

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Diseño de un Sistema de Mezclado en Línea de Crudo Liviano en la Refinería de Recope en Moín

Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura

José Tomás Echeverría García

Cartago, Junio del 2009

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Gabriela Ortiz León

Profesor lector



Ing. Anibal Coto Cortés

Profesor lector



Ing. Eduardo Interiano Salguero

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

23 de junio de 2009

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 20 junio del 2009



José Tomás Echeverría García
Cédula: 1-1188-0444

Resumen

El objetivo de este proyecto es colaborar con el Departamento de Ingeniería de la Refinadora Costarricense de Petróleo, Recope S.A., en la elaboración de la Ingeniería Básica del Sistema de Mezclado en Línea de Crudo Liviano T-1001-LN, que forma parte de proyecto Ampliación del Parque de Tanques de la Refinería.

En la actualidad, la empresa tiene la necesidad de expandir la capacidad de almacenamiento de hidrocarburos a 25.000 BPSD en la Refinería en Moín, debido al gran aumento en la demanda de derivados del petróleo en el país. Por lo cual tanto la capacidad de almacenamiento de materias primas, como la producción del plantel, deben ser ampliadas.

Como parte de las acciones que se han tomado para lograr lo anterior, nace la necesidad de disminuir los tiempos de producción de crudo liviano y con esto un sistema para la implementación de un mezclador en línea para este tipo de hidrocarburos, ya que la Refinería no cuenta con un sistema que posea una funcionalidad similar a este.

Este proyecto define los requerimientos de los sistemas y equipos por utilizar en la arquitectura de instrumentación, así como la estrategia de control necesaria para su correcta implementación.

Palabras claves: Recope, instrumentación, mezclador, control, hidrocarburos.

Summary

The objective of this project is to collaborate with the Engineering Processes Department of Recope S.A., in the development of the Basic Engineering of the In-line Blending System for Crude Oil T-1001-LN, which is part of the project Refinery's Park Tanks Enlargement.

At present, the company has the need to expand the storage capacity to 25.000 BPSD in the Refinery in Moín, due to the large increase in demand for oil in the country. By which both the storage capacity of raw materials, such as the production capacity should be extended.

As part of the actions that have been taken to achieve this goal, is the need to reduce the times of production of crude oil and with this a system for the implementation of a in-line blender for crude oil, that the refinery does not have a system that holds similar functionality to it.

This project defines the requirements of the systems and equipment to be used in the instrumentation's architecture, and the control strategy necessary for proper implementation.

Keywords: Recope, instrumentation, blending, control, oils.

DEDICATORIA

A mi madre Lorena, a mi padre Tomás y a mis hermanos, pues gracias a sus sacrificios, paciencia, apoyo y comprensión, me permitieron superar todos los obstáculos que se presentaron a lo largo de este camino.

AGRADECIMIENTO

Primeramente a Dios, por haberme regalado la vida, la salud y todo lo que soy.

Al Ing. Jahaziel Acosta por la amistad, el apoyo y la guía que me ha brindado en la realización de este proyecto.

A todo el personal del Departamento de Proyectos de Ingeniería de Recope por el apoyo, los sabios consejos y la amistad compartida durante la elaboración de este trabajo.

A mis familiares y amigos cercanos, por siempre estar ahí y por lo mucho que me ayudaron en todos esos momentos difíciles.

ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN.....	13
1.1 Problema existente e importancia de su solución	13
1.2 Solución seleccionada	15

CAPÍTULO 2

META Y OBJETIVOS	17
2.1 Meta	17
2.2 Objetivo general.....	17
2.3 Objetivos específicos	17

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO.....	18
3.1 Descripción del sistema o proceso por mejorar.....	18
3.2 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema	25
3.2.1 Procesos en línea.....	25
3.2.2 Control Automático.....	26
3.2.3 Protocolos de comunicación en los sistemas de control industrial.....	28
3.3 Normas y estándares relacionados con el control e instrumentación	35

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO	38
4.1 Reconocimiento y definición del problema	38
4.2 Obtención y análisis de información.....	38
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	39
4.4 Implementación de la solución	39
4.5 Reevaluación y rediseño	40

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN	41
5.1 Análisis de soluciones y selección final	41
5.2. Descripción	41
5.3 Diseño de la instrumentación	49
5.3.1 Etapa de Filtrado	49
5.3.2 Etapa de medición	51
5.3.3 Etapa de calibración y control	54
5.3.4 Etapa de acople y verificación de mezcla	57
5.3.5 Patín de mezclado	60
5.3.6 Controlador del patín de mezclado	63
5.3.6.1 El control de proporciones de mezclas	63
5.3.6.2 Control de propiedades de mezclas	68
5.3.6.3 Reportes de gestión de mezclas	70
5.3.6.4 Planificación de mezclas.	71
5.3.7 Unidad general de control	73

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS	76
-------------------------------------	-----------

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	79
7.1 Conclusiones	79
7.2 Recomendaciones	80

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFÍA	82
---------------------------	-----------

CAPÍTULO 9

APÉNDICES Y ANEXOS	84
9.1 Apéndices	84
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología	84
A.2 Información sobre la institución	89
A.3 Planos elaborados	90
9.2 Anexos	81

ÍNDICE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de bloques del sistema.....	16
Figura 2. Proceso de mezclado de crudo liviano utilizado actualmente	18
Figura 3. Proceso propuesto de mezclado de crudo liviano.	19
Figura 4. Distribución de los tanques de alimentación a planta y recepción importaciones de crudo liviano	20
Figura 5. Fotografía aérea del plantel de la Refinería en Moín, Limón.....	21
Figura 6. Diagrama actual de la conexión de tanques	22
Figura 7. Torre de fraccionamiento para destilación petróleo.	24
Figura 8. Ejemplo de proceso en línea en la industria petrolera.....	26
Figura 9. Diagrama propuesto para acople de los tanques al sistema de mezclado en línea.....	43
Figura 10. Diagrama de la integración del sistema de mezclado al proceso de producción de crudo liviano.....	45
Figura 11. Diagrama de bloques del sistema de mezclado.	47
Figura 12. Variables por monitorear mediante la instrumentación en cada lazo de recirculación.....	48
Figura 13. Diagrama de tuberías e instrumentación de la etapa de filtrado.....	49
Figura 14. Diagrama de tuberías y instrumentación de la etapa medición del diseño del mezclador en línea.....	52
Figura 15. Diagrama de tuberías e instrumentación de la etapa de calibración y control del diseño del mezclador en línea.....	54
Figura 16. Vista lateral y superior de la conexión del sistema mezclado al camión de medición y calibración de la refinería.....	55
Figura 17. Vista frontal y de corte interno de la válvula de control de flujo en los brazos del sistema de mezclado en línea.	56
Figura 18. Diagrama de tuberías e instrumentación de uno de los brazos del diseño del mezclador en línea.....	57
Figura 20. Mezclador estático requerido.....	61
Figura 21. Arquitectura de control del sistema de mezclado en línea.....	73

ÍNDICE TABLAS

Tabla 1. Tiempos consumidos durante la preparación de los lotes de crudo liviano.....	13
Tabla 2. Valores de grado API y concentración de azufre para diferentes tipos de crudo liviano	23
Tabla 3. Normas y prácticas recomendadas por la API.	36
Tabla 4. Normas y prácticas recomendadas para la instrumentación industrial ISA.....	37
Tabla 5. Equipo de instrumentación utilizado en el diseño del sistema de mezclado en línea de crudo liviano.	59

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

1.1 Problema existente e importancia de su solución

Para la modernización operativa de la planta refinadora, los estudios previos realizados por el Departamento de Planificación de Recope, plantean la necesidad de incrementar la productividad y capacidad de almacenamiento, debido a la creciente demanda de hidrocarburos en el país. Este es el objetivo principal de la puesta en marcha del proyecto de Ampliación del Parque de Tanques de la Refinería, en Moín.

Para poder realizar estas mejoras en la producción, en lo que respecta a derivados del crudo liviano, se hace necesario prepararlo de una manera más eficiente antes de que éste ingrese a la planta de la Refinería. Con esto, se lograría disminuir el tiempo de preparación de los lotes de crudo liviano. En la *Tabla 1* se muestra información sobre el tiempo consumido en la producción de este tipo de hidrocarburos, correspondiente a junio del 2007.

Tabla 1. Tiempos consumidos durante la preparación de los lotes de crudo liviano [1].

TIEMPO CONSUMIDO	LOTE 50.000 bbl¹	LOTE 100.000 bbl
Trasiego de componentes hacia tanques de mezclado	16 horas	24 horas
Recirculación	24 – 30 horas	40 horas
Certificación	6 horas	6 horas
<i>Tiempo total</i>	<i>46 – 52 horas</i>	<i>70 horas</i>

¹ Ver glosario en apéndice A.1

Como se observa en la tabla anterior, la parte más crítica en la producción de crudo liviano es la recirculación, donde se homogenizan los diferentes tipos de crudos livianos que Recope compra en el exterior, haciendo de esta, la etapa más lenta y complicada del proceso. Esto se debe a la cantidad de tiempo que el crudo debe ser recirculado por las tuberías y los tanques de almacenamiento, hasta llegar a alcanzar una mezcla uniforme que cumpla con las especificaciones solicitadas por la planta de refinación.

Se puede mencionar que la recirculación hoy en día no es la forma más apropiada ni la más eficiente de acondicionar hidrocarburos; también es de resaltar que en este proceso se utiliza una cantidad importante de infraestructura durante un periodo extenso de tiempo, lo cual limita considerablemente el rango de operaciones disponibles de la Refinería.

