



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Ampliación de Planta de Poliestireno Expandible

INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES

Que para obtener el título de

Ingeniera Mecatrónica

P R E S E N T A

Mariana Catalina Gómez Pérez

ASESOR DE INFORME

M.I. Serafín Castañeda Cedeño



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2017

Contenido

1	Introducción y Objetivo.....	3
2	Descripción de la empresa y el puesto de trabajo	4
3	Antecedentes	7
4	Definición del problema.....	9
5	Metodología utilizada	11
6	Resultados y Conclusiones	26
6.1	Resultados	26
6.2	Conclusiones	26
7	Bibliografía	29

Índice de Figuras

Figura 2.1	Mercado de la Automatización industrial	5
Figura 2.2	Organigrama de la empresa	6
Figura 4.2	Diagrama funcional de la planta.....	10
Figura 5.1	Fases e hitos de PM@Siemens para proyectos S (pequeños) [9].....	10
Figura 5.2	Ejemplo de arquitectura de comunicaciones	13
Figura 5.3	Vistas de componentes, planta y objetos de proceso en SIMATIC Manager.....	19
Figura 5.4	Interfaz HW Config (Arriba) Interfaz NetPro (Abajo).....	20
Figura 5.5	Ejemplo de jerarquía de planta	21
Figura 5.6	Ejemplos de un CFC y un SFC en sus editores	22
Figura 5.7	Simbología ISA5.1 [8]	23
Figura 5.8	Desplegado gráfico correspondiente a un pre reactor	24

Índice de Tablas

Tabla 3.1	Producción anual de poliestireno	8
Tabla 5.1	Restricciones y requisitos para la selección de equipos	14
Tabla 5.2	Características de los equipos seleccionados	15

1 Introducción y Objetivo

El objetivo del presente trabajo es mostrar las actividades que he desempeñado en el sector privado orientadas al control y automatización de procesos dentro de la empresa Siemens S.A., las cuales se desarrollan desde el 3 de Noviembre de 2016 a la fecha.

La automatización de procesos es una actividad que puede atender a diversos sectores, entre ellos el petróleo y gas, alimentos y bebidas, energía y química, es decir la conocida como *industria de procesos*, que involucra principalmente la generación de valor agregado por medio de reacciones químicas, lo que hace necesaria la interacción de diversas disciplinas de la ciencia y la ingeniería para lograr resultados óptimos y una calidad estable reduciendo o eliminando el desperdicio de materia prima debido a fallos en la producción.

El perfil profesional descrito para la carrera de Ingeniería Mecatrónica impartida en la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México, indica que “el Ingeniero Mecatrónico es el profesional que integra los conocimientos de las ciencias físicas y matemáticas con las ciencias de ingeniería en las áreas de control, electrónica, mecánica y computación para desarrollar su actividad profesional en las áreas de aplicación en el diseño Mecatrónico, el control industrial de procesos, la automatización industrial y la robótica, tanto en el sector público como en el sector privado” [1]. La intención de este reporte es demostrar la aplicación de las competencias profesionales descritas en el párrafo citado, dando a conocer, para ello, las labores desempeñadas como parte de uno de los proyectos en los que participé.

El objetivo de los proyectos realizados en Siemens *Process Automation* varía según las necesidades del cliente; sin embargo, en el presente informe hablaré específicamente de la ampliación de una planta de producción de poliestireno expandible. La automatización industrial requiere la aplicación de conocimiento de diversas disciplinas, ya que se necesita una visión amplia desde la generalidad del proceso hasta el detalle técnico asociado a la programación y el funcionamiento individual de los equipos, es por eso que la formación del ingeniero Mecatrónico resulta ideal para el cumplimiento de este tipo de metas.

2 Descripción de la empresa y el puesto de trabajo

Siemens es una compañía multinacional de origen alemán que opera en los sectores industrial, energético, salud e infraestructuras y ciudades, esta empresa tiene más de 165 años de existencia, fue fundada en Berlín, Alemania por Werner von Siemens y Johan Georg Halske el 12 de octubre de 1847, bajo el nombre de “Telegraphen Bauanstalt von Siemens & Halske”, un año más tarde ganó el contrato para la construcción del primer telégrafo de larga distancia en Europa. En 1879 Werner von Siemens presentó la primera locomotora eléctrica [1].

En 1906 se fundó la fábrica Dynamowerk, destinada a aplicar el principio del dinamo desarrollado por Siemens en 1866 en productos industriales, ésta fue la primera planta de lo que en el año de 1914 se conocería como distrito “Siemens Stadt” o “ciudad Siemens” en Berlín [2].

En Marzo de 1903, el departamento de alta tensión de Siemens & Halske se unió al propio de Schuckert & Co. Para conformar la firma Siemens-Schukertwerke GmbH, misma que en 1925 fue contratada por el Estado de Irlanda para electrificar la nación entera, proyecto que se concluyó a principios de 1930 [1]

Al término de la segunda guerra mundial, a la empresa le fueron confiscadas todas sus propiedades en el extranjero y rescindidos los derechos de sus patentes, ocasionando pérdidas equivalentes a cuatro quintas partes del valor de la compañía, tras lo cual la empresa movió sus sedes principales a Múnich y Erlangen, conservando sus sedes secundarias en Berlín.

A finales de 1951, la empresa Siemens Schukertwerke fue contratada por el gobierno argentino para construir la termoeléctrica de San Nicolás, proyecto que significó un gran impulso para sus negocios transoceánicos

La feria de máquinas herramientas de París en 1959 fue el escenario en que se introdujo la primera generación de un sistema modular para controladores de estado sólido, SIMATIC G. Esta línea constituye la base del liderazgo en automatización que ostenta la empresa hasta la actualidad.

Siemens llegó a México en 1984 con el proyecto de instalación del primer alambrado público eléctrico en América Latina, desde entonces ha participado en infraestructura, transporte, edificios inteligentes, energía y salud. Entre los proyectos más notables se encuentra el pilotaje automático del metro de la Ciudad de México, las líneas 1 y 2 del metro de Monterrey, el Tren Eléctrico de Guadalajara, construcción de centrales hidroeléctricas y el autotrán entre las dos terminales del AICM. Actualmente el proyecto más importante de Siemens en el país consiste en la modernización de la red eléctrica de la CFE, que involucra una inversión de 200MDD.

De acuerdo con la lista de las 10 principales empresas de automatización publicada por la revista InfoPLC, Siemens es la empresa con la mayor participación en el mercado de automatización seguida por ABB y Emerson Process Management. La empresa cuenta con más de 351 mil empleados a nivel mundial y obtuvo un ingreso de \$50 billones de dólares el año pasado [4]. La figura 2.1 muestra una comparativa de la participación de mercado de Siemens contra sus principales competidores en automatización industrial en el año 2015.

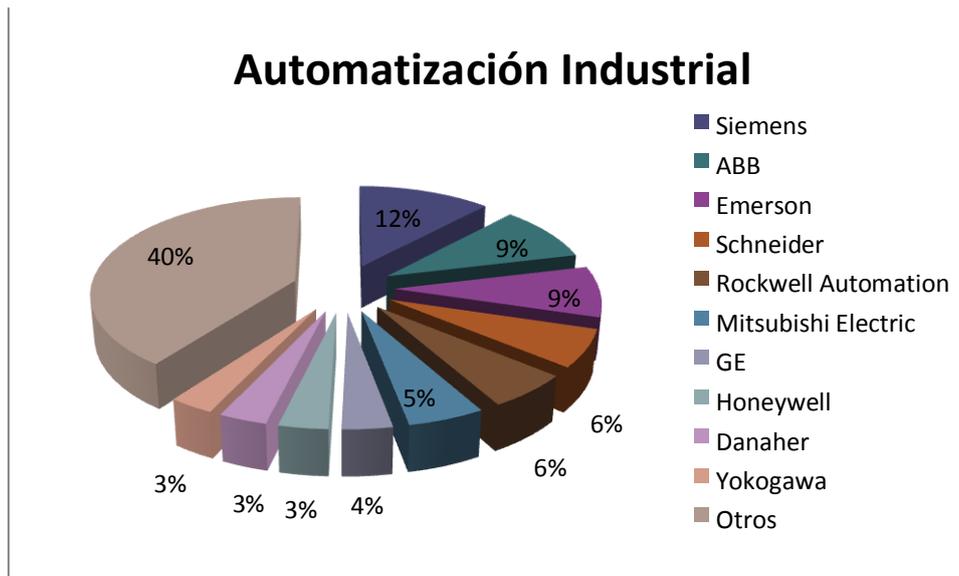


Figura 2.1 Mercado de la Automatización industrial

Actualmente Siemens cuenta con cuatro centros de producción ubicados en Guadalajara, Guanajuato, y Querétaro, además de oficinas de desarrollo de proyectos, almacenes y talleres de ensamble en la Ciudad de México.

Siemens Mesoamérica se conforma de ocho segmentos, los cuales son:

- Power and Gas
- Wind Power
- Power Generation Services
- Energy Management
- Building Technologies
- Mobility
- Digital Factory
- **Process Industries and Drives**

Existen dos segmentos más, que operan en el territorio nacional pero dependen de Siemens Norteamérica, dichas áreas son;

- Siemens Healthcare
- Siemens Real Estate

La división de *Process Industries and Drives* se encarga de dar atención a las necesidades de la industria de procesos a lo largo de todo el ciclo de vida del producto, mediante sistemas de automatización, tecnologías de accionamiento y software industrial. Esta unidad está conformada por las unidades de negocio *Process Automation*, *Process Instrumentation*, *Large Drives*, *Mechanical Drives*, *Factory Automation*, *Communication Processing* y *Mechanical Control* mientras que la unidad de negocio *Process Automation* se divide en los segmentos *Process Instrumentation*, *Communication & Identification I*, *Communication & Identification II*, *Automation Engineering & Consulting* y *Automation Products*. Actualmente me encuentro incorporada en el equipo de Soluciones bajo el segmento de *Automation Engineering & Consulting*, en el cual me he desempeñado como Ingeniera en Prácticas desde Noviembre del 2016.

