



**ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL
LITORAL**
Facultad de Ingeniería en Electricidad y
Computación



INFORME DEL COMPONENTE PRÁCTICO PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE MAGISTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Título

**“DISEÑO DEL SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN DE LA FABRICACIÓN DE
PINTURAS Y DEL SISTEMA PARA LA TRANSFERENCIA FISCAL DEL LÁTEX
EN LA FÁBRICA PINTEC, DE GUAYAQUIL”**

AUTOR: ING. JORGE SALAZAR

**GUAYAQUIL, ECUADOR
AÑO 2015**

AGRADECIMIENTO

“A la empresa Serquip, maestros, y sobre todo a las personas que siempre estuvieron conmigo cuando los necesite”

DEDICATORIA

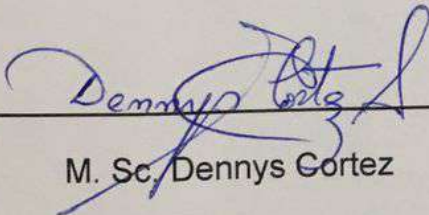
“Dedicado a mi gran familia,
mi hija Vane y sobre todo a
mis hermanos Alberto, Walter
Alfredo y mi padre”

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



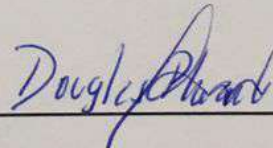
M. Sc. Sara Ríos

PRESIDENTE



M. Sc. Dennys Cortez

VOCAL



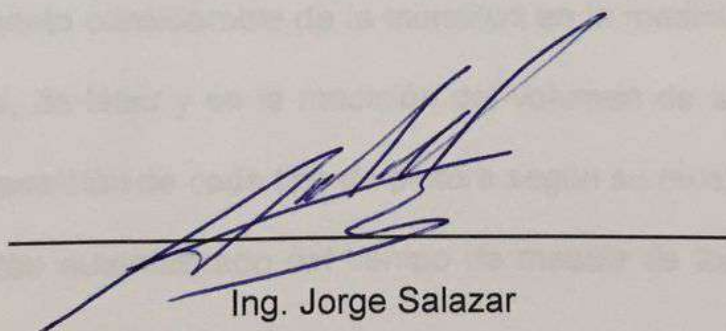
Ph. D. Douglas Plaza

VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA.

"La responsabilidad del contenido de este informe profesional, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DEL LITORAL."

Art. 12 del Reglamento de Graduación



Ing. Jorge Salazar

RESUMEN

Se analizó el proceso de fabricación de pinturas. Se identificaron las deficiencias y se hicieron las propuestas de mejoras. Las propuestas de mejoras se realizaron en dos áreas: área de almacenamiento de látex y área de fabricación de pinturas. En la primera se propuso mejorar el control del inventario y transferencia de látex desde los camiones de transporte de látex. En la segunda área se propuso controlar con exactitud el llenado de los tanques de preparación de pinturas según las recetas establecidas para la fabricación.

La instrumentación requerida para llevar a cabo estas mejoras, así como la instalación del PLC S7-1200 se proporcionó en la ingeniería básica, en la ingeniería de proyecto y en la ingeniería de detalle.

Como resultado de las propuestas se verifica un aumento de la calidad de las pinturas fabricadas debido a:

- Aumento considerable de la exactitud en la medición del volumen de agua, de látex y en la medición del volumen de aditivo básico en la composición de cada tipo de pintura según su receta,
- Conteo automatizado del tiempo de mezcla de los componentes en la fabricación de la pinturas,
- Aumento de la exactitud del inventario de látex en el área de almacenamiento y en el control de la transferencia del mismo hacia el área de fabricación de pinturas.

ÍNDICE GENERAL.

RESUMEN	6
ÍNDICE GENERAL.....	7
ÍNDICE DE FIGURAS	8
ÍNDICE DE TABLAS	¡Error! Marcador no definido.
INTRODUCCIÓN.....	10
CAPÍTULO I	14
METODOLOGÍA TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA	14
1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS EN LA FABRICACIÓN DE PINTURAS ANTES DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO.....	14
1.2 DEFICIENCIAS ENCONTRADAS EN LAS ÁREAS DE PINTEC.....	21
CAPÍTULO II	23
RESULTADOS OBTENIDOS.	23
2.1 SISTEMA DE INVENTARIO EN TANQUES Y TRANSFERENCIA FISCAL	24
2.2 AUTOMATIZACIÓN DE LAS OPERACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE PINTURAS	31
2.2.1 Secuencia de llenado, agitación y descarga del producto terminado	32
2.2.2 Elección de la instrumentación y los medios técnicos de automatización de la preparación de pinturas	34
2.2.3 Automatización del área de fabricación de pinturas	43
2.3 Conclusiones	45
GLOSARIO DE TÉRMINOS	457
BIBLIOGRAFÍA.....	528
Anexos.....	¡Error! Marcador no definido.

ÍNDICE DE FIGURAS

Número	Título	Página
Figura 1.1	Tanques de almacenamiento temporal del látex en PINTEC	16
Figura 1.2	Bomba de diafragma instalada en el área de recepción de látex	16
Figura 1.3	Dimensiones de los tanques de preparación de pinturas	17
Figura 1.4	Agitador de pintura	18
Figura 1.5	Volumen del líquido en el tanque en función del nivel medido con la vara.	20
Figura 2.1	Representación de los elementos del Sistema de Inventario en Tanques	25
Figura 2.2	Conexiones desde el Sistema TankMaster hasta la computadora de servicio	28
Figura 2.3	5900S Medidor de nivel por radar	30
Figura 2.4	2410 Centralizador (hub) del tanque	30
Figura 2.5	Arquitectura del sistema de medición de tanque de Rosemount	31
Figura 2.6	PI&D propuesto para la instalación	32
Figura 2.7	Válvula de compuerta de Masoneilan	35
Figura 2.8	Bomba de lóbulos	36
Figura 2.9	Para la selección del principio de medición del sensor primario	38
Figura 2.10	Principio de medición con placa orificio	39
Figura 2.11	Transmisor Deltabar M – PMD 55	40
Figura 2.12	PLC S7-1200, vista frontal de la CPU seleccionada	42
Figura 2.13	Configuración básica del PLC de Siemens del S7-1200	43

Figura 2.14	Instrumentación y medios técnicos de automatización instalados en cada tanque de fabricación de pintura	44
Figura Anexo	Proline Promag 51W Fluxómetro Electromagnético	49

INTRODUCCIÓN

Históricamente, los sistemas de control por lotes fueron diseñados de manera individual para mantener una disposición básica del equipamiento de la planta. Sin embargo, ellos carecían de la habilidad para transformarse y adecuarse a la producción de nuevos productos sin tener que modificar los sistemas de control. Aquellos esquemas no se prestaron, por sí mismos, a funcionar por recetas o a la integración con los sistemas de dirección de manufactura industrial.

Los actuales sistemas están habilitados para dar repuestas a nuevas y diferentes recetas que emplean el mismo equipamiento de la planta, pero en diferentes combinaciones.

Para encarar los procesos por lotes se requiere estructurar las actividades del control por lotes en tareas fáciles de entender, elegir y diseñar para dirigir los sistemas de control.

Los factores económicos y técnicos que hacen que el proceso por lotes sea mejor que los procesos continuos son [Hegyháti, Friedler. 2010]:

- Los procesos por lotes, a menudo consisten en operaciones unitarias realizadas en unidades del proceso simples tales como los mezcladores o los agitadores.

- La unidad de procesamiento por lotes puede ser de múltiple propósito pudiendo ser empleada para varias fases del proceso por lote y puede soportar la manufactura de múltiples productos con facilidad.
- Las plantas de manufactura por lotes son comparativamente más robustas que una continua.
- Las facilidades de los procesos de manufactura por lotes son fácilmente escalables dependiendo de la demanda del mercado y los requerimientos

Actualmente la industria química requiere de la automatización de los procesos de producción por lotes debido a las elevadas exigencias en la calidad de los productos químicos.

La industria química también se ha favorecido de las ventajas que presenta la disposición de los autómatas programables.

La automatización aplicada a procesos industriales ha experimentado una gran evolución en las últimas décadas gracias al empleo de dispositivos programables (PLC), que permiten un control prácticamente absoluto de la evolución de un proceso.

En estas fábricas generalmente se realiza una producción por lotes, donde se requiere el mezclado mediante palas mezcladoras accionadas por un motor de inducción durante cierto tiempo, según los componentes a mezclar y vaciar la mezcla para su posterior comercialización.