Al aumentar el volumen de producción de la Refinería mediante la implementación de este proyecto de modernización, se tendrá que almacenar, en el parque de la Refinería, una cantidad mayor de materias primas para la producción propia de la planta, agregando a esto el almacenamiento de todos los productos terminados importados como lo son la gasolina RON95, el diésel de bajo contenido de azufre (0,05 %S) y el "Jet-fuel". Por lo anterior, puede concluirse que no se va a disponer de tanto espacio en tanques y tuberías para llevar a cabo los antiguos métodos de acondicionamiento de crudo liviano.

Debido a esta problemática, se hace necesaria la implementación del sistema de mezclado en línea de crudo liviano, el cual traerá beneficios en la reducción de los tiempos de producción de los lotes de hidrocarburos y también, ayudará en la logística operativa con que funciona la Refinería.

1.2 Solución seleccionada

En este documento se fija el alcance y se establecen las especificaciones acerca de la estructura general a seguir, además de los equipos requeridos para la puesta en marcha del proyecto. Se proponen las consideraciones para realizar la ingeniería de detalle de todos los elementos que conformarán el Sistema de mezclado en línea de crudo liviano, el cual pertenece al proyecto T1001-LN Ampliación del Parque de Tanques de la Refinería.

Con el fin de hacer más eficiente la producción del crudo, partiendo de la magnitud y los requerimientos del proyecto indicados por el Dpto. de Planificación, se plantea una propuesta del sistema de mezclado en línea que contiene:

- Arquitectura general del diseño del sistema
- Filosofía del control del diseño
- Equipo necesario de medición e instrumentación
- Diagrama del sistema nuevo de interconexión de tanques
- Acople necesario para la integración a la Refinería

Este aporte será plasmado en la elaboración de un documento con las especificaciones antes mencionadas, considerando como la parte más importante del diseño a la instrumentación necesaria que interviene en este proceso, la cual deberá quedar expuesta, finalmente, mediante los diagramas de instrumentación y tuberías (PID) a fin de que sirva de guía al contratista encargado de desarrollar la ingeniería de detalle y la implementación de este proyecto.

Se pretende diseñar un sistema para mezclar crudo liviano que trabaje con una razón de 730gal/min. Este sistema trabajará totalmente en línea, y en forma continua se estará supervisando y controlando para que las especificaciones del crudo que se suministra a la planta cumplan con la receta solicitada. El diagrama de bloques del sistema de mezclado en línea se muestra a continuación.

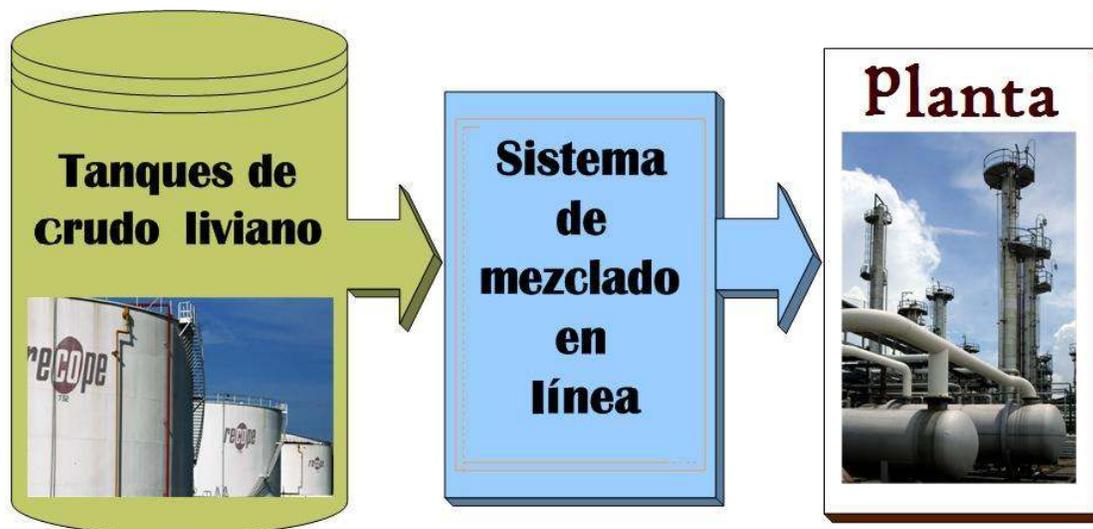


Figura 1. Diagrama de bloques del sistema.

En este diagrama se muestran primeramente los tanques de almacenamiento, de donde se toma el crudo liviano que va a ingresar al sistema de mezclado en línea. Una vez que este hidrocarburo es acondicionado y cumple con las especificaciones solicitadas, es entregado a la planta refinadora en donde, mediante diferentes procesos, se obtiene una amplia gama de derivados como lubricantes, naftas, queroseno, bunker, entre muchos otros.

CAPÍTULO 2

META Y OBJETIVOS

2.1 Meta

Obtener el diseño del sistema de mezclado en línea para el acondicionamiento del crudo liviano necesario para la implementación del proyecto Ampliación del Parque de Tanques de la Refinería.

2.2 Objetivo general

Diseñar un sistema de mezclado en línea de crudo liviano para la ampliación y modernización de la refinería de Recope, en Moín.

2.3 Objetivos específicos

2.3.1 Especificar el diseño del sistema nuevo de mezclado en línea de crudo liviano.

2.3.2 Especificar el diseño de la etapa de instrumentación y acople necesario para la integración del mezclador al plantel de la Refinería, basado en los estándares y normas internacionales que rigen este tipo de aplicaciones.

2.3.3 Diseñar la arquitectura y la filosofía de control del sistema de mezclado en línea, para asegurar su correcto funcionamiento.

CAPÍTULO 3

MARCO TEÓRICO

3.1 Descripción del sistema o proceso por mejorar

Actualmente el acondicionamiento del crudo liviano, previo al ingreso a planta, se realiza mediante la recirculación durante varias horas por las tuberías y los tanques de almacenamiento de la Refinería. Este proceso se conoce como mezclado por lote, ya que consiste únicamente en hacer chocar las corrientes de crudos dentro de una estructura física, como se muestra en la siguiente figura.

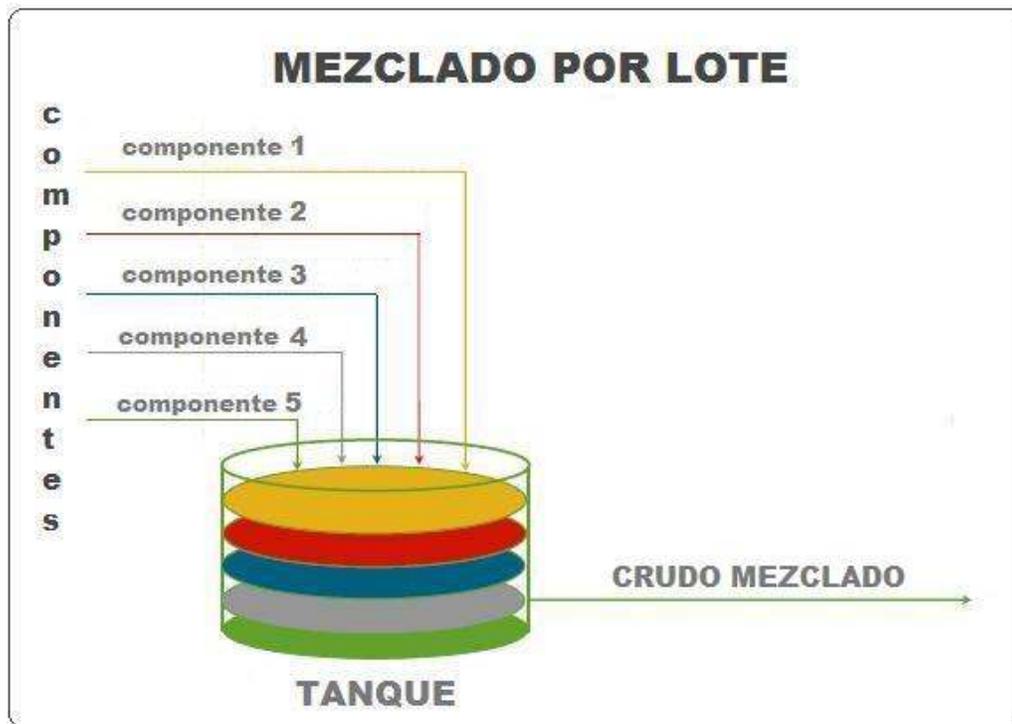


Figura 2. Proceso de mezclado de crudo liviano utilizado actualmente en la Refinería.

Este antiguo método de mezclado de hidrocarburos es ineficiente, ya que para lograr un producto homogéneo de 100.000 barriles (bbl), tienen que dejarse alrededor de dos días en recirculación continua. Esto causa un desperdicio del espacio operativo y estructural en la planta de la Refinería, pues estos tanques y kilómetros de tubería podrían usarse en alguna otra tarea de mayor provecho.

Debido al incremento significativo en la capacidad de almacenamiento y de producción que se quiere realizar en esta planta, es necesario implementar un nuevo sistema para el acondicionamiento de los crudos que Recope importa. De aquí es donde nace la idea de un sistema de mezclado en línea, que reduzca los tiempos de duración y el espacio estructural abarcado durante la preparación del crudo.

Este nuevo sistema tiene como principales ventajas el que su operación se lleve a cabo mediante una mezcla continua y directa de todos los componentes involucrados; así mismo, hace el muestreo y la verificación de la composición mezclada y por último, los parámetros operación pueden ser ajustados mediante la regulación del flujo de sus componentes, todo esto para cumplir la receta o mezcla solicitada.

