Hp a 3600 RPM, tensión nominal 220 V, corriente nominal 1,3 A, marca SIEMENS, que envía el agua a los tanques 2, 3 y H₂O y la otra es empleada para purgar el tanque mediante una electroválvula de ½" DANFOSS a 24 V. En la salida para los demás tanques se controla el flujo por medio de un sensor electromagnético F M MAGFLO MAG 1100 Food y transmisor MAG 6000 I de SIEMENS con protocolo HART y se sensa la presión de la línea mediante el transmisor de presión SITRANS DS III PA, rango de 1300 mbar a 5 bar, con protocolo PROFIBUS PA e indicador digital.

El arranque del motor de la bomba se hace mediante un variador de velocidad MICROMASTER 420 marca SIEMENS 0,25kW, que le otorga al sistema la posibilidad de controlar la rampa de aceleración del motor y obtener diferentes razones de flujo.

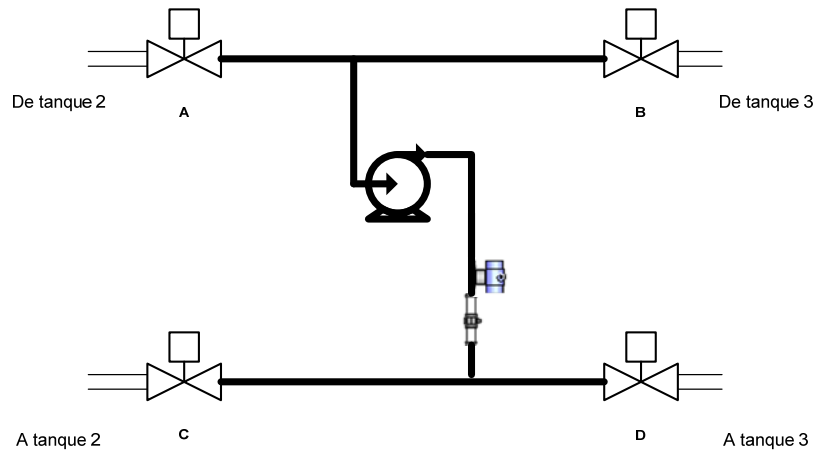
Figura 20. Bosquejo del tanque tres



Fuente: Autores.

3.1.5 Sistema doble vía. Es un sistema diseñado para el transporte del líquido entre los tanques 2 y 3, emplea cuatro electroválvulas de 2" , una bomba centrífuga, un variador de velocidad, transmisor de presión y un transmisor de caudal; ver Figura 21.

Figura 21. Diseño del sistema doble vía.



Fuente: Autores.

El funcionamiento de este sistema es sencillo, cuando se necesita enviar el líquido contenido en el tanque 2 a tanque 3 se enciende la bomba y se abren las válvulas A y D, cuando se termina de enviar la cantidad deseada se apaga y se cierra, respectivamente. Por el contrario, si se desea enviar del tanque 3 al tanque 2 se enciende de nuevo la bomba centrífuga y se abren las válvulas B y C, terminada la actividad los elementos regresan a su estado normal.

Se diseñó este sistema de válvulas y bomba centrífuga para evitar la adquisición de una bomba de doble vía por el costo que ella representa.

Entre tanto este sistema cuenta con la medición y control de dos variables de proceso caudal y presión, la primera se debe mantener en 80 l/min, la segunda se emplea para medir si la presión de la línea es menor o mayor al rango deseado; para cumplir con este objetivo se emplean los elementos descritos posteriormente:

- Motobomba centrífuga trifásica de 1/3 Hp voltaje 220V, corriente nominal de 1,3 A, velocidad nominal 3600 RPM marca SIEMENS.

- Un medidor de flujo de ultrasonido SONO 3300 con transmisor FUS060 de SIEMENS, es esencialmente un medidor de flujo volumétrico, con protocolo HART, diámetro nominal de 2" y máxima velocidad 10 m/s, y caudal máximo 10 m³/h.
- Cuatro electroválvulas de 2" marca DANFOSS a 24V.
- Variador de velocidad MICROMASTER 420 marca SIEMENS, potencia 0,25 kW, tensión de alimentación 200 V a 240 V
- Transmisor de presión SITRANS DS III PA, rango de 0,248 bar a 1.3 bar, con protocolo PROFIBUS PA e indicador digital.

El empleo de un variador de velocidad permite manejar diferentes razones de flujo, esta situación se presenta en diferentes procesos de la industria.

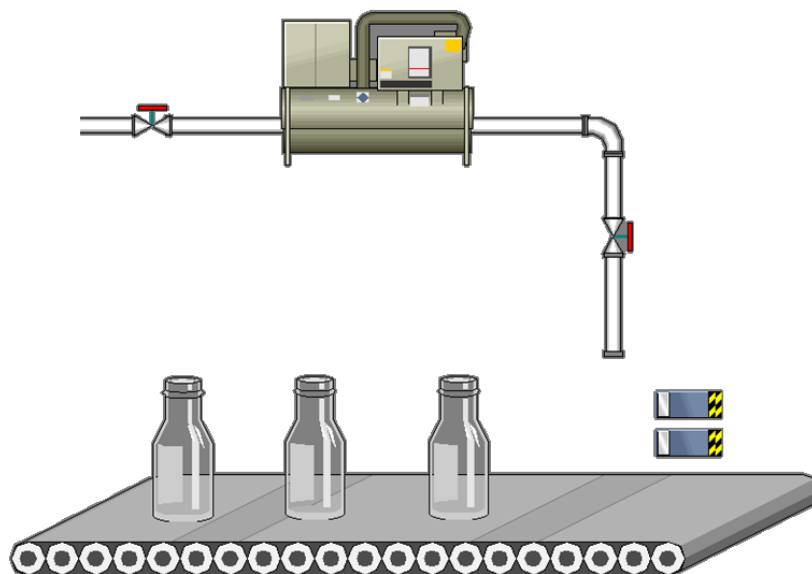
3.1.6 Sistema de enfriamiento. En el proceso cervecero es de vital importancia controlar la temperatura en un rango -2 a 4 °C con el propósito de controlar la calidad y la salubridad de la cerveza. Este escenario se presenta en diferentes industrias como por ejemplo la industria láctea, igualmente en la fabricación y conservación de las carnes frías.

Para la simulación del proceso de la cerveza es necesario bajar la temperatura de 70 a 10 grados centígrados, con un caudal de 4 L/min que son requeridos para la parte de envase. En el diseño de esta unidad de enfriamiento se consulta con una empresa de este sector, con estas características de proceso la unidad más adecuada es un CHILLER STARLITE de 2 Tn, monofásico con alimentación 220V, la obra civil y la instalación eléctrica la empresa proveedora del equipo. En el caso de implementar la sala se debe consultar nuevamente a esta u otra empresa del sector para el diseño y montaje de la unidad de refrigeración.

3.1.7 Sistema de envase. Este sistema consta de una banda transportadora, la electroválvula entre la línea del sistema de enfriamiento y el llenado de los recipientes, el sensor de posición y de nivel de los recipientes, como se ilustra en la Figura 22.

El arranque de la banda transportadora se hace por medio de un variador de velocidad ó arrancador suave, esto permite comparar el efecto de estos tipos de arranque en las prácticas de laboratorio.

Figura 22. Boceto del sistema de envase.



Fuente: Autores.

A continuación se describen los elementos empleados en esta actividad:

- Un sensor de nivel tipo radar modelo BERO 3RG6, marca SIEMENS.
- Un sensor de posición tipo óptico marca SIEMENS, tipo BERO 3RG7.

- Variador de velocidad MICROMASTER 420 marca SIEMENS, potencia de 0.55 kW, tensión de alimentación 200 V a 240 V 1 AC (+/- 10%).
- Arrancador suave SIRIUS 3RW3003 SIEMENS, potencia entre 0,1 a 1,1KW, corriente 3 A, tensión 200 a 400V.
- Motor trifásico marca SIEMENS, ½ HP, corriente nominal 1.9 A, 220V.
- Banda transportadora de 1,2 metros de longitud, en acero inoxidable, los rodillos son de 90 mm de diámetro.
- Una electroválvula de ½ pulgada marca DANFOSS a 24 V.

3.1.8 Descripción de los otros dispositivos y elementos presentes en la sala TIA. Los demás elementos seleccionados para la sala TIA se enuncian a continuación:

Controlador. Para el controlador de la sala se selecciona PLC SMATIC S7-300 CPU 315 2 DP con estructura modular, programado mediante el software STEP 7, una fuente PS 307 a 24 V y 5A marca SIEMENS necesarias para alimentar la CPU y los siguientes módulos:

- Un modulo de salidas digitales para el PLC marca SIEMENS modelo DO (Digital Output) 32 DC X24 V 0,5 A.
- Un módulo de salidas analógicas para el PLC AO (Analog Output) 4, 4 a 20 mA marca SIEMENS.
- Un módulo de entradas digitales DI (Digital Input) 32 X DC 24 V marca SIEMENS.
- Un módulo de entradas analógicas AI (Analog Input) 4 X 0/4 20 Ma ex.

Software. El software seleccionado para el PLC es STEP 7 y para la programación de la GUI (Interfaz gráfica de usuario), se empleo WinCC. El anterior software es utilizado en el concepto TIA, por su alto desempeño en SIMATIC S7 y en los sistemas SCADA, respectivamente.

Comunicación. En la sala TIA cuenta con comunicación con los protocolos PROFIBUS y HART, los anteriores protocolos necesitan algunos módulos para comunicarse con el PLC. Para el protocolo HART se utilizan los siguientes módulos y dispositivos:

- Una fuente PS 307 a 24 V y 5 A marca SIEMENS, necesaria para alimentar la ET 200M esclavo de PROFIBUS DP, necesaria para la captura de datos en protocolo HART.
- Un esclavo DP marca SIEMENS modelo ET 200M – MAESTRO IM 153-2.
- Dos módulos de entradas analógicas AI 2, con protocolo HART.

Existe en la sala PROFIBUS DP Y PROFIBUS PA, los transmisores de presión emplean PROFIBUS PA, es necesario convertir esta señal en DP, para esto se emplea los elementos enumerados a continuación:

- Una fuente PS 307 a 24 V y 5 A marca SIEMENS, necesarias para alimentar el convertor DP/PA.
- Un convertor DP/PA LINK IM 157 MAESTRO PA marca SIEMENS.
- Elementos generales para la comunicación son: seis conectores PROFIBUS Fast Conect, y 40 metros de cable PROFIBUS.

Protecciones. Los elementos empleados para la protección de los dispositivos de la sala TIA son:

- Dos breakers marca SIEMENS, protecciones para las resistencias eléctricas de inmersión de los tanques 2 y 3.
- Seis tacos de cortocircuito marca SIEMENS 5A a 24 V protecciones para las fuentes y los alimentadores de instrumentación.
- Un pulsador tipo hongo para parada de emergencia marca SIEMENS.

Otros elementos. Los elementos enunciados a continuación se emplean para el inicio del proceso, los indicadores del proceso y cable necesario para el montaje de la sala.

- Cinco indicadores piloto a 24 V marca SIEMENS.
- 60 metros de cable rojo calibre 22.
- 60 metros de cable azul calibre 22.
- Un interruptor ON/OFF marca SIEMENS.

3.2 ALCANCE DE LA SALA TIA

La sala TIA permite a los estudiantes interactuar con diferentes clases de dispositivos y elementos de tipo industrial, esta se convierte en un paso para alcanzar una infraestructura mínima adecuada para los objetivos propuestos de la E3T de ampliar sus programas de posgrado y la mejora de sus laboratorios con el fin de cumplir su misión y visión institucional.

La planta piloto de la sala no solo sirve para simular el proceso cervecero, por el contrario sus elementos y disposición permiten realizar prácticas como control de

temperatura, de nivel, control de rampa de aceleración de los motores; la arquitectura de los tanques permite simular los sistemas híbridos que son ampliamente estudiados en el área de control. Igualmente, permite la familiarización con los sistemas de la transferencia de calor que son ampliamente usados en la industria.

3.3 PROPUESTA DE LA SALA TIA PARA EL BANCO DE PROYECTOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

Se elabora la propuesta de la sala TIA para entregar al banco de proyectos de la Universidad Industrial de Santander, siguiendo la filosofía planteada por la universidad donde se expone la situación actual de los laboratorios, el alcance y justificación del proyecto, los beneficios cuantificables y no cuantificables logrados por la propuesta, la descripción de la propuesta planteada y las especificaciones técnicas de los elementos seleccionados. (Ver anexo B).

4. SOFTWARE DE IMPLEMENTACIÓN

En este cuarto capítulo se plasma el desarrollo de la programación de las rutinas de control y supervisión del proceso TIA en el software STEP 7 y WinCC, respectivamente. Adicionalmente, se encuentran una introducción del software empleado, la descripción breve de los protocolos de comunicación presentes en la planta, y por último, la presentación del mímico de la sala TIA.

4.1 STEP 7

Debido a las necesidades propias de cada usuario en el área de la automatización de procesos, ha generado que los actuales equipos no se fabriquen con aplicaciones únicas, sino con la posibilidad de ajustar su campo de aplicación. Entre más amplio sea este campo de aplicación, más versátil debe ser el comportamiento del dispositivo.

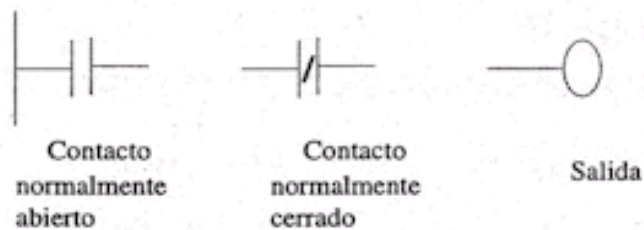
Por esta razón dado el gran campo de aplicaciones en las que los controladores son usados (Prácticamente en cualquier proceso industrial), estos suelen venir junto con un software que permite configurar el hardware propio y el de campo, elaborar rutinas de control. Por lo tanto para nuestro caso un PLC cuya CPU es de la familia SIMATIC S7-300 (CPU 315-2DP), cuenta con el software de configuración y programación STEP 7.

Dentro del entorno STEP 7, existen gran cantidad de herramientas y funciones para configurar las diferentes rutinas del proyecto (configuración de rutinas, definición de hardware y comunicaciones). Permite programar bajo los lenguajes KOP, FUP y AWL.

4.1.1 Lenguaje KOP²¹. Es un lenguaje gráfico, derivado del lenguaje de relés, que mediante símbolos representa contactos, solenoides. Su principal ventaja es que los símbolos básicos están normalizados según normas NEMA y son empleados por todos los fabricantes.

Los símbolos básicos se muestran en la Figura 23:

Figura 23. Símbolos básicos SETP 7



Fuente: <http://www.sc.ehu.es>, julio de 2008.

Los elementos básicos que configuran la función se representan entre dos líneas verticales que simbolizan las líneas de alimentación.

Para las líneas de función más complejas como temporizadores, registros de desplazamiento, etc. se emplea el formato de bloques. Estos no están estandarizados, aunque guardan una gran similitud entre sí para distintos

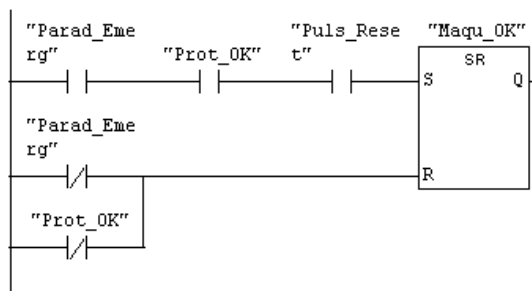
²¹ Tomado de <http://www.sc.ehu.es>, julio de 2008.

fabricantes y resultan mucho más expresivos que si se utiliza para el mismo fin el lenguaje en lista de instrucciones o nemotécnico.

En los ejemplos de los diferentes lenguajes de programación en STEP 7 se emplean apartes del programa desarrollado para la sala TIA.

Un ejemplo del lenguaje de programa en KOP en STEP 7 se indica en la Figura 24.

Figura 24. Lenguaje KOP



Fuente: Autores.

4.1.2 Lenguaje AWL²². Es un lenguaje en nemotécnico o lista de instrucciones que consiste en un conjunto de códigos simbólicos, cada uno de los cuales corresponde a una instrucción.

Cada fabricante utiliza sus propios códigos, y una nomenclatura distinta para nombrar las variables del sistema.

El lenguaje en mnemónico es similar al lenguaje ensamblador de los microcontroladores; en la Figura 25 se presenta un ejemplo del lenguaje AWL.

²² Tomado de http://www.grupomaser.com/PAG_Cursos/Step/step7/Proyecto%20step7/paginas/contenido/step7/7/2.9.1.3.htm, julio de 2008.

Figura 25. Programa en AWL

```

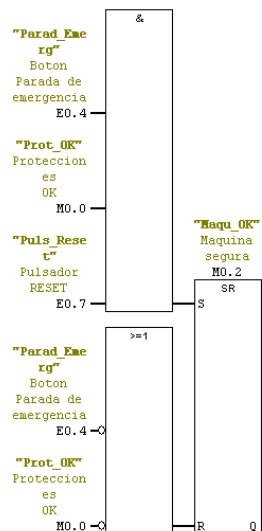
U      E      0.4      Parad_Emerg      -- Boton Parada de emergencia
U      M      0.0      Prot_OK          -- Protecciones OK
U      E      0.7      Puls_Reset       -- Pulsador RESET
S      M      0.2      Maqu_OK          -- Maquina segura
U(
  ON   E      0.4      Parad_Emerg      -- Boton Parada de emergencia
  ON   M      0.0      Prot_OK          -- Protecciones OK
)
R      M      0.2      Maqu_OK          -- Maquina segura
NOP   0

```

Fuente: Autores.

4.1.3 Lenguaje FUP²³. Este lenguaje de programación FUP (diagrama de funciones) utiliza los símbolos gráficos del álgebra booleana para representar la lógica. También es posible representar en conexión directa con los cuadros lógicos funciones complejas, por ejemplo, funciones matemáticas. Una modelo de este lenguaje se observa en la Figura 26.

Figura 26. Modelo de programa en FUP



Fuente: Autores.

²³ Tomado de <http://www.sc.ehu.es>, julio de 2008.

Por otro lado toda la programación en STEP 7, se realiza por bloques funcionales los cuales veremos a continuación.

Bloque OB: Son bloques de organización. Cada OB tiene una función determinada. El OB 1 es el único bloque de ejecución cíclica. Es el que ejecuta la CPU sin que nadie le llame.

Los demás OB's tienen una función determinada. Se ejecutan cuando les corresponda sin que nadie les llame desde ningún sitio del programa. Tenemos OB's asociados a diferentes errores de la CPU, a alarmas, etc.

Bloque FC: Funciones. Son trozos de programa donde se crea. Realizan una función determinada dentro de un proyecto. Se ejecutan cuando se las llama desde algún punto del programa. Pueden ser parametrizables o no. Además de las FC's que yo me creo, existen FC's hechas en librerías. Se utilizan exactamente igual que las que yo programo. No podemos entrar en ellas para ver la programación.

Bloque FB: Bloques de función. En principio funcionan igual que las FC. La diferencia está en que las FB guardan la tabla de parámetros en un módulo de datos. Esto tiene dos ventajas. Una es que podemos acceder a los parámetros desde cualquier punto del programa. Otra es que cada vez que llamemos a la FB no es necesario que le demos todos los parámetros. Los parámetros que no rellenemos, se tomarán por defecto los últimos que hayamos utilizado.

Bloques DB: Módulos de datos. En estos bloques no se realiza programa. Son tablas en las que guardamos datos. Luego podremos leerlos y reescribir.

Al igual que nos permite modificar o configurar el lenguaje de programación permite armar la red y configurar el hardware a utilizar dentro del proceso, para nuestro caso PROFIBUS Y HART.

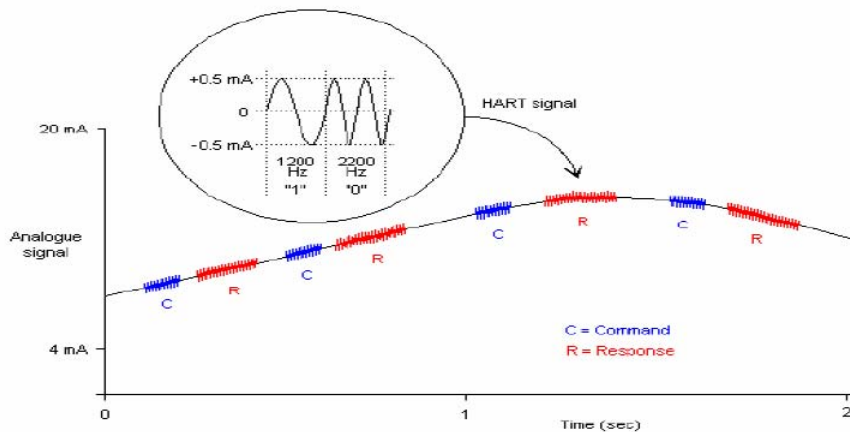
4.2 PROTOCOLOS DE COMUNICACIÓN

4.2.1 HART®²⁴. Es un estándar de comunicación para dispositivos de campo usado a gran escala. Los dispositivos HART son especificados por la HCF (HART Communication Foundation). El protocolo HART transforma la señal analógica de 4 – 20 mA en una señal digital modulada que es estándar en la industria. La ventaja es la combinación de la transmisión analógica del valor de medida analógico y la comunicación digital simultánea con transmisión bidireccional y cíclica, lo que permite transmitir información de diagnóstico, mantenimiento y proceso de los dispositivos de campo a los sistemas de orden superior. Grupos de parámetros estandarizados permiten operar todos los dispositivos HART en sistemas con equipos de varios fabricantes.

En la Figura 27 se observa la señal del protocolo HART.

²⁴ Portafolio general de productos SIEMENS.

Figura 27. Señal HART



Fuente: Protocolo de comunicación HART para los instrumentos de Flochet S.A.

4.2.2 PROFIBUS²⁵. Las soluciones de automatización descentralizadas que se basan en buses de campo abiertos constituyen hoy día la norma en muchos ámbitos de la industria manufacturera y de procesos.

Las ventajas de la comunicación digital sólo pueden materializarse plenamente con buses de campo, incluidas una mejor resolución del valor de medida, opciones de diagnóstico y parametrización remota.

PROFIBUS es actualmente el bus de campo abierto. Basado en la norma, IEC 61158, PROFIBUS asegura las inversiones y es apto para comunicación de alta velocidad en automatización manufacturera y de procesos. La tecnología de transmisión PROFIBUS PA está hecha a la medida de las necesidades de la industria de procesos.

²⁵ Portafolio general de productos SIEMENS.

4.3 WinCC

SIMATIC WinCC (Windows Control Center)²⁶ es un sistema de supervisión sobre PC ejecutable bajo Microsoft Windows 95 y Windows NT.

WinCC está concebido para la visualización y manejo de procesos, líneas de fabricación, máquinas e instalaciones. El volumen de funciones de este moderno sistema incluye la emisión de avisos de eventos en una forma adecuada para la aplicación industrial, el archivo de valores de medida y el listado de los mismos.

Con su potente acoplamiento al proceso, especialmente con SIMATIC, y su seguro archivo de datos, WinCC hace posible unas soluciones de alto nivel para la técnica de conducción de procesos.

Las ventajas de WinCC:

Gracias a la plena integración en SIMATIC WinCC se crea una solución homogénea de gestión de energía en el entorno de TIA, por lo que no es necesaria infraestructura ni formación especiales.

Un solo módulo complementario basta para garantizar la transparencia de los flujos de energía y, gracias a ello, reducir los costes de explotación, ya que se puede utilizar para todos los tipos de energía (corriente, agua, etc.)

Abierto a aplicaciones gracias a la plena integración en SIMATIC WinCC

²⁶ Tomado de las siguientes páginas: http://www.automation.siemens.com/cd/power-management-system/html_78/simatic_wincc_powerrate.htm y <http://www.automatas.org/siemens/wincc.htm>, julio de 2008.

Seguridad en la aplicación (también de cara a ampliaciones) gracias a que es un módulo Add On complementario certificado

4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS IMPLEMENTADOS PARA LA SALA TIA

Como se ha explicado anteriormente uno de los objetivos del proyecto TIA es familiarizar a los estudiantes con el ambiente industrial, aparte del hardware industrial seleccionado, también se selecciona software industrial utilizado en el concepto TIA.

El control de la simulación de la sala TIA se implementa en STEP 7 y la GUI del proceso se realiza en WINCC, estos dos programas tienen licencias demo facilitadas por SIEMENS.

4.4.1 Descripción de la estructura de programación en STEP7. El proyecto TIA está compuesto por varios de los bloques mencionados anteriormente como se puede ver en la siguiente figura:

Figura 28. Ventana principal del proyecto tanques

Nombre del objeto	Nombre simbólico	Lenguaje	Tipo	Tamaño en la memoria	Unidad	Nombre simbólico	Valor simbólico	Última
OB1		AWL	Bloque de organización	80				15.04.
OB35	Llamado PID	AWL	Bloque de organización	52				11.04.
PS41	CONT_C	SEL	Bloque de función	1160				04.05.
FC1	MANDOS	KOP	Función	114	SMATIC	CONT_C		27.05.
FC2	Análogos	KOP	Función	898				29.05.
FC3	Phosors	KOP	Función	820				29.05.
FC4	Control PID	KOP	Función	722				29.05.
FC5	Carga Variable	AWL	Función	106				15.04.
FC105	SCALE	AWL	Función	344				11.04.
FC106	UNSCALE	AWL	Función	324	SEA	SCALE		11.04.
DB1	ControlValv_D	DB	Bloque de datos	162	SMATIC			11.04.
DB2	ControlValv_I	DB	Bloque de datos	162	SMATIC			13.04.
DB3	Control Bomb_Desechos	DB	Bloque de datos	162	SMATIC			14.04.
DB4	Control PID Bomba_Princp	DB	Bloque de datos	162	SMATIC			25.05.

Fuente: Autores.

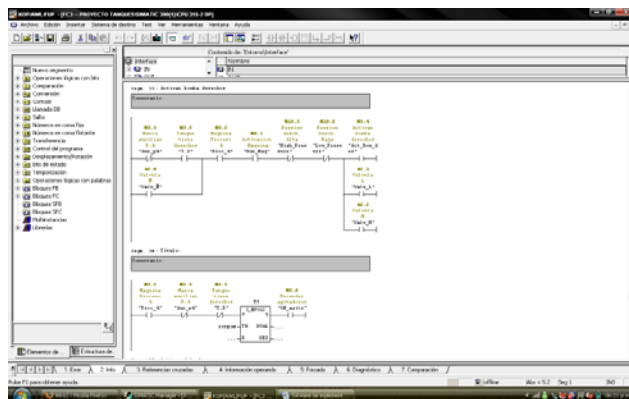
Como se puede apreciar existen dos bloques OB, el OB 1, de donde se llaman cada una de las funciones del proyecto y el bloque OB35 (Llamados PID) que se encarga de llamar de manera cíclica la función FC4 encargada de realizar el control mediante PID de las válvulas proporcionales.

También se encuentran siete bloques FC. A continuación y una descripción breve de la función de cada bloque.

FC1 (Mandos), esta función se encarga básicamente de reconocer que todas las protecciones de seguridad del sistema estén en correcto funcionamiento y si esto es así autoriza el arranque del proceso (Figura 29).

FC3 (proceso), en esta función donde se programa cada una de las actividades a ejecutar y a controlar una vez activado el proceso y/o proyecto de la sala TIA (Figura 31).

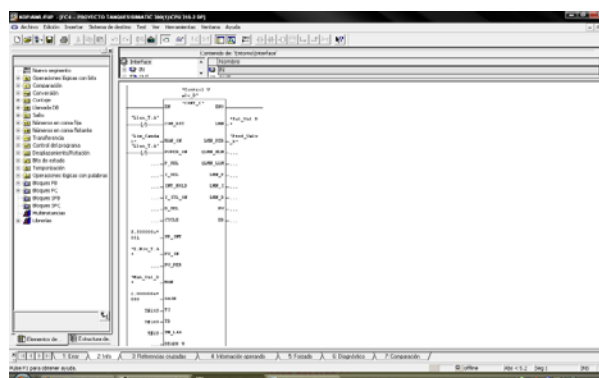
Figura 31. Bloque FC3.



Fuente: Autores.

FC4 (Control PID), en esta función (Figura 32), se encuentra configurado el control PID de las válvulas proporcionales de entrada de agua a los tanques 2 y 3.

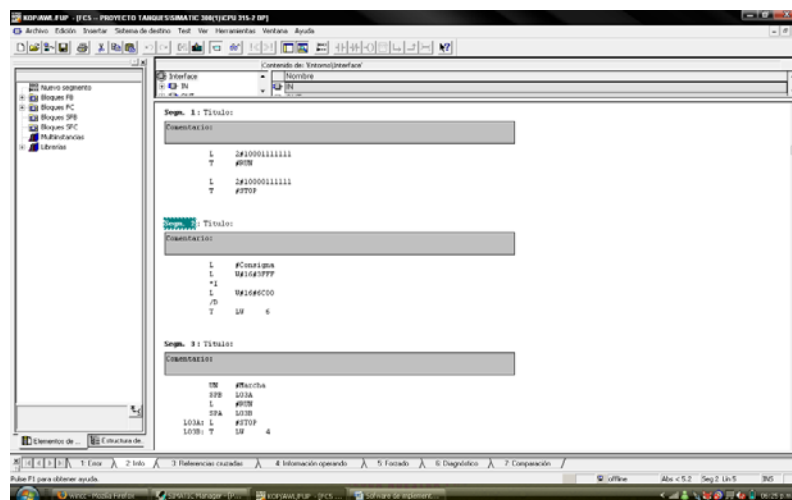
Figura 32. Función PID (FC4).



Fuente: Autores.

FC5 (Carga Variador), esta función programada en AWL, es la encargada de realizar la transferencia de datos del programa a los variadores para de esta manera realizar el control de las bombas dependiendo el caudal definido (Figura 33).

Figura 33. Función FC5.



Fuente: Autores.

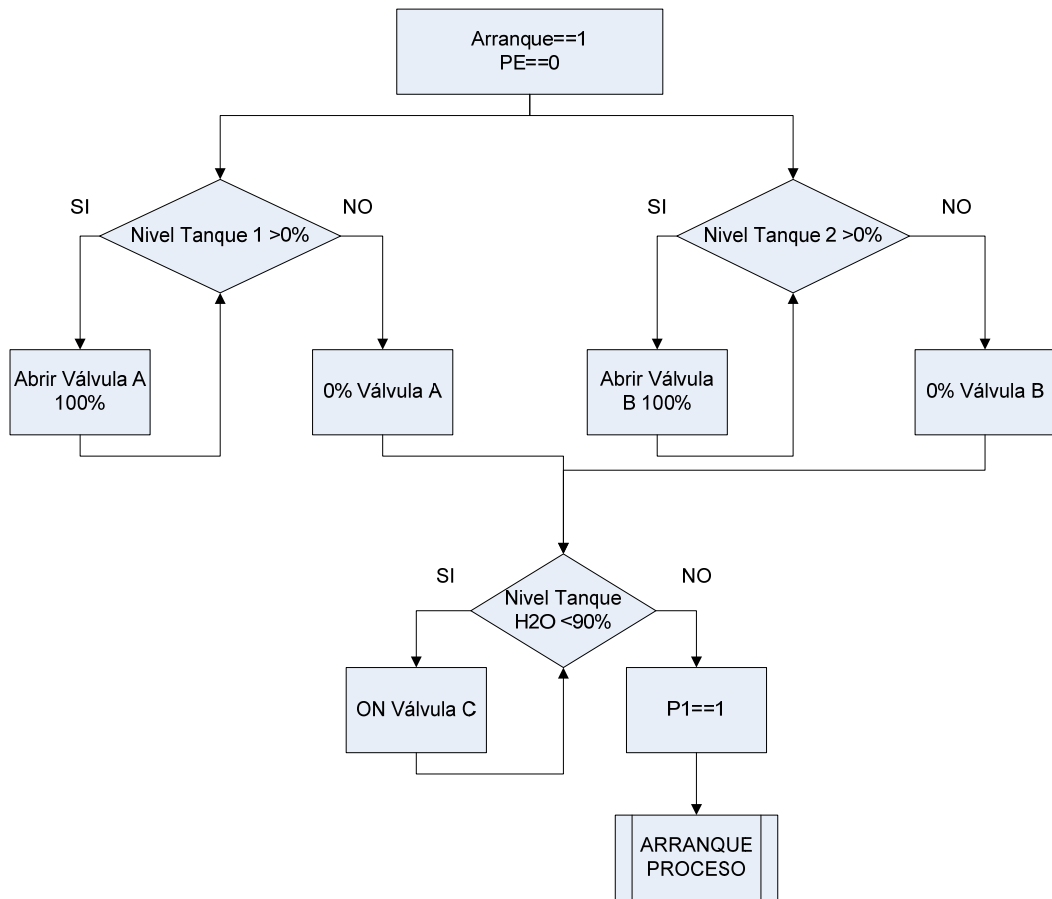
FC105 y FC106, son funciones de la librería de STEP7 con estas podemos realizar la conversión de los valores digitales (1 byte) de las señales de 4 a 20 mA, captadas de la periferia por las entrada analógicas.

Adicionalmente, el programa cuenta con cuatro bloques DB, llamados desde las funciones anteriormente nombradas, para la ejecución de las rutinas de control de las válvulas y control de los caudales de las bombas centrífugas.

La rutina programada en STEP 7 se aprecia en los siguientes esquemas: Esquema 7, Esquema 8, Esquema 9, Esquema 10, y Esquema 11.

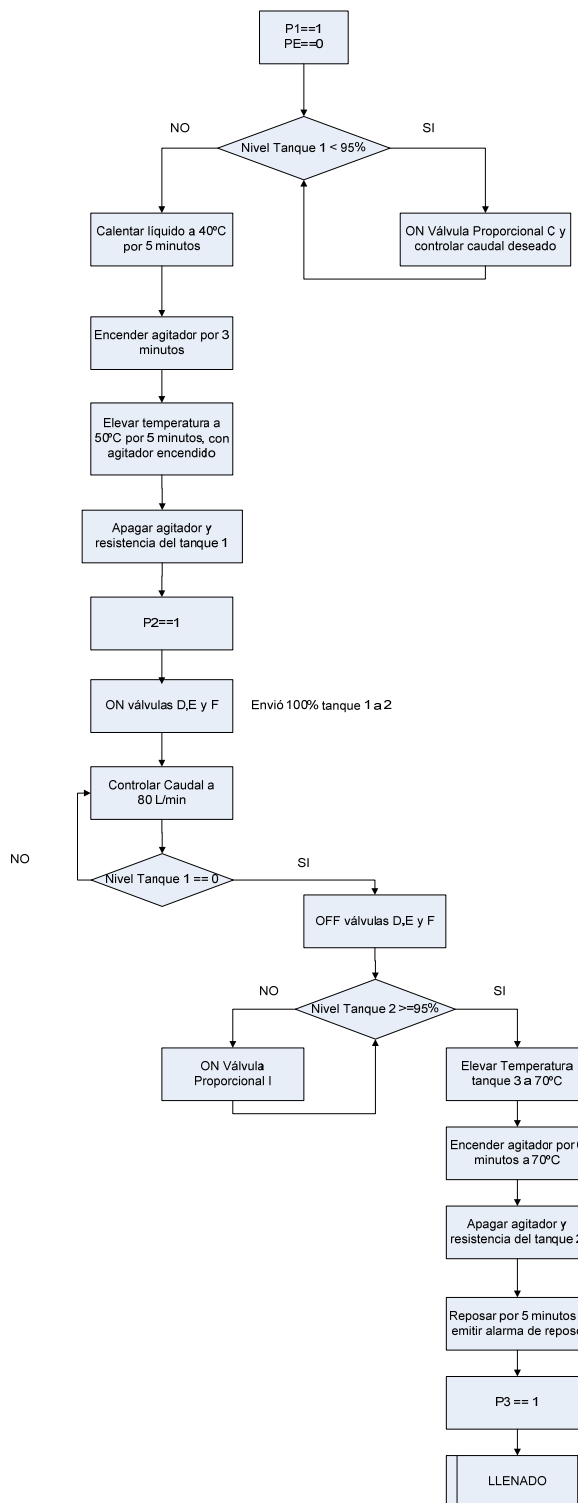
Arranque, PE, P1, P2, P3, P4, y P5 son banderas del programa.

Esquema 7. Diagrama de flujo de la rutina de supervisión de tanques.



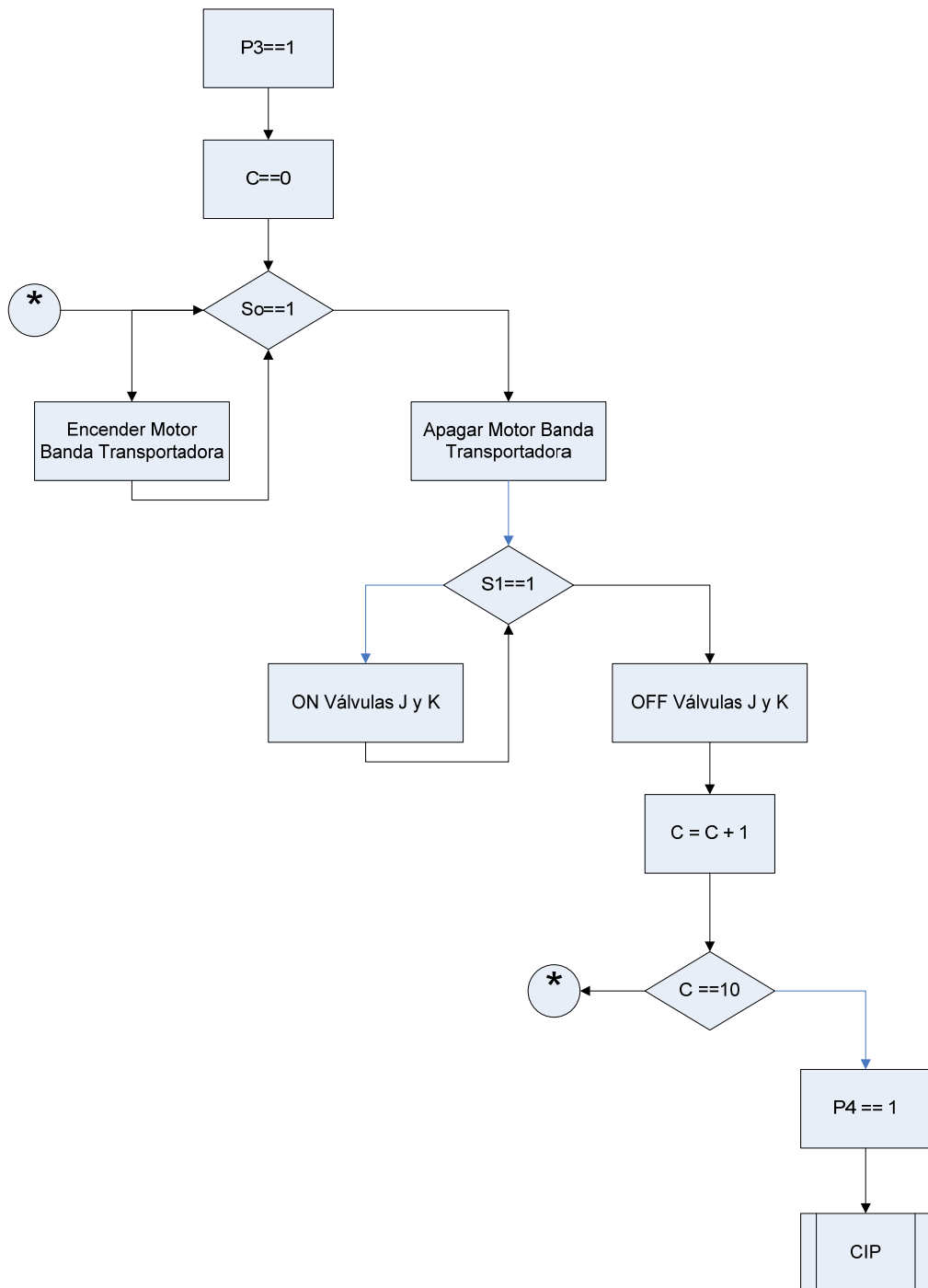
Fuente: Autores.

Esquema 8. Diagrama de flujo de arranque de proceso.



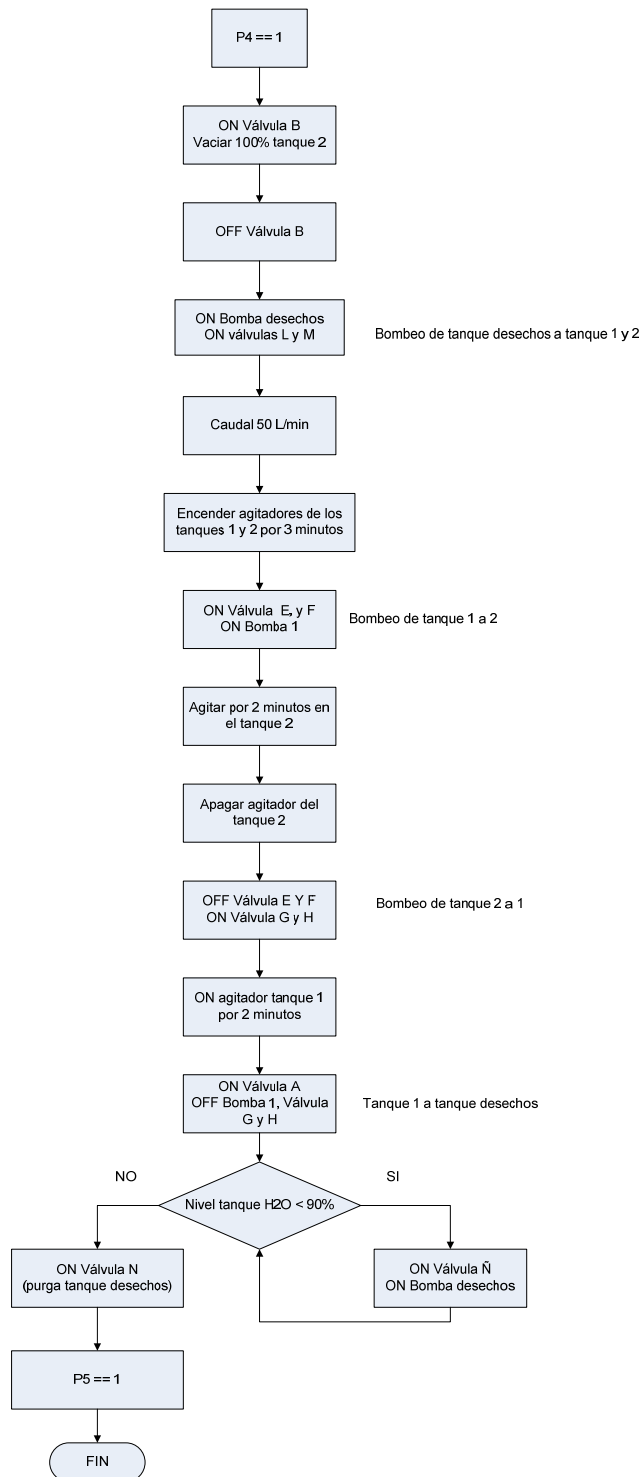
Fuente: Autores.

Esquema 9. Diagrama de flujo de la rutina de llenado.



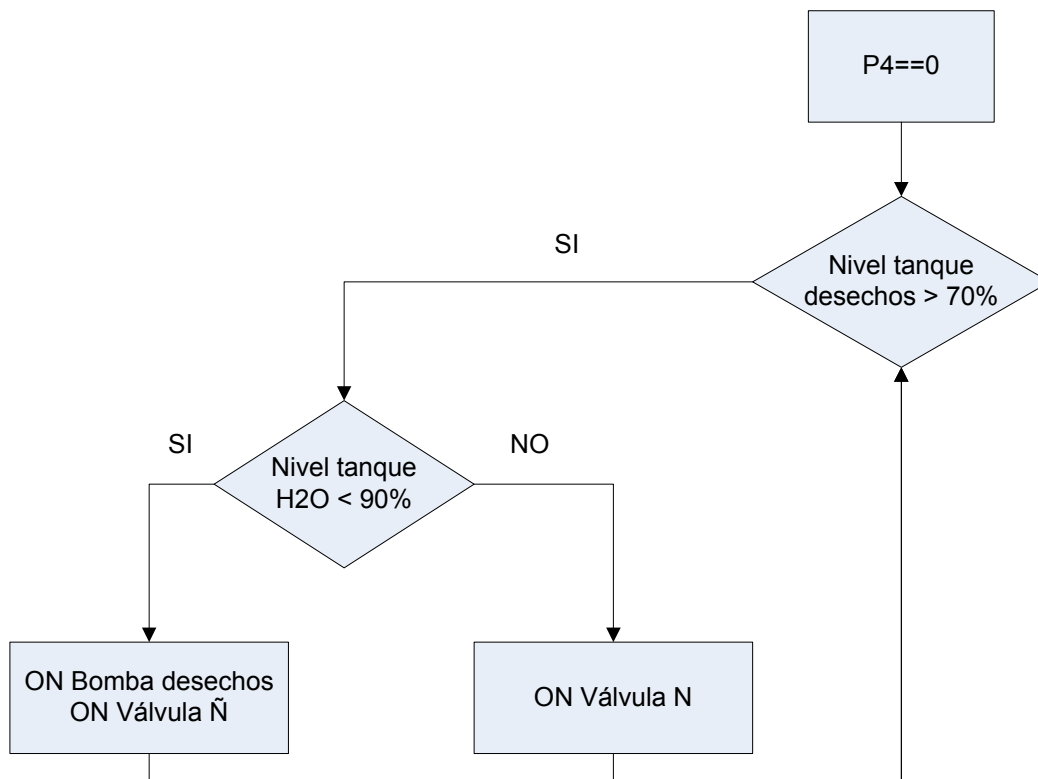
Fuente: Autores.

Esquema 10. Diagrama de flujo de la rutina de CIP (cleaning in place).



Fuente: Autores.

Esquema 11. Diagrama de flujo de la rutina del tanque de desechos.



Fuente: Autores.

Esta rutina se realiza durante todo el proceso, con el objetivo de controlar el nivel del tanque de desechos.

4.4.2 Descripción del Supervisorio. La HMI (Interfaz hombre máquina sus siglas en inglés Human Machine Interface) del Aula TIA se elabora en WinCC, plataforma de diseño para monitoreo remoto de procesos en la línea TIA de SIEMENS, ampliamente utilizado para los sistemas SCADA..

A continuación se presenta una breve descripción de las presentaciones de la HMI desarrollada en WinCC V5 DEMO, los requisitos del sistema son Windows XP Pro.

Pantalla inicial (Figura 34): En la presentación inicial, se encuentran los link a cada una de las etapas de los componentes del proceso (Tanque # 1, Tanque #2, Tanque de Agua, Tanque de desechos, Sistema doble vía y etapa de envasado), cada uno de estos componentes se observan posteriormente con más detalle; igualmente, desde la presentación inicial podemos acceder al área de monitoreo de protecciones y al área de tendencias.

Figura 34. Presentación Inicial HMI.



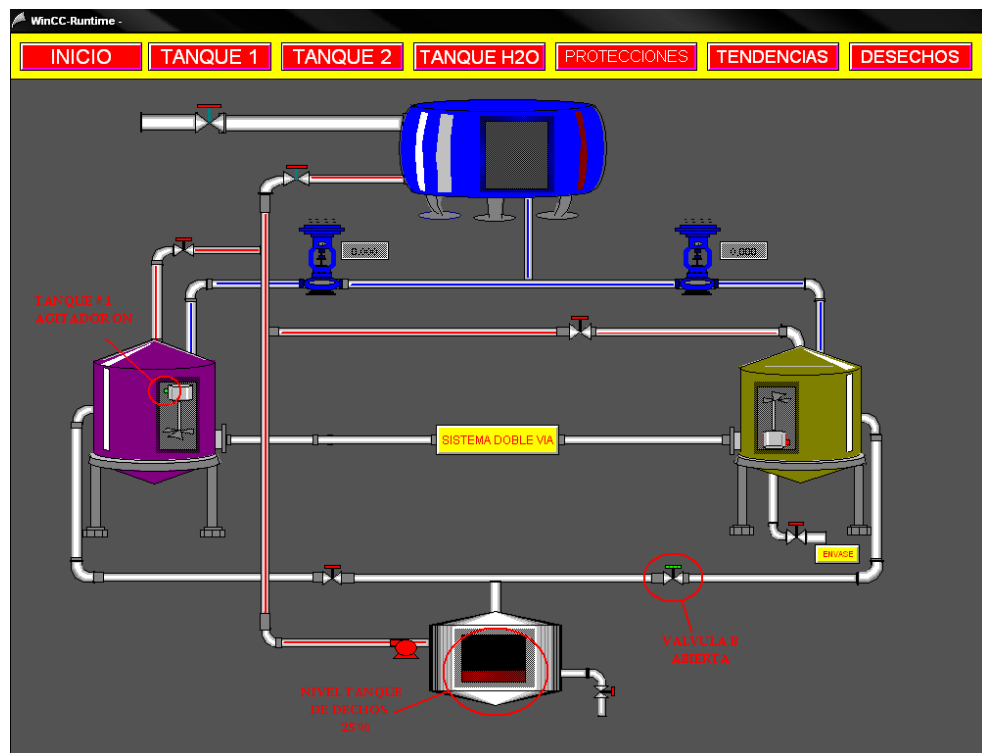
Fuente: Autores.

Proceso: las presentaciones del proceso se dividen en la presentación general del proceso y la presentación individual de los sistemas que componen el mismo.

En la HMI los tanques de la planta piloto son tanque H2O, tanque 1 (tanque de simulación de la etapa de maceración, se ha tratado en los anteriores capítulos como tanque 2), tanque 2 (tratado anteriormente como tanque 3, simulación cocción) y tanque de desechos.

En todas las presentaciones del proceso se puede encontrar los links de las demás etapas del proceso en este caso a la presentación inicial (Inicio), al tanque # 1, al tanque # 2, al tanque de agua, a las protecciones, tendencias y al tanque de desechos.

Figura 35. Presentación general.



Fuente: Autores.

En la Figura 35 se puede observar lo siguiente:

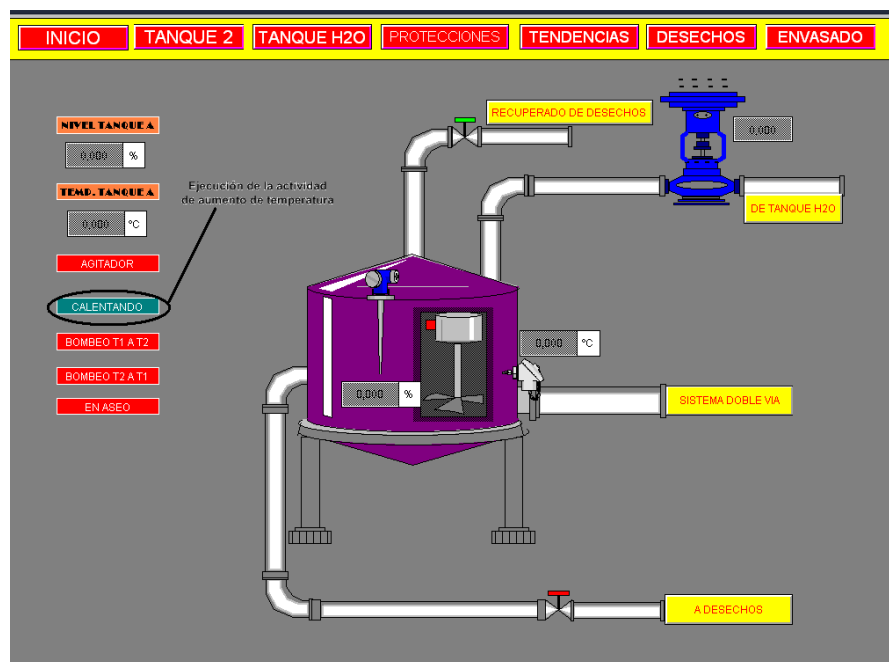
- La válvula se encuentra abierta y/o cerrada, identificado mediante el cambio de color de rojo a verde en el abridor de la válvula, respectivamente.
- El nivel de cada uno de los tanques en tiempo real con una actualización cada 200ms, tiempo para el cual se configura la toma de datos del PLC por parte del servidor.
- El porcentaje de apertura de cada una de las válvulas proporcionales de entrada de agua pura a los tanque 1 y 2.
- El estado On/Off de los agitadores ilustrado en el cambio de color de rojo a verde del señalizador del agitado, correspondientemente.

Tanque 1. En la presentación del tanque 1 se puede monitorear:

- El porcentaje de apertura de la válvula de entrada de agua al tanque proveniente del tanque de agua.
- Cual válvula se encuentra abierta y/o cerrada, identificado mediante el cambio de color de rojo a verde en el abridor de la válvula.
- Nivel del tanque mediante indicación numérica en al lado izquierdo de la imagen y indicación mediante nivel en el tanque.
- Indicación de la actividad en tiempo real que se está realizando (Agitado, calentando, Bombeo de tanque 1 a 2 o 2 a 1) en el tanque identificando en un destello de dos tonos de verde la actividad en ejecución y en rojo aquellas en reposo.
- Temperatura actual del tanque.

En la Figura 36 se muestra un ejemplo de esta presentación con la ejecución de la actividad de aumento de temperatura del tanque 1 y la apertura de la válvula de la línea tanque 1 y desechos.

Figura 36. Presentación tanque 1.



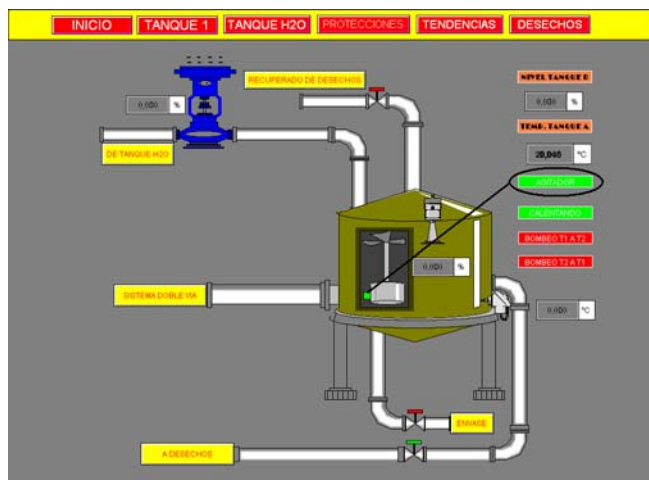
Fuente: Autores.

Tanque 2. En la presentación del tanque dos se pueden monitorizar las mismas actividades del tanque 1, igualmente ocurren los mismos cambios de apariencia, como se puede distinguir en la Figura 37.

Las actividades de la figura 35 son la ejecución de las actividades de calentamiento y agitación y la apertura de la válvula de la línea de desechos.

En las presentaciones individuales de los sistemas se encuentran los diferentes instrumentos empleados en cada uno de ellos.

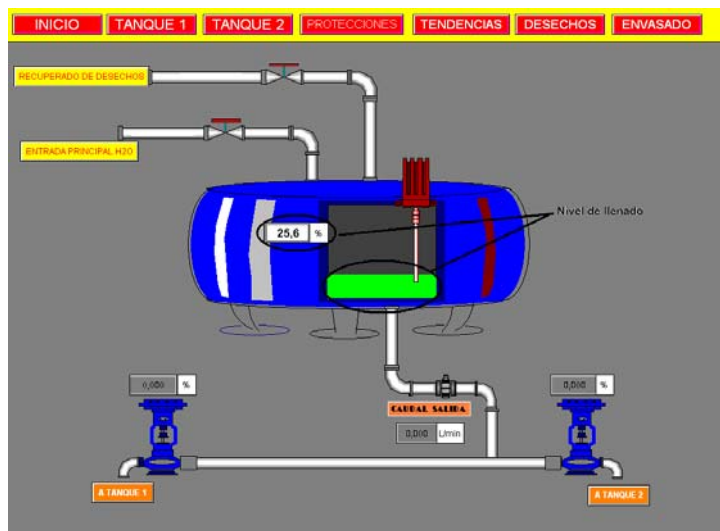
Figura 37. Presentación tanque 2.



Fuente: Autores.

Tanque de agua: en la Figura 38 se observan el incremento de nivel del tanque, el porcentaje de apertura de las válvulas proporcionales, el estado de la válvula de la línea de desechos y la razón de flujo de salida.

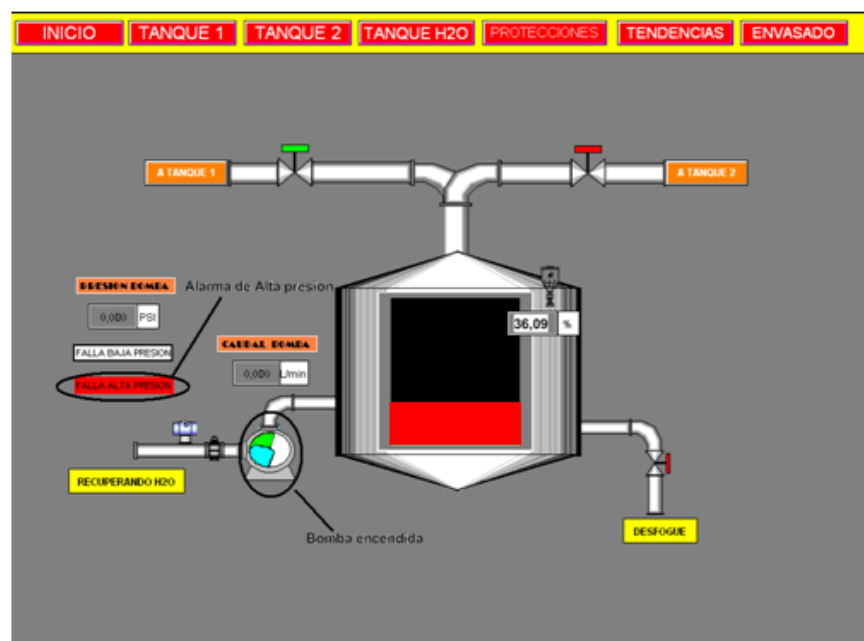
Figura 38. Presentación del tanque de agua.



Fuente: Autores.

Tanque de desechos: en la presentación del tanque de desechos se puede monitorizar la presión de la línea de salida, indicadores de baja y alta presión comparadas con el set point, cambio de estado cuando la bomba se encuentra apagada o encendida, estado de las válvulas, indicación de nivel del tanque y la razón de flujo de la línea de salida del tanque, ver Figura 39.

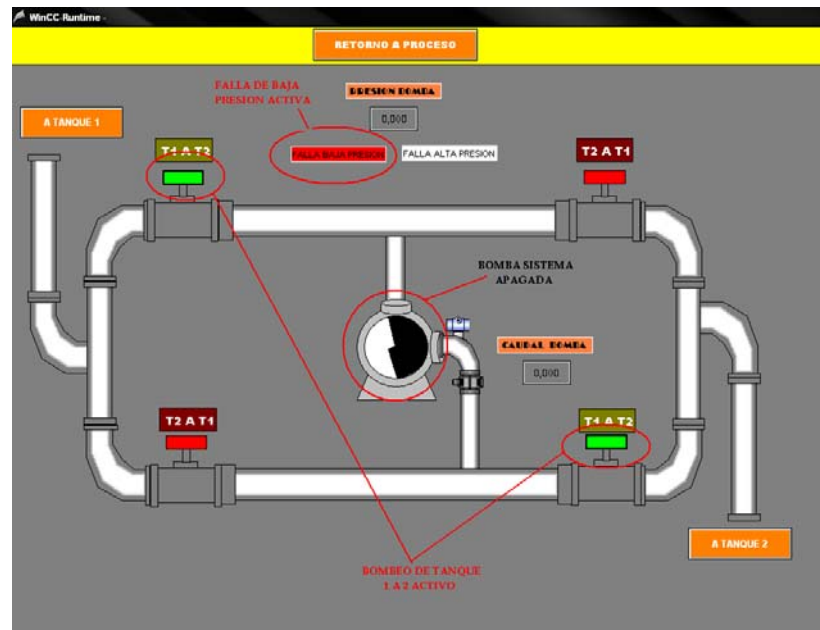
Figura 39. Presentación tanque de desechos.



Fuente: Autores.

Sistema doble vía: El arreglo de cuatro válvulas on-off y una bomba centrífuga se observa en la Figura 40.

Figura 40. Presentación del sistema de dos vías.



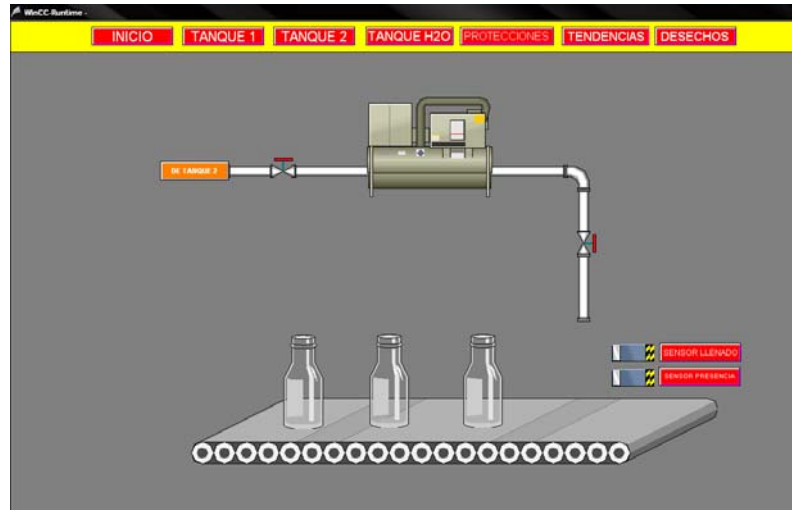
Fuente: Autores.

En la presentación del sistema doble vía, podemos monitorear:

Presión de la bomba, para bombeo bidireccional a los tanques 1 y 2, cual válvula se encuentra abierta y/o cerrada, de acuerdo con el color del abridor, razón de caudal de bombeo a los tanques superiores, indicación de encendido de la bomba mediante cambio de color de las aspas de la bomba de negro a dos tonos de verde como se aprecia en la Figura 39 y la alarma por fallas de baja y/o alta presión de la línea, el color rojo indica falla de presión y blanco sistema normal.

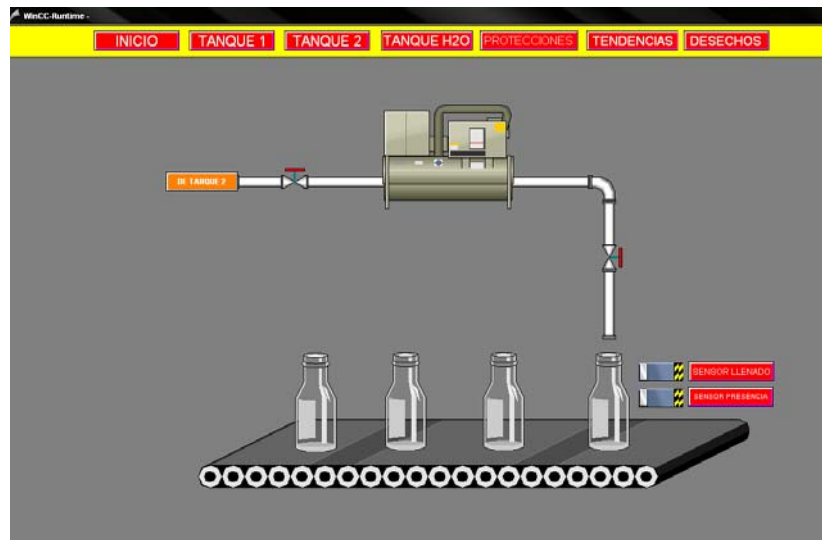
Sistema de envasado: en las figuras (Figura 41, Figura 42, Figura 43, y Figura 44) se muestra la secuencia de la rutina de envase: la detección de la botella, el llenado, el movimiento de la banda.

Figura 41. Gráfico del sistema de llenado sin botella y banda estática.



Fuente: Autores.

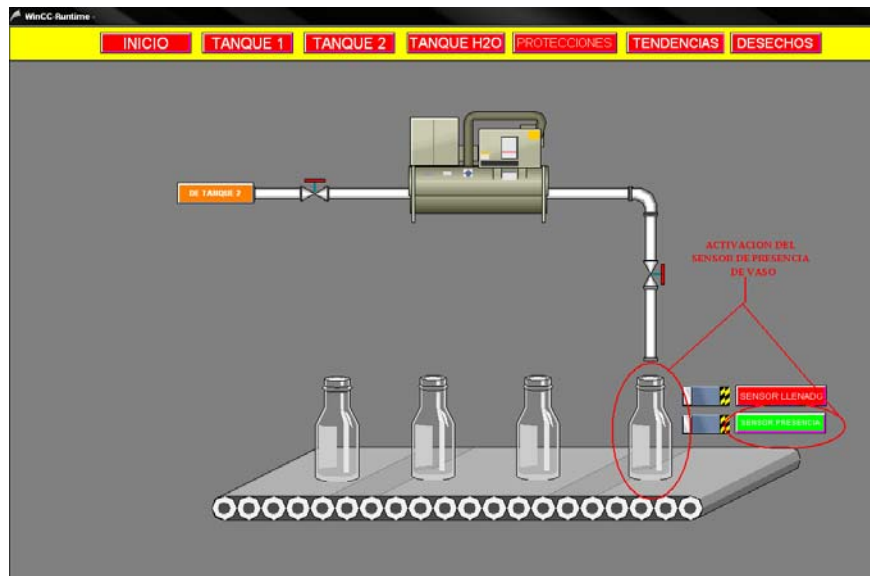
Figura 42. Gráfico de movimiento de la banda.



Fuente: Autores.

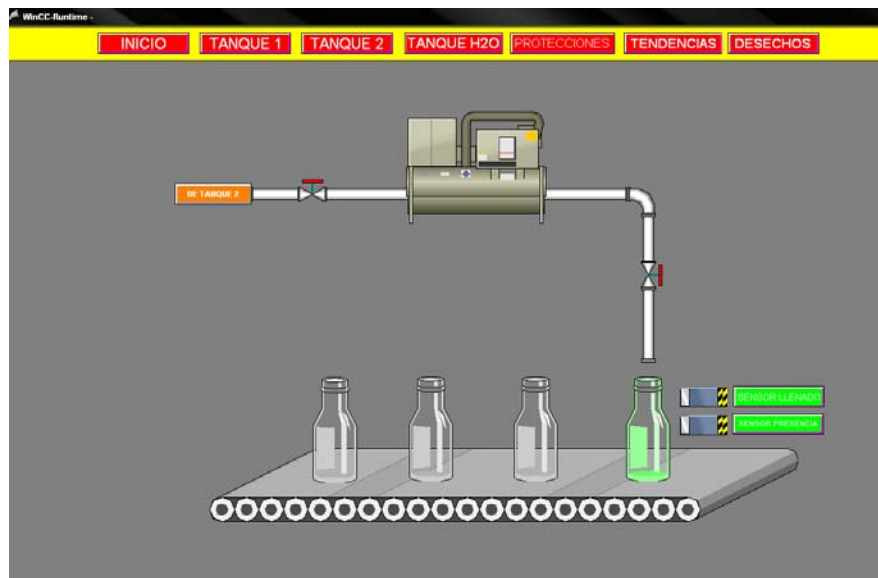
En esta etapa las botellas son intermitentes, en la figura no se pueden apreciar.

Figura 43. Gráfico de la detección de la botella.



Fuente: Autores.

Figura 44. Gráfico del llenado de la botella.



Fuente: Autores.

En la presentación cuando se detecta la presencia de la botella y se cumple con el nivel de llenado del vaso programado, se indica con el cambio de color de rojo pasa a verde y el color de la botella es verde cuando se completa el proceso.

Tendencias y protecciones. La presentación de las tendencias y protecciones permiten al usuario observar el correcto funcionamiento del sistema. En protecciones se encuentran las de alarmas cada una de las señales, si se mantiene en verde el sistema está en correcto funcionamiento si alguna alarma se activa esta se pone intermitente entre rojo y naranja.

En la las tendencias podemos apreciar el comportamiento de cada una de las variables de proceso que manejamos durante periodos de tiempo ajustables por el usuario, por medio de una gráfica y una tabla de valores.

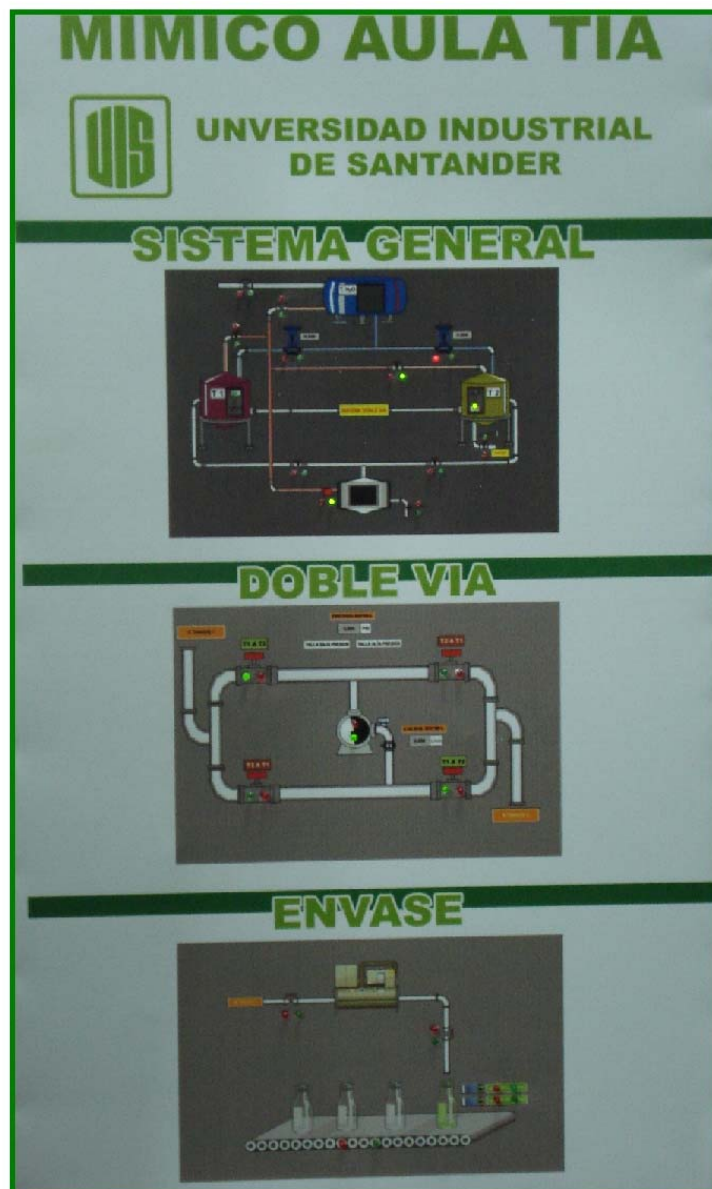
4.5 MÍMICO DEL PROCESO

El mímico del proceso tiene la función de dar una visión general de la sala TIA, se encuentra conformado por tablero de 0,6 metros de ancho y 1 metro de alto, con las ilustraciones de los supervisores de envase, doble vía y el proceso general, el cuenta con LEDs indicadores de encendido y apagado de las bombas, agitadores, válvulas, resistencias, etc. presentes en la planta piloto.

La indicación con LEDs es para obtener una comprensión mayor del proceso desarrollado para la sala TIA (Figura 45), teniendo como base el proceso Industrial de elaboración de cerveza descrito anteriormente en el capítulo 2.

El algoritmo de control se implementa en un microcontrolador Motorola de la familia GP32, la estructura del programa sigue los esquemas: Esquema 7, Esquema 8, Esquema 9, Esquema 10, y Esquema 11, descritos anteriormente.

Figura 45. Mímico sala TIA



Fuente: Autores.

CONCLUSIONES

La automatización de un proceso industrial implica la relación directa entre las áreas de mecánica, electrónica, control y sistemas. Esta asociación brinda a la empresa la información de sus procesos en tiempo real para el análisis y toma de decisiones técnicas y administrativas. Para el diseño y ejecución de un proceso de automatización industrial se debe considerar: las necesidades del proceso, la variable ser oportuno (*Quick time to market*), el nivel de automatización requerido y la relación costo de inversión-utilidad.

Los procesos industriales desarrollados por empresas multinacionales o grandes empresas en Colombia nacionales o extranjeras, cuentan con un alto grado de innovación tecnológica, debido a la búsqueda de certificaciones de calidad, menores costos, niveles de producción, ya que sus recursos permiten importar conocimiento y tecnología. El grado tecnológico de las medianas y pequeñas empresas del sector colombiano es inferior.

La selección del proceso de elaboración del yogurt y la cerveza para el desarrollo del proceso de laboratorio de la sala TIA, se debe a que son procesos desarrollados por grandes, medianas y pequeñas empresas en Colombia; además, ofrecen una gran número de variables de proceso y actividades.

Se eligió el proceso de fabricación de la cerveza para la implementación del Aula TIA ya que en este proceso se manejan las variables que comúnmente se controlan en la industria, mientras que en el proceso de fabricación de yogurt aparte de manejar las variables principales de proceso, se encuentran variables secundarias complejas como PH, viscosidad, color, densidad. Este aspecto para la

adaptación al proceso de la sala le daba mayor complejidad y menor nivel didáctico a un proceso de laboratorio donde se busca el estudio y el análisis de los conceptos desarrollados en las clases teóricas. Otro aspecto, la elaboración de cerveza cuenta con un mayor número de actividades, esto permite seleccionar las actividades adecuadas para la adaptación del proceso a nivel educativo.

Los recursos de los laboratorios de Instrumentación electrónica, automatización de procesos, sistemas de control son pocos, y algunos de sus elementos se encuentran desactualizados; creando una brecha en tecnología, baja familiarización de los estudiantes con instrumentos y equipos industriales, existen pocos recursos para la innovación e investigación tecnológica que permitan aportar al desarrollo del sector productivo colombiano.

La plataforma propuesta del aula TIA, es una base sólida para ampliar el espectro de las áreas de desempeño de los futuros egresados de la E3T, ya que en ella los estudiantes podrán tener contacto con instrumentación real, controladores y actuadores similares a los manejados en procesos industriales a nivel mundial. Esta plataforma sirve de apoyo para el emprendimiento de proyectos de innovación y automatización para las MyPIMEs presentes en el nororiente colombiano que es la región de influencia de la Universidad Industrial de Santander. Teniendo en cuenta el mejoramiento y dotación de otros aspectos relevantes en los laboratorios de las áreas de interés.

La estructura modular y de alto rendimiento del controlador SIMATIC S7 300, permite el control del proceso con la instrumentación, accionamientos y aparatos de maniobra seleccionados para la sala TIA sin inconvenientes, a demás de permite la ampliación de la sala con la adquisición de nuevos módulos de entradas y salidas, y su capacidad de memoria.

El software STEP 7 y el software WinCC, son totalmente compatibles con el ambiente Windows, son de estructura simplificada que facilita su comprensión, tienen una plataforma flexible y entorno agradable al usuario, esto permite que los tiempos de desarrollo disminuyan; la adaptación y acoplamiento con los sistemas de hardware de productos SIEMENS Tottaly Integrated Automation es sencilla. El acoplamiento de la periferia descentralizada con diferentes protocolos de comunicación, es simple y transparente para el controlador y el supervisor.

Los elementos y dispositivos seleccionados para la sala TIA se caracterizan por ser de la serie TIA de SIEMENS, en su mayoría. La instrumentación emplea diferentes principios de medición, la versatilidad de los productos de periferia permiten que el aula TIA, sirva de base para la simulación de diferentes procesos donde se quieran evaluar y estudiar múltiples aspectos. Los productos SIEMENS cuentan con el respaldo de calidad, cumplen con las normas de seguridad necesarias para cada sector y se encuentran bien posicionados en el sector industrial.

El desarrollo de la metodología creada por el banco de proyectos de la Universidad es sencilla y ordenada de interpretar y realizar para cualquier tipo de propuesta. Contiene los formatos necesarios para exponer la problemática, y la solución de la misma; igualmente, se encuentran los ítems a tratar en cada uno de los formatos dependiendo de la clase de proyecto.

El mímico de la sala TIA permite explicar de manera sencilla y comprensible la adaptación del proceso de la cerveza para la planta piloto de los laboratorios de Instrumentación electrónica, Automatización de procesos y Sistemas de control.

La elección del medidor de flujo másico donde el principio de funcionamiento es la fuerza de Coriolis se baso en que es uno de los sensores más precisos, a demás el patrón de calibración de los medidores de caudal es tipo Coriolis.

OBSERVACIONES

Se optó por trabajar con instrumentación, actuadores y controladores marca SIEMENS en aras de realizar un convenio Universidad-SIEMENS, ya que esta es una de las empresas pioneras en el desarrollo de sistemas de automatización y actualmente lidera un programa denominado SCE (Siemens Cooperera con la Educación) que posibilita implementar soluciones tipo industrial en las Universidades a costos reducidos.

Se seleccionó el software WinCC (Windows control Center) como plataforma de desarrollo del supervisorio, ya que es un software 100% compatible con la plataforma Windows y con todos los componentes de hardware del proyecto (PLC y periferia descentralizada).

Se adoptó el software STEP 7 como plataforma de programación del “Controlador del Proceso”, por las siguientes razones: se puede programar de forma ordenada y fácil; además, es utilizado ampliamente en la industria para programar las CPUs de mayor rendimiento.

En la industria se emplean diferentes clases de instrumentos de medición y control; además uno de los objetivos de la materia de instrumentación electrónica es familiarizar a los estudiantes con un ambiente industrial, por estas razones los instrumentos seleccionados son de diferentes clases.

Las variables de proceso tratadas son las variables más relevantes e importantes que se encuentran presentes en cualquier industria. El aporte de este proyecto es el empleo de las cuatro variables existentes en el laboratorio en un solo proceso;

además, de contribuir con tres variables más. Esto permite conocer la relación que existe si se afectan algunos parámetros de proceso.

RECOMENDACIONES

Ampliar el proceso incluyendo el manejo de sólidos con el objetivo de ampliar la instrumentación del laboratorio, porque la existente y la sugerida manejan solo fluidos (gases y líquido), conservando la visión académica.

Implementar las normas ISA en la identificación y esquematización los prototipos existentes y futuros con un objetivo académico.

En cada banco de desarrollo del laboratorio de automatización de procesos incluir un PLC y un computador con el software necesario para la programación del controlador y de la Interfaces gráfica de usuario.

Los proyectos finales de las materias de sistemas de control, automatización, instrumentación se amplíen como proyectos de grado y sean incorporados a los laboratorios.

En futuros proyectos de grado diseñar e implementar ó adquirir módulos educativos (Kit de desarrollo) con variadores de velocidad, motores, etc., e igualmente elaborar bancos donde se permita practicar la lógica cableada.

Si es implementada la sala se deben desarrollar las guías de las prácticas de laboratorio para las diferentes materias.

En próximos proyectos desarrollar sistemas SCADA para los laboratorios de la escuela.

De ser implementada la sala TIA se recomienda el desarrollo de un reglamento para el uso y administración de los equipos del laboratorio, con el objetivo de darles un buen uso a los equipos y preservarlos en óptimas condiciones; a su vez ofrecer un mejor servicio a los usuarios, para la mejor explotación de estos recursos.

Las anteriores recomendaciones se dan con el propósito de ampliar la infraestructura tecnológica de la escuela que permitan el desarrollo de investigaciones y el diseño de soluciones a las necesidades industriales del sector productivo colombiano.

BIBLIOGRAFÍA

CREUS, Antonio. INSTRUMENTACION INDUSTRIAL. Alfa omega, 6ª Edición, 1998.

RONCANCIO RODRIGUEZ, Rafael. Curso de Instrumentación Electrónica. Universidad Industrial de Santander, 2000.

MANTILLA SAAVEDRA, Juan Carlos. Memorias del Diplomado Instrumentación, Automatización y Control virtual. UPB. Bucaramanga, 2006.

SIEMENS AG. Manuales de Formación para soluciones generales en Automatización Totally Integrated Automation (TIA).

AMAYA PALACIO, José Alejandro. Memorias de la materia de Instrumentación electrónica. UIS. Bucaramanga, 2006.

RONCANCIO REYES, Israel. “Diseño e Implementación de una solución de compatibilidad entre dispositivos interconectados bajo protocolo MODBUS”. UIS. Bucaramanga, 2007.

CANOVA GARCÍA, Walder y GIRALDO OTERO, Andrés. “Diseño e implementación de un programador de transmisores de presión HONEYWELL basado en el protocolo HART”. UIS, 2007.

MENGUAL PITARCH, Pilar. Manual de programación STEP 7.

SIEMENS AG. Manual de programación en español de WinCC C79000-68276-C161-02.

SIEMENS AG. Manual de programación en inglés de WinCC C79000-68276-C107-01.

SIEMENS AG. Catalogo general de productos. Disponible en www.siemens.com/processautomation.

NOVOA DIAZ, Daniel Fernando y SAYAGO PEÑALOZA, Sandra Milena. "Planeación, Diseño Y Realización del Laboratorio de Instrumentación Electrónica Para la E3T", Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 2001.

DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA. Disponible en Internet: <http://www.wordreference.com>.

RAMÍREZ VEGA, Diego Hernán y TORRES SÁNCHEZ, Edgar Ernesto. "Sistema de gestión para un prototipo de sistema SCADA en el laboratorio de Instrumentación Electrónica de la E3T", Bucaramanga, Universidad Industrial de Santander, 2007.

ORTIZ PIMIENTO, Néstor Raúl. ANALISIS Y MEJORAMIENTO DE LOS PROCESOS DE LA EMPRESA. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, 1999.

ANEXO A

A1. FUNDAMENTACIÓN TEORICA DE INSTRUMENTACIÓN^{27,28}

La sala TIA se diseña para trabajar con siete variables de proceso con las cuales se espera realizar diferentes prácticas de control e instrumentación electrónica. A continuación una descripción general de las variables principales de proceso involucradas en la planta piloto.

TEMPERATURA

La temperatura es una de las variables más importante en los procesos industriales, dado que es la característica fundamental del estado térmico de un cuerpo y por los cambios físicos o químicos que experimentan la mayoría de las sustancias cuando se calientan o enfrían.

Definición. La temperatura es el grado de calor o frío de una sustancia y el calor es la energía térmica de una sustancia. La temperatura de un cuerpo es una manifestación de la energía que contiene ese cuerpo, si no hay energía en términos de calor, no hay temperatura y a esa condición se le llama cero absoluto.

²⁷AMAYA PALACIO, José Alejandro. Memorias de Instrumentación Electrónica, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga, primer semestre del 2006.

²⁸ MANTILLA SAAVEDRA, Juan Carlos. Memorias del Diplomado de Instrumentación, Automatización y Control Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, 2006.

Los instrumentos de temperatura utilizan diversos fenómenos que son influidos por la temperatura y entre los cuales figuran:

- Variaciones en volumen o en estado de los cuerpos (sólidos, líquidos o gases).
- Variaciones de resistencia de un conductor (sondas de resistencia).
- Variaciones de resistencia de un semiconductor (termistores).
- FEM creada en la unión de dos metales distintos (termopares).
- Intensidad de la radiación total emitida por el cuerpo (pirómetros de radiación)
- Otros fenómenos utilizados en laboratorio (velocidad del sonido en un gas, frecuencia de resonancia de un cristal, etc.).

Existen diferentes escalas de temperatura, las cuales se basan en incrementos determinados entre los puntos de congelación y ebullición del agua pura a la presión atmosférica normal como se evidencia en la tabla A1. En el Sistema Internacional de Unidades la temperatura se mide en grados Kelvin (°K).

Tabla A1.1. Escalas de temperaturas

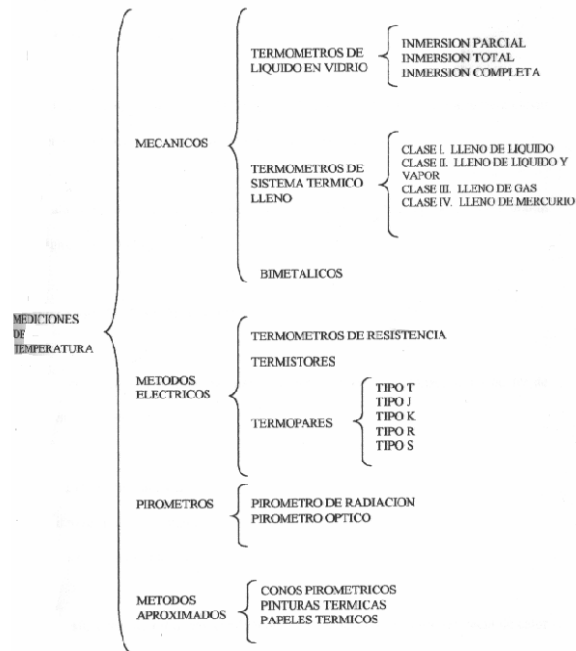
Escala	Punto de fusión del hielo puro	Punto de ebullición agua	de del	Cero absoluto	Formulas de conversión
Celsius °C	0°C	100°C		-273°C	$^{\circ}\text{F} = 9/5 * ^{\circ}\text{C} + 32$ $^{\circ}\text{C} = 5/9 * (^{\circ}\text{F} - 32)$ $^{\circ}\text{R} = ^{\circ}\text{F} + 460$ $^{\circ}\text{K} = ^{\circ}\text{C} + 273$
Fahrenheit °F	32°C	212°F		*	
Kelvin °K	273,16 °C	373°k		0°K	
Rankine °R	471,7°R	671,7°R		R°K	
Reaumur	0°Re	80°Re		218,55°Re	

*En la escala Fahrenheit se pensaba que el cero era la temperatura más baja se podía producir en el laboratorio.

Fuente: Memorias Instrumentación Electrónica, UIS, primer semestre 2006.

Los métodos para medir temperatura los podemos dividir de la siguiente manera:

Esquema A1.1. Medición de temperatura



Fuente: Memorias Instrumentación Electrónica, UIS, primer semestre 2006.

RTD (Detector Resistivo de Temperatura). Es un hilo metálico de Platino, Cobre o Níquel, que varía su resistencia óhmica con la temperatura en relación con su *coeficiente de temperatura* α . Posee una configuración de 2, 3 o 4 hilos. Un tipo de RTD son las Pt100 o Pt1000. Estos sensores deben su nombre al hecho de estar fabricados de platino (Pt) y presentar una resistencia de 100ohms o 1000ohms respectivamente a 0°C. Son dispositivos muy lineales en un gran rango de temperaturas, por lo que suele expresarse su variación como:

$$R = R_0(1 + \alpha(T^a - T_0^a)) \text{ Ecuación A1.}$$

Donde T_0^a es una temperatura de referencia y R_0 es la resistencia a esa temperatura.

Las tolerancias comerciales según norma IEC 751:1995:

Clase A $\pm 0,15$ °C [0 °C] $\pm 0,06$ Ω [0 °C]

Clase B $\pm 0,30$ °C [0 °C] $\pm 0,12$ Ω [0 °C]

Termopar. Es un sensor basado en el *efecto Seebeck* (circulación de corriente en un circuito formado por 2 metales diferentes cuyas uniones se mantienen a distinta temperatura). Esta circulación de corriente obedece a 2 efectos termoeléctricos combinados:

Efecto Peltier: liberación o absorción de calor en la unión de 2 metales distintos cuando una corriente circula a través de la unión.

Efecto Thomson: Liberación o absorción de calor cuando una corriente circula a través de un metal homogéneo en el que existe un gradiente de temperaturas.

Tabla A1.2. Tipos de termopares

ANSI C96.1			
TIPO	TERMOPAR		RANGO (°C)
	+	-	
E	Cromel Cr	Constantán Co	0 a 900
J	Hierro Fe	Constantán Co	0 a 760
K	Cromel Cr	Alumel Al	-200 a 1260
R / S	Platino Rodio	Platino Pt	0 a 1600
T	Cobre Cu	Constantán Co	-40 a 350

Constantan: 45% Níquel, 55% Cobre

Cromel: 10% Cromo, 90% Níquel

Alumel: 95% Níquel, 2% Aluminio, 2% Manganeso, 1% Silicio.

Fuente: MANTILLA SAAVEDRA, Juan Carlos. Memorias del Diplomado de Instrumentación, Automatización y Control Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, 2006.

Termopozo. Dispositivo de protección de los elementos primarios de temperatura que evita que estos se dañen por la acción de fluidos corrosivos, altas velocidades y presiones. Además provee la facilidad de cambio del instrumento de medición sin necesidad de suspender o parar el proceso.

PRESIÓN

Definición. Es una magnitud física que mide la fuerza por unidad de superficie. Cuando sobre una superficie plana de área A se aplica una fuerza normal F de manera uniforme y perpendicularmente a la superficie, la presión P viene dada por:

$$P = \frac{F}{A} \text{ Ecuación A2}$$

En un caso más general donde la fuerza puede tener cualquier dirección y no estar distribuida uniformemente en cada punto la presión se define como:

$$P = \frac{d\vec{F}}{dA} \cdot \vec{n} \text{ Ecuación A3.}$$

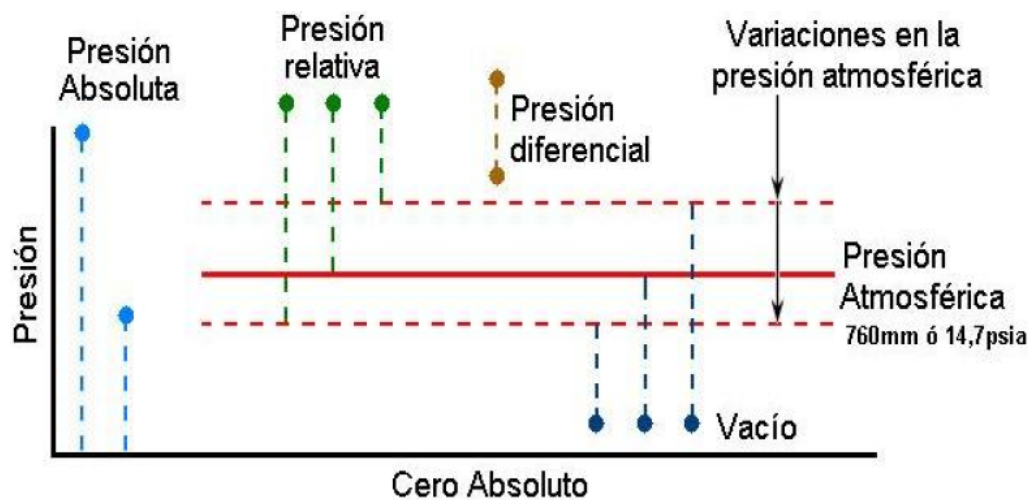
Donde \vec{n} es un vector unitario y normal a la superficie.

En el Sistema Internacional de Unidades la presión se mide en pascal (Pa) que es equivalente a una fuerza total de un Newton actuando uniformemente en un metro cuadrado.

Las unidades con las cuales se puede expresar son diversas y se encuentran resumidas en la tabla A3.

La presión puede medirse en valores absolutos o diferenciales; entre las clases de presión que los instrumentos miden comúnmente en la industria se muestra en la figura A1.1.

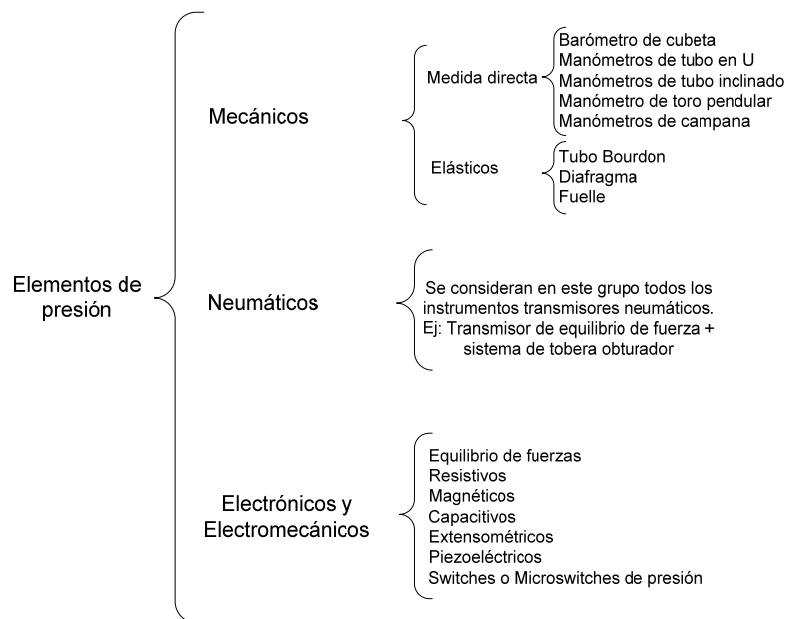
Figura A1. Clases de presión



Fuente: MANTILLA SAAVEDRA, Juan Carlos. Memorias del Diplomado de Instrumentación, Automatización y Control Industrial, Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga, 2006.

Los elementos de presión se clasifican según el esquema A1.2.

Esquema A1.2. Clasificación de elementos de presión



Fuente: Autores

Los líquidos ejercen dos clases de presiones, la presión hidráulica que es la que ejerce un líquido en movimiento y la presión hidrostática que es la que ejercen los líquidos en reposo.

CAUDAL

Definición. Flujo o caudal es el movimiento de un fluido (líquidos y gases) causado por la diferencia de presiones. El caudal total es la cantidad del fluido que pasa por un punto dado en un periodo de tiempo determinado. Se expresa en unidades de volumen ó masa, divididas por la unidad de tiempo.

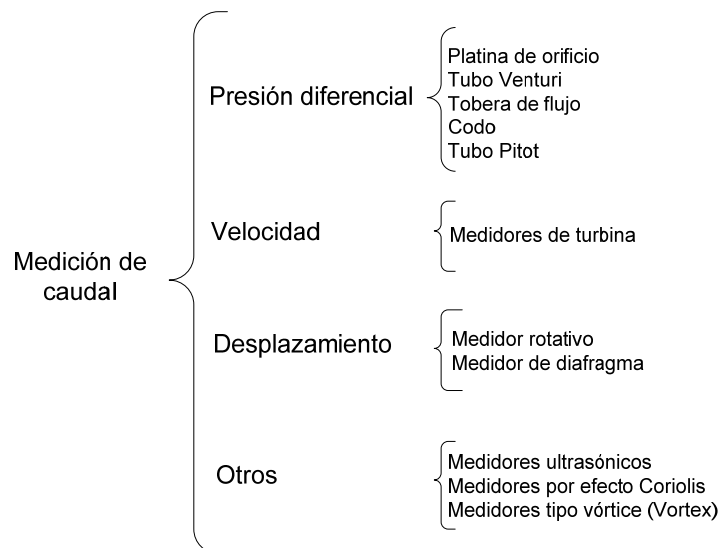
$$Q = V * A \quad y \quad m = \rho * V * A, \text{ Ecuación A4.}$$

Donde Q es el caudal o flujo volumétrico [volumen/tiempo], m es caudal o flujo másico [masa/tiempo], V es la velocidad promedio [m/s], A es el área transversal [m^2] y ρ es la densidad [Kg/m^3].

Existen tres clases de flujo: flujo laminar, flujo turbulento y flujo transicional; en el primero las partículas se mueven siguiendo trayectorias regulares y fluye de una forma uniforme en capas o estratos; en el otro el movimiento de las partículas del fluido se agitan siguiendo trayectorias distintas, es un flujo errático e irregular y por último el flujo transicional se presenta como la combinación de los flujos turbulento y laminar. En algunos puntos prevalece un tipo más que el otro.

En el esquema A1.3 se presentan los diferentes tipos de medidores de caudal o flujo.

Esquema A1.3. Medición de caudal



Fuente: Autores

Medidores por efecto Coriolis. El caudalímetro másico de Coriolis funciona aplicando una fuerza de vibración a un tubo curvado a través del que pasa el fluido. La fuerza de Coriolis deforma el tubo, en adición a la vibración causada por la oscilación, la deformación es proporcional al flujo másico directamente, sin la influencia de parámetros como la temperatura, la presión y la densidad.

Medidores electromagnéticos. Basados en la Ley de Faraday: un conductor que se mueve por un campo magnético induce un voltaje; el fluido que se está moviendo es el conductor. El flujo magnético se genera por dos bobinas una a cada lado del medidor. Dos electrodos de medida detectan el voltaje inducido, el cual es proporcional a la velocidad de flujo.

Es usado para medir líquidos conductivos ($> 1\mu\text{S/cm}$) con o sin sólidos. No tiene partes móviles y no hay pérdidas de presión.

Medidores Ultrasónicos. El principio de un medidor de flujo ultrasónico se fundamenta en enviar una onda de sonido de alta frecuencia en un ángulo agudo a través del tubo. Un transmisor envía señales ultrasónicas a un receptor. La diferencia entre la transmisión y la recepción de una señal depende de la velocidad del flujo.

$$V = C^2 * \tan \alpha * \Delta t / (2D) \text{ Ecuación A5.}$$

Donde C es la velocidad del sonido en el fluido, V es la velocidad del fluido, D el diámetro interno de la tubería, Δt es la diferencia de tiempos de tránsito del sonido y α es el ángulo de incidencia de la onda de sonido.

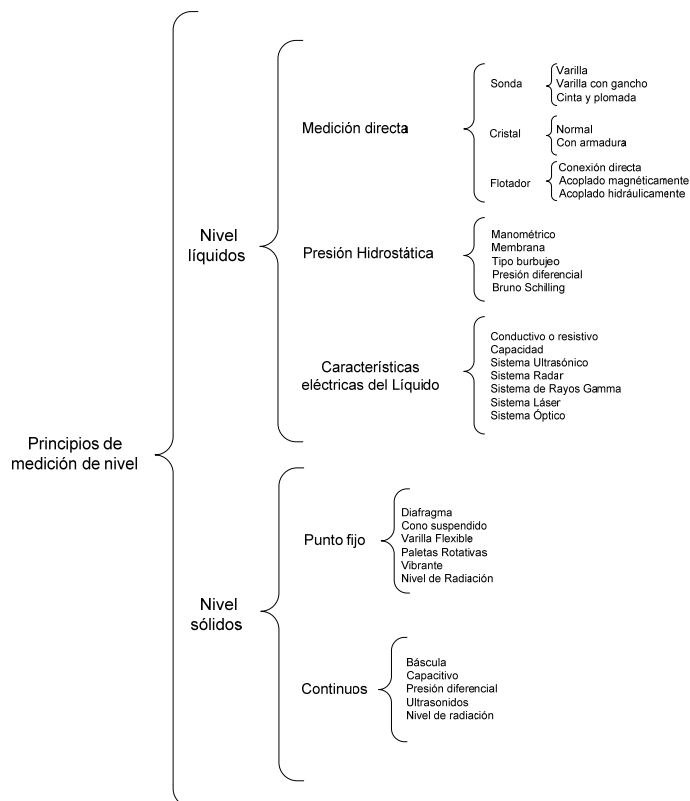
NIVEL

En la industria, la medición de nivel es muy importante, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado de materias primas o de productos finales.

Definición. Es la posición relativa en una escala de valores. Altura a que llega la superficie de un líquido o un sólido. La unidad internacional es el metro.

La clasificación de los instrumentos de nivel se muestra en el esquema A1.4.

Esquema A1.4. Medición de nivel en líquidos y sólidos



Fuente: Autores.

Radar. Se basa en la propagación de una onda electromagnética que no es influida por la temperatura, ni por las variaciones de densidad que puedan existir en el líquido. Un oscilador de estado sólido genera una frecuencia de barrido y enfoca la señal sobre el líquido por medio de una antena. La diferencia de frecuencias entre las señales de transmisión y de retorno es proporcional al tiempo empleado por las mismas, y por tanto al nivel del líquido.

Ultrasónico. Se basa en la emisión de un impulso ultrasónico a una superficie reflectante y la recepción del eco del mismo en un receptor. El retardo en la captación del eco depende del nivel del tanque.

Capacitivos. Un capacitor es formado cuando se inserta una barra de metal a un tanque metálico, el cual tiene un potencial referido a tierra. Cuando hay material entre ellos (dieléctrico), se logra un cambio en la capacitancia, este cambio es convertido a una señal de corriente mediante un acondicionador de señal.

ANEXO B

ANEXO B1. PROPUESTA DE LA SALA TIA PARA EL BANCO DE PROYECTOS DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER

La propuesta se desarrolla siguiendo la filosofía planteada en la metodología desarrollada por el banco de proyectos de la Universidad Industrial de Santander. Esta comprende antecedentes, justificación, alcance, beneficios, alternativa de proyecto, el presupuesto y las especificaciones del proyecto a ejecutar.

A continuación se anexa la propuesta de la sala TIA que busca la repotenciación de los laboratorios de Automatización de procesos, Instrumentación electrónica y Sistemas de control materias incluidas en el plan de estudios de las carreras de Ingeniería Eléctrica e Ingeniería Electrónica de la Universidad Industrial de Santander.

Esta dotación de equipos e infraestructura permitirá familiarizar los estudiantes de dichas ingenierías con el ambiente industrial, y brindar una infraestructura mínima adecuada para el desarrollo de las prácticas de laboratorio de las materias interesadas en el proyecto; igualmente, permitirá ser el soporte de las actividades prácticas de los futuros diplomados, especializaciones, maestrías y doctorados en estos campos, creados por la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. (Ver archivo pdf de la propuesta para el banco de proyectos de la UIS).

ANEXO C

ANEXO C1. DATOS TÉCNICOS DE LOS ELEMENTOS DE LA SALA TIA²⁹

La instrumentación y elementos enumerados en el capítulo tres para el proyecto sala TIA se selecciona teniendo en cuenta el fluido a tratar que en este caso sea agua, la temperatura del proceso, la presión del mismo, y el flujo. Con el discreción de seleccionar tecnología existente en la industria actual, con el objetivo de ser un núcleo de formación integral (teórico-práctica) de los profesionales de la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones, con la proyección de una aprendizaje profundo en las áreas tratadas por la sala; igualmente, siguiendo el propósito de la universidad y la de la escuela en cuanto innovación tecnológica y científica en el cumplimiento de su misión de generar y adecuar conocimiento para el bienestar de la comunidad y la formación de profesionales de alta calidad profesional, ética y política.

El material de los elementos empleados debe ser duradero, seguro, resistente a la corrosión producida por el agua, y soportar los requerimientos del proceso. Por esta razón, se selecciona el acero inoxidable ya que este material es duradero, con un factor elevado de resistencia a la corrosión comparado con otros metales y soporta adecuadamente los agentes del proceso de la sala; sin contar que es el material más utilizado en la industrial.

A continuación se enumeran algunos datos técnicos de los implementos propuestos para la sala TIA. Para mayor información los catálogos se encuentran

²⁹ Los datos técnicos descritos en este anexo son tomados de los catálogos de SIEMENS AG, DANFOSS, SAMSON y Resistencias Electro Salgado S.A, disponibles en sus website.

disponibles en la página web de SIEMENS AG para la región andina en la sección de productos y servicios, industria, productos.

INSTRUMENTACIÓN

Los instrumentos seleccionados toman las variables físicas y son transmitidas al PLC para tomar acciones de control sobre el proceso. La instrumentación de nivel se puede apreciar con algunas de sus características en la Tabla C1, todos los transmisores de nivel poseen indicador; posteriormente, en la Tabla C2, se enumeran los instrumentos con algunos datos técnicos para la medición de flujo. En la

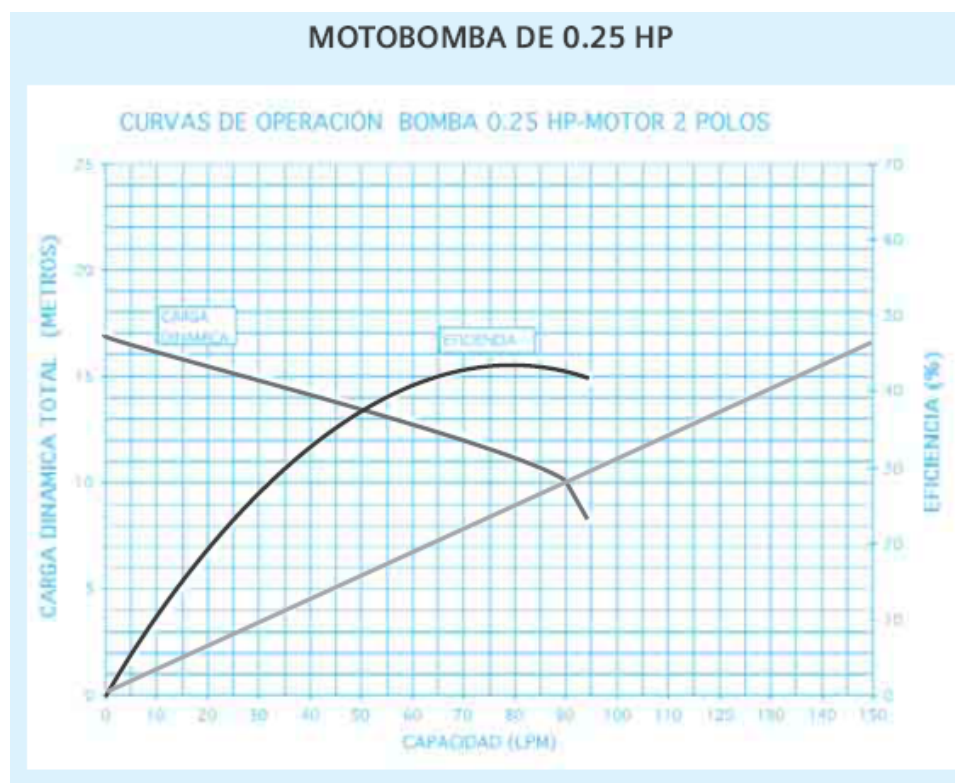
Tabla **C3** se encuentra la instrumentación de temperatura; en la Tabla C4, se encuentra lo referente al medidor de presión y finalmente, en la Tabla C5, se encuentran los elementos de medición de posición y nivel correspondientes al sub-sistema de envase.

ACTUADORES

Los actuadores presentes en la sala, empleados en el proceso de la cerveza son: motores eléctricos, bombas, resistencias eléctricas, y válvulas. En la Tabla C6, se describen algunos de los datos técnicos de las bombas y motores eléctricos. En la Tabla C 7 se muestran algunos datos técnicos de las válvulas empleadas y la Tabla C8 se dan algunos datos técnicos de las válvulas proporcionales seleccionadas; finalmente, en la Tabla C9 las características de las resistencias de inmersión de los tanques 2 y 3.

En el cálculo de la potencia de los motores de las bombas y los agitadores, se selecciona teniendo en cuenta las curvas de operación proporcionadas en los catálogos de los proveedores, y los parámetros del proceso a cumplir. A continuación ejemplos de las curvas de operación:

Figura C1. Curva de operación para una motobomba de 0,25 HP

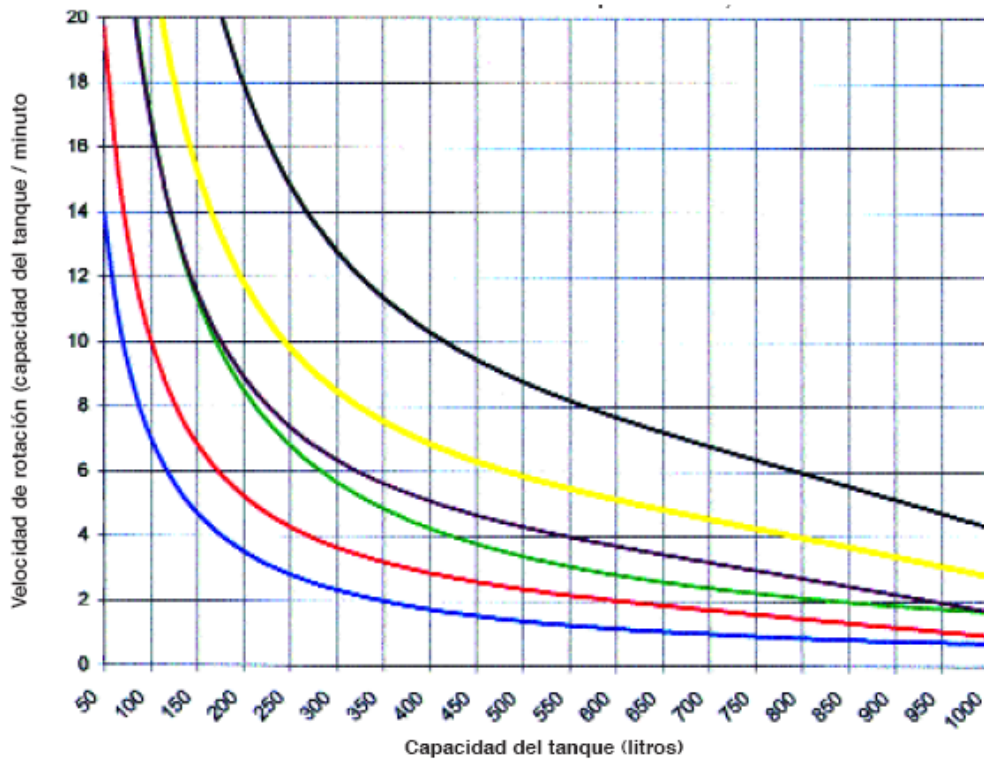


Fuente: Catálogo de motores SIEMENS 2007

En esta curva se muestra capacidad en litros por minuto vs. La carga dinámica total dada en metros y eficiencia, para el caso de la sala se necesita una bomba centrífuga que trabaje a un caudal de 50 litros por minuto, altura de 2,5 metros; si se proyecta el caudal sobre las curvas de eficiencia y carga dinámica se obtiene:

para este caudal la bomba puede alcanzar una altura de 13 metros con una eficiencia del 38%, estas condiciones ofrecidas por esta bomba cumplen con los requerimientos; por esta razón, las bombas centrífugas son de 0,25 HP.

Figura C2. Capacidad tanque Vs. Velocidad de rotación



Fuente: Catálogo de mezcladores y agitadores DCL.

Las curvas azul, roja, verde son de 1/4 HP, con diferentes clases de hélices o turbinas, las curvas de color morado y amarilla son de 1/2 HP y la negra es de 3/8 HP. Los tanques de la sala son de capacidad neta 100 Litros las gráficas que corta son las correspondientes a 0,25 HP. La figura anterior es para un tanque donde el contenido es agua, que es el caso de los tanques de la sala TIA.

Por cuestión de disponibilidad para Colombia de los catálogos las bombas son de 1/3 HP trifásicos, los motores eléctricos de los agitadores son 1/3 HP trifásicos marca SIEMENS.

Tabla C1. Transmisores de nivel.

Rango	Salida	Alimentación	precisión	Condiciones de aplicación	Diseño
Transmisor ultrasónico The Probe					
0,25 ... 5 m	4 a 20 mA, ; máxima carga 750 Ω a 24 VCC y alarma de nivel o fallo (relé)	18 a 30, VCC máx. 0,2 A y consumo máximo: 5W (200mA a 24 VCC)	0,25 % del rango de medida; resolución 3 mm	Ángulo de haz: 12°; temperatura (-40 a 60°C); Máx. Presión Atmosférica.	Peso: 1,7 Kg; Material Caja: PVC y Sensor: PVDF
Transmisor capacitivo SITRANS LC300					
0 a 3300 pF	Señal continua de 4 a 20 mA	9 a 32 VCC (polaridad indiferente), bucle de corriente 2 hilos (9 V a 22 mA)	linealidad y repetibilidad menor 0,4% del máximo rango y del valor real y precisión menor de 0,5% del valor de medición real	Transmisor temperatura entre -4 a 85 °C, grado de protección NEMA4/IP65, IP68. Sonda tem. -40 a 200°C, presión -14.6 a 511 psi y mín. constante dieléctrica ϵ : 1,5	Carcasa: Aluminio con revestimiento epoxi, diámetro 0.75", longitud mín. 12", con aislador térmico
Transmisor radar SITRANS Probe LR					
Frecuencia de operación: 5,8 Ghz y rango de medida 0,3 a 20 m	4 a 20 mA, con comunicación HART	Tensión nominal 24 VCC, máx 550 Ω , 30 VCC máx. Corriente 4 a 20 mA	$\pm 0,02$ mA	Caja: temperatura entre -4 a 80°C; temperatura en el tanque -40 a 80°C , presión 43.5 psi, $\epsilon > 1,6$	Carcasa: PBT, peso 1,97 Kg; antena varilla de polipropileno, herméticamente cerrada.

Transmisor radar SITRANS LR 200					
Frecuencia de operación: 5,8 Ghz y rango de medida 0,3 a 20 m	4 a 20 mA; comunicación HART	Nominal 24 VCC (máx. 30 VCC) con máxima 550Ω	± 0,1% DEL RANGO ó 10 mm, zona muerta 0,3 m	Temperatura máxima del proceso 200°C y ambiente 80°C. Constante dieléctrica $\epsilon_r > 1,6$	Carcasa: Aluminio revestido de polvo de poliéster, Peso < 2kg. Antena varilla de polipropileno, herméticamente sellada

Fuente: Autores.

Tabla C2. Elementos en la medición de flujo.

ENTRADA	SALIDA	COMUNICACIÓN	ALIMENTACIÓN	PRESICIÓN	CONDICIONES DE APLICACIÓN	INDICADOR
SENSOR ULTRASONIDO SONO 3300 DN50 Y TRANSMISOR SITRANS FUS060						
Diámetro nominal 2" a 160"; longitud máx. de cable 120m, máx. caudal 10 m³/h	Señal analógica: 4 a 20 mA; señal de alarma: 3,6mA y 22mA; carga máx.: 600 Ω. Posee dos salidas digitales	HART	120... 230 VCA ±15% ó 19 a 30 VCC/ 21 A 26 V CA; Potencia absorbida aprox. 8VA/6 W	± 0,6% del valor de medida, ± 20μA	Temperatura para transmisor -20 a 50°C, grado de protección de la caja IP65, condiciones del fluido -200 a 200°C	SI

TRANSMISOR SITRANS FC MASSFLO MASS 6000 Ex d						
DN 3 A DN 40, Compatible con Sensores MASS 2100	Salida de corriente: 0 a 20mA ó 4 a 20 mA; carga < 350Ω. Salida digital: frecuencia 0 a 10 kHz, 50% del ciclo de trabajo. Salida relé: tipo relé de inversión, carga de 30 V/ 100mA.	HART	Tensión de alimentación 24 V CA (20 a 30 V CA), potencia 6VA. En corriente continua 24 V CC (18 a 30 V CC), Potencia absorbida 6 VA	-	Temperatura de servicio -40 a 50°C	SI
SENSOR TIPO CORIOLIS MASSFLO MASS 2100 DI 15						
Flujo másico: 0 a 5600 Kg/h (0 a 93 L/min). Caída máx. de presión 2 bar	-	-	-	-	Temperatura del fluido -50 a 180°C, densidad 2,9 g/cm ³ y presión 130 psi	-
TRANSMISOR SITRANS FM MAGFLO MAG 6000 I						
-	Salida de corriente: 0 a 20mA ó 4 a 20 mA; carga < 800Ω. Salida digital: frecuencia 0 a 10 kHz, 50% del ciclo de trabajo. Salida relé: tipo relé de inversión como salida de corriente, carga de 42 V CA/ 2A, 24 V CC/1A.	HART	18 a 90 V CC; potencia absorbida 24 V CC: 12 W	0,25% del caudal	Temperatura de servicio -20 a 60 °C; grado de protección IP67/NEMA 4X	SI

SENSOR ELECTROMÁGNÉTICO FM MAGFLO MAG 1100 Food cerámico						
-	-	-	-	-	Temp. -20 a 150 °C, presión 580 psi	-

Fuente: Autores.

Tabla C3. Instrumentos para la medición de temperatura.

ENTRADA	SALIDA	PRECISION	COMUNICACIÓN	CONSTRUCCIÓN MECÁNICA	ALIMENTACIÓN	INDICADOR	CONDICIONES AMBIENTALES
INDICADOR DE CAMPO SITRANS TF TH 200							
Pt100	Conexión a 2 hilos 4 a 20 mA	Rango: -200 a 649 °C. Alcance de medida mínimo 10°C. Precisión digital 0,1°C	-	Peso: Aprox. 1,5 Kg. Material de la caja fundición de aluminio	13,1 a 30 V DC	SI	Temperatura ambiente -40 a 85°C. Grado de protección según IP68
INDICADOR DE CAMPO SITRANS TF TH 300							
Termopar tipo J	Conexión a 2 hilos 4 a 20 mA	Rango: -200 a 1200 °C. Alcance de medida mínimo 50°C. Precisión digital 1°C	HART	Peso: Aprox. 1,5 Kg. Material de la caja fundición de aluminio	13,1 a 30 V DC	SI	Temperatura ambiente -40 a 85°C. Grado de protección según IP68

Termorresistencia Pt 100							
Rango: -50 °C a 600 °C	Conexión a 2 hilos	-	-	Peso: 0,9 kg y longitud de inmersión 6.3"	-	-	-
Termopar tipo J							
Rango: -210 °C a 800 °C	Conexión a 2 hilos	-	-	-	-	-	-

Fuente: Autores.

Tabla C4. Transmisor de presión

TRANSMISOR DE PRESION SITRANSP SERIE DS III PA						
Entrada	COMUNICACIÓN	PRECISION	CONDICIONES DE APLICACIÓN	CONSTRUCCIÓN MECÁNICA	ALIMENTACIÓN	INDICADOR
3,6 psi a 18,9 psi	PROFIBUS PA	Error de medida y ajusto de punto límite (incluido histéresis y repetibilidad) característica lineal: ≤ 0,1%	Temperatura del fluido a medir (-40 a 100°C), temperatura para el indicador -30 a 85°C	Peso 1,5 Kg. Material de la caja acero inoxidable. Material de las partes en contacto con el fluido Hastelloy. Relleno de la célula de medida: Aceite de silicona	9 a 24 V, corriente básica máxima: 12,5 mA	SI

Fuente: Autores.

Tabla C5. Sensores para el sub-sistema de envase

SENSOR DE PROXIMIDAD SONAR BERO SIEMENS 3RG6				
Rango	Corriente	Salida	Frecuencia Ultrasónica	Información
6 cm a 30 cm.	300 mA	Lógica 1 NA PNP	400 KHz	Empleado para sensar el nivel del recipiente
SENSOR DE PROXIMIDAD FOTOELECTRICO OPTO-BERO SIEMENS 3RG7				
Rango	Función	salida	Tipo de luz	Información
1200 cm (ajustable con potenciómetro)	Barrera fotoeléctrica directa	Lógica: Activación con claro y oscuro (antivalente). PNP	880 IR	Empleado para sensar la presencia del recipiente

Fuente: Autores.

Tabla C6. Motores eléctricos y bombas.

HP	VELOCIDAD NOMINAL RPM	CORRIENTE NOMINAL A		CORRIENTE DE ARRANQUE EN % DE CORRIENTE NOMINAL	PAR NOMINAL Nm	FACTOR DE SERVICIO	UBICACIÓN
		220 V	440 V				
1/3	1800	1,6	0,8	382	1,373	1.35	Agitadores
1/3	3600	1,3	0,65	Flujo máx. 90 L/min a 10 m			Bombas
0.50	3600	1.9	0.9	480	1.04	1.25	Banda

Fuente: Autores.

Tabla C 7. Válvulas solenoides.

TIPO DE BOBINA	ALIMENTACIÓN BOBINA	ACCIONAMIENTO	FUNCIÓN	TEMP.	DN	PRESIÓN	Kv	MATERIAL DE LA JUNTA	Peso **	Material del cuerpo
VÁLVULA SELENOIDE DE DOS VIAS (EV210B marca DANFOSS)										
BB	18 W, a 24 V CC	Directo	NC	Fluido: - 30 a 120°C. Ambiente máx. 80°C	0,5"	De trabajo Máx. 25 bares. Presión diferencial 0 a 1,6 bar	1500 m³/h	EPDM*	0.288 Kg	Acero inoxidable
VÁLVULA SELENOIDE DE DOS VIAS (EV220B marca DANFOSS)										
BB	18 W, a 24 V CC	Servo accionada	NC	Fluido: - 30 a 140°C. Ambiente máx. 80°C	2 "	De trabajo Máx. 16 bares. Presión diferencial 0.3 a 16 bares.	40000 m³/h	EPDM*	4.146 Kg	Acero inoxidable

* Polímero resistente al calor y al agua. EPDM son las siglas de etileno propileno dieno monómero

** peso de la válvula sin bobina

Fuente: Autores.

Tabla C8. Válvula Proporcional

VÁLVULA REGULADORA DE CAUDAL SAMSON									
TIPO	OBTURADOR	CONEXIÓN	DN	Material	PN	ACCIONAMIENTO	FUNCIÓN	CARACTERISTICA	TEMPERATURA
3241-1	Estándar con junta blanda	Bridas	15	Acero Inoxidable	10	Neumático	NC	LINEAL	Rango: -196 a 220 °C

Fuente: Autores.

Tabla C9. Características de las Resistencias de inmersión

Tipo	Potencia	Longitud	Material	Forma	Tapón
Resistencia de inmersión	2000 W	350 mm	Acero inoxidable	2 horquillas	1 1/4 ", conexión general

Fuente: Catálogo de productos Resistencias Electro Salgado S.A., enero 2008

APARATOS DE MANIOBRA

En esta clasificación están todos los elementos de controlan el arranque de los motores presentes en la sala (Tabla C10), y el posicionador de la válvula proporcional (tabla c11

Tabla C10. Elementos para el arranque de los motores eléctricos presentes en la sala TIA.

TIPOS DE ARRANQUE	CLASE	TENSION	CORRIENTE	POTENCIA	INFORMACIÓN
ARRANQUE DIRECTO	SIRIUS 3RE11	220 V	3,8	0.75 kW	Rango de ajuste (2,8 - 14 A). Arrancador para arranque directo, compuesto de guardamotor (3RV10 11-1EA10) y contactor (3RT10 15-1AN11). Coordinación tipo 1.
ARRANCADOR SUAVE	SIRIUS 3RW3003	200-400 V	3.0 A	0.1 -1.1 KW	Arranque y parada suave con rampa de tensión.
VARIADOR DE VELOCIDAD	MICROMASTER 420	200-240 V	6.2 A	0.25 kW	Ejecución modular, 4 entradas digitales, una entrada analógica, una salida analógica y una salida a relé. Temperatura de servicio -10 °C a 50 °C. Tiempo de aceleración/deceleración parametrizables de 0s a 650 s. Adquirir con módulo de comunicación PROFIBUS
	MICROMASTER 420	200-240 V	3.1 A	0.55 kW	

Fuente: Autores.

Tabla C 11. Posicionador SIPART PS2

Posicionador electroneumático SIPART PS2							
Versión	Actuador	Material	Temperatura ambiente	Tensión de carga necesaria	Rango de carrera	Ángulo de giro	Peso
4 a 20 mA a dos hilos	Efecto doble	caja plástica	rango: -30 °C a 80 °C	Típica: 6,36 V equivale a 318 Ω	3 a 130 mm	30 a 100°C	aprox. 0,9 kg

Fuente: Autores.

CONTROLADOR

El controlador empleado es un PLC modular SIMATIC S7-300, este ofrece un alto rendimiento para automatizar instalaciones y maquinas de la industria manufacturera, automotriz, industria alimenticia. Ofrece diferentes funciones integradas y una gran gama de módulos. La CPU seleccionada es CPU 315-2 PN/DP, esta CPU tiene las siguientes características:

La CPU con memoria de programa y capacidades funcionales medias.

Elevado rendimiento de procesamiento en aritmética binaria y de coma flotante

Interfaz PROFINET integrada

Aplicable como control central en líneas de fabricación con periferia central y descentralizada

Datos técnicos.

- Versión: Paquete de programa perteneciente a STEP 7 V5.3 SP1
- Tensión de alimentación: Nominal 24 VDC, margen 20,4 V a 28,8 V

- Protección con fusible mínimo 2A
- Memoria de trabajo integrada 128 Kbyte(s).
- Tiempos de ejecución: para operaciones de bits 0,1 μ s, para operaciones de palabras 0,2 μ s; para aritmética en coma fija 2 μ s y para aritmética en coma flotante 3 μ s.
- 256 contadores-S7 y 256 Temporizadores.
- Canales digitales entradas: 16384 de ellas 1024 centralizadas. Salidas: de ellas 1024 centralizadas.
- Canales analógicos: Entradas: 1024, de ellas 256 centralizadas. Salidas: 1024, de ellas 256 centralizadas.
- Interfaz combinada MPI/PROFIBUS DP maestro/esclavo.

Módulos de entradas y salidas digitales y analógicas:

- Módulo de salidas analógicas EM332 de 4 salidas, resolución 11/12 bits, ± 10 Vdc, +500mVdc, 4 a 20 mA.
- Módulo de salidas digitales EM322, 32 canales, 24 Vdc, 0.5A con separación galvánica.
- Módulo de entradas digitales EM321 con separación galvánica, 32 canales a 24 VDC.
- Módulo de 8 entradas analógicas EM331, resolución de 9/12/14 bits, ± 10 Vdc, +500mVdc, 4 a 20 mA, Pt100, Ni100.
- Módulo de 2 entradas análogas EM331, resolución de 9/12/14 bits, ± 10 Vdc, +500mVdc, 4 a 20 mA, Pt100, Ni100 0-150-300-600, TC E, J, K, N.

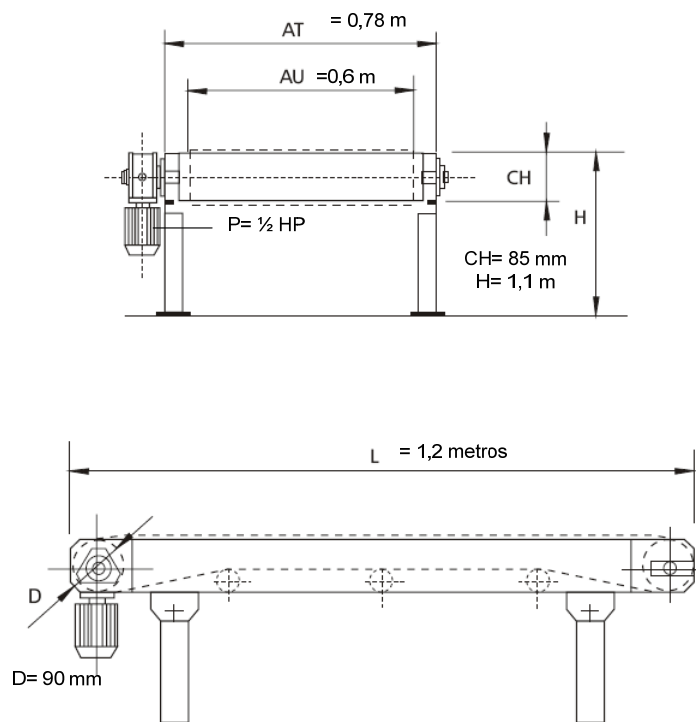
La fuente de alimentación del controlador es PS307 a 5A, entrada 120/230 V AC, salida DC 24 V.

ANEXO D

ANEXO D1. PLANOS

En el presente anexo se encuentran los planos de distribución de la sala correspondiente a los 4 tanques, sin los sub-sistemas de enfriamiento y envase. En la figura D1 se observan las medidas de la banda transportadora, para el sub-sistema de envase.

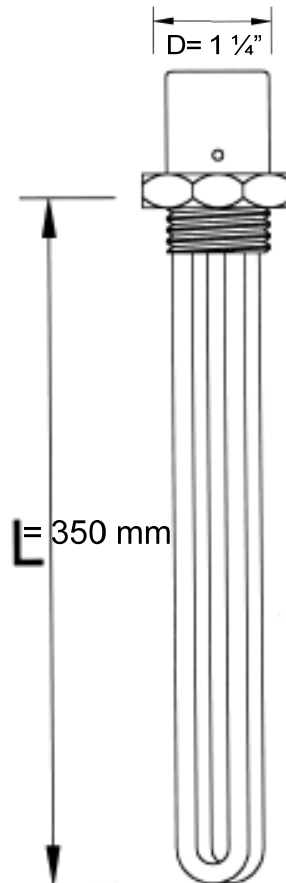
Figura D1. Plano de la banda transportadora.



Fuente: Catálogo CADEX Standard Conveyors, Transportadores de banda serie TB.

En la figura D2 se muestra la forma de las resistencias eléctricas de inmersión de los tanques 2 y 3, con dos horquillas.

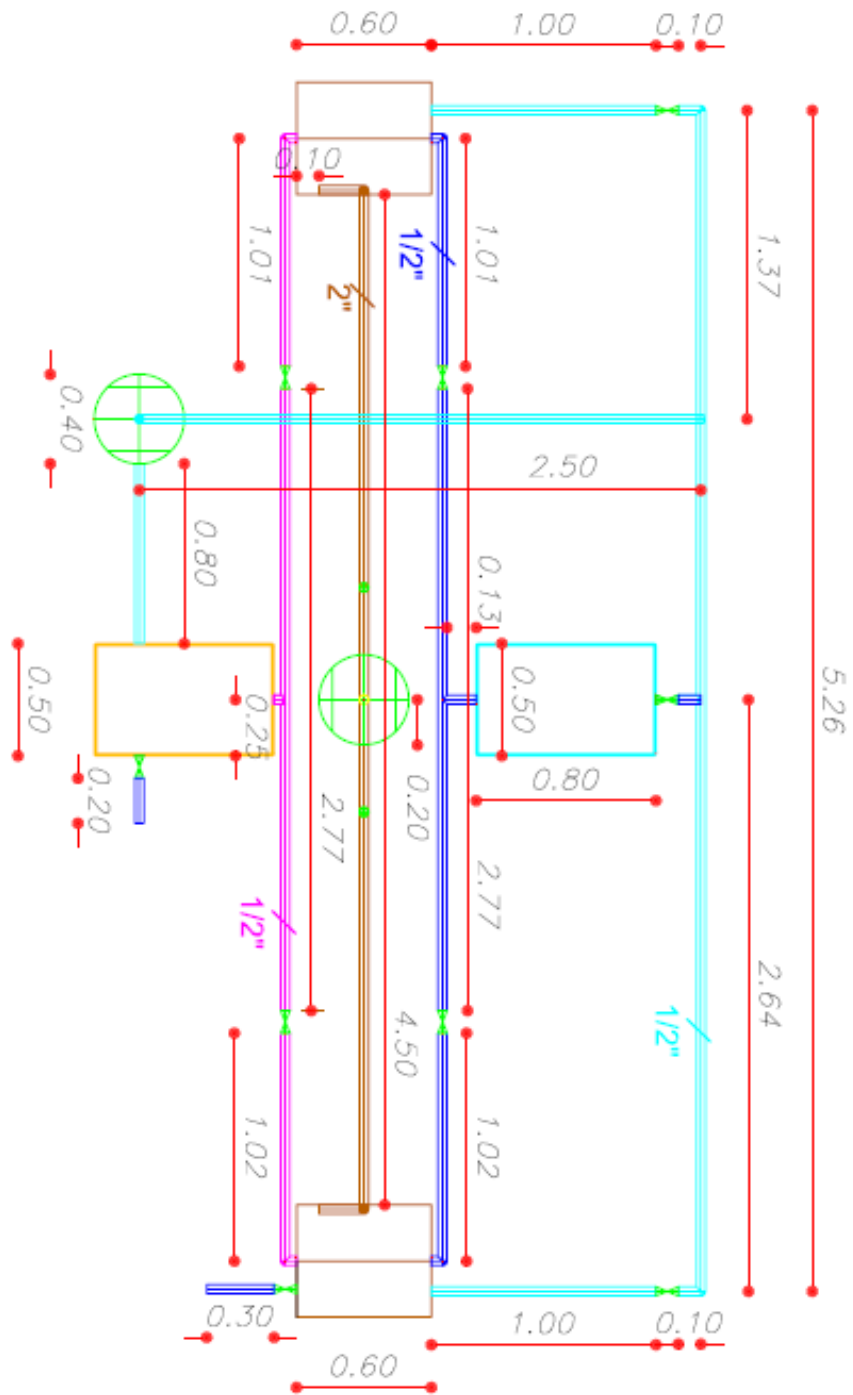
Figura D2. Forma de las resistencias de inmersión



Fuente: Catálogo resistencias de inmersión Resistencias Electro Salgado S.A.

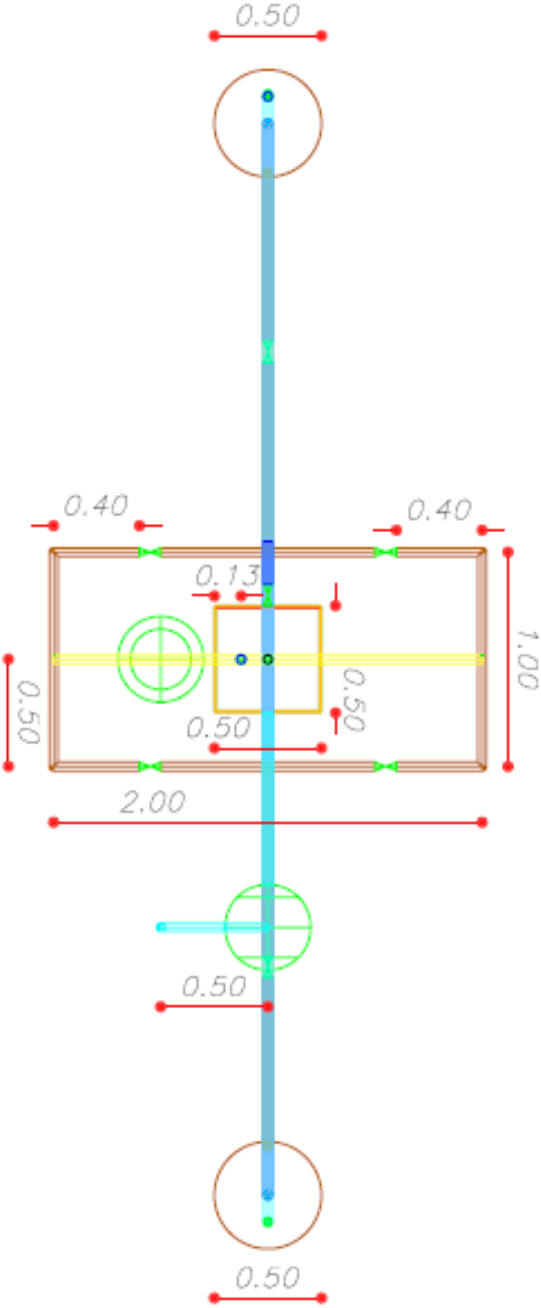
En las figuras D3, D4 y D5 se puede ver las vistas del sistema de 4 tanques de la sala TIA, con sus dimensiones.

Figura D3. Vista Frontal



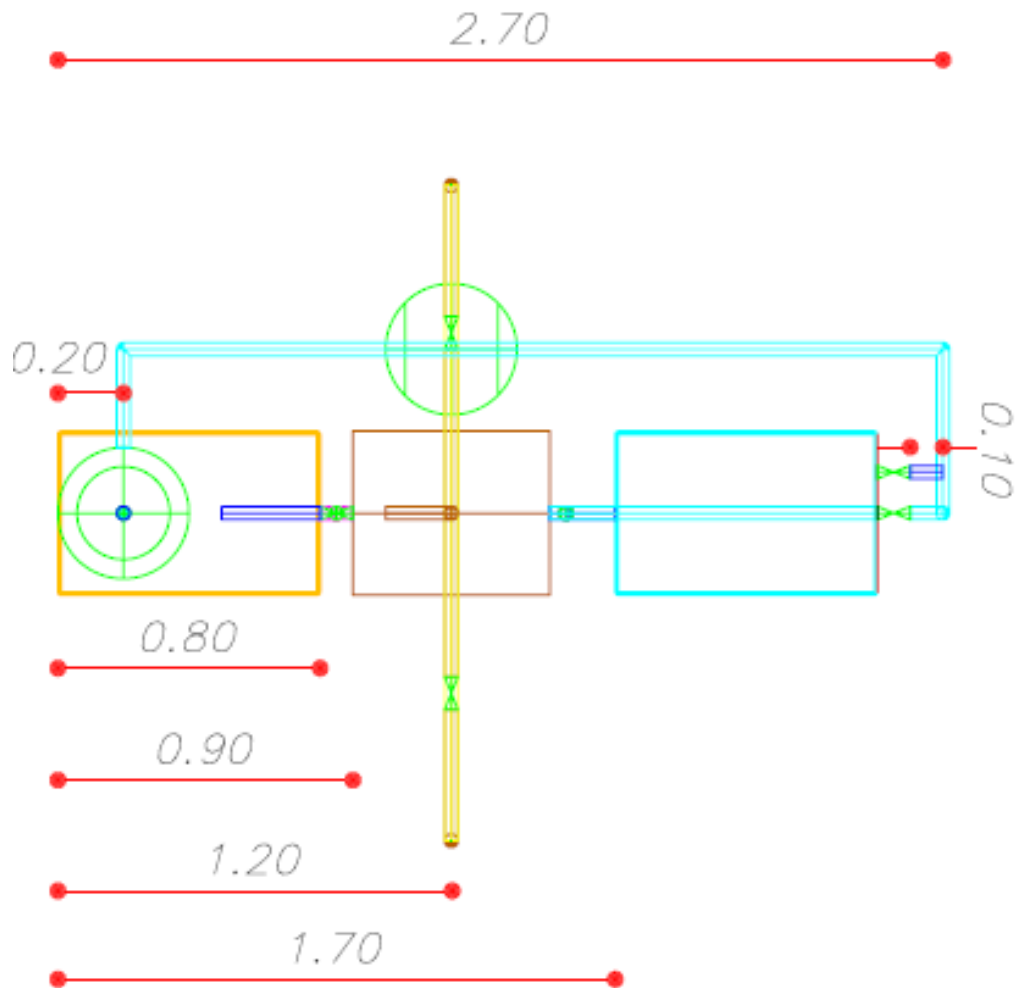
Fuente: Autores.

Figura D4. Vista superior



Fuente: Autores.

Figura D5. Vista lateral derecha



Fuente: Autores.

ANEXO E

En este anexo se encuentra el programa desarrollado para el Microcontrolador
(ver código fuente programa micontrolador)