La Figura 2.2 muestra un organigrama de la compañía en el que se observa el lugar que ocupa en la estructura de la empresa el departamento al que estoy adscrita.

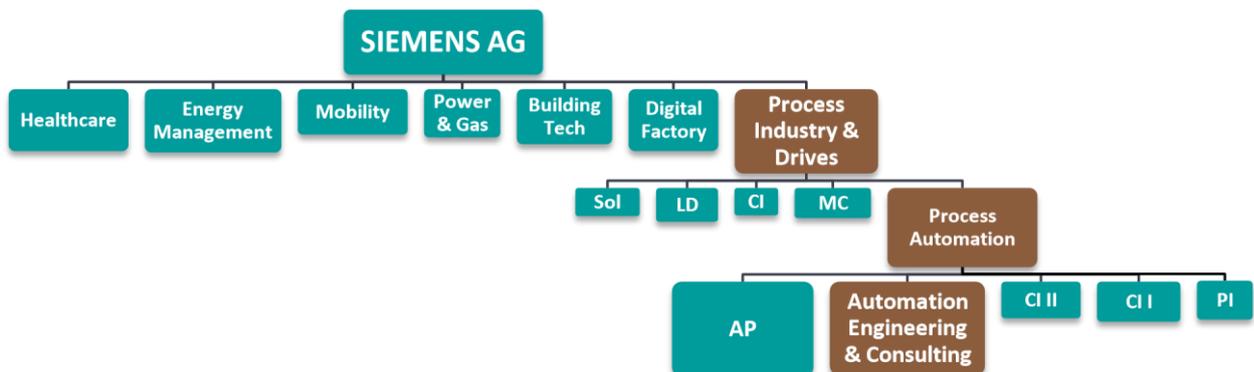


Figura 2.2 Organigrama de la empresa

Las responsabilidades asignadas a un Ingeniero en Prácticas se comparten de manera indistinta con las asignadas al puesto de Ingeniero Auxiliar de Proyectos, éstas incluyen:

- Apoyo en la generación de ofertas para participación en licitaciones.
- Diseño de arquitecturas de redes.
- Selección y cotización de equipos internos y externos.
- Elaboración de diagramas de distribución de equipos, conexiones de redes, alimentación y conexión de señales.
- Programación mediante el uso de la suite PCS 7 con base en filosofías de operación generadas en conjunto con las empresas cliente.
- Diseño de Interfaces Humano Máquina (en adelante HMI) con base en los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI) proporcionados por las empresas clientes o integradoras.
- Supervisión de ensamble y conexión de señales a tableros de PLCs.
- Puesta en servicio de sistemas de automatización.
- Elaboración de documentación y ejecución de pruebas de aceptación en fábrica y sitio para cada una de las etapas de los proyectos.
- Elaboración de instructivos para encendido y operación de los sistemas, cursos de inducción.
- Atención a fallas y realización de modificaciones a sistemas previamente suministrados.

3 Antecedentes

Para entender las necesidades que atiende la división a la que me encuentro adscrita, es necesario comenzar por describir cuáles son las características que distinguen a la Industria de Procesos en comparación con la Industria Discreta. En la producción industrial se identifica a estos dos grandes pilares, cuya distinción se puede resumir en dos palabras: ensamble y formulación.

Industria discreta:

La manufactura discreta es la fabricación basada en listas de materiales o ensambles, en donde encontramos a las siguientes industrias:

- Fabricación de maquinarias
- Electrónicas
- Mecánica de precisión y óptica
- Mobiliario y derivados de la madera
- Metal mecánico
- Textil y accesorios

El común denominador de estas empresas es que cualquiera de los productos tiene una lista de materiales, los cuales son llevados a diferentes operaciones para ser ensamblados y así elaborar un producto nuevo. Una de las cualidades de estos productos es que los componentes pueden ser separados después de la producción, cosa que no ocurre con los productos de la manufactura por procesos

Industria de procesos:

La manufactura por procesos comprende la producción que añade valor mediante la mezcla, separación, formación y/o realización de reacciones químicas. Puede ser hecha ya sea en modo continuo o discontinuo

Algunas de las industrias que consideran este tipo de manufactura son las siguientes:

- Farmacéutica
- Nutracéutica
- Alimentos y bebidas
- Cosmética
- Pinturas y recubrimientos
- Química [3]

Las plantas de procesamiento tienen una tolerancia cero en relación con el tiempo de inactividad no planificado, pues incluso una breve interrupción podría tener inmensas consecuencias financieras debido al desperdicio de materias primas. Por esta razón los equipos de procesamiento deben funcionar correctamente, para que las materias primas, los productos químicos y los ingredientes a procesar fluyan a través del sistema tal como fue diseñado [4].

De lo anterior se desprende que la industria de procesos requiere de sistemas de alta disponibilidad, esto implica redundancia a varios niveles y una considerable robustez en los equipos de adquisición de datos, comunicación y procesamiento.

La división de *Automation Engineering & Consulting* ofrece sus servicios a diversas plantas de la industria de procesos en todo el territorio nacional, desarrollando proyectos de automatización para plantas nuevas y ampliaciones, además de dar mantenimiento y actualización a los sistemas ya instalados.

El cliente

El cliente pertenece a una empresa multinacional mexicana que posee diferentes compañías agrupadas por sectores: alimentos, componentes para vehículos, servicios de voz y datos, hidrocarburos, plásticos, productos químicos y fibras sintéticas.

Entre estas compañías se encuentra el productor más grande de PET y PTA a nivel nacional, que es además la segunda subsidiaria más grande del conglomerado industrial, representando el 33% de sus ingresos en 2015. Está formada por 4 empresas que producen más de 5.6 millones de toneladas anuales de los siguientes productos químicos:

- PTA/PET
- Polipropileno
- Caprolactam
- EPS.

En 2015 el conglomerado industrial cerró un acuerdo de coinversión con la empresa pionera en la producción de EPS a nivel mundial, mediante el cual adquirió entre otras una planta de producción situada en Altamira, Tamaulipas, la cual sería operada por la empresa que fue nuestro cliente en este proyecto.

Los principales productos del cliente son Poliestireno expandible (EPS) para sistemas de construcción, bovedilla y aislamiento (52%) y empaque industrial y agrícola (48%).

En 2016, la capacidad de producción de la planta de Altamira era de 165 mil toneladas por año representando 30.9% de la producción nacional.

La tabla 3.1 muestra la tendencia de crecimiento de la producción de poliestireno a nivel nacional del año 2013 al 2015.

Tabla 3.1 Producción anual de poliestireno

Producción nacional de poliestireno

Toneladas por año

Año	Producción
2013	450,280
2014	442,436
2015	532,674

4 Definición del problema

A partir de la adquisición de la planta hace varios años, el cliente fijó nuevas metas de producción de EPS y determinó necesario desarrollar un proyecto de ampliación para lo cual solicitó los servicios de Siemens.

Con el fin de definir completamente el problema planteado y el alcance de la solución desarrollada por el equipo en el que colaboré, considero pertinente describir brevemente el proceso de elaboración del poliestireno expandible a partir de estireno monomérico.

Dicho proceso comienza con la preparación del estireno mediante su mezcla con aceite mineral en los pre-reactores manteniendo en ellos un flujo constante de nitrógeno, mientras que en los reactores se prepara una mezcla de reacción y ésta se precalienta alrededor de 90°C. En función de los aditivos que se seleccionan, así como de la proporción de agentes expansores utilizados y la temperatura de la mezcla, se obtiene una variedad de calidades

de poliestireno expandible, con propiedades antífama, diferentes densidades y para objetivos diversos. Una vez que el reactor se encuentra en las condiciones de presión y temperatura correctas para el inicio de la reacción, se añade el monómero al tiempo que se agita la mezcla por medio de un agitador mecánico de velocidad regulable, después de determinado tiempo de reacción se forman las perlas de polímero, estas pasan al área de secado, el tipo de secado que se emplea en este proceso es conocido como secado flash y consiste en hacer pasar el producto por una tubería en la que el producto asciende en una columna de varios metros impulsado por un ventilador que inyecta aire a presión, con ello el producto se separa del agua por diferencia de densidades. Una vez que pasa por el área de secado flash, se lleva el lote a las tolvas donde se termina el secado y se añaden recubrimientos para dar brillo y diferentes propiedades de resistencia al producto, que después pasará a un conjunto de cribas en el que las perlas se separan por tamaños y se descartan aquellas que son demasiado pequeñas para el estándar de calidad. El proceso descrito anteriormente se llevaba a cabo en dos pre-reactores y siete reactores que de manera alternada envían el producto a tres líneas de acabado y cuatro torres de cribado en las que se separan las perlas por tamaños antes de pasar a cinco silos, desde los cuales se ensacan las perlas de poliestireno para su venta.

Lo anteriormente descrito se resume gráficamente en el diagrama de funciones mostrado en la figura 4.1

La ampliación de la planta consistió en la adición de dos pre reactores, tres reactores, una línea de acabado (secado y recubrimiento), incorporación de tres silos nuevos a la línea de ensacado y la interconexión de estos sistemas con las adiciones de materia prima y las líneas de ensacado existentes, es importante aclarar que el alcance de la solución desarrollada por el equipo en el que participo incluye exclusivamente los sistemas de automatización desde las estaciones de operación y hasta los módulos de entradas y salidas, ya que el diseño de las líneas de adición, selección e instalación de instrumentos y equipos en campo así como elaboración de diagramas de tubería e instrumentación estuvo a cargo tanto de la empresa cliente como de la empresa integradora que fue contratada para tales fines.