Los aspectos a tener en consideración son: la adición y mezcla conforme a recetas de los componentes químicos para la fabricación de la pintura, la conexión y desconexión del motor mezclador y la protección del personal y del medio ambiente en las áreas de fabricación de pinturas.

El uso de sistemas de control secuencial se hace cada vez más indispensable para dar cumplimiento a estos objetivos y disminuir el consumo tanto de componentes químicos como de energía.

En la fábrica de pinturas PINTEC, antigua PINTUCO se solicitó la automatización de sus procesos unitarios tales como el trasvase de látex desde el medio de transporte que lo suministra hasta los tanques de almacenamiento. El llenado de los tanques de preparación de pinturas según las recetas pertinentes y la conexión y desconexión del motor de mezcla de los componentes de la pintura.

Adicionalmente se solicitó realizar un sistemático inventario del látex en los tanques de almacenamiento temporal de la fábrica y la entrega de la información disponible sobre la recepción del látex, la fabricación de pinturas, el consumo del látex, volumen de látex en los tanques de almacenamiento y el consumo de energía.

Para satisfacer la solicitud del proyecto de automatización se realizaron las ingenierías: básica, de proyecto y de detalle. Un breve resumen de ellas se expone en este Informe del Componente Práctico.

CAPÍTULO I

METODOLOGÍA TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PROCESOS EN LA FABRICACIÓN DE PINTURAS ANTES DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL PROPUESTO

En la fábrica de pintura PINTEC, de Guayaquil, se tienen dos tanques independientes donde se almacena látex para la fabricación de pinturas.

Los tanques de almacenamiento de látex son dos, de 3.6 m de altura y 1.5 m de diámetro.

La capacidad de cada tanque es de 6.36 m³, los mismos que se emplean en su totalidad para la fabricación de diferentes tipos de pinturas y son llenados periódicamente. Los tanques se muestran en la Figura 1.1.

Reciben el látex por descarga desde camiones cisternas, los cuales son pesados antes y después de descargar el producto. El resultado de restar estas mediciones

se toma como el indicador del peso del látex trasvasado a la fábrica por cada camión y es el dato base para la facturación de la compra del látex.

Periódicamente en los tanques se vierte agua para evitar la formación de una especie de nata en la superficie del látex dentro del tanque.

El látex se trasvasa a los tanques de preparación de las pinturas para su fabricación empleando una bomba de diafragma, mostrada en la figura 1.2. La bomba de diafragma se conecta manualmente a cada tanque para el trasvase del látex al área de fabricación de pinturas.

La puesta en marcha de esta bomba se le realiza manualmente desde un tablero que está ubicado en el área de preparación de pintura. Los tanques de preparación de pintura son de diferentes capacidades cada uno, sin embargo, solo se requiere la automatización de 12 tanques de iguales dimensiones, las mismas que se muestran en la figura 1.3.



Figura 1.1. Tanques de almacenamiento temporal del látex en PINTEC.



Figura 1.2. Bomba de diafragma instalada en el área de recepción de látex.

Las dimensiones de los tanques de preparación de pinturas se muestran en la figura 1.3 y proporcionan un volumen de 3.15 m^3

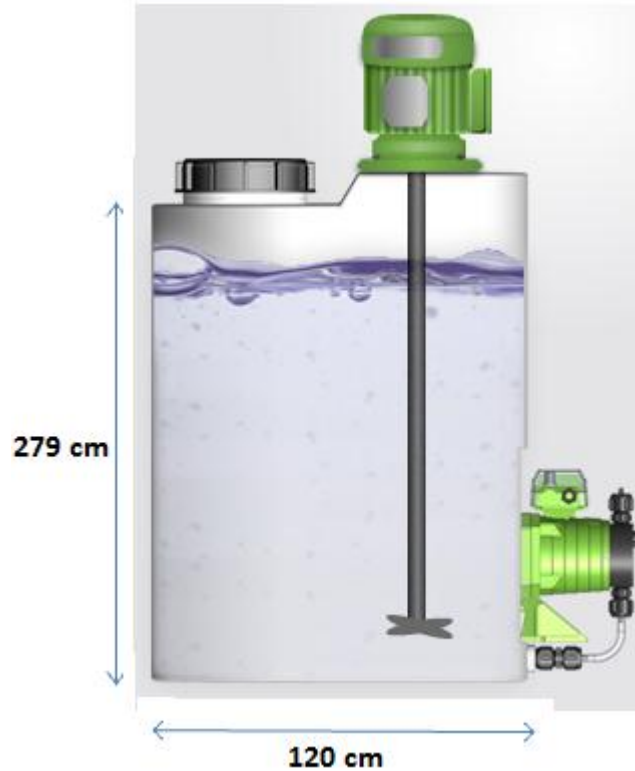


Figura 1.3 Dimensiones de los tanques de preparación de pinturas

Los agitadores de pintura se utilizan principalmente para dispersar los aditivos agregados, homogeneizar la mezcla y mejorar la viscosidad de la pintura.

La agitación hace referencia a la acción de obligar al fluido a moverse generalmente de manera circular en el tanque.

Existe una gran variedad de agitadores de pintura según el proceso que se quiera realizar por ejemplo los agitadores horizontales y verticales, los de baja y alta potencia, los de velocidad fija y variable, los neumáticos, los de doble o triple propela, entre otros. Los empleados en esta fábrica son de doble propela

Una foto del tipo de agitador de pintura empleado en PINTEC se muestra en la figura 1.4.



Figura 1.4 Agitador de pintura

Para el llenado de cada tanque de preparación de pintura se tienen diferentes válvulas manuales para descargar los componentes de la pintura según cada receta.

La mezcla de estos componentes se le realiza con los mezcladores centrales del tipo turbinas abiertas de palas rectas las mismas que son puestas en rotación por un motor eléctrico trifásico cuya conexión se efectúa manualmente desde un

pequeño tablero localizado en cada tanque de mezcla con los elementos de maniobra requeridos para las operaciones de conexión y desconexión del motor.

La pintura se compone de pasta base, látex, colorante y agua. El proceso de fabricación se realiza como sigue:

Las pinturas se fabrican por recetas, lo que significa que la cantidad de pasta base, látex, colorante y agua a verter en los tanques de preparación de pintura debe ser medida con exactitud.

La cantidad de agua está en proporción al látex y se indica por la receta. Para la medición de los fluidos que componen la pintura se emplea una vara calibrada de manera que según la indicación leída en ella se determina el volumen del fluido vertido en el tanque de preparación de pintura. La conversión empleada actualmente es de 11.3097 y se muestra la figura 1.5 que proporciona el volumen del líquido en el tanque medido en metros cúbicos como función del nivel medido con la vara en centímetros.

El tiempo de mezcla se determina también por la receta y la misma depende del tipo de pintura a fabricar.

Terminado este tiempo será necesario descargar los tanques a otro tanque de almacenamiento para desde ellos realizar el llenado de los envases de comercialización.

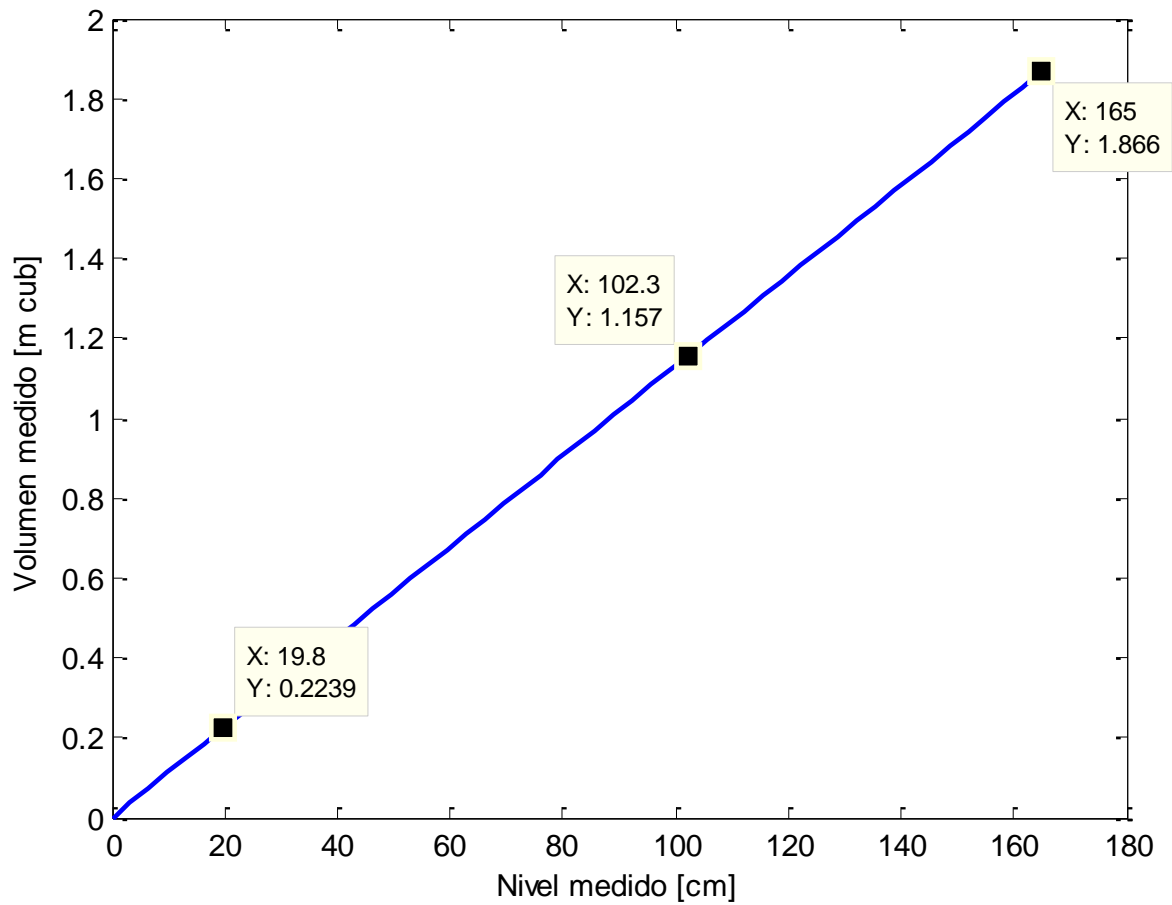


Figura 1.5 Volumen del líquido en el tanque en función del nivel medido con la vara.

1.2 DEFICIENCIAS ENCONTRADAS EN LAS ÁREAS DE PINTEC

En el área de recepción del látex se detectaron los siguientes problemas:

- La carga, descarga y almacenamiento de látex en el patio de tanques de Pintec requiere de información detallada de variables tales como volumen, masa, etc.
- La información que manejan es la obtenida mediante el pesado de los camiones cisternas antes de la descarga del látex y después de ésta.
- La otra información es la que proporciona la regla gigante instalada por fuera de cada tanque como se muestra en la figura 1.1.
- Cuando se desea trasvasar látex hacia el área de fabricación de pinturas las mediciones del trasvase son inexactas y no se realizan en esta área.
- Las operaciones de carga de ambos tanques son manuales de manera que para llenar un tanque se requiere la manipulación de válvulas manuales que conectan y desconectan la tubería de descarga de los camiones a cada tanque por separado.
- La descarga del látex de los camiones se realiza mediante una bomba instalada en cada camión cisterna.

En el área de preparación de la pintura se detectaron las siguientes deficiencias:

- Todas las operaciones (adición de pasta base, adición de látex, adición de colorante y adición de agua al tanque de fabricación de pinturas, conexión y desconexión del motor del mezclador) se realizan de forma manual.

- Las mediciones de los fluidos vertidos se realiza mediante una vara calibrada y la indicación del nivel se lee en la vara, lo cual es muy inexacto.
- Los tiempos de mezcla se determinan por el operador según la indicación de su reloj.

CAPÍTULO II

RESULTADOS OBTENIDOS.

El mundo de los negocios está en el umbral de la cuarta revolución industrial. Vincular el mundo real y el virtual facilita un mejor inventario y monitoreo. De igual forma la automatización industrial conlleva a evitar los errores propios del humano como operador de los procesos.

Teniendo esto en cuenta se hace la propuesta de informatizar los trasvases de látex hacia y desde los tanques de almacenamiento temporal mediante el Sistema de Transferencia Fiscal o Transferencia de Custodia (Custody Transfer) y el Sistema de Control de Inventario o Inventario en Tanques (Tank Inventory), así como automatizar el proceso de elaboración de las pinturas según las recetas establecidas en PINTEC.

2.1 SISTEMA DE INVENTARIO EN TANQUES Y TRANSFERENCIA FISCAL

En el mundo existen varios fabricantes de reconocido prestigio en el campo de la automatización y control que se han especializado en los sistemas de inventario en tanques.

Entre esas firmas se encuentran Rosemount y Endress+Hauser cuyas soluciones han alcanzado gran aceptación en la industria del petróleo y química.

Estas firmas se encuentran establecidas en nuestro país con representaciones en Quito y Guayaquil.

La mejor propuesta fue presentada por Rosemount. La descripción general del sistema se da en la figura 2.1 y comprende los siguientes elementos:

- Medio de cómputo para realizar los cálculos, para la comunicación de los datos y su visualización así como para la gestión de informes.
- Modem con comunicación RS-485
- Estos elementos están enlazados entre sí por una comunicación Modbus

El enlace que sigue se establece mediante comunicación Hart y comprende los siguientes elementos de medición:

- Tres sensores transmisores de presión
- Un sensor transmisor de temperatura (la temperatura permite hacer correcciones a la densidad y al volumen)

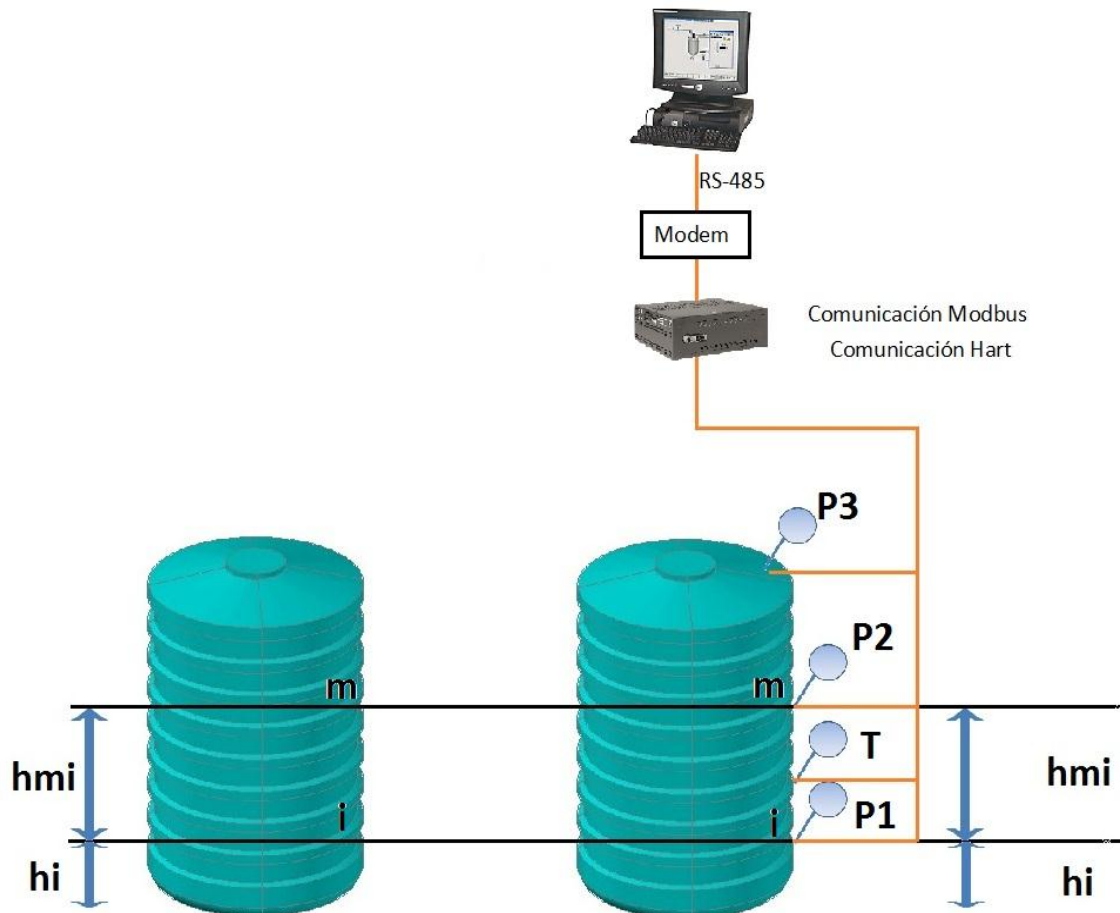


Figura 2.1. Representación de los elementos del Sistema de Inventario en Tanques.

Este sistema permite:

- Aumentar la eficiencia de plantas proporcionando una visión general completa de los tanques
- Ofrece los cálculos de inventario en tiempo real con volúmenes estándares netos API.
- Logra la interoperabilidad de las redes con el host del sistema y proveedores.