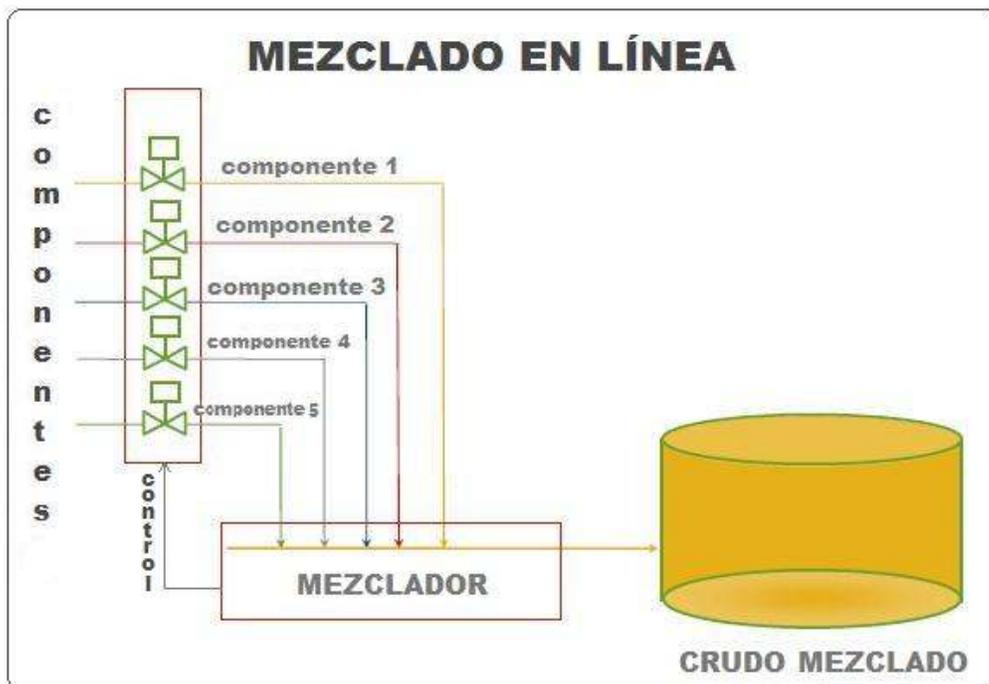


Figura 3. Proceso propuesto de mezclado de crudo liviano.

El establecimiento del sistema de mezclado en línea tiene la función de acondicionar el crudo liviano, luego de ser recibido en el muelle de importación de la Refinería. El acondicionamiento se realiza mediante la homogenización del crudo proveniente de los tanques de almacenamiento: YT-701, YT-702, YT-703, YT-704, YT-705, YT-706, YT-707, YT-708 y YT-709. De estos tanques, los ocho primeros tienen una capacidad de almacenamiento de 100bbbl cada uno y el último de 200bbbl, el cual se encuentra en construcción. La distribución de los tanques de almacenamiento se muestra en el plano y en la fotografía aérea presentada a continuación.



Figura 4. Distribución actual de los tanques de alimentación a planta y recepción importaciones de crudo liviano [2].



Figura 5. Fotografía aérea del plantel de la Refinería en Moín, Limón [3].

Como se aprecia en la fotografía aérea, el patín de mezclado se ubica entre los tanques YT-705 y YT-706, en la intersección de la calle 15 bis y la avenida I de la Refinería. La tubería de salida del mezclador hasta la entrada de la planta tiene una longitud de 0,5km.

Dicha conexión de tanques se aprecia mejor en el diagrama presentado en la Figura 6. En ella se muestra la estructura utilizada para llevar a cabo el mezclado por lote, esto mediante la entrada en operación del múltiple de bomba conectado para realizar la succión de los tanques YT-706 YT-707 y YT-708, y poder recircular su contenido con los cuatro tanques restantes. Por otro lado,

también se puede complementar esta operación con el flujo proveniente del efluente del sistema de API.

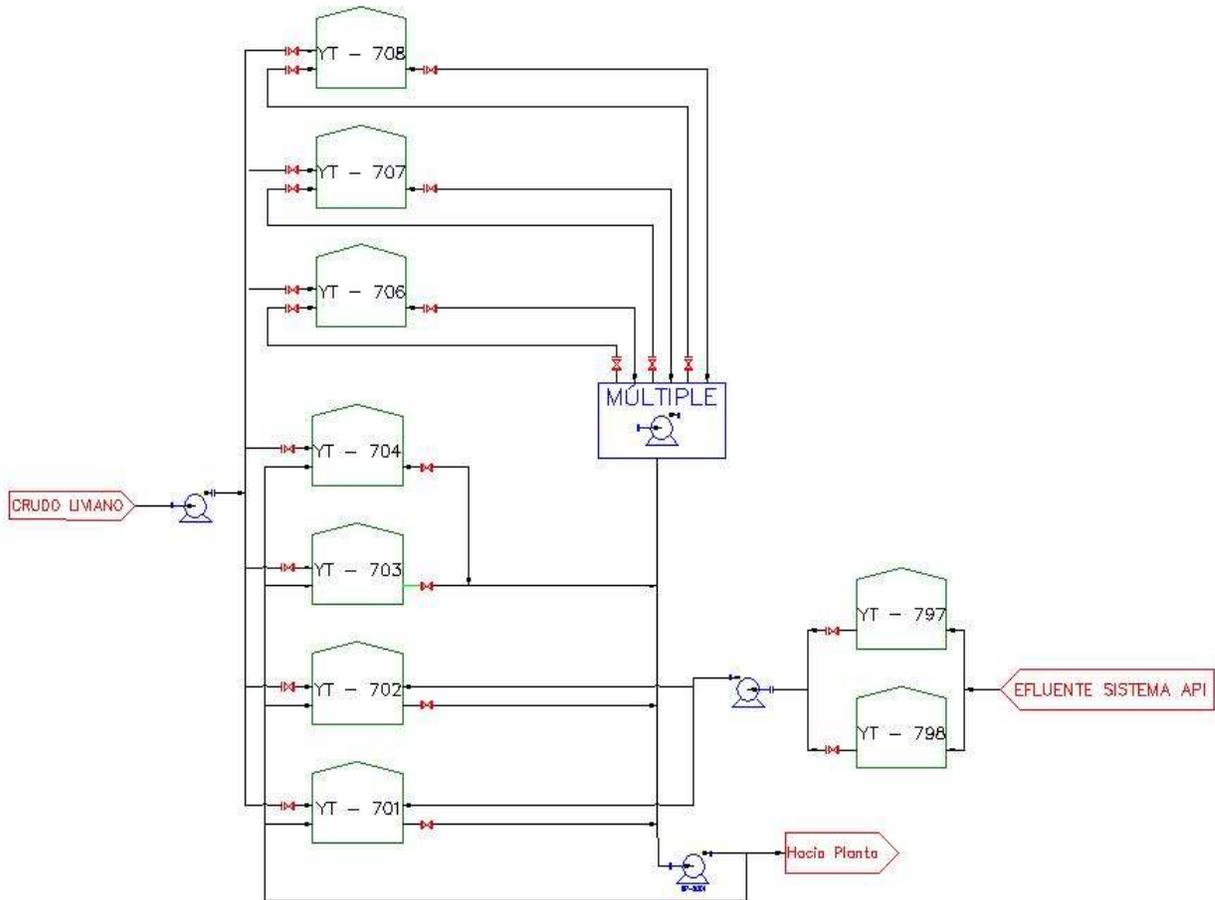


Figura 6. Diagrama actual de la conexión de tanques².

Seguidamente se analizará la flexibilidad operativa que el sistema de homogenización debe tener, ya que existen grandes diferencias entre las características químicas de los crudos que Recope importa. Esto debido a que cada uno de ellos proviene de diferentes partes del mundo, por lo que la pureza, la densidad específica y la concentración de azufre varían entre un tipo y otro. Debido a esto se realizó un estudio de los crudos con que Recope ha estado trabajando en los últimos años, de los cuales se pueden destacar: Merrey, Santa Barbara, Mesa 30, Lagotrecó, Cusiana, Olmeca, entre otros. Algunos de estos crudos se caracterizan en la Tabla 2 que se muestra a continuación.

² Ver plano: **Plano y Líneas de Offside Refinería 9-311604-05** en anexos.

Tabla 2. Valores de grado API y concentración de azufre para diferentes tipos de crudo liviano [4].

CRUDO LIVIANO	GRADO API (°API)		AZUFRE (%PESO)	USO
	TEÓRICO	TÍPICO	TÍPICO	
Santa Bárbara	37.7	37.7	0.57	General
Mesa 30	30.0	30.3	1.03	General
Merey	16.0	16.2	1.60	Aceites
Lagocinco	32.7	32.6	1.24	Lubricantes
Lagotreco	28.0	28.0	1.47	General
Lagomedio	31.9	32.6	0.37	General
Guafita Blend	28.5	28.6	0.73	General
Anaco Wax	41.3	41.1	0.33	Ceras
Leona 24	24.0	24.3	1.52	General
Cusiana	24.0	23.8	0.45	General
Olmeca	39.2	38.7	0.64	General

Una vez acondicionada la mezcla con los parámetros necesarios, se ingresa esta a la planta de la Refinería en donde, mediante varios procesos, se obtiene una amplia gama de derivados.

La Refinería de Recope está compuesta principalmente por una torre de fraccionamiento para destilación de petróleo, la cual trabaja mediante presión atmosférica, pero antes de esto el crudo debe ser convertido a vapor mediante su calentamiento en un horno con una temperatura de alrededor de 400°C.

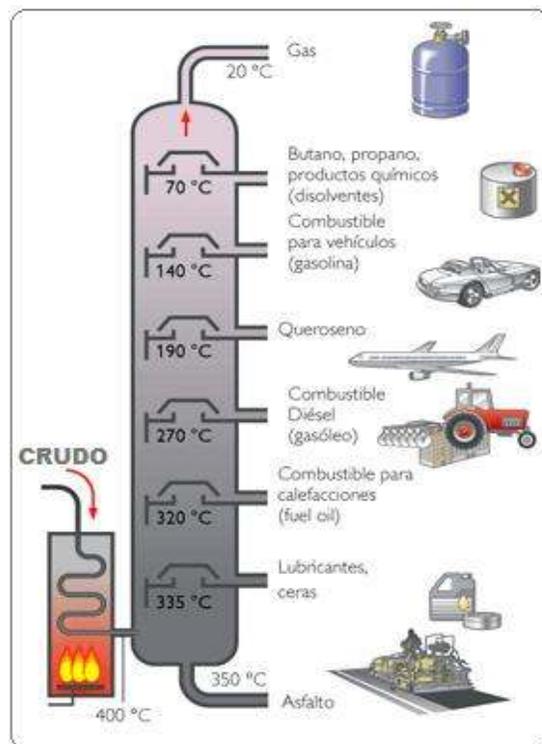


Figura 7. Torre de fraccionamiento para destilación petróleo [9].

Dentro de las columnas de destilación se ubican compartimentos o bandejas donde cada una posee una temperatura específica. Conforme los vapores van subiendo, se van enfriando por la pérdida de calor y se depositan automáticamente en sus respectivas bandejas. Cada derivado tiene ya su lugar determinado, mientras que el resto del petróleo que no se evaporó, llamado crudo reducido, cae hacia la base. La Refinería de Recope en Moín deriva del

crudo liviano entrante los siguientes productos: gas líquido de petróleo (GLP), naftas, queroseno, diesel, gasóleo y bunker.

3.2 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

3.2.1 Procesos en línea

Realizar procesos en línea es muy importante para la industria petrolera hoy en día, por la principal virtud de que no es necesario detener la producción para poder llevarlos a cabo. Esto brinda una gran ventaja sobre aplicaciones que sí necesitan cortar la operación normal de planta.

El auge de los procesos en línea se debe al gran desarrollo tecnológico en área de instrumentación de campo, con lo cual se pueden medir y monitorear las variables implícitas en un proceso industrial. La instrumentación electrónica se aplica en el control y procesamiento de la información proveniente de variables físicas y químicas, a partir de las cuales se realiza el monitoreo y el control de procesos, empleando dispositivos y tecnologías electrónicas.

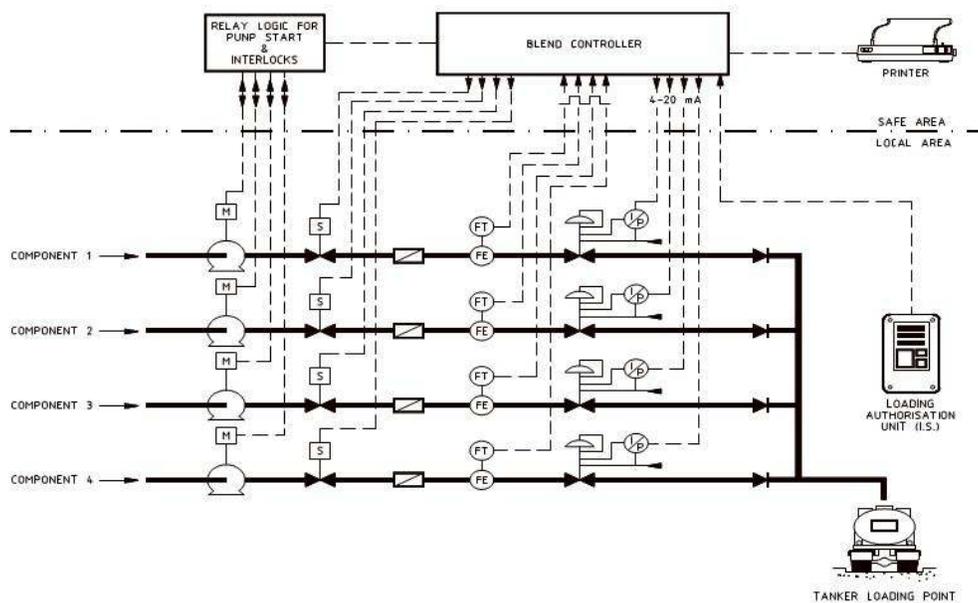


Figura 8. Ejemplo de proceso en línea en la industria petrolera [10].

Del diagrama anterior se pueden observar diferentes etapas del proceso con funcionalidades diferentes en cada brazo del sistema, las cuales operan paralelamente, sin causar latencia unas con otras. Esto brinda una flexibilidad operativa muy alta al sistema, que en este caso, es gobernado jerárquicamente mediante un único controlador de mezcla, el cual se encarga de monitorear todos los equipos y analizadores de campo, así como también del encendido de los motores de la etapa de bombeo, complementando el control del flujo de los componentes que llega al cabezal de mezclado con válvulas reguladoras.

3.2.2 Control Automático

El control automático es el mantenimiento de un valor deseado dentro de una cantidad o condición, midiendo el valor existente, comparándolo con el valor deseado, y utilizando la diferencia para proceder a reducirla. Por consecuencia, el control automático exige un lazo cerrado de acción y reacción que funcione, sin intervención humana.

Para el desarrollo del proyecto se hace necesario el uso del control automático, ya que el sistema tiene que trabajar de forma autónoma, donde los parámetros

son introducidos por medio del operador mediante la interfaz hombre-máquina (HMI). Los sistemas HMI se pueden pensar como una "ventana de un proceso". Esta ventana puede estar en dispositivos esenciales que muestren el estado actual del proceso por medio de paneles en un ordenador. Las señales del proceso son conducidas al HMI por medio de dispositivos como tarjetas de entrada/salida en el computador, Controladores Lógicos Programables (PLC), Controlador de Automatización Programable (PAC), Unidades de Terminal Remota (RTU), entre muchos otros.

Un sistema SCADA, acrónimo de *Supervisory Control and Data Acquisition*, se refiere al registro de datos y control de supervisión. Este tiene como objetivo medir para corregir, mediante la obtención y tratamiento de datos. Es una aplicación especialmente diseñada para funcionar sobre computadores en el control de la producción, proporcionando comunicación con los dispositivos de campo y controlando el proceso de forma automática desde la pantalla del computador. También provee toda la información que se genera en el proceso productivo a diversos usuarios, tanto del mismo nivel como de otros supervisores dentro de la empresa: supervisión, control calidad, control de producción, almacenamiento de datos y muchas otras tareas.

La esencia de este sistema comprende todas aquellas soluciones referidas a la captura de datos de un proceso o planta industrial, para que con esta información, sea posible realizar una serie de análisis o estudios con los que se pueden obtener indicadores que permitan una retroalimentación sobre un operador o sobre el propio proceso, entre ellos se pueden destacar:

- Estado actual del proceso mediante valores instantáneos
- Desviación del proceso relación información histórica y acumulada
- Generación de alarmas e interfaces hombre-máquina
- Toma de decisiones: Mediante operatoria humana o respuesta automática (utilización de sistemas basados en el conocimiento).

3.2.3 Protocolos de comunicación en los sistemas de control industrial

Actualmente, el plantel Refinería se encuentra operando bajo los protocolos DeviceNet, ControlNet y Modbus. Pero principalmente en la parte que corresponde al manejo de crudo liviano se utiliza una red DeviceNet, la cual lleva las señales al Centro de Control de los Motores (CCM) e interconecta este último con el PLC, ubicado en el cuarto de control, donde se controlan las diferentes operaciones del sistema de bombeo. A continuación se analizarán las nuevas tecnologías y estándares de protocolos más comúnmente utilizados en las redes de control industrial.

A principio de la década de los noventas, empezó la efervescencia sobre una nueva modalidad de control industrial que dio origen a la comunicación de los componentes de control de procesos con el controlador central y que dejó atrás los esquemas tradicionales de alambrado. Así, con la necesidad de disponer de controladores con amplia conectividad, se dio el mayor avance del controlador programable con la proliferación de los protocolos abiertos de comunicación. Un protocolo es abierto cuando ha sido ofrecido para su uso público. En un sistema abierto, los productos de distintos fabricantes deben contar con un *hardware* eléctricamente compatible, y deben tener un *software* capaz de entender y comunicarse con el mismo lenguaje de los otros dispositivos. Esto da, a su vez, la posibilidad de escoger entre diferentes fabricantes y productos, aumentando la eficacia del sistema.

Pero a pesar del vertiginoso progreso en esta área, los buses de campo no han llegado a ser la solución total para todos los sistemas de control. Aún no es posible la integración total de los procesos de una planta debido a la necesidad de emplear redes distintas, que aunque se puedan comunicar entre sí, usualmente requieren controladores separados debido a la naturaleza de sus funciones [13].

3.2.3.1 Redes de control industrial

En la actualidad, para el control industrial se encuentran los buses de datos en dispositivos de campo, tales como sensores, actuadores, arrancadores, reguladores de frecuencia, válvulas, entre otros. Con los buses de campo se elimina el alambrado directo de los equipos de control de proceso al controlador, ya que la comunicación se realiza en el formato de una trama en serie.

3.2.3.2 Componentes físicos de una red

Las redes de control se basan en un microprocesador que es el encargado de realizar una secuencia algorítmica. Dependiendo de su función, este envía, a través de la red, las instrucciones que deben ser ejecutadas por los diferentes elementos del sistema.

El cable por utilizar es de gran importancia y depende del tipo de red. Éste contiene conductores para la transmisión de las señales de información y en algunos casos, hasta de alimentación, según el tipo de protocolo en uso, parámetro que también especificará las resistencias de fin de línea que debe tener cada hilo conductor en los extremos de la red, para balancear y ajustar su impedancia. Otros elementos usados en una red para extender la longitud de esta son: repetidores, puentes de enlace, enrutadores e interfaces de redes [6].

3.2.3.3 Transmisión de señales en el bus de campo

La transmisión de datos es una secuencia de señales binarias originadas por uno de los nodos de la red, y recibidos por uno o más de los nodos receptores. El protocolo define el formato del mensaje que contiene información como el número del nodo transmisor y receptor, el tiempo de permanencia del mensaje, las banderas operacionales, el tamaño, el contenido del mensaje, entre otros. En general, el protocolo descifra el significado del tren de pulsos leído del bus en serie.

3.2.3.4 Protocolos de comunicación más utilizados con PLC's

Con el gran desarrollo en el área de los sistemas de control industrial, surgieron una gran cantidad de protocolos abiertos de buses de campo. Aunque actualmente se utilizan al menos cinco protocolos de buses de campo diferentes, los más importantes, en el área de procesos son HART, Modbus, DeviceNet, Profibus-PA y Foundation Fieldbus.

a. El protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) fue introducido en 1986 por Rosemount (Universidad de Alcalá) para aprovechar las ventajas de la comunicación a través del bus de campo, pero sin renunciar bruscamente a las comunicaciones analógicas tradicionales. Este protocolo preserva la señal analógica pero le superpone una señal digital de dos vías, de manera que la señal de proceso se transmite a través de una señal analógica, mientras que la información adicional como lo son: parámetros, calibración, rangos de datos, información del producto, datos de diagnóstico, entre otros, se transmite simultáneamente a través de la línea digital. HART se basa en el estándar Bell 202. HART es el más ampliamente usado de los protocolos de comunicación digital en las industrias de proceso, con más de ocho millones de instrumentos de campo HART instalados en más de 100,000 plantas alrededor del mundo.

b. Protocolo Profibus (*Process Field Bus*) es un protocolo para un bus de campo digital desarrollado por el Ministerio Federal de Investigación y Tecnología de Alemania y 18 empresas alemanas, que se encuentra presente en multitud de plantas alrededor del mundo. Profibus ofrece 3 variantes que se adaptan a necesidades concretas de comunicación en planta:

- Profibus-FMS (*Fieldbus Message Specification*): que se utiliza para la comunicación entre células de proceso y equipos de automatización el cual está perdiendo relevancia en los últimos tiempos.

- Profibus-DP (Decentralized Periphery): se emplea en la comunicación de sensores y actuadores con PLC y terminales; su fortaleza está en las aplicaciones de control discreto, como por ejemplo, el arranque de motores.
- Profibus-PA (Process Automation): se usa para control de procesos y cumple normas especiales de seguridad para la industria química, es decir, lo que se conoce como seguridad intrínseca.

Profibus tiene una alta difusión en Europa y cuenta con un mercado importante en América y Asia.

c. Foundation Fieldbus es un protocolo que persigue la estandarización de los protocolos de comunicación digital, al menos esa fue la idea de la organización Fieldbus Foundation, creada en 1994 para desarrollar un bus de campo universal. Sin embargo, aunque el número de usuarios del pretendido estándar se ha incrementado en los últimos años, los resultados obtenidos hasta el momento distan grandemente de lo esperado. Foundation Fieldbus es un protocolo de comunicación digital bidireccional. Está orientado sobre todo a las industrias de proceso continuo. A diferencia de HART, que se aplica solo a los dispositivos de campo, Fieldbus se extiende al DCS (*Distributed Control System*). Fieldbus nació como una idea “conéctelo y úselo”: permite conectar equipos sin necesidad de una configuración previa en la red. Fieldbus admite la conexión de hasta 32 dispositivos a un único par de cables, en contraposición con los sistemas DCS convencionales que requieren que cada dispositivo se conecte a un par de cables. Esto reduce los requerimientos de cableado y accesorios para equipo de control. Fieldbus facilita el mantenimiento, puesto que los dispositivos Foundation Fieldbus tienen la capacidad de realizar su propio autodiagnóstico y pueden determinar el estado de su medición de salida y alertar al sistema de control sobre problemas de dispositivos; asimismo, tienen la capacidad de analizar las señales ruidosas filtradas en un proceso y utilizar la información obtenida para detectar problemas de proceso y dispositivos.

Como ya se mencionó, la interoperabilidad es otra de las ventajas que proporcionan los sistemas Fieldbus; un instrumento que es certificado Fieldbus puede ser conectado y utilizado en cualquier sistema Fieldbus, sin importar el fabricante. Los dispositivos Fieldbus pueden operar bajo condiciones de seguridad intrínseca. Debido a que la comunicación entre los diferentes protocolos no es posible, se desarrolló OPC (*OLE for Process Control*) basado en la tecnología de objetos de Microsoft, que permite la comunicación horizontal y vertical entre los diferentes protocolos. OPC es un estándar abierto que permite intercambiar datos entre dispositivos de campo y aplicaciones de computadora de diferentes fabricantes.

d. Modbus es un protocolo de comunicaciones situado en el nivel 7 del Modelo OSI, basado en la arquitectura maestro/esclavo o cliente/servidor, diseñado en 1979 por Modicon para su gama de controladores lógicos programables. Convertido en un protocolo de comunicaciones estándar; industrialmente es el que goza de mayor disponibilidad para la conexión de dispositivos electrónicos industriales, debido a que: es abierto, su implementación es fácil y requiere poco desarrollo y maneja bloques de datos sin suponer restricciones.

Modbus permite el control de una red de dispositivos, por ejemplo, un sistema de medida de temperatura y humedad, y comunica los resultados a un computador. Modbus también se usa para la conexión de un computador de supervisión con una unidad remota (RTU) en sistemas de supervisión y adquisición de datos (SCADA). Existen versiones del protocolo Modbus para puerto serie y Ethernet (Modbus/TCP). Existen dos variantes, con diferentes representaciones numéricas de los datos y detalles del protocolo ligeramente desiguales. Modbus RTU es una representación binaria compacta de los datos. Modbus ASCII es una representación legible del protocolo, pero menos eficiente. Ambas implementaciones del protocolo son serie. El formato RTU finaliza la trama con una suma de control de redundancia cíclica (CRC), mientras que el formato ASCII utiliza una suma de control de redundancia longitudinal (LRC). La versión

Modbus/TCP es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP.

Modbus Plus (Modbus+ o MB+), es una versión extendida del protocolo que permanece propietaria de Modicon. Dada la naturaleza de la red, precisa un coprocesador dedicado para el control de la misma, con una velocidad de 1 Mbit/s en un par trenzado.

Cada dispositivo de la red Modbus posee una dirección única. Cualquier dispositivo puede enviar órdenes Modbus, aunque por lo habitual esto es permitirlo solo a un dispositivo maestro. Cada instrucción Modbus contiene la dirección del dispositivo destinatario de la orden. Todos los dispositivos reciben la trama, pero solo el destinatario la ejecuta (salvo un modo especial denominado *Broadcast*). Cada uno de los mensajes incluye información redundante que asegura su integridad en la recepción. Las instrucciones básicas Modbus permiten controlar un dispositivo RTU para modificar el valor de alguno de sus registros, o bien, solicitar el contenido de dichos registros.

Hay gran cantidad de modems que aceptan el protocolo Modbus. Algunos están específicamente diseñados para funcionar con este protocolo. Existen implementaciones para conexión cableada, inalámbrica, SMS o GPRS. La mayoría de problemas presentados por este protocolo hacen referencia a la latencia y a la sincronización.

e. DeviceNet como red de comunicación proporciona una conexión de menor costo que el cableado punto a punto tradicional, para dispositivos industriales simples, además de que es una red abierta y flexible que proporciona: acceso a dispositivos complejos y simples de varios proveedores y la capacidad de comunicación productor/consumidor y maestro/esclavo.

La red DeviceNet se ha diseñado para que proporcione los servicios básicos requeridos por los sistemas de control actuales, basados en dispositivos inteligentes como: el transporte de datos en tiempo real, orientados al control,

usando mensajes de entrada/salida y el transporte de información de baja prioridad como parámetros de configuración, datos para localización y corrección de fallos menores. Las velocidades de esta red andan alrededor de los 500 kbps a 100 m, 250 kbps a 200 m y 125 Kbps a 500 m. Las ventajas de DeviceNet radican en que otros proveedores no necesitan comprar *hardware*, *software* o derechos de licencia para conectar dispositivos a la red DeviceNet, además de que reduce costos de mantenimiento, ya que la red brinda mensajes explícitos de tipos de errores y su localización y los dispositivos pueden reemplazarse sin desactivar la red o interferir con otros dispositivos; por otra parte, este permite la obtención de datos adicionales del proceso y de los equipos: “Sensores discretos inteligentes”, entre otras ventajas [13].

f. Controlnet como tecnología fue originalmente desarrollada por Rockwell Automation en 1995, tratando de mantenerse a la vanguardia en las actuales tendencias tecnológicas. Las especificaciones y el protocolo de la red son abiertos. Con más de medio millón de nodos instalados, ControlNet es actualmente la red de control de más rápido crecimiento en el mundo. ControlNet proporciona ancho de banda para Entrada/Salida, enclavamiento en tiempo real, mensajes entre dispositivos similares y programación en el mismo vínculo. Su naturaleza determinista ayuda a asegurar el envío de los datos. Su rendimiento repetible no cambia cuando se añaden o se eliminan dispositivos de la red.

Asimismo, proporciona eficiencia ya que los datos se producen una sola vez independientemente del número de consumidores, y una sincronización precisa puesto que los datos llegan a todos los nodos simultáneamente. Se pueden programar controladores programables PLC y configurar dispositivos al momento del inicio.

Los componentes del cableado ControlNet proporcionan flexibilidad en el diseño de una red de comunicación para una aplicación concreta. Una red ControlNet típica consta de uno o más de los siguientes componentes: cables troncales, tomas, repetidores, terminaciones y puentes.

El cable troncal ControlNet es el bus o parte central del sistema. Puede usarse cableado coaxial o de fibra. La decisión se basa en los factores ambientales asociados con la aplicación y el lugar de instalación.

También hay varios tipos de cables de uso especial que pueden utilizarse, dependiendo del ambiente de instalación del cable. Un conector de cable BNC conecta las secciones de cable troncal a las tomas. Esto produce un nodo en la red. Las terminaciones se colocan en la toma a cada extremo de un segmento de cable.

Los repetidores se usan para aumentar el número de tomas, para extender la longitud total del segmento o para crear una configuración de anillo, estrella o árbol (flujo del cable en múltiples direcciones desde un punto). El número de repetidores y la longitud total del cable dependen de la topología de la red.

3.3 Normas y estándares relacionados con el control e instrumentación

En materia normativa, Recope S.A. se acoge a entes normalizadores internacionales muy reconocidos como el Instituto Americano del Petróleo (API) por sus siglas en inglés, *American Petroleum Institute*. Estos se sustentan en la experiencia de los fabricantes y de los usuarios de equipos, productos y sistemas relacionados con todas las disciplinas propias de la industria petrolera. En la Tabla 3 se muestran algunas de las normas y estándares del API aplicados a este proyecto.

Tabla 3. Normas y prácticas recomendadas por la API.

DOCUMENTO	TIPO	DESCRIPCIÓN
MPMS CH.1	Estándar	Manual de Estándares de Medición de Petróleo Vocabulario
MPMS CH.4.4	Estándar	Manual de Estándares de Medición de Petróleo Tanques de prueba
MPMS CH.5	Estándar	Manual de Estándares de Medición de Petróleo Analizadores
MPMS CH.5.3	Estándar	Manual de Estándares de Medición de Petróleo Medición por turbinas
MPMS CH.5.4	Estándar	Manual de Estándares de Medición de Petróleo Equipos accesorios para medición de líquidos
MPMS CH.6.2	Estándar	Manual de Estándares de Medición de Petróleo Sistemas de Medición

Otra de las normas de suma importancia para esta propuesta de instrumentación y control es la Sociedad de Instrumentación, Sistemas y Automatización (ISA) por sus siglas en inglés, *The Instrumentation, Systems, and Automation Society*. Como su nombre lo indica, es una sociedad que centra sus esfuerzos principalmente en todo aquello relacionado con el desempeño de los sistemas y los elementos de instrumentación y control, así como a dictar estándares que le permitan a la industria el mejoramiento paulatino y la diseminación del conocimiento en esta materia. Los principales documentos emitidos por la ISA y que se relacionan con este trabajo son:

Tabla 4. Normas y prácticas recomendadas para la instrumentación industrial ISA.

DOCUMENTO	TIPO	DESCRIPCIÓN
ISA 5.1	ESTÁNDAR	Símbolos e identificación para instrumentación
ISA 5.3	ESTÁNDAR	Símbolos gráficos para el despliegue de instrumentación relacionada con sistemas distribuidos y compartidos.
ISA 5.4	ESTÁNDAR	Diagramas de lazo para instrumentación
ISA 5.5	ESTÁNDAR	Símbolos gráficos para el despliegue de procesos
ISA 12.01	ESTÁNDAR	Definiciones e información pertinente para aparatos eléctricos ubicados en áreas peligrosas
ISA 20	ESTÁNDAR	Fórmulas de especificación para mediciones de procesos e instrumentos de control.
ISA 51.1	ESTÁNDAR	Terminología para instrumentación de procesos.
ISA 5.06	ESTÁNDAR	Requerimientos de Documentación Funcional para Software de aplicaciones de control.

CAPÍTULO 4

PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO

4.1 Reconocimiento y definición del problema

El reconocimiento del problema se ha realizado mediante reuniones coordinadas por el Ing. Jahaziel Acosta Guevara, en conjunto con los encargados del proyecto en el Departamento de Proyectos de Ingeniería y en el Departamento de Planificación, encontrando así información necesaria y actualizada para elaborar este proyecto.

4.2 Obtención y análisis de información

La obtención de información técnica y correspondiente a equipos para la realización del proyecto se llevó a cabo mediante el uso de Internet, para lo cual el Departamento de Proyectos de Ingeniería de Recope brindó un espacio con una computadora.

Además, debido a la magnitud del proyecto se hizo necesario estar en una continua coordinación con los demás implicados en el proyecto, debido a la relación estrecha que existe entre diferentes ingenierías en el proyecto. Por lo que es necesario el intercambio de información con expertos en áreas específicas, para lo cual se coordinarán reuniones en San José y en la Refinería de Moín, Limón.

También se debe mencionar el exhaustivo estudio realizado con los datos e información de equipos brindada por los proveedores de sistemas, para poder llegar a la solución más apropiada que es lo que se busca con la realización de este proyecto.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Dada la complejidad del proyecto, existen múltiples soluciones y con la realización de este diseño se pretende llegar a la mejor de estas. Para lo cual, fue necesario el análisis así como la investigación sobre las virtudes, las ventajas y las desventajas de varios equipos que existen en el mercado. También es importante realizar un análisis de diseño para lo cual se debe estar en una comunicación constante con los implicados en el proyecto, no solo en el área de la electrónica, sino en muchos otros campos que involucra un proyecto de tal magnitud, con el fin de no dejar pasar ningún detalle.

4.4 Implementación de la solución

La implementación de la solución requirió un estudio de muchas normas relacionadas con el manejo de hidrocarburos, en específico los crudos livianos, ya que estos poseen características físicas y químicas particulares que los hacen complicados de manejar. Por lo que se hizo necesario cumplir con estándares internacionales que dictan instituciones como API la cual hoy cuenta con más de 500 artículos relacionados con el manejo de crudos livianos. Además se tuvo que estudiar la nomenclatura ISA para poder generar los PID³.

Mediante visitas a la Refinería en Moín, se pudo analizar el proceso de mezclado utilizado en la actualidad y el diagrama de conexión de los tanques de crudo liviano, de esta manera y cumpliendo con los requerimientos solicitados se elaboró una propuesta del diagrama de conexión nuevo para estos tanques. Esto con el fin de poder acoplar correctamente el diseño del sistema por desarrollar. Además, se requirió un estudio de las diferentes tecnologías que existen sobre mezcladores de hidrocarburos, para poder entender el sistema mecánico y poder incluir la instrumentación que requiere el proyecto. También se estudiaron los conceptos de sistemas de medición y de las diferentes

³ Ver glosario en apéndice A.1

tecnologías que existen y que cumplen con lo que corresponde a metrología legal para ventas nacionales e internacionales.

Una vez estudiado lo correspondiente a las normas, los conceptos y la nomenclatura necesaria, se procedió a generar un borrador con los diagramas de las tuberías y instrumentación del sistema, que posteriormente, después de múltiples revisiones, se convirtieron en láminas del juego de planos de la versión 1 del proyecto T-1001-LN Ampliación del Parque de Tanques de la Refinería, cuyas especificaciones van a formar parte de los anexos del cartel que Recope saca a licitación.

4.5 Reevaluación y rediseño

En el futuro, el proyecto se podría mejorar integrando un grado más avanzado de automatización, para que el trabajo realizado por el control del sistema sea más eficiente y seguro. Un ejemplo de esto, es instalar en los tanques de crudo actuadores automáticos a las válvulas ya existentes, las cuales solo operan manualmente. De esta manera con los indicadores de posición de estos actuadores se podría monitorear el estado de alineamiento de los tanques, con lo cual se lograría un manejo totalmente remoto desde el SCADA del operador del mezclador.

CAPÍTULO 5

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA SOLUCIÓN

5.1 Análisis de soluciones y selección final

Luego del acercamiento inicial planteado durante las etapas de reconocimiento del problema y la obtención de información, se logró considerar las alternativas viables de solución. Esto demandó una rigurosa investigación sobre las características, las limitantes, y el nivel tecnológico de cada una de las opciones, con el fin de realizar un planteamiento sólido respecto a los requerimientos y alcances de dichas alternativas, permitiendo sintetizar una propuesta de manera exitosa.

Esta propuesta de solución tiene sus bases fundamentadas en reportes, en artículos de la industria petrolera y en consultas a expertos en el campo de control e instrumentación industrial. Una vez analizados y detallados estos criterios, se tomaron las decisiones necesarias, con base en la configuración estructural del sistema.

Posteriormente, se discriminó sobre las diferentes opciones de equipos e instrumentos del mercado actual, todo esto en función del cumplimiento de los criterios más importantes requeridos por parte del sistema de mezclado en línea, para luego proceder a la optimización de la configuración y completar los diferentes aspectos que conforman el proyecto y cuya importancia es indiscutible como: el control del proceso y el acople del sistema al plantel de la Refinería.

5.2. Descripción

La solución planteada a este proyecto consta de una red de instrumentos distribuidos a lo largo de los tanques de crudo liviano en la Refinería, mediante los cuales se va a realizar la caracterización del crudo liviano, usando como variables más importantes en este proceso el grado API y la concentración de

azufre. Dichas señales, provenientes de los equipos de medición, ingresan al controlador del patín de mezclado, con el fin de informar a este sobre las cualidades químicas de los crudos con los que se cuenta para realizar la receta solicitada. La Unidad General de Control realizará la labor de controlar el estado del proceso de mezclado, de forma general, monitoreando todos los elementos que se involucran en este sistema, desde la toma de crudo de los tanques hasta la entrada de mezcla a planta.

En la Figura 9 se presenta la conexión nueva de los 9 tanques de almacenamiento de crudo liviano, donde se presentan los cuatros lazos de recirculación propuestos:

- El primer lazo está compuesto únicamente por el tanque YT-709 de 200bbl, esto debido a que, por su capacidad, puede ser utilizado para almacenar el crudo principal que se esté importando. En caso de que este cumpla con los requerimientos exigidos, podrá directamente hacer su ingreso a planta mediante el puente o *bypass* existente en el patín de mezclado, sin necesidad de pasar propiamente al mezclador.
- El segundo lazo lo forman los tanques YT-708, YT-707 y YT-706, todos de 100bbl. Estos se agruparon debido a su cercanía física y a la facilidad de recircular su contenido, permitiendo ello la homogenización necesaria en un lapso corto de tiempo.
- El tercer lazo está conformado por los tanques YT-705 y YT-704, ambos de 100bbl, estos se agruparon debido a que pueden ser usados para almacenar un mismo crudo o varios crudos con características similares. Estos tanques pueden recircular y acondicionarse necesariamente para su ingreso a planta, mediante el puente que posee el patín de mezclado.

- En el cuarto lazo se encuentran los tanques YT-701, YT-702 y YT-703 todos estos de 100bbl, se agruparon debido a que son los tres más cercanos físicamente al lugar donde se planea construir el patín de mezclado. Debido a esto van a ser utilizados para reubicar los lotes que al salir de patín de mezclado, no cumplan adecuadamente con las especificaciones de grado API y concentración de azufre. Razón la cual no pueden ingresar a la planta, para seguir en proceso producción en la torre de destilación. Esto se realizará mediante la tubería que se deriva de la principal, después del tanque de estabilización y antes de la bomba de envío a planta.

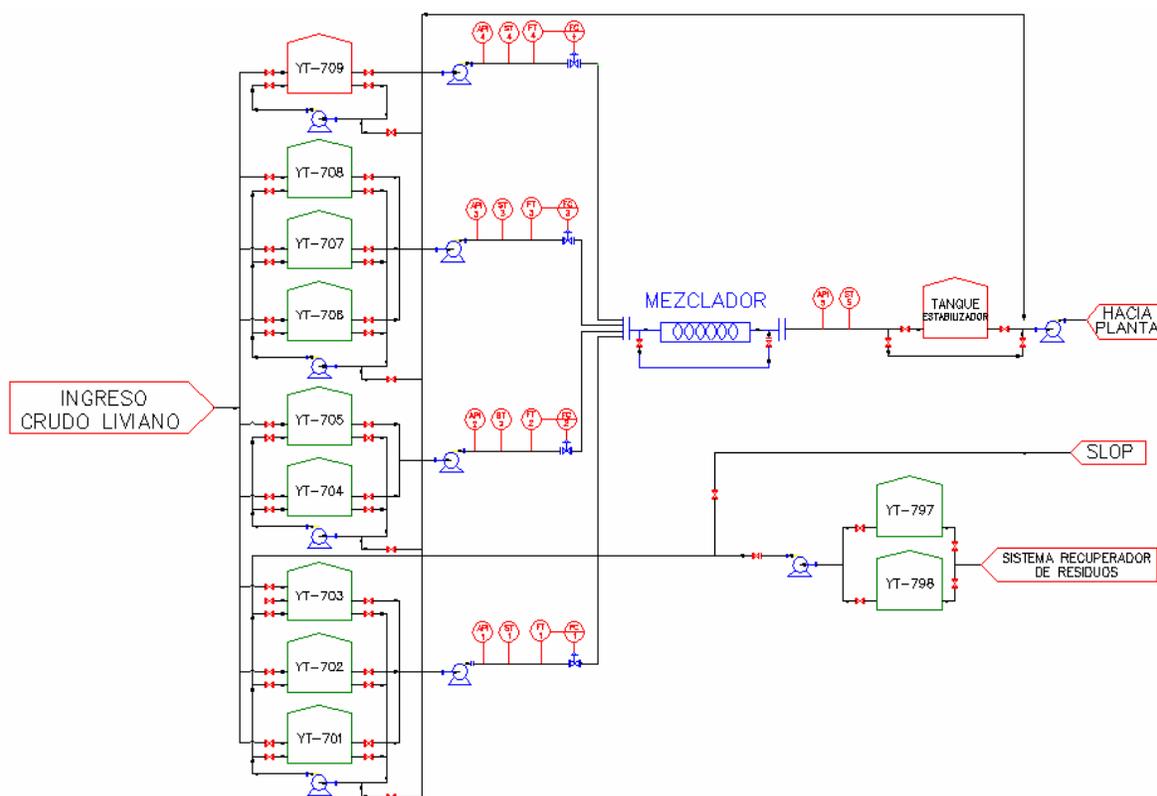


Figura 9. Diagrama propuesto para acople de los tanques al sistema de mezclado en línea⁴.

En esta propuesta de conexión se decidió agrupar los tanques en cuatro brazos de recirculación, por tres razones primordiales; la primera es poder realizar el acople correcto entre la estructura actual de la planta de la Refinería, los

⁴ Ver plano: **T1001-I1 Conexión de Tanques de Crudo Liviano** en apéndice A.3

tanques de crudo liviano, el patín de mezclado y el sistema de mezclado en línea. Como se puede apreciar en el diagrama anterior, el sistema posee cuatro entradas y única salida conectada al tanque de estabilización. La segunda razón es para poder tener un monitoreo y un control eficiente de todo el crudo que se va almacenar en el parque de la Refinería. Una de las características principales del sistema es que su operación sea en línea, y debido a que la caracterización química es crítica, se necesita que el equipo de instrumentación opere de la manera más eficaz y exacta posible.

La tercera razón, es para darle una versatilidad importante al sistema, de modo que brinde el acondicionamiento respectivo a un amplio rango de crudos livianos, estos se comentaron y se enlistaron en la Tabla 1 del Marco Teórico. Esta selección se realizó basándose en la frecuencia con que Recope ha importado los crudos en los últimos quince años.

También es importante mencionar que existen cinco bloques de instrumentación, uno por cada brazo de recirculación y uno de estos ubicado a la salida del patín de mezclado. Esto con el fin de garantizar que el producto mezclado, sea el solicitado por planta, ya que únicamente podrán ingresar a la torre de destilación los crudos que posean un grado API entre 28.5 y 39.75 (API), y una concentración de azufre entre 0.5 y 1.5 porcentaje por peso (% wt), de manera que cuando este quinto bloque identifique lotes de mezcla que no cumplan con las condiciones solicitadas serán recirculados, como se había explicado anteriormente.

Los principales bloques con los que va a interactuar el sistema de mezclado de crudo liviano se muestran en la Figura 10. En ella se observan los cuatro lazos de recirculación mencionados anteriormente y el tanque de estabilización necesario para que el lote mezclado alcance su estado de equilibrio dinámico, antes de su ingreso a planta. Este tanque tiene una función muy importante, ya que sirve de acople entre el nuevo proceso de mezclado en línea y la estructura actual de la planta de la Refinería.

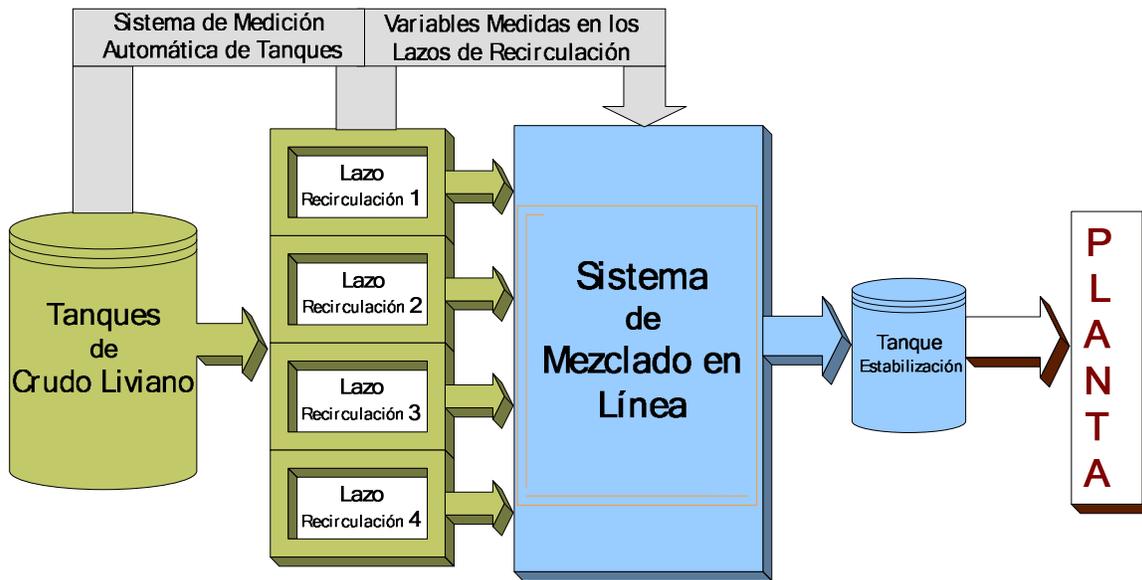


Figura 10. Diagrama de la integración del sistema de mezclado al proceso de producción de crudo liviano.

A este sistema de mezclado en línea debe integrársele información del Sistema de Medición Automático de Tanques (SMAT) [11], que es un proyecto paralelo, ya que también pertenece a la Ampliación del Parque de Tanques de la Refinería, el cual ha sido concebido como un sistema híbrido de medición de tanques, que incluye la medición de nivel por medio de radares, medición de temperatura promedio, nivel de agua y la medición de peso relativo. Esta última permitirá obtener el valor de densidad del producto almacenado con alta exactitud.

El sistema de medición que se ha instalado en la Refinería consta de una red de adquisición de datos, de la cual se derivan una serie de pares de comunicación hasta cada uno de los tanques que se encuentran en las instalaciones de Recope en Moín. Los datos provenientes de este sistema son muy confiables ya que utiliza tecnología de radar, con medición multipunto de la temperatura y una unidad de indicación local que será instalada en la base del tanque.

Es necesario desarrollar una interfaz que permita comunicar los datos de nivel de agua y de producto, medidos por el SMAT, hacia el controlador general del sistema de mezclado en línea, ya que para este es muy importante conocer el volumen almacenado en cada tanque, lo cual le da una visión de las cantidades que puede manipular para cumplir con la receta solicitada.

El nivel de agua y de sedimentos son parámetros muy importantes por cuantificar cuando se trabaja en procesos químicos relacionados con la transformación de la composición de los hidrocarburos. La pureza y la calidad de los derivados depende directamente del grado de contaminantes que la materia prima, en este caso crudo liviano, tenga al momento de su ingreso al proceso de destilación. Por lo que se hace necesario drenar el máximo de agua presente en el crudo, mediante la apertura de una válvula al pie de los diferentes tanques, aprovechando que el crudo liviano se va a concentrar por arriba del agua, ya que este tiene la característica de ser más ligero y va a tender a flotar sobre ella. Los sedimentos que acarrea el crudo se van a eliminar antes de su entrada a la etapa de mezclado, mediante una etapa de filtrado, la cual se explicará más adelante.

Al controlador del patín de mezclado ingresan las señales de los diferentes bloques de instrumentación ubicados en los brazos del sistema: nivel de tanque, grado API, temperatura, presión, concentración de azufre, entre otras. Estas se pueden apreciar en la siguiente figura.

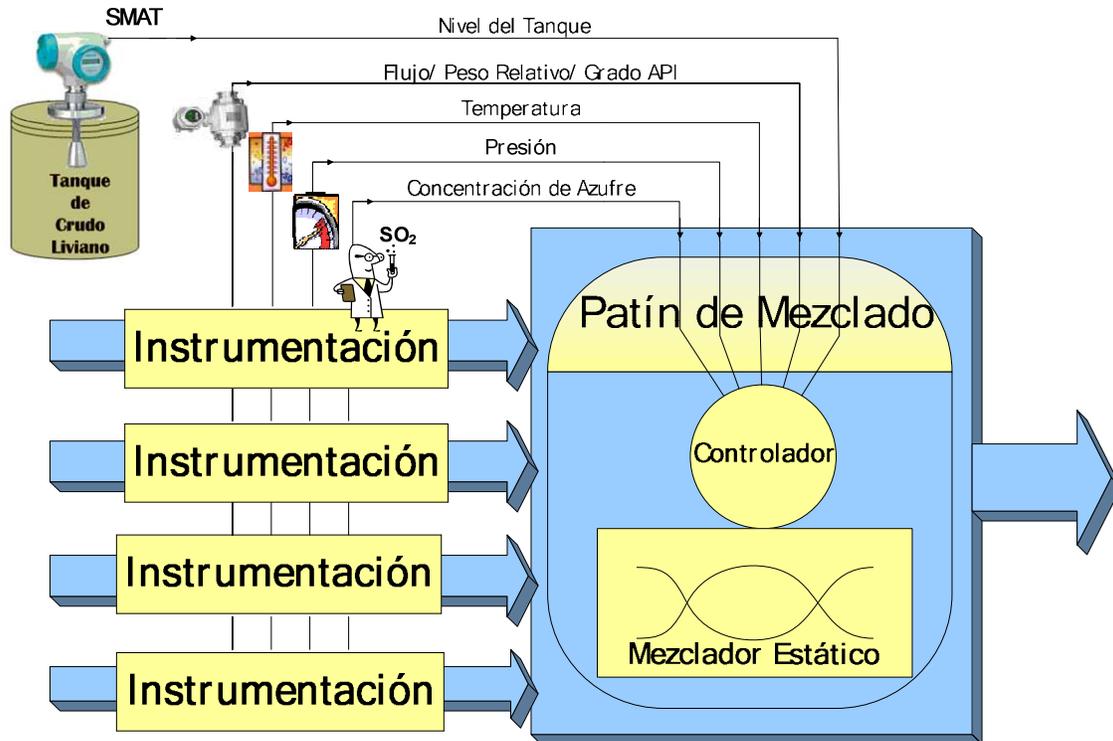


Figura 11. Diagrama de bloques del sistema de mezclado.

A cada flujo de crudo de los lazos de recirculación, que viaja rumbo al mezclador, se le van a monitorear las variables necesarias, tal como lo establecen los diferentes estándares internacionales, los cuales velan principalmente por la seguridad y el buen funcionamiento de los equipos, ante cualquier fallo o imprevisto que pueda ocurrir. Dichas variables se van a monitorear mediante la instrumentación respectiva, como se muestran en el siguiente diagrama.

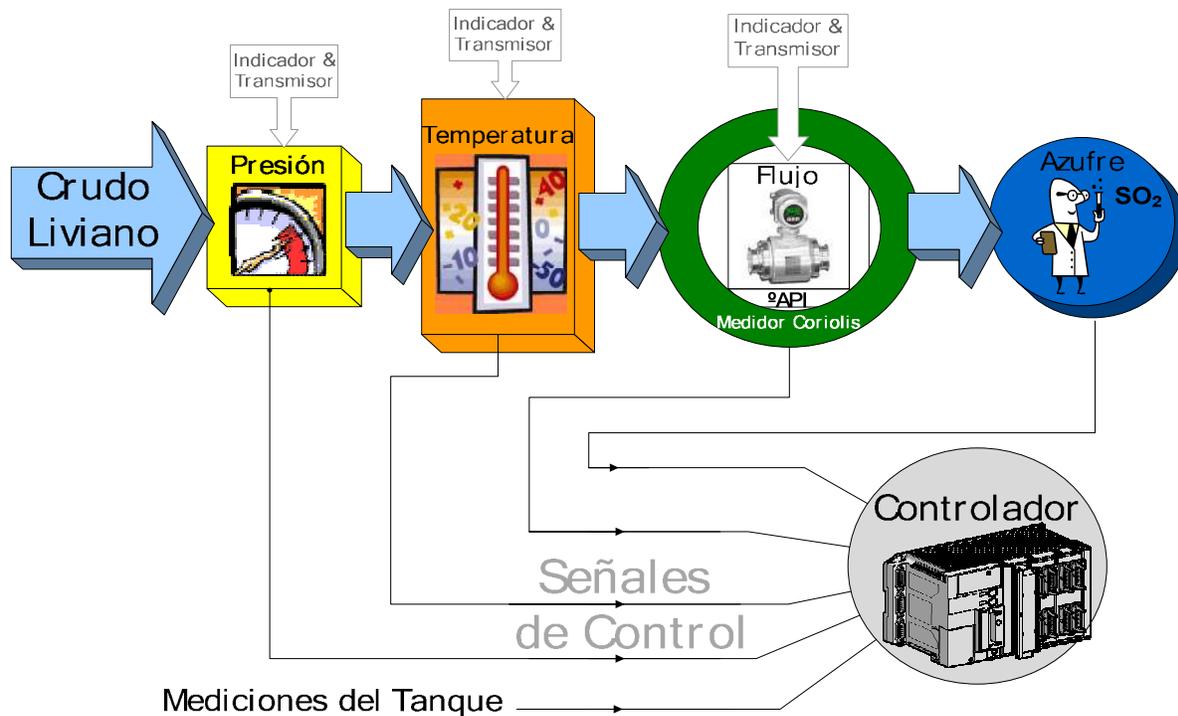


Figura 12. Variables por monitorear mediante la instrumentación en cada lazo de recirculación.

La temperatura, la presión y la cantidad de flujo se deben verificar continuamente para garantizar el funcionamiento correcto del sistema, ya que un incremento anormal en cualquier de estas tres, compromete en gran medida la seguridad de todo el sistema de mezclado. Cabe mencionar que el crudo liviano posee una viscosidad muy baja, por lo cual no es necesario elevar su temperatura para ser transportado por las tuberías, como es el caso de algunos hidrocarburos que poseen una viscosidad mucho mayor. Por consiguiente, se puede asegurar que el sistema va a operar a una temperatura ambiente nominal 28.5°C [12], propia de la región donde se ubica la Refinería.

5.3 Diseño de la instrumentación

5.3.1 Etapa de Filtrado

La función principal de esta etapa es eliminar las impurezas y los sedimentos que acarrea el crudo durante las fases previas, de su ingreso a planta, de manera que al patín de mezclado lleguen los hidrocarburos con los menores índices de contaminantes. En la Figura 13 se presenta el diseño de instrumentación respectivo para la etapa de filtrado. A la entrada del flujo proveniente de los lazos de recirculación, se tiene una válvula cheque para asegurar que no exista algún flujo, viajando por las tuberías en sentido opuesto. Luego se encuentra una válvula de bola, la cual únicamente se va a abrir y dejar pasar el crudo cuando este genera una fuerza mayor a la resistencia de la bola o cuando sea abierta manualmente, esto para tener seguridad de que en el sistema de mezclado no existan corrientes de crudo viajando por las tuberías, sin que el controlador del sistema haya dado la orden. De suceder esto, podría traer como consecuencia que la próxima receta a mezclar no alcