

ESCUELA POLITECNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA UNIDAD AUTOMATIZADA DE RECEPCIÓN DE LECHE DE 15,000 L/H

**TESIS PREVIA A LA OBTENCION DEL GRADO DE MAGISTER EN DISEÑO,
PRODUCCIÓN Y AUTOMATIZACION INDUSTRIAL**

ING. ALEJANDRO JAVIER DELGADO ARAUJO
alejavierdelgado@yahoo.com

DIRECTOR: ALVARO GONZALO XAVIER AGUINAGA BARRAGAN PhD
alvaro.aguinaga@epn.edu.ec

Quito, Diciembre 2012

DECLARACION

Yo, Alejandro Javier Delgado Araujo, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su reglamento y por la normatividad institucional vigente.

.....

Alejandro Javier Delgado Araujo

CERTIFICACION

Certifico que el presente trabajo fue realizado por Alejandro Delgado Araujo bajo mi supervisión.

**ALVARO GONZALO AGUINAGA BARRAGAN
DIRECTOR DE TESIS**

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme fortaleza, perseverancia y constancia.

A mi familia por su apoyo y aliento que me ha dado en todo el transcurso de mis estudios.

Al DR. ALVARO AGUINAGA quien con sus conocimientos y consejos me guio para culminar este trabajo tan importante para mi vida profesional.

A mis compañeros de curso quienes me tuvieron paciencia y estuvieron prestos en ayudarme en todos mis requerimientos y dudas.

A la Escuela Politécnica Nacional y en especial a la Facultad de Ingeniería Mecánica porque me ha dado la oportunidad de aprender nuevos conocimientos que me dan la posibilidad de ser un profesional más completo y de esta manera poder cristalizar algunos proyectos profesionales y de negocios que tengo en mente.

A todo el profesorado y personal administrativo por su ayuda.

DEDICATORIA

Con todo mi cariño y respeto a mi madre, Zoila Araujo quien siempre me ha apoyado

INDICE DE FIGURAS

Figura 1 Plano de modelaje de una unidad comercial APV (fuente: www.apv.com)	18
Figura 2 Típico diagrama de bloques	20
Figura 3 Típico diagrama de flujo PFD de la producción de glucosa a partir de plátano verde, fuente: trabajo de bio-procesos Ingeniería Química/EPN	21
Figura 4 Parte de un plano P&I de una unidad de esterilización UHT desarrollado en AUTOCAD (fuente: www.apv.com)	22
Figura 5 Válvula de mariposa, tomado de Valve Seeker (fuente: www.apv.com)	23
Figura 6 Válvula de asiento sencillo de 3 puertos, tomado de Valve Seeker (www.apv.com)	24
Figura 7 Unidad de limpieza de un solo tanque para uso en farmacéutica sin recuperación de químicos (Fuente: www.niroinc.com)	29
Figura 8 Unidad de limpieza de 4 tanques (con recuperación de químicos y agua) y dos circuitos de limpieza (Fuente: ENGDOR)	29
Figura 9 Patrón de lavado de tanque vertical	30
Figura 10 típica bola de aspersion o lavado (sprayball)	30
Figura 11 Panel de flujo instalado en la planta de leche de REYLECHE en Sangolqui.....	31
Figura 12 Plano de fabricación de una conexión para un transmisor de flujo (Fuente: www.endress.com)	33
Figura 13 Unión SMS a diferentes diámetros.....	34
Figura 14 Simbología de especificación de soldadura	36
Figura 15 Comparación entre los dos modelos de la filosofía S88 de automatización secuencial.....	38
Figura 16 Aquí una interpretación del vendedor del estado de proceso y la matriz de comandos Fuente: Chemical Engineering/Batch Automation	43
Figura 17 Para este tanque balance de preparación, la frontera de la unidad se muestra en azul. Los módulos de control están en círculos verdes, Fuente: Chemical Engineering/Batch Automation	45
Figura 18 Los módulos del equipo para el tanque balance de preparación se define aquí.....	46
Figura 19 Contorno para un tanque de amortiguamiento Fuente: Chemical Engineering/Batch Automation	52
Figura 20 Alcance del Sistema de Automatización TIA Portal, Fuente: www.industry.siemens.com ..	58
Figura 21 Diseño de automatización, Fuente: Process Automation/ www.apv.com	61
Figura 22 Coordinación de diseño de automatización, Fuente: Process Automation/ www.apv.com ..	62

Figura 23 Diseño de hardware de automatización (tomado del curso de automatización APV).....	63
Figura 24 Diseño de software de automatización , Fuente: Process Automation/www.apv.com.....	64
Figura 25 Puesta en marcha o comisionamiento , Fuente: Process Automation/www.apv.com.....	65
Figura 26 Parte del plano P&I mostrando la unidad de enfriamiento y sus elementos (ver anexo 1) ..	73
Figura 27 Parte del plano P&I mostrando la unidad de des aireación y sus elementos (ver anexo 1)..	79
Figura 28 Parte del plano P&I mostrando la conexión del tanquero a la unidad de recepción de leche (ver anexo 1).....	80
Figura 29 Resultados del programa de cálculo de caída de presión de la empresa APV (PLOS 8.2)	82
Figura 30 Bosquejo de ubicación de la costura longitudinal.....	98
Figura 31 Bosquejo básico de una cabeza torisferica y sus partes.....	101
Figura 32 modelaje de la unidad de recepción de leche en Autocad	106
Figura 33 Pantalla de inicio del portal TIA.....	120
Figura 34 Creación del proyecto.....	120
Figura 35 Definiendo controladores y pantallas.....	121
Figura 36 Especificación del PLC a programar.....	122
Figura 37 Pantalla principal de proyecto mostrando el PLC	123
Figura 38 Especificación de la interfaz Hombre-Máquina HMI	124
Figura 39 Especificación dentro la pantalla HMI	124
Figura 40 Especificación de la comunicación entre la pantalla y el PLC	125
Figura 41 Especificación de los elementos de la pantalla	126
Figura 42 Especificación de la alarmas.....	127
Figura 43 Especificación de la arquitectura de navegación de las pantallas.....	128
Figura 44 Definición de la pantalla raíz.....	129
Figura 45 Arquitectura del manejo de pantallas de datos y ejecución.....	130
Figura 46 Especificación de botones.....	131
Figura 47 Despliegue de una de las pantallas (pantalla raíz)	132
Figura 48 Catalogo de dispositivos	133
Figura 49 muestra de la tabla de etiquetas (definición de variables).....	134
Figura 50 extracto de la ventana de asignación de variables.....	135
Figura 51 Árbol de proyecto mostrando los módulos	136
Figura 52 Caja de dialogo mostrando los tipos de bloques en la programación del controlador.....	138

Figura 53 pantalla de programación del modulo principal	139
Figura 54 pantalla de programación del modulo de empuje de leche con agua	140
Figura 55 pantalla de programación del modulo de llenado del tanque.....	141
Figura 56 pantalla principal mostrando los diferentes módulos de proceso.....	142
Figura 57 llamado de subrutina a través del HMI.....	143
Figura 58B Modulo principal, llamado del llenado	144
Figura 59 pantalla secundaria, modulo de empuje (pushing).....	144
Figura 60 Ejemplo de fallo de válvulas.....	145
Figura 61 Mensaje de verificación de buen funcionamiento de elementos controlados.....	145
Figura 62 Mensaje indicando el estado del proceso	146
Figura 63 Aviso de finalización del proceso	146
Figura 64 parte de la programación usando temporizadores.....	147
Figura 65 Ventana de estado final de llenado.....	148
Figura 66 Verificación del estado del controlador.....	149
Figura 67 Programa cargado en el PLC	150
Figura 68 Verificación de las entradas y flujo de corriente.....	151
Figura 69 Verificación de dirección y accionamiento de entradas.....	152
Figura 70 El controlador está en estado de corrida.....	152
Figura 80 Dimensiones Generales de una unidad comercial	181

INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Condiciones de proceso del enfriador de leche	68
Tabla 2 Códigos de elementos para plano P&I.....	70
Tabla 3 Nivel de Automatización	70
Tabla 4 Lista de elementos generada desde el plano P&I en Autocad (ver Anexo 1)	72
Tabla 5 Datos para Cálculo de calor cedido.....	75
Tabla 6 Datos para el Cálculo de la temperatura del agua fría a la salida	75
Tabla 7 Hoja de resultados del cálculo del intercambiador de calor tubular y de placas/empaques (ENGDOR).....	76
Tabla 8 Condiciones ambientales en Quito.....	79
Tabla 9 propiedades de transporte de la leche	80
Tabla 10 Ventana de cálculo y resultados (NPSHa) hecho en Excel	83
Tabla 11 Ventana de cálculo y resultados concentración de aire en la leche hecho en Excel.....	87
Tabla 12 Cálculo aproximado del volumen del tanque de des aireación (tapas cónicas) en Excel	90
Tabla 13 Verificación del volumen del tanque con tapas torisfericas en Excel.....	91
Tabla 14 Calculo de la presión máxima de diseño MAWP en Excel.....	96
Tabla 15 Condiciones de transporte de químicos de limpieza	97
Tabla 16 Factores de diseño recomendados.....	99
Tabla 17 lista de partes del tanque de des aireación extraído del plano de especificación	103
Tabla 18 Lista de materiales del panel de flujo	104
Tabla 19 Lista de materiales de interconexión (MRU).....	105
Tabla 20 Lista de elementos generado del plano P&I en Autocad	116
Tabla 21 Especificación del PLC Siemens y periféricos	117
Tabla 23 Lista de costos de válvulas	167
Tabla 24 Calculo de costos de soldadura Interconexión /tubería sanitaria y estructura	168
Tabla 25 Calculo de costos de soldadura del tanque de des aireación	170
Tabla 26 Calculo de costos de soldadura del panel de flujo	170
Tabla 27 Costos Totales de la Unidad de recepción de leche y utilidades.....	172

RESUMEN

En el presente trabajo se ha cumplido con las metas planteadas inicialmente, es decir, hacer el diseño integral de una unidad de recepción de leche y verificar si esta es comercialmente competitiva comparando con otros equipos que se encuentran en el mercado. De los manuales e información técnica de un equipo comercial se puede extraer información para hacer la comparación. Esto se basa en la ingeniería inversa del equipo.

En caso que se quiera sacar al mercado esta unidad; se tendría ventajas respecto a la competencia; principalmente de procedencia extranjera por su precio ya que se calculo el presupuesto para la construcción de esta unidad (ver capítulo 6).

Para llegar a este objetivo se conto con todas las herramientas de diseño en ingeniería que actualmente se tiene como son los programa de diseño asistido por computadora, programas gratuitos bajados del internet. Por otro lado se puso mucho énfasis en el uso de filosofías de diseño que actualmente se están utilizando en las grandes empresas de ingeniería de procesos (GEA, TETRAPAK, APV SPX) como son “Good Engineering Practice/EHEDG/ASME-BPE-2009/ASME VIII Div 1&2 S88 Batch Automation. Esto se debe que en esencia es un equipo de procesos; la unidad de recepción de leche es una obra de ingeniería que conjuga las tres especialidades de las ramas de la ingeniería como son diseño de procesos, diseño mecánico de equipos de proceso y automatización de procesos industriales.

La estructura de la tesis es la siguiente:

En el Capítulo 1, se hace una introducción al diseño de procesos, sin embargo, se incluye también normas de diseño mecánico pertinente para este tipo de equipos (ASME BPE-2007), es decir, para alimentos. Por otro lado también se incluye información bastante detallada referida a la filosofía de automatización que normalmente se aplica en la industria de procesos como es el estándar S88. Para el desarrollo de la automatización se escogió el portal TIA de Siemens, el cual es un sistema integrado de automatización de ingeniería. En este programa se integra todo lo concerniente al desarrollo de la automatización como la

especificación de hardware, la programación del PLC, comunicación, pantallas, etc.

En el Capítulo 2, se presenta el diseño de la unidad de recepción de leche que corresponde al diseño de proceso. En este capítulo se muestra toda la información fundamental para el desarrollo de las demás etapas de diseño. La información generada son los planos de proceso P&ID (Piping & Instruments Diagrammes) y la lista de elementos necesarios para este fin. Con estos dos documentos se puede tener una estimación inicial de costo de la unidad.

En el Capítulo 3, se encuentra el diseño mecánico de los diferentes elementos no estándar de la unidad. Dicho en otras palabras, elementos que no pueden encontrarse en el mercado. El tanque de des-aireación es uno de estos elementos. Otros planos mecánicos incluidos son de fabricación, de arreglo de tuberías, de estructura soporte y de soldadura.

En el Capítulo 4, se desarrolla toda la automatización basada en los documentos del proceso.

En el Capítulo 5, se presenta un ejemplo de la simulación. Como parte del portal TIA se tiene el simulador de PLCs S7-PLCSIM1.

En el Capítulo 6, se encuentra el cálculo detallado de costos de la unidad de proceso. Solamente con estos datos se puede conocer si el equipo es o no comercialmente.

PRESENTACION

En la actualidad, la industria nacional ha crecido y madurado respecto al mejoramiento de la calidad de sus productos y requerimientos para su normal funcionamiento. Esta exigencia se ha transmitido a sus proveedores. De esta manera las empresas que prestan servicios también han mejorado sus procedimientos y tecnologías. Sin embargo, parece ser que todavía falta un mayor conocimiento de las herramientas informáticas de diseño en ingeniería, como también de los procedimientos para el desarrollo de un bien de capital.

Este hueco en experticia y conocimiento es una ventaja para las nuevas empresas de ingeniería. Es así que se presenta un campo amplio de oportunidades de negocio en el sector de la industria de procesos. Esta tesis trata de ser un precedente para futuros trabajos en este campo.

El uso de normas es fundamental para asegurar la calidad de los nuevos productos. Sin embargo, también es muy importante tener completamente definidos los procedimientos de elaboración, es decir la metodología y/o filosofía utilizada. Esta tesis muestra una forma de diseñar un equipo de proceso en todas sus etapas.

1. CAPITULO GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

“La conquista española, trajo consigo el consumo de la leche y sus derivados en el Ecuador, en sus comienzos el consumo principal de productos lácteos se daba a nivel urbano, con productos como queso fresco o maduro, debido a la dificultad de mantener la leche cruda en buenas condiciones durante su transporte, distribución y venta.

El procesamiento industrial de la leche permite que este valioso alimento y sus derivados se vuelvan seguros para el consumo humano. Logra además preservar su valor nutricional durante un período prolongado de tiempo, haciendo posible que un mayor número de personas lo puedan consumir. Pero también brinda el acceso a una importante fuente de calcio para la población de todos los grupos de edad y nivel económico.

El consumo de leche líquida en las ciudades empieza a desarrollarse con el inicio del año 1900 y su pasteurización comienza en la ciudad de Quito a partir del año 1938. El nacimiento de la industria láctea ecuatoriana como actor directo de la cadena productiva de la leche, constituye un importante eslabón y el motor que ha desarrollado una actividad, que dinamiza el comercio. La industria láctea ecuatoriana es en la actualidad una fuente generadora de empleos directos e indirectos, para un importante grupo de familias en el país”¹

¹ http://cilecuador.org/index.php?option=com_content&view=article&id=10&Itemid=3 (pagina web expirada)

La industria de alimentos en el Ecuador es un sector fuerte que contrata personal altamente capacitado. Por otro lado los equipos y maquinas que utiliza son de alto nivel tecnológico. La industria lechera se desarrolla en las regiones del Ecuador; Costa, Sierra y Oriente. Este sector ha tenido un notable desarrollo tecnológico en lo que se refiere a equipos/aparatos relacionados con el procesamiento de la leche. Al ser la leche un producto altamente perecible el industrial de la leche ha sido forzado a mejorar sus procesos de producción y por lo tanto a exigir a sus proveedores equipos/servicios de mucha mayor calidad que en otros sectores de alimentos. En este ámbito han aparecido nuevas industrias nacionales proveedoras de equipos y/o servicios. Tanto las grandes empresas como medianas y pequeñas están consientes que deben mejorar sus procesos. Es por esta razón que la industria metalmecánica de fabricación de tanques en acero inoxidable ha tenido un gran desarrollo tanto en ventas como en tecnología. Es más han aparecido nuevas empresas de fabricación de tanques que sirve a la pequeña y mediana industria de procesamiento.

Hace unas cinco décadas existen empresas metalmecánicas en el Ecuador especializadas en el diseño y construcción de tanques atmosféricos y a presión. Sin embargo no se han encaminado a la construcción de equipos de proceso de alto nivel tecnológico. Es decir no han desarrollado productos terminados con alto valor agregado para suplir a la industria de proceso. Se han limitado a fabricar tanques bajo diseño y/o especificación de empresas nacionales y/o extranjeras. La industria petrolera ha sido la que mayormente ha utilizado los servicios de las empresas de calderería (tanques). Se puede ver que hace falta que las empresas metalmecánica evolucionen a empresas integrales de ingeniería que ofrezcan unidades de procesos. El lograr productos terminados a este nivel significa que se creen empresas de ingeniería de procesos donde cooperan tres departamentos de ingeniería dentro de la empresa como son diseño de procesos, diseño mecánico y automatización).

Entre las empresas que tienen una fuerte presencia en el mundo y por supuesto en el Ecuador están TetraPak², APV³ y GEA Process Engineering⁴

1.2 JUSTIFICACION

El Ecuador todavía continua siendo dependiente de la tecnología extranjera; incluso de nuestros vecinos cercanos como son Colombia⁵ y Perú⁶. Es importante el poder fabricar en el país equipos de proceso, de esta manera se abaratan costos; lo cual es un beneficio principalmente para el usuario final. Por otro lado se fomenta la producción nacional y con esto se hace el reemplazo de importaciones. Además se desarrolla la tecnología nacional y concomitantemente el desarrollo de la ingeniería en nuestro país y la creación de nuevos puestos de trabajo.

1.3 ALCANCE

Este trabajo incluye toda la ingeniería necesaria para el diseño de un equipo comercial, en este caso una unidad de recepción de leche de 15,000 l/h de capacidad.

La tesis está dividida en cuatro partes correspondiendo al diseño integral de una unidad de proceso o equipo industrial para el sector alimenticio. Aunque esta tesis no incluye construcción y ensamblaje. Se pretende que el diseño sea lo más preciso posible para que algún rato se pueda construir la unidad. Sin embargo si se va a hacer una simulación del funcionamiento y rendimientos del equipo

² http://www.tetrapak.com/products_and_services/processing_equipment/pages/default.aspx

³ <http://www.apv.com/index.asp>

⁴ <http://www.niroinc.com/index.asp>

⁵ <http://www.mipropiacerveza.net/page1.php>

⁶ <http://www.beertec.galeon.com/productos2050787.html>

utilizando programas comerciales de simulación y de esta manera se asegura la efectividad en el diseño del equipo.

El costo real de diseño y fabricación de esta unidad va a ser calculado y comparado con una unidad comercial.

1.4 PROCESAMIENTO DE LA LECHE

El objetivo del procesamiento de la leche es preservar las propiedades organolépticas de la leche en mantención, procesamiento y tiempo de vida útil en percha. El método de conservación utilizado para este fin es el tratamiento térmico llamado pasteurización.

Como el principal enemigo de la leche es la contaminación bacteriana con la pasteurización se para el crecimiento bacteriano a niveles seguros para el consumo humano.

1.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO (LECHE FRESCA)

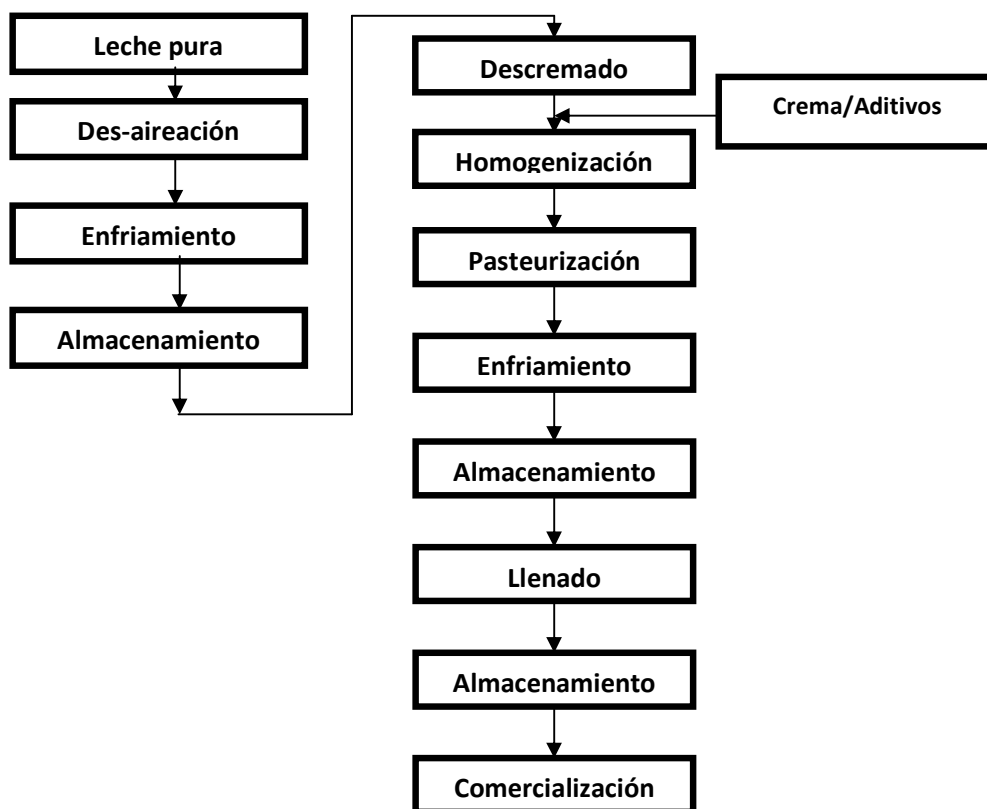


Figura 1 Diagrama de flujo procesamiento típico de la leche

1.4.2 UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE

En las siguientes líneas se va explicar las características y/o especificaciones de la unidad de recepción de leche.

1.4.2.1 Unidad de recepción de leche (APV⁷)

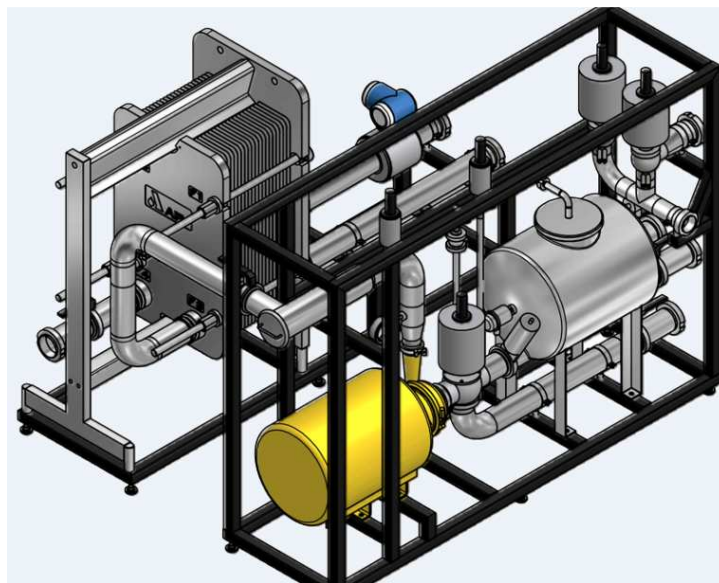


Figura 1 Plano de modelaje de una unidad comercial APV (fuente: www.apv.com)

1.4.2.2 Funciones

Eliminar aire ocluido o disuelto en la leche. Este fenómeno ocurre debido que en el momento del ordeño ingresa aire a la leche por el efecto de atomización. Adicionalmente el aire entra a la leche debido al transporte por tanqueros. El movimiento de vaivén hace que ingrese aire a la leche. El aire disuelto en la leche disminuye el tiempo de vida útil del producto final.

Enfriar la leche. Como es sabido el calor o temperaturas altas de almacenamiento causa que la leche pierda sus propiedades organolépticas,

⁷ <http://www.apv.com/us/technologies/General+Processing/Reception+line/Photo+Drawing.asp>

ayuda al crecimiento de bacterias que normalmente se encuentran en la leche aunque no son patógenas si pueden cortar la leche.

Medir el caudal y volumen ingresado a la planta. Este dato es importante para saber el ingreso diario de leche y el rendimiento en la producción.

1.4.2.3 Características

Es un equipo de proceso que tiene un alto grado de automatización

- Es continuo
- Alto grado de confiabilidad

1.5 DISEÑO DE PROCESOS

Primero es necesario explicar que es el diseño de procesos y cuál es su origen.

1.5.1 INTRODUCCION AL DISEÑO DE PROCESOS

Comprende el diseño lógico de un proceso industrial para una deseable transformación física y/o química de materiales. El diseño de procesos puede ser de una nueva instalación o a la modificación de una planta existente. El diseño comienza a nivel conceptual y por ultimo finaliza en la forma de planos de fabricación y construcción.

El diseño de procesos es distinto al diseño de equipos, el cual es más cercano en espíritu al diseño de operaciones unitarias⁸. Los procesos normalmente incluyen muchas operaciones unitarias⁹.

1.5.2 DOCUMENTACION

⁸ <http://www.processengr.com/services.html>

⁹ <http://www.scribd.com/doc/38827079/Unit-Operations-of-Chemical-Engineering-7th-Edition-Solutions-Manual>

Los documentos del diseño de procesos sirven para definir el diseño y esto asegura que los componentes del diseño calcen como un todo. Ellos son útiles en comunicar ideas y planos para otros ingenieros envueltos en el diseño, para agencias externas de regulación, para los vendedores de equipos y para los contratistas de construcción e instalación.

En orden de incremento de detalle, los documentos de diseño de procesos incluyen:

1.5.2.1 Diagramas de flujo por bloques

Por sus siglas en ingles (BFD): es un diagrama muy simple compuesto por rectángulos y líneas indicando mayor flujo de materiales y energía.

DIAGRAMA DE FLUJO DE PASTEURIZACION UHT

ALTERNATIVA 1

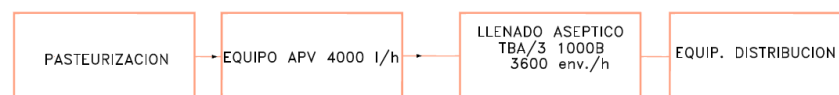


Figura 2 Típico diagrama de bloques Fuente: ENGDOR 2010

1.5.2.2 Diagramas de flujo de proceso

Por sus siglas en ingles (PFD): Típicamente más complejos diagramas de las mayores operaciones unitarias tanto como líneas de flujo. Estos usualmente incluyen un balance de materiales y a veces un balance de energía. Típicamente se muestra corrientes, composición de las corrientes, corrientes, presiones y temperaturas.

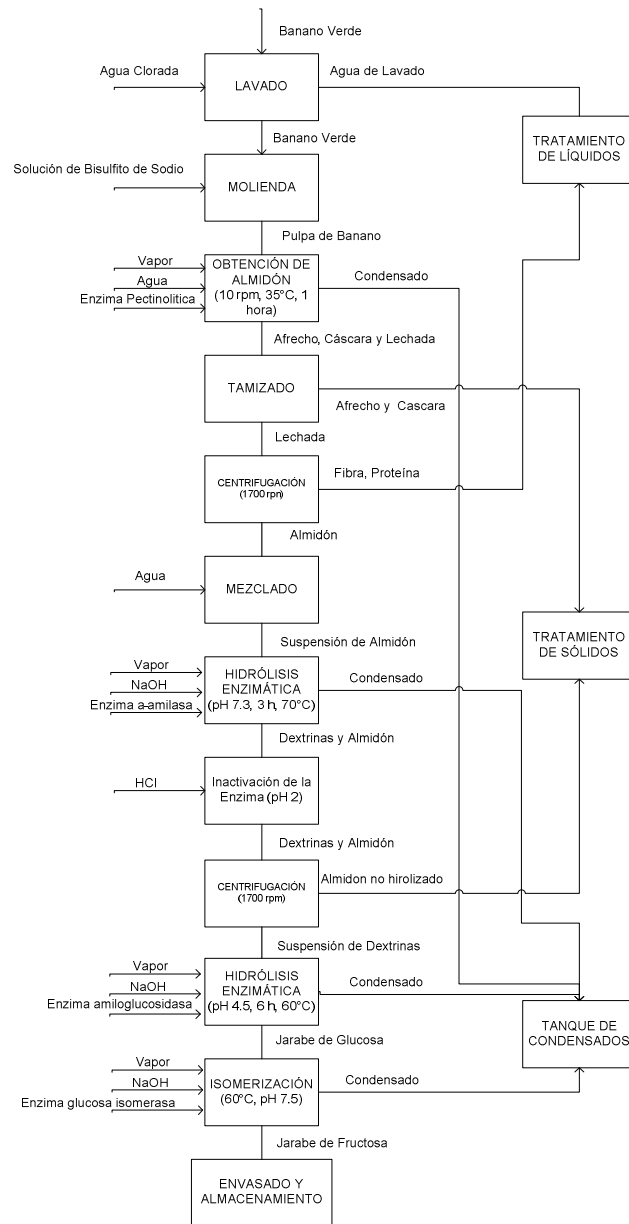


Figura 3 Típico diagrama de flujo PFD de la producción de glucosa a partir de plátano verde, fuente: trabajo de bio-procesos Ingeniería Química/EPN Mayra Pujos/Mayra Mora/2011

1.5.2.3 Diagramas de tuberías e instrumentos

Por sus siglas en ingles (P&ID's): diagramas mostrando todas y cada una de las tuberías de las corrientes, válvulas, instrumentos, lazos de control, bombas, filtros, intercambiadores de calor, etc con sus especificaciones.

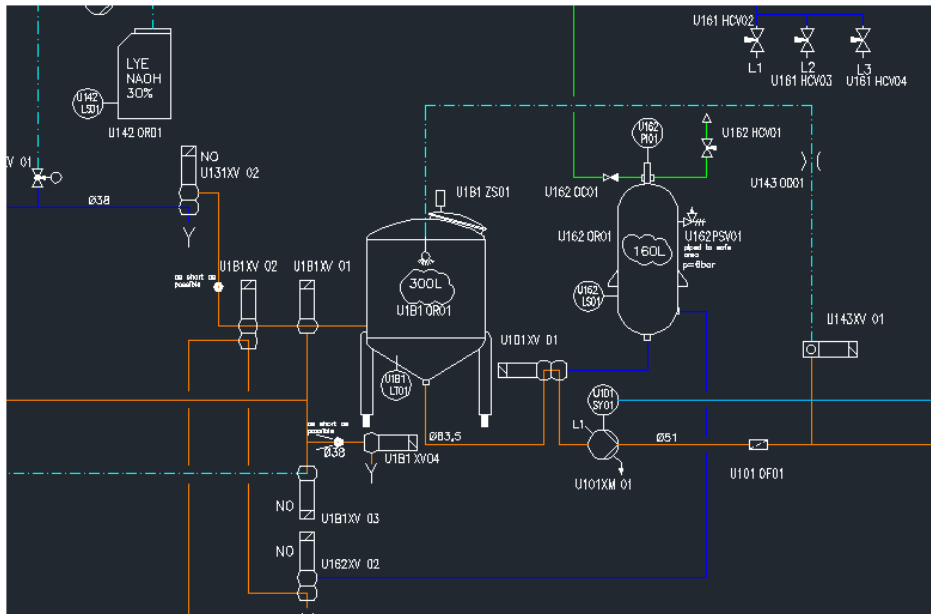


Figura 4 Parte de un plano P&I de una unidad de esterilización UHT desarrollado en AUTOCAD (fuente: www.apv.com)

1.5.2.4 Especificaciones

Requerimientos de diseño escrito de todos los mayores equipos.

Los diseñadores de procesos también típicamente escriben manuales de operación de cómo prender operar y apagar el proceso

Los documentos se mantienen después de la construcción de la planta de procesos por el personal de operación para su consulta. Los documentos también son útiles al hacer modificaciones planificadas en la instalación. Un primer método de desarrollo de documentos de proceso es una hoja de cálculo de flujo de proceso.¹⁰

1.5.2.5 Elementos de procesos

¹⁰ <http://www.scribd.com/doc/38827079/Unit-Operations-of-Chemical-Engineering-7th-Edition-Solutions-Manual>

Como se puede ver en el P&ID de la Fig. 5 uno de los elementos que siempre se encuentran en un plano son las válvulas, el tipo de válvulas que se utilizan y el nivel de automatización que se utiliza nos marcan la tecnología usada en el diseño de una planta.

- **Válvula De Mariposa**

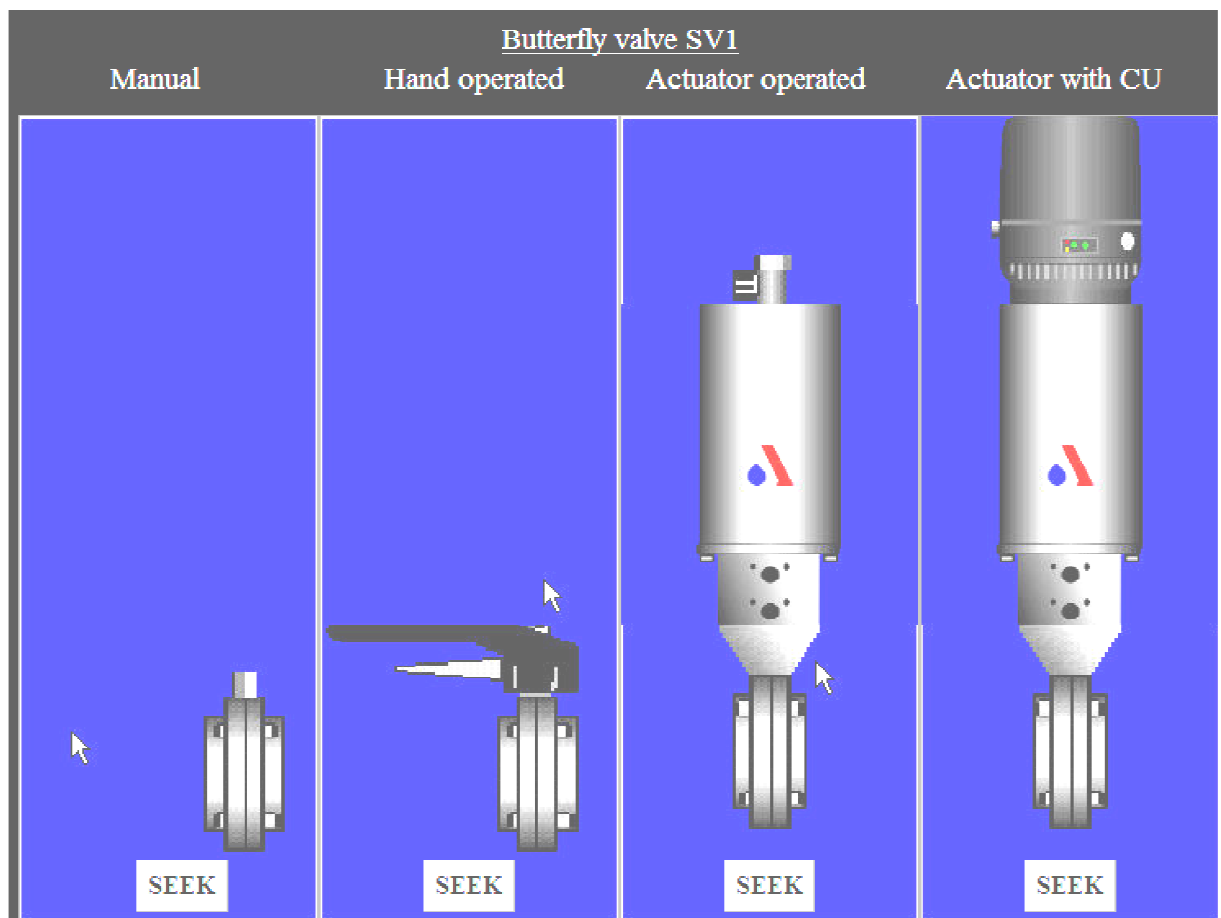


Figura 5 Válvula de mariposa, tomado de Valve Seeker (fuente: www.apv.com)

Este tipo de válvulas son las más económicas para uso alimenticio y son las más sencillas en su diseño

- **Válvula de asiento sencillo**

Después de las válvulas de mariposa la válvula que le siguen precio y uso son las de asiento sencillo.

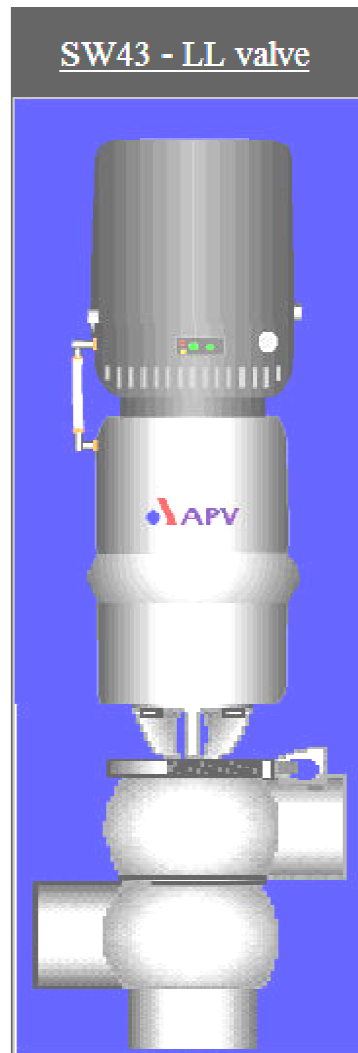


Figura 6 Válvula de asiento sencillo de 3 puertos, tomado de Valve Seeker (www.apv.com)

1.5.2.6 Consideraciones de diseño

Todo diseño tiene objetivos y restricciones e incluso uno simple requiere un intercambio a lo largo de todos estos factores.

Los objetivos que un diseño deben incluir son:

- Capacidad de producción
- Rendimiento de procesamiento
- Pureza del producto

Las restricciones incluyen:

- Costo de capital
- Espacio disponible
- Criterios de seguridad
- Impacto ambiental y efluentes proyectadas y emisiones
- Producción de desperdicios
- Costos de operación y mantenimiento

Otros factores que los diseñadores puedan incluir son:

- Fiabilidad
- Redundancia
- Flexibilidad
- Anticipada variabilidad en materia prima en aceptable variabilidad en producto.

1.5.2.7 Fuente de información de diseño

Los diseñadores usualmente no comienzan de un bosquejo, especialmente de proyectos complejos. Frecuentemente los ingenieros tienen datos disponibles de una planta piloto o de una planta existente que está operando. Otras fuentes incluyen criterios de diseño del propietario provisto por los licenciantes del proceso. Información científica, experimentos de laboratorio.

1.5.2.8 Ayuda computacional

El advenimiento de computadoras poderosas de bajo costo han ayudado a la simulación de procesos de matemática compleja y un programa de simulación de procesos es frecuentemente usado por diseñadores de procesos. La simulación puede identificar las debilidades en los diseños y permitir a los ingenieros escoger las mejores alternativas.

Sin embargo, los ingenieros todavía se respaldan en la heurística, intuición y experiencia cuando diseñan un proceso. La creatividad humana es un elemento en diseños complejos.

1.5.3 DISEÑO DEL PROCESO DE LA UNIDAD DE RECEPCIÓN DE LECHE

El diseño de proceso conforma la estructura básica del diseño de un equipo industrial en la llamada ingeniería básica y conceptual.

Se parte del requerimiento de un cliente (Especificación de requerimientos del usuario o por sus siglas en inglés **URS** (User Requirement Specifications) en lo que se refiere a la capacidad del equipo. Ej. 15,000 litros/hora y condiciones de proceso.

En función de la capacidad principalmente se procede a diseñar la unidad. El diseño del proceso incluye balance de masa y energía y planos de procesos relacionados. Las partes principales de la unidad del proceso son:

- Tanque de des-aireación
- Enfriador
- Medición de caudal y consumo (totalizador)

Cada una de estas partes son independientes en su funcionamiento sin embargo se incluyen en el sistema de control del proceso que será programado en el PLC. La bomba de producto y su variador de frecuencia es el enlace entre las diferentes unidades.

El diseño de la unidad del proceso se resume en el plano llamado **P&ID** por sus siglas en inglés (Piping & Instruments Diagram) donde se incluyen todos

los elementos mayores del equipo de proceso como son válvulas, tanques, bombas, instrumentos de medición y control.

En base a este plano se procede a hacer la lista de elementos y posteriormente su especificación detallada. Todo esto se hace con cálculos de ingeniería de procesos. Esta lista de elementos es la base para el costeo inicial de los elementos mayores y tener un presupuesto preliminar.

Además se desarrolla las rutas de procesos con los diferentes escenarios posibles como son en producción y limpieza en base al plano P&ID en el documento técnico llamado Especificación de Diseño Funcional o por sus siglas en ingles FUNCTIONAL DESIGN SPECIFICATION (FDS). Es necesario indicar que la metodología utilizada para el desarrollo de este documento es la así llamada **S88 (ANSI/ISA-88)**. El documento FDS es el vínculo de información entre el diseño del proceso y la automatización del proceso.

1.5.4 DISEÑO HIGIÉNICO

El diseño de equipos para la industria de alimentos debe cumplir ciertas características basado en la no presencia de puntos de contaminación microbiana. Los puntos muertos son zonas de difícil lavado y esterilización. Es por esta razón que en el diseño del proceso se debe tener en cuenta estas restricciones tanto en la configuración de las válvulas, el diseño de los tanques como en el diseño mecánico de las tuberías y la construcción y/o ensamblaje. El tipo de proceso de soldadura que se usa típicamente es GTAW (Gas Tungsten Arc Welding). También llamado TIG (Tungsten Inert Gas).

La forma automática de lavado de las tuberías y tanques se incluye en el diseño. Las rutas de lavado de todas las tuberías, válvulas, tanques etc. debe ser lo más continua posible.

Para hacer el lavado generalmente se utiliza una unidad externa de lavado (automática o semiautomática) llamada CIP (Clean In Place) limpieza en Sitio.

1.5.4.1 Limpieza en sitio (CIP)

Limpieza en Sitio es un método de limpieza del interior de superficies de tuberías, tanques, equipos de procesos, filtros y elementos asociados como accesorios, válvulas, etc. Sin desensamblar. Hasta 1950 los sistemas cerrados fueron desensamblados y limpiados manualmente. El advenimiento del CIP fue un éxito para las industrias que necesitaban frecuentemente la limpieza interna de sus procesos. Las empresas que contaban fuertemente con CIP fueron las que requerían altos grados de higiene, las cuales incluyen, leche, bebidas, cerveza, alimentos procesados, fármacos y cosméticos.

El beneficio que tienen las industrias que utilizan CIP es porque su proceso es más rápido, menor mano de obra y más repetitividad y hay menos exposición de químicos a los trabajadores. CIP comenzó como una práctica manual comprendiendo un tanque balance, una bomba centrífuga y conexiones al sistema al ser limpiado. Desde los 50s este proceso ha sufrido un desarrollo donde se incluye un sistema completamente automatizado con PLCs, tanques balance múltiples, sensores, válvulas actuadas, elementos de limpieza y adquisición de datos. Simples y manualmente operado CIPs pueden ser hallados actualmente. Dependiendo de la carga de sólidos depositados y la geometría del proceso.

Los principios de diseño del CIP es uno de las siguientes:

- Entrega alta turbulencia, solución con alto caudal para el efecto de una buena limpieza aplicado a circuito de tuberías y equipos llenos.
- Entrega a bajo consumo soluciones a atomizar para humedecer completamente superficies. Aplicado a recipientes levemente sucios bolas de aspersion estáticas se pueden usar.
- Entrega a alta energía de choque soluciones a atomizar (aplicado a recipientes altamente sucios en su superficie o de gran diámetro donde bolas de aspersion dinámicas se usan típicamente).
- Elevadas temperaturas y químicos son usados para asegurar la efectividad en la limpieza.



Figura 7 Unidad de limpieza de un solo tanque para uso en farmacéutica sin recuperación de químicos (Fuente: www.niroinc.com)

Figura 8 Unidad de limpieza de 4 tanques (con recuperación de químicos y agua) y dos circuitos de limpieza (Fuente: [ENG DOR](#))

Las unidades de limpieza para alimentos vienen con 3 tanques para poder recuperar los químicos de limpieza.

1.5.4.2 Bola de aspersión estática

Como se había dicho anteriormente los tanques se les lava usando un dispositivo llamado bola de aspersion. En nuestro caso se va a utilizar una bola de aspersion estática debido que el único tanque que tiene el equipo es de volumen pequeño. Las bolas de aspersion son como duchas que lavan por completo las paredes de los tanques. Tienen un patrón de limpieza como se puede ver en la Fig. 9



Figura 9 Patrón de lavado de tanque vertical

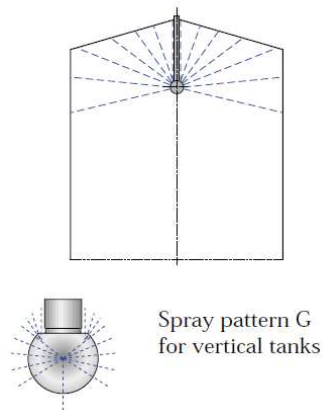


Figura 10 típica bola de aspersion o lavado (sprayball) mostrando el patrón de lavado

1.5.4.3 Panel de flujo

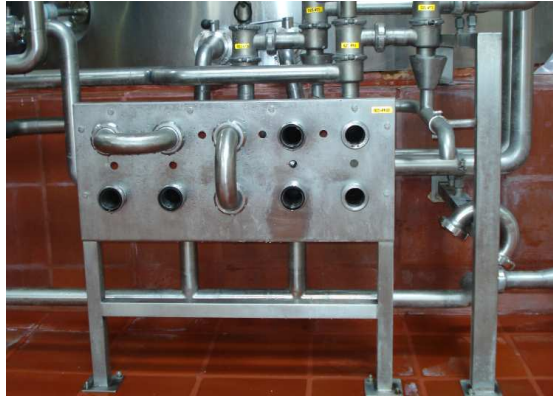


Figura 11 Panel de flujo instalado en la planta de leche de REYLECHE en Sangolqui

Uno de los elementos importantes en las plantas de procesos son los paneles de flujo o también llamados placas de distribución. Estos dispositivos se utilizan para distribuir y/o desviación una corriente de un tanque a otro o de una sección de la planta a otro. Nos permite una conexión temporal e higiénica y también un grado de flexibilidad de la planta.

1.6 DISEÑO MECÁNICO

En base al plano P&I se procede a hacer los cálculos relacionados como los planos necesarios para el diseño mecánico del equipo de proceso en los elementos no estándar como es el tanque de des-aireación, etc. Los planos mecánicos incluyen:

- Plano de fabricación
- Lista de materiales o por sus siglas en ingles (Bill of Materials BOM)
- Plano de especificación de soldadura y boquillas
- Plano de modelaje de la unidad de proceso
- Diseño Mecánico Higiénico

Tanto en el diseño del proceso como el diseño mecánico para equipos e instalaciones fue hecho bajo los criterios de diseño de la norma

ASME BPE-2007 como también usando las guías de diseño de procesos de la empresa APV SPX

Lo que compete al alcance de esta tesis se usa este estándar para diseño higiénico de tanques e instalaciones.

1.6.1 CONEXIONES DE PROCESO HIGIÉNICAS

Uno de los elementos importantes en toda planta de procesos son las conexiones de proceso esto se debe a la asepsia, hermeticidad y ausencia de puntos muertos (zonas difíciles de y esterilizar automáticamente).

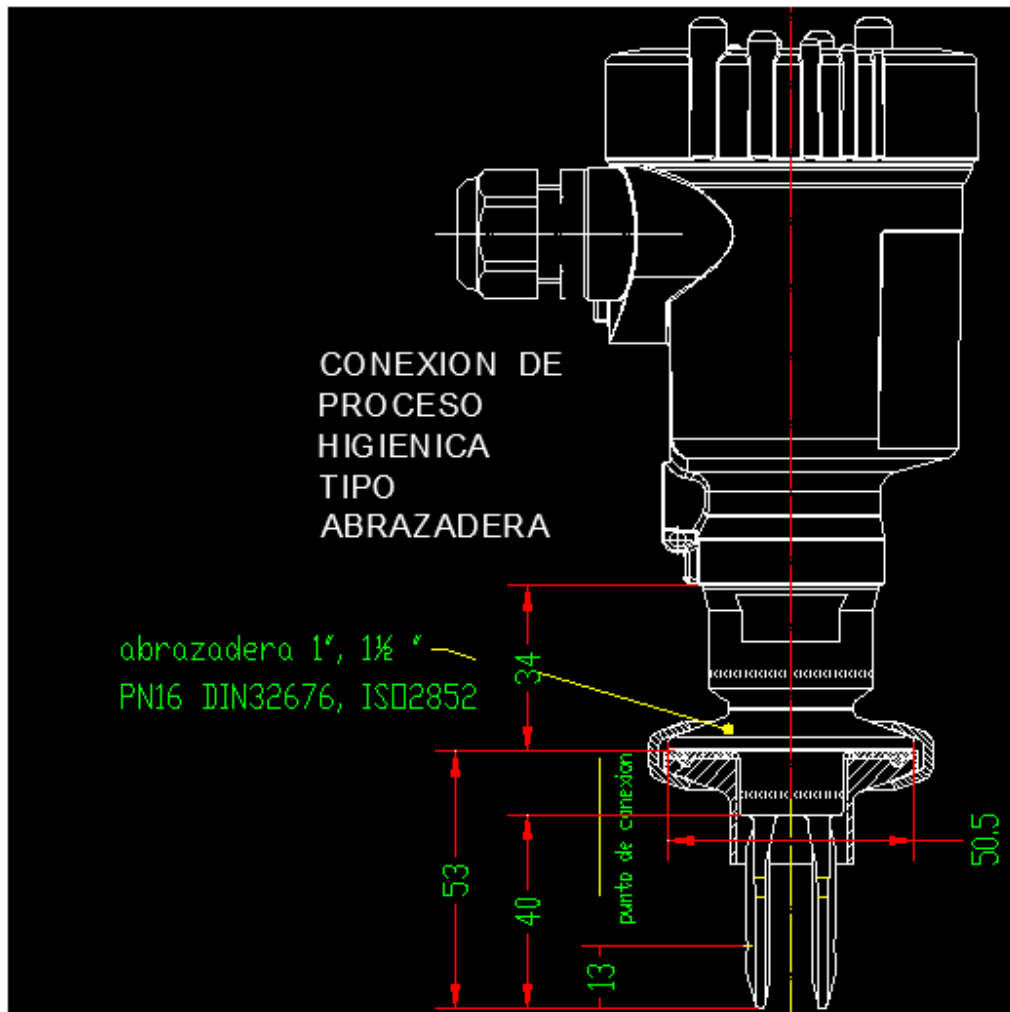


Figura 12 Plano de fabricación de una conexión para un transmisor de flujo (Fuente: www.endress.com)

La norma utilizada para el diseño del equipo fue SMS (tuberías sanitarias conexiones y accesorios). Esta norma se utiliza en el Ecuador debido que una de las empresas que se ha posesionado mas en el sector lácteo es TETRA PAK y todos sus equipos son construidos con tuberías, accesorios bajo esta norma.

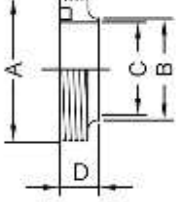
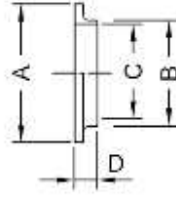
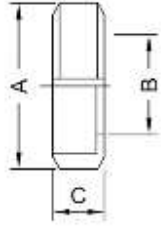
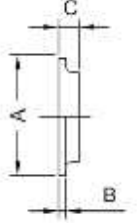
SMS Male Part – Welding, 316		Size	A	B	C	D
	1"	40	25.4	22.2	19	
	1.1/2"	60	38.1	34.9	23	
	2"	70	50.8	47.6	23	
	2.1/2"	85	63.5	60.3	27	
	3"	98	76.2	73.0	27	
	4"	132	101.6	97.6	30	
SMS Liner – Welding, 316		Size	A	B	C	D
	1"	35.5	25.4	22.2	15.5	
	1.1/2"	55	38.1	34.9	16.0	
	2"	65	50.8	47.6	17.0	
	2.1/2"	80	63.5	60.3	17.0	
	3"	93	76.2	73.0	19.0	
	4"	127	101.6	97.6	19.0	
SMS Nut Slotted, 304		Size	A	B	C	D
	1"	51	32	19		
	1.1/2"	74	48	23		
	2"	84	60.5	24		
	2.1/2"	100	74	30		
	3"	114	87	30		
	4"	138	113	31		
SMS Blank Liner, 316		Size	A	B	C	D
	1"	35.5	3.5	7.5		
	1.1/2"	55	5.0	9.0		
	2"	65	5.0	10.0		
	2.1/2"	80	5.0	10.0		
	3"	93	5.0	11.0		
	4"	127	5.0	11.0		

Figura 13 Unión SMS a diferentes diámetros

1.6.2 DISEÑO DE TANQUES DE PROCESOS

El diseño estructural y/o mecánico de tanques de procesos se basa en el uso de la norma ASME SECCION VIII DIV 1 y 2

1.6.2.1. Tipos de tanques/recipientes

Los diferentes tipos de recipientes a presión que existen, se clasifican de la siguiente manera:

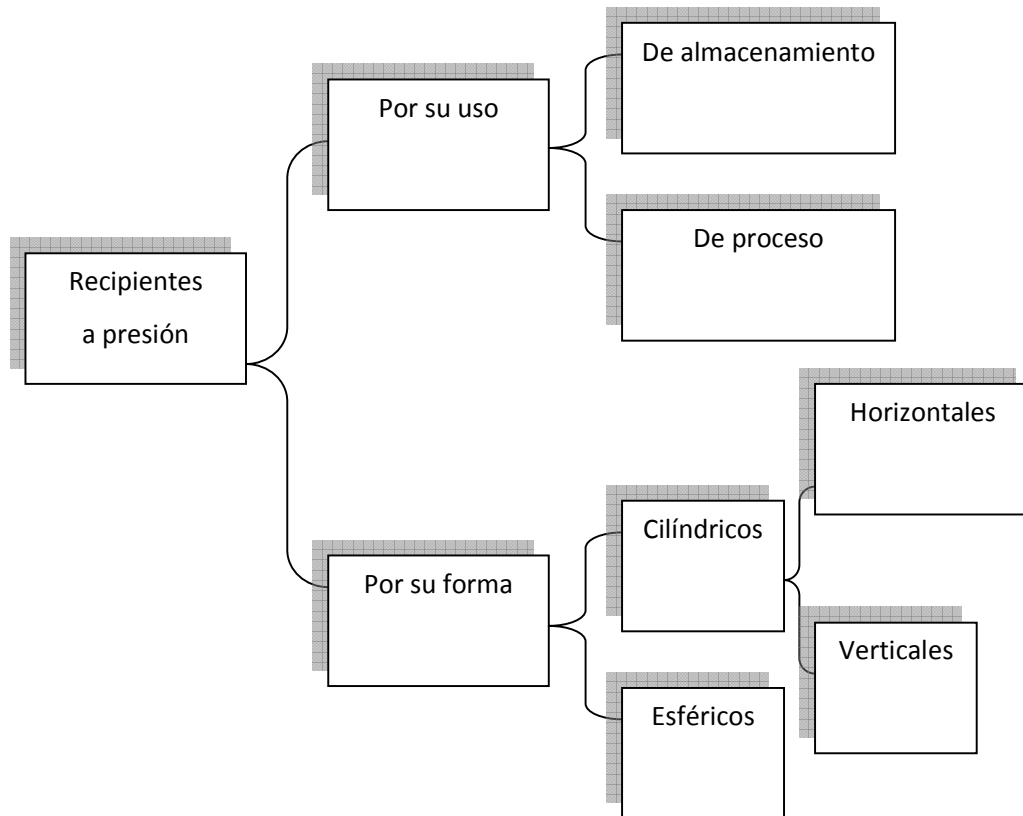


Figura 15 Clasificación de tanques

1.6.3 ESPECIFICACIÓN DE SOLDADURA

1.6.3.1 Simbología de soldadura

Los símbolos de soldadura son utilizados para mostrar donde deben ser aplicados los cordones de soldadura y estos muestran el tamaño, tipo de soldadura, número de soldaduras, detalles acerca de la soldadura e incluso detalles acerca de la junta.

Los soldadores que fabrican o trabajan con planos deben ser capaces de interpretar los símbolos de soldadura para preparar la junta y aplicar una suelda para requerido esfuerzo y solidez.

1.6.3.2 La línea de referencia y la flecha

La línea de referencia es uno de los principales elementos de los símbolos de soldadura. Todos los elementos que describen la soldadura están localizados alrededor de esta línea. La línea de referencia tiene una guía y una flecha que apunta donde la información es aplicada. Esta tal vez tenga una cola que da información acerca del proceso, especificación y otras notas que normalmente no tiene un elemento que les describa. Si los elementos en la línea de referencia describen los detalles necesarios (como esto se hace en la mayoría de los casos) la cola no se la usa. Se tiene el ejemplo siguiente:

Se tiene el ejemplo siguiente:

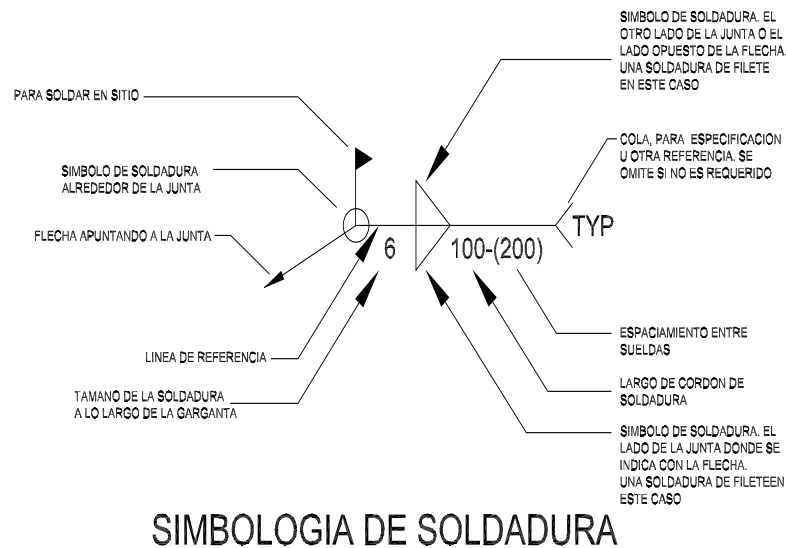


Figura 14 Simbología de especificación de soldadura, Fuente: www.aws.org/educators/Library/0000/000194.ppt

1.7 AUTOMATIZACIÓN

En base al plano P&ID y a las rutas de proceso (**FDS**) se procede a determinar entradas y salidas analógicas y digitales que tuviera el equipo y a dimensionar el PLC.

La programación del **PLC** se hace con las rutas de proceso ya determinadas en la primera etapa. Con esta información se procede a hacer la lógica de control y manejo (rutas de proceso y recetas) en el documento llamado **Especificación Detallada de Diseño** o por sus siglas en ingles (**DDS**) **Detail Design Specifications**.

En base al plano **P&I** y a la lista de elementos se desarrolla la lista de elementos de Automatización (**AIL**) **Automation Item List**.

Se procede a hacer la simulación para determinar posibles fallas en la programación y buen funcionamiento del equipo.

1.7.1 INTRODUCCION AL S88¹¹

S88 se introdujo como una iniciativa para simplificar y mejorar la implementación y definición en los Sistemas de Control de Procesos.

En 1995 el estándar se adopto por **ISA-INSTRUMENTATION**, La Sociedad Internacional de Automatización. Desde entonces el estándar ha sido expandido para llegar a ser un estándar internacional para los Sistemas de Control de Procesos.

Muchas empresas alrededor del mundo reconocen el beneficio de una norma y han probado que al usar este estándar estas compañías pueden ahorrar tiempo, dinero y mejora de sus productos.

1.7.2 MODELO S88

El modelo S88 consta de dos partes:

¹¹ <http://www.emersonprocessxperts.com/articles/ChemicalEngineering/Writing-a-Functional-Specification-for-an-S88-Batch-Project.pdf>

- Modelo Físico
- Modelo Procesal

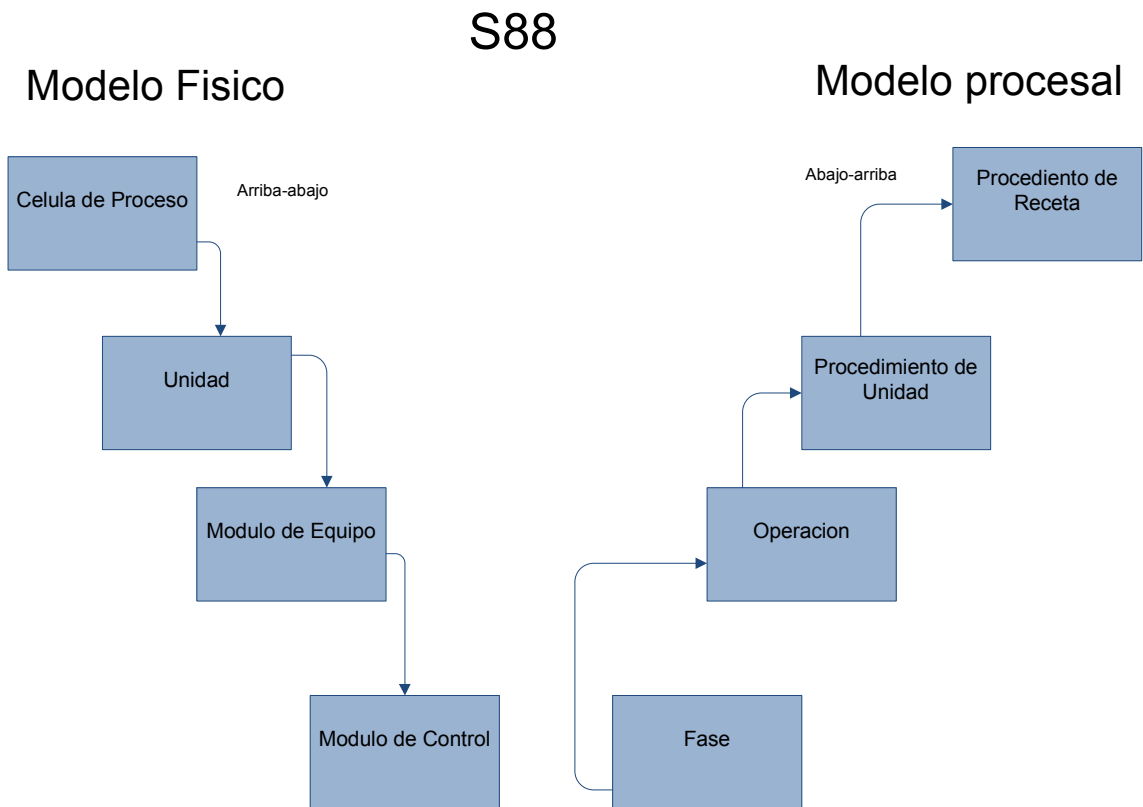


Figura 15 Comparación entre los dos modelos de la filosofía S88 de automatización secuencial

S88 se refiere a modelos para el control en industrias de procesos y terminología que explica las relaciones entre esos modelos y términos. En otras palabras, un conjunto de documentos sistemáticos que ayudan al ingeniero de procesos a desarrollar un sistema normalizado de control de fabrica propio y aprovechar los beneficios de un **Sistema Orientado a Objetos.**

El S88 divide a un Sistema de Control por Cargas dentro de 4 niveles físicos.

1.7.2.1 Modelo físico S88

- **Célula De Procesos**

Una Célula de Procesos contiene todas las unidades, módulos de equipos, módulos de control requeridos para ejecutar el proceso.

- **Unidades**

Una Unidad consta de módulos de equipos y módulos de control. Los módulos que forman parte de la unidad pueden ser configurados como parte de la unidad o podrían ser adquiridos (utilizados) temporalmente para llevar a cabo tareas específicas. En otras palabras se podría compartir un modulo de equipo por varias unidades.

- **Modulo De Equipo**

Físicamente, el Modulo de Equipos pueden contener Módulos de Control y estar subordinados a los Módulos de Equipos.

Un modulo de equipo puede ser parte de una unidad o como un elemento independiente agrupado dentro de una Célula de Procesos. Si se diseña como un grupo de elementos independientes, este puede ser una fuente de uso exclusivo o fuente de uso compartido.

- **Modulo De Control**

Un Modulo de Control es típicamente un solo sensor o colección de sensores, actuadores u otros Módulos de Control y el procesamiento asociado a estos elementos. Desde el punto de vista del control es operado como una sola entidad (***Se puede llamar bucle de control***)

1.7.2.2 Modelo Procesal S88

El S88 se divide un Sistema de Control de Procesos dentro de cuatro niveles procesales:

- **Fase**

El elemento más pequeño del control procesal que puede cumplir una tarea orientada al proceso es una fase. Una fase puede dividirse en partes más pequeñas (modos)

Este nivel puede ser interrumpido.

- **Operación**

Una operación es un juego ordenado de fases que definen una secuencia mayor de procesamiento que toma el material siendo procesado desde un estado a otro. Este nivel puede ser interrumpido.

- **Procedimiento De Unidad**

Un Procedimiento de Unidad consiste de un juego ordenado de operaciones que causan una secuencia de producción que se desarrolla dentro de la unidad. Solamente una operación puede ser activada en una unidad a un mismo tiempo. Múltiples procedimientos de Unidad de un procedimiento pueden correr concurrentemente, cada uno en diferente unidad. Este nivel puede ser interrumpido.

- **Procedimiento De Receta**

Este procedimiento es el más alto nivel en la jerarquía y define la estrategia para llevar a cabo una mayor acción de procesamiento tal como hacer una carga. Se define en términos de un juego ordenado de procedimientos de unidad. Este nivel no puede ser interrumpido.

1.7.3 ESPECIFICACIÓN DE DISEÑO DETALLADO (DETAIL DESIGN SPECIFICATION)

Como se había dicho antes el FDS es el documento básico para proceder a hacer el esquema de funcionamiento del equipo, una hoja más detallada para la implementación de la automatización es el DDS. En este caso va a ser desarrollado en forma de diagrama de flujo. Este diagrama de flujo nos indicara paso a paso como debe funcionar el equipo en sus diferentes opciones; también incluye las posibles fallas que puede presentar la unidad en una normal puesta en marcha y producción. Este documento detalla también las alarmas y guardas que debe tener el equipo para

resarcir o superar las fallas, el DDS luego de ser verificada la correcta secuencia de eventos se lo traduce a adecuados lenguajes de programación del PLC. La marca de PLC escogida como referencia es SIEMENS SIMATIC. Con el sistema integrado de automatización de Ingeniería TIA PORTAL.

1.7.3.1 Condiciones Y Comandos

El S88 provee una matriz conveniente de condiciones y comandos para los elementos en el modelo procesal. Las condiciones procesales pueden ser temporales o permanentes. Las condiciones temporales típicamente contienen una secuencia de acciones que deben ser completadas para pasar a una condición permanente, por ejemplo corrida y terminación. Los comandos procesales causan el estado del elemento procesal a cambiar (por ejemplo iniciar y parada). Los comandos procesales causan el estado del elemento procesal a cambiar (por ejemplo **iniciar y parar**). Un operario u otro elemento procesal pueden emitir esos comandos. La Figura 4 muestra una interpretación del sistema de control según la interpretación del vendedor del estado del proceso y la matriz de comandos. Los estados del proceso pueden definidos como siguen:

- Idle (ocio): Espera por un comando de Inicio para comenzar la corrida
- Corrida (Running): Comienza cuando el comando Iniciar es recibido. Operaciones normales son ejecutadas.
- Completo (Complete): El estado de corrida (Running) ha completado. Espera por el comando reinicializar (reset) a la transición ocio (idle)
- Pausa (Pausing): El comando pausa se recibió en el estado corrida. El progreso lógico del estado corrida al nuevo punto de pausa definido.

- Pausado (Paused): Usado para paradas de corto tiempo para el elemento del proceso. El estado retorna a corrida una vez que el estado reasumir es emitido. La lógica del estado corrida continúa desde el punto de pausa.
- Mantención (Holding): El equipo es puesto en un estado seguro. El estado corrida es interrumpido y puesto en Mantención cuando una excepción a la normal operación se detecta o el operario emite el comando Mantención.
- Mantenido (Held): El estado Mantención ha completado. Ningunas acciones son tomadas. A este punto, el operario o la receta por lotes puede emitir los comandos Mantención, reiniciar, parada o abortar.
- Re-iniciar (Restarting): El comando Reiniciar ha sido emitido por el operario cuando el estado es Mantenido. Toma acción a regresar el equipo a operación normal. Una vez el reiniciado finaliza, este sufre una transición al estado de corrida.
- Parando (Stopping): El equipo es ubicado en un estado seguro. El actual estado es interrumpido cuando el operario emite el comando parada
- Parado (Stopped): El estado Parando ha completado. A este punto, la receta no puede ser reiniciada.
- Abortando: El estado esta puesto en un estado seguro. El actual estado es interrumpido cuando el operario emite el comando Abortar.
- Abortado: El estado Abortando ha completado. A este punto, la receta no puede ser re-iniciada.

- Marcar los P&IDs para definir las fronteras de los módulos, si es necesario, crear separados planos para simplificar los bordes del modulo.
- Enfocarse en la función del modulo. El modulo dibujado incluye el equipo apropiado para llevar a cabo la función? Puede el modulo actuar independientemente de otros?
- Al identificar la función y las fronteras de un modulo, asegúrese que el modulo pueda manejar excepciones a su propia normal operación.
- Identificar como el modulo interactúa con otros módulos. El modulo pertenece a una Unidad? O puede ser compartido por múltiples unidades como tal vez sea el caso con un encabezado de suministro?
- Identificar que información el modulo debe pasar a los otros módulos.
- Comenzar a establecer tipos de módulos. Los otros módulos realizan la misma o similar función? Esto es probablemente la única y más importante tarea al tratar de lograr reuso o flexibilidad de requerimientos de automatización.
- Organizar los módulos dentro de una jerarquía que define su relación entre cada uno. Este es un ejercicio de arriba para abajo que sigue el modelo físico S88 y modelo de proceso.

1.7.4.1 Un ejemplo hace las cosas más claras

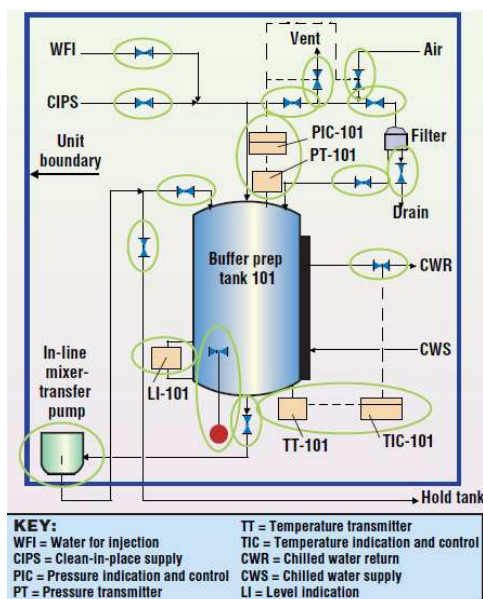


Figura 17 Para este tanque balance de preparación, la frontera de la unidad se muestra en azul. Los módulos de control están en círculos verdes, Fuente: Chemical Engineering/Batch Automation

Por ejemplo, usted tal vez hace módulos de control de un tanque balance de preparación (Figura 4) como sigue:

- Defina las fronteras de la Unidad. En este caso, nosotros dibujamos los bordes de la unidad (la frontera azul en la Figura 4) alrededor de todo el tanque balance de preparación agua arriba al agua (WFI) y las válvulas de ingreso de las soluciones de limpieza (CIPS) y aguas abajo a la válvula que permite la transferencia desde la bomba de transferencia del mezclador al tanque cercano. Esta unidad realiza la tarea de hacer balance para uso en otras áreas de la planta.
- Defina los módulos de control. Los autores prefieren definir los módulos de control o entidades que realizan estado-orientados o control regulatorio, antes de definir los módulos de los equipos. Para el tanque balance de preparación, Los módulos de control incluyen válvulas individuales, el motor

del mezclador, el motor del agitador y los indicadores analógicos. Estos están en círculos verdes en la Figura 4.

- Defina los módulos del equipo. Para el tanque balance de preparación, los módulos del equipo o módulos que trabajan junto para realizar una función menor, tal vez incluya lo siguiente, como se muestra en la Figura 5.

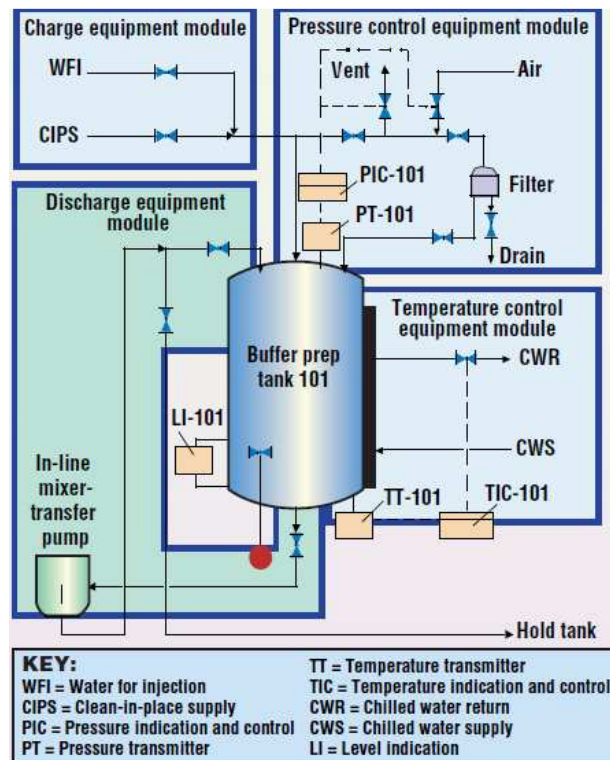


Figura 18 Los módulos del equipo para el tanque balance de preparación se define aquí.

Modulo de Equipo de Carga: las fronteras son dibujadas para incluir válvulas discretas (abierto/cerrado) para cargar el tanque con agua (WFI) o soluciones de limpieza (CIPS). Solamente una válvula a cualquier tiempo.

Modulo de Equipo de Descarga: La frontera incluye la bomba de transferencia del mezclador en línea y válvulas discretas usadas para recirculación de regreso para la mezcla o para transferencia aguas abajo del tanque.

Modulo del equipo de control de Temperatura. La frontera incluye el indicador de temperatura y las válvulas usadas para el control de temperatura del tanque.

Típicamente, identificando módulos y organizándoles en un ciclo iterativo.

No se preocupe mucho acerca del primer paso. Solo comience y reconsidere todo antes que usted haga el primer borrador.

Una vez que usted haya hecho un borrador. Es el tiempo para recoger más detalles y refinar el contenido. Ahora es tiempo de asegurarse de que toda la gente se involucre en el modelo propuesto. Este esfuerzo del FDS será lo más exitoso si sus autores involucran a los accionistas, incluyendo gente de automatización, ingeniería de procesos, producción y calidad. El documento debería ser escrito para que todas las disciplinas puedan entenderle y los accionistas estén de acuerdo con el nivel de detalle y contenido del documento. Este modelo tal vez permita servir como herramienta de entrenamiento para los nuevos ingenieros de planta, personal de laboratorio, operarios y otro personal de planta. Cuando consiga toda esta gente se involucre incluya las siguientes consideraciones:

Cuál es la filosofía de operación en la planta?

Hasta qué punto la automatización será requerida?

Usted necesitara saber que será considerado un lote para definir la celda de proceso a la filosofía la corrida del equipo para definir las unidades.

Considere que producción quiere manejar la planta

Considere procedimientos que tal vez corran como parte de una normal operación, para mantenimiento o por otras razones al delinear la fase, la operación, el procedimiento de unidad y las fronteras de procedimiento.

Donde la funcionalidad es similar pero no idéntica consulte con producción e ingeniería de procesos.

Posiblemente los requerimientos sean modificados para permitirle a usted usar un modelo basado en el tipo, como se describe en la siguiente sección.

Identificar parámetros de receta, los cuales pasaran de la receta a parámetros de la unidad, los cuales son fijos para la unidad.

Generalmente los parámetros basados en el producto o la formula son parámetros de receta (por ejemplo tiempo de reacción). Por otro los parámetros que son basados en características físicas del equipo son parámetros de la unidad (por ejemplo tiempo de drenaje).

Identifique la oportunidad de empujar el control tan bajo como sea posible en la jerarquía.

Por ejemplo defina el control del AGITADOR como modulo de equipo más que una fase a nivel de la unidad. En general esto es una buena práctica porque nos da un control modular, da velocidad a la fase de la unidad e incrementa el cambio de reuso.

Una vez es completado este ejercicio, es tiempo para definir formalmente los requerimientos y la estructura de la especificación funcional (FDS). Esto conduce a la pregunta como especificar estos requerimientos de automatización. La siguiente sección nos muestra como tomar los conceptos discutidos y capturarlos para ponerles en el FDS que definan completamente los requerimientos de automatización.

1.7.4.2 Requerimientos basados en el tipo

Un FDS que usa el S88 es beneficioso porque usa terminología estándar y conceptos. Sin embargo típicamente el principal

beneficio es el rápido diseño, la implementación, los esfuerzos de prueba que vienen de un diseño basado en el tipo para definir los requerimientos de automatización.

El S88 no apunta al concepto basado en el tipo de control. Sin embargo, el control basado en el tipo es una lógica extensión del S88 y esta es una vía obvia de simplificar el FDS (En otras palabras no escribir la misma funcionalidad más de una vez). Es puramente una especificación funcional basado en la unidad, no hay mucha consideración dada para estandarizar funcionalidad.

Considere un cuarto de fermentación que tiene cuatro fermentadores tipo producción, Cada fermentador tiene idéntico equipo y realiza funciones estándar tales como medición de la presión, limpieza en sitio (CIP) y esterilización en sitio (SIP). Un FDS basado en la unidad definiría cada una de las 4 unidades y tres fases para cada una, posiblemente repitiendo la misma o similar información. Este método permite desviaciones no intencionales de una unidad a otra. Pero esto tal vez cause potenciales problemas a largo plazo. Por ejemplo ingeniería de procesos o mantenimiento podría especificar el cambio para una de las unidades sin considerar las otras. Pero si las unidades fueran en vez de parte de un mismo tipo, el diseño basado en el tipo forzaría a los ingenieros a considerar el impacto de las otras unidades. Como un ejemplo, considere el tanque balance de preparación discutido arriba. Usted tal vez defina un control basado en el tipo para este tanque como sigue:

Agrupe los módulos de control dentro de tipos. Los tipos de modulo de control pueden incluir entradas analógicas, entradas digitales o discretas, válvulas abre/cierra, bucles PID y motores.

Agrupe los módulos del equipo dentro de tipos. Para el tanque balance de preparación los tipos de módulos de equipo podrían llegar a ser:

Modulo del equipo de carga

Modulo del equipo de control de presión

Modulo del equipo de descarga

Modulo del equipo de control de temperatura

Identificar los tipos de fases para los tipos de modulo de equipo.

Basados en la descripción del proceso, el modulo del equipo de control de presión tal vez tenga los siguientes tipos de fases:

CIP: limpia el equipo (Figura 6A)

Venteo: Ventea el tanque a la atmosfera (Figura 6B)

Presuriza: Controla la presión de tanque (Figura 6C)

Agrupar las unidades dentro de tipos. En nuestro ejemplo de planta, nosotros tenemos tres tanques de preparación que son idénticos. De esta manera, nosotros creamos un tipo de unidad llamado TANQUE BALANCE DE PREPARACION con tres casos TBP101, TBP102 y TBP103.

Identifique los tipos de fases para los tipos de unidades. Basados en la descripción del proceso el tipo de unidad balance de preparación tal vez tenga las siguientes fases

CIP: Limpiar el tanque

Cargar WFI: Cargar una cantidad específica de agua pura al tanque

Añadir materia prima: manualmente añadir una cantidad específica de materia prima al tanque.

Transferir balance: Trasferir el contenido del tanque a otro tanque. Note que este tipo de modelo basado en el tipo permite tres tipos de unidades, 12 módulos de equipo se reducen dentro de 4 tipos de modulo de equipo y muchos módulos de control se reducen a unos pocos tipo módulos de control. También en vez de 12 definiciones de fase (4 fases X tres unidades), solamente 4 tipos de fases se necesita.

El modelo modular fuerza al diseñador a evaluar desviaciones a lo largo de las tres unidades para determinar si existen inconsistencias. Esto también pueda reducir el diseño, implementación y tiempo de prueba.

Pero tenga en mente que los puntos forzados que no son verdaderamente similares dentro de un tipo, tal vez cause más dolores de cabeza que beneficio.

Puntos forzados dentro de un tipo frecuentemente divergiera de un proyecto como el proyecto se desarrolle creando atrasos y costos. En un análisis basado en el tipo como con todo lo demás usted debe balancear entre las ventajas y desventajas.

1.7.4.3 Organizando las especificaciones

El autor del FDS necesitara decidir donde delinear la frontera entre los FDSs.

Los dos extremos son:

Un FDS para la planta entera

Más pequeños FDS para cada modulo.

El beneficio de un solo FDS para toda la planta es que provee una fuente de referencia y una gran foto de cómo la planta trabaja y que puede ser más conveniente para aprobaciones y mantenimiento. Un beneficio de unos FDS más pequeños es que ellos son manejables. Las ventajas y desventajas por parcelar los documentos deben ser consideradas para cada proyecto. Para un proyecto pequeño es probablemente lógico usar un solo documento para tener toda la información en un solo lugar. Para grandes proyectos un solo documento podría ser fácilmente inmanejable.

Los autores prefieren para grandes proyectos el crear los FDSs para cada área. Este modelo típicamente permite tipos a ser descritos dentro de un solo documento debido que los tipos generalmente caen dentro de un área de proceso. Todavía esto limitado por a limitado número de documentos, Típicamente de 5 a 10 áreas de proceso existen en un proceso. Los autores también

típicamente crean un FDS temprano en el proyecto para describir los módulos que existen a través de todas las aérea como son modulo de control de equipo del AGITADOR, modulo de control del equipo de la TEMPERATURA y lo demás.

Un bosquejo de ejemplo para el FDS del área balance de preparación se muestra en la caja de la Figura siguiente:

OUTLINE FOR A FUNCTIONAL SPECIFICATION OF THE BUFFER-PREP VESSEL EXAMPLE	
1. Introduction	
2. Equipment Modules	
i. Charge Equipment Module	
1. CIP Phase Class	
2. WFI Phase Class	
ii. Pressure Control Equipment Module	
1. CIP Phase Class	
2. Pressurize Phase Class	
3. Vent Phase Class	
iii. Discharge Equipment Module	
1. Mix Phase Class	
2. Transfer Phase Class	
	iv. Temperature Control Equipment Module
	1. Cool Phase Class
	3. Buffer Prep Unit Definition
	i. Alias Definitions
	ii. Process Alarms and Batch Failure Handling
	iii. Parameters
	iv. Phase Classes
	1. CIP
	2. Charge WFI
	3. Add Raw Material
	4. Transfer Buffer

Figura 19 Contorno para un tanque de amortiguamiento Fuente: Chemical Engineering/Batch Automation

Una vez que el FDS se ha escrito, es tiempo para reunir a la gente correcta otra vez. Todos los accionistas que tomen parte en el desarrollo del FDS deberían también tomar parte en la revisión y a la final en la aprobación del mismo. Es importante construir un consenso ya que todas las partes estén de acuerdo en los requerimientos antes de proceder al diseño del software y la implementación. Esto no garantiza que abra argumentos en el futuro pero si provee un sólido punto de partida y una plataforma estable para cualquier cambio de control.

1.7.4.4 Otras consideraciones

- Manejo de excepciones. El estándar S88 define manejo de excepciones como “ esas funciones que lidan con contingencias de la planta o del proceso y otros eventos los cuales fueran de la normal operacion o comportamientos del control secuencial. Adicionalmente, el S88 provee modelos, tales como matriz de estado procesal y terminologia que provee los fundamentos para dirigir el manejo de excepciones. Sin embargo los especificos detalles de identificar las excepciones y determinar la apropiada reaccion se deja a aquellos que especifican los requerimientos de automatizacion.
- Hay algunas consideraciones que deben ser hechas al especificar los requerimientos de manejo de excepciones. Primero, el manejo de excepciones debe ser considerado como una parte integral de los requerimientos de automatización y no deben ser considerados como pensamientos posteriores. Uno hallara que una significativa parte del desarrollo de la especificación será hecho en esta actividad. Si esta actividad no es adecuadamente dirigida, equipo de planta e integridad del producto tal vez sea puestos en peligro.
- Segundo, una excepción y su correspondiente reacción debe ser considerada como un par, la reacción a la excepción deberá a calzar la severidad de la excepción. En algunos casos, una alarma enviada al operario es suficiente. Otras excepciones tal vez requieran que un lote aborte. Adicionalmente, la reacción puede cambie relativo con el paso actual del proceso. Una alarma a alta temperatura que ocurra mientras el proceso subiendo la rampa tal vez no sea requerido con la misma reacción como cuando el proceso eso estable.
- Tercero, para una fase lógica, considere no solamente como reacciona a una excepción sino también como recuperarse de la

excepción. Para algunas excepciones, la recuperación debe ser tan simple como tomar una alternativa acción en la lógica de corrida. Sin embargo otras excepciones tal vez sean más severas y su recuperación complicado. La más complicada recuperación que requiera la fase para ir a un estado seguro tal como Mantenición. Este tipo de recuperación puede ser una labor intensa debido que uno debe lógicamente coordinar las acciones de Corrida y Mantenición y estados de re-iniciar.

Tomando como un ejemplo, una fase de unidad que carga material a un tanque, la lógica de corrida puede ser dividida en tres tareas mayores: 1) abrir el ingreso del tanque, 2) esperar por cantidad cargada hasta alcanzar la meta y 3) cerrar el ingreso del tanque. Uno debe considerar las excepciones relativas debido a estas tareas antes que la recuperación pueda ser especificada. Recuperación desde una excepción durante la tarea de “espera por cantidad cargada” es diferente que la recuperación de la tarea “cierre de del ingreso del tanque” Por lo anterior, la carga es incompleta ya que recuperación comprende completar la carga, por último, la carga ya ha sido completada ya que recuperación comprende el aseguramiento que no cargas adicionales se ejecuten.

1.7.4.5 Hacer módulos del equipo

A este punto, la discusión del FDS se ha limitado a hacer módulos de los requerimientos de automatización, Ha habido limitada discusión del equipo de la planta física y su relación con los requerimientos de automatización. Sin embargo, el equipo de planta usado para ejecutar el proceso ciertamente tiene un directo impacto con los requerimientos de automatización.

De acuerdo con esto tiene sentido el examinar como el S88 tal vez sea utilizado para hacer módulos de la planta física, si la planta física puede ser hecha módulos, entonces es más probable que esa área sea re-usada y la flexibilidad pueda ser identificada. Por ejemplo, un modulo de equipo tal vez incluya un motor de agitador y una balanza para indicar cuando el nivel esta bajo, causando que el motor del agitador se apague. Si los mismos tipos de agitador y la balanza son utilizados en toda la planta, entonces solamente un solo tipo de modulo de equipo se necesita para especificar los requerimientos de automatización para los agitadores en la planta. El mayor beneficio, sin embargo, viene cuando el modelo modular se aplica a nivel de unidad. Si los tanques de proceso con idénticas funciones o incluso similar funciones son diseñados como equipo, entonces es más probable que el mismo juego de módulos de software pueda especificar los requerimientos de automatización par todos los tanques.

Claro está que siempre habrá situaciones en las cuales un requerimiento de proceso pueda solamente ser satisfecho por una única pieza de equipo, pero el punto es que un modelo modular para el equipo de la planta conducirá a especificaciones modulares. Lo menos modular el equipo físico sea es más duro crear módulos de software que pueda ser usado a lo largo de la planta. Esto pone la pregunta. Cuando la gente se automatización debe ser involucrarse. Típicamente esa gente se le llama cuando el diseño del proceso los P&IDs se han completado. Sin embargo pensándolo mejor se sugiere que consiguiendo a esta gente involucrada tempranamente en el proyecto permitiría que el proceso de diseño tome un modelo más modular. Teóricamente, el tiempo que el ingeniero de automatización dedique más tiempo al inicio disminuya el tiempo

que debe gastar al final. Esto por dos razones: 1) Él o ella tendrá un íntimo conocimiento del proceso al tiempo la especificación comienza 2) Algunos de los asuntos de hacer módulos ya han sido resueltos debido a esto menos tiempo se gastara tratando la manufactura de la modularidad en el software.

1.7.5 CODIFICACION DE ALGORITMOS

Luego de haber desarrollado la especificación de diseño funcional FDS el siguiente paso es el desarrollo de un DDS (Detail Design

Specification) como se explico en el numeral 1.7.3.

Este documento será usado para programar el PLC en un definido lenguaje de programación.

1.7.6 INTRODUCCIÓN AL HARDWARE EN LA AUTOMATIZACIÓN DE PROCESOS

Antiguamente el control de procesos se hacía por medios mecánicos, neumático y electromecánico. Con el advenimiento de microprocesadores más poderosos como también con la tecnología de la información se desarrolla lo que es hoy la Automatización. Es decir la aplicación de los sistemas de control y tecnologías de la información para crear sistemas de control comandados por computadoras industriales.

1.7.6.1 Controladores lógicos programables

Las computadoras industriales que se usan son las llamadas PLCs; por sus siglas en ingles (Programmable Logic Controller) Comúnmente llamados PLCs. El PLC va a ser el cerebro que comande el equipo de procesos.

El PLC se puede programar usando cuatro tipos de estructuras:

Escalera (LADDER) o LAD

Lista de declaración Statement List (STL) o Instruction List

Bloque de diagrama de funciones Function Diagram Block (FBD)

Grafico de Funciones Secuenciales Sequential Function Chart (SFC)

1.7.6.2 Módulos entrada/salida (I/O)

En base al P&ID y a la lista de elementos (elementos de control completamente especificados, **AIL**) se procede a determinar:

- Entradas digitales
- Salidas digitales
- Entradas analógicas
- Salidas analógicas

1.7.7 SOFTWARE DE DISEÑO DE AUTOMATIZACION

Para desarrollar la automatización de la MRU y posteriormente la simulación se va utilizar el sistema integrado de automatización de Siemens. Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal).

“Con el portal TIA Portal, Siemens ha redefinido la ingeniería. TIA Portal es, con diferencia, el sistema de ingeniería más intuitivo, eficiente y comprobado que le permite diseñar todos sus procesos de automatización de forma optima desde una sola pantalla de ordenador a lo largo de toda la cadena de suministro de valor. Esta revolucionaria innovación no sólo le permitirá hacer su trabajo de forma más eficiente, con ella conseguirá además, mejorar su productividad y aumentar su ventaja competitiva”¹²

¹² <http://www.industry.siemens.com/topics/global/es/tia-portal/Pages/default.aspx>

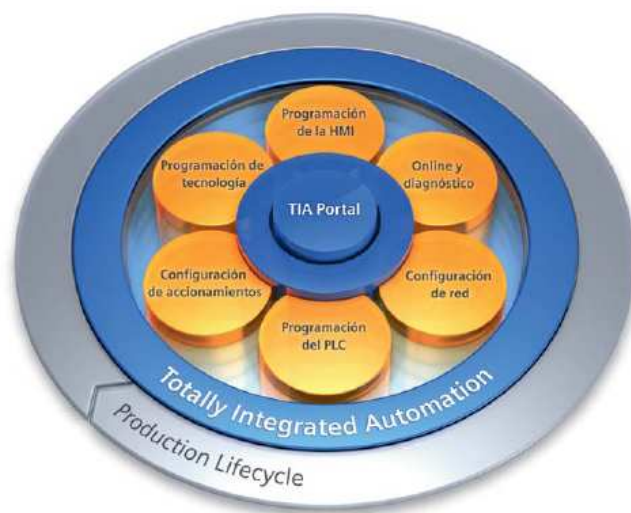


Figura 20 Alcance del Sistema de Automatización TIA Portal, Fuente: www.industry.siemens.com

1.7.7.1 Características y ventaja del TIA Portal

Orientado a las tareas y al usuario TIA Portal pone a su servicio una tecnología de Software de última generación accesible a través de una interfaz de usuario muy sencilla de manejar que le permitirá concentrarse en el proceso de ingeniería sin la pérdida de tiempo que supone aprender a utilizar el nuevo software. La configuración y la navegación son tan intuitivas que encontrará enseguida todas las funciones de programación y edición que necesite. En el mismo momento en que se inicia un proyecto, los usuarios pueden elegir entre una vista del portal orientada a las tareas, en la que se guía paso a paso al usuario, o una vista del proyecto con acceso directo a todas las herramientas más importantes. La vista del portal orienta y asiste a los usuarios de forma intuitiva por cada paso del proceso de ingeniería. Ya se quiera programar un controlador, diseñar una pantalla de la HMI o configurar conexiones de red, TIA Portal ayuda de una forma muy intuitiva tanto a los usuarios más

experimentados como a los menos familiarizados a navegar de la forma más eficiente posible.

“Un aspecto uniforme con inteligencia incorporada todos los editores de software contenidos en TIA Portal están diseñados siguiendo las mismas pautas de distribución y navegación. Tanto si se trata de un editor para configurar hardware como para efectuar programaciones lógicas o diseñar pantallas de la HMI, todos los entornos comparten un diseño similar e igual de intuitivo, lo que le permitirá ahorrar tiempo y dinero.

Las funciones, propiedades y bibliotecas se despliegan de forma automática con la vista más intuitiva y apropiada para cada ocasión. Cambiar de un editor a otro nunca fue más sencillo gracias a las funciones inteligentes de "arrastrar y soltar", "autocompletar etiquetas" y otras muchas funcionalidades avanzadas que permiten desarrollar un sistema de automatización completo y no sólo un dispositivo independiente.

TIA Portal facilita las tareas de ingeniería integrando aplicaciones inteligentes en todo el proyecto, con independencia de su complejidad. Coherencia de los datos gracias al TIA Portal, la gestión de las bases de datos se ha convertido en una tarea a la que se ha de dedicar muy poco tiempo. Sólo es necesario introducir una vez las etiquetas y de inmediato estarán disponibles en todos los editores. El resultado es una transparencia y una coherencia de los Datos óptimos en todo el proyecto, la minimización de los errores y una mejora significativa de la calidad de su proyecto de automatización. La consistencia de los datos en TIA Portal garantiza un acceso sencillo a cualquier etiqueta desde cualquier editor con capacidad de actualización en todos los dispositivos conectados. Una arquitectura de sistemas con un diseño muy atractivo TIA Portal es una arquitectura de software avanzada diseñada sobre la base de un esquema de navegación muy

sencillo. La ergonomía visual asegura la máxima eficiencia del software y un importante ahorro de tiempo. Todos los editores están claramente ordenados y son accesibles desde una pantalla. En todo momento tendrá una visión de conjunto de todo el proyecto sin necesidad de adentrarse en complicados menús y estructuras de ventanas. Es decir, todo el software funciona como un sistema fácilmente accesible. A esto es lo que llamamos intuitividad sin precedentes".

1.7.8 PROCESO DE DISEÑO EN AUTOMATIZACION

En los siguientes diagramas (Figs. 21-25) se muestran los procedimientos para el diseño de la automatización de procesos.

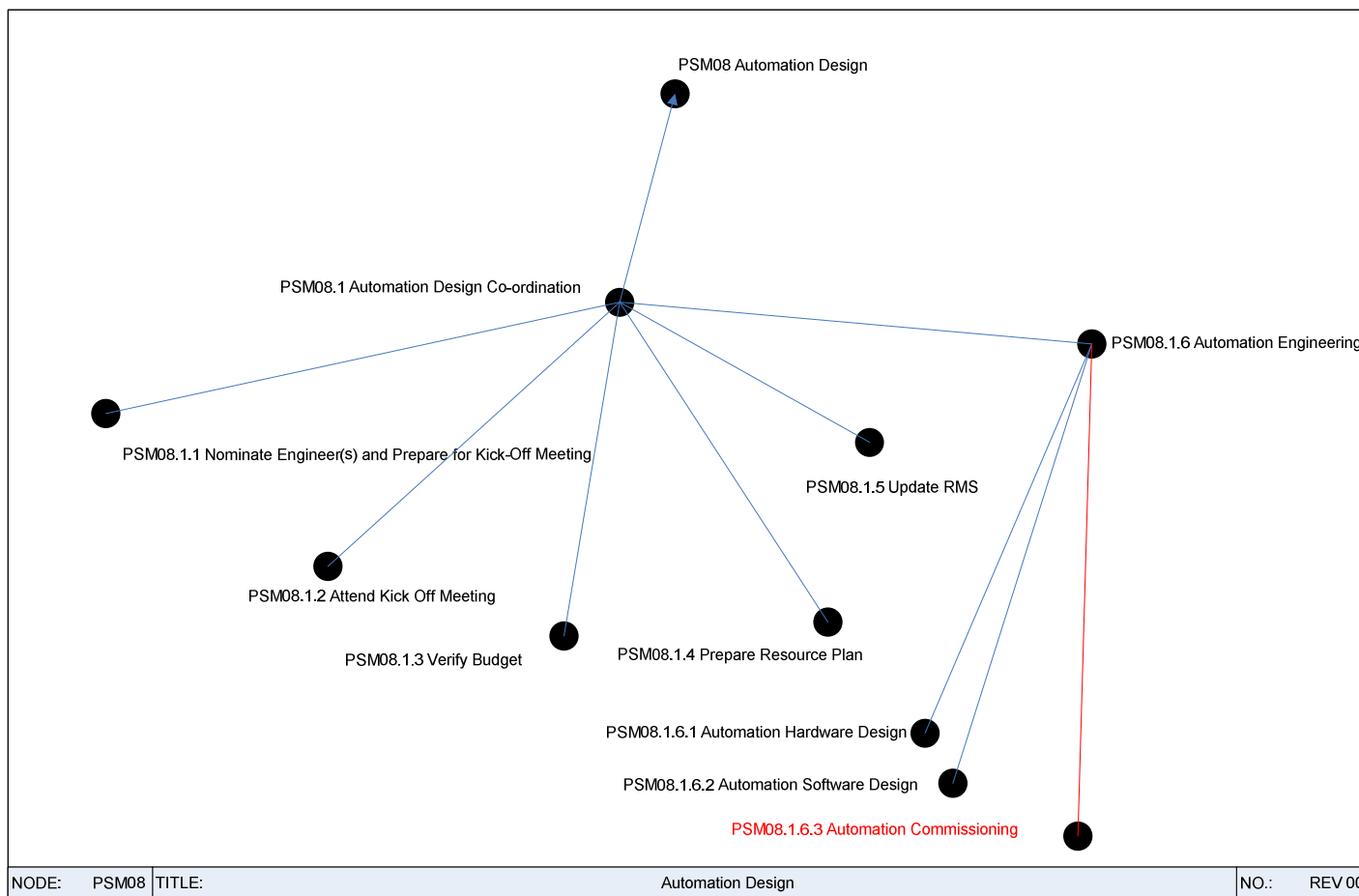


Figura 21 Diseño de automatización, Fuente: Process Automation/www.apv.com

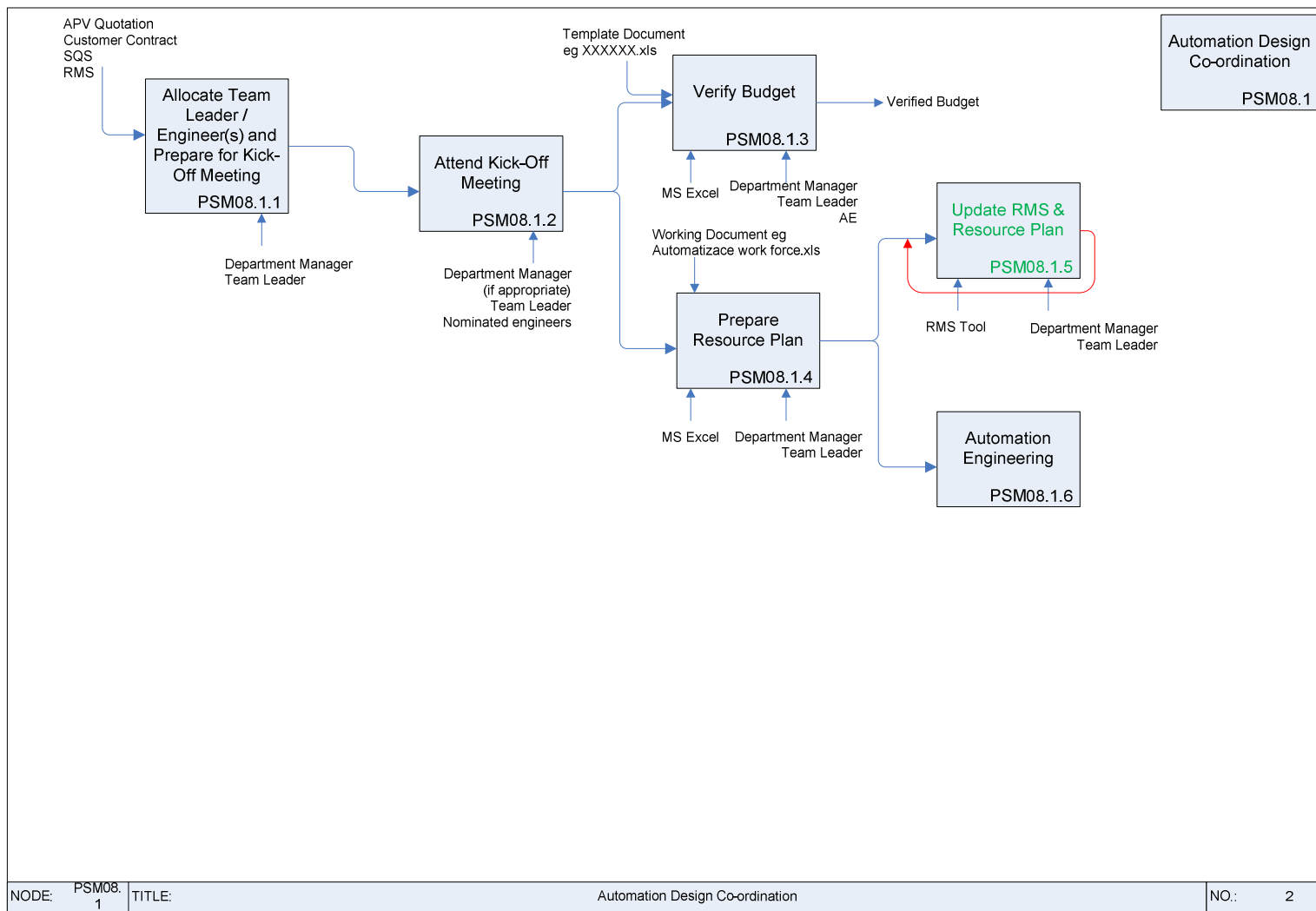


Figura 22 Coordinación de diseño de automatización, Fuente: Process Automation/www.apv.com

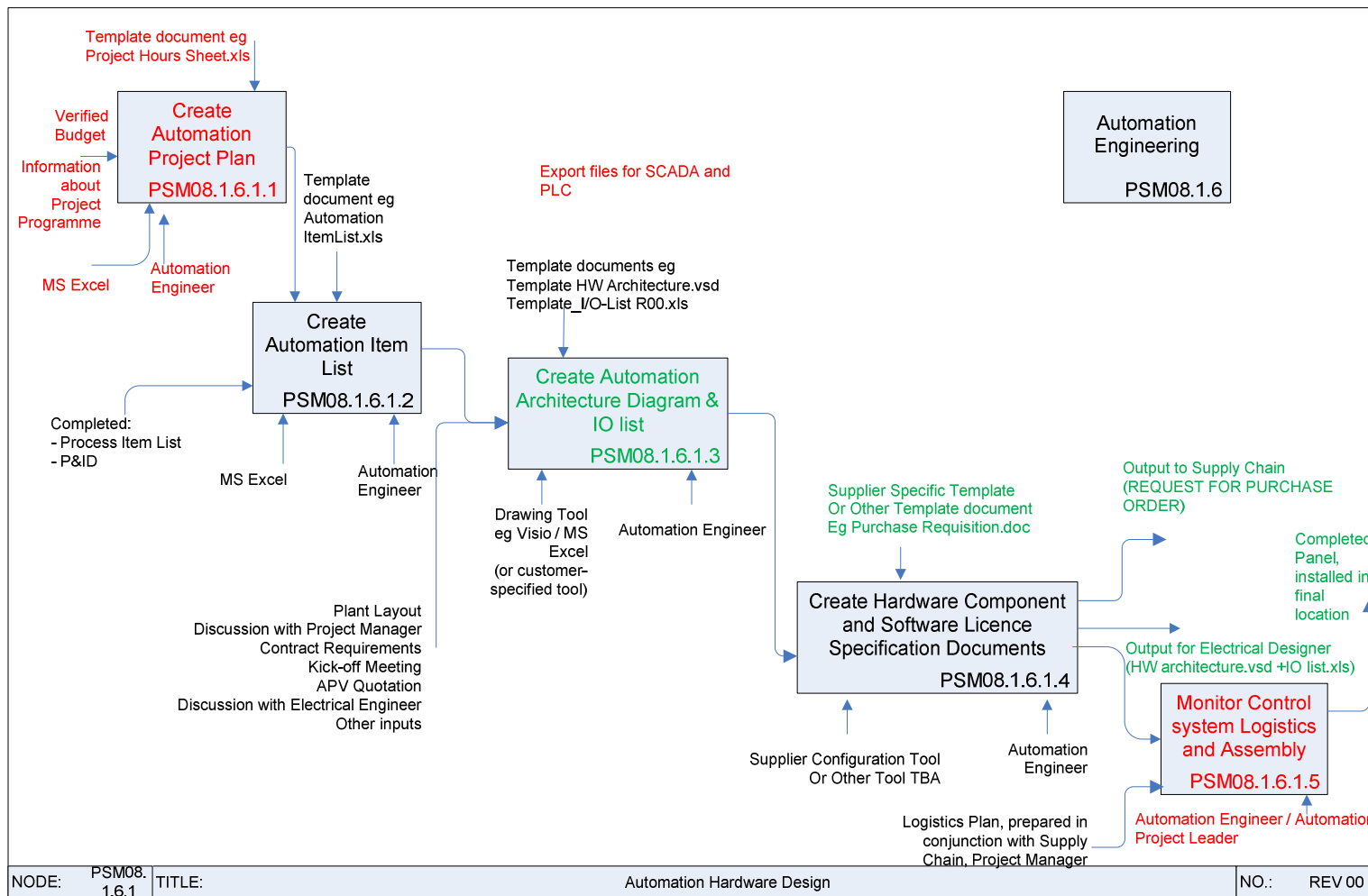


Figura 23 Diseño de hardware de automatización (tomado del curso de automatización APV)

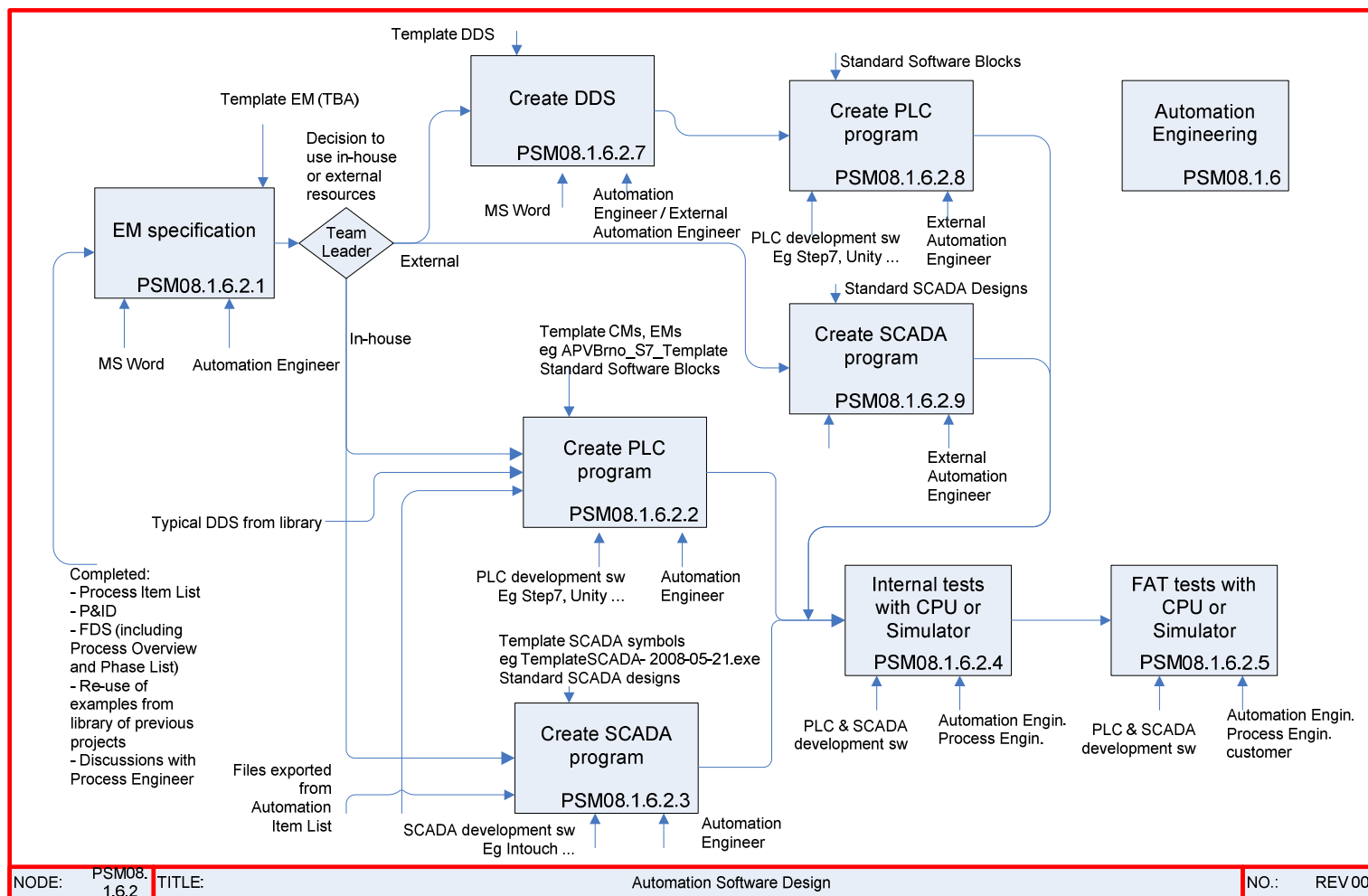


Figura 24 Diseño de software de automatización, Fuente: Process Automation/www.apv.com

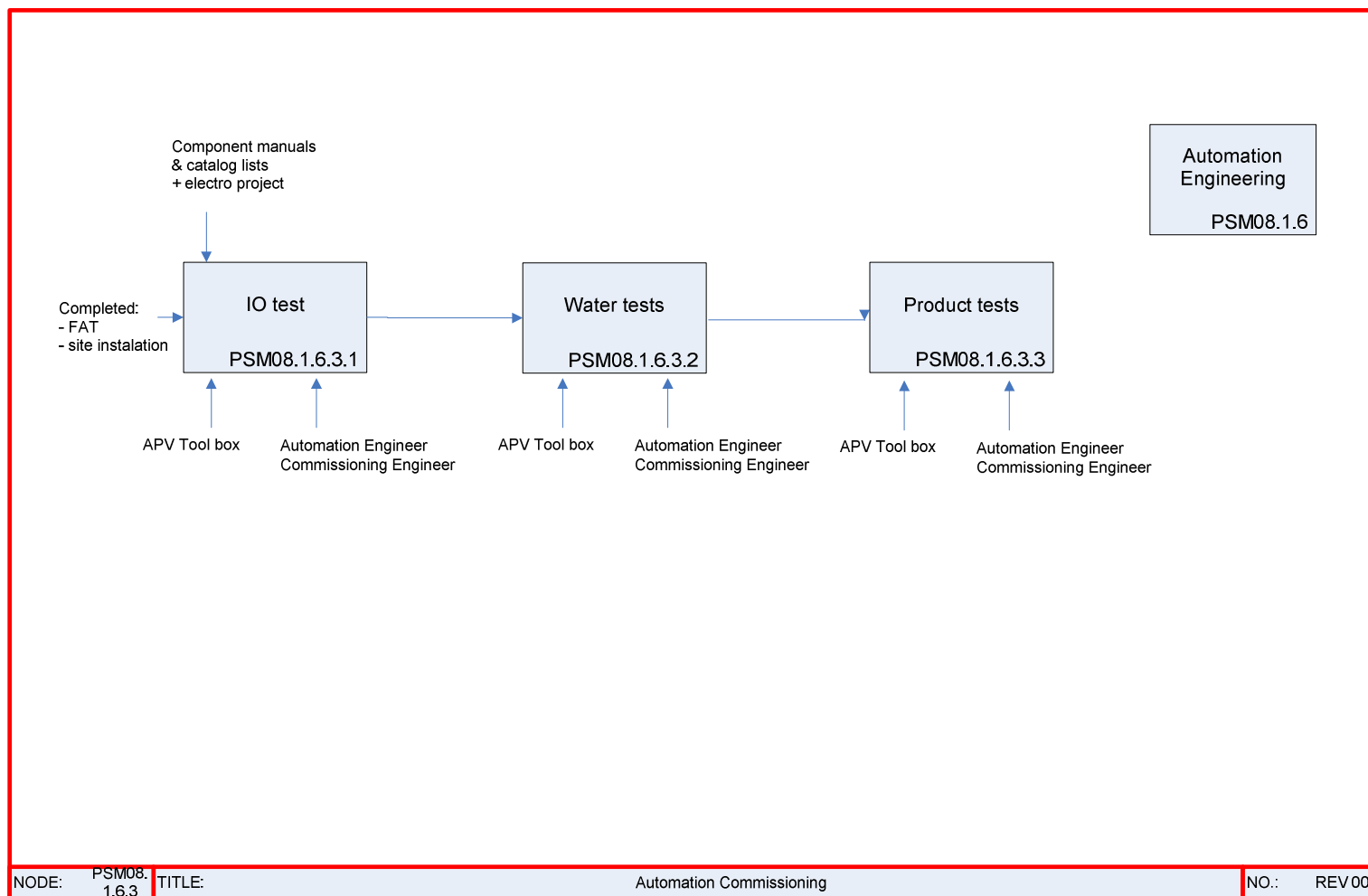


Figura 25 Puesta en marcha o comisionamiento , Fuente: Process Automation/www.apv.com

1.8 DISTRIBUCION Y ALIMENTACION DE ENERGIA Y ELECTRO NEUMATICA

Todos los elementos eléctricos deben ser energizados con un determinado voltaje pudiendo ser este de corriente continua o alterna y de diferentes valores. Por lo tanto se procede a diseñar la red de distribución de corriente de alimentación. Por otra parte también se debe diseñar el suministro de aire comprimido a los instrumentos y/o actuadores.

1.8.1 SUMINISTRO DE POTENCIA

La mayoría de los elementos electrónicos de control y medición funcionan con un voltaje de alimentación de 24 VAC. Esto quiere decir que el voltaje es de corriente alterna. Por otro lado, estos aparatos deben ser protegidos contra sobrecargas. Es por eso que se incluyen fusibles.

2. CAPITULO

DISEÑO DEL PROCESO

2.1. CRITERIOS DE DISEÑO Y PROCEDIMIENTOS (PROCESOS)

2.1.2. CONDICIONES DE PROCESO

Las fábricas de leche en el Ecuador típicamente necesitan unidades de recepción de leche de 15,000 litros por hora. Por otro lado la temperatura típica de la leche que viene del ordeño en la Sierra es de 20 °C sin embargo esta es inmediatamente puesta a enfriar hasta llegar a la temperatura de 8°C menor a esa; dependiendo del equipamiento (enfriamiento en la corriente de un río o utilizando tanques de enfriamiento).

2.1.3. URS (USER REQUERIMENT SPECIFICATION)

De acuerdo al pedido de un cliente se procedió a llenar la hoja de requerimientos del cliente (URS).

2.1.3.1.Requerimientos

El cliente desea una unidad de recepción que inmediatamente elimine el aire y enfríe la leche luego de ser descargada de los tanqueros. La inclusión de aire en la leche se debe por una parte al mismo ordeño de la vaca como también a su transporte; en este caso debido al

movimiento de vaivén ingresa también aire. La presencia de aire en la leche causa los siguientes problemas en su procesamiento:

- Disminución de la vida útil de la leche
- Medida errónea del volumen real de la leche (compra-venta)

Por otro lado los tanqueros en promedio tienen una capacidad de almacenamiento de 12,000 litros; divididos en 3 compartimientos, cada compartimiento de 4,000 litros.

La unidad de recepción de leche debe tener un sistema de lavado químico CIP (Clean in Place). Luego de haberse usado la unidad de proceso se debe proceder a higienizar utilizando el CIP mencionado anteriormente.

Todo el equipo es completamente automatizado y tiene una pantalla táctil para su mando por parte del operario.

La URL (Unidad de recepción de leche) tendrá un fluxómetro y totalizador para poder determinar en forma precisa la cantidad de leche ingresada a la planta. Toda esta información será transferida y guardada en una computadora que se encuentra en ubicación remota. Por lo tanto la unidad tendrá un dispositivo de comunicación para el envío de la información al sistema de adquisición de datos o por sus siglas en inglés SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition).

El equipo funcionara a un voltaje de 220 y de tres fases (corriente alterna)

Otros requerimientos y/o condiciones de proceso se adjuntan en la siguiente tabla:

Tabla 1 Condiciones de proceso del enfriador de leche

Variable	Valor
Fluido	Leche cruda
Capacidad, kg/h	15,000

Temperatura de entrada, °C	15
Temperatura de salida, °C	4

2.1.4. DISEÑO CONCEPTUAL

La unidad de recepción de leche constara de tres partes independientes entre sí como son:

- Unidad de des-aireación
- Unidad de enfriamiento
- Modulo de medición de caudal y totalización

2.2. DESARROLLO DEL PLANO DE PROCESO PID

Para el desarrollo del plano de proceso se utiliza el programa de diseño asistido por computadora AUTOCAD (ver anexo 1)

Cada uno de los elementos de la unidad de recepción de leche ha sido codificado y especificado.

2.2.1. ESPECIFICACION DE ELEMENTOS

La codificación está hecha de la siguiente manera de acuerdo al siguiente ejemplo:

MRBUV2A-25

Las dos primeras letras corresponden a la sección de la planta, en este caso MR significa Milk Reception (Recepción de leche). Como todos los elementos corresponden un equipo que se encuentra en la sección de recepción de leche su etiqueta comenzara con estas dos letras MR

Las siguientes tres letras corresponden al tipo de elemento en funcionamiento. Para este ejemplo BUV nos define que es una válvula de mariposa (Butterfly Valve). Aquí se explica en una tabla la codificación para cada elemento que se puso en el diseño:

2.2.1.1. Codificación de elementos

Tabla 2 Códigos de elementos para plano P&I

SRV	steam/water regulating valve (globe) with positioner (P)
STR	Strainer
DRA	pipng draining
FAN	fan/compressor
ILF	inline filter
ARV	air relief valve
MOT	Motor
CEP	centrifugal pump
CFP	centrifugal pump with a flushing water sealing
THE	tubular heat exchanger
VIT	vertical insulated tank
MIX	Mixer
LSI	level switch indicator
PII	pressure indicator
PTI	pressure transmitter
PSI	pressure switch
SSB	static spray ball
LRP	liquid ring pump
FPA	flow panel
SYI	frequency converter
DAT	deaerator tank
XSI	proximity switch
INP	centrifugal pump with inducer
FTI	flow transmitter
TTI	temperature transmitter
PHE	plate heat exchanger with gaskets

Luego que se especifica el elemento existe un par de dígitos numero-letra. Del ejemplo mostrado tenemos que 2A nos indica el numero de puertos que tiene este elemento, la válvula de mariposa por lógica tiene solo dos puertos, en cambio la letra nos indica el grado de automatización/control que tiene este elemento A indica que es una válvula con actuador.

Tabla 3 Nivel de Automatización

M	MANUAL
A	ACTUATOR
C	CONTROLLED
N	NONE

E	ENERGISED

Los últimos dos dígitos que se localiza después del guion siempre son números corresponde a la numeración de cada elemento. Para el ejemplo -25 es el elemento # 25

2.2.2. ESPECIFICACION DE CORRIENTES

Para la especificación y fácil lectura de las corrientes involucradas en el proceso se utiliza códigos de colores según se muestra en las siguientes líneas:

Producto (leche) color ladrillo índice de color (AUTOCAD) 30

Agua de enjuague y/o empuje color azul índice de color (AUTOCAD) blue

Soluciones de limpieza (NaOH y HNO₃) color azul verdoso índice de color (AUTOCAD) cyan

Aire de purga color verde índice de color (AUTOCAD) green

2.2.3. OTRAS ESPECIFICACIONES

El plano P&ID también muestran los bucles de control, esto se hace mediante una línea continua de color azulado cuyo índice de color (AUTOCAD) es 140

2.2.4. PLANO P&ID

Basado en criterio de diseño de proceso se procede a desarrollar el plano P&I de la unidad de proceso con el programa AUTOCAD. El plano se encuentra localizado en el [Anexo 1](#)

2.2.5. LISTA DE ELEMENTOS

Se hizo una extracción de datos del plano de proceso P&I obteniéndose la siguiente lista de elementos:

Tabla 4 Lista de elementos generada desde el plano P&I en Autocad (ver Anexo 1)

LISTA DE ELEMENTOS										
UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE										
Name	CAPACITY	CODE	SIZE	TYPE	PORT-NUMBER	POSITION	DESCRIPTION	ADDITIONAL INFORMATION	AUTOMATION LEVEL	SUPPLIER/SPECIFICATION
SV-A		MRBUV2A-5	DN 50		2	NC	butterfly valve	proximity holder	ACTUATOR	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
SV-A		MRBUV2A-2	DN 50		2	NC	butterfly valve	proximity holder	ACTUATOR	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
SV-A		MRBUV2A-3	DN 50		2	NC	butterfly valve	proximity holder	ACTUATOR	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
DAT	vol must be calculated	MRDAT3N-11			3		deaerator tank		NONE	go to deaerator.xls (list of materials) 100 l cap. SS 304
FPA		MRFPA2M-21	DN 50		2		flow panel		MANUAL	go to MRFPA2M-21.xls (list of materials) 2 puertos, 1 telefono SS 304
PROXIMITY INSTRUMENT		MRXS11E-24	G 1/4	XS	1		proximity switch		ENERGISED	IFM /JGT 205, IGKCO08BASKG/M/V4A/US
SRV-CP		MRSRV2C-23	DN 80		2		steam/water regulating valve (globe) with positioner (P)		CONTROLLED	BURKERT 2/2 type 2702,+8802-YC valve system
GLV-M		MRGLV2M-9	DN 80		2		manual globe valve		MANUAL	DONJOY-No.20210 welded globe valve, SMS
SAV		MRSAV2M-10	G1/4		2		sample valve		MANUAL	DONJOY SAMPLE VALVE ELLIPTIC TYPE HANDG 3/8 SS 316
SV-A		MRBUV2A-25	DN 50		2	NC	butterfly valve	proximity holder	ACTUATOR	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
ILF90		MRILF2N-22	DN 50		2		inline filter		NONE	DONJOY-No.50025 angle type strainer, SMS 1 mm pore size
INP	12,000 l/h	MRINP2E-12	DN 50/50		2		centrifugal pump with inducer		ENERGISED	NPSH available (3.4 m H2O)/ pressure head 6 bar/ power 3 hp
SPEED REGULATION INSTRUMENT		MRSY12C-15	G 1/4	SY	2		frequency converter		CONTROLLED	FREQUENCY INVERTER DANFOSS VLT FC 300 FOR PUMP MRINP2E-12
SV-M		MRBUV2M-4	DN 50		2	NC	butterfly valve		MANUAL	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
FLOW INSTRUMENT		MRFT2C-20	DN 50	FT	2		flow transmitter		CONTROLLED	SIEMENS /MAG1100F/5000, 7ME6140-2RA11-1LA1, FDK: 083G2101/SIEMENS PROMAG 10H
TEMPERATURE INSTRUMENT		MRTT11C-19	G 1/4	TT	1		temperature transmitter		CONTROLLED	TMA SERIES KOBOLT code 05
SV-M		MRBUV2M-8	DN 80		2	NO	butterfly valve	proximity holder	MANUAL	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
SV-M		MRBUV2M-7	DN 50		2	NC	butterfly valve	proximity holder	MANUAL	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
SV-M		MRBUV2M-6	DN 50		2	NC	butterfly valve	proximity holder	MANUAL	DONJOY-No.20019 welded butterfly valve, SMS
SW41-LC		MRSTV2C-1	DN 50		2	NC	single seat		CONTROLLED	DONJOY-No.50090 (20) pneumatic stop and reversing valve, welded, SMS WITHOUTOUT actuator NC
LEVEL INSTRUMENT		MRLS11E-13	G 1/4	LS	1		level switch indicator		ENERGISED	NRF-IT-Rigid RF Capacitance Tri-Clamp® Level Probe KOBOLT
LEVEL INSTRUMENT		MRLS11E-14	G 1/4	LS	1		level switch indicator		ENERGISED	NRF-IT-Rigid RF Capacitance Tri-Clamp® Level Probe KOBOLT
PHE-1S	5000-15,000 l/h	MRPHE1M-18	DN 65/50		1		plate heat exchanger with gaskets		MANUAL	numero de placas 108, Area c/p 0.39 m2 area total 40 m2 SS304
TEMPERATURE INSTRUMENT		MRTT11C-17	G 1/4	TT	1		temperature transmitter		CONTROLLED	TMA SERIES KOBOLT code 05
PRESSURE INSTRUMENT		MRPI1N-16	G 1/4	PI	1		pressure indicator		NONE	DRF26 - SS Bourdon Tube Pressure Gauge KOBOLT
SSB		MRSSB2N-26	DN 25		2		static spray ball		NONE	DONJOY-No.50051 fixed cleanig ball, clamped, SMS /Ø 25

2.3. UNIDAD DE ENFRIAMIENTO

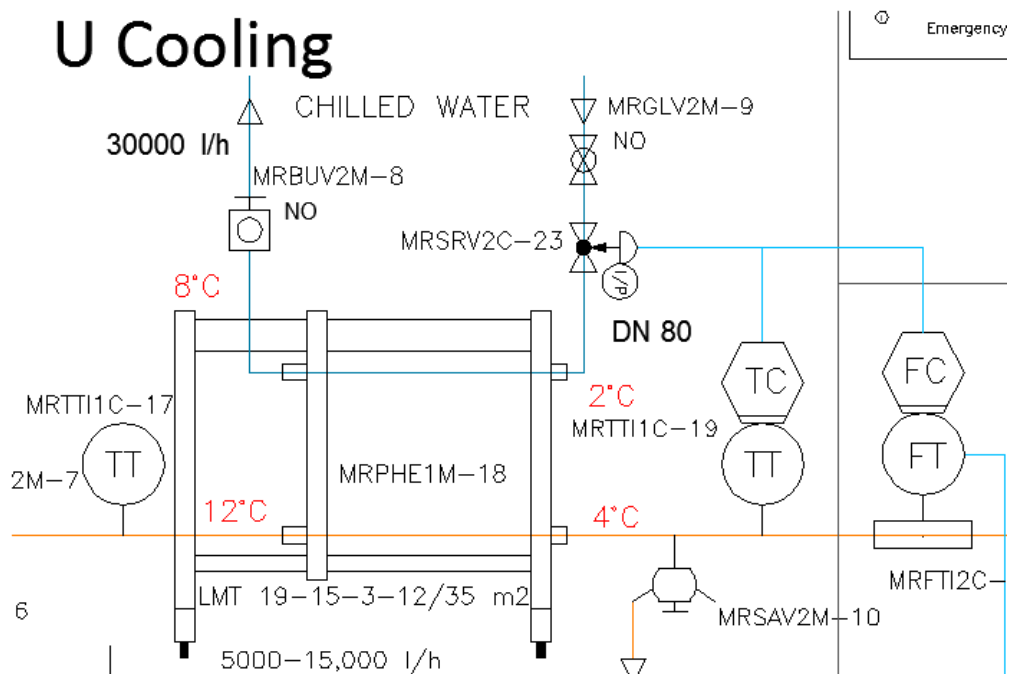


Figura 26 Parte del plano P&I mostrando la unidad de enfriamiento y sus elementos (ver anexo 1)

2.3.1. BALANCE DE CALOR Y MASA

Este sistema consta de un enfriador; para lo cual se procede a hacer un balance de calor y energía de acuerdo a las condiciones de proceso dadas en la tabla 1.

Para determinar la temperatura final de salida del agua enfriada se procede a hacer un balance de energía. Cabe indicar que el caudal de agua enfriada se toma como el doble del caudal de producto, es decir 30,000 l/h:

$$\text{Flujo de Calor Cedido [J/s]} = \text{flujo de calor ganado [J/s]}$$

$$q_c = q_g \quad \text{Ec. 1}$$

Flujo de Calor = flujo másico*capacidad calórica*(variación de temperatura entre entrada y salida)

$$Q = \dot{m} \cdot C_p \cdot (t_s - t_e) \quad \text{Ec. 2}$$

Donde \dot{q} es el calor cedido o ganado por unidad de tiempo [J/s]

\dot{m} es el flujo másico [Kg/s]

C_p es la capacidad calórica del fluido a enfriar o calentar a presión constante [kJ/(kg*°C)]

t_e es la temperatura de entrada del fluido a tratar [°C]

t_s es la temperatura de salida del fluido a tratar [°C]

Por otro lado se necesita transformar el caudal a flujo másico usando la siguiente ecuación:

$$d = m/v \quad \text{Ec. 3}$$

Donde δ es la densidad del fluido [kg/m³]

m es masa del fluido [kg]

v es el volumen ocupado por el fluido [m³]

De la ecuación 3 se deriva la siguiente ecuación, donde se incluye el tiempo (θ) de procesamiento

$$d = (m/\theta) / (v/\theta) \quad \text{Ec. 4}$$

$\left(\frac{m}{\theta}\right) = \dot{m}$ (Flujo másico) y $\left(\frac{v}{\theta}\right) = \dot{v}$ (caudal)

La ecuación 2 se transforma en la siguiente ecuación:

$$Q_c = d \cdot v \cdot C_p \cdot (t_s - t_e) \quad \text{Ec. 5}$$

Calculo del Calor cedido por la leche cruda

Tabla 5 Datos para Cálculo de calor cedido

Variable	Valor
fluido	leche
δ , kg/m ³	1023.8
\dot{v} , m ³ /h	15
C_p , J/kgK	3936
t_s , °C	4
t_e , °C	12

$$Q_c = 1023.8 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * \frac{15\text{m}^3}{\text{h}} * \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \right) * \frac{3936\text{J}}{\text{kg} * \text{K}} * (4 - 15)\text{oC} * 1\text{K/oC}$$

$$Q_c = -184694 \text{ J/s}$$

Calculo de la temperatura de salida del agua fría

Como se ha dicho anteriormente

$$\dot{q}_c = -\dot{q}_g$$

El calor ganado por el agua fría es:

$$\dot{q}_g = 184694 \text{ J/s}$$

Tabla 6 Datos para el Cálculo de la temperatura del agua fría a la salida

Variable	Valor
fluido	agua
δ , kg/m ³	1000
\dot{v} , m ³ /h	30
C_p , J/kgK	4202
q_g , J/s	184694
t_e , °C	2

Partiendo de la Ec. 1 y Ec. 2 y despejando la temperatura de salida se tiene la siguiente ecuación:

$$ts = \frac{\dot{q}}{\dot{m} * Cp} + te \quad \text{Ec. 6}$$

$$\dot{m} = \delta * \dot{v} \quad \text{Ec. 7}$$

$$ts = \frac{\dot{q}}{\delta * \dot{v} * Cp} + te$$


$$ts = \frac{184694 \text{ J/S}}{\frac{1000 \text{ Kg}}{\text{m}^3} * \frac{30 \text{ m}^3}{\text{h}} * 1 \frac{\text{h}}{(3600 * \text{s})} \frac{4202 \text{ J} * 1 \text{ K/1}^\circ\text{C}}{\text{kg} * \text{K}}} + te$$

$$ts = 7.27 \text{ }^\circ\text{C}$$

2.3.2. DIMENSIONAMIENTO DEL ENFRIADOR DE LECHE CRUDA

En función de los datos iniciales (condiciones de proceso) se pide cotización y dimensionamiento del enfriador. Uno de los proveedores de enfriadores presentó la siguiente hoja de Cálculos y resultado de un enfriador de placas con las siguientes características:

Tabla 7 Hoja de resultados del cálculo del intercambiador de calor tubular y de placas/empaques (ENG DOR)

				
ENG DOR Tubular Heat Exchanger Data Sheet/GASKETED Plate Heat Exchanger Data Sheet				
Quotation No. X000123				
DATE:	8/23/2012			
COOLER				
THE Type: multi tube				
Engineer:	AD			
Heat transfer Area per plate, m2	0.39			
Number of effective plates	89			
PHE Type:	AU45			
PROCESS DATA		HOT FLUID	COLD FLUID	

Fluid Name		milk	water	
Allocation		internal	external	
Mass Flowrate, kg/h		15357	30000	
Inlet temp, oC		12	2	
outlet temp, oC		4	5.84	
Flow arrangement		Countercurrent		
Pressure Drop, Calculated bar		2.362473669	3.144675 953	
Density, kg/m3 (avg)		1023.8	1000	
Specific Heat, J/kgK (avg)		3936	4202	
Thermal Conductivity, k, W/mK		0.5340	0.5640	
Viscosity, kg/ms (avg)		0.00305	0.001575	
Velocity, m/s		2	2	
Heat Exchanger Rate (Duty), W		134322.56		
Log Mean Temp Diff, oC		3.699444157		
Clean HTC, W/Km2		1074.44449		
Multi tube Heat Exchanger Specifications				
THE Model		LMT 19-15-3-12		
Connection Side		DN65	DN80	
Tubes length (Module) (approx.) (m)		3		
Number of Modules (Parallel/Series)		1 X12	Total Active Area, m2	34.3 8
Product Contact Surfaces Material		STAINLESS STEEL AISI 316 L		
Other Parts Material		STAINLESS STEEL AISI 316 L		

2.4. DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERIA DE PRODUCTO Y LIMPIEZA EN SITIO

2.4.1. DIMENSIONAMIENTO DE LA TUBERIA DE PRODUCTO

Como el equipo va a trabajar a un caudal nominal de 15,000 l/h es necesario válvulas conexiones y accesorios van a ser bajo la norma SMS en acero inoxidable AISI 304.

$$Q=v*At \quad \text{Ec. 8}$$

Donde:

V es la velocidad del fluido en m/s

At es el área transversal interna de la tubería

Para fluidos líquidos específicamente alimentos se recomienda una velocidad de 2 m/s

$$At = P \cdot D^2 / 4 \quad \text{Ec. 9}$$

De la ecuaciones 8 y 9 se despeja el diámetro de la tubería D

Por lo tanto:

$$At = 15,000 \text{ l/h} / (2 \text{ m/s}) \cdot (1 \text{ m}^3 / 1000 \text{ l}) \cdot (1 \text{ h} / 3600 \text{ s}) \cdot (1000^2 \text{ mm}^2 / 1 \text{ m}^2)$$

$$At = 2083 \text{ mm}^2$$

$$At = P \cdot D^2 / 4$$

$$D = (4 \cdot At / P)^{1/2} \quad \text{Ec. 10}$$

$$D = (4 \cdot 2083 \text{ mm}^2 / P)^{1/2}$$

$$D = 51.5 \text{ mm}$$

Bajo la norma SMS esto corresponde a diámetro de tubería de 2" NPS (Nominal Pipe Size)

O según la notación ISO O DIN se puede especificar como tubería DN 50 (diámetro nominal de 50 mm).

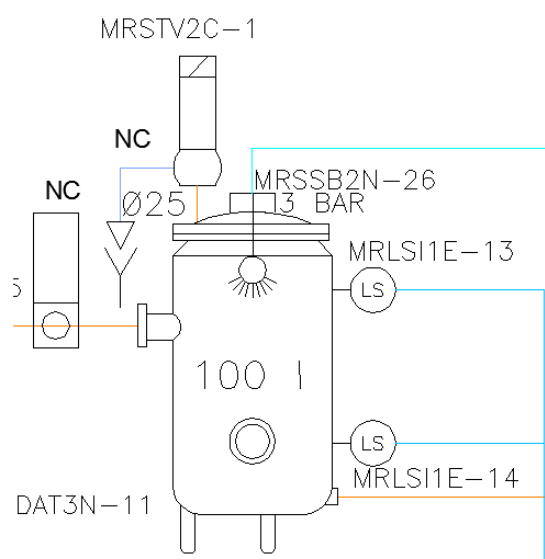


Figura 27 Parte del plano P&I mostrando la unidad de des aireación y sus elementos (ver Anexo 1)

El volumen del tanque se determina en función de un tiempo de acumulación para un definido NPSH (Net Positive Suction Head) CNPA (Carga Neta Positiva en Aspiración). Los cálculos se presentan en la siguiente hoja de Excel

2.5. CALCULO DE LA CABEZA NETA POSITIVA DE SUCCION ANTES DEL TANQUE DE DE-AIREACION

La unidad va a ser diseñada para las condiciones ambientales de Quito es decir:

Tabla 8 Condiciones ambientales en Quito

Variable	Valor
Presión barométrica, bar (abs)	0.71
Temperatura, °C	25

La cabeza neta positiva de succión o por sus siglas en ingles NPSH se calcula con la siguiente Ec.:

$$\text{NPSHa} = \text{Pb} + \text{Ph} - \text{DP} \quad \text{Ec. 11}$$

En donde:

NPSHa es la cabeza neta positiva de succión disponible (available)

Pb es la presión barométrica medida en bares absolutos

Ph es la presión hidrostática ejercida por los tanques a desnivel medida en bares absolutos

Dp es la caída de presión debida a la fricción dentro de la tubería y accesorios, en bares absolutos.

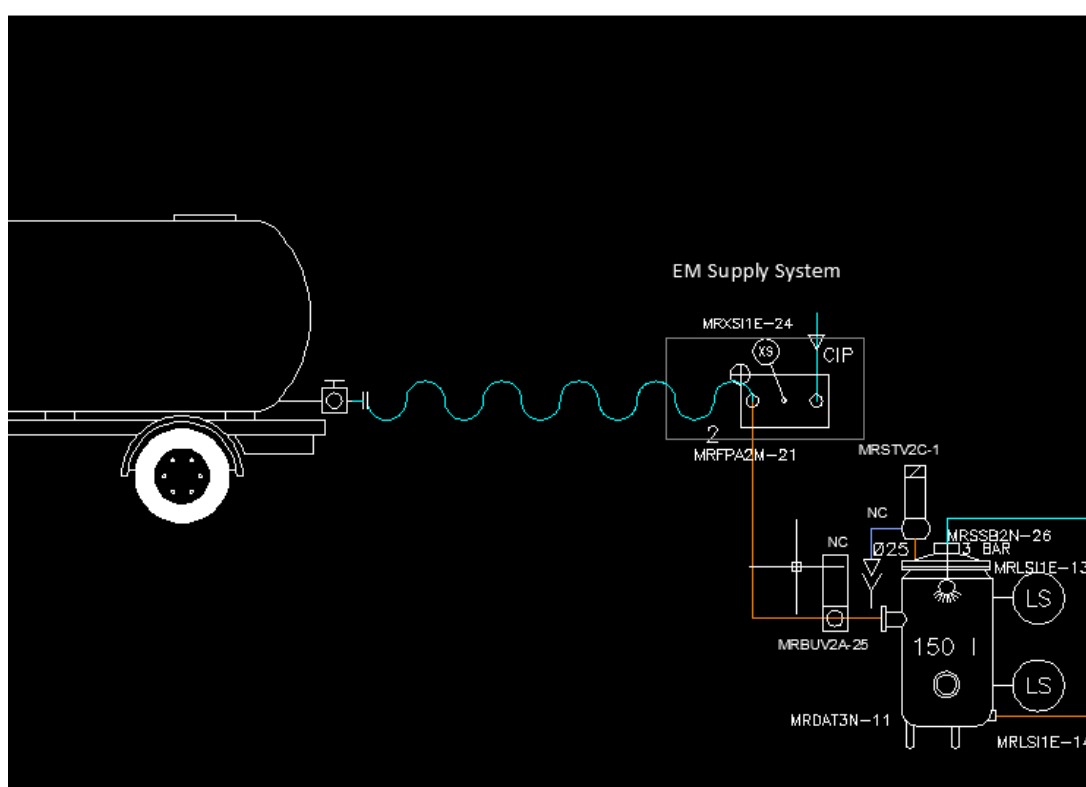


Figura 28 Parte del plano P&I mostrando la conexión del tanquero a la unidad de recepción de leche (ver Anexo 1)

2.5.1. CALCULO DE LA PRESION HIDROSTATICA

$$Ph = \delta * g * h \quad \text{Ec. 12}$$

Ph es la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido

Tabla 9 propiedades de transporte de la leche

Variable	Valor
fluido	Leche

δ , Kg/m ³	995.48
H, mm	1500

$$P_h = 995.48 \text{ kg/m}^3 * 9.8 \text{ m/s}^2 * 1.5 \text{ m} / 1.013 \times 10^5 \text{ bar (abs)}$$

$$P_h = 0.14 \text{ bar (abs)}$$

2.5.2. CALCULO DE LA PRESION BAROMETRICA

La presión barométrica ejercida por el colchón de aire sobre el líquido en el tanque de des-aireación varía en el proceso. Al inicio la presión del colchón es justo la presión barométrica donde geográficamente se encuentra localizado el equipo de proceso. En este caso en Quito, la presión correspondiente es 0.71 bar abs. Al continuar el proceso la bomba centrífuga comienza a producir succión en forma variable a través de un variador de frecuencia.

2.5.3. CALCULO DE LA CAIDA DE PRESION

El cálculo de la caída de presión se hace utilizando un programa de computación específico

APV - PLOS 8.2

SUMMARY OF CALCULATIONS

CHANGE UNITS

Pipe Line 1 | Pipe Line 2 | Pipe Line 3 | Pipe Line 4

Line Size, mm ID	51
Flow Regime	TURBULENT
Reynolds Number	104009.4
Flow velocity (m/s)	2.039
Pressure Drop (bar)	0.121

Flowrate (lph) **15000.00** Viscosity (cP) **1**

TOTAL PRESSURE (bar) **0.121**

VOLUME OF SYSTEM (litres) **11.42**

PRINT RESULTS...

<...Pipe Line Data WARNING MESSAGES Pressure Drops...>

SAVE RESULTS HELP EXIT

Process Data Pipe Line Data Reducers Detailed

OK

Figura 29 Resultados del programa de cálculo de caída de presión de la empresa APV (PLOS 8.2)

2.5.4. CALCULO DE LA CABEZA NETA POSITIVA DE SUCCIÓN

De acuerdo a la ecuación 11

Para determinar la caída de presión desde la descarga del tanquero hasta el panel de distribución de la unidad de recepción de leche.

En donde:

- La tubería es de 51 mm de diámetro
- La distancia desde la toma del tanquero a la conexión de la unidad es de 4641 mm máximo

Los accesorios que se consideran en el diseño son 2 codos de 90 grados y dos válvulas de mariposa

De los cálculos hechos con el programa PLOS 8.2 se tiene que la caída de presión es 0.121 bar (abs), teniendo en cuenta que debe existir un margen de seguridad se pone un factor de 2.

Por lo tanto:

$$DP=k*dp \quad \text{Ec. 13}$$

En donde:

DP es la caída de presión final en bares absolutos

k es el factor de seguridad

$$DP=2*0.121 \text{ bar (abs)}$$

$$DP= 0.242 \text{ bar (abs)}$$

$$NPSHa= P_b+P_h-DP$$

$$P_b=0.71 \text{ bar (abs)}$$

$$P_h=0.14 \text{ bar (abs)}$$

$$NPSHa= 0.71+0.14-0.242$$

$$NPSHa=0.608 \text{ bar (abs)}$$

Esta cabeza neta CNPA disponible corresponde a la alimentación de leche cruda al sistema sin haber producido vacío el sistema.

Otro escenario que se debe considerar es cuando en tanque se está produciendo el vacío en el tanque de des aireación. De la información técnica encontrada en los manuales de equipos comerciales se tiene que un vacío de 0.5 bar (abs) es suficiente para tener una buena eliminación de aire de la leche cruda entrante al tanque. Según estas condiciones se

tiene que:

Tabla 10 Ventana de cálculo y resultados (NPSHa) hecho en Excel

Process Conditions ((1st cycle)	
Calculation of the NPSHa	
water temperature, oC	20
water vapour pressure, bar (abs)	0.023
External pressure, bar (abs)	0.500
height (tank and piping) , mm	1500
pressure drop, bar	0.3
NPSHa, bar (abs)	0.34

De estos dos escenarios se escoge el menor NPSHa; es decir

NPSHa= 0.34 bar (abs)

El efecto de des aireación de la leche es producida la bomba centrifuga que tiene un NPSH requerido mínimo de 0.34 bar (abs)

2.6. ESPECIFICACION DE LA BOMBA

Caudal de 12,000 a 15,000 l/h

NPSHr = 0.34 bar (abs)

Rango de temperatura de trabajo 4 oC hasta 95 oC

2.6.1. CALCULO DE LA CABEZA DE DESCARGA

En base a la Ec. de Bernoulli se tiene la siguiente Ec.:

$$H=v^2/2g \quad \text{Ec. 14}$$

En donde:

H= es la cabeza de descarga en m

v= es la velocidad periférica del impulsor

g= es la constante de gravedad, 9.8 m/s²

Por otro lado la velocidad periférica del impulsor se puede calcular según la siguiente Ec.:

$$v=r*w=D/2*w \quad \text{Ec. 15}$$

D= el diámetro del impulsor es 175 mm

w = velocidad angular, 1/s

N=3600 RPM

$v=175/2/1000*3600*2\pi/60$ m/s

v= 32.99 m/s

$H= (32.99)^2/2/9.8$

H= 56 m

2.6.1.1. Calculo de la potencia de la bomba

$$\text{Potencia} = Q \times H_t \times \text{dens} \times g/E, \text{ en w o hp} \quad \text{Ec. 16}$$

En donde:

Q= caudal en l/h

Ht es la cabeza diferencial = H-NPSHr en m

Dens es la densidad del líquido a bombear en kg/m³

g es la constante de gravedad 9.8 m/s²

E es la eficiencia de la bomba

Potencia= $15,000 \text{ l/h} \cdot (56-3.4) \text{ m} \cdot 995.48 \text{ kg/m}^3 \cdot 9.8 \text{ m/s}^2 / 1000$

$\text{l} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{h} / 3600 \text{ s}$

Potencia = 2138 w

Potencia= $2138 \text{ w} / 746 \cdot 1 \text{ hp}$

Potencia= 3 hp

2.7. DETERMINACION DEL VOLUMEN DEL TANQUE

2.7.1. CALCULO DE LA CONCENTRACIÓN DE AIRE EN LA LECHE CRUDA

Considerando a la leche como una solución ideal, se puede estimar la cantidad de aire que contiene basándonos en la ley de Henry. Esta ley enuncia que a una temperatura constante la cantidad de gas disuelta en un líquido es directamente proporcional a la presión parcial que ejerce este gas sobre el líquido.

$$C_i = P_i / K_{Hi} \quad \text{Ec. 17}$$

En donde:

C es la solubilidad del gas disuelto

P_i es la presión parcial del gas

K_{Hi} es la constante de proporcionalidad y depende de la naturaleza del gas y del solvente

2.7.2. CALCULO DE LA PRESION PARCIAL DE LOS GASES DEL AIRE

Por otro lado la presión parcial del oxígeno y nitrógeno se puede calcular por la ley de Dalton o ley de las presiones parciales.

$$P_t = \sum P_i \quad \text{Ec. 18}$$

En donde:

P_i es la presión parcial de cada gas componente en bares

P_t es la presión total en bares

la presión total de un mezcla de gases es igual a la sumatoria de sus presiones parciales

Por otro la presión parcial de un gas contenido en un recipiente se puede calcular con la siguiente Ec.:

$$P_i = X_{Mi} \cdot P_t \quad \text{Ec. 19}$$

En donde:

X_{Mi} es la fracción molar de cada gas

La presión parcial de un gas es igual a la multiplicación de su fracción molar por la presión total.

2.7.3. DETERMINACION DE LA SOLUBILIDAD DEL AIRE EN AGUA

En este caso la fracción molar es numéricamente igual a la fracción volumétrica del gas, es decir

$$X_{Mi} = X_{vi} \quad \text{Ec. 20}$$

Por lo tanto:

$$P_i = X_{vi} \cdot P_t \quad \text{Ec. 21}$$

$$C_i = X_{vi} \cdot P_t / K_{Hi} \quad \text{Ec. 22}$$

En donde:

C_i es la concentración parcial del gas en el liquido en g/l

X_{vi} es la fracción volumétrica

K_{Hi} es las constante de solubilidad Henry en bar/(mol/l)

De ahí que se tiene que:

La solubilidad del oxigeno en agua es más alta que la solubilidad del nitrógeno.

El aire disuelto en agua contiene aproximadamente 35.6 % de oxigeno comparando con un 21% en el aire

La constante de la ley de Henry a una temperatura de 25oC para:

Oxígeno-O₂: 756.7 atm/(mol/litro)

Nitrogeno-N₂: 1600 atm/(mol/litro)

Estos datos se pueden resumir en la siguiente tabla

Tabla 11 Ventana de cálculo y resultados concentración de aire en la leche hecho en Excel

external pressure, bar (abs)	1	
Internal vessel pressure, bar (abs)	0.500	
air component	oxygen	nitrogen
KH, bar/(mol/l)	756.7	1600
Mw, g/mol	31.99	28.01
XM	0.21	0.79
partial pressure, bar (abs)	0.105	0.395
partial concentration, g/l	0.004438945	0.006914969

2.7.4. CALCULO DE LA CONCENTRACION DE AIRE EN AGUA

La concentración de aire en la leche sería la sumatoria de las concentraciones parciales de oxígeno y nitrógeno

$$C_t = \sum C_i \quad \text{Ec. 23}$$

En donde:

C_i es la concentración parcial del gas en el líquido en g/l

C_t es la concentración total de aire en el líquido

Se tiene:

$$C_t = 0.004438945 + 0.006914969$$

$$C_t = 0.011353914 \text{ g Aire/litro de leche}$$

2.7.5. CALCULO DEL VOLUMEN DE AIRE EXTRAIDO

Como sabemos que el caudal de alimentación nominal al tanque es de 15,000 l/h podemos determinar la cantidad máxima de aire extraído en litros por hora

$$\text{Aire extraído(l/h)} = Q(\text{l/h}) * C_t (\text{g/l}) / \text{densG}(\text{kg/m}^3) \quad \text{Ec. 24}$$

En donde:

Q es el caudal nominal de la unidad de recepción

Ct es la concentración de aire en la leche cruda

densG es la densidad del aire

Aire extraído=15,000 l/h*0.011353914

g/l/(0.6kg/m³)/1000g*1kg*1000l/1m³

Aire extraído= 283.8 l aire/h

2.7.6. CALCULO DEL VOLUMEN DE ACUMULACION

Sabiendo cuanto es la producción de aire extraído se puede determinar el volumen del tanque para un tiempo de acumulación de aire de 10 minutos

$$\text{Vacum} = \Phi_{\text{acum}} * \text{Aire extraído} \quad \text{Ec. 25}$$

En donde:

Φ_{acum} es el tiempo de acumulación en minutos

Vacum es el volumen de acumulación en litros

Vacum=10 min*283.8 l aire/h*1 h/60 min

Vacum=47 l

Por otro lado se debe considerar el volumen de expansión o de efecto de vacío. Este volumen corresponde desde el nivel alto hacia el nivel bajo.

Se asume un volumen de expansión de 40 litros

2.7.7. CALCULO DEL VOLUMEN TOTAL DEL TANQUE

Por lo tanto el volumen total del tanque de des-aireación es:

$$\text{Vt} = \text{Vacum} + \text{Vexp} \quad \text{Ec. 26}$$

Vt=40+47 l

Vt=87 l

2.7.8. CALCULO DEL TIEMPO DE RESIDENCIA DE EXPANSION

Volumen retenido=Vexp=40 l

$$\Phi_{exp} = V_{exp}/Q(l/h) \text{ Ec. 27}$$

En donde:

Φ_{exp} es el tiempo de residencia de expansión

V_{exp} es el volumen de expansión, 40 l

$$\Phi_{exp} = 40 \text{ l} / 15,000 \text{ l/h} / 1 \text{ h} * 3600 \text{ s}$$

$$\Phi_{exp} = 9.6 \text{ s}$$

2.7.9. CALCULO DEL NUMERO DE CICLOS DE ACUMULACION

$$\text{No.Ciclos} = \Phi_{acum} / \Phi_{exp} \quad \text{Ec. 28}$$

$$\text{No.Ciclos} = 10 \text{ min} / 9.6 \text{ s} / 1 \text{ min} * 60 \text{ s}$$

$$\text{No. Ciclos} = 63$$

2.8. ESPECIFICACION Y DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE

Como se había dicho anteriormente el tanque va a trabajar al vacío; por lo tanto se va a diseñar bajo el código ASME SECCION VIII DIV 1.

Debido que es un equipo para uso con alimentos líquidos altamente perecibles se va a diseñar bajo criterios de diseño higiénico (Hygienic Equipment Design Criteria/**European Hygienic Engineering & Design Group** (EHEDG) y ASME- BPE-2009 ASME Bioprocessing Equipment)

También es necesario indicar que los equipos de procesos para alimentos líquidos se construyen bajo la norma (tuberías, accesorios y elementos de conexión de proceso) SMS, DIN, BS.

Descripción general de los elementos del tanque que deben tener:

- Una brida para soportar presiones de 10 bares PN 10
- Dos mirillas para poner calibrar fácilmente los interruptores de nivel bajo y alto
- Conexiones para limpieza en sitio (bola de aspersion estática)

- Dispositivo anti vórtice
- La entrada de producto al tanque será tangencial
- Todas la conexiones de proceso van a ser bajo la norma SMS (Swedish Milk Standard)
- Todos los elementos, conexiones, tuberías y accesorios son de acero inoxidable 304
- Los elementos a soldar serán hechos por el proceso TIG (TUGSTEN INERT GAS)

2.8.1. DIMENSIONAMIENTO PRELIMINAR DEL TANQUE DE DESAIREACION

Primeramente se hace un cálculo aproximado de las dimensiones del tanque, considerando que es un tanque que tiene dos tapas cónicas con las siguientes especificaciones:

- La relación altura//diámetro $H/D=1.75$
- Angulo de depresión= 15°
- El volumen del tanque es 87.53

En base a esto se tienen los siguientes resultados dados en la tabla

Tabla 12 Cálculo aproximado del volumen del tanque de des aireación (tapas cónicas) en Excel
Calculation of the main tank dimensions based in tank volume and H/D RATIO

tank	1
product	milk
v, litres	87.53
V, m3	0.0875
ratio H/D	1.75
depression angle, o	15
depression angle, radians	0.2618
α fall, o	150
α fall, radians	2.62
D, mm	406
H (cone+cylinder), mm	711
h cone, mm	54
h cylinder, mm	657
RATIO h cylinder/D	1.62

2.8.2. DIMENSIONAMIENTO DEFINITIVO DEL TANQUE DE DESAIREACION

Con estos datos se procede a determinar las dimensiones definitivas del tanque de des aireación pero esta vez utilizando dos tapas torisfericas tipo Klöpfer/ Korbboogen/Flanged & Dished
Se selecciona la cabeza torisferica tipo Klöpfer

Tabla 13 Verificación del volumen del tanque con tapas torisfericas en Excel

Calculation of the torispherical vessel volume	
product	Milk
density prod, kg/m3	1000
D, mm	406
RATIO H/D	1.75
H (cylinder+cap), mm	710.5
h cap, mm	89
h cylinder, mm	622
surface cylinder, m2	1
Vcap, m3	0.01
Vcylinder, m3	0.08
RATIO h cylinder/D	1.53
TOTAL VOLUME, m3	0.10

El volumen total del tanque es 100 litros.

2.8.3. ESPECIFICACION DE ALIMENTACIÓN DE CIP AL TANQUE DE DESAIREACION

El tanque de de aireación es lavado a través de una bola de aspersion estática la cual tiene que ser especificada.

Primeramente es necesario calcular el caudal de lavado del tanque según la siguiente ecuación:

$$Qtq=K*C_{tank} \quad \text{Ec. 29}$$

Donde:

K es la constante empírica de lavado, su valor es 1490 l/(h*m)

C_{tank} es la circunferencia del tanque a lavar

La circunferencia del tanque se determina como sigue:

$$C_{\text{tank}}=P*D \quad \text{Ec. 30}$$

$$C_{\text{tank}}=3.14*406 \text{ mm}$$

$$C_{\text{tank}}=1275.58 \text{ mm}$$

$$Q_{\text{tq}}=1490 \text{ l/(h*m)}*1275.58 \text{ mm}*(1\text{m}/1000\text{mm})$$

$$Q_{\text{tq}}=1900 \text{ l/h (caudal mínimo de lavado CIP)}$$

Calculo del diámetro de la tubería de alimentación CIP

$$Q=v*At \quad \text{Ec. 31}$$

Donde:

V es la velocidad del fluido en m/s

At es el área transversal interna de la tubería

Para fluidos líquidos específicamente soluciones de limpieza se recomienda una velocidad de 2.5 m/s

$$At=P*D^2/4 \quad \text{Ec. 32}$$

De la ecuaciones 1 y 2 se despeja el diámetro de la tubería D

Por lo tanto:

$$At=1900 \text{ l/h}/(2.5 \text{ m/s})*(1\text{m}^3/1000\text{l})*(1\text{h}/3600\text{s})*(1000^2\text{mm}^2/1\text{m}^2)$$

$$At=211.11 \text{ mm}^2$$

$$At=P*D^2/4$$

$$D=(4*At/P)^{(1/2)} \quad \text{Ec. 33}$$

$$D=(4*211.11\text{mm}^2/P)^{(1/2)}$$

$$D=16.39 \text{ mm}$$

Bajo la norma SMS esto corresponde a diámetro de tubería de NPS 1/2" o DN 15

Debido a disponibilidad tanto de tubería como válvulas se decide en utilizar tubería de mayor diámetro siendo DN 25 (NPS 1") el escogido

Re calculado el caudal de lavado del tanque:

$$Qtq \text{ (corr)} = v * P * D^2 / 4 \quad \text{Ec. 34}$$

En donde:

Qtq es el caudal de lavado del tanque de des aireación

Qtq(corr) es el caudal de lavado del tanque de des aireación corregido

$$Qtq \text{ (corr)} = 2.5 \text{ m/s} * P * (25/1000 \text{ m})^2 / 4 * (1000 \text{ l/m}^3) * (3600 \text{ s/1h})$$

$$Qtq \text{ (corr)} = 4418 \text{ l/h}$$

2.9. CALCULO DEL DIAMETRO DE TUBERIA DEL AGUA DE ENFRIAMIENTO

$$QH2O = v * At \quad \text{Ec. 35}$$

$$At = QH2O / v \quad \text{Ec. 36}$$

$$D = (4 * Q / v * P)^{1/2} \quad \text{Ec. 37}$$

Donde:

QH2O es el caudal del agua: 30,000 l/h

v es la velocidad del agua: 2 m/s

At es el área transversal de la tubería de alimentación de agua en m²

D es el diámetro de la tubería en mm

$$D=(4*30000l/h/2m/s/P*(1m^3/1000l*(1h/3600s))^{(1/2)}*(1000mm/1m)$$

$$D=72.8 \text{ mm}$$

Se escoge una tubería de DN 80 (3")

El plano de especificación del tanque de des-aireación se muestra el plano adjunto que está en el [Anexo 2](#)

3. CAPITULO DISEÑO DE COMPONENTES MECANICOS Y ELECTRONEUMATICOS

3.1. DISEÑO MECANICO DEL TANQUE DE DESAIREACION

3.1.2. CALCULO DE LOS ESPESORES MINIMOS DEL TANQUE DE DESAIREACION

El tanque va a trabajar principalmente a presión externa, sin embargo también trabajara a presión interna. La presión máxima externa será 1 bar absoluto (vacío perfecto) y a presión interna 10 bares absolutos. Según el código ASME si un recipiente va trabajar tanto a presión externa como a presión interna, indica que no es necesario diseñar el tanque a presión externa siempre y cuando se lo haya diseñado de acuerdo a la norma correspondiente para presión interna. Sin embargo no se indicara en la placa de especificación la norma para presión externa UG-28. Esta norma es aplicable a temperaturas superiores a -29 °C. El rango de temperatura que va a trabajar este tanque está bien por encima de este valor (4 °C hasta 95 °C).

3.1.3. PRESIÓN DE PRUEBA

Los recipientes de una sola pared diseñados para vacío o vacío parcial, deberán someterse a una prueba hidrostática interna. La prueba hidrostática. La presión de prueba deberá ser 1 ½ veces la diferencia entre la presión atmosférica normal y la presión interna absoluta mínima de diseño.

3.1.4. CALCULO DE LA PRESION MAXIMA PERMISIBLE DE TRABAJO (MAWP)

El tanque de des aireación va a trabajar en dos escenarios; el primero en producción al vacío y en el segundo escenario en limpieza.

- En producción el tanque va a estar al vacío a una presión absoluta de 0.5 bares
- En limpieza el tanque va a trabajar a presión interna.
- Por estas razones se va a calcular la presión máxima permisible de trabajo. Primeramente a presión interna (1er escenario) y posteriormente el MAWP en el segundo escenario.

Nota: En ciertos casos realmente es necesario utilizar siglas en inglés para ciertos procesos, procedimientos y variables debido a su universalidad en su uso. Además es fácil encontrar información técnica importante en el internet.

Tabla 14 Cálculo de la presión máxima de diseño MAWP en Excel

INTERNAL PRESSURE	
fluid	milk
Sterilisation temperature, oC	95
Sterilisation pressure, bar (abs)	0.85
internal pressure (air cushion), barg	0.85
Barometric Pressure, bar	1
internal pressure (air cushion), bar (abs)	1.85
height (bottom + cylinder), mm	710.5
density, kg/m ³	1013
hydrostatic pressure, bar	0.07
feeding pressure, bar (pump)	6
maximum allowable working pressure, bar	7.92
safety factor	1.3
MAXIMUM DESIGN PRESSURE, bar	10.30
MAXIMUM DESIGN PRESSURE, PSIA	151.34

El cálculo del MAWP se hace con la siguiente Ec.:

$$\text{MAWP} = P_b + P_v + P_h + P_{bom} \quad \text{Ec. 38}$$

Donde MAWP, P_b , P_v , P_h , P_{bom} son en bares absolutos

Ph es la presión hidrostática de la columna de agua del tanque

Pbom es la presión de descarga del sistema de limpieza CIP, 6 bares abs.

Pb es la presión barométrica

Pv es la presión de vapor de las soluciones de químicos de limpieza a la temperatura de esterilización.

3.1.4.1. Calculo de la presión hidrostática

$$Ph = \delta * g * h \quad \text{Ec. 39}$$

Ph es la presión hidrostática ejercida por la columna de líquido

Tabla 15 Condiciones de transporte de químicos de limpieza

Variable	Valor
fluido	Solución de limpieza
δ , Kg/m ³	995.48
H, mm	710.15

En donde:

δ es la densidad de las soluciones de limpieza

g es aceleración de la gravedad, 9.8 m/s²

Ph= 995.48 kg/m³*9.8m/s²*.71015 m/1.013e5*1bar (abs)

h es la altura hidrostática, mm

Ph=0.068 bar (abs)

3.1.4.2. Calculo de la presión de vapor de la solución CIP

A la temperatura de esterilización la presión de vapor es 0.854 bar (abs) en equilibrio (ver tabla de vapor)

Por lo tanto la máxima presión permitida de trabajo es:

$$\text{MAWP} = P_b + P_v + P_h + P_{bom}$$

$$\text{MAWP} = 1 + 0.854 + 0.068 + 6$$

$$\text{MAWP} = 7.922 \text{ bar (abs)}$$

Para este cálculo se considera un factor de seguridad de un 30%

$$\text{MAWP}(\text{final})=1.3 \cdot 7.922$$

$$\text{MAWP}(\text{final})=10.298 \text{ bar (abs)}$$

$$\text{MAWP}(\text{final})=151.38 \text{ PSia}$$

3.1.5. CALCULO DEL ESPESOR MÍNIMO DEL CASCO CILÍNDRICO

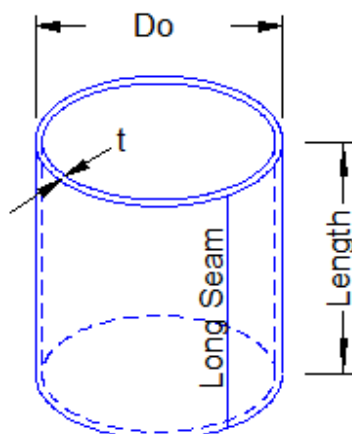


Figura 30 Bosquejo de ubicación de la costura longitudinal

Aplicando la Ec. siguiente en función de las dimensiones interiores:

$$t = P \cdot R / (S \cdot E - 0.6 \cdot P)^{13} \quad \text{Ec. 40}$$

Donde:

t es el espesor del casco cilíndrico (thickness) en pulgadas

P es la presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida en lbf/pulg²

R es el radio interior en pulgs

S es el esfuerzo máximo admisible de trabajo a la tensión del material a la temperatura de trabajo en lbf/pulg²

E es la eficiencia de la junta

Utilizando la nomenclatura de este documento:

$$t_c = \text{MAWP} \cdot (\text{ID}/2) / (\sigma_d \cdot E_f - 0.6 \cdot \text{MAWP}) \quad \text{Ec. 41}$$

Donde:

Tc= es el espesor del casco cilíndrico en plgs

¹³ Eugene F. Megyesy, Manual de Recipientes a presión Diseño y Calculo, LIMUSA NORIEGA EDITORES

MAWP es la presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida en lbf/pulg²

ID es el diámetro interno del tanque en consideración en plgs

σ el esfuerzo máximo admisible de trabajo a la tensión del material a la temperatura de trabajo lbf/pulg²

Ef es la eficiencia de la junta

Para calcular el espesor es necesario calcular con anticipación tanto la eficiencia de la junta como el esfuerzo máximo admisible de trabajo a la tensión del material.

3.1.6. DETERMINACIÓN DE EFICIENCIA DE LA JUNTA

Dependiendo del tipo junta se determina su eficiencia, de la bibliografía consultada se tiene que Ef=0.6

Por otro lado el esfuerzo máximo admisible de trabajo a la tensión se calcula con la siguiente ecuación (**Ultimate tensile strength (UTS), tensile strength (TS) or ultimate strength (tensión última a la cedencia o tensión a la rotura)**):

$$\sigma_d = S_u / N \quad \text{Ec. 42}$$

Material: acero inoxidable AISI 304

Su tensión a la rotura es 70,000 lbf/plg²

3.1.7. FACTOR DE DISEÑO

Los criterios para esfuerzo de diseño; esfuerzos normales directos. N con base a la resistencia última. Cabe indicar que el factor de diseño es llamado por algunos autores como **factor de seguridad**.

Tabla 16 Factores de diseño recomendados¹⁴

type of load	ductile material	brittle material
type of factor	N	N

¹⁴ Robert L. Mott, "Resistencia de Materiales Aplicada", 3ra Ed., Prentice Hall, México, 1996, pág. 87

statics	2	6
repeated	8	10
impact or crash	12	15

Como el tanque va a trabajar en ciclos de vacío 63 descargas en 10 minutos ($f=0.105$ 1/s) a una temperatura aproximada de 10 °C se decide un factor de diseño de 4

Por lo tanto:

$$\sigma_d = S_u/N$$

$$\sigma_d = 70,000 \text{ PSI}/4$$

$$\sigma_d = 17,500 \text{ PSI}$$

En consecuencia el espesor del casco cilíndrico es:

$$t_c = \text{MAWP} \cdot (\text{ID}/2) / (\sigma_d \cdot E_f - 0.6 \cdot \text{MAWP})$$

$$t_c = 151.38 \text{ PSI} \cdot (406/2 \text{ mm}) / (17,500 \text{ PSI} \cdot 0.6 - 0.6 \cdot 151.38 \text{ PSI}) \cdot (1 \text{ plg}/25.4 \text{ mm})$$

$$t_c = 0.116 \text{ plgs}$$

$$t_c = 3 \text{ mm}$$

Por otro lado se debe considerar un espesor adicional de seguridad por corrosión.

De ahí el espesor final sería:

$$t_{\text{final}} = t_c + CA \quad \text{Ec. 43}$$

Donde C es la pérdida de material por corrosión

$$C = .75 \text{ mm}$$

$$t_{\text{final}} = 3.75 \text{ mm}$$

3.1.8. CALCULO DEL ESPESOR MINIMO DE LA CABEZA TORISFERICA TIPO ASME BRIDADA Y ALABEADA (ASME F&D HEAD)

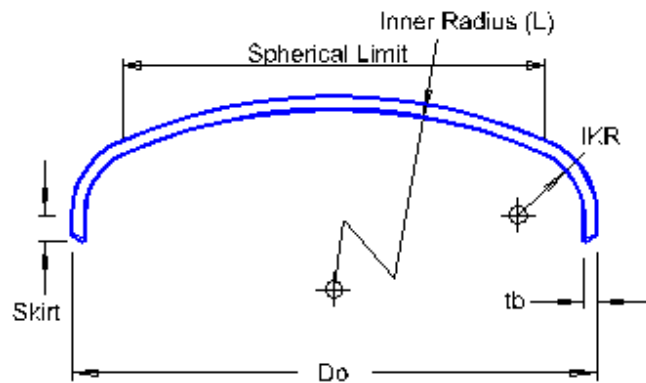


Figura 31 Bosquejo básico de una cabeza torisférica y sus partes

Aplicando la Ec. siguiente en función de las dimensiones interiores:

Para el cálculo del espesor de pared de la cabeza torisférica F&D hay dos posibilidades esto de acuerdo con el valor de L/R

$$\text{Cuando } L/r = 16 \frac{2}{3} = 16.667 \quad \text{Ec. 44}$$

M es un factor que depende de la relación L/r

$$\rightarrow t = M \cdot P \cdot L / (S \cdot E - 0.1 \cdot P) \quad \text{Ec. 45}$$

Donde:

L es el radio interior del casquete en pulgs (ver figura 32)

r es el radio interior de las curvaturas en plgs

t es espesor de la cabeza torisférica en plgs

Presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida en lbf/plg²

S valor del esfuerzo del material en lbf/plg²

E eficiencia de la junta

Utilizando la nomenclatura de este documento:

$$t_h = 0.885 \cdot MAWP \cdot L / (\sigma_d \cdot E_f - 0.1 \cdot MAWP) \quad \text{Ec. 46}$$

Donde:

t_h = es el espesor del casco cilíndrico en plgs

MAWP es la presión de diseño o presión máxima de trabajo permitida en lbf/pulg²

L es el radio interior del casquete del tanque en consideración en plgs
 σ_d el esfuerzo máximo admisible de trabajo a la tensión del material a la temperatura de trabajo en lbf/pulg²

Ef es la eficiencia de la junta

Para calcular el espesor es necesario calcular con anticipación tanto la eficiencia de la junta como el esfuerzo máximo admisible de trabajo a la tensión del material.

3.1.8.1. Determinación de eficiencia de la junta

Dependiendo del tipo junta se determina su eficiencia, de la bibliografía consultada se tiene que $E_f=0.85$

$$\sigma_d = S_u/N \quad \text{Ec. 47}$$

Material: acero inoxidable AISI 304

Su tensión a la rotura es 70,000 lbf/plg²

$$\sigma_d = 70,000 \text{ PSI}/4$$

$$\sigma_d = 17,500 \text{ PSI}$$

En consecuencia el espesor del casco cilíndrico es:

$$L = OD = ID + 2 \cdot t_c$$

$$L = 406 + 2 \cdot 4$$

$$L = 504 \text{ mm}$$

$$t_h = 0.885 \cdot MAWP \cdot L / (\sigma_d \cdot E_f - 0.1 \cdot MAWP)$$

$$t_h = 0.885 \cdot 151.38 \text{ PSla} \cdot 504 \text{ mm} / (17,500 \text{ PSI} \cdot 0.85 - 0.1 \cdot 151.38 \text{ PSla}) \cdot (1 \text{ plg} / 25.4 \text{ mm})$$

$$t_h = 0.173 \text{ plgs}$$

$$t_h = 4.38 \text{ mm}$$

De ahí el espesor final sería:

$$t_{\text{final}} = t_h + CA$$

Donde CA es la pérdida de material por corrosión

$$C = .75 \text{ mm}$$

$$t_{\text{final}} = 5.13 \text{ mm}$$

3.2. LISTA DE MATERIALES DEL TANQUE DE DESAIREACION (MRDAT3N-11)

Esta lista fue extraída del plano de fabricación del tanque de des aireación (ver [anexo 2](#))

Tabla 17 lista de partes del tanque de des aireación extraído del plano de especificación

BILL OF MATERIALS					
ITEM:	MRDAT3N-11				
Count	Name	DESCRIPTION	NUMERATI ON	QUANTI TY	SIZE
1	part numeration	neplo SMS 50 mm long.	12	2	DN 20
1	part numeration	placa de especificación 1 espesor 3 mm	13	1	75X75 mmxmm
1	part numeration	neplo SMS 150 mm long.	11	1	DN 50
1	part numeration	bola de aspersion estatica	19	1	DN 20
1	part numeration	mirilla de vidrio tipo union SMS (LS mirilla es opcional)	14	2	DN 65
1	part numeration	patas fijas soldadas	17	3	DN 50
1	part numeration	placa base	18	3	DN 50
1	part numeration	codo de 90o corto	15	1	DN 50
1	part numeration	anti vortices	16	1	DN 50
1	part numeration	union SMS	10	1	DN 50
1	part numeration	neplo SMS 200 mm long.	3	2	DN 20
1	part numeration	neplo SMS 150 mm long.	4	1	DN 50
1	part numeration	juego de perno, arandela de presion y tuerca	1	16	M20X60
1	part numeration	tapa torisferica bridada ASME o (Korbogen)	2	2	ID 460 mm
1	part numeration	neplo SMS 250 mm long. aprox.	5	1	DN 50
1	part numeration	plancha barolada	8	1	DN 400
1	part numeration	union SMS	9	3	DN 20
1	part numeration	manija, varilla acero inox. 162 mm aprox.	6	2	diam. 15
1	part numeration	brida en acero inox. EN 1092-1	7	1	DN 400

3.3. DISEÑO MECANICO DEL PANEL DE FLUJO

La unidad de recepción de leche tiene un panel de flujo bastante sencillo apenas tiene 2 puertos; el uno para el ingreso de la leche cruda a tratar y el otro para la alimentación de los líquidos de limpieza CIP

El plano de fabricación del panel de flujo está localizado en el **Anexo 3**

3.3.1. LISTA DE MATERIALES PANEL DE FLUJO (MRFPA2M-21)

Habiendo hecho una extracción de datos del plano de fabricación del panel flujo MRFPA2M-21

Se tienen la Tabla 18:

Tabla 18 Lista de materiales del panel de flujo

BILL OF MATERIALS				
ITEM:	MRFPA2M-21			
NAME	DESCRIPTION	NUMERATION	QUANTITY	SIZE
PART NUMERATION	PLACA BASE 6,4 MM ESPESOR	7	2	80X80 MM*MM
PART NUMERATION	ESTRUCTURA SOPORTE DE TUBO CUADRADO SS 304 2394 MM LONG.	6	1	40X40 MM*MM
PART NUMERATION	PLACA PANEL	8	1	320X186X3 (MM)*3
PART NUMERATION	JUEGO DE PERNO DE ANCLAJE, TUERCA Y ARANDELA	9	4	M10X1.5
PART NUMERATION	SENSOR DE PROXIMIDAD	5	1	
PART NUMERATION	UNION UNIVERSAL SMS	2	2	DN 50
PART NUMERATION	JUEGO PERNO TUERCA Y ARANDELA	1	4	M10X1.5
PART NUMERATION	NEPLO 100 MM LONG.	4	2	DN 50
PART NUMERATION	CODOS 90O	3	2	DN 50

3.4. PLANO DE MODELADO DE LA UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE

Ver Anexo 13-1, 13-2 y 13-3

3.5. LISTA DE MATERIALES DE ESTRUCTURA SOPORTE

En base al plano de ensamblaje (**ver Anexo 4**)

3.6. LISTA DE MATERIALES DE INTERCONEXION DE LA UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE

En base a los planos isométricos (**ver Anexo 5,6 y 7**) se crea la lista siguiente:

Tabla 19 Lista de materiales de interconexión (MRU)

BILL OF MATERIALS						
MILK RECEPTION UNIT INTERCONNECTION						
COMSUMPTION OF PIPING						
Material	SS 304					
Standard	SMS					
Descripcion:						
tanque de desaireacion						
No. de tramo de tuberia	1					
longitud, mm	DN	longitud, mm	DN	longitud, mm	DN	
201	50	437.1	25	150	80	
248.5	50	381.5	25	300	80	
100	50	50	25	450	SUMATORIA	
125.8	50	46	25			
164	50	995	25			
126	50	1909.6	SUMATORIA			
200	50					
164	50					
125	50					
1454.3	SUMATORIA					

Tipo de Accesorio	DN	Cantidad
codos 90o	50	8
codos 90o	25	5
codos 90o	80	5
unión universal	50	4
T	50	2
reducción	40/50	1
reducción	25/50	1
reducción	50/80	2

3.7. PLANOS ISOMETRICOS

Ver el Anexo 5,6,7

3.8. ESPECIFICACION DE SOLDADURA DE LA UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE (NO INCLUIDO EL TANQUE DE DESAIREACION)

Ver en el Anexo 8,9 y 10

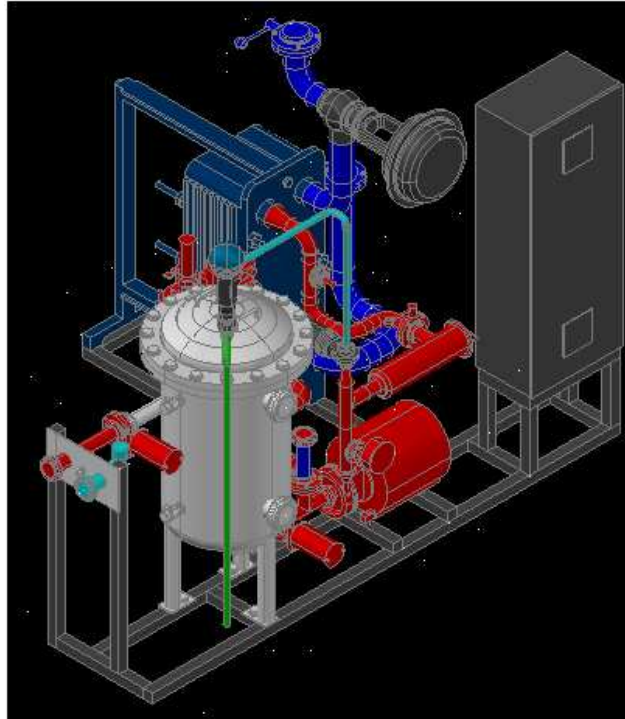


Figura 32 modelaje de la unidad de recepción de leche en Autocad

3.9. ESPECIFICACION DE SOLDADURA DEL TANQUE DE DESAIREACION

Ver el plano de fabricación del tanque (ver Anexo 11)

3.10. PLANOS DE CONJUNTO

En base de toda la información desarrollada en el diseño mecánico como también en el diseño del proceso se hace necesario resumir toda información en planos de conjunto indicando tanto la ubicación de todos los elementos del equipo de proceso como también sus dimensiones máximas para su implantación en una fábrica (Ver Anexos 13-1, 13-2 y 13-3)

4. CAPITULO

DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMATIZADO

4.1. DEFINICION DE VALORES DE CONTROL

4.1.1. UNIDAD DE ENFRIAMIENTO

El caudal de alimentación de la leche cruda es definido (controlado) por el variador de frecuencia y este a su vez por el ciclo de des-aireación (interruptores de nivel alto y bajo)

$$Q_{leche} = f(Sy, FT)$$

$$Sy = f(LSH, LSL)$$

BALANCE IDEAL DE CALOR

$$H_{leche} = -H_{agua} \quad \text{Ec. 48}$$

$$Dens1 * m1v * Cp1 (Tsp - Te1v) = -Dens2 * m2f\{m1v\} * Cp2 * (Ts2f\{m1v\} - Te2) \quad \text{Ec. 49}$$

El caudal de alimentación de agua de enfriamiento es definida (controlada) por la válvula de regulación y esta a su vez de por el transmisor de flujo.

4.2. CARACTERISTICAS GENERALES DE CADA MODULO DE PROCESO

La unidad de recepción de leche tiene una capacidad nominal de producción de 15,000 l/h sin embargo fue diseñada para una capacidad un poco menor es decir 12,000 l/h (Especificación del Plan Funcional S88 (FDS)).

4.2.1. FUNCIONES DE CADA MODULO

4.2.1.1. Producción (Production)

- Este modulo coordina tres módulos internos en secuencia como son:
- Llenado de tanque
- Des aireación
- Enfriamiento
- Medición
- Empuje de leche con agua

4.2.1.1.1. Llenado de tanque (Tank filling)

El objetivo de este modulo es tener siempre lleno el tanque balance para que se proceda a la próxima etapa que es de la des aireación, esta etapa es cíclica y es parte del modulo de producción. Además el llenado de tanque puede ser activado independientemente (calibración).

4.2.1.1.2. Ciclo de des aireación (Deaeration cycle)

Este modulo trabaja en tres regiones de descarga. La desaireación se hace a través de la bomba de producto y los controles de nivel. Las regiones de des aireación es como sigue:

- Nivel alto, caudal 12,000 l/h a altura diferencial de 206 mm
- Nivel medio, caudal 9600 l/h a altura diferencial de 103 mm
- Nivel bajo, caudal 7200 l/h a altura diferencial de 103 mm
- Este modulo trabaja cíclicamente mientras se alimenta con leche desde los tanqueros

- La descarga de aire se hace cada 63 ciclos de des aireación
- Es una etapa intermedia y cíclica del modulo de producción

4.2.1.1.3. *Enfriamiento (Cooling)*

Este modulo trabaja en coordinación con los módulos de llenado de tanque y des aireación de tanque en conexión secuencial a través de la bomba de producto. Sin embargo por motivos de calibración y/o prueba se puede trabajar en conjunto con el modulo de enjuague.

4.2.1.1.4. *Medicion (Measuring)*

Este modulo se encarga de medir el caudal a tiempo real, verificar y totalizar la leche procesada y/o enviar registro diario a través de un sistema SCADA.

4.2.1.1.5. *Empuje de leche (Push Of milk)*

El objetivo de este modulo es extraer la leche sobrante en la línea después que ha finalizado el modulo de des aireación, es la última etapa del proceso/modulo de producción. Este modulo es activado manualmente.

4.2.1.2. Limpieza en sitio a través de unidad externa (By external CIP)

Este modulo es pasivo, es decir que depende de una fuente externa de limpieza. El modulo permite que la unidad de recepción de leche esté lista para recibir los químicos de limpieza y se

complete el circuito de limpieza tanto en tiempos como etapas. La bomba de proceso debe ser comandada por una señal externa enviada desde la Unidad CIP. Esta se corre luego de la producción diaria.

4.2.1.3. Enjuague (Flushing)

Este modulo se utiliza esporádicamente, antes y después de ejecutar el modulo de producción, no es un proceso cíclico.

4.3. ESPECIFICACIÓN DEL PLAN FUNCIONAL S88 (FDS)¹⁵

Equipo De Proceso: Unidad De Recepción de Leche (MRU)

LAS FASES:

4.3.1. INICIALIZACION (TANQUE VACIO)

Llenado de la línea con leche antes del tanque de des aireación DAT-11 (aguas arriba)

- La válvula de paso BUV-2 no está energizada. Se mantiene cerrada mientras se llena con leche
- Abrir (energizar) la válvula STV-1 (NC)
- Abrir la válvula BUV-25 (NC)
- Inundar el tanque de des aireación y purgar el aire del tanque (tiempo de inundación 26.25 s)
- El interruptor de nivel alto LSI-13 esta activado y esta sensando
- Cuando el líquido alcance el nivel alto la válvula STV-1 no se cierra
- La válvula BUV-25 se cierra al finalizar el tiempo de inundación (26.25 s)

¹⁵ El plan funcional S88 se puede entender mejor al usar en conjunto el plano P&I donde los elementos están codificados (ver anexo 1)

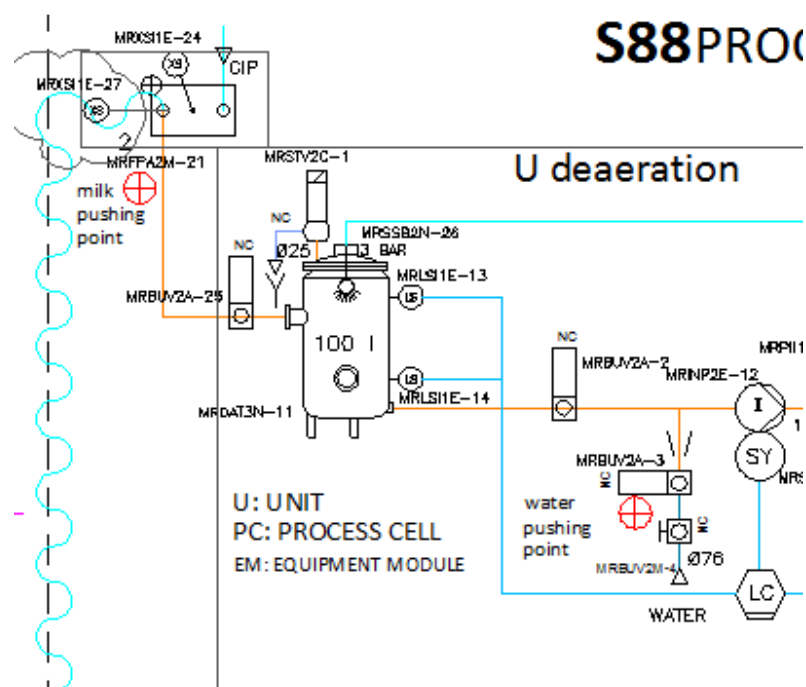


Figura 33A sección de des-aeración (parte del plano P&ID; ver anexo 1)

4.3.2. UNIDAD DE ENFRIAMIENTO

- La válvula manual GLV-9 está abierta (deja que fluya el agua fría). Sale un mensaje en la pantalla “verificar que válvula de alimentación de agua fría está abierta”)
- Prender la bomba de agua helada (el caudal ya está definido por defecto en 30,000 l/h (válvula SRV-23 completamente abierta) y
- Abrir la válvula BUV-2 para suministro de leche desde el tanque DAT-11
- Prender la bomba INP-12 a definido caudal
- (Consigna 9,600 l/h a nivel alto diferencial de altura 103 mm)
- (Consigna 12000 l/h a nivel medio diferencial de altura 206 mm)
- (Consigna 7,200 l/h a nivel bajo diferencial de altura 103 mm)
- Estabilizar la carga de frio (consigna 4oc salida del producto)
- Los transmisores de temperatura empiezan a sensar (TTI-17 & 19)
- Energizar la válvula de regulación de agua fría SRV-23. Existe una relación lineal entre el caudal de leche y el caudal de agua de

enfriamiento según la igualdad $q(\text{agua})=2*q(\text{leche})$. En primera instancia el caudal del agua fría es regulado por el variador de velocidad.

- En segunda instancia la corriente de servicio (caudal, valor máximo= 30,000 l/h) se regula (corrige) en la base a la temperatura de entrada y salida de leche medido por los transmisores TTI-17, TTI-19. Instantáneamente la corriente de agua fría se modifica con la válvula de regulación SRV-23 (definir modelo de control)
- La relación de flujos para un enfriamiento más rápido puede ser variado (tiene que ser calibrado, se calcula el error y el factor de corrección) y se retroalimenta a la válvula de servicio SRV-23
- Alimentar la línea con leche y empujar el agua (tiempo de la purga debe calcularse 27s aproximadamente @ 12,000 l.

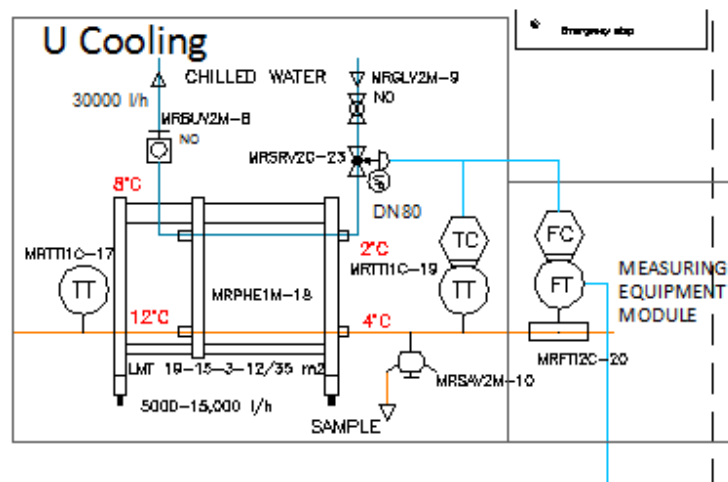


Figura 33B sección de enfriamiento (parte del plano PID; ver anexo 1)

4.3.3. PROCESO DE DESAIREACION

Des-airear la leche usando el juego de la válvula alrededor del tanque de des-aireación

- La leche ingresa al tanque DAT-11 o ya está adentro
- La válvula STV-1 está cerrada esperando por orden de apertura

- Un contador comienza a contar los ciclos de des aireación (63, verificar cuando se calibre la unidad)
- Los ciclos se cuentan con las cargas y descargas que se hacen en el tanque DAT-11
- En cada descarga desde el nivel alto hacia el bajo se extrae cierta cantidad de aire, este aire se va acumulando hasta tener una presión interna apenas superior que la presión externa
- El nivel sube hasta el punto más alto medido por el interruptor de nivel LSI-13
- Entonces se cierra la válvula BUV-25
- La bomba funciona en el rango de:
 - Nivel bajo $12,000\text{l/h} \times 0.6 = 7,200\text{ l/h}$
 - Nivel alto $12,000\text{l/h} \times 0.8 = 9,600\text{ l/h}$
- El caudal normal de trabajo es 12,000 l/h y trabaja en el nivel medio
- Enfriar la leche a la temperatura definida 4 °C (consigna)
- Medir el caudal y totalizar el volumen de leche enfriado mediante el transmisor de flujo FTI-20 (el tiempo de procesamiento es contabilizado) y de esta manera se puede saber el volumen total procesado

Nota: Las operaciones de des-aireación y enfriamiento trabajan entrelazados.

4.3.4. PROCEDIMIENTO DE LIMPIEZA (CLEAN IN PLACE)

- Preparar la unidad de recepción de leche a ser limpiada
- Manualmente conectar la alimentación de CIP
- Un mensaje se despliega en la pantalla
- El interruptor de proximidad XSI-24 envía una señal de conexión 1 (candado) (si/no)
- Permanece en espera (por orden)

- Abrir la válvula BUV-25 (NC)
- Abrir la válvula BUV-2 (NC)
- Abrir la válvula BUV-5 (NC)
- Preparar la bomba INP-12 (manda una señal que está conectada y en espera)
- El caudal se define (consigna o punto de calibración para limpieza 18,000 l/h)
- La bomba INP-12 espera por una orden
- Los transmisores de temperatura TTI -17 y TTI-19 son energizados y están listos para censar, la temperatura se muestra en la pantalla
- En este modo el lazo de enfriamiento está abierto
- TTI-17 & 19 están sensando y despliegan la lectura en la pantalla
- Verificar que la válvula BUV-3 (NC) está cerrada usando un interruptor de proximidad
- El transmisor de flujo se prende FTI-20 pero sólo está sensando de (medición de flujo)
- Sincronizar el tiempo de limpieza en el MRU (se ingresa el tiempo en base a la pruebas hechas en sitio)
- Fijar los interruptores de nivel (alto, bajo)
- La válvula STV-1 abre y cierra a tiempos definidos en función de la curva de trabajo
- La válvula está cerrada SRV-23

Toda la tubería y el enfriador están inundados agua leche y/o agua de empuje.

4.3.4.1. En caso que esté lleno de leche

Procedimiento de empuje con agua a la leche

- La válvula de paso mariposa BUV-25 está cerrada (no energizada)
- La válvula de asiento STV-1 está cerrada (no energizada)
- La válvula BUV-5 de alimentación de CIP al tanque BUV-5 está cerrada (no energizada)
- Los controles de nivel están activos
- El tanque DAT-11 esta a nivel bajo LSI-14 (volumen remanente 12.45 l)
- El tiempo de empuje es definido (en base a la pruebas hechas en sitio)
- Energizar (abrir) la válvula de alimentación de agua BUV-3 (NC)
- Prender bomba INP-12, el caudal está definido por el variador de frecuencia syi-15 12,000 l/h
- Terminación de empuje (el tiempo de empuje es 27s aproximadamente (verificar en sitio)
- Espera por orden (mensaje sale en la pantalla, apagar o pasar a otra etapa: CIP)

4.3.4.2. En caso que esté lleno de agua de empuje

- Conectar la unidad de recepción de leche con la unidad de limpieza (Sincronizar)
- La bomba INP-12 se prende al mismo tiempo que se prende el CIP
- Los tiempos de lavado están ya definidos por el CIP
- Procedimiento de enjuague con agua
- Sale un mensaje en la pantalla que indica que hay que conectar una fuente externa de agua potable a la alimentación de producto en el panel de flujo FPA-21

4.4. ESPECIFICACION DE DISEÑO DETALLADO (DDS)

Ver Anexo desde 12-1 a 12-24

4.4.1. LISTA DE ELEMENTOS DE MEDICION Y CONTROL

Tabla 20 Lista de elementos generado del plano P&I en Autocad

ITEM NUMBER	CODE	DESCRIPTION	POSITION	AUTOMATION LEVEL	ADDITIONAL INFORMATION	D I	D O	A I	A O	PLC ADDRESS	PHYSICAL MODEL TYPE
5	MRBUV2A-5	BUTTERFLY VALVE	NC	ACTUATOR	PROXIMITY HOLDER	2	CLOSED/OPEN	1	OPEN VALVE	0 0	DE-AERATION UNIT
2	MRBUV2A-2	BUTTERFLY VALVE	NC	ACTUATOR	PROXIMITY HOLDER	2	CLOSED/OPEN	1	OPEN VALVE	0 0	DE-AERATION UNIT
3	MRBUV2A-3	BUTTERFLY VALVE	NC	ACTUATOR	PROXIMITY HOLDER	2	CLOSED/OPEN	1	OPEN VALVE	0 0	DE-AERATION UNIT
11	MRDAT3N-11	DEAERATOR TANK	0	NONE		0				0 0	DE-AERATION UNIT
21	MRFP2M-21	FLOW PANEL	0	MANUAL		0				0 0	CIP EQUIPMENT MODULE
24	MRXS1E-24	PROXIMITY SWITCH	0	ENERGISED	IFM /AGT 205, IGKC008BASKG/M/V4A/US	1				0 0	CIP EQUIPMENT MODULE
23	MRSRV2C-23	STEAM/WATER REGULATING VALVE (GLOBE) WITH POSITIONER (P)	0	CONTROLLED		0	1	1	1	1	COOLING UNIT
9	MRGLY2M-9	MANUAL GLOBE VALVE	0	MANUAL	PROXIMITY HOLDER	2				0 0	COOLING UNIT
10	MRSV2M-10	SAMPLE VALVE	0	MANUAL		0				0 0	COOLING UNIT
25	MRBUV2A-25	BUTTERFLY VALVE	NC	ACTUATOR	PROXIMITY HOLDER	2		1		0 0	DE-AERATION UNIT
22	MRILF2N-22	INLINE FILTER	0	NONE		0				0 0	DE-AERATION UNIT
12	MRINP2E-12	CENTRIFUGAL PUMP WITH INDUCER	0	ENERGISED		0	1	1		0 0	DE-AERATION UNIT
15	MRSY12C-15	FREQUENCY CONVERTER	0	CONTROLLED		0				0 1	DE-AERATION UNIT
4	MRBUV2M-4	BUTTERFLY VALVE	NC	MANUAL	PROXIMITY HOLDER	2				0 0	DE-AERATION UNIT
20	MRFT12C-20	FLOW TRANSMITTER	0	CONTROLLED		0	1			1 0	MEASURING EQUIPMENT MODULE
19	MRTT1C-19	TEMPERATURE TRANSMITTER	0	CONTROLLED		0				1 0	COOLING UNIT
8	MRBUV2M-8	BUTTERFLY VALVE	NO	MANUAL	PROXIMITY HOLDER	2				0 0	COOLING UNIT
7	MRBUV2M-7	BUTTERFLY VALVE	NC	MANUAL	PROXIMITY HOLDER	2				0 0	DE-AERATION UNIT
6	MRBUV2M-6	BUTTERFLY VALVE	NC	MANUAL		0				0 0	DE-AERATION UNIT
1	MRSTV2C-1	SINGLE SEAT	NC	CONTROLLED		0	2	1		0 0	DE-AERATION UNIT
13	MRLS1E-13	LEVEL SWITCH INDICATOR	0	ENERGISED		0	1			0 0	DE-AERATION UNIT
14	MRLS1E-14	LEVEL SWITCH INDICATOR	0	ENERGISED		0	1			0 0	DE-AERATION UNIT
18	MRPHE1M-18	PLATE HEAT EXCHANGER WITH GASKETS	0	MANUAL		0				0 0	COOLING UNIT
17	MRTT1C-17	TEMPERATURE TRANSMITTER	0	CONTROLLED		0				1 0	COOLING UNIT
16	MRPI1N-16	PRESSURE INDICATOR	0	NONE		0				0 0	DE-AERATION UNIT
26	MRSSB2N-26	STATIC SPRAY BALL	0	NONE		0				0 0	DE-AERATION UNIT
					SUBTOTAL	24		7		4 2	
	NG	STOP BOTTON				1				0 0	
	NG	ALARM				0		1		0 0	
	NG	SCADA				0				0 0	
					TOTAL	25		8		4 2	

4.5. ESPECIFICACION DEL PLC

Para el desarrollo de esta tesis se escogió el software de automatización de la empresa alemana SIEMENS (TIA PORTAL, TOTALLY AUTOMATED AUTOMATION PORTAL). Este sistema integra completamente el proceso de automatización donde se incluyen; el proyecto que se lleva a cabo en forma organizada y concatenada. Especificación de elementos de hardware como son PLCs. Se hace en forma automática ya que este sistema tiene una base de datos de estos elementos como también pantallas, módulos de expansión, comunicación industrial, etc. Tiene también herramientas de diagnóstico, seguridad y simulación de sistemas automatizados. Se puede hacer la verificación del control de procesos y esto es realmente importante para validar el control. La pruebas en seco es importante para asegurar el funcionamiento de todos los elementos de medición y control.

El portal TIA consta del controlador SIMATIC STEP 7 V11 y de SIMATIC WinCC V11 SP2; este dispositivo administra las interfaces HMI y el sistema de monitoreo y adquisición de datos SCADA.

Tabla 21 Especificación del PLC Siemens y periféricos

ITEM	CANT	DESCRIPCIÓN
1	1	Starter Kit Simatic S7-1200 + Simatic HMI KTP400. Incluye CPU1212C AC/DC/Relé, Panel Simatic KTP400 monocromático, Software Simatic STEP7 Basic, simulador de entradas digitales, cable de comunicación Industrial Ethernet, CD con documentación. REF: 6AV6651-7AA01-3AA1
2	1	SB1223 Signal board con 2DI a 24VDC / 2DO a 24VDC para montaje en la CPU
3	1	SM1221 Módulo de señal de 16DI a 24VDC
4	1	SM1234 Módulo de 4 de entradas analógicas y 2 de salidas analógicas

4.6. ARQUITECTURA DEL PROGRAMA

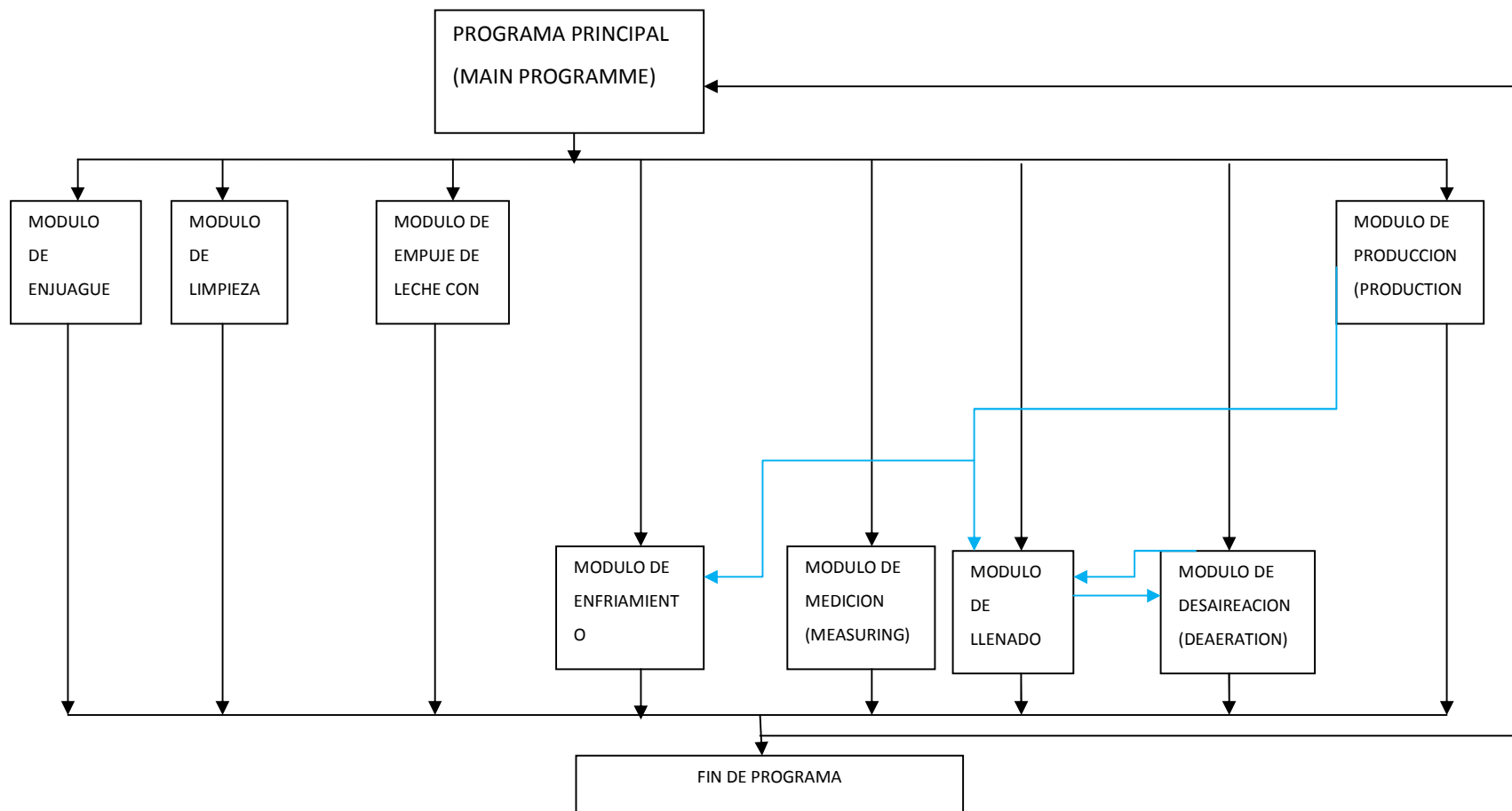


Figure 33 Arquitectura del programa de la unidad de recepción de leche

La arquitectura del programa funciona de la siguiente manera. Se presenta un programa principal donde se muestra todos los módulos de funcionamiento de la unidad de recepción de leche. El sistema está diseñado en módulos basado en la filosofía de automatización S88. Mientras algunos módulos son independientes y se ejecutan una o dos veces máximo en el turno de producción. Otros módulos son dependientes o internos y se ejecutan cíclicamente mientras se ejecuta el modulo de producción. Se puede decir que el modulo de producción es el modulo más complejo de la unidad de recepción de leche porque realiza varia tareas en orden secuencial y o paralelo. En la concepción de la unidad de proceso se definió que esta conste de 2 subunidades independientes (des-aireación y enfriamiento) y un modulo de medición y totalización. El en programa se van a corren independientemente para su verificación y validación.

4.7. ESPECIFICACION DEL HARDWARE USANDO EL PORTAL TIA

Inicialmente se considero el uso del controlador S7 1200 pero debido que el programa TIA no tiene un modulo de simulación para este controlador se escogió como la siguiente alternativa el uso del controlador S7 300, el cual si posee un modulo de simulación señalado.

4.8. PASOS EN EL MANEJO DEL PORTAR TIA

4.8.1. CONFIGURACION POR DEFECTO Y/O INICIAL DE LOS DISPOSITIVOS

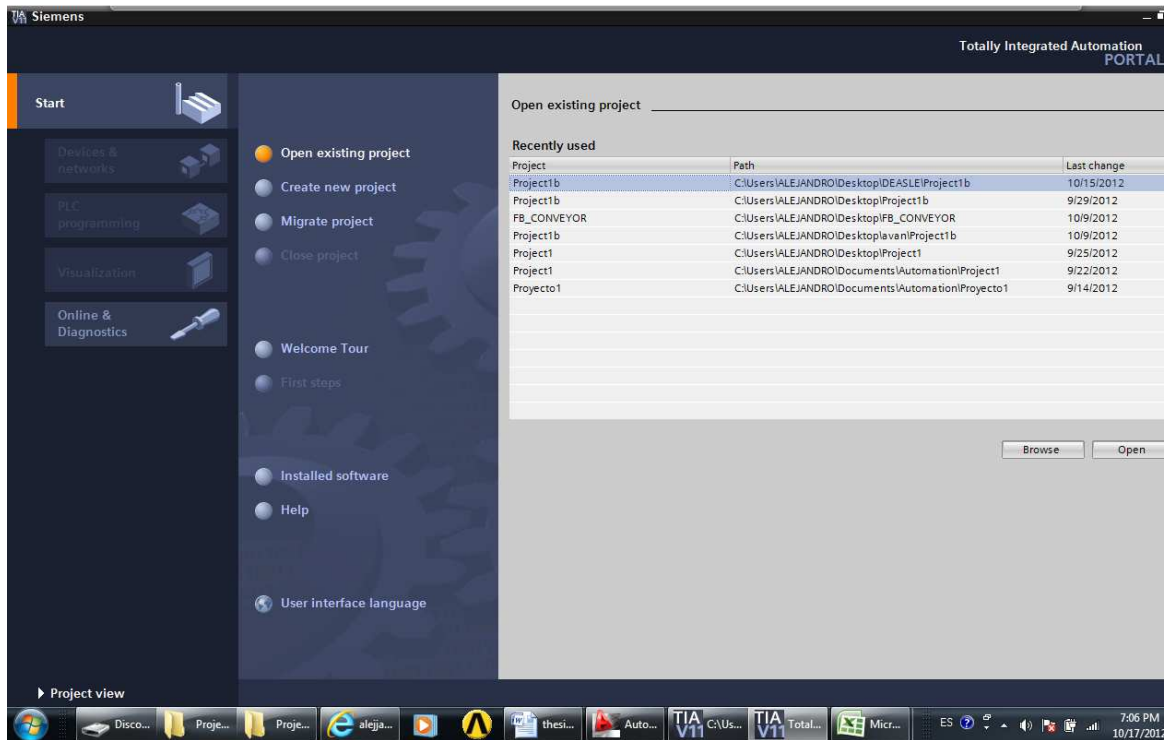


Figura 34 Pantalla de inicio del portal TIA

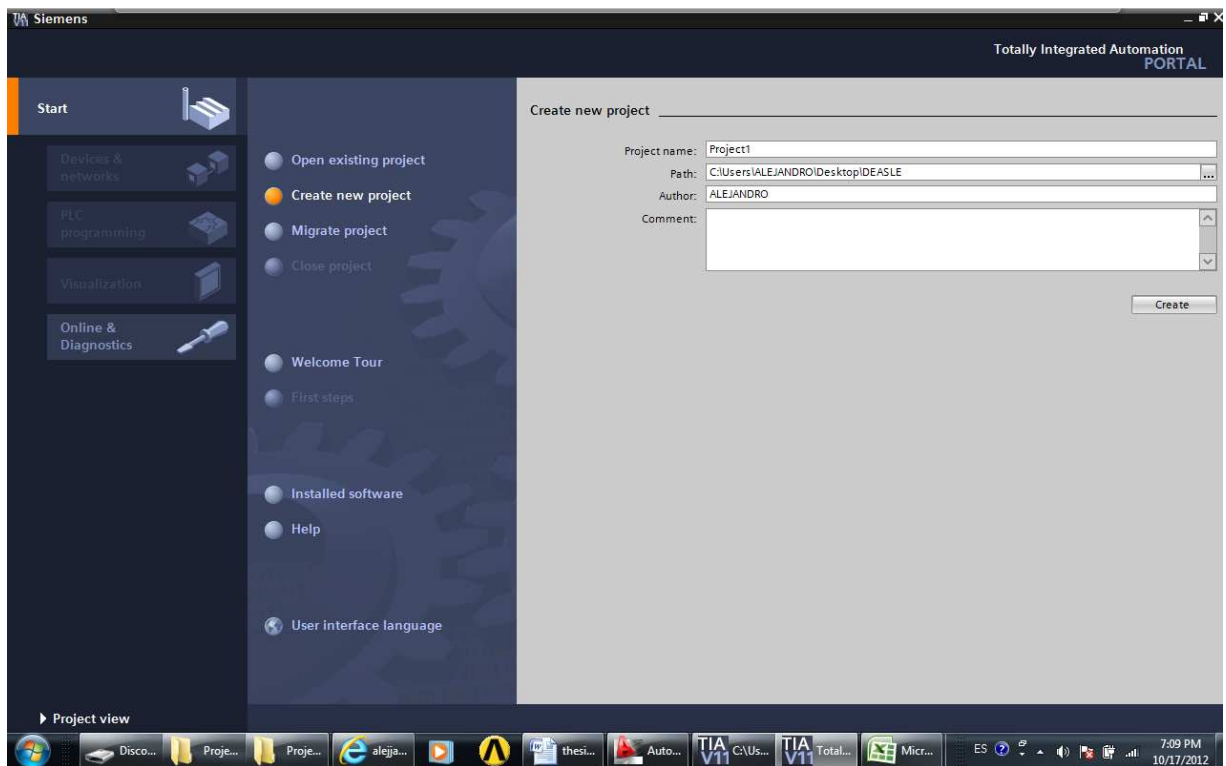


Figura 35 Creación del proyecto

Al abrir el portal tiene lo primero que hay que hacer es crear el proyecto, donde se pone el nombre del proyecto, automáticamente se crea una carpeta con todos los documentos ligados de portal TIA. Además se puede poner un comentario del proyecto que se va a desarrollar.

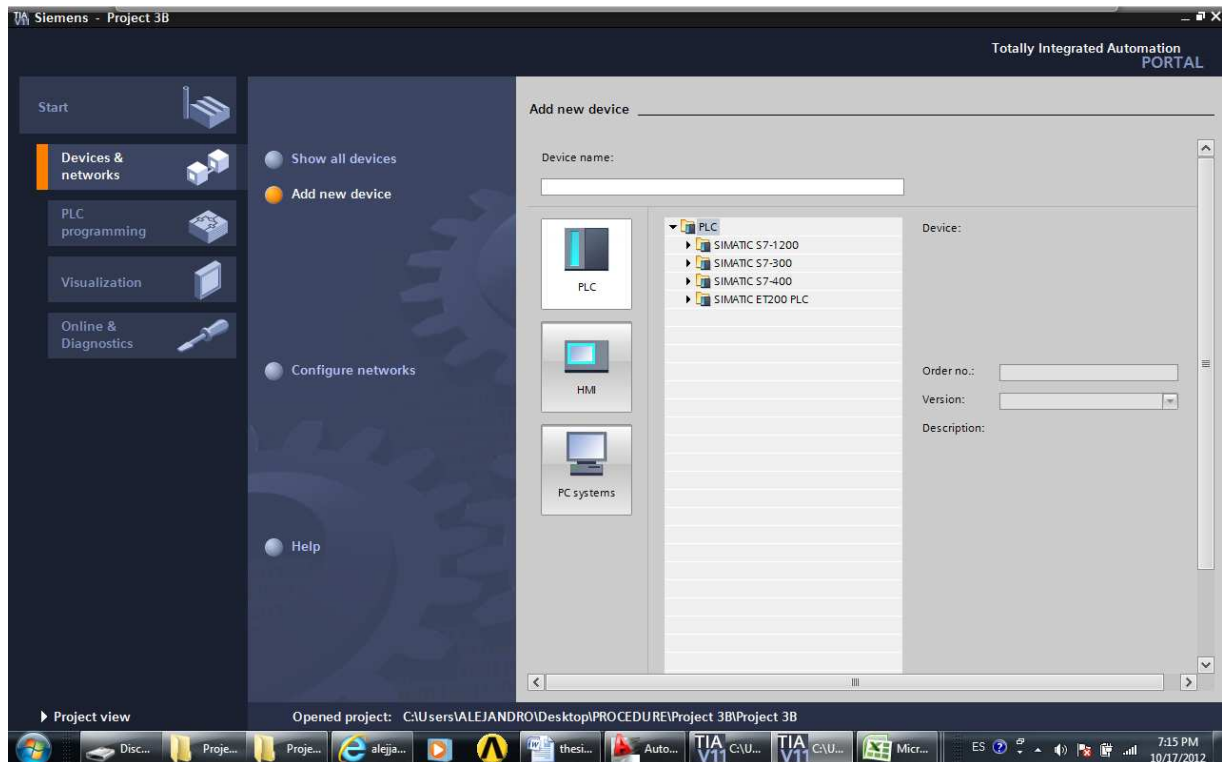


Figura 36 Definiendo controladores y pantallas

El portal TIA tiene una interface amigable e intuitiva para poder ingresar informacion necesaria para la programacion del PLC y posteriormente la implementacion del mismo. En la Figura 36 se puede ver que existen tres tipos de aparatos para especificar PLCs (controladores), HMI (pantallas/interfaces), PC Systems (computadoras) para conexión a redes y/o el sistema SCADA (**Supervisory Control And Data Acquisition**).

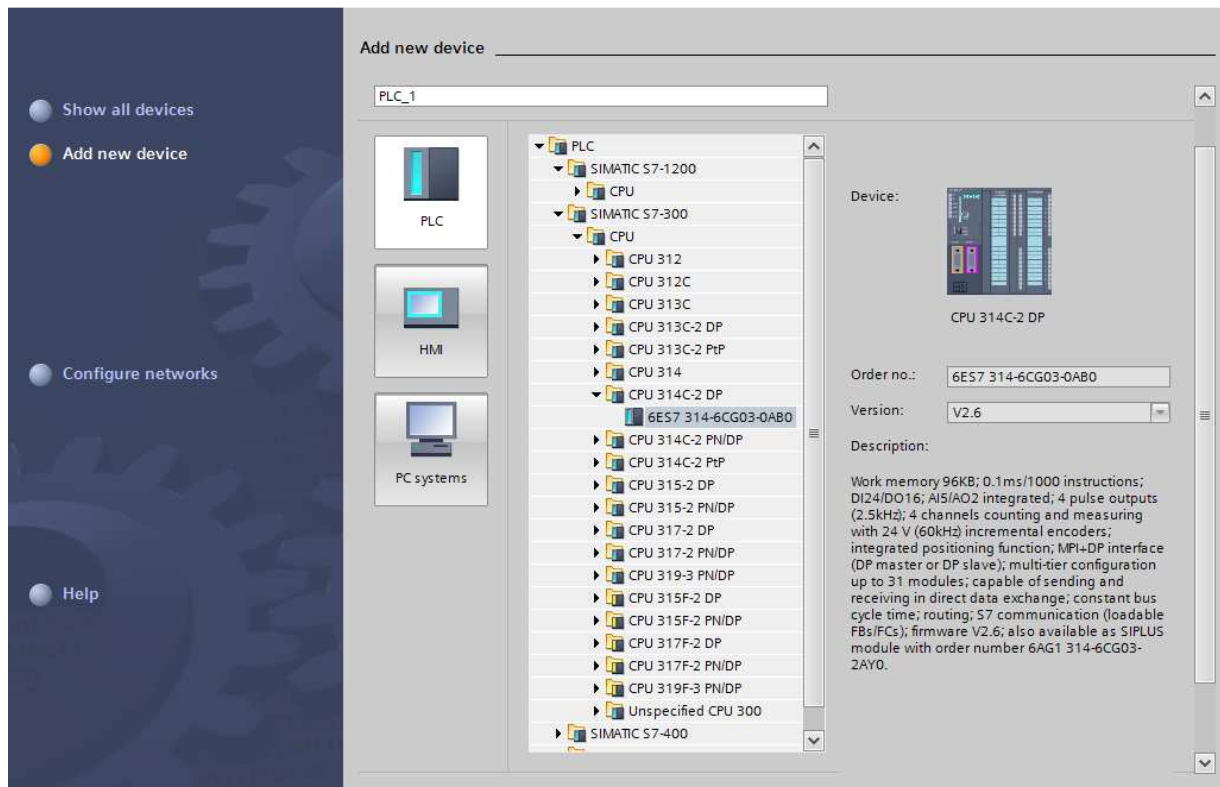


Figura 37 Especificación del PLC a programar

De la serie de SIMATIC S7 se escoge la serie 300 debido que en esta serie se puede simular en el PORTAL TIA, inicialmente se considero usar un PLC de la serie 1200 debido que tenia mejores características como son mayor número de entradas y salidas digitales como también analógicas.

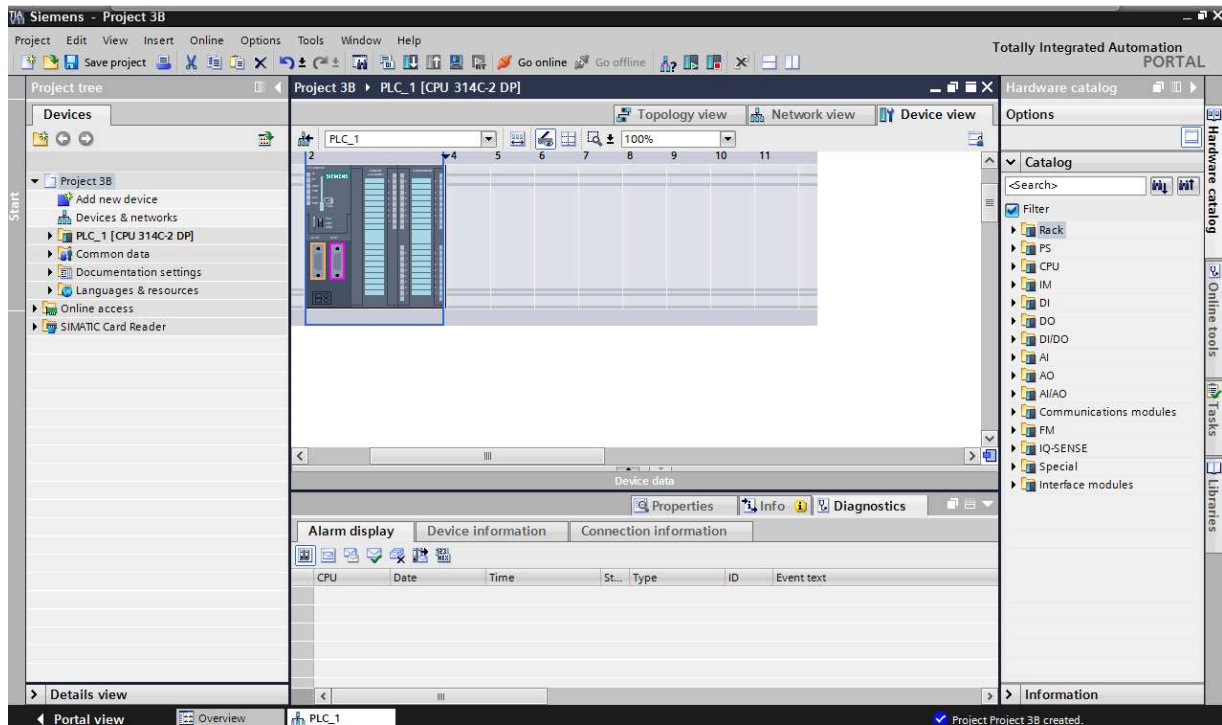


Figura 38 Pantalla principal de proyecto mostrando el PLC

En la figura 38 se puede ver al lado izquierdo el árbol del proyecto, en donde se puede navegar e ingresar a cualquier parte del proyecto como son:

- Especificación de hardware
- Configuración de aparatos y redes
- Base de datos

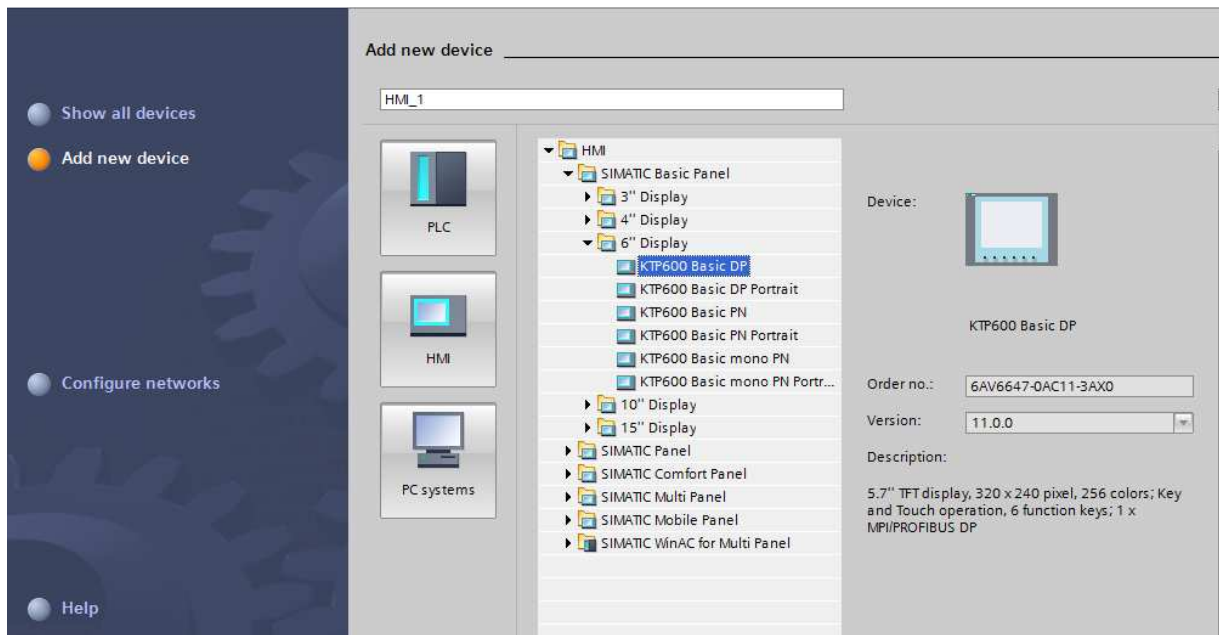


Figura 39 Especificación de la interfaz Hombre-Máquina HMI

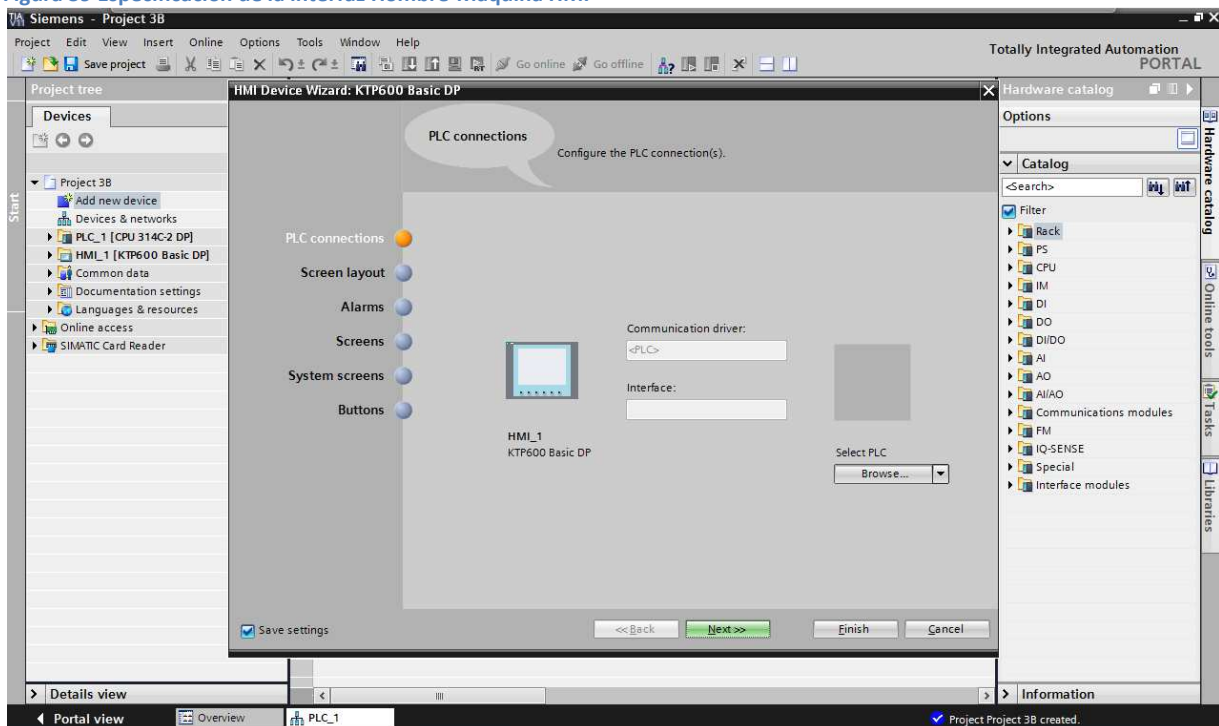


Figura 40 Especificación dentro la pantalla HMI

En la figura 40 se muestra una caja de diálogo donde se presentan todas las partes a especificar en la pantalla HMI. Teniendo las siguientes partes:

- Conexiones del PLC
- Diseño y/o distribución de la pantalla
- Alarmas
- Pantallas
- Botones

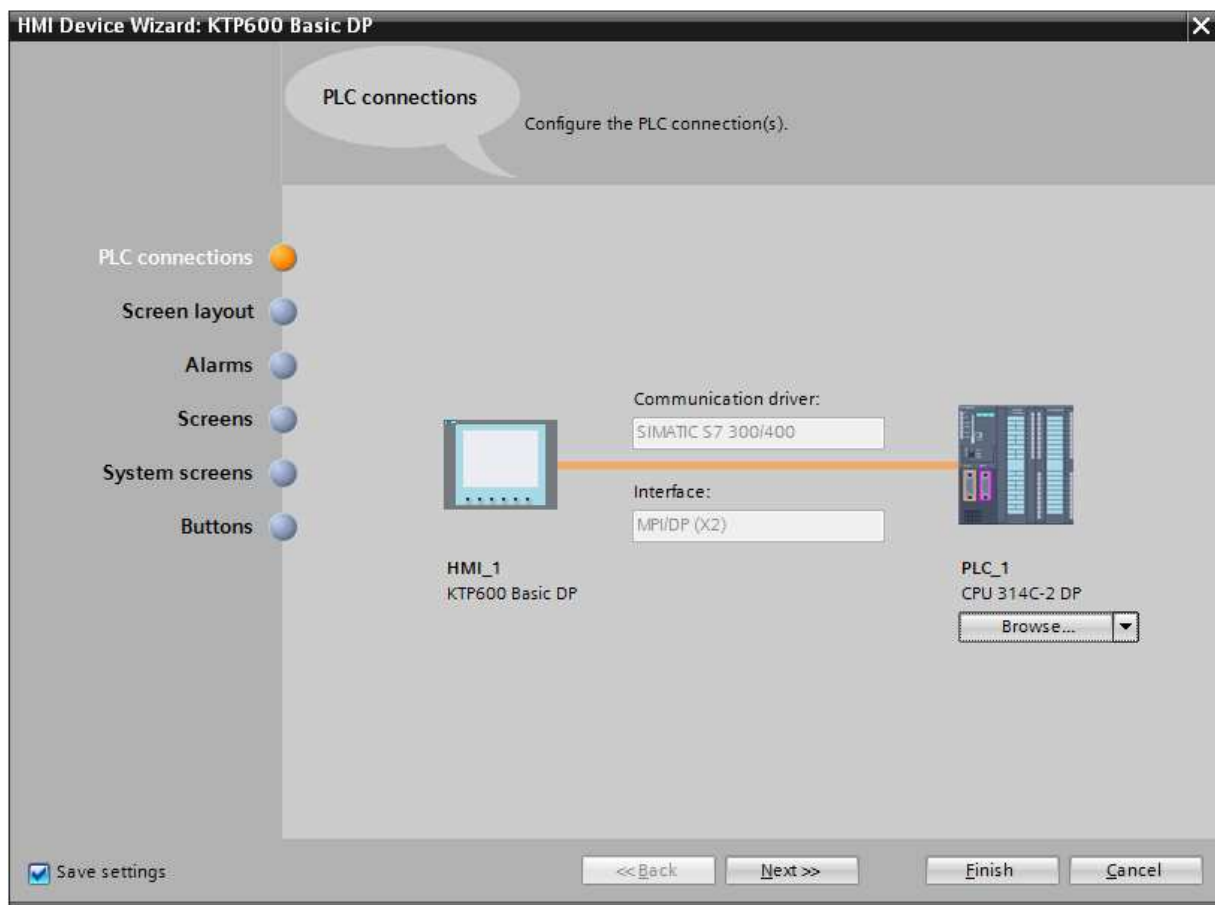


Figura 41 Especificación de la comunicación entre la pantalla y el PLC

Se muestra gráficamente la conexión entre la pantalla KTP600 Basic DP con el PLC CPU 314C-2 DP. Todos los aparatos como son pantallas, controladores, módulos de extensión, etc., deben tener buses comunicación iguales para que pueda haber la transferencia de datos. Esto es bien importante al seleccionar los aparatos, el ver si son compatibles.

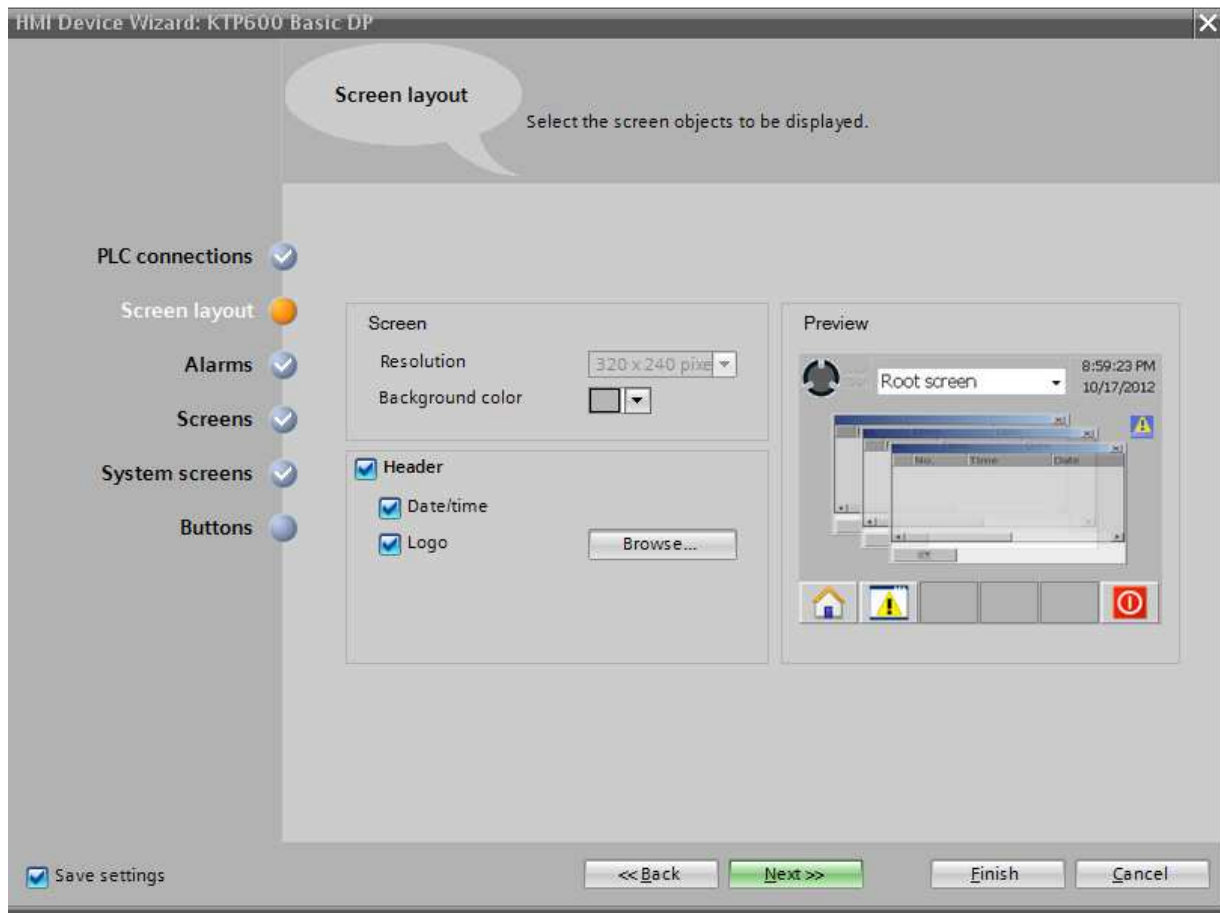


Figura 42 Especificación de los elementos de la pantalla

Típicamente las pantallas deben tener:

- La fecha y hora
- El logotipo de la empresa
- Botones de alarma, información/avisos

La forma de desplegar las pantallas típicamente se puede ver en la figura 43

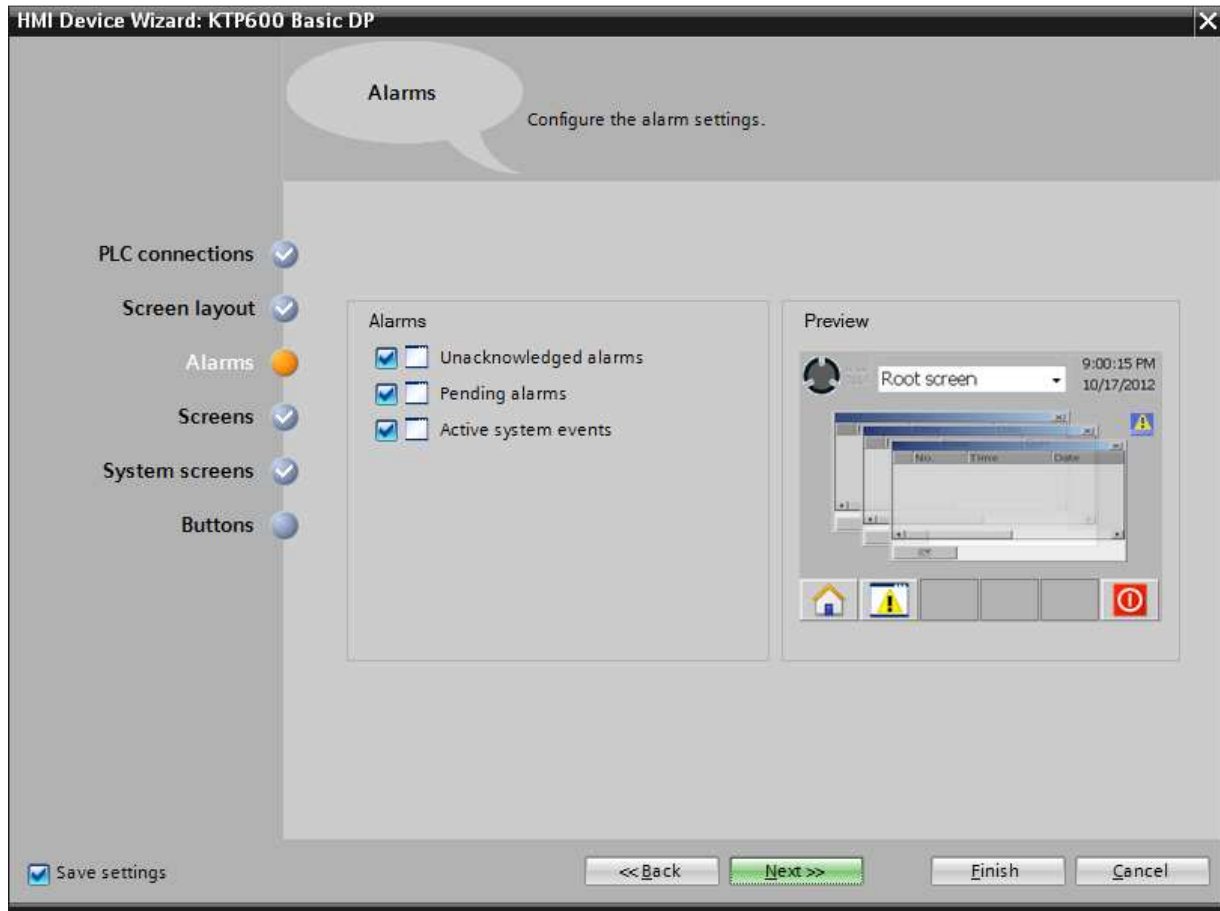


Figura 43 Especificación de la alarmas

La especificación de las alarmas no se van a especificar en esta etapa sino posteriormente cuando se programe y se vea q alarmas son necesarias para la protección tanto del equipo como de los operarios.

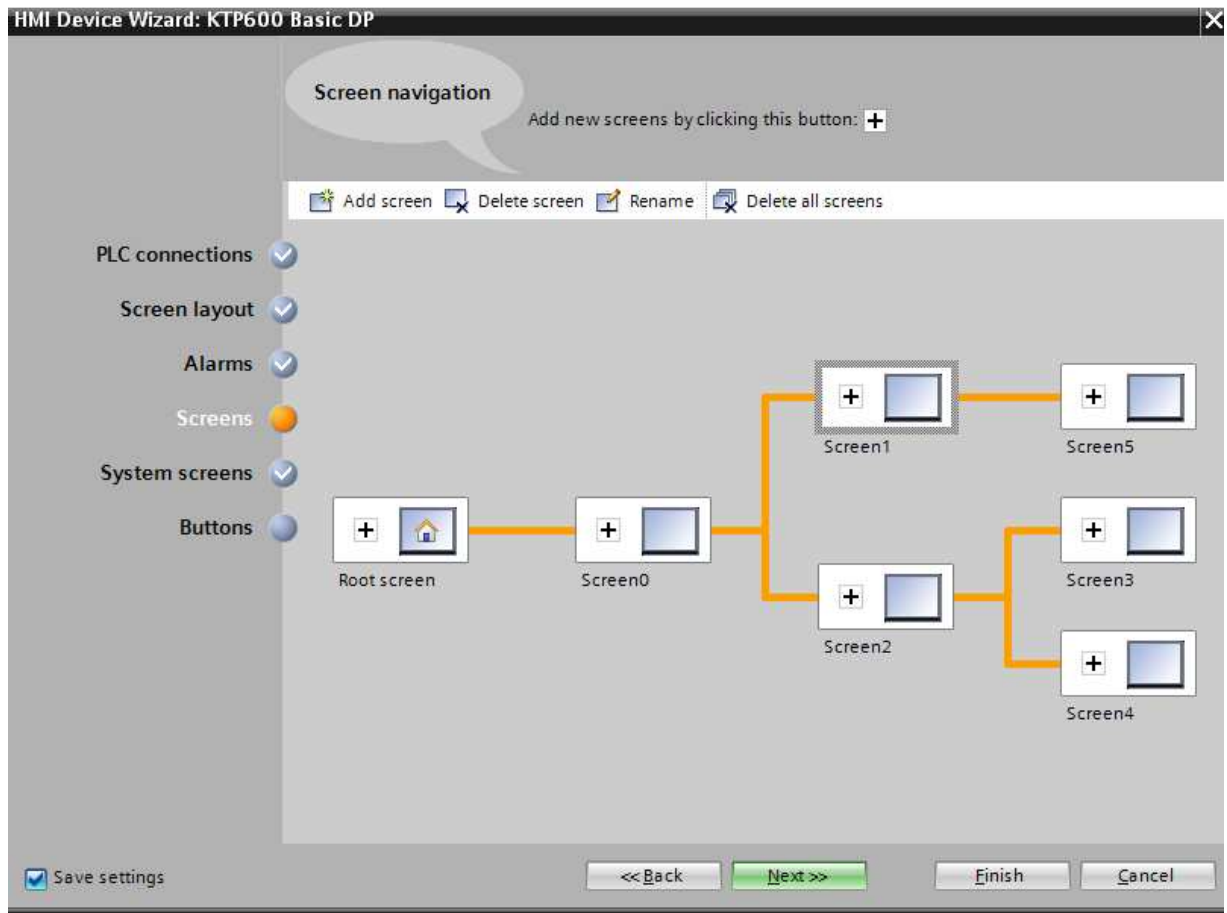


Figura 44 Especificación de la arquitectura de navegación de las pantallas

En esta pantalla se puede definir el número de pantalla que se necesite en el sistema. Se podría tener un diseño previo del número de pantallas y su distribución.

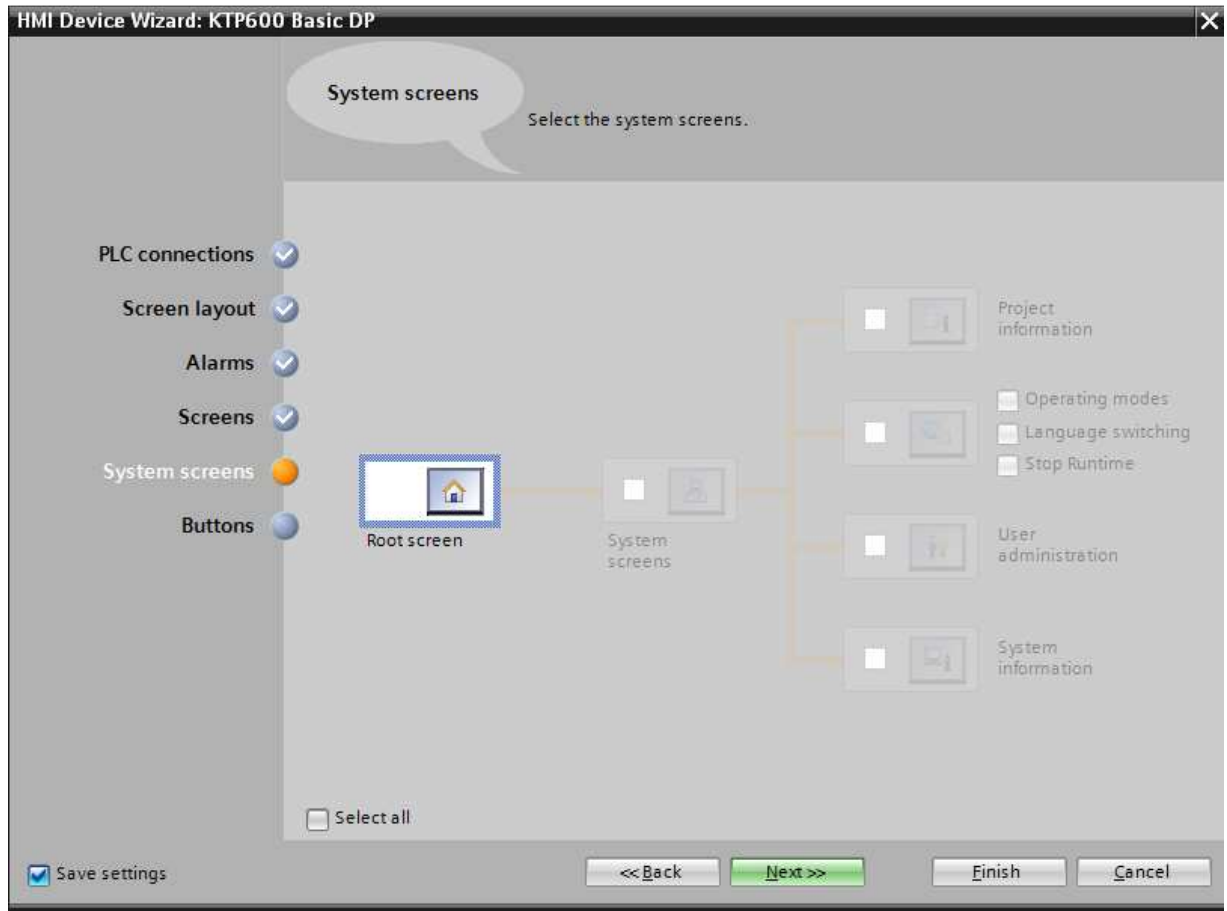


Figura 45 Definición de la pantalla raíz

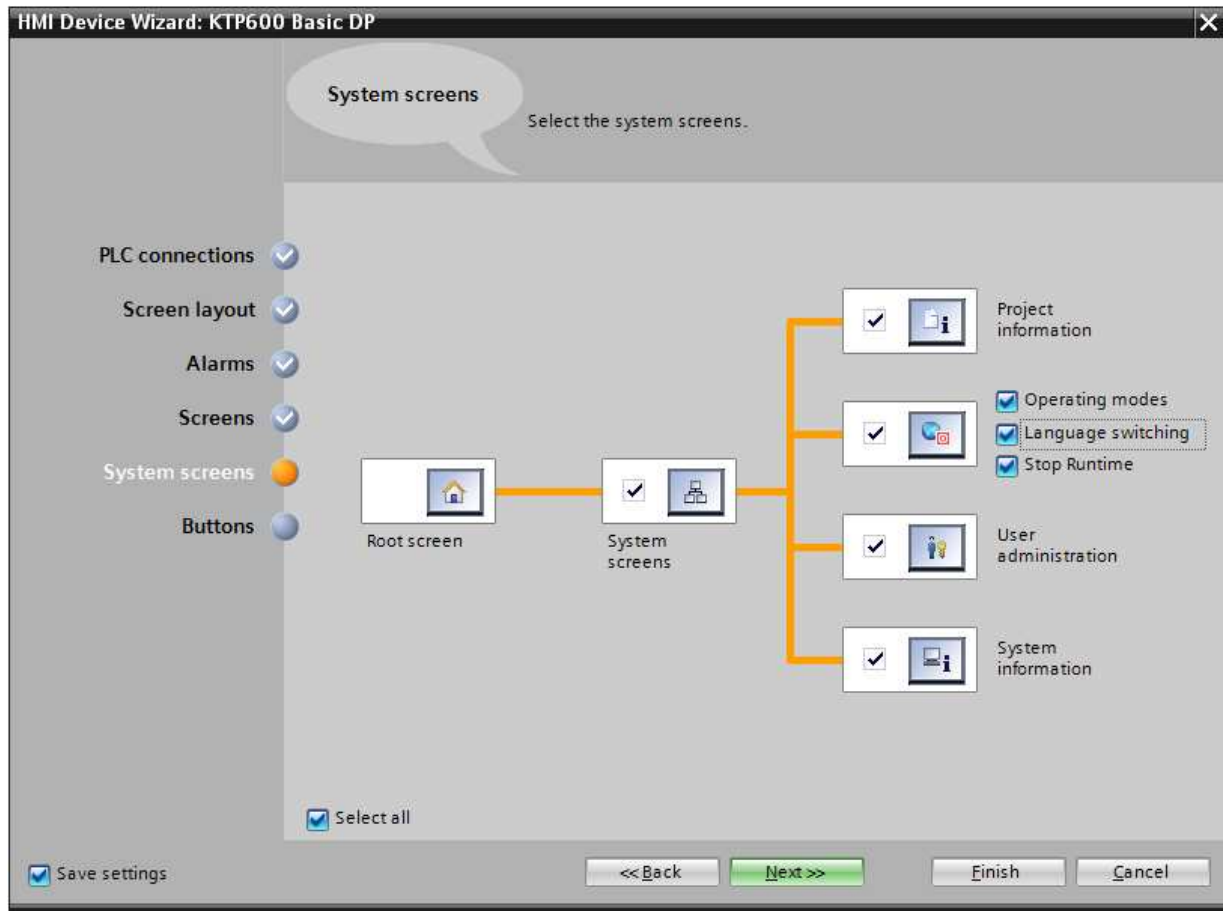


Figura 46 Arquitectura del manejo de pantallas de datos y ejecución

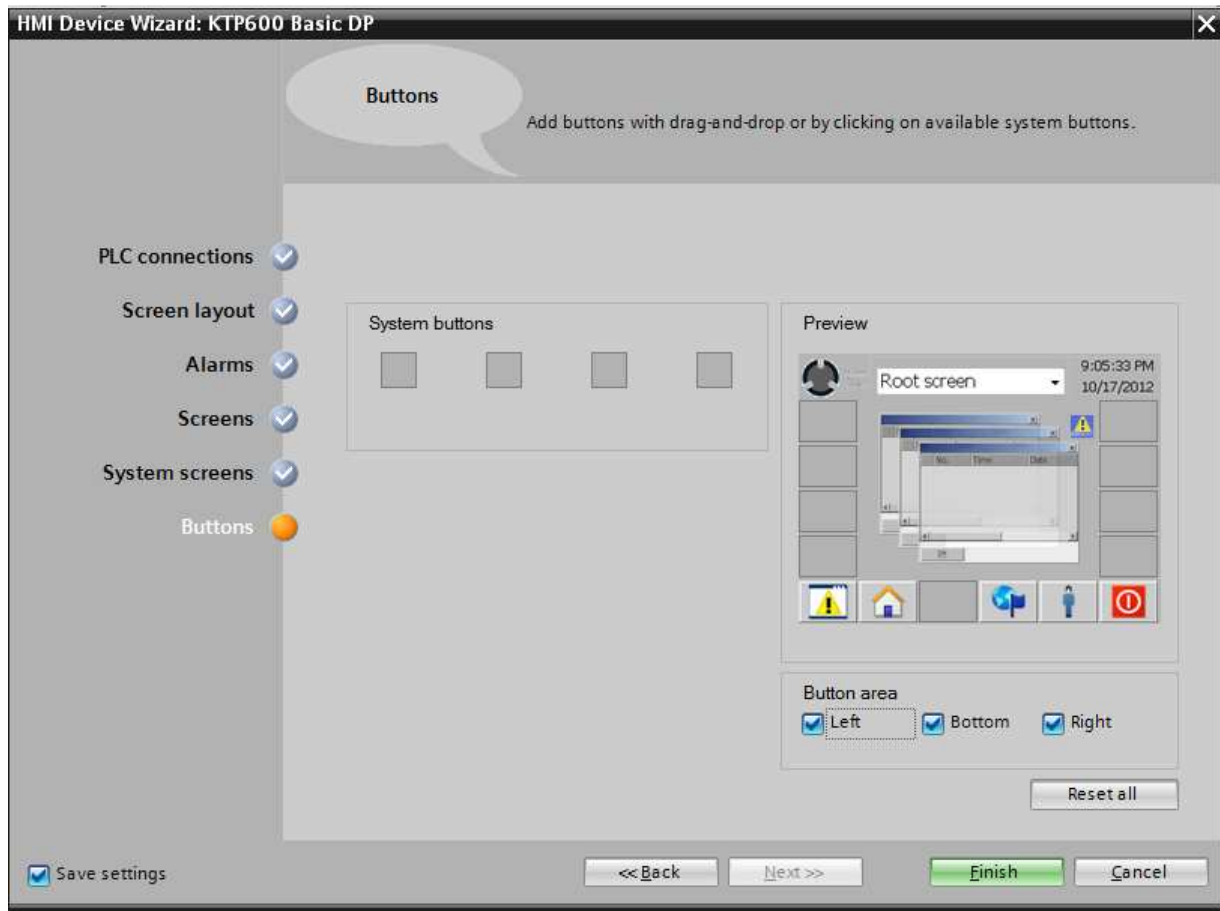


Figura 47 Especificación de botones

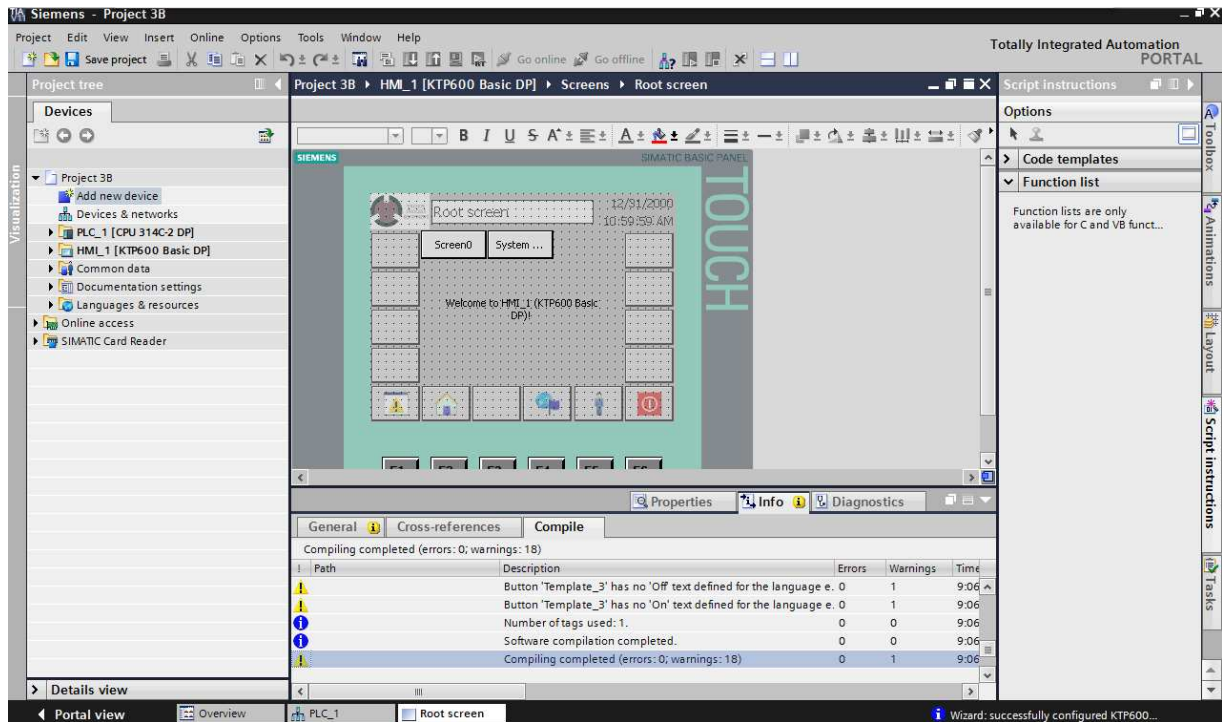


Figura 48 Despliegue de una de las pantallas (pantalla raíz)

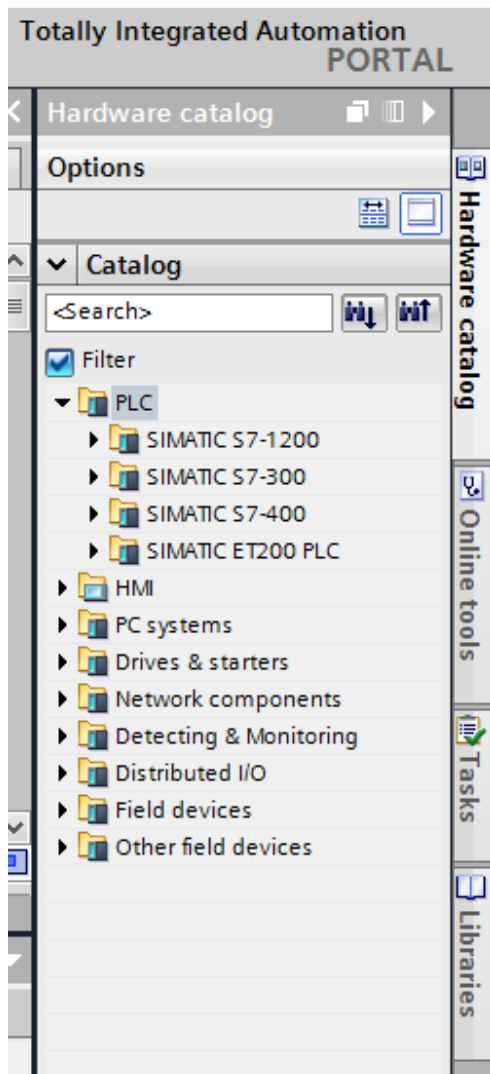


Figura 49 Catalogo de dispositivos

Del catálogo de dispositivos se escoge el PLC que cumpla con los requerimientos de entradas y salidas tanto digitales como analógicas.

4.9. DEFINICION DE VARIABLES DE PROCESO Y CONSIGNAS

	Name	Data type	Address	Retain	Visible...	Acces...	Comment
1	DBUV-5	Bool	%I24.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION CIP TANQUE (VERIFICACION CIERRE)
2	DBUV-5(1)	Bool	%I24.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION CIP TANQUE (VERIFICACION ABERTURA)
3	DBUV-5(2)	Bool	%Q124.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION CIP TANQUE (ENERGIZAR VALVULA SOLENOIDE) AB...
4	SBUV-3	Bool	%I24.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION AGUA (VERIFICACION CIERRE)
5	DBUV-25	Bool	%I24.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION A TANQUE (VERIFICACION CIERRE)
6	DBUV-2	Bool	%I24.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DESCARGA TANQUE (VERIFICACION CIERRE)
7	DBUV-2(1)	Bool	%I24.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DESCARGA TANQUE (VERIFICACION ABERTURA)
8	DBUV-2(2)	Bool	%Q124.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DESCARGA TANQUE (ENERGIZAR VALVULA SOLENOIDE) ABRIR
9	SBUV-3(1)	Bool	%I24.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION AGUA (VERIFICACION ABERTURA)
10	SBUV-3(2)	Bool	%Q124.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION AGUA (ENERGIZAR VALVULA SOLENOIDE) ABRIR
11	DBUV-25(1)	Bool	%I24.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION A TANQUE (VERIFICACION ABERTURA)
12	DBUV-25(2)	Bool	%Q124.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION A TANQUE (ENERGIZAR VALVULA SOLENOIDE) ABRIR
13	MFTI-20	Bool	%Q124.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR TRANSMISOR DE FLUJO
14	CTH-19	Bool	%Q124.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR TRANSMISOR DE TEMPERATURA (SALIDA DEL ENFRIADOR)
15	DSTV-23	Bool	%Q124.7		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR VALVULA DE REGULACION DE AGUA FRIA
16	DLSI-13	Bool	%I25.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	DISPARO NIVEL ALTO DEL TANQUE A PRENDIDO DE TANQUE
17	DLSI-13(1)	Bool	%Q125.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR INTERRUPTOR NIVEL ALTO
18	DLSI-14	Bool	%I25.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	DISPARO NIVEL ALTO DEL TANQUE A APAGADO DE TANQUE
19	DLSI-14(1)	Bool	%Q125.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR INTERRUPTOR NIVEL BAJO
20	CTH-17	Bool	%Q125.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR TRANSMISOR DE TEMPERATURA (ENTRADA DEL ENFRIADOR)
21	DXSI-24	Bool	%I25.3		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VERIFICACION DE CONEXION AL SISTEMA EXTERNO CIP
22	DXSI-24(1)	Bool	%Q125.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR SENSOR DE PROXIMIDAD
23	DINP-12	Bool	%I25.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR BOMBA
24	DINP-12(1)	Bool	%Q125.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VERIFICACION BOMBA LISTA
25	DSYI-15	Bool	%Q124.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	ENERGIZAR EL VARIADOR DE FRECUENCIA
26	CTH-19A	Word	%IW752		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	TRANSMISOR DE TEMPERATURA EN LA SALIDA DEL ENFRIADOR
27	CTH-17A	Word	%IW754		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	TRANSMISOR DE TEMPERATURA EN LA ENTRADA DEL ENFRIADOR
28	MFTI-20A	Word	%IW756		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	MEDICION DE FLUJO DE LECHE CRUDA
29	CDSRV-23	Word	%QW752		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DE REGULACION DE AGUA FRIA

Figura 50 muestra de la tabla de etiquetas (definición de variables)

De acuerdo al plano P&ID se necesita hacer la declaración de las variables de proceso que se van a usar entradas y salidas tanto digitales como analógicas están van a diferir de la inicialmente hechas para especificar el PLC. Por un lado se ve que ciertas entradas eran innecesarias. Por otro lado se necesita detallar más respecto al nombre de la variable (ver Anexo 14).

En las siguientes líneas la nomenclatura que se utilizo para identificar el tipo de variable y a que unidad o modulo de equipo pertenece:

Se tiene las siguientes nomenclaturas:

la primera letra corresponde a la unidad y/o clasificación de línea

- D significa que pertenece a la unidad de des aireación
- C significa que pertenece a la unidad de enfriamiento (Cooling)
- M significa que pertenece al modulo de medición de leche
- S significa que es parte de la línea de servicio
- Por ejemplo se tiene que:

SBUV-3(2) es una señal de válvula de servicio

Como cada elemento puede necesitar más de una entrada/salida analógica/digital

Esto se puede denotar como el número que está entre paréntesis que se encuentra al final de la codificación.

En el caso del ejemplo se tiene: (2)

Como la mayoría de las entradas y salidas son digitales, no se necesita de un carácter especial para su identificación. Por lo tanto SBUV-3(2) es una señal digital por defecto.

Sin embargo cuando es analógico se identifica con una letra mayúscula A que esta al final del código. Un ejemplo es el siguiente:

MFTI-20A es una señal analógica de un transmisor de flujo.

Ya habiendo ingreso todas las variables de proceso (entradas y salidas).

Estamos listos para usarlas cuando comencemos a programar los módulos.

En este caso modulo se refiere a los bloques independientes en el programa que se les puede llamar de un programa principal y ejecutarlos para posteriormente regresar al programa principal como se puede ver en la página principal (ARQUITECTURA DEL PROGRAMA)

	Name	Data type	Address	Retain	Visible..	Acces...	Comment
1	DBUV-5	Bool	%I124.4		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION CIP TANQUE (VE...
2	DBUV-5(1)	Bool	%I124.5		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION CIP TANQUE (VE...
3	DBUV-5(2)	Bool	%Q124.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION CIP TANQUE (EN...
4	SBUV-3	Bool	%I124.6		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION AGUA (VERIFICA...
5	DBUV-25	Bool	%I124.2		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA ALIMENTACION A TANQUE (VERI...
6	DBUV-2	Bool	%I124.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DESCARGA TANQUE (VERIFICACI...
7	DBUV-2(1)	Bool	%I124.1		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DESCARGA TANQUE (VERIFICACI...
8	DBUV-2(2)	Bool	%Q124.0		<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	VALVULA DESCARGA TANQUE (ENERGIZAR...

Figura 51 extracto de la ventana de asignación de variables

- Se ingresa el código del elemento
- Se escoge el tipo de variable digital (bool), analógica, etc.
- Se especifica la dirección, indicando si es entrada o salida
- Por defecto todas las variables son visibles a accesibles desde la pantalla, esto se muestra como un visto que se pone en cada columna.

Otro de los tipos de variables que se necesita poner son las internas o de uso exclusivo del PLC para hacer su operaciones, el nombre que se les da a estas variables es de MARCA o MEMORIA

Dependiendo de la necesidad se declaran las marcas siendo lo que más hay en el programa.

4.9.1. PROGRAMACION DEL PLC

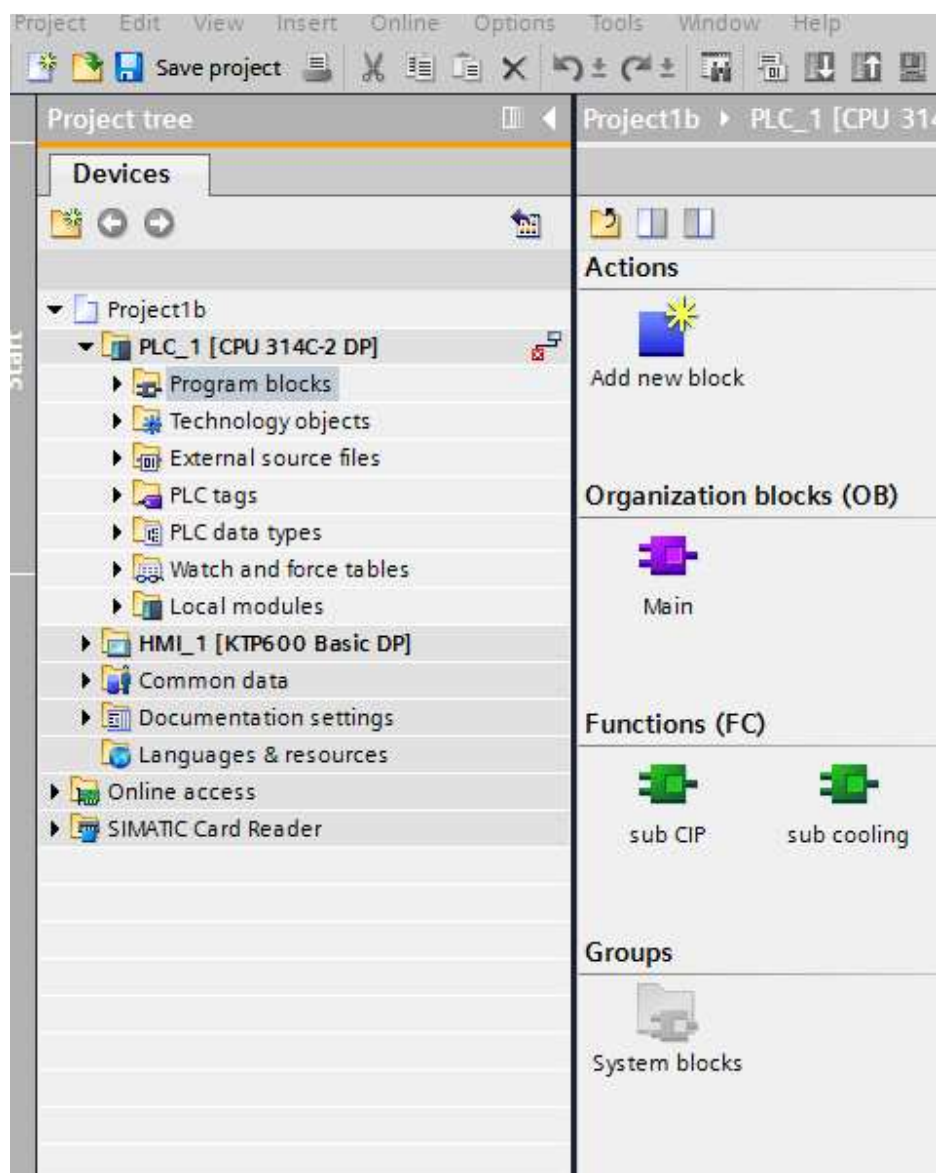


Figura 52 Árbol de proyecto mostrando los módulos

En el árbol del programa se va a la pestaña de "Program block"

Apareciendo la ventana que se muestra en la Figura 52

Se hace las siguientes acciones:

- Añadir programa principal (en este caso se utiliza un " Organization block"

Este bloque tiene la estructura principal de programa, es decir los modulo y como estos están conectados entre sí y con el programa principal

Las subrutinas se denota con sub antepuesto al nombre del modulo, de ahí se tiene que los módulos toman el nombre de:

- Sub CIP
- Sub cooling
- Sub deaeration
- Sub filling
- Sub flash
- Sub measuring
- Sub production
- Sub push

Todos estos módulos se especifican como una función

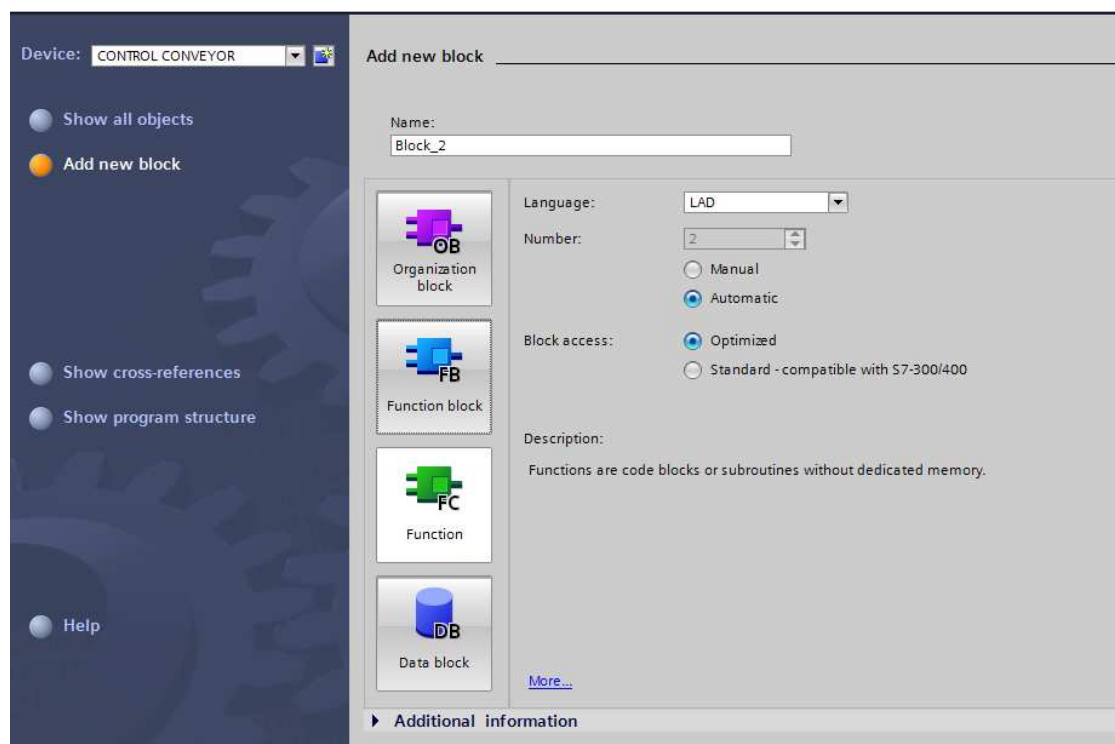


Figura 53 Caja de dialogo mostrando los tipos de bloques en la programación del controlador

Cuando se añade un nuevo bloque se le debe poner un nombre y también se puede determinar en qué lenguaje se le va a programar. Por defecto aparece el lenguaje LAD (Ladder o escalera).

Como se puede ver en la figura existen cuatro tipos de bloques:

- Organization block
- Function block
- Function Call
- Data block

4.9.1.1. Programación del bloque de Organización (OB)

De acuerdo con el diagrama de flujo A4P DDS o ver Anexo 12-1

Del OB (modulo principal se llama a los módulos.

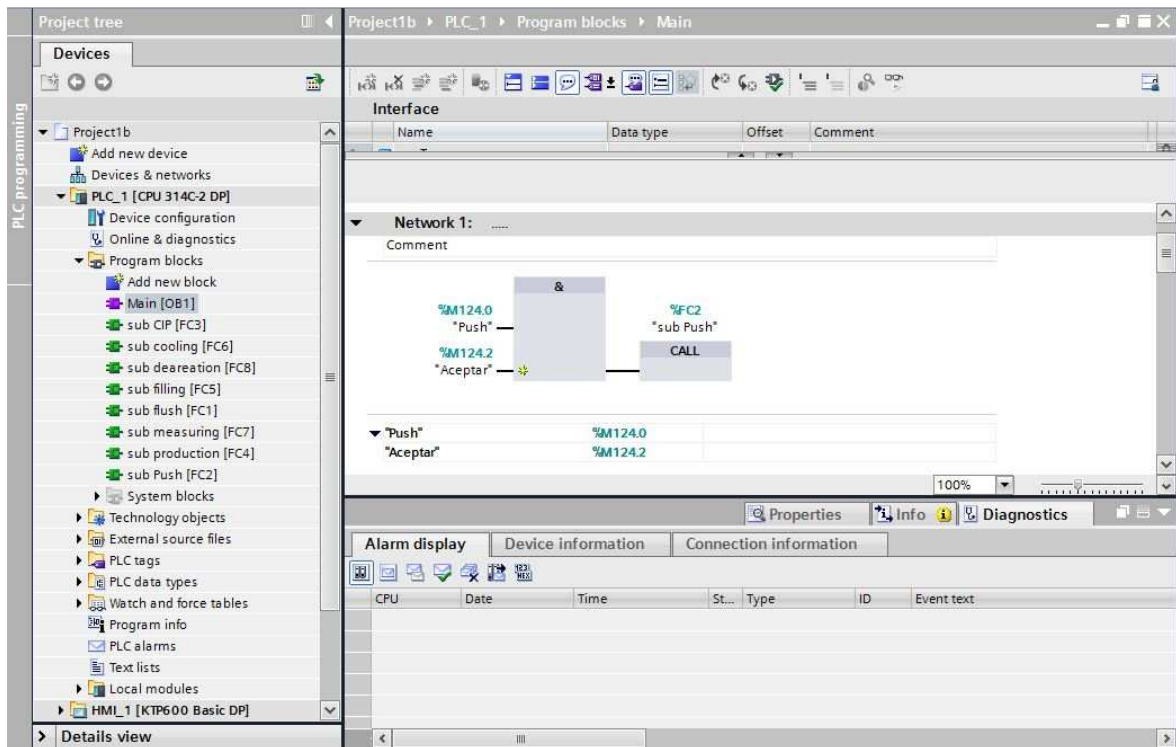


Figura 54 Pantalla de programación del módulo principal

La programación completa del OB se puede ver en el anexo 15

La programación de los módulos se va a hacer en las subrutinas. En este caso se va a presentar la programación de dos subrutinas:

4.9.1.2. Sub rutina empuje de leche con agua (Pushing)

De acuerdo al diagrama de flujo (Detail Design Specification) Anexo 12-3

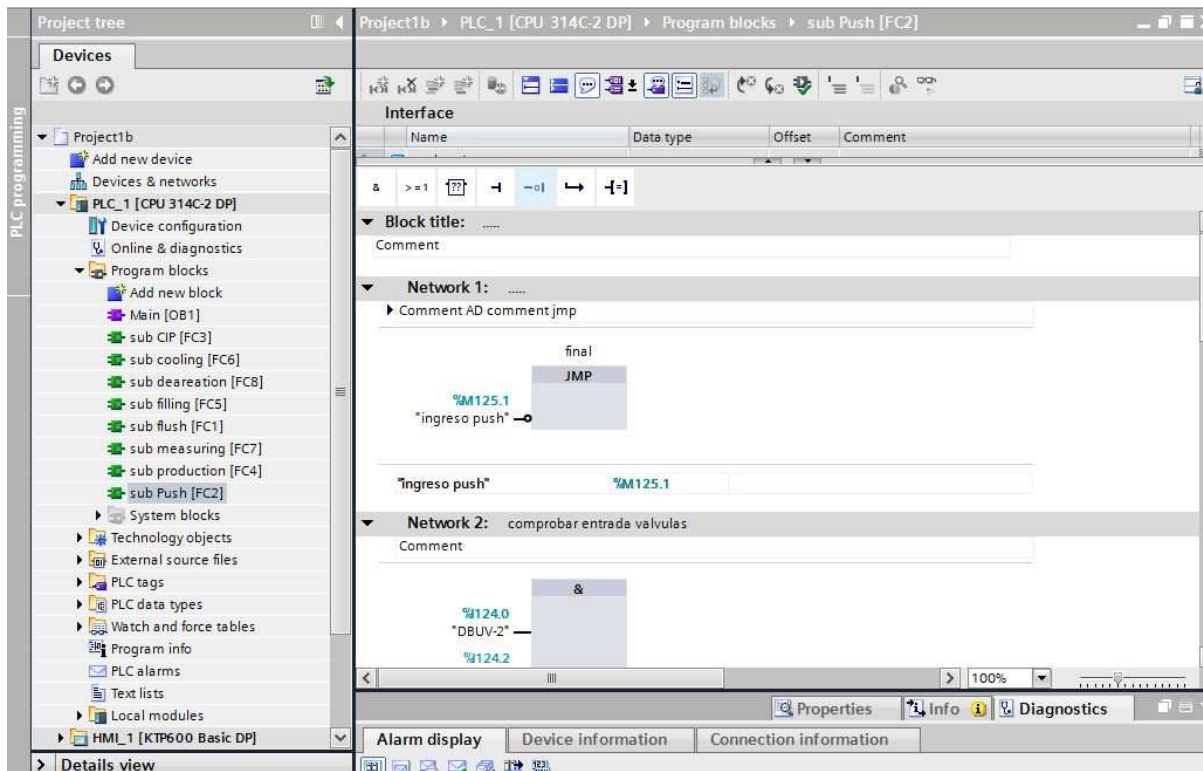


Figura 55 Pantalla de programación del módulo de empuje de leche con agua

4.9.1.3. Sub rutina de llenado del tanque (Filling)

El DDS (diagrama de flujo) de esta subrutina es detallado en el Anexo 12-7. Partiendo de la lógica del proceso se procedió a programar la “Fuction Call” sub filling

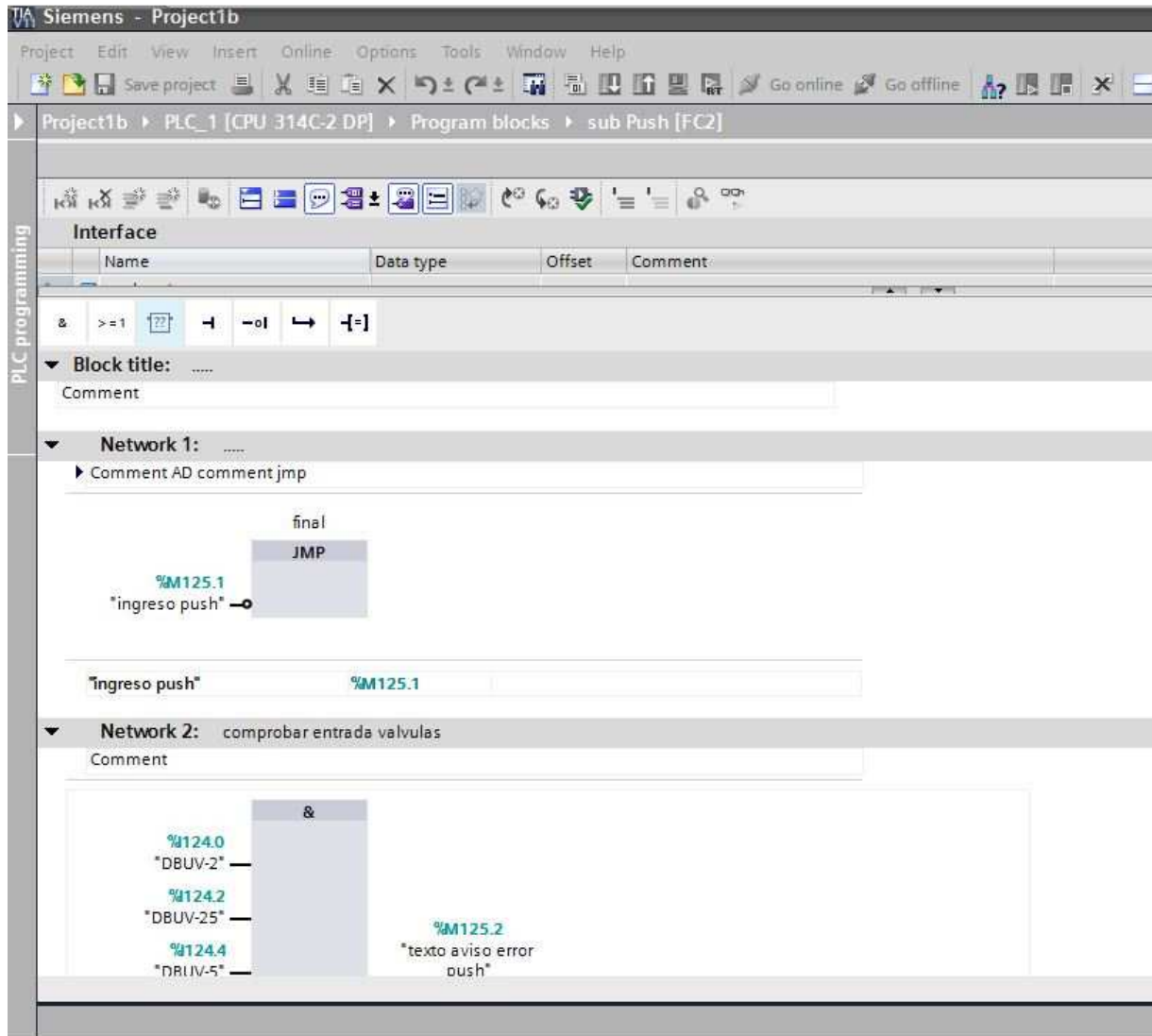


Figura 56 Pantalla de programación del módulo de llenado del tanque

4.9.1.4. Diseño de las interfaces

Ya en el numeral 4.8.1. Se procedió a especificar las pantallas y la arquitectura que va a manejar la pantalla táctil **KTP600 Basic DP**.

Primeramente hay que explicar que los buses de comunicación entre el controlador y la pantalla deben estar adecuadamente conectados y/o ser compatibles.

4.4.1.5. Descripción de la interfaz y su funcionamiento

En el menú principal constan las 8 opciones del modulo de desaireación, al pulsar cada opción en la pantalla táctil la opción seleccionada cambia de color para confirmar su selección, en caso de presionar otra selección en el panel se borra la ultima seleccionada y se activa la nueva selección.

Luego de que el operador tenga confirmada su elección debe presionar el botón aceptar para ingresa a la opción seleccionada, en caso de pulsar cancelar se borra la selección y se tiene todo el menú como en el inicio. Luego de finalizar cada modulo se regresa a este menú principal para poder seleccionar una nueva opción.

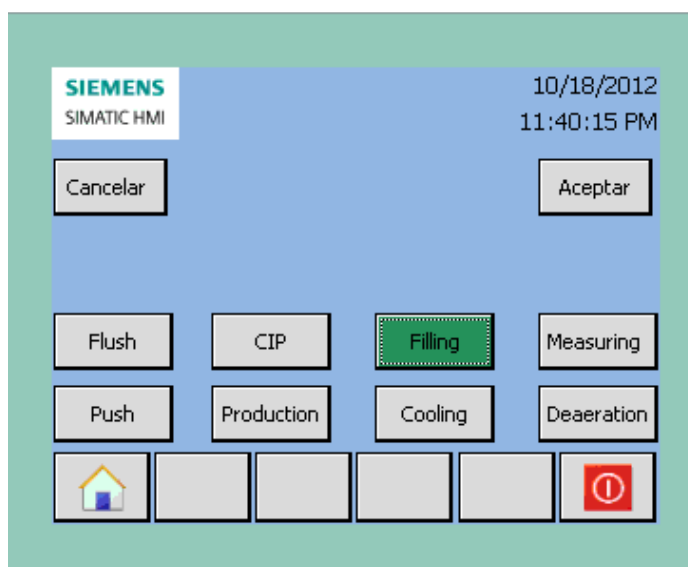


Figura 57 Pantalla principal mostrando los diferentes módulos de proceso

Para lograr por programación al seleccionar cada opción se activa una variable que representa a la opción, y desactiva todo el resto de opciones para evitar que se realicen dos módulos a la vez. El llamado se completa al pulsar aceptar, por lo que no se ingresa al modulo antes de presionar aceptar. Al presionar cada tecla se almacena una variable que luego va a servir para realizar el llamado a la subrutina de pantalla correspondiente. En la Figura

57 siguiente se muestra el ejemplo para el botón de llenado (filling) , donde se asigna el valor de 6, que servirá al botón aceptar para llamar a la sub imagen 6 que es la correspondiente para el modulo de llenado (filling). En la Figura 57 se muestra la configuración para el botón de aceptar.

▼ DefinirVariable	
Variable (Salida)	comunicar
Valor	6
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	Flush
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	Push
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	CIP
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	production
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	cooling
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	measuring
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	deareation
▼ ActivarBit	
Variable (Entrada/salida)	filling
▼ ActivarBit	
Variable (Entrada/salida)	luz filling
▼ DesactivarBit	
Variable (Entrada/salida)	finalizar filling
<Agregar función>	

▼ ActivarBit	
Variable (Entrada/salida)	Aceptar
▼ ActivarImagenConNúmero	
Número de imagen	comunicar
Número de objeto	0
<Agregar función>	

Figura 58 Llamado de subrutina a través del HMI

En la imagen se muestra un ejemplo de cómo se llama a cada subrutina, de cada modulo. Cabe recalcar que luego de cada subrutina se reinician los parámetros para que se pueda usar nuevamente en las siguientes operaciones.

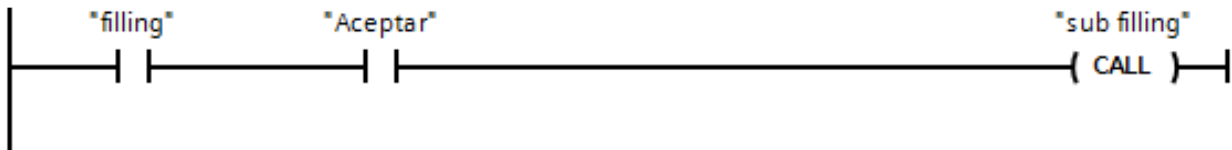


Figura 59B Modulo principal, llamado del llenado

Una vez que se llega a cada modulo luego de el menú principal se procede a una pantalla donde se debe confirmar que se quiere estar en este modulo con la opción aceptar, en caso de que no se quiera entrar en este modulo se tiene la opción de abortar la cual reinicia toda las variables para proceder a una nueva operación y regresa al menú principal. Se muestra un ejemplo con el modulo de empuje (pushing)

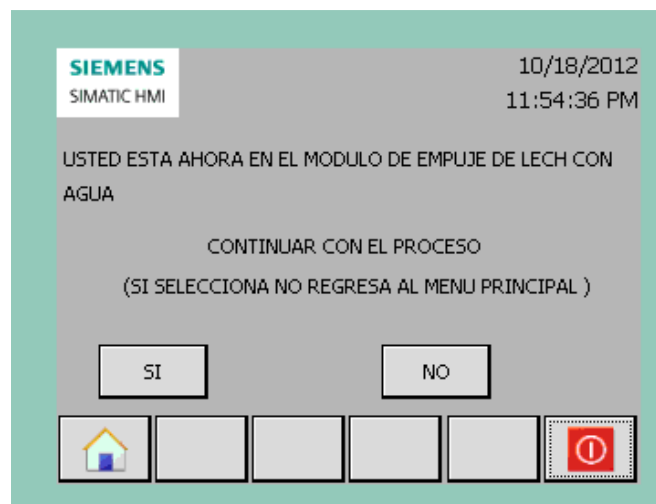


Figura 60 Pantalla secundaria, modulo de empuje (pushing)

Luego de tener confirmado el proceso de procede a verificar de que no hayan errores en el sistema antes de avanzar con el proceso, en esta pantalla en caso de que se tenga un error mostrara cual es el error y mostrara la opción de abortar la cual cancelara la operación y volverá al menú principal. En caso de que no exista errores se mostrara un mensaje de que no hay errores y mostrara la opción de continuar que avanzara hacia la siguiente etapa del programa, se muestra un ejemplo de este para el modulo de empuje (pushing).

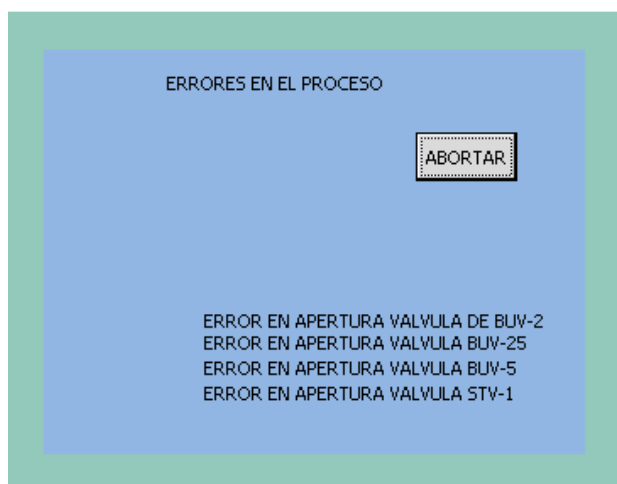


Figura 61 Ejemplo de fallo de válvulas

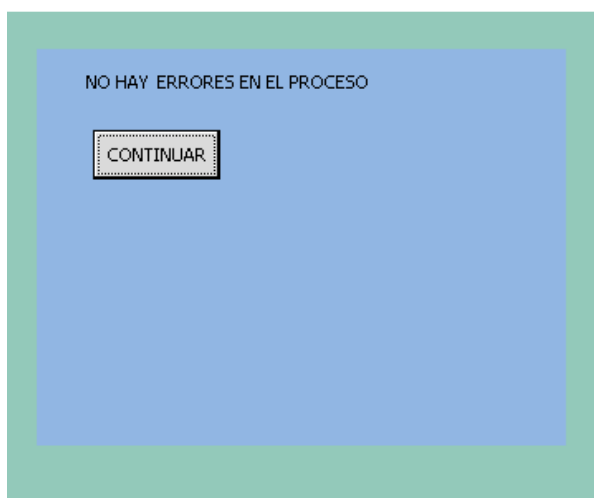


Figura 62 Mensaje de verificación de buen funcionamiento de elementos controlados

Luego de haber confirmado que no hay errores y se puede continuar con el proceso se va a la pantalla donde se muestra datos sobre el estado actual del proceso, da alarmas, indica errores tiempo de operación de los equipos, etc. Se muestra un ejemplo de esto para el modulo de empuje (pushing).

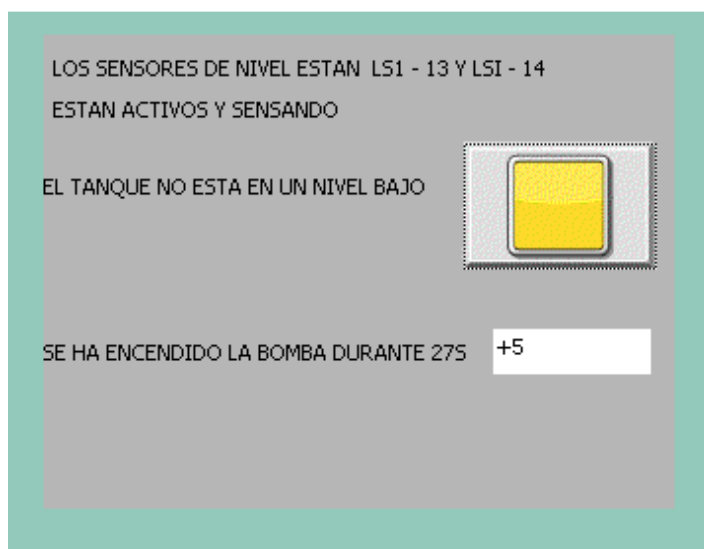


Figura 63 Mensaje indicando el estado del proceso

En este ejemplo se muestra una alarma para cuando el tanque esta en nivel bajo, y un contador que indica el tiempo que va a estar encendida la bomba que se encarga del empuje de la leche con agua, y al finalizar ese tiempo se muestra un botón de que se ha finalizado el proceso, al presionar en este botón se regresa al menú principal listo para elegir una nueva opción.

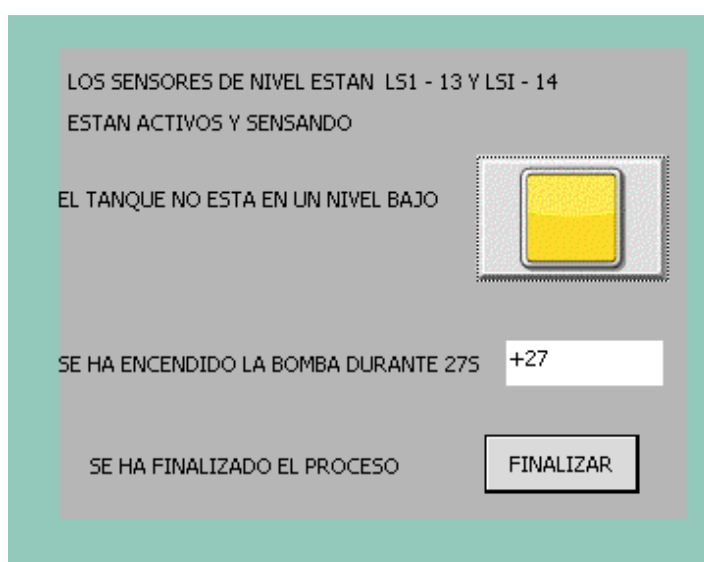


Figura 64 Aviso de finalización del proceso

Para realizar operaciones de tiempo y de control se uso temporizadores como el caso del empuje (pushing) para controlar los 27 segundos que se prende la bomba.

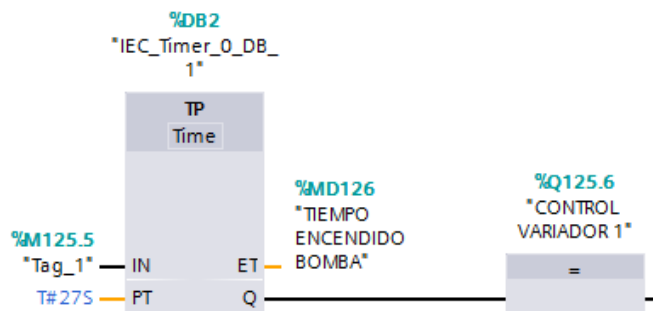


Figura 65 parte de la programación usando temporizadores

Es necesario indicar que el tiempo de empuje depende principalmente de las instalaciones donde se va a usar la unidad. El tiempo de empuje dentro del equipo es constante y se puede definir en función del enfriador (tiempo necesario para inundar la unidad con agua). Por lo tanto el tiempo de empuje debe ser determinado cuando se ponga el marcha la unidad de recepción de leche. Este valor debe ser parametrizado en la pantalla; es decir que se ingresa a través de la cuenta del administrador. En este caso el ingeniero que hace la puesta en marcha.

En algunos módulos se usa letras de diferentes colores para recalcar un error que puede ser muy perjudicial en la unidad, como es el caso del modulo de llenado del tanque donde que no se habrán las válvulas puede causar derrame del producto. También se puede hacer conexión a una alarma luminosa tipo semáforo sin embargo no se considero en este diseño.

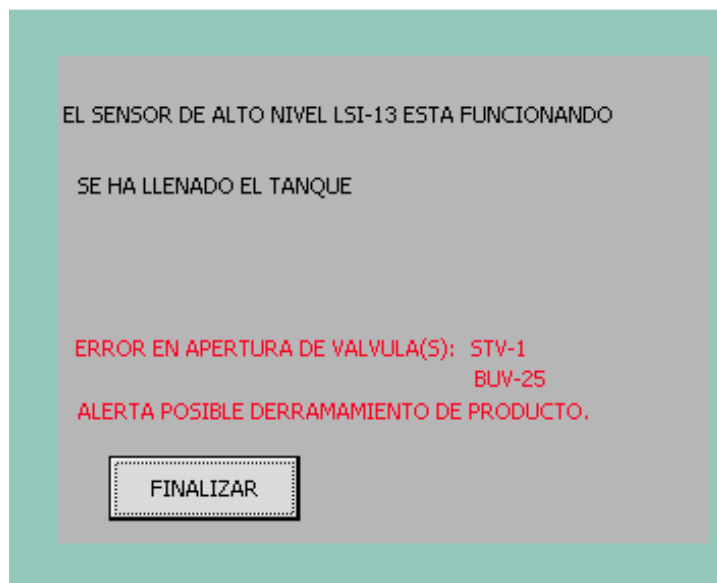


Figura 66 Ventana de estado final de llenado

5. CAPITULO SIMULACION

El funcionamiento de la unidad de recepción de leche va a ser simulado en lo que se refiere al funcionamiento de las válvulas, controles, etc. Por lo tanto esto se puede hacer solamente utilizando en simulador del portal TIA. Tanto la sección de enfriamiento como de des-aireación se van a simular simultáneamente ya que las dos están ligadas por la bomba de transferencia MRINP2E-12.

5.1. SIMULACION DEL PLC

Luego de haber programado el controlador se tiene que verificar el correcto funcionamiento para lo cual se tiene que simular el CPU 314C-2 DP, luego de verificar el estado del PLC se tiene que cargar el controlador.

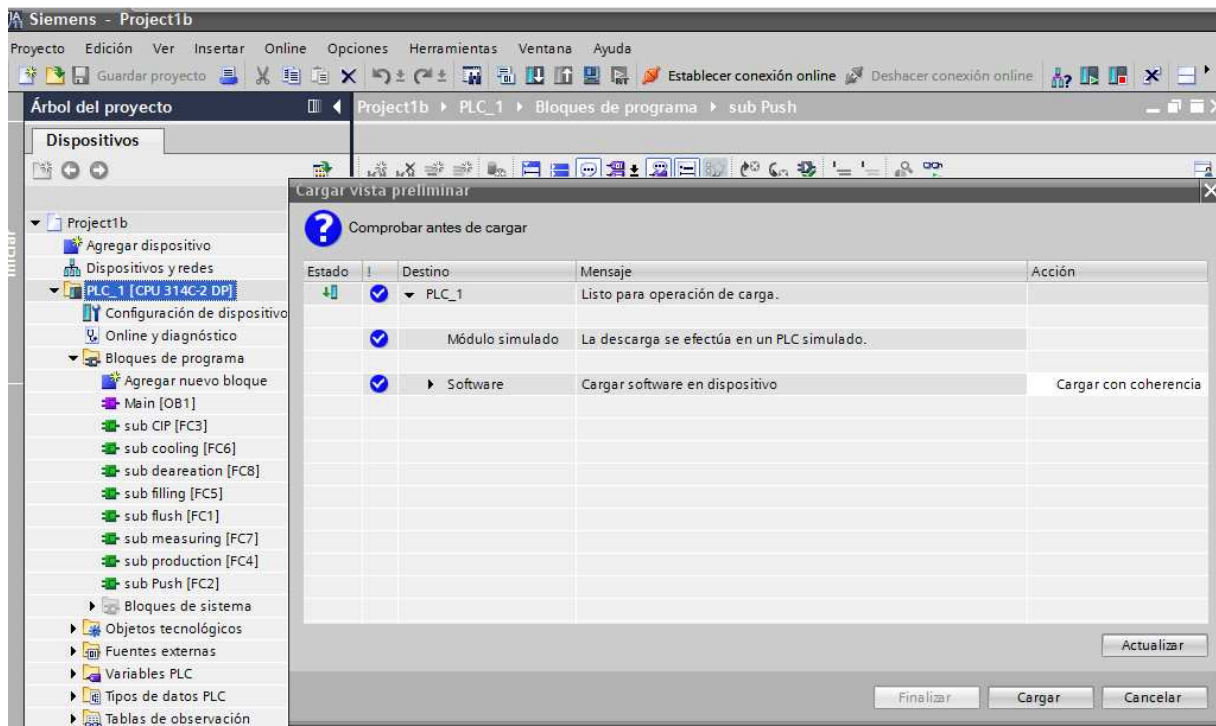


Figura 67 Verificación del estado del controlador

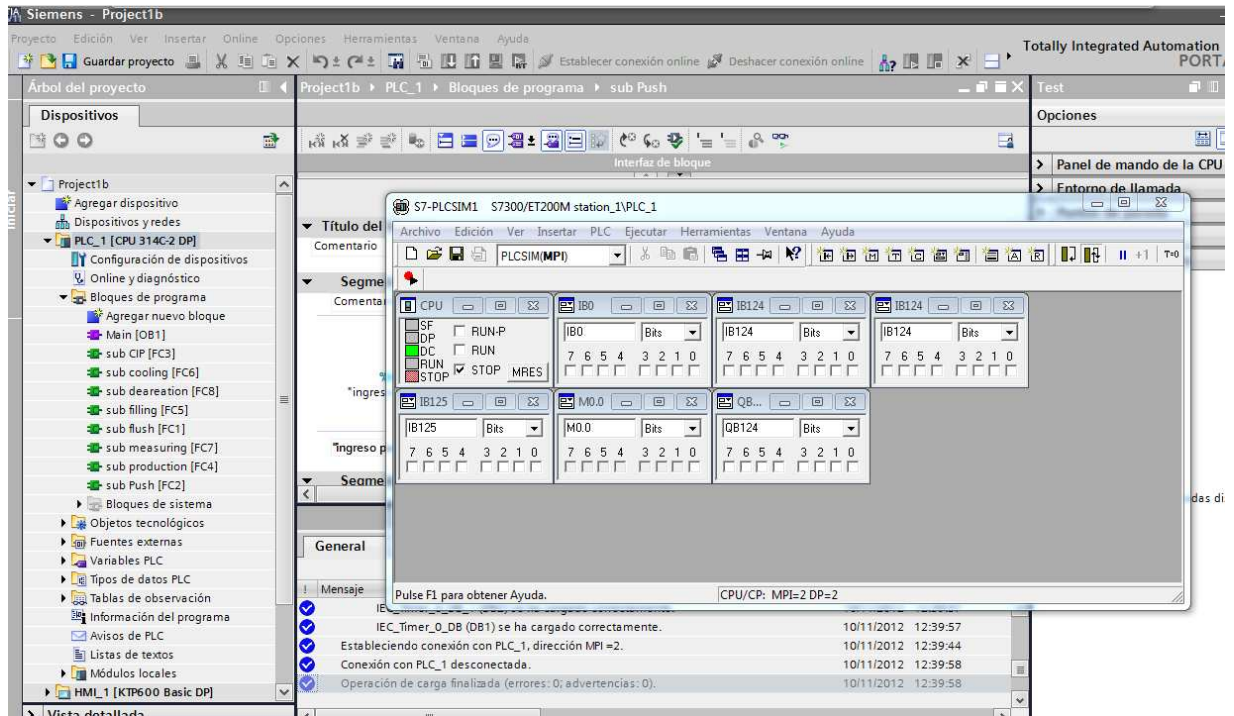


Figura 68 Programa cargado en el PLC

El simulado que utiliza el portal TIA es el S7-PLCSIM1, Esta es una representación lo más parecida a la realidad donde se ubican las entradas salidas digitales y analógicas.

Por otro lado, se puede ver el flujo de corriente cuando se activa un botón.

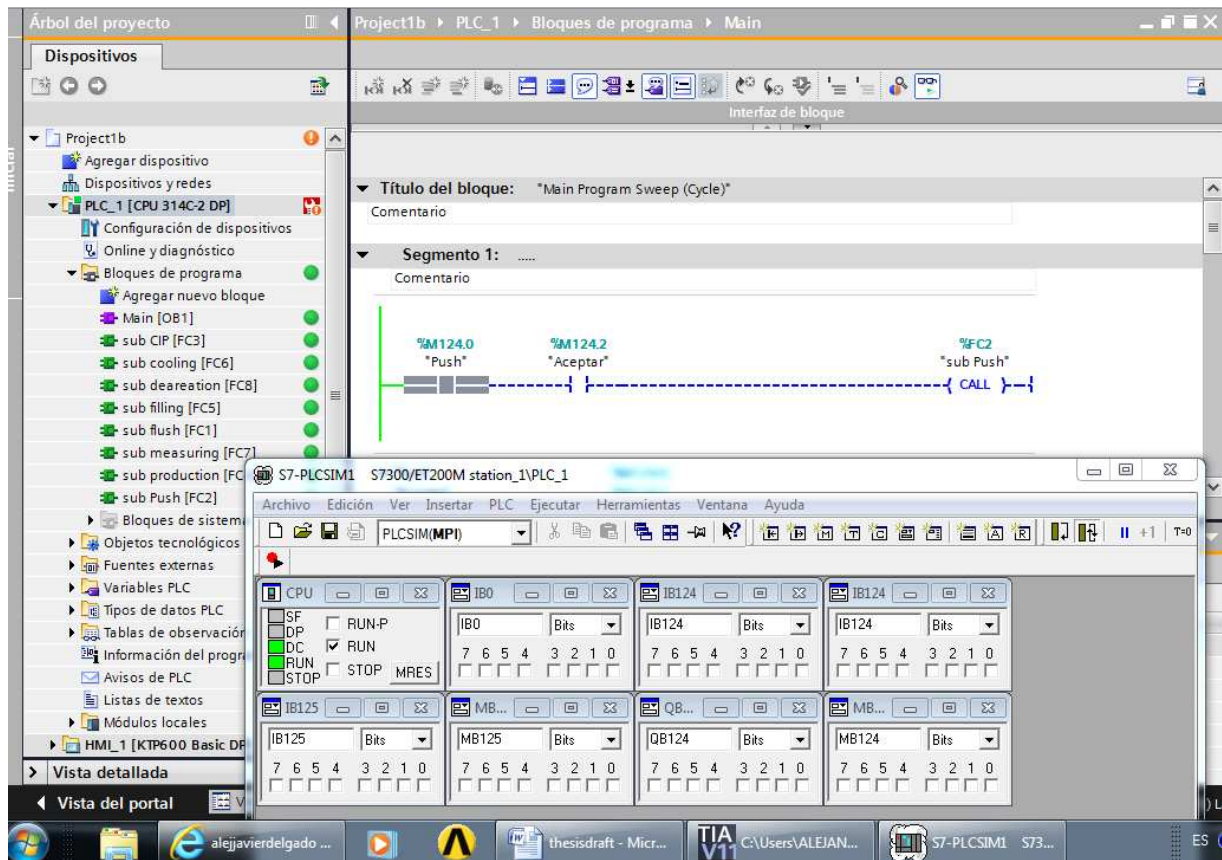


Figura 69 Verificación de las entradas y flujo de corriente

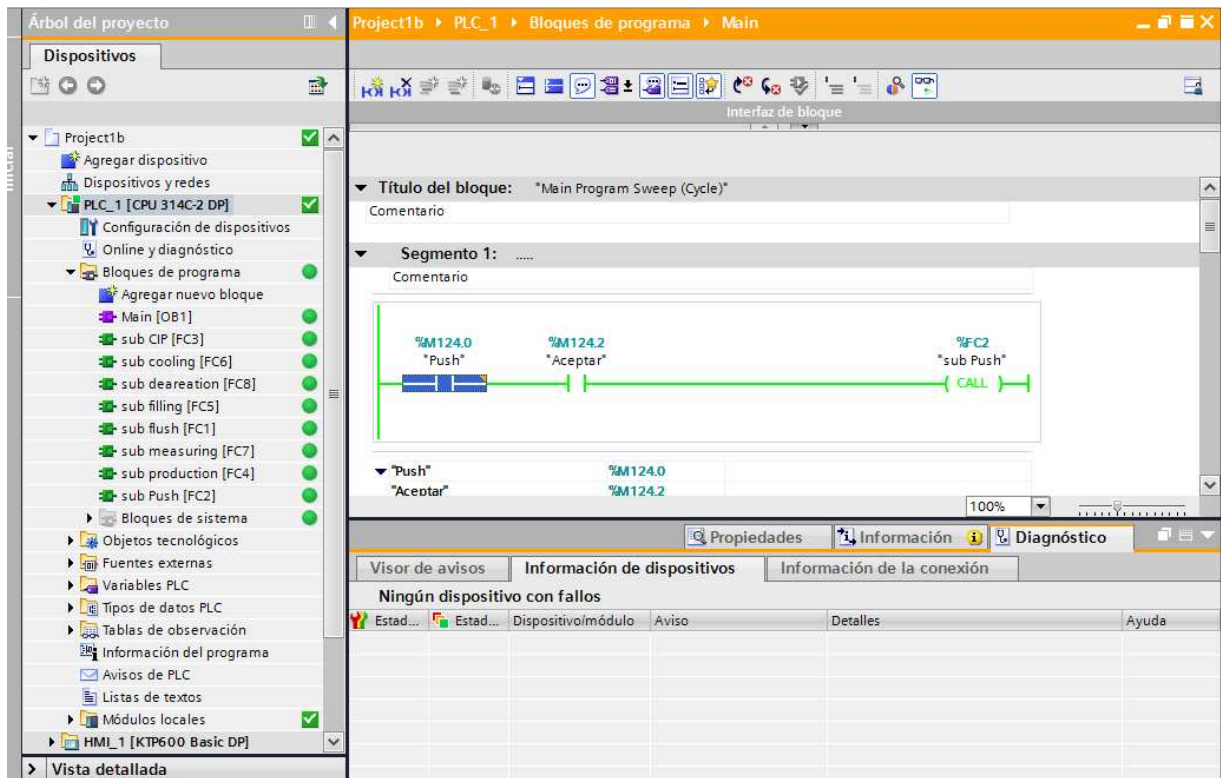


Figura 70 Verificación de dirección y accionamiento de entradas

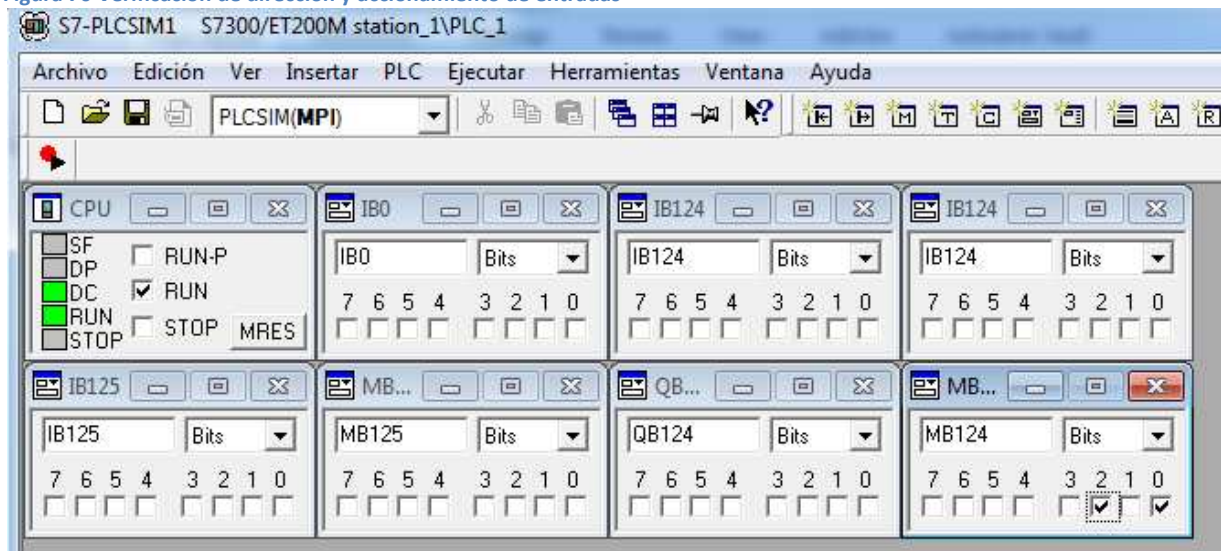


Figura 71 El controlador está en estado de corrida

Después de haber hecho la simulación para todos los módulos se pudo pulir la programación del sistema sin embargo en caso que se pueda cargar en un controlador real e implementar la automatización de un equipo. Solamente en

la puesta en marcha se puede saber en forma certera el funcionamiento de la unidad y poder hacer las correcciones en sitio (calibración) del sistema.

5.2. SIMULACION DEL PROCESO USANDO EXCEL

Para comprender el funcionamiento del proceso se realizo graficas en Excel donde se simula el proceso de descarga de la leche cruda desde el tanquero hacia el tanque de des-aireación.

Primeramente es necesario definir las variables de proceso como son:

- Volumen descargado en función de la altura de descarga desde el tanquero
 $V_{desc}=f(H)$
- Volumen residual en función de la profundidad del fluido en el tanquero
 $V_{res}=f(H)$
- Caudal de descarga desde el tanquero en función de la profundidad del fluido en el tanquero $Q=f(H)$

La función objetivo es $V_{desc}=f(t)$ volumen descargado= f (tiempo)

5.2.1. DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUERO

Típicamente la capacidad de los tanqueros de leche es de 12000 l. Por otro lado la relación longitud/diámetro es 3.36. Por lo tanto se puede determinar las dimensiones del tanquero de leche como sigue en la siguiente tabla:

Tabla 27 Calculo de las dimensiones típicas de un tanquero de leche¹⁶

Calculation of the main tank dimensions based in tank volume and H/D RATIO	
tank	1
product	raw milk
V, m3	12.00
ratio L/D	3.36

¹⁶ El diseño de la hoja de cálculo fue basada en un típico tanque de tanquero (cilíndrico con dos tapas cónicas)

depression angle, o	0
depression angle, radians	0.0000
α fall, o	180
α fall, radians	3.1416
D, mm (HIGHT)	1657
L (cone+cylinder), mm	5568
L cone, mm	0
L cylinder, mm	5568
total length, mm	5568
RATIO L cylinder/D	3.36

5.2.2. DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN VOLUMEN REMANENTE DEL TANQUE EN FUNCIÓN DE ALTURA DEL FLUIDO

Ya teniendo las dimensiones se procede a determinar la relación entre la profundidad del fluido remanente con respecto al volumen del ocupado en el tanque.

La ecuación que relaciona estas variables es la que a continuación se detalla:

$$V=L*[(R^2*\text{acos}((R-H)/R)-(R-H)*((2*R*H)-H^2)^{(1/2)}] \quad \text{Ec. 50}$$

En donde:

V es el volumen ocupado por la leche remanente en el tanquero, en litros

L es la longitud del tanque (tanquero), en milímetros

R es el radio del tanque horizontal, en milímetros

H es la altura o profundidad del fluido remanente, en milímetros

Aquí un ejemplo de cálculo:

$$R=1657/2 \text{ y } H=1500$$

$$V=5568*[((1657/2)^2*\text{acos}(((1657/2)-1500)/ (1657/2))-((1657/2)-1500)*((2*(1657/2)*1500)-1500^2)^{(1/2)}]$$

$$V=11425.5 \text{ l}$$

Tabla 28 Calculo del volumen ocupado del tanquero a una altura definida de fluido¹⁷

diameter, mm	1657
length, mm	5568
depth of fluid, mm	1500
maximum vessel volume, liters	12000.0
occupied tanker volume, liters	11425.5

5.2.3. CURVA VOLUMEN REMANENTE EN FUNCION DE LA ALTURA

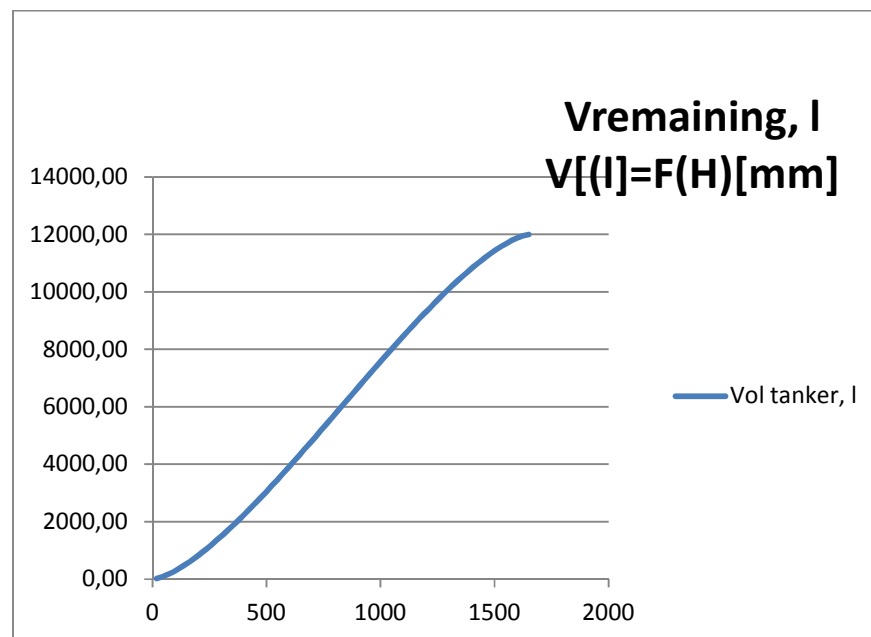


Figura 71 Relación Volumen remanente-altura de fluido¹⁸

5.2.4. DETERMINACIÓN DE LA FUNCIÓN CAUDAL DE DESCARGA EN FUNCIÓN DE ALTURA DEL FLUIDO Y CALCULO DEL TIEMPO DE DESCARGA

¹⁷ <http://www.calculatorsoup.com/calculators/construction/tank.php>

¹⁸ http://www.engineeringtoolbox.com/content-cylindrical-tank-d_1301.html

Por otro lado también es importante saber el caudal de descarga conforme varía el nivel del líquido en el tanquero. De ahí se tiene la siguiente Ec.:

$$Q = A_{\text{chorro}} \cdot V_{\text{chorro}} = C \cdot A_{\text{pico}} \cdot V_{\text{chorro}} \quad \text{Ec. 51}$$

$$V_{\text{chorro}} = (2 \cdot g \cdot DZ)^{(1/2)} \quad \text{Ec. 52}$$

$$A_{\text{chorro}} = \pi \cdot D^2 / 4 \quad \text{Ec. 53}$$

Donde:

Q es el caudal de descarga en l/h

Achorro es el area del tubo de descarga en mm²

Vchorro es la velocidad lineal de la descarga del fluido en m/s

C es el coeficiente de descarga, 0.98

g es la aceleración de la gravedad, 9.8 m/s²

DZ es la diferencia de altura en mm (nivel del liquido)

Aquí un ejemplo del cálculo:

$$Q = C \cdot \pi \cdot D^2 / 4 \cdot (2 \cdot g \cdot DZ)^{(1/2)}$$

Tabla 29 Calculo del caudal de descarga en función de la altura¹⁹

Calculation of total filling time

volume, litres	87.53
height differential, mm	1500
density, kg/m ³	1013
discharge coefficient	0.98
jet velocity, m/s	5.42
spout exit diameter, mm	51.00
filling flowrate, l/h	39078
filling time, s	8.06

¹⁹ http://www.efunda.com/formulae/fluids/draining_tank.cfm

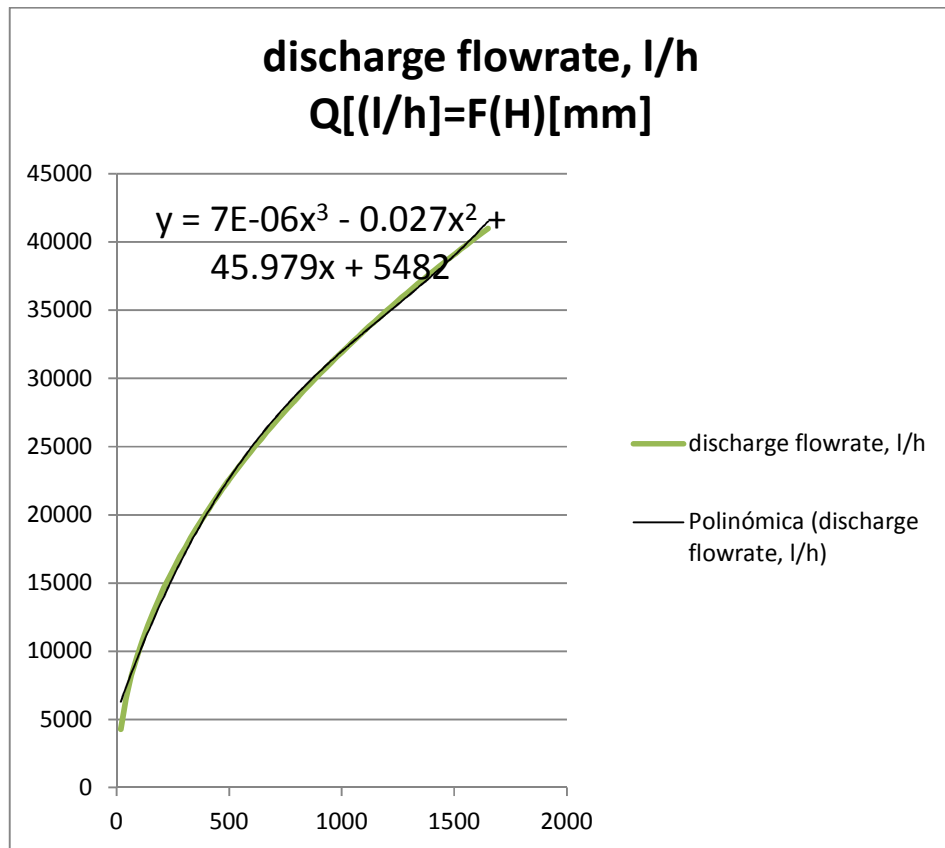


Figura 72 Relación de caudal de descarga-altura de fluido basado en la ecuación 51

5.2.5. CALCULO DEL VOLUMEN DESCARGADO EN FUNCION DE LA ALTURA DEL FLUIDO REMANENTE

Como se tienen las funciones $V_{tanque}=f(H)$ y $Q=f(H)$ se puede hallar la función $V_{descargado}=f(H)$

La ecuacion es la siguiente:

$$V_{descargado}=V_{total} - V_{tanque} \quad \text{Ec. 54}$$

el volumen maximo V_{total} es 12000 l

$$V_{descargado}=12000-V_{tanque}$$

Para una altura de 1500 mm se tiene:

$$V_{descargado}=12000-11425.5 \text{ litros}$$

$$V_{descargado}=574.5 \text{ litros}$$

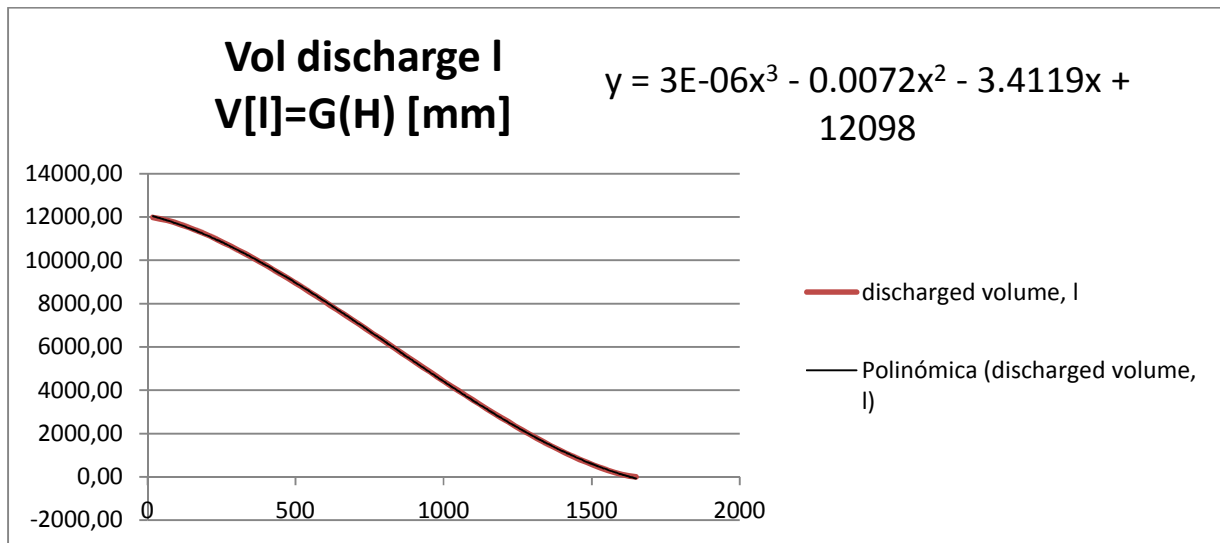


Figura 73 Relación volumen descargado-altura del fluido basado en la ecuación 54

5.2.6. DETERMINACION DE LA CURVA DE VOLUMEN DE DESCARGA EN FUNCION DEL TIEMPO

Primeramente hay que determinar un caudal promedio ya que la relación caudal con respecto al tiempo es una integral de difícil solución como sigue:

Tenemos que $Q_{descarga} = \text{Vol descargado} / \text{tiempo de descarga}$

$$Q_d = DV_{desc} / Dt = DV_{desc}(H) / DH * DH(t) / Dt$$

$$D(3E-06H^3 - 0.0072H^2 - 3.4119H + 12098)/DH$$

$$V'_{desc}(H) = 2 \cdot 3E-06H^2 - 2 \cdot 0.0072H - 3.4119$$

$$V'_{desc}(H) = 6E-06H^2 - 0.0144H - 3.4119$$

Por otro lado se tiene que el caudal de descarga se comporta según la siguiente Ec.:

$$Q_{desc} = 7E-06H^3 - 0.027H^2 + 45.979H + 5482$$

El caudal de descarga viene en la Tabla 30:

Table 30 Relación Caudal de descarga =f(altura de fluido)

H tanker, mm	discharge flowrate, l/h
1650	40985.36601
1626	40686.19876
1602	40384.81536
1578	40081.16582
1554	39775.19825
1530	39466.85873
1506	39156.09122
1482	38842.83746
1458	38527.0368
1434	38208.62607
1410	37887.53949
1386	37563.70843
1362	37237.06128
1338	36907.52328
1314	36575.0163
1290	36239.4586
1266	35900.76464
1242	35558.8448
1218	35213.60512
1194	34864.94698
1170	34512.76677
1146	34156.95555
1122	33797.39863
1098	33433.97518
1074	33066.55771
1050	32695.01156
1026	32319.19434
1002	31938.95529
978	31554.13455
954	31164.5624
930	30770.05836
906	30370.43025

882	29965.47306
858	29554.96774
834	29138.6798
810	28716.35775
786	28287.73134
762	27852.50952
738	27410.37812
714	26960.99722
690	26503.99806
666	26038.97954
642	25565.50405
618	25083.0927
594	24591.21961
570	24089.30518
546	23576.70813
522	23052.71585
498	22516.53282
474	21967.26639
450	21403.90933
426	20825.31817
402	20230.18584
378	19617.00694
354	18984.03285
330	18329.2129
306	17650.11579
282	16943.82276
258	16206.77858
234	15434.57852
210	14621.65367
186	13760.78843
162	12842.3456
138	11852.94827
114	10773.06478
90	9572.11925
66	8197.073202
42	6539.002312
18	4280.781866

Reordenando la ecuación se tiene:

$$Q_d(H) = V'_{desc}(H) \cdot DH(t)/Dt$$

$$Q_d(H) / V'_{desc}(H) = DH/Dt$$

$$\rightarrow DT = V'_{desc}(H) / Q_d(H) DH$$

$$\text{Integral}(DT = V'_{desc}(H) / Q_d(H) DH$$

$$\int DT = \int V'_{desc}(H)/Qd(H)DH + C$$

Reemplazando se tiene:

$$\int DT =$$

$$\int (6E - 06H^2 - 0.0144H - 3.4119/7E - 06H^3 - 0.027H^2 + 45.979H + 5482)DH$$

+C Ec. 55

Se determina en le tiempo de llenado

Haciendo en forma grafica se tiene la siguiente curva:

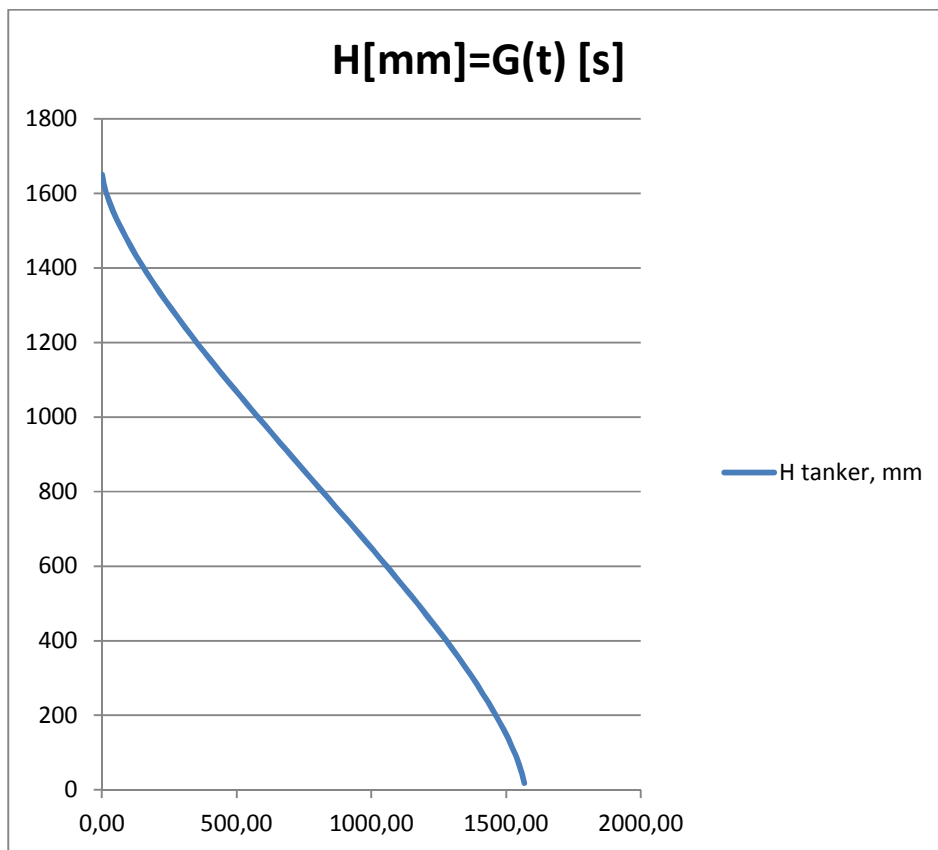


Figure 74 Relación Altura de fluido en función del tiempo en segundos basado en la ecuación 55

Finalmente, se puede determinar la relación entre el volumen de descarga y el tiempo

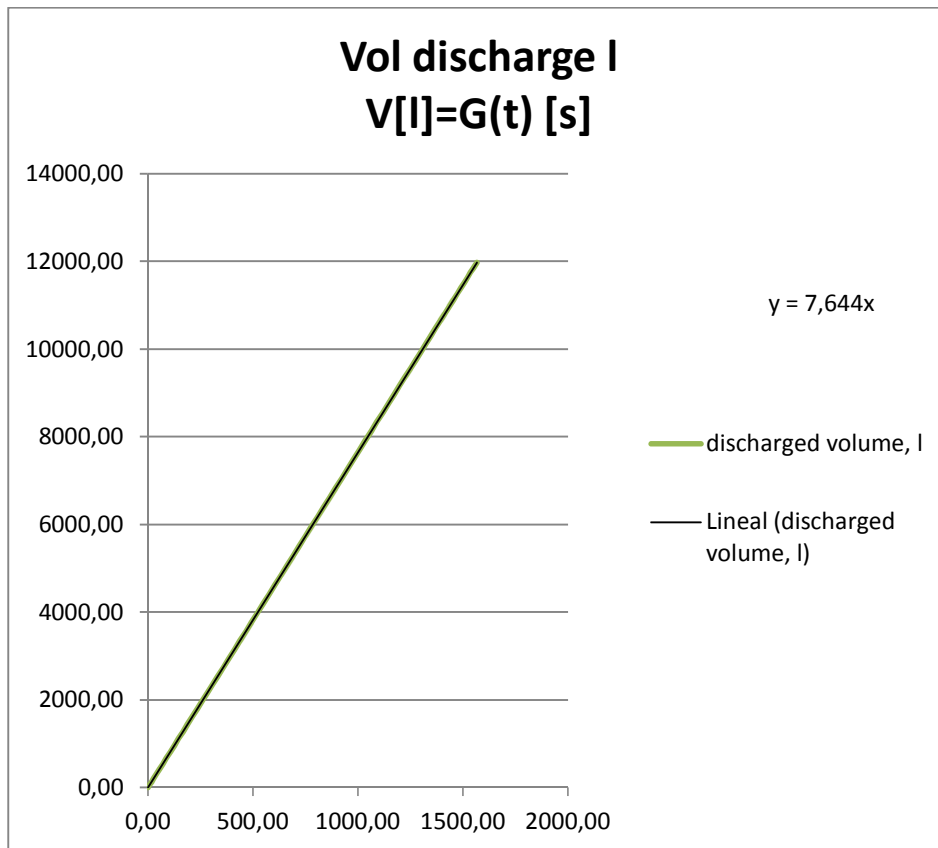


Figure 75 Relación Volumen de descarga en función del tiempo en segundos

Cada 8 segundo hay una interrupción en la alimentación, es justo para que la unidad de des-aireación trabaje en los ciclos de descarga y eliminación de aire por formación de vacío por parte de la bomba. De esta manera existe un tiempo de interrupción entre la carga y descarga del tanque de des aireación.

6. CAPITULO COSTEO

6.1. GENERALIDADES

Para determinar el costo total de la unidad de recepción de leche se debe diferenciar los diferencias costos que implica el diseño, construcción, instalación y calibración de la MRU. Según el siguiente cuadro:

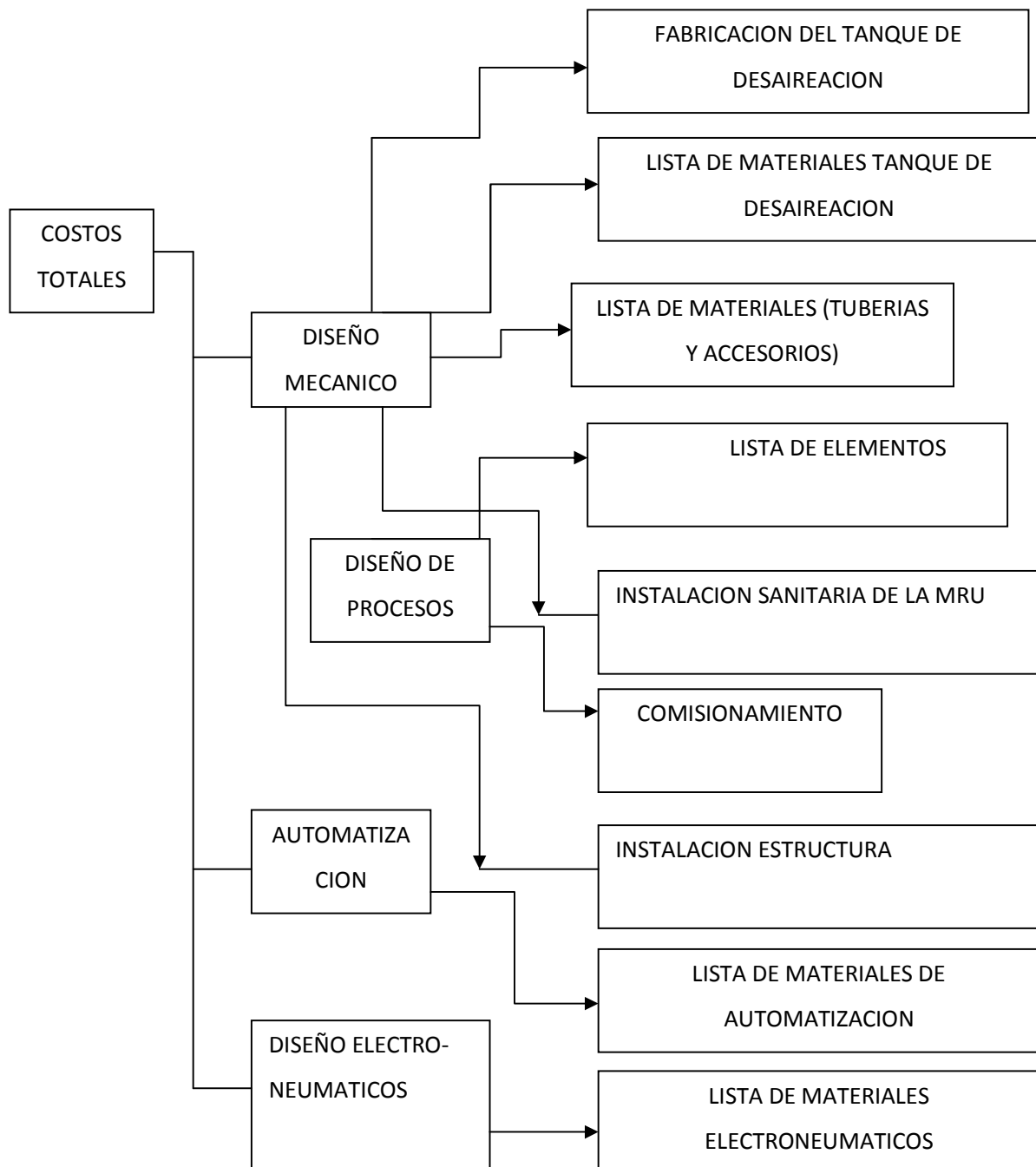


Figure 72 Cuadro Sinóptico para el cálculo de presupuesto de la unidad de recepción de leche

6.2. COSTEO DE UNA UNIDAD COMERCIAL

Para determinar el valor comercial en el peor de los casos. Se va a considerar tres proveedores tanto de material y elementos como servicios de instalación y construcción. Del valor obtenido se va a añadir un porcentaje de utilidad. Luego de obtener el precio tentativo de mercado se va a comparar con una unidad comercial con similares características al equipo diseñado.

El precio de venta al público de una unidad comercial con las siguientes especificaciones técnicas:

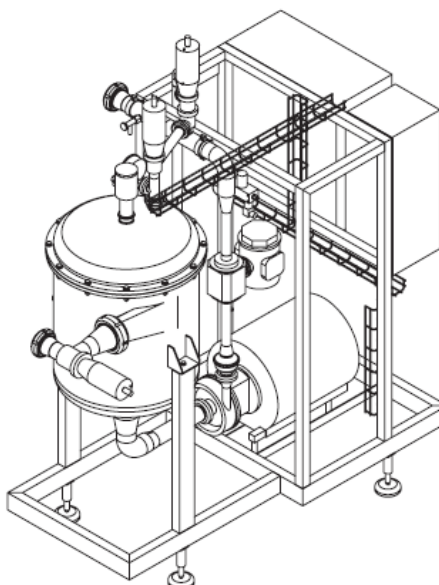


Figura 75 Unidad comercial de recepción de leche (TETRAPAK)

- Consta de una unidad de des aireación
- La capacidad es 15,000 l/h
- Consta de un modulo de medición y totalización
- No tiene una unidad de enfriamiento
- No tiene filtro
- El tanque es lavado por el choque tangencial

El precio del mercado de esta unidad de la marca TETRAPAK es 73,500 USD + IVA

6.3. COSTEO DE LA LISTA DE ELEMENTOS

La lista de elementos incluye:

- Válvulas
- Instrumentos de medición y control
- Bombas
- Intercambiadores de calor
- Tanques
- Paneles de flujo

6.3.1. COSTEO DE LA UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE

La MRU diseñada presenta diferentes características y configuración con respecto a la unidad comercial de TETRAPAK:

- Consta de una unidad de enfriamiento
- Incluye un filtro
- Tiene un sistema de limpieza más riguroso usando una desviación y una bola de aspersion que lava el tanque de des aireación.

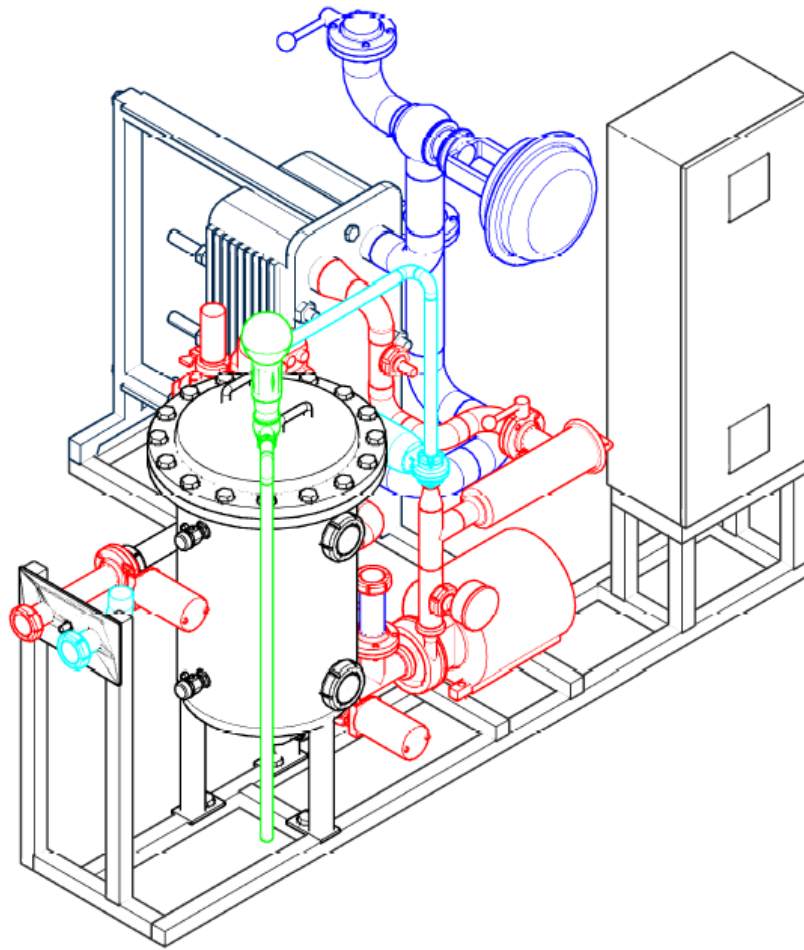


Figura 76 Unidad de recepción de leche diseñada

6.3.1.1. Costos de las válvulas

6.3.1.2. Costos De Soldadura

Tabla 23 Calculo de costos de soldadura Interconexión /tubería sanitaria y estructura

WELDING COSTS								
JOINT TYPE	SANITARY PIPING (SMS Standard)							
PROCESS:	TIG/GTAW							
MATERIAL	AISI SS 304							
WELDING JOINT COST:	16							
Count	Name	INFO	NUM	PITC H	SIZ E	D N	length, mm	welding cost, \$
1	WSP		J9		1.5	50	157	16
1	WSP		J8		1.5	50	157	16
1	WSP		J3		1.5	50	157	16
1	WSP		J2		1.5	50	157	16
1	WSP		J1		1.5	50	157	16
1	WSP		J4		1.5	50	157	16
1	WSP		J7		1.5	25	79	8
1	WSP		J6		1.5	50	157	16
1	WSP		J5		1.5	50	157	16
1	WSP		J11		1.5	40	126	13
1	WSP		J10		1.5	50	157	16
1	WSP		J12		1.5	40	126	13
1	WSP		J15		1.5	50	157	16
1	WSP		J14		1.5	50	157	16
1	WSP		J13		1.5	50	157	16
1	WSP		J16		1.5	50	157	16
1	WSP		J19		1.5	50	157	16
1	WSP		J18		1.5	25	79	8
1	WSP		J17		1.5	50	157	16
1	WSP		J26		1.5	50	157	16
1	WSP		J27		1.5	50	157	16
1	WSP		J25		1.5	50	157	16
1	WSP		J29		1.5	50	157	16
1	WSP		J24		1.5	50	157	16
1	WSP		J20		1.5	50	157	16
1	WSP		J23		1.5	50	157	16
1	WSP		J22		1.5	50	157	16
1	WSP		J21		1.5	80	251	26
2	WSP		J28		1.5	50	157	16
1	WSP		J32		1.5	40	126	13
1	WSP		J31		1.5	40	126	13
1	WSP		J30		1.5	40	126	13
1	WSP		J34		1.5	40	126	13
1	WSP		J35		1.5	40	126	13
1	WSP		J33		1.5	40	126	13
1	WSP		J36		1.5	40	126	13
1	WSP		J39		1.5	80	251	26

1	WSP		J38		1.5	80	251	26
1	WSP		J37		1.5	80	251	26
1	WSP		J43		1.5	80	251	26
1	WSP		J42		1.5	80	251	26
1	WSP		J41		1.5	80	251	26
1	WSP		J44		1.5	80	251	26
1	WSP		J47		1.5	40	126	13
1	WSP		J46		1.5	80	251	26
1	WSP		J45		1.5	80	251	26
1	WSP		J40		1.5	80	251	26
1	WSP		J48		1.5	40	126	13
1	WSP		J49		1.5	40	126	13
1	WSP		J50		1.5	50	157	16
							SUMMATION	852
JOINT TYPE	STRUCTURAL							
PROCCES:	TIG/GTAW							
MATERIAL	AISI SS 304							
WELDING JOINT COST:	16							
Count	Name	INFO	NUM	PITC H	SIZ E	D N	length, mm	welding cost, \$
2	WSP		J58		1.5	40	160	33
1	WSP		J57		1.5	40	160	16
1	WSP		J51		1.5	40	160	16
1	WSP		J52		1.5	40	160	16
1	WSP		J55		1.5	40	160	16
1	WSP		J54		1.5	40	160	16
1	WSP		J53		1.5	40	160	16
1	WSP		J61		1.5	40	160	16
1	WSP		J60		1.5	40	160	16
1	WSP		J59		1.5	40	160	16
1	WSP		J62		1.5	40	160	16
1	WSP		J56		1.5	40	160	16
1	WSP		J64		1.5	40	160	16
1	WSP		J63		1.5	40	160	16
							SUMMATION	245
							TOTAL SUMMATION	1096

Tabla 24 Calculo de costos de soldadura del tanque de des aireación

WELDING COSTS								
JOINT TYPE	SANITARY CONECTIONS & ASSAMBLYNG (DEAREATION TANK)							
PROCESS:	TIG/GTA W							
MATERIAL	AISI SS 304							
WELDING JOINT COST:	16							
Count	Name	INFO	NUM	PITCH	SIZE	diameter, mm	length, mm	welding cost, \$
1	WSP	TYP	J1		2.5	406	1275	130
1	WSP	TYP	J3		2.5	406	1275	130
1	WSP	TYP	J22		2.5	602	1891	193
1	WSP	TYP	J10		2.5	80	251	26
1	WSP	TYP	J9		2.5	40	126	13
1	WSP	TYP	J8		2.5	50	157	16
1	WSP	TYP	J4		2.5	50	157	16
1	WSP	TYP	J5		2.5	40	126	13
1	WSP	TYP	J15		2.5	406	1275	130
1	WSP	TYP	J6		2.5	40	126	13
1	WSP	TYP	J7		2.5	40	126	13
1	WSP	TYP	J16		2.5	100	314	32
1	WSP	TYP	J21		2.5	15	47	5
1	WSP	TYP	J18		2.5	50	157	16
1	WSP	TYP	J17		2.5	15	47	5
1	WSP	TYP	J2		2.5	406	1275	130
1	WSP	TYP	J19		2.5	50	157	16
2	WSP	TYP	J20		2.5	32	101	20
2	WSP	TYP	J12		2.5	32	101	20
2	WSP	TYP	J14		2.5	40	126	26
2	WSP	TYP	J11		2.5	25	79	16
4	WSP				2.5	50	157	64
6	WSP	TYP			2.5	50	157	96
							SUMMATION	1138

Tabla 25 Calculo de costos de soldadura del panel de flujo

WELDING COSTS								
JOINT TYPE	SANITARY CONECTIONS & ASSAMBLYNG FLOWPLATE (MRFPA2M-21)							
PROCESS:	TIG/GTAW							
MATERIAL	AISI SS 304							
WELDING	26							

JOINT COST:									
Count	Name	INFO	NUM	PITCH	QUANTIT Y	SIZ E	diameter, mm	length, mm	welding cost, \$
1	WSP		J3		2	1. 5	51	160	53
1	WSP		J5		1	1. 5	50	157	26
1	WSP		J1		2	1. 5	73	229	76
1	WSP		J2		2	1. 5	51	160	53
1	WSP		J7		2	1. 5	51	160	53
1	WSP		J8		1	1. 5	11	35	6
1	WSP		J4		2	1. 5	51	160	53
1	WSP		J6		4	1. 5	51	160	106
								SUMMA TION	426
	c=PI*D								
	circumsference , mm	diameter, mm							
	160	50.93							
	228	72.57							

6.3.1.3. Costos totales y utilidad

Tabla 26 Costos Totales de la Unidad de recepción de leche y utilidades

COSTOS TOTALES					
PROYECTO:	UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE				
No. de elemento	elemento	costo unitario	tiempo consumido, h	costo, USD	SUPPLIER
1	Costos de ingeniería de procesos	25	80	2000	ENGDOR
2	Costos de DISEÑO mecánico	20	80	1600	ENGDOR
3	Costos de automatización	25	80	2000	ENGDOR
4	costo de DISEÑO electro neumático	10	40	400	ENGDOR
5	comisionamiento (puesta en marcha)	25	40	1000	ENGDOR
6	Lista de elementos (no incluido tanque de des-aireación)			6981.56	IMPOREPRINOX
7	Otros elementos mecánicos del tanque de des-aireación				
8	Intercambiador de calor			4556	ACCESSEN
9	bomba			4401.90	IMPOREPRINOX
10	costos de instalación sanitaria MRU, soldadura de tubería, accesorios y elementos			852	WG
11	lista de materiales tuberías y accesorios			498.1	IMPOREPRINOX
12	lista de materiales tanque de des-aireación			883.4112	IMPOREPRINOX
13	costo de fabricación de tanque de des-aireación (soldadura TIG)			1138	WG
14	costo de fabricación de la estructura soporte			245	WG
15	costos de instalación electrónica y eléctrica	10	30	300	ENGDOR
16	costo de lista de elementos de automatización			4488.42	CENELSUR

17	costos de elementos de mando (PLC)			2413.32	CENELSUR
18	costo de lista de materiales del panel de flujo			0	IMPOREPRINOX
19	costo de fabricación de panel de flujo (soldadura TIG)			426	WG
20	elementos electro neumáticos			150	
21	embalaje			250	
22	documentación			50	
23	gastos varios			1000	
			SUMATORIA	34633.8736	
				% DESCUENTO	
COSTOS TOTALES	% UTILIDAD	UTILIDAD BRUTA	VALOR TENTATIVO	15	UTILIDAD BRUTA
34633.8736	100	34633.8736	69267.7472	58877.58512	24243.71152
	INGENIERIA, INSTALACION, PUESTA EN MARCHA	7300	IVA	12	7300
	UTILIDAD NETA	41933.8736	PVP	65942.89533	31543.71152

6.3.2. ANALISIS DE COSTOS

Comparando los costos entre una unidad comercial, motivo de esta tesis se puede ver lo siguiente:

PVP Unidad TETRAPAK (incluido impuestos)=73,500 USD (NO INCLUYE UNIDAD DE ENFRIAMIENTO)

PVP MRU (incluido impuestos) 69,267.75 USD (INCLUYE UNIDAD DE ENFRIAMIENTO)

Sin embargo el intercambiador de calor de placas y empaques como la bomba es de procedencia china. Al incluir un PHE y una bomba de la marca ALFALAVAL el precio de la unidad llega a un valor de 80,800 USD pero con una utilidad menor.

7. CAPITULO

RESULTADOS Y DISCUSIONES

7.1. ANALISIS DE RESULTADOS

Primero es necesario indicar que esta tesis es de carácter teórico aplicada y no se realizó ningún tipo de prototipo para verificar la eficacia y eficiencia del diseño, sin embargo, la unidad de recepción de leche fue diseñada en detalle utilizando ecuaciones de diseño normalmente usadas en el área de ingeniería; las mismas que han sido completamente verificadas en la práctica y tienen un alto grado de confiabilidad. Además, en todo el proceso de diseño, fue comparada con una unidad comercial y de esta manera se aseguró que el diseño este dentro del rango correcto de parámetros.

7.2. RESULTADOS

- El método de des aireación funciona por succión de la leche manteniéndose la alimentación del tanque cerrada. De esta manera se produce una expansión en el tanque. La presión interna cae a 0.5 bar (abs) y el aire ocluido en la leche es separado y se acumula en la tapa superior del tanque de des aireación. Esta es la principal función de la unidad y está cumpliendo con esta premisa
- Entre los elementos y/o partes más difíciles de fabricar están el tanque de des-aireación. La principal razón es que las empresas que construyen tanques no tienen matriz para diámetros pequeños

de las cabezas tipo torisfericas. En este caso el diámetro es de 406 mm.

- En lo que se refiere al enfriador de leche se considero uno de placas y empaques. Aunque inicialmente se considero el diseño de un enfriador tubular pero se desistió debido que es mucho mas practico comprar un enfriador compacto como es el de placas y empaques.
- Existen otros procesos de des-aireación, uno netamente mecánico donde el costo de estos equipos es mucho menor que un sistema totalmente automatizado. Sin embargo no se tiene un completo control del proceso. Por otro lado son unidades más simples que no incluyen elementos de medición ni tampoco de enfriamiento.
- Otra configuración de des-aireadores es la de tanque horizontal. Estos se diseñan para caudales altos por encima de los 20,000 l/h.

7.2.1. ESPECIFICACION DE LA UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE

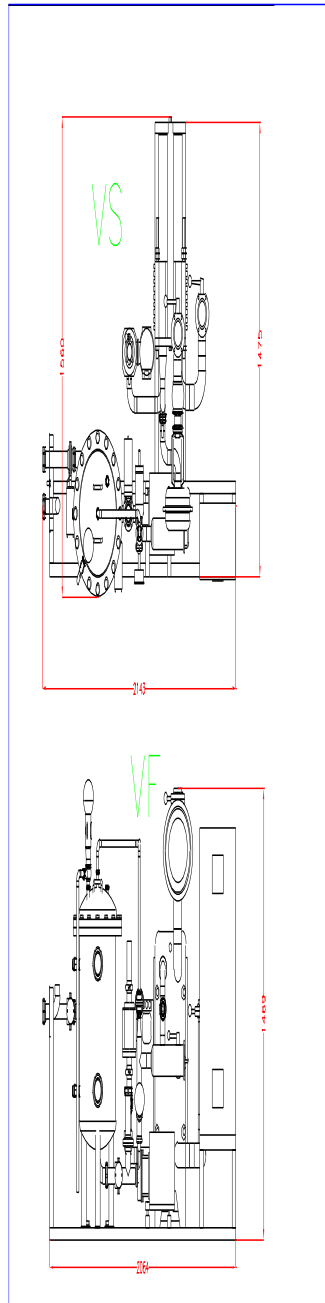


Figura 77 Dimensiones generales de la unidad de recepción de leche

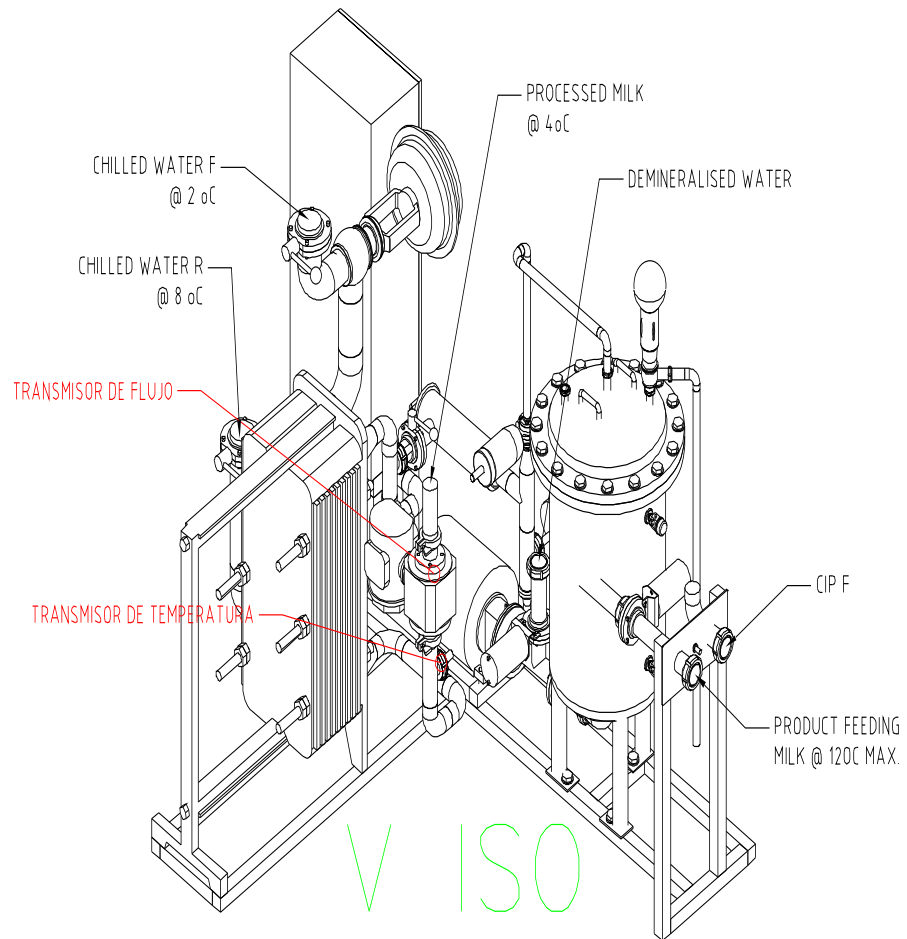


Figura 78 Vista isométrica de la unidad de recepción de leche

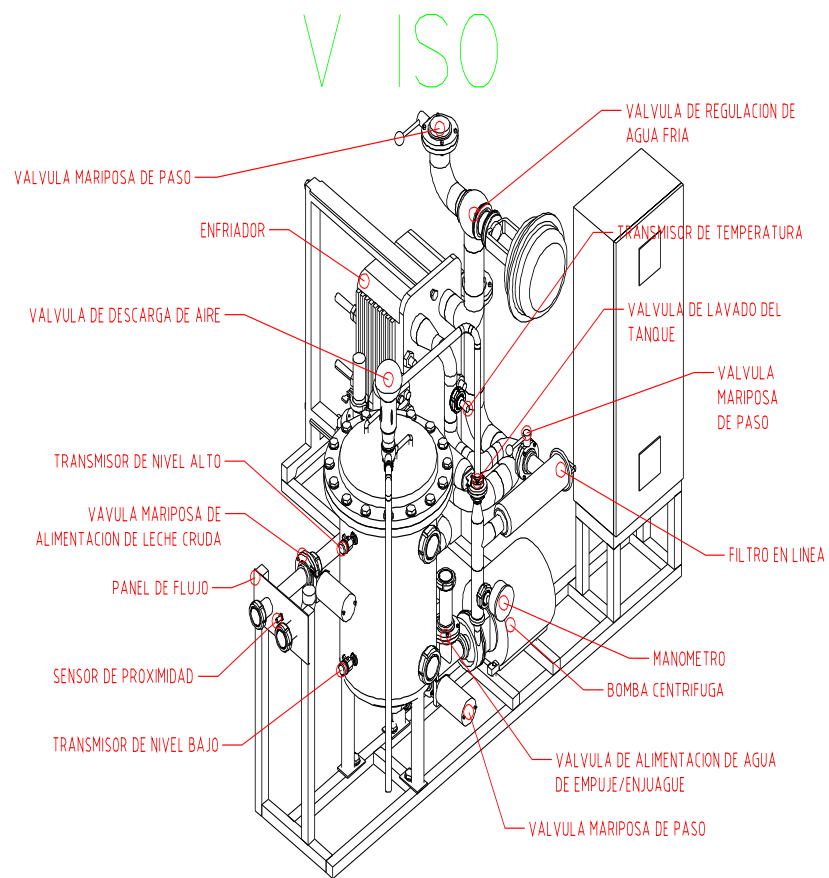


Figura 79 Descripción de elementos en la URL

Tabla 27 Hoja de especificación de la unidad de recepción de leche

UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE

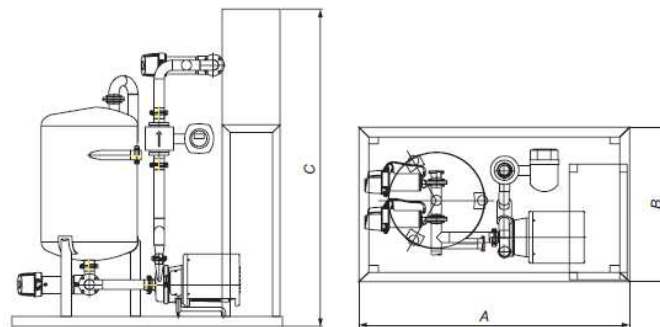
ESPECIFICACIONES		LA UNIDAD DE RECEPCION DE LECHE INCLUYE UN MODULO DE DESAIREACION, ENFRIAMIENTO Y MEDICION	
CONEXIONES DE PROCESO		ESPECIFICACIONES DEL TANQUE DE DESAIREACION	
PUERTO	DN, mm	CAPACIDAD, l	100
ENTRADA (PRODUCTO)	50	DIAMETRO, mm	406
SALIDA (PRODUCTO)	50	ALTURA	849
ALIMENTACION (CIP)	50		
ALIMENTACION (AGUA DE EMPUJE)	50		
ALIMENTACION (AGUA FRIA)	80		
RETORNO (AGUA FRIA)	80		
LADO DE PRODUCTO		LADO DE PRODUCTO	
TIPO DE FLUIDO	LECHE CRUDA	APLICACIÓN	LIMPIEZA
CAPACIDAD NOMINAL, l/h	15000	TIPO DE FLUIDO	CIP
TEMPERATURA DE ENTRADA, °C	15	CAPACIDAD NOMINAL, l/h	17000
TEMPERATURA DE SALIDA, °C	4	TEMPERATURA DE ENTRADA, °C	65-85
		TEMPERATURA DE SALIDA, °C	65-85
		PRESION, bares abs.	3
LADO DE PRODUCTO		LADO DE SERVICIO	
APLICACIÓN	EMPUJE	APLICACIÓN	ENFRIAMIENTO
TIPO DE FLUIDO	AGUA POTABLE	TIPO DE FLUIDO	AGUA FRIA
CAPACIDAD NOMINAL, l/h	15000	CAPACIDAD NOMINAL, l/h	30000
TEMPERATURA DE ENTRADA, °C	15	TEMPERATURA DE ENTRADA, °C	2
TEMPERATURA DE SALIDA, °C	17	TEMPERATURA DE SALIDA, °C	8
LADO DE SERVICIO		SISTEMA DE MEDICION	
APLICACIÓN	CONTROL	TIPO DE APARATO	FUJOMETRO ELECTROMAGNETICO
TIPO DE FLUIDO	AIRE	RANGO DE TRABAJO, l/h	0-20000
CAPACIDAD NOMINAL, N l/h	180	PRECISION, %	0.1
TEMPERATURA DE ENTRADA, °C	22		
TEMPERATURA DE SALIDA, °C	25		
PRESION, bares abs	6		

7.2.2. COMPARACION CON OTRAS UNIDADES COMERCIALES

Todas estas unidades son bastante similares en su diseño sin embargo la unidad de recepción de leche motivo de esta tesis es más completa como se puede ver en la hoja de especificaciones. Principalmente la incorporación de un modulo de enfriamiento. Es por esta razón que tendría una gran acogida por los industriales lácteos. El poner en funcionamiento una unidad sería realmente importante para poder calibrar y hacer conocer el producto.

7.2.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS

- Lamentablemente los equipos de proceso para el sector alimenticio son realmente caros al comparar con sus contra parte en acero negro para la industria química. Todos los elementos deben ser en acero inoxidable 304/316. El costo del acero inoxidable con respecto al acero negro es de 3 a 1.
- El nivel de automatización de estos equipos vas de mediana a alta y esto conlleva a un costo elevado en la automatización.



	Capacity range	Pump size and power	pipng Ø	General dimensions (mm)
ED20	7.000 - 15.000 l/h	S20 - 2,2 kW	2" (DN50)	1400 x 800 x 1800
ED26	15.000 - 40.000 l/h	S20 - 2,2 kW	2 ½" (DN65)	1400 x 850 x 1800
ED38	40.000 - 80.000 l/h	S20 - 2,2 kW	3" (DN80)	1450 x 900 x 1800

Figura 73 Dimensiones Generales de una unidad comercial

8. CAPITULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1. CONCLUSIONES

- Se verifico una de las premisas que se buscaba, se relaciona con la factibilidad de fabricación y comercialización de una unidad de recepción de leche construida en el Ecuador. Al tener una buena utilidad hace al negocio de desarrollo de equipos bastante atractivo para los industriales ecuatorianos. Sin embargo, el introducir productos de alta tecnología en el país tomara tiempo debido que en general la gente tiene una mala concepción de los productos nacionales. Ya en este siglo 21, todavía el ecuatoriano prefiere productos extranjeros aunque sean bastante caros con respecto al producto nacional de iguales características. Sin embargo se puede ver que el nivel tecnológico en el país va en aumento y en algunos años se podría comercializar en el Ecuador equipos industriales de gama alta.
- Es necesario enfatizar que las empresas nacionales de fabricación de tanques y/o equipos deberían expandir su rango de actividades y o responsabilidades y no deben ser solamente constructores de tanques sino ofrecer productos desarrollados por ellos mismos. Actualmente este sector industrial básicamente construye tanques y/o equipos bajo planos y especificaciones de empresas que les contratan; esta ingeniería proviene principalmente del extranjero. Este es el caso de la industria petrolera. Acero de los Andes aunque tiene una infraestructura para ofrecer soluciones completas de ingeniería y productos. Por ejemplo plantas completas para la fabricación de biodiesel. Hace algunos años han estado en proyectos de ofrecer este producto, por ejemplo, pero no se ha concretado por falta de profesionales capaces que hagan realidad las aspiraciones de esta empresa. En otras palabras faltan ejecutores de proyectos.
- La automatización es la herramienta que le da vida a los equipos de procesos y ha sido de fundamental importancia para el desarrollo de esta

tesis. Todavía falta un mayor desarrollo de esta disciplina en aplicaciones para la industria de procesos y manufactura.

8.2. RECOMENDACIONES

- En el Ecuador no existe una empresa que construya y comercialice intercambiadores de calor de placas y empaques, incluso no existe una empresa que se especialice en intercambiadores de calor como productos. Toda industria de proceso específicamente la de alimentos, farmacéutica y de cuidado personal utilizan este tipo de equipos debido a su poco espacio que ocupa, alto rendimiento, fácil limpieza y mantenimiento. Considero que se debería hacer un estudio para el desarrollo de este tipo de equipos, basados principalmente en la construcción de las placas del intercambiador de calor. La construcción en serie de estas placas demanda el determinar las condiciones de operación de la prensa que va a formar los moldes. El proceso de fabricación de estas placas debería ser entendido claramente. Otra de las opciones es comprar las placas en el exterior y fabricar localmente el marco del intercambiador de calor.
- El diseño de las placas de diferentes áreas de transferencia de calor se puede hacer utilizando el software de Siemens CAD/CAM/CAE NX PLM Software. El diseño de la prensa de moldeo con los patrones de turbulencia se podría simular en este programa
- Otros de los elementos que pesan en el costo final del equipo (MRU) es la bomba centrífuga. Las pocas bombas sanitarias fabricadas en el país son artesanales. En el caso de este equipo la bomba exige unas condiciones fuertes de trabajo en lo que se refiere al CNPA (NPSH) como también a los ciclos de funcionamiento. Debería ser robusta la bomba y con un dispositivo anti cavitación llamado inductor. Por las estas razones sería importante hacer el análisis y/o estudio de factibilidad de una fábrica de bombas

centrifugas sanitarias. Esto podría quedar como posible tema de tesis de maestría

- El análisis de funcionamiento del tanque de des aireación se podría analizar usando el modulo CFD (Computational Fluid Dynamics) del programa de simulación de fenómenos de ingeniería ANSYS, en este caso llamado CFX (FLUID FLOW). De esta manera se puede asegurar el buen funcionamiento del tanque de des aireación.
- Por otro lado fue difícil encontrar tapas torisfericas de fabricación nacional de 406 mm. Las fábricas nacionales de tapas no tienen el molde adecuado para diámetros menores a 406 mm. Sin embargo una buena cantidad de equipos de procesos para alimentos estarían en rangos menores de 406 mm.
- Las válvulas para uso sanitario tampoco se fabrican en el Ecuador. Este tipo de industria necesita de un gran capital para las instalaciones industriales de fabricación en serie. Son de alto acabado para la cumplir las normas higiénicas. Sin embargo considero que este tipo de negocio si tendría cabida para suplir al mercado nacional de la mediana industria y del pacto andino. Argentina tiene una empresa que fabrica este tipo de válvulas bajo tecnología alemana. La marca de las válvulas es FRAUTSCHI.
- Para el diseño mecánico del tanque de vacío se baso en las ecuaciones de diseño del código ASME SECCION 8-II. Sin embargo hubiera sido interesante utilizar el software ANSYS para verificar o mejorar el diseño del tanque de vacío. Incluso se podría hacer una tesis específicamente para el diseño de un equipo de proceso utilizando el código ASME como también el modulo **Static Structural** de ANSYS

BIBLIOGRAFIA

1. TETRA PAK, Dairy Processing Handbook, Suecia, Lund, 2009
2. SPX, CIP and Sanitation of Process Plant, Dinamarca, Silkeborg, 2010
3. APV-Mike Ramsey, How to write a FDS, Inglaterra, Londres, 2009
4. APV-Mike Ramsey Automation, Inglaterra, Londres, 2009
5. L.A. Bryan, Programmable Controllers Theory and Implementation, E.E.U.U., Marietta Georgia, 1997

6. Eugene F. Megyesy, Manual de Recipientes a presión Diseño y Calculo, México, México D.F.,1998
7. SIEMENS, SIMATIC S7-1200 Easy Book, Alemania, Nurnberg, 2011
8. Donald Q. Kern, Process Heat Transfer 1965. EEUU, Nueva York
9. Christie Dietz/Todd Ham/ Steve Murray, Chemical Engineering/Batch Automation: Make S88 work for you

TESIS AFINES:

1. Xavier Orbe/Renato Patiño, Ampliación de una planta productora de quesos, Ecuador, Quito, 2005.
 2. Edwin Vinuesa, Diseño y Construcción de un tanque refrigerado para leche, Ecuador, Quito, 1992.
 3. Cesar Garzón/María Monge, Diseño y Construcción de una maquina envasadora de leche, Ecuador, Quito, 1989
 4. Álvaro Larrea/Francisco Lescano, Programación de PLC's Modicon para el laboratorio de Automatización industrial de la Facultad de Ingeniería mecánica de la Escuela Politécnica Nacional, Ecuador, Quito, 1999
- Daniela Cruz/Juan Proaño, Diseño, Programación y Construcción del control de un sistema hidráulico de nivel empleando un autómeta programable (PLC) cumpliendo con la norma IEC1131, Ecuador, Quito, 2009

1. <http://www.industry.siemens.com/topics/global/en/process-automation/Pages/Default.aspx>
2. <http://support.automation.siemens.com/WW/llisapi.dll?func=cslib.csinfo&noheid0=10904064&lang=en&siteid=cseus&extranet=standard&viewreg=WW&objid=22233311&caller=rln>

ANEXOS