- Mejora la seguridad con una mejor gestión de alarmas
- Incrementa la fiabilidad con la característica de redundancia inteligente

El sistema TankMaster calcula automáticamente el volumen y la masa para el inventario del líquido en los tanques y la transferencia de custodia.

Los operadores serán capaces de responder más rápidamente a los cambios de las condiciones en el patio de tanques. Esto maximizará la eficacia de la planta y reducirá los costos.

Para la determinación de los valores de las variables a monitorear se emplean las fórmulas siguientes:

Cálculo de la densidad ρ :

$$\rho = \frac{P1 - P2}{g * hmi}$$

Donde:

hmi — es la distancia entre la toma de presión inferior y la intermedia en el tanque,

$P1$ — Es la presión medida en el sensor-transmisor inferior,

$P2$ — Es la presión medida en el sensor-transmisor intermedio

g — Es la aceleración que imprime la fuerza de la gravedad sobre los cuerpos en la superficie de la Tierra

Cálculo del nivel H del látex en los tanques:

$$H = \frac{P1 - P3}{g * \rho} + hi$$

Donde:

$P3$ — Es el valor medido de presión en el sensor-transmisor superior

hi — Es el valor de la distancia entre la instalación del sensor-transmisor de presión inferior y el fondo del tanque

Cálculo de la masa M del líquido en el tanque:

$$M = ((P1 - P3) * A_{mT}) / g$$

Donde:

A_{mT} — Es el área media del tanque

Cálculo del volumen de látex en el tanque:

$$V = \frac{M}{\rho}$$

Los cálculos se realizan por el sistema empleando las fórmulas expuestas anteriormente y pueden ser expresados y mostrados en el Sistema de Unidades que seleccione por el usuario.

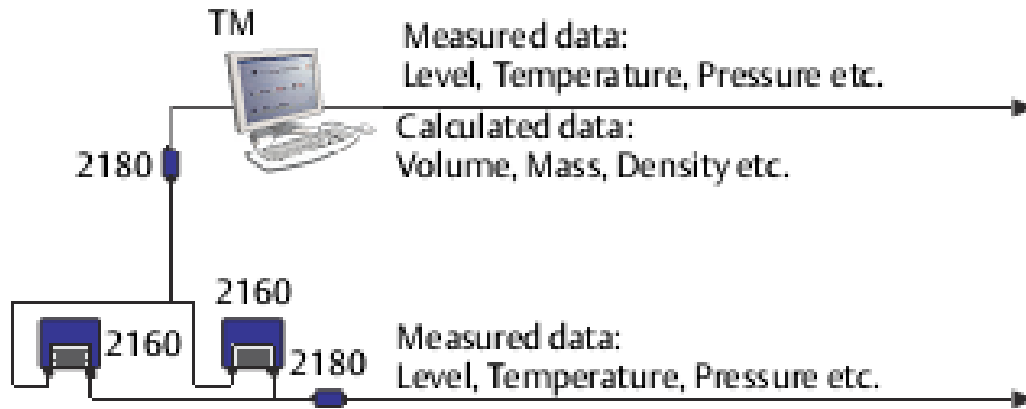


Figura 2.2 Conexiones desde el Sistema TankMaster hasta la computadora de servicio.

Hay una serie de opciones para vistas personalizadas; es posible o bien modificar la ventana existente o construir ventanas completamente nuevas para mostrar los parámetros de los tanque.

La configuración y la instalación del sistema Rosemount es totalmente interactiva, poseyendo un asistente el cual proporciona paso a paso la guía de configuración e instalación de todos los dispositivos del sistema de medición de tanques.

TankMaster puede mostrar todos los textos en cualquier idioma. Los usuarios pueden cambiar los textos en los cuadros de diálogos y en los menús.

Durante la medición de la densidad con los sensores-transmisores de presión la misma se complementa con la medición de temperatura.

Es por eso que en la instalación de la instrumentación se instala un sensor-transmisor de temperatura, cuya medición proporciona cualquier corrección requerida de la densidad del látex por la temperatura y del nivel real en el tanque de látex. Para esta corrección TankMaster proporciona las tablas digitales requeridas y los cálculos se realizan de forma continua.

La precisión del cálculo de la densidad depende en gran medida de la precisión del transmisor de presión. Los datos se calcula de acuerdo con API actualizada y las normas ISO.

Los tipos de dispositivos que soportan el sistema TankMaster se proporcionan en la Tabla 2.1 Dispositivos que soportan el sistema TankMaster

Tipo de dispositivo	Destinación
5900S	Medidor de nivel por radar
2240S	Transmisor de temperatura de múltiples entradas
3051S	Transmisor de Presión
2230	Display
2410	Centralizador (hub) del tanque
2160	Unidad de comunicación de campo
2180	Modem del Bus de Campo



Figura 2.3 5900S Medidor de nivel por radar

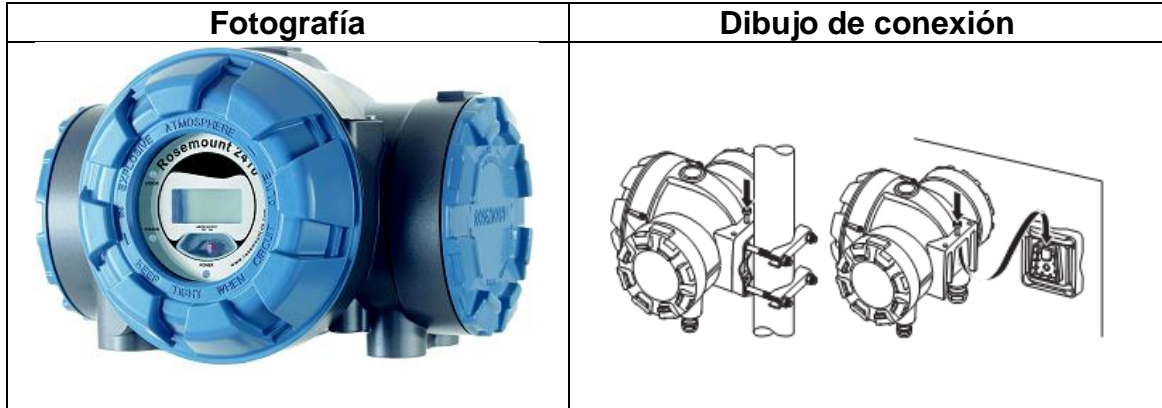
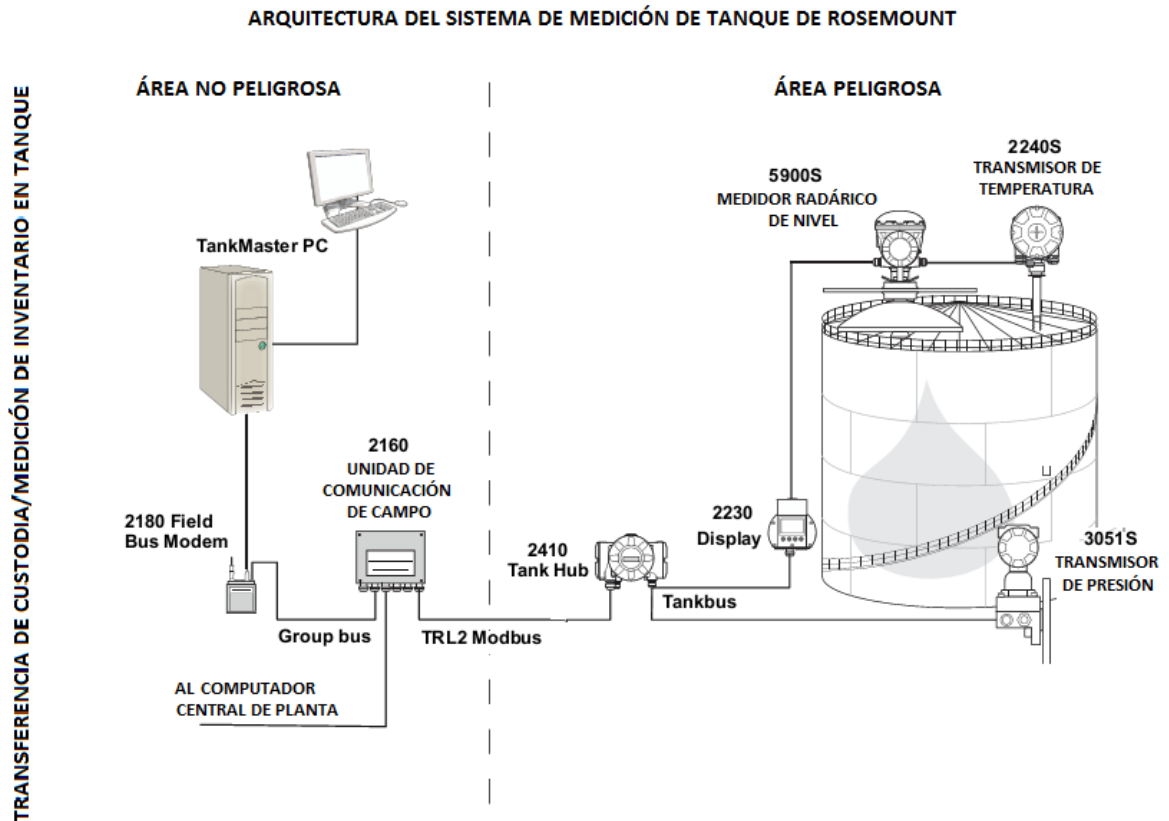


Figura 2.4 2410 Centralizador (hub) del tanque

En la figura se muestran los diferentes dispositivos que componen el sistema de inventario. A la vez queda mostrado la manera de conectar cada elemento del sistema de manera que se evidencia la transmisión de la información y los sensores transmisores que participan en el sistema de medición e inventario.



**Figura 2.5 Arquitectura del sistema de medición de tanque de Rosemount
(por simplicidad no se muestran todos los transmisores de presión)**

2.2 AUTOMATIZACIÓN DE LAS OPERACIONES PARA LA FABRICACIÓN DE PINTURAS

La automatización de las operaciones requeridas para la fabricación de las diferentes pinturas involucra un autómata programable donde se instala el programa de la secuencia de las operaciones de trasvase de la pasta base en la cantidad requerida, del látex, del colorante dosificado y de la cantidad de agua en correspondencia con la cantidad de látex vertido hacia el tanque específico donde se preparará la pintura.

Otra de las operaciones que deben ser tenidas en cuenta en el programa es la conexión, durante el tiempo especificado en la receta de la pintura en cuestión, y la desconexión del motor del mezclador.

La figura 2.6 muestra el P&ID propuesto para la instalación. Cada tanque de preparación de pintura debe ser habilitado con los elementos mostrados en ese diagrama.

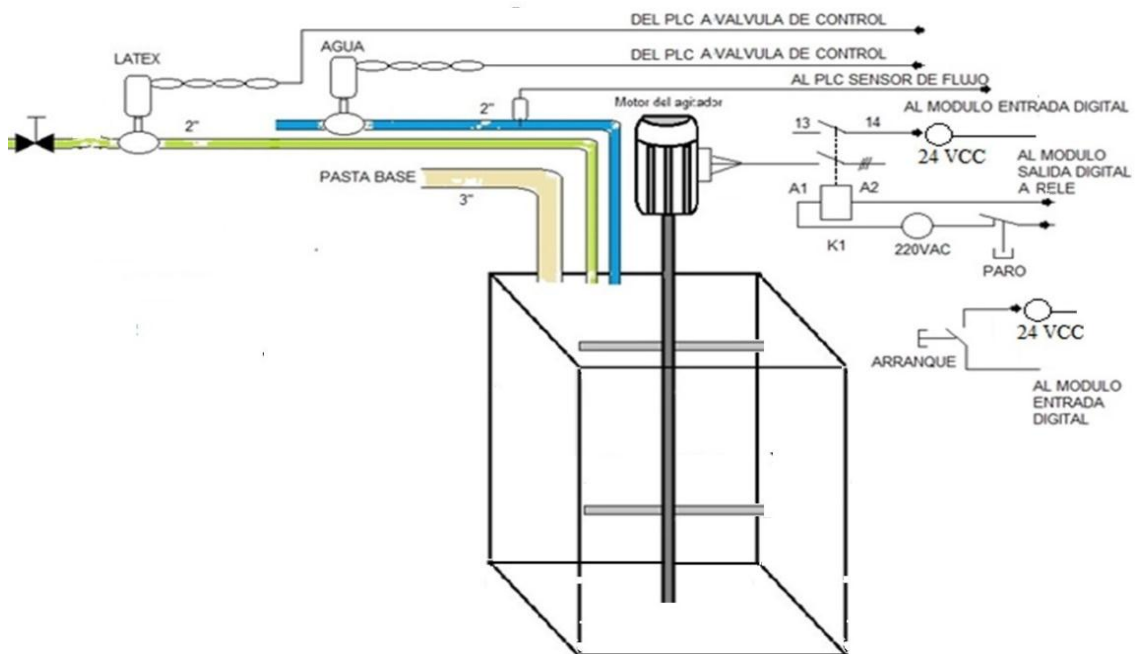


Figura 2.6. P&ID propuesto para la instalación

2.2.1 Secuencia de llenado, agitación y descarga del producto terminado

La secuencia que se debe establecer, independientemente del tipo y color de la pintura a fabricar se detalla a continuación:

El llenado de los tanques de preparación de pintura comienza con el trasvase de la pasta base la cual se encuentra en tanques de 3 m de diámetro y 1.5 m de alto ubicados en un local aledaño al de preparación de pinturas. La tubería de trasvase consta de bomba de diafragma, tubería de 16 m de largo y válvulas manuales las mismas que serán sustituidas por válvulas del tipo on/off.

Sigue el trasvase de látex desde el área de almacenamiento de látex. El circuito hidráulico para el trasvase del látex consta de tubería de 32 m de largo, 5 codos, y válvulas manuales en las cercanías de cada tanque de preparación de pintura las mismas que serán sustituidas por válvulas del tipo on/off.

De igual forma, el trasvase del agua requerida se efectúa mediante tuberías de 18 m de largo con sus respectivas uniones y codos, así como las válvulas manuales en los entornos de cada tanque de preparación de pintura, las mismas que serán sustituidas por válvulas del tipo on/off.

Para verter en los tanques de pintura el colorante se emplean las bombas dosificadoras ya instaladas.

.

Las bombas para el trasvase de la pasta base y del látex serán sustituidas por bombas de lóbulos.

Al término del tiempo estipulado por la receta se detiene el motor del mezclador. Una vez desconectado este motor se procede a abrir la válvula manual de vaciado y a conectar el motor de la bomba de vaciado.

En la propuesta entregada a PINTEC se propone la sustitución de la válvula manual por una válvula on/off.

2.2.2 Elección de la instrumentación y los medios técnicos de automatización de la preparación de pinturas

- Se propone sustituir las válvulas manuales por válvulas del tipo on-off.
- Se propone la sustitución de las bombas de diafragmas por las bombas de engrane del tipo lóbulo.
- Se propone el empleo de sensores-transmisores de flujo volumétrico para el conteo del volumen de cada uno de los componentes de la pintura según las recetas.
- Se propone un display HMI para poder observar el proceso del llenado de los tanques de pintura desde un puesto central de monitoreo y control.
- Se propone la instalación y programación de un PLC del tipo S7-1200,

La propuesta de los medios técnicos de automatización así como de la instrumentación coincide con los propuestos para la empresa Poliquím, debido a

que ambas empresas pertenecen al mismo consorcio y generalmente el mantenimiento técnico en la parte de automatización y control se realiza por los mismos empleados.

Elección de la válvula de control del tipo on/off

Se requieren de válvulas de control gobernadas para abrir o para cerrarse a distancia automáticamente.

Este tipo de válvula se denomina válvula on-off. Se elige de compuerta, de bola. Considerando que la temperatura de los componentes de la pintura es la ambiente se eligen las válvulas de control on-off del tipo compuerta, con cuerpo de latón/bronce/hierro y juntas de NBR¹ (nitrilo caucho)



Figura 2.7. Válvula de compuerta de Masoneilan.

¹ Elastómero compatible con la mayoría de las aplicaciones con aire, agua o fuel doméstico. Sus temperaturas de utilización van en el rango de -20° C hasta 90° C, lo que permite el empleo con agua caliente a 60° C.

Elección de la bomba de alimentación de componentes

En la planta existen bombas de diafragmas para el trasvase del látex y de la pasta base a los tanques de fabricación de pintura.

Estas bombas proporcionan un flujo pulsante, lo cual dificulta la medición exacta del flujo de látex o de la pasta base y la contabilización del flujo volumétrico para el cumplimiento de lo estipulado en las recetas.

De manera similar a como se propuso en Poliquín se propone a PINTEC cambiar las bombas existentes por bombas de engranes, las cuales pueden trabajar en presencia de líquidos viscosos a temperatura ambiente y proporcionar un fluido bastante regular (laminar) para calcular con precisión el volumen del componente.



Figura 2.8 Bomba de lóbulos

Elección de los sensores transmisores de flujo volumétrico

La seguridad de la planta, la constancia en la calidad del producto, la optimización del proceso y la protección medioambiental son sólo algunas razones por las que la medición de caudal se ha hecho cada vez más importante en el ámbito de la instrumentación industrial.

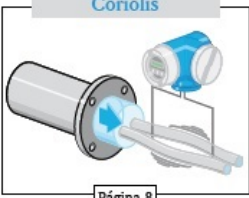
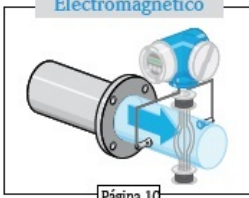
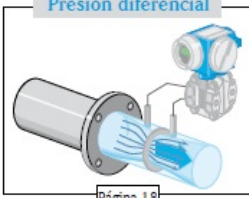
Para la selección de los sensores primarios se tomó como base la información proporcionada en Medición de Caudal para Líquidos Gases y Vapor de Endress+Hauser sobre los principios de medición del flujo y mostrada en la figura 2.9.

Considerando que la pasta base tiene una viscosidad superior a 50 cps. (aproximadamente igual a la viscosidad de la salsa de tomate 50000 cps.) se selecciona el sensor primario con principio de medición electromagnético.

Los fluxómetros electromagnéticos pueden utilizarse con cualquier líquido conductor ($>1 \mu\text{S/cm}$) con o sin presencia de sólidos, por ejemplo: agua, aguas residuales, lodos, lechada, pastas, ácidos, álcalis, zumos, pulpa de fruta, etc. Entre los sectores industriales que utilizan este principio de medición se encuentran los de: aguas residuales/agua potable, productos químicos, productos farmacéuticos, pulpa y papel, productos alimenticios, etc.

El Transmisor del sensor presenta el concepto operativo unificado, con paquetes de software, interfaz Fieldbus, y certificaciones Ex, las mismas que se exigen en este tipo de industria química.

Se seleccionó el Promag 50/51 que es un Transmisor para aplicaciones estándares y se admite su empleo en Custody Transfer (facturación), tiene además Certificado MID (Directiva Europea de Instrumentación de Medición) con Indicador de dos líneas con iluminación posterior y controles de botones.

	Coriolis  Página 8	Electromagnético  Página 10	Presión diferencial  Página 18
Aplicaciones en líquidos:			
■ Líquidos en general (p. ej., agua)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
■ Caudales muy pequeños (< 2 l/h)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Caudales muy grandes (> 100 000 m ³ /h)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
■ Líquidos no conductivos	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
■ Líquidos viscosos (> 50 cP)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Líquidos criogénicos (p. ej., O ₂ líquido)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
■ Bebidas (p. ej., leche, cerveza)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Aplicaciones especiales:			
■ Lodos, sólidos en suspensión	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Mezclas líquido/líquido (aceite/agua)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Mezclas líquido/gas (agua/aire)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Líquidos corrosivos (ácidos, alcalinos)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
■ Flujos de gas corrosivo (p. ej., vapor de HCl)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
■ Aplicaciones de minería (lodos)	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
■ Mediciones bidireccionales (directa/inversa)	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
■ Mediciones desde el exterior sin interrumpir el proceso	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Gamas de aplicación			
■ Diámetros nominales	DN 1 a 250	DN 2 a 2200	DN 10 a 4000
■ Presión de proceso	máx. 350 bar (400 bar)	máx. 40 bar	máx. 420 bar
■ Temperatura de proceso	-50 a +350°C	-40 a +180°C	-200 a +1.000°C

apropiado inapropiado

Figura 2.9. Para la selección del principio de medición del sensor primario.

En la figura 2.10 se muestra un dibujo del sensor seleccionado tipo placa-orificio para el agua.

Este sensor tiene el principio de medición siguiente:

Un elemento primario (placa orificio) genera una diferencia de presión en el interior de la tubería, que constituye una medida directa del caudal volumétrico. Dos capilares proporcionan al transmisor la presión diferencial que el transmisor convierte en señal de salida.

Las placas orificio, constituyen un estrechamiento circular de la sección transversal de la tubería, creándose en consecuencia una diferencia de presión.

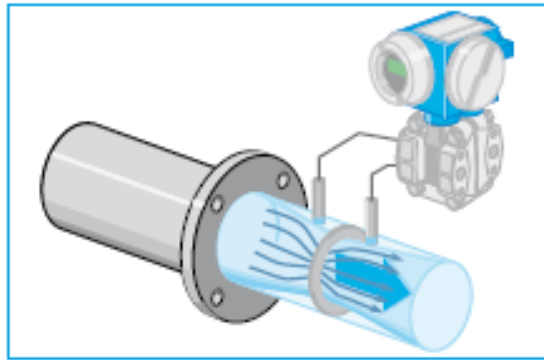


Figura 2.10. Principio de medición con placa orificio

La diferencia de presión que existe entre dos puntos a ambos lados del estrechamiento, corriente aguas abajo y corriente aguas arriba, constituye directamente una medición del caudal.

Las siguientes ventajas son notables en este tipo de sensor:

- Medición tradicional normalizada a nivel mundial (desde 1929), nivel de aceptación elevado,
- Apropiado para líquidos,
- Para condiciones de proceso extremas de hasta 420 bar y 1000°C,

- Elementos primarios robustos: completamente mecánicos, sin piezas móviles.

Transmisores

El Transmisor Deltabar es un concepto de operación unificada, con conexión de bus de campo, membranas metálicas o cerámicas, configuración rápida para facilitar la puesta en marcha, etc.

El seleccionado es el transmisor Deltabar M – PMD 55 el cual es un:

- Transmisor para aplicaciones estándares
- Con Indicador de cuatro líneas, y
- Configuración con botones pulsadores.



Figura 2.11 Transmisor Deltabar M – PMD 55

El elemento primario y el transmisor forman una única unidad mecánica. Comprende un elemento primario (placa-orificio), un manifold, y el transmisor Deltabar - todos los elementos están completamente montados y listo para la puesta en marcha y sus características son:

- Para temperaturas hasta 200°C (líquidos)
- Para presiones de proceso de hasta 420 bar

Elección del autómata programable

Se ha seleccionado el autómata programable S7-1200, principalmente porque poseen una elevada confiabilidad, están diseñados para trabajar en ambientes industriales con altos niveles de ruido, suciedad, elevadas temperaturas y altos niveles de humedad todo lo cual está presente en el área de elaboración de las pinturas.

La solución anteriormente instalada solo permite el control de manera manual y se basa en lógica cableada.

El sistema de control con PLC consiste, en un módulo de controlador programable y los módulos de E/S en un único chasis con una fuente de alimentación eléctrica.

Los autómatas Siemens, presentan una estructura robusta y compacta. Exhiben gran flexibilidad pues presentan diferentes gamas que se destinan a tareas de bajo, media y gran alcance. Considerando la automatización propuesta en la fábrica de látex de los mismos empresarios y mismo personal de mantenimiento se ha propuesto:

- Tipo de CPU seleccionada: 1214C
- Tensión de alimentación: 24 VDC
- Velocidad de ejecución booleana: 0.1us/instrucción

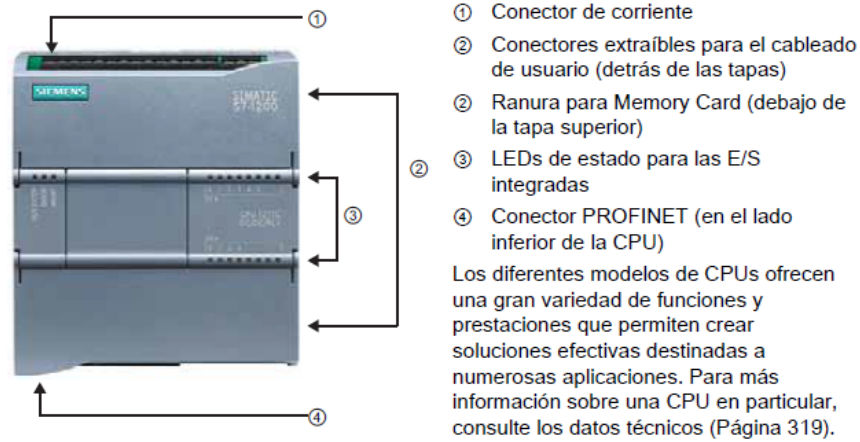
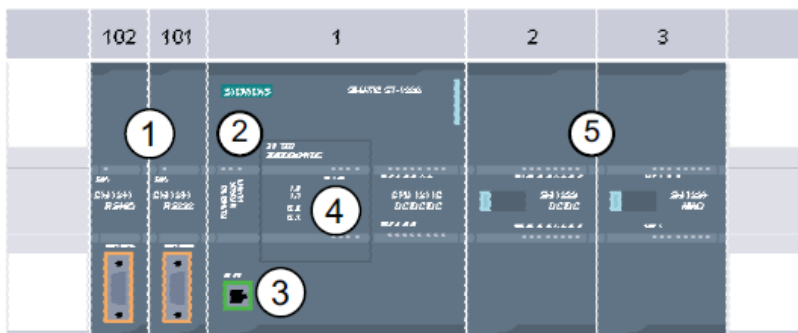


Figura 2.12. PLC S7-1200, vista frontal de la CPU seleccionada.



- ① Módulo de comunicación (CM): máx. 3, insertados en los slots 101, 102 y 103
- ② CPU: Slot 1
- ③ Puerto Ethernet de la CPU
- ④ Signal Board (SB): máx. 1, insertada en la CPU
- ⑤ Módulo de señales (SM) para E/S digitales o analógicas: máx. 8, insertados en los slots 2 a 9 (la CPU 1214C permite 8, la CPU 1212C permite 2, la CPU 1211C no permite ninguno)

Figura 2.13. Configuración básica del PLC de Siemens del S7-1200

2.2.3 Automatización del área de fabricación de pinturas

A continuación se expone brevemente las ideas centrales en la automatización de uno de los tanques de preparación de pintura.

Problema a resolver

Con los elementos de control y maniobras:

1. Válvulas on/off para el agua, la pasta base y el látex,
2. Bomba dosificadora,
3. Aparamenta de maniobra en baja potencia (breakers, contactores, térmicos)
4. Autómata programable.

Secuenciar el llenado del tanque de elaboración de pintura (trasvase de la pasta base, del látex, del agua y accionar la bomba de dosificación del colorante) según la receta seleccionada en el HMI general del área de elaboración de pinturas, realizar la mezcla de los componentes de la pintura durante el tiempo estipulado en la receta y finalizado el tiempo correspondiente detener el motor del mezclador, accionar la válvula de vaciado y conectar la bomba de vaciado hasta la señal de paro.

El tiempo de conexión de cada bomba (de la pasta base, del látex y del agua) está dado en la programación del PLC. Este tiempo se calcula considerando que en cada receta viene establecido el volumen del componente y empleando las fórmulas:

$$T_{PB} = \frac{V_{PB}^{receta}}{q_{bomba PB}} - \text{tiempo de conexión de la bomba para la pasta base}$$

$$T_{LATEX} = \frac{V_{LATEX}^{receta}}{q_{bomba LATEX}} - \text{tiempo de conexión de la bomba para el látex}$$

$$T_{AGUA} = \frac{V_{AGUA}^{receta}}{q_{bomba AGUA}} - \text{tiempo de conexión de la bomba para el agua}$$

Donde:

$q_{bomba PB}$, $q_{bomba PB}$, $q_{bomba PB}$ – flujos constantes de las bombas de pasta base, látex y agua.

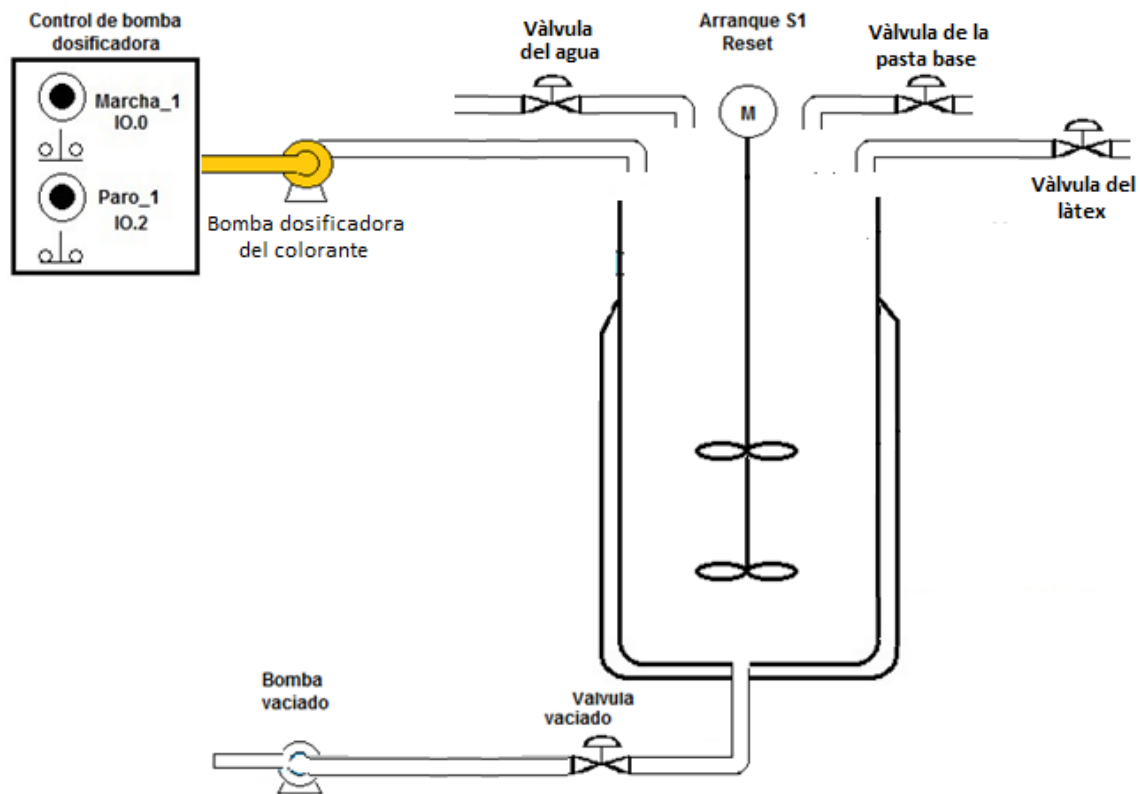


Figura 2.14 Instrumentación y medios técnicos de automatización instalados en cada tanque de fabricación de pintura.

2.3 CONCLUSIONES

Se analizó el proceso de fabricación de pinturas. Se identificaron las deficiencias y se hicieron las propuestas de mejoras. Las propuestas de mejoras se realizaron en dos áreas: área de almacenamiento de látex y área de fabricación de pinturas. El costo total del proyecto de Automatización de las dos áreas de la fábrica Pintec es de \$89.572.58

Con respecto a la seguridad este sistema tiene la norma y certificación del sistema tankmaster, que alerta cualquier problema de inflamación del sistema, garantizando que las seguridades del mismo

Según pintec, el porcentaje de error permitido en el volumen de la mezcla para cualquier pintura es de 1%, o sea si el volumen requerido en el lote es de 3.375 m³, entonces para que el lote cumpla con la calidad se permite un error de ± 0.03375 m³.

El error cometido al medir el volumen de cada componente con una vara dentro del tanque de preparación de pintura, según datos de pintec, se da en la Tabla.

Componente	Denominación	Error en medición de nivel	Error en volumen
Pasta base	m	$\pm 12\text{mm}$	0.084816 m³
Látex	n	$\pm 12\text{mm}$	0.084816 m³
Agua	p	$\pm 6\text{mm}$	0.042408 m³
Colorante	q	$\pm 1\text{mm}$	0.00706 m³
	Total		0.2191 m³

La suma de estos errores proporciona el error en el volumen establecido por la receta. La diferencia entre este valor y el porcentaje permitido proporciona el error relativo cometido en la estimación del volumen de componentes a mezclar. Ese error es, en porcentaje:

$$M\% = \frac{0.2191 - 0.03375}{0.03375} * 100\% \quad M\% = 549.18\%$$

Después de la automatización se tienen instalados los sensores y las bombas siguientes:

TIPO DE SENSOR	PRECISIÓN
Placa orificio	±2% del flujo nominal
Electromagnético	± 0,4% de la razón de flujo
CAUDAL NOMINAL DE LAS BOMBAS	
BOMBA CENTRÍFUGA	120 l/min
BOMBA DE ENGRANAJES	120 l/min

Al determinar los componentes de la receta de pintura mediante fluxómetros se cometen errores de:

Componente		Error en medición de flujo	Error en volumen
Pasta base	m	±0.4%	0.00048 m ³
Látex	n	±0.4%	0.00048 m ³
Agua	p	±2%	0.0024 m ³
Colorante	q	±2%	0.0024 m ³
	Total		0.00576 m ³

Como se observa solo en la determinación del volumen en el tanque de preparación de pintura el aumento de la precisión en la medición del volumen a mezclar es de 38 veces, por lo que, en principio, la calidad se verá aumentada en

$$\text{igual cantidad: } \gamma = \frac{0.2191}{0.00576} = 38.038$$

ANEXOS

PROFORMAS ENTREGADAS A PINTEC

INSTRUMENTACIÓN PARA DOS TANQUES INTERCONECTADOS						
N o.	SENSOR	CARACTERÍSTICA	UNIDAD	COSTO PU	CANTI DAD	COSTO TOTAL
1	RADAR NIVEL GAUGE	ANTENA PARABÓLICA		\$ 1.800,00	1	\$ 1.800,00
2	DE NIVEL PUNTUAL	DE HORQUILLA		\$ 2.212,00	2	\$ 4.424,00
3	DE PRESIÓN	SITRANS P serie DS III FF		\$ 2.500,00	1	\$ 2.500,00
4	FLUJO METRO	CORIO LIS		\$ 2.943,00	2	\$ 5.886,00
	TEMPERATURA	Pt 100		\$ 136,08	1	\$ 136,08
	TRANSMISOR	TH 100		\$ 150,00	1	\$ 150,00
6	HUB DE TANQUES			\$ 2.365,00	1	\$ 2.365,00
7	UNIDAD COMUNICACIÓN	COMUNICACIÓN CON CAMPO		\$ 2.949,00	1	\$ 2.949,00
8	BOMBA DE ENGRANAJE			\$ 645,00	1	\$ 645,00
9	MODEM	MODEM DEL BUS DE CAMPO		\$ 1.260,00	1	\$ 1.260,00
	TOTAL INSTRUMENTACIÓN					\$ 22.115,08

SOFTWARE						
8	Software profesional para programación y configuración de TG		GBL	\$ 4.420,00	1	\$ 4.420,00

ACCESORIOS Y MONTAJE						
9	Fabricación implementos, adaptaciones mecánicas (si se requieren)			\$ 4.243,00	1	\$ 4.243,00
	Montaje mecánico equipos del sistema de medición		GBL			
	Conexión de los equipos del sistema de medición					
	Configuración equipos del sistema de medición					
	Pruebas de funcionamiento del sistema de medición					
	Calibración de instrumentos					
10	Bandejas porta cables	Tipo escalerilla de aluminio	12 pies	\$ 167,00	5	\$ 835,00
11	Accesorios para bandejas	Pernos, sujetadores de bandejas, de tuerca y mordaza		\$ 600,00	1	\$ 600,00
12	Tuberías	Conducto CONDUIT 3/4"	metros	\$ 5,00	19	\$ 95,00
13	PC industrial			\$ 4.800,00	1	\$ 4.800,00
14	Panel de campo	KTP 600 PN monocromático 5,7"		\$ 740,00	1	\$ 740,00
TOTAL ACCESORIOS						\$ 11.313,00
TOTAL INSTRUMENTACIÓN Y SOFTWARE						\$ 26.535,08
SUBTOTAL						\$ 37.848,08
COSTOS INDIRECTOS						\$ 9.462,02
SUBTOTAL						\$ 47.310,10

PROFORMA AUTOMATIZACIÓN ÁREA FABRICACIÓN DE PINTURA

LISTADO ELEMENTOS ELÉCTRICOS Y DE CONTROL	UNIDAD	PRECIO	CANTIDAD	TOTAL
PLC Siemens S7-1200, CPU 1214C AC/DC/Relé, alimentación 110/220VAC. Incorpora 14 DI a 24 VDC, 10 DO tipo relé, 2 AI (0-10VDC), memoria 75KB. Con puerto de comunicación Profinet / Industrial Ethernet RJ45 10/100Mbps. Capacidad de ampliación hasta 1 Signal Board (SB), 8 módulos de señal (SM) y 3 módulos de comunicación (CM).	U	\$ 695,00	1	\$ 695,00
SM1221 Módulo de señal de 16DI a 24V DC		\$ 298,00	1	\$ 298,00
CSM1277 Switch Industrial Ethernet no gestionado, formato SIMATIC S7-1200. Con 4 puertos RJ45 10/100Mbps	U	\$ 228,00	1	\$ 228,00
Cable ethernet 1mt	U	\$ 5,00	2	\$ 10,00
SIMATIC Basic Panel KTP600 PN, pantalla STN 256 colores, de 5,7", táctil y con 4 teclas de función. Con Interfaz PROFINET / Industrial Ethernet. Panel para funciones básicas en aplicaciones simples y de máquina. Configurable con software TIA PORTAL WinCC V11 Basic ó superior.	U	\$ 1.315,00	1	\$ 1.315,00
Fuente de poder Logo Power entrada 120/220VAC; salida 24 VDC 2.5A	U	\$ 112,00	1	\$ 112,00
Transformador de control 440/220V	U	\$ 97,00	1	\$ 97,00
Bombas de engrane tipo lóbulos	U	\$ 645,00	1	\$ 645,00
Válvula de compuerta Apollo, 3" eléctrica	U	\$ 695,00	3	\$ 2.085,00
Sensor de flujo placa-orificio	U	\$ 350,00	1	\$ 350,00
Transmisor Deltabar M – PMD 55	U	\$ 500,00	2	\$ 1.000,00
Sensor de flujo electromagnético	U	\$ 1.500,00	2	\$ 3.000,00

ACCESORIOS, PROGRAMACIÓN Y LICENCIA

Riel instalación 480mm	U	2	\$ 53,00	\$106,00
Red Profibus que soporte hasta 8 módulos entrada/salida	GBL	1	\$ 540,00	\$540,00
Programación de plcs y scada	GBL	1	\$ 5.000,00	\$5.000,00
Software de ingeniería, profesional, con automatización totalmente integrada, con licencia para gestión de datos con no más de 1000 tags	GBL	1	\$ 9.558,00	\$9.558,00
MISCELÁNEA				
Disyuntor 1A-2p C60N	U	\$ 8,44	2	\$ 16,88
Lámpara roja 220v	U	\$ 21,41	6	\$ 128,46
Lámpara verde 220v	U	\$ 21,41	1	\$ 21,41
Botonera doble con lámpara	U	\$ 43,58	8	\$ 348,64
Selector 3 posiciones fijas 2 NA	U	\$ 20,20	1	\$ 20,20
Botón pulsador tipo hongo para emergencia	U	\$ 27,27	1	\$ 27,27
Bornera hasta 12AWG	U	\$ 1,25	15	\$ 18,75
Supervisor de voltaje trifásico digital	U	\$ 265,00	1	\$ 265,00
Relé universal 11 pines con base 220V	U	\$ 24,86	4	\$ 99,44
Juego de platina de cobre para 150 Amperios pintada	GBL	\$ 75,00	1	\$ 75,00
Juego de platina de cobre neutro y tierra	GBL	\$ 40,00	1	\$ 40,00
Juego de aisladores por tabarras	GBL	\$ 35,00	1	\$ 35,00
Juego de cables, terminales, pernos, acrílico transparente, canaleta plástica, etc.	GBL	\$ 80,00	1	\$ 80,00
Juego de placas exteriores, con el nombre del Tablero	GBL	\$ 25,00	1	\$ 25,00
Juego de placas interiores para identificación de los Disyuntores y Contacto res	GBL	\$ 10,00	1	\$ 10,00
Mano de obra				\$ 3.937,5
SUBTOTAL				\$ 30.187,56
COSTOS INDIRECTOS				\$ 7.546,89
SUBTOTAL				\$ 37.734,45
IVA				\$ 4.528,1
TOTAL				\$ 42.262,58

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Látex	El látex natural es una suspensión acuosa coloidal compuesta de grasas, ceras y diversas resinas gomosas obtenida a partir del citoplasma de las células laticíferas presentes en algunas plantas angiospermas y hongos.
PLC	Controlador lógico programable (en inglés Programmable Logic Controller)
Proceso por lotes	La producción por lotes es una técnica utilizada en la fabricación, en la que se crea el objeto en cuestión etapa por etapa en una serie de estaciones de trabajo, y se hacen diferentes lotes de productos. La fabricación de pinturas es un ejemplo de tal producción.
Agitador	Los agitadores industriales son herramientas utilizadas para homogeneizar varios componentes a través de un proceso de mezcla
Transmisor	Los transmisores son instrumentos que convierten la salida del sensor primario en una señal suficientemente fuerte como para transmitirla al controlador o a otro aparato receptor
PID	Diagrama de Tuberías e Instrumentación

BIBLIOGRAFÍA.

1. Máté Hegyháti, Ferenc Friedler. Overview of Industrial Batch Process Scheduling Chemical Engineering Transactions Volume 21, 2010
2. Siemens. Lista de precios Ecuador. Enero 1 de 2014.
3. Catálogo de Baja Tensión. Siemens
4. Control y vigilancia SIRIUS. Siemens
5. SIRIUS PROTECTING. Siemens
6. Endress+Hauser. Medición de Caudal para Líquidos Gases y Vapor, documento en pdf.