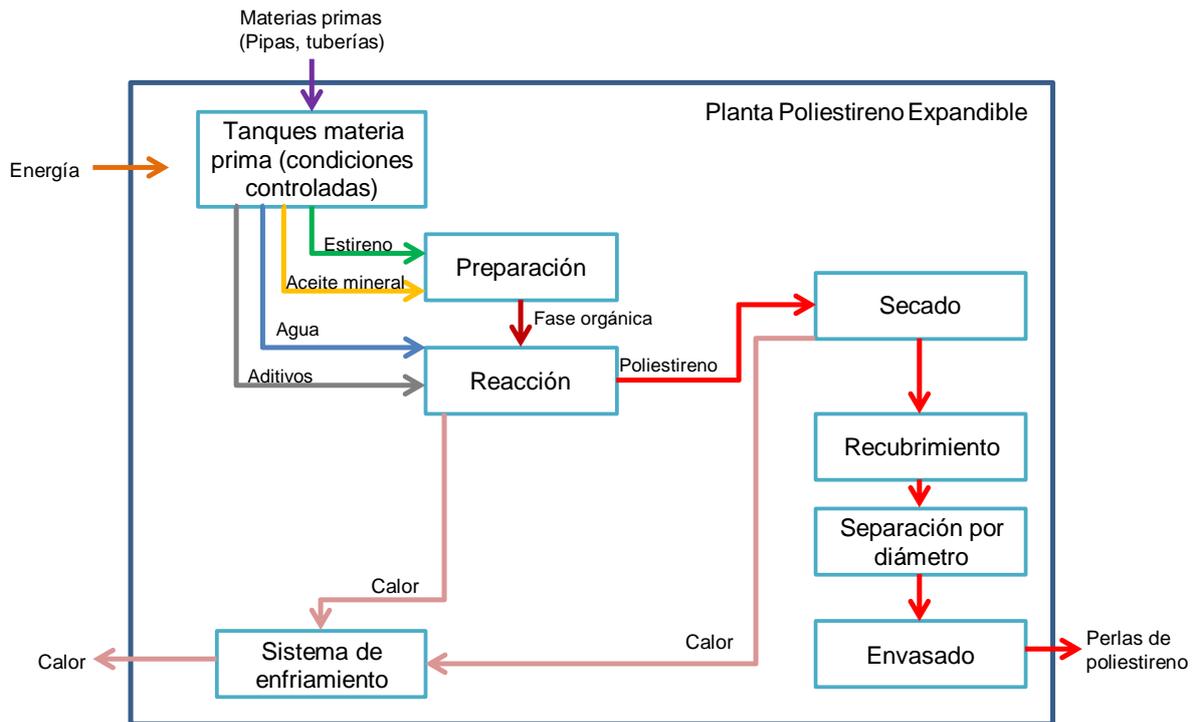


Figura 4.1 Diagrama funcional de la planta

El problema a resolver fue el control y automatización de los nuevos sistemas agregados a la planta. El alcance de la solución desarrollada por Siemens se limitó a la implantación del sistema de control desde la lectura de entradas y salidas, programación de los controladores y ampliación del HMI. Quedó fuera del alcance la selección de instrumentos y actuadores, diseño de tuberías, equipos de proceso, obra civil, etc.

5 Metodología utilizada

Para el desarrollo de proyectos en Siemens, se emplea la metodología propia de la empresa, llamada *PM@Siemens*, que consiste en una serie de fases e hitos que abarca desde la detección de la oportunidad hasta la conclusión de la garantía del proyecto entregado, esta metodología varía según se clasifique el proyecto por la cantidad de dinero involucrado. El proyecto que describo en este trabajo se clasifica como *S (pequeño)*. La figura 5.1 muestra la línea de fases e hitos correspondientes a esta clasificación

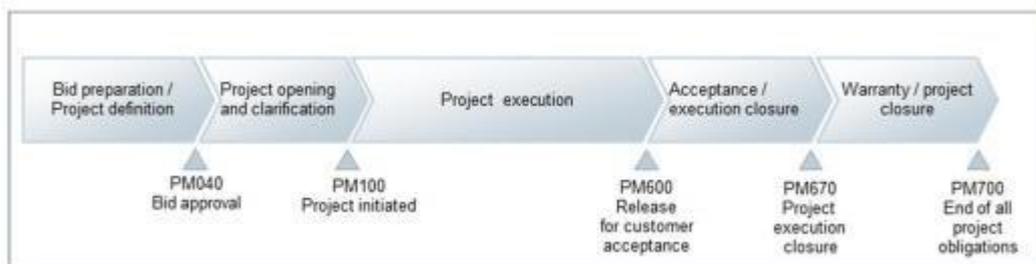


Figura 5.1 Fases e hitos de PM@Siemens para proyectos S (pequeños) [9]

Las labores descritas para cada fase del proyecto se distribuyen entre el personal de la unidad de negocio como resulta evidente, ya que la visión holística del proyecto involucra la administración detallada de recursos humanos, legales y monetarios. Como parte del

equipo de ingeniería, mi labor durante la preparación de la oferta así como la apertura y aclaración del proyecto consistió principalmente en brindar apoyo técnico para la definición de los alcances y suministros.

Durante la preparación de la propuesta técnica, los requisitos descritos por el cliente se contrastaron con las posibilidades ofrecidas por los equipos Siemens para la configuración del DCS.

Para la selección de los equipos, se empleó en principio una herramienta que permite estimar la memoria que se requiere para el procesamiento de datos en función de la cantidad de señales utilizadas y el tratamiento que se dará a los datos, el cual se puede conocer con base en la naturaleza de los dispositivos instalados en planta. El tipo y cantidad de equipos a controlar se obtiene a partir de la lectura de Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI), en los que se reflejan las líneas de materia prima, reactores, secadores y otras máquinas empleadas en el proceso, detallando las válvulas, motores, medidores y reguladores de flujo, presión, temperatura, etc.

Los sistemas de control desarrollados con la tecnología de PCS 7 se basan en plantillas que incluyen las entradas, salidas y métodos de control necesarios para los equipos más comúnmente utilizados. Por poner un ejemplo, la plantilla para una válvula reguladora incluye:

- Una salida digital para el solenoide de apertura/cierre
- Una entrada digital para el retroaviso de cerrado
- Una salida digital para el setpoint de flujo
- Una entrada analógica para la medición de flujo
- Un bloque de control PID

- Un bloque de conversión ADC para el canal de entrada
- Un bloque de conversión DAC para el canal de salida

Cada una de estas plantillas conlleva un estimado de capacidad de procesamiento requerida, la suma de dichos estimados se usa para definir, dada la capacidad de procesamiento de un CPU, qué cantidad de procesadores es la mínima para garantizar la correcta operación del sistema completo. Para este caso se restó a la capacidad necesaria la disponible en el sistema ya instalado, además de ello para la selección de modelos y cantidades de los equipos tomamos en cuenta como restricciones:

-La cantidad de variables digitales y analógicas comprendidas en los sistemas incluyendo una reserva de entradas y salidas libres equivalente al 10% de las señales de cada tipo añadidas (Entradas digitales, salidas digitales, entradas analógicas, salidas analógicas)

-La topología de redes actual

-Los protocolos de comunicación utilizados

-La ubicación de las estaciones de operación

Para la selección preliminar de los modelos de equipos a emplear se tomó también como referencia el hardware existente en planta, esta selección se afinó más adelante una vez que la oferta fue aceptada por el cliente.

La Figura 5.2 muestra un ejemplo similar a la arquitectura propuesta para la ampliación de la planta.

Posteriormente, durante las fases de ejecución y aceptación del proyecto me involucré en varias tareas, tales como la selección de equipos, el diseño de la alimentación eléctrica y las redes de comunicación, la modificación del HMI para incluir los sistemas nuevos, el diseño de distribución de equipos en los tableros de control, la interpretación de secuencias y procesos continuos descritos en la filosofía de operación para la implementación del software de automatización de la planta y la elaboración de probatorios documentales para cada una de las etapas del proyecto.

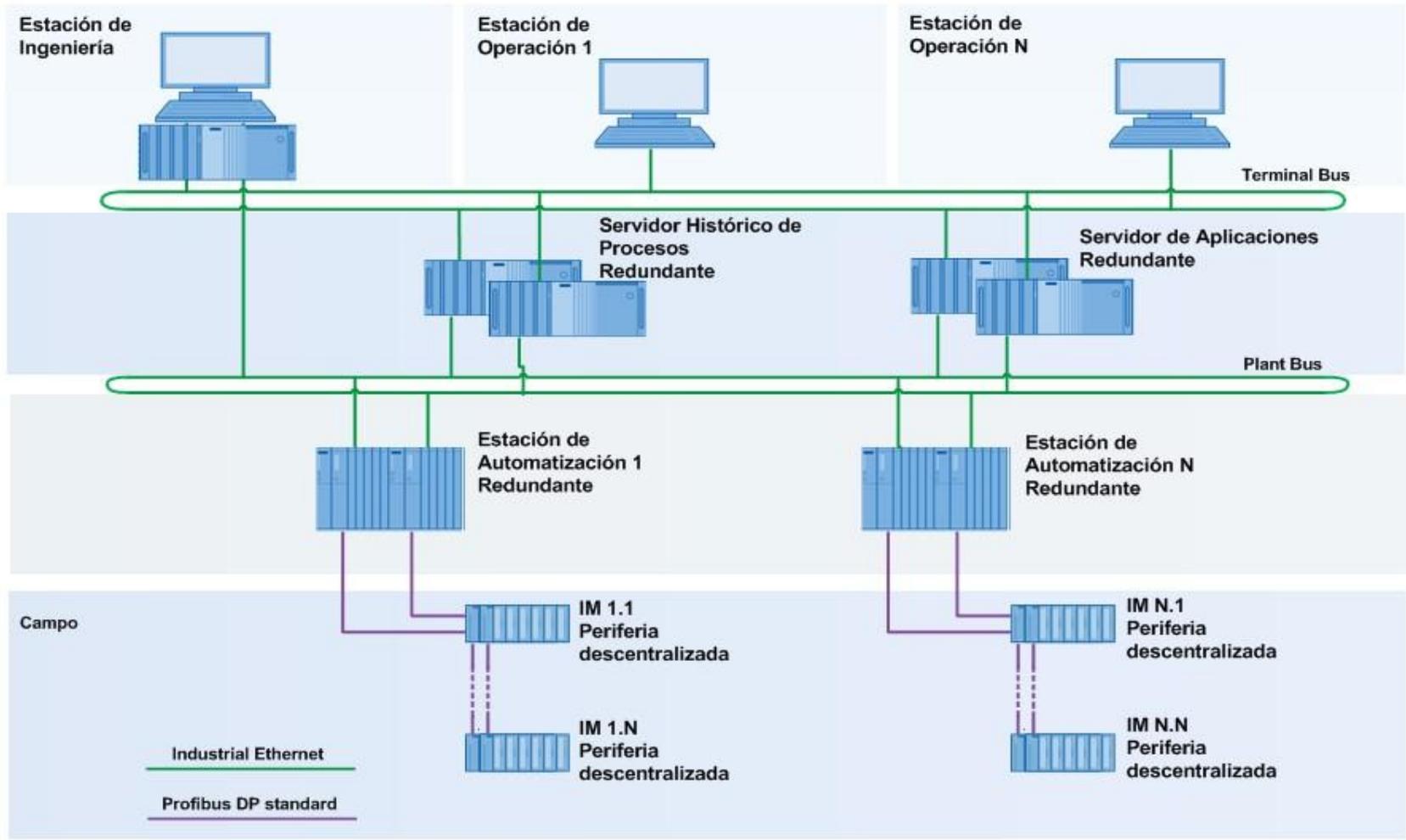


Figura 5.2 Ejemplo de arquitectura de comunicaciones

Para la selección de equipos consideramos las restricciones y requisitos establecidos por el cliente, que se asientan en la tabla 5.1.

Tabla 5.1 Restricciones y requisitos para la selección de equipos

Variables incorporadas	972
Reserva de variables	10% por tipo
Grado de protección	IP 11 /NEMA 2
Seguridad del proceso	Alta disponibilidad Autodiagnóstico
Tecnología de entradas analógicas	Configuración a cuatro hilos
Dimensiones del cuarto de tableros	2m x 8m x 3m
Estaciones de operación totales	6
Protocolo de comunicación para Field Bus	Profibus
Protocolo de comunicación para Terminal Bus	Ethernet
Versión de software instalada	PCS7 V8.0
Tipos de alimentación disponible	120 VCA y 24 VCD
Ambiente de instalación de equipo de control	Instalación interior, entrada de polvo, goteo de agua.
Ambientes involucrados en el proceso	Atmósfera explosiva, requiere seguridad intrínseca (Fuera de alcance por indicación del cliente)

En el caso de este proyecto se tomó en cuenta que el *estireno monomérico* y el *pentano* son compuestos altamente explosivos, por lo cual es necesario utilizar *seguridad intrínseca*, que es una técnica de diseño de equipos y cableados eléctricos que se basa en limitar la energía eléctrica y térmica para que no supere el límite de ignición de una mezcla atmosférica peligrosa. Es decir simplemente que los sensores y actuadores del proceso deben ser energizados y controlados por bajos voltajes y aislados del sistema de control en caso de que éste utilice voltajes mayores, usando arreglos de transistores, relevadores y optoacopladores de uso industrial conocidos como barreras de seguridad intrínseca.

Dicha tecnología se utiliza en todos los equipos que tienen interacción directa con las atmósferas explosivas presentes en la planta, de manera que el cableado de señales desde los tableros de control estuvo en función de los requerimientos de alambrado de las barreras utilizadas, las cuales fueron proporcionadas por la empresa integradora, misma que compartió con Siemens una lista de señales en la que indicó el modelo de la barrera correspondiente para cada una en caso de aplicar.

Con base en lo descrito, se seleccionó un modelo de módulos de periferia descentralizada con las características básicas de los equipos SIMATIC, que se describen en la tabla 5.2 [5]. Así mismo, se decidió agregar un nuevo CPU para la carga de la nueva sección del programa, desde éste serán controlados los tres nuevos reactores y la nueva línea de acabado, además de tres módulos nuevos de periferia descentralizada para los CPUs existentes.

Tabla 5.2 Características de los equipos seleccionados

CPU [6]	AS-410 5H Redundancia "1 de 2" Memoria de carga incluida 48 Mb Grado de protección IP20
Módulo de interfaz	Módulo configurable para redundancia Para hasta 12 módulos de entrada/salida Comunicación con bus de campo Profibus Tensión de alimentación 24 VDC Grado de protección IP20
Módulo de entradas digitales	32 señales por módulo Configurable a 2, 3 o 4 hilos Tensión nominal de entrada: 24 VDC Alimentación por bus de fondo
Módulo de salidas digitales	32 señales por módulo Aislamiento galvánico en grupos de 8 Intensidad de salida 0.5 A
Módulo de entradas analógicas	8 entradas en 4 grupos de canales Tipo de medición ajustable por grupo de canales (Tensión, intensidad, resistencia, temperatura) Resolución ajustable por grupo de canales Alarma de proceso ajustable al rebasarse el valor límite Configurable a dos, tres o cuatro hilos por grupo de canales
Módulo de salidas analógicas	8 salidas en un grupo Configurables por canal a salida de tensión o intensidad de corriente Resolución de 12 bits

Una vez seleccionados los equipos principales comenzamos la ingeniería de hardware, es decir diseñamos la configuración de las conexiones de señales y alimentación de equipos, así como la selección de equipo eléctrico para la alimentación del hardware, terminales de conexión o *clemas*, rieles de montaje, canaletas para el paso de cables y distribución de los equipos en los tableros de control.

En el caso específico de este proyecto, en tanto que la alimentación de 24 VCD no formó parte del alcance del equipo, no se proporcionaron fuentes de voltaje, sin embargo elaboramos una memoria de cálculo de consumo eléctrico para la selección de módulos de redundancia, estos reciben dos líneas independientes de 24 VCD y constan de un arreglo de diodos que permite intercambiar entre las mismas en caso de que una de ellas falle. Este cálculo se hace por una suma simple de las potencias eléctricas nominales requeridas para cada uno de los equipos más la potencia consumida por cada una de las señales de entrada digital, que requieren alimentación individual, además de la correspondiente a la electrónica interna de los módulos de periferia descentralizada. Dicho cálculo de consumo eléctrico también fue entregado al cliente para facilitar la correcta configuración de la instalación eléctrica.

El dimensionamiento de los gabinetes se hizo con base en las medidas indicadas del cuarto en que estos estarán ubicados y la especificación de grado de protección determinada por el tipo de atmósfera al que estarán expuestos los elementos de control, en este caso un cuarto con condiciones de temperatura y humedad controladas, aislado de las áreas con atmósferas explosivas o inflamables, con entrada de polvo y posible salpicadura de agua proveniente del sistema contra incendios, tomando en cuenta también las opciones existentes en los catálogos de proveedores. Una vez seleccionados los gabinetes y dadas las dimensiones de la placa de montaje éstas se tomaron para el diseño de la distribución de equipos.

Las redes diseñadas para este proyecto incluyen la red de terminales y la red de campo, que se conectan entre sí a través de los servidores de aplicaciones, que son configurados de manera redundante para incrementar la disponibilidad del sistema de monitoreo y control.

Red de terminales:

Se refiere a la red que comunica las PCs industriales localizadas en el o los cuartos de control, las cuales funcionarán como estaciones de operación, estación de Ingeniería o para el almacenamiento histórico de procesos.

La estación de ingeniería es el equipo desde el cual se desarrolla el software de automatización de la planta, tiene acceso a la red de terminales y a la red de campo, ya que se usa para configurar tanto los CPUs de las estaciones de automatización como las PCs correspondientes a las estaciones de operación y almacenamiento histórico de procesos. Las estaciones de operación leen los desplegados gráficos, reciben y envían información sobre las variables de proceso de manera continua a través de los servidores hacia las estaciones de automatización, dicha información es mostrada en los desplegados gráficos diseñados para tal fin, en caso de que los parámetros de proceso se no se encuentren dentro de los rangos definidos se generan alarmas que se muestran en el banner superior y son almacenadas en archivos de reportes para ser exportadas a otras paqueterías tales como Excel y Access. El programa y los desplegados gráficos del HMI se descargan a las estaciones y los servidores también desde la estación de ingeniería.

Red de campo:

En esta red se conectan los PLCs o Estaciones de Automatización, estas se comunican entre sí, reciben la información que las estaciones de operación envían al servidor para el ajuste de variables y parámetros del proceso y envían a su vez información para su monitoreo, mientras que registran y procesan la información que se envía a las salidas y se recibe de la periferia descentralizada.

Todo esto puede hacerse mediante diversos protocolos de comunicación, los cuales se eligen de acuerdo con la cantidad de variables de proceso, la velocidad de transmisión necesaria y las distancias que habrá entre la periferia descentralizada y las estaciones de automatización y determinan parte de las características de los equipos que se utilizarán en un proyecto. A continuación expongo una breve descripción del significado y origen de los protocolos utilizados en los equipos para automatización de procesos que forman parte del catálogo de la compañía.

Profinet: Es un estándar de Ethernet para automatización, ofrece la funcionalidad del modelo TCP/IP completa para la transferencia de datos en toda la empresa y a todos los niveles mediante el uso de tres servicios de comunicación:

Estándar TCP/IP: Para funciones no determinísticas como parametrización, transmisión de audio y video y transferencia de datos a sistemas de TI de niveles más altos

Tiempo Real (*Profinet RT*): En este servicio las capas de TCP/IP se omiten para dar comportamiento determinístico para aplicaciones de automatización en un rango de 1-10 ms.

Tiempo Real Isócrono (*Profinet IRT*): Para aplicaciones de sincronización de alta precisión como control de movimiento. Ciclos de tiempos inferiores a mili segundos son posibles con este servicio [7]

Profibus DP: Es un estándar de comunicaciones para bus de campo, la abreviatura DP corresponde a Periferia Distribuida. Cuenta con cinco diferentes tecnologías de transmisión:

RS-485 / RS-485 IS: Permite velocidades entre 9.6 y 12 mbps y hasta 32 estaciones, o más si se utilizan repetidores

MBP / MBP IS: Transmisión sincrónica a 31.25 Kbps

Fibra óptica

Las versiones IS de cualquiera de las tecnologías son intrínsecamente seguras, es decir que son aprobadas para entornos explosivos

Periferia descentralizada:

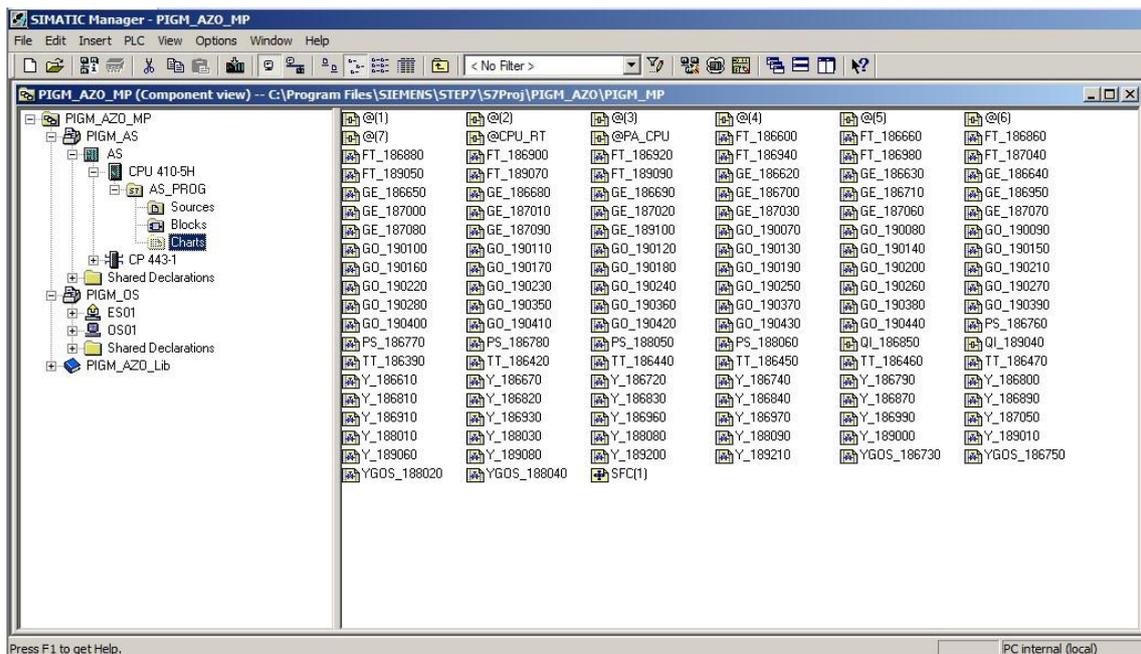
Consiste en módulos de interfaz que comunican las entradas y salidas con la estación de automatización, los módulos de periferia descentralizada pueden colocarse en cualquier sitio pertinente de una planta para disminuir la longitud del cableado de los instrumentos y equipos, en un radio de 100 m de la estación de automatización para *Profinet*, 1000 m si se emplea cable *Profibus DP* o incluso mayor si se utilizan otras tecnologías como repetidores, transmisores WiFi, WiMax o fibra óptica.

Para cada uno de los niveles existen varias opciones de configuración de las arquitecturas de red y diversos equipos disponibles cuyas características dependen de los requisitos de disponibilidad del sistema de automatización, así como de las condiciones ambientales a las que los equipos estarán sometidos. Es así que para el caso de los dispositivos comunicados vía *Profinet* se puede hablar de arquitecturas de red en línea, estrella, árbol y anillo, mientras que para los equipos comunicados vía *Profibus* se puede emplear arquitectura lineal con acopladores sencillos o redundantes, o topología en anillo con acopladores sencillos o redundantes. La arquitectura en anillo ofrece mayor disponibilidad de los dispositivos ya que todos ellos son contactados por dos vías cada uno. Por lo general, para disminuir la probabilidad de falla se utilizan sistemas redundantes desde los servidores hasta los módulos de periferia descentralizada, incluyendo las estaciones de automatización. La figura 5.2 ejemplifica la arquitectura típica de los sistemas de automatización que implementamos en las plantas de procesos.

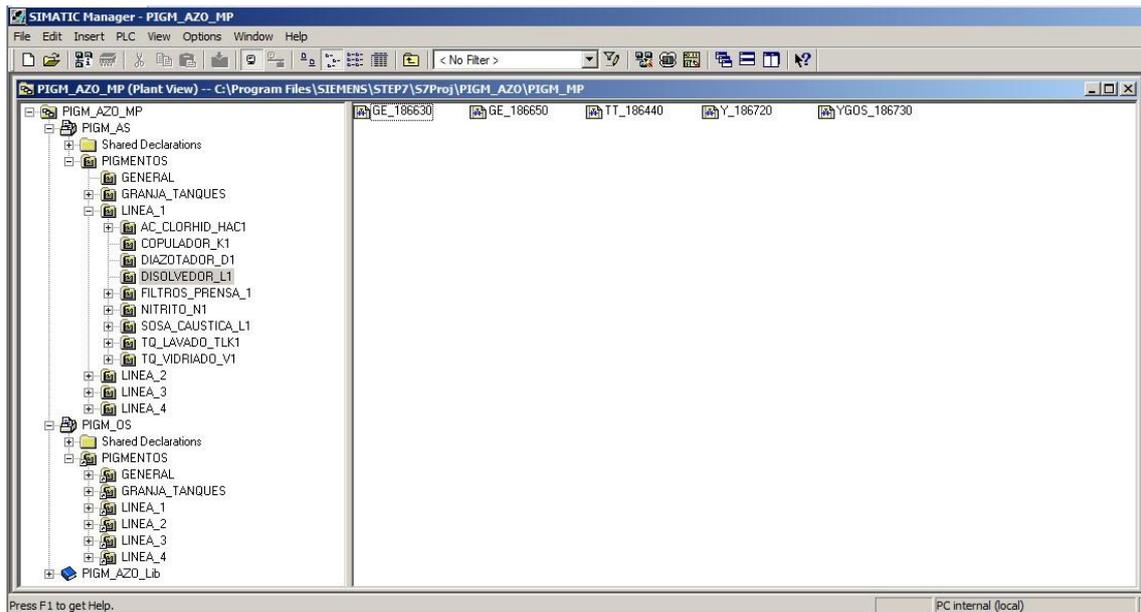
En este proyecto utilizamos una arquitectura en línea para la red de terminales, en ella todas las estaciones están conectadas tanto al servidor principal como al redundante, para cada una de las estaciones de operación se configura como preferente alguno de los servidores; en caso de que éste falle, la estación de operación se comunica con el otro servidor. Para la red de campo se utilizó la topología de anillo existente en la planta, a la que se añadieron dos clientes más consistentes en los CPUs principal y redundante de la estación de automatización, a través de dos conmutadores de comunicación configurados para este tipo de topologías. Los esclavos de Profibus DP se comunicaron por una red con topología de línea redundante, en la que cada uno de los bloques de periferia descentralizada se comunica con dos módulos de interfaz que responden ya sea al CPU 1 o al CPU 2, la tolerancia a fallas de esto se aumenta mediante la sincronización por fibra óptica de ambos CPUs, que se auto configura al momento de conectar un latiguillo entre ellos, ya que se encuentra precargada en el firmware.

Una vez seleccionado el hardware y diseñada la distribución y conexiones del mismo, de manera paralela al ensamble de los tableros se inicia el desarrollo del software en la suite PCS 7, cuya herramienta principal es SIMATIC Manager, un entorno que se emplea para organizar toda la información perteneciente a un proyecto de automatización y desde el cual se accede a los editores de código del sistema S7.

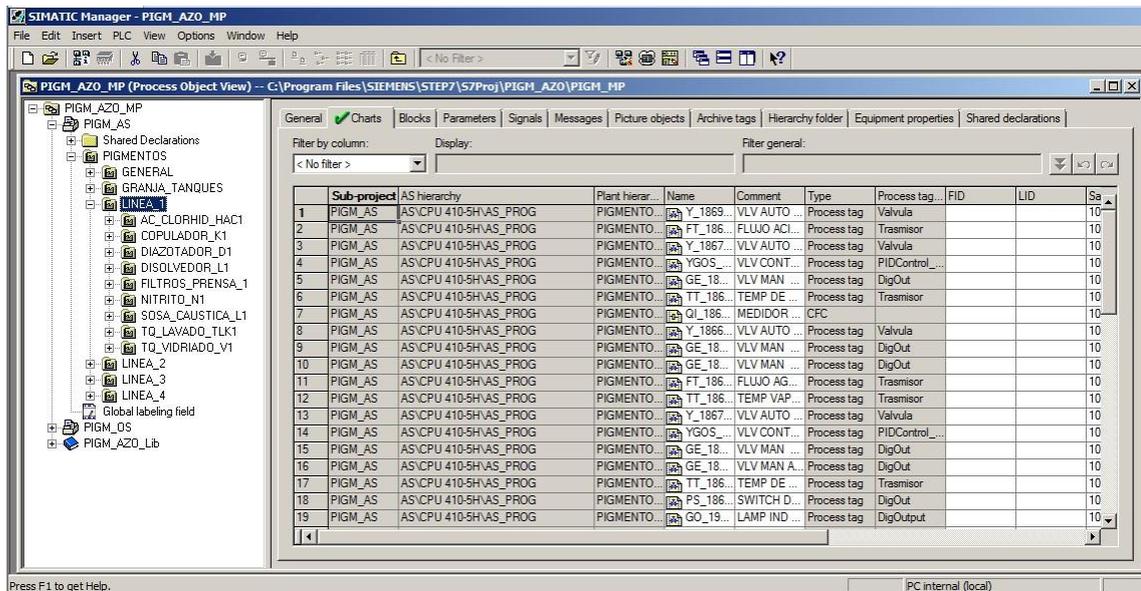
En SIMATIC Manager se utilizan tres vistas para la organización de un proyecto, la vista de planta, la vista de componentes y la vista de objetos de proceso. Es en la primera de ellas que se declaran las unidades y funciones de proceso. En la vista de componentes se dan de alta los equipos que se utilizan en el sistema de control, es decir las estaciones de operación e ingeniería, servidores, controladores, etc. La vista de objetos de proceso concentra todos los bloques, parámetros, señales, desplegados gráficos, carpetas de jerarquía de planta y demás objetos utilizados en el proyecto, permitiendo modificar de manera simultánea un parámetro para varios objetos de la misma clase. La figura 5.3 muestra estas vistas en un proyecto de ejemplo.



A) Vista de componentes



B) Vista de planta



C) Vista de objetos de proceso

Figura 5.3 Vistas de componentes, planta y objetos de proceso en SIMATIC Manager

Cuando se ha de comenzar un proyecto de automatización, como en todos los casos, se debe iniciar declarando en el entorno de programación el hardware que se utilizará, a través de qué redes y en qué direcciones se podrá comunicar y las señales que se recibirán y enviarán hacia el sistema que se pretende automatizar.

En el caso de PCS 7 esto se hace, además de la vista de componentes, en la herramienta de Hardware Configurator (HW Config), en la que seleccionamos el equipo utilizado de un catálogo, declaramos la configuración física de los dispositivos y los nombres de las variables que se conectan a cada bloque de la periferia descentralizada, asignando cada una a una dirección en memoria desde la cual será escrita o leída por el controlador. Además de esto, es necesario indicar al controlador por medio de qué redes y en qué

direcciones se encontrarán los servidores, estaciones de operación, los esclavos correspondientes a la periferia descentralizada y el resto de los clientes de la red en que se encuentra inscrito y de los que recibirá las señales generadas por otros PLCs pertinentes para las secuencias del CPU en cuestión. Las redes de comunicación se dieron de alta en la aplicación NetPro. La figura 5.4 muestra un ejemplo de las interfaces de HW Config y NetPro

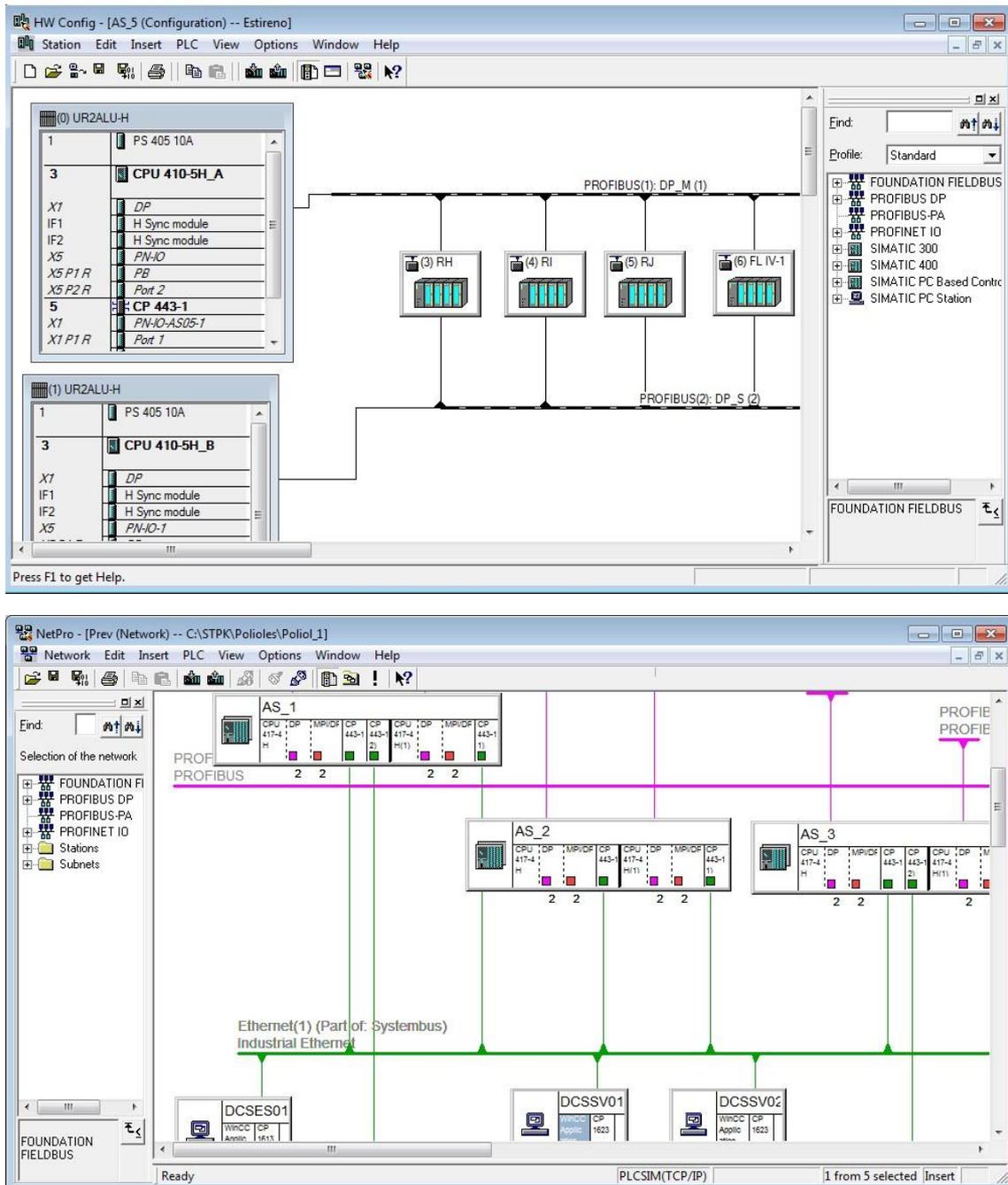


Figura 5.4 Interfaz HW Config (Arriba) Interfaz NetPro (Abajo)

Una vez que se dio de alta el equipo que ejecutará el programa, con el fin de tener en mente los procesos que se ejecutan y los equipos involucrados en ellos es necesario dar estructura al programa teniendo en mente las funciones involucradas en el proceso, que corresponden con las mostradas en la figura 4.1, es por eso que se inicia nombrando cada

una de las unidades de planta, funciones y dispositivos en la vista de planta, en las carpetas de jerarquía se organizan los diagramas que rigen el funcionamiento de los dispositivos facilitando así las modificaciones posteriores al software desarrollado. La figura 5.5 muestra un esquema que pretende ejemplificar el concepto de jerarquía de planta. El resultado de dar de alta esta información en el entorno de programación se muestra en la figura 5.3

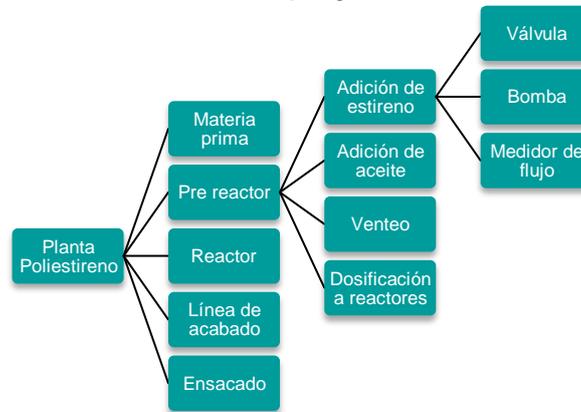


Figura 5.5 Ejemplo de jerarquía de planta

El funcionamiento de una planta de procesos se puede entender a partir de dos conceptos principales: función continua y función secuencial. Cada dispositivo o etapa del proceso tiene una operación continua en la cual se mantiene en determinado estado hasta recibir una señal de conmutación que puede ser enviada de manera automática por el controlador o de manera manual por el operador de procesos, las señales generadas de manera automática se basan en las secuencias del proceso, que son los pasos indicados en las recetas para generar las reacciones químicas que involucra la obtención del producto terminado. El software con el que desarrollamos la automatización proporciona herramientas para programar, a partir de bloques, las funciones continuas y secuenciales de una planta, con un editor de Diagramas de Función Continua (CFC por sus siglas en inglés “Continuous Function Chart”) y uno de Diagramas de Función Secuencial (SFC por sus siglas en inglés “Sequential Function Chart”). Para ejemplificar el proceso, se puede tomar una torre de enfriamiento cualquiera, ésta debe mantener continuamente el agua a una temperatura determinada, para ello se utiliza un bloque de control PID al que se asignará un set point, una variable manipulada, una variable controlada y la lectura del valor actual de dicha variable como realimentación. Este se conectará con un bloque de dosificación que recibirá como set point la variable manipulada y dará como salida el porcentaje o tiempo de apertura de válvulas y encendido de bombas. Todo esto se programa en un CFC y se ejecuta continuamente en todo el tiempo de operación de la planta. Por otro lado, en ciertos momentos de la secuencia de preparación del producto, es necesario circular agua de enfriamiento hacia los reactores, para ello será necesario enviar señales de apertura de válvulas y arranque de bombas, el envío de estas señales está determinado por los pasos indicados en un SFC. La figura 5.6 muestra un ejemplo de un CFC y un SFC programados en los editores mencionado.

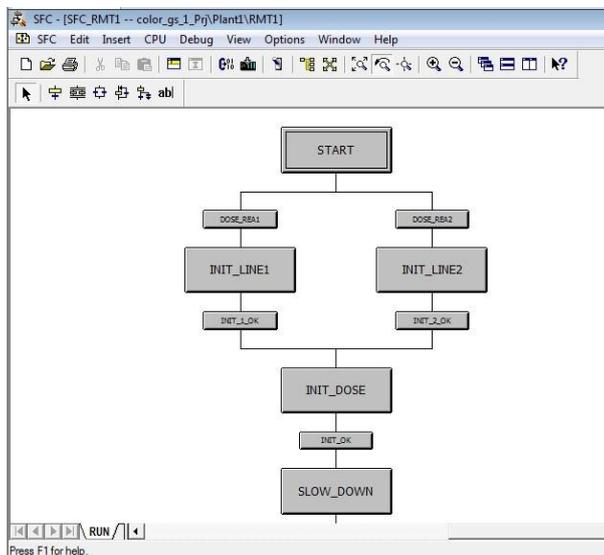
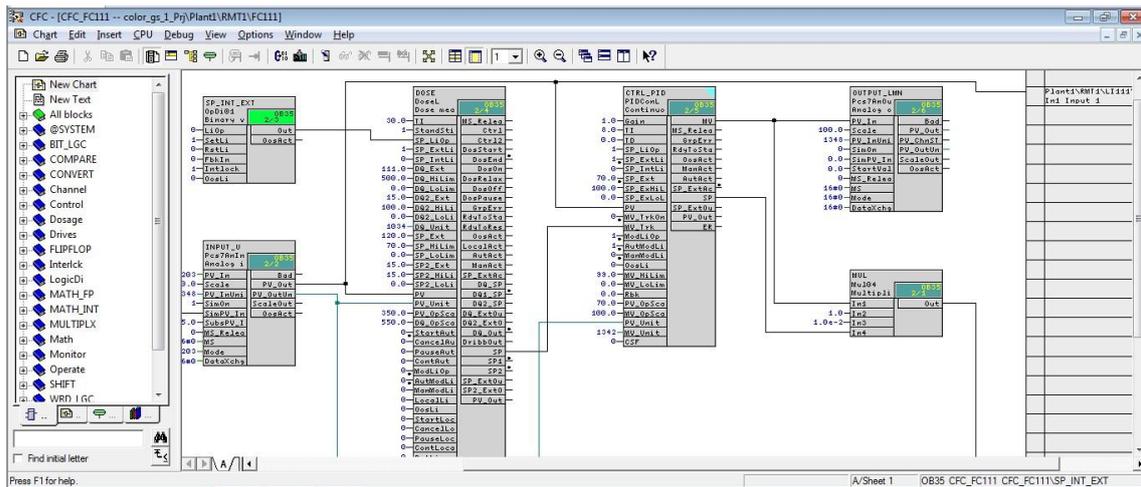


Figura 5.6 Ejemplos de un CFC y un SFC en sus editores.

El experto en diseño de procesos químicos elabora una filosofía de operación en la cual indica a Siemens los valores deseados para las variables de proceso en todo momento, además de las secuencias que se deberán efectuar para la obtención del producto terminado, indicando permisos para el inicio y término de cada etapa. La información generada es la que el equipo utilizó para desarrollar el software de automatización que se cargó a los controladores.

Además de las señales enviadas entre las secuencias y los bloques de programa, es evidente que se requiere declarar las entradas y salidas comunicadas a través de la periferia del CPU, que son aquellas que serán enviadas y recibidas por los dispositivos en campo, esto incluye los solenoides de apertura y cierre, los sensores de final de carrera, botones, sensores, etc. La base de datos definitiva de estas señales fue generada por la empresa cliente y nos fue entregada indicando los nombres y la descripción del servicio de cada una. Esta base de datos se da de alta en la herramienta de HW Config asignando a cada señal una dirección en memoria desde la que será leída o escrita al efectuarse las lógicas de proceso.

Para tener conocimiento claro de las ubicaciones reales de los dispositivos que generan y reciben las señales, estas se ubican en los Diagramas de Tubería e Instrumentación (DTI),

que se elaboran con base en la norma internacional ISA 5.1 indicando las variables que deben ser accesibles desde el cuarto de control, aquellas que deben ser visibles desde una ubicación auxiliar y las que sólo se localizan en campo, la figura 5.7 muestra la simbología mencionada.

	PRIMARY LOCATION ***NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR	FIELD MOUNTED	AUXILIARY LOCATION ***NORMALLY ACCESSIBLE TO OPERATOR
DISCRETE INSTRUMENTS	1 * (P) **	2	3
SHARED DISPLAY, SHARED CONTROL	4	5	6
COMPUTER FUNCTION	7	8	9
PROGRAMMABLE LOGIC CONTROL	10	11	12

Figura 5.7 Simbología ISA5.1 [8]

Los DTI sirvieron también como punto de partida para el diseño de los gráficos dinámicos que se incluyeron en el HMI existente.

El funcionamiento del HMI se configura en otro paquete de aplicaciones, WinCC, en el que se desarrolla un proyecto de interfaz humano máquina que se añade al multiproyecto generado en PCS 7 para ser descargado a los servidores y estaciones de operación en un solo paso.

Durante la programación se generan para cada bloque íconos que facilitan la creación de las interfaces, ligados de manera automática con los símbolos correspondientes al estándar ISA 101 para la generación de HMIs, sin embargo para este proyecto en específico, el cliente manejaba una librería personalizada de figuras y colores para las tuberías, misma que se respetó para la creación de los nuevos desplegados gráficos.

El software para desarrollo de interfaces humano máquina también integra un grupo de herramientas que permiten controlar los derechos de acceso de los usuarios, discriminar las alarmas que serán visibles desde cada una de las estaciones de operación, acceder a una lista de señales de programa vinculables a los elementos gráficos, crear nuevas señales internas para el proyecto de HMI, configurar las opciones relacionadas con la redundancia de servidores, observar el estado de las conexiones de todos los componentes del sistema de control y naturalmente editar los desplegados gráficos y el banner superior. La figura 5.8 muestra uno de los desplegados gráficos elaborados para la planta.

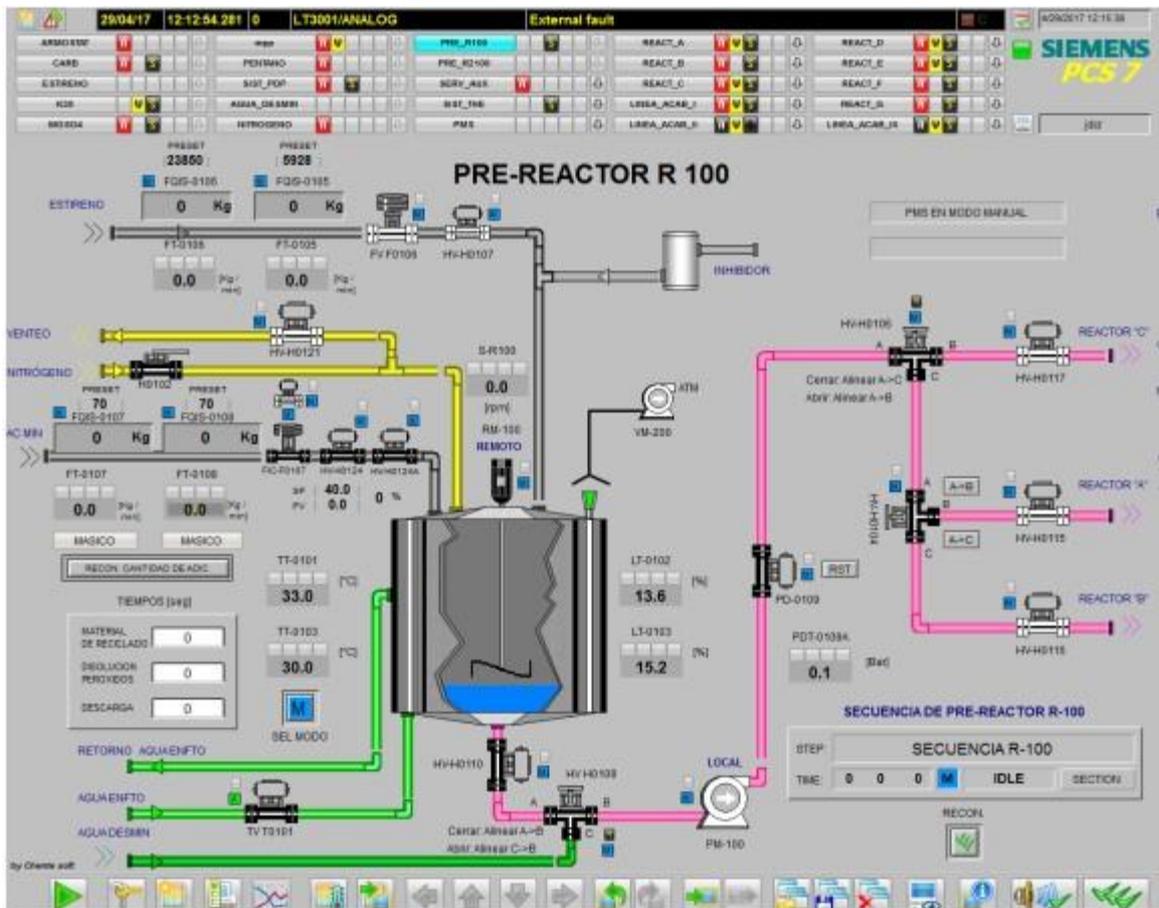


Figura 5.8 Despliegado gráfico correspondiente a un pre reactor

Al hacer click en las válvulas y motores se despliegan cuadros de diálogo que permiten operar los dispositivos de manera manual. Los elementos gráficos cambian de color al correspondiente a la tubería en que se encuentran situados una vez que son abiertos, en el caso de las válvulas de tres vías, el cambio de color afecta solamente a la dirección en la que se abren. El color blanco de los dispositivos indica que no están habilitados para su operación por no cumplirse alguno de los permisos, como se puede ver en la bomba PM100 que en el momento de la captura de pantalla se encuentra en modo local, es decir que está siendo manipulada desde campo. El color negro indica que los dispositivos están listos para ser operados desde el cuarto de control pero se encuentran en estado de inactividad. El gráfico del pre reactor está dinámico para mostrar el nivel de llenado del tanque. Se puede observar que el reactor se ubica en una posición central y destacada en relación con el resto de los dispositivos visibles en pantalla, este es el estándar determinado por la norma ISA 101 para el diseño de HMI.

Una vez concluidos los trabajos descritos, se realizaron las pruebas de aceptación en fábrica (FAT), en las que el cliente acudió a las instalaciones de Siemens para aprobar el diseño y fabricación de los tableros de control así como el software desarrollado para su planta, esta batería de pruebas se redactó y acordó previo a la visita del cliente y se llevó a cabo en su totalidad para poder dar por aceptados los sistemas. Una vez que se tuvo la aceptación del ensamble y configuración, los equipos se enviaron a la planta y se inició la puesta en marcha, que involucró varias etapas:

- Coordinación de la conexión e identificación del cableado de señales provenientes de instrumentos de campo: La labor principal consistió en dar indicaciones y resolver las dudas del personal técnico en lo que se refiere a la interpretación de diagramas.
- Integración de los equipos a las redes existentes: Realizamos un levantamiento de las redes existentes en la planta para determinar entre qué puntos sería conveniente integrar los dos nuevos clientes de la red de campo, es decir los controladores principal y redundante, los dos nuevos clientes de la red de terminales (dos estaciones de operación) y los tres esclavos de Profibus nuevos que se añadieron a los CPUs existentes.
- Pruebas de lazos: El concepto de lazo es el mismo descrito en teoría de control – un conjunto de dispositivos conectados entre sí para realizar una acción de control. Para probar un lazo de control éste se acciona desde la pantalla de operador y se espera a recibir confirmación del accionamiento ya sea por los sensores instalados en el dispositivo en el caso de los lazos cerrados o por parte de personal en campo para el caso de los dispositivos que se controlan a lazo abierto.
- Pruebas con rampas de agua: Se accionan los sistemas de la planta por separado, para verificar el flujo correcto en las tuberías utilizando agua en lugar de la materia prima que se utiliza en la operación normal.
- Arranque de la planta: Una vez terminadas las pruebas de lazos y rampas de agua la planta queda lista para el arranque utilizando las materias primas normales, esta etapa es crítica ya que de presentarse fallas las pérdidas económicas son multimillonarias

Durante las tres etapas últimas, mi labor principal consistió en acompañar al cliente y dar solución inmediata a los problemas presentados ya fuera por fallas en los equipos o en la configuración del software.

6 Resultados y Conclusiones

6.1 Resultados

Concluimos el proyecto de automatización de la planta de poliestireno expandible en agosto de este año. Mi principal participación fue en el diseño y supervisión del ensamble y alambrado del hardware del proyecto, la conexión de redes y la elaboración de los desplegados gráficos, en cuanto a la programación mi participación fue secundaria ya que dada la complejidad del tema éste no puede dejarse del todo en manos del personal en entrenamiento, sin embargo aprendí a utilizar el entorno y colaboré en la solución de errores durante la puesta en marcha.

6.2 Conclusiones

La aplicación de los conocimientos adquiridos durante la carrera se manifestó y fue primordial a lo largo de todo el proyecto, desde la interpretación de hojas de datos de equipos, conocimientos sobre grados de protección IP y NEMA, elaboración de diagramas de ensamble, diseño de conexiones eléctricas, cálculos de consumo de potencia, conocimiento de técnicas de control, control de revisiones de documentación, conocimiento de redes y protocolos de comunicación, por nombrar algunos.

Al tratarse de una carrera que involucra diversas áreas de la ingeniería, la formación como ingeniera mecatrónica me dio la capacidad de entender de manera integral los problemas planteados para el equipo de soluciones de automatización de procesos, además de aportar conocimientos técnicos de instrumentación, programación, control, comunicaciones e incluso diseño mecánico.

La formación en ingeniería debe exceder lo aprendido en las aulas, buscando siempre el aprendizaje continuo de las nuevas tecnologías y herramientas empleadas en la industria y desarrollando capacidades que permitan incrementar la productividad tanto individual como colectiva.

El aprendizaje que obtuve en el desarrollo de este proyecto en conjunto con los conocimientos adquiridos durante la carrera me permitió identificar áreas de oportunidad en el trabajo del equipo para mejorar la calidad y el tiempo invertido en la implementación de soluciones, entre ellas la necesidad de estandarizar las metodologías para evitar re trabajos y cuellos de botella en nuestra producción debidos a errores cometidos en etapas previas o flujos de información deficientes entre las empresas cliente, integradoras y nosotros mismos. Además de ello, el trabajo en la industria me ha llevado a darme cuenta de la importancia de la vinculación con las instituciones académicas para formar profesionales capaces de dimensionar los retos y compromisos que se presentan en el ámbito laboral, propiciando también la retroalimentación por parte de los egresados para tener en cuenta qué conocimientos han tenido mayor peso y cuáles convendría reforzar o incluir en el programa, tales como química, economía y administración.

Entre las asignaturas y temas que utilicé en mi trabajo encuentro principalmente los siguientes:

- Electrónica Básica:
 - Diodos
 - Transistor de unión bipolar
 - Convertidores ADC y DAC
 - Dispositivos ópticos y de potencia
- Control Automático:
 - Controlador PID
- Dibujo Mecánico e Industrial:
 - Acotación
 - Medidas de elementos comerciales
 - Dibujo de elementos mecánicos simples
- Diseño Mecatrónico:
 - Metodología en el desarrollo de productos: Diagrama funcional, control de revisiones, selección de equipos.
 - Sensores, actuadores e interfaces hombre - máquina
- Automatización Industrial:

- Sensores industriales
- Simbología del equipo neumático
- Controladores Lógicos Programables (PLC)
- Electroneumática: Control del equipo neumático mediante programas de PLC
- Automatización avanzada:
 - Comunicación entre controladores
- Planeación y control de la producción
 - Sistemas y modelos de inventarios
 - Control de proyectos Gantt
- Máquinas Eléctricas
 - Arrancadores y controles de velocidad
 - Grados de protección IP/ NEMA
- Instrumentación
- Técnicas de programación:
 - Programación orientada a objetos

De manera indirecta, para la comprensión del proceso y el funcionamiento de válvulas y medidores de flujo

- Termodinámica
- Mecánica de fluidos
- Ingeniería de materiales

A manera de crítica constructiva, me gustaría apuntar que conviene que durante la carrera se dedique tiempo para ofrecer una introducción a la administración de proyectos especialmente hablando de tiempos y recursos, así como la generación de documentación relevante y ordenada ya que estos son aspectos importantes de la ingeniería que facilitan el cumplimiento de objetivos finales y el trabajo en equipo, disminuyendo el retrabajo y los problemas ocasionados por la mala organización del tiempo. Aunado a lo anterior, pienso que sería correcto dar importancia a los estándares internacionales que rigen el desarrollo de productos, la seguridad en el trabajo y las mediciones de calidad en los proyectos, puesto que son herramientas que se requieren en los mercados tanto si la intención al terminar la carrera es trabajar para firmas de ingeniería como si se desea iniciar una empresa propia.

Por otro lado, es claro que la asignatura que más utilizo en el trabajo es Automatización Industrial. Considero que en el caso de esta asignatura sería útil mostrar herramientas como *TIA Portal* y *PCS 7* haciendo énfasis en su importancia en el desarrollo de proyectos de automatización al contar con facilitadores para el trabajo colaborativo, la selección de equipos y la organización lógica de las etapas en un proceso productivo. También sería bueno complementar el curso mostrando herramientas de programación usando CFC's y SFC's, que son las más utilizadas para la industria de procesos, todo ello sin dejar a un lado los temas que actualmente se imparten ya que considero son adecuados para la automatización aplicada a la industria discreta.

Finalmente, me permito afirmar que el trabajo que he desempeñado a lo largo de los últimos meses ha generado valor significativo para la empresa y el país, si se toma en cuenta el impacto que tiene el proyecto desarrollado en el abastecimiento del mercado nacional de

poliestireno expandible, también me ha permitido ampliar mi conocimiento técnico en diversas ramas, lo cual habría sido imposible de no contar con las bases adquiridas en la Facultad de Ingeniería.

7 Bibliografía

- [1] F. d. I. UNAM, «Ingeniería Mecatrónica,» Facultad de Ingeniería , 2017. [En línea]. Consultado en: http://www.ingenieria.unam.mx/programas_academicos/licenciatura/mecatronica.php. [Último acceso: 27 Agosto 2017].
- [2] Siemens AG, «The history of Siemens - from workshop to global player,» 2016. [En línea]. Consultado en: <http://www.siemens.com/about/en/history.htm>. [Último acceso: 16 Mayo 2017].
- [3] Siemens AG, «The dynamo-electric principle - a powerful driving force for 150 years,» Berlín, 2016.
- [4] Blog Automatas, «Top 10 Empresas de Automatización en 2017,» *infoPLC*, 2017.
- [5] D. Morales, «Manufactura discreta vs. Manufactura por procesos,» 19 septiembre 2016. [En línea]. Consultado en: <https://www.tesselar.mx/manufactura-discreta-vsmanufactura-procesos/>. [Último acceso: 8 Julio 2017].
- [6] abas ERP, «INDUSTRIA DE PROCESOS,» 15 Febrero 2015. [En línea]. Consultado en: <https://abas-erp.com/es/industry/industria-de-procesosa>. [Último acceso: 2 Julio 2017].
- [7] Siemens AG, *PM@Siemens Guide V6.0.7*, 2016.
- [8] SIEMENS AG, *Sistema de automatización S7-300 Datos de los módulos.*, Manual de producto, 2013.
- [9] Siemens AG, *CPU 410-5H Process Automation, Manual de Sistema*, Nürnberg, Alemania, 2014.
- [10] PI NORTH AMERICA, «PROFINET, Industrial Ethernet for advanced manufacturing,» 2006. [En línea]. Consultado en: <http://us.profinet.com/technology/profinet/>. [Último acceso: 16 07 2017].
- [11] Instrumentation, Systems and Automation Society (ISA), *ANSI/ISA 5.1 Instrumentation Symbols and Identification*, 2009.
- [12] SENER, «Sistema de Información Energética,» [En línea]. Consultado en: http://sie.energia.gob.mx/bdiController.do?action=cuadro&cvecua=DIIE_C03_ESP. [Último acceso: 27 Agosto 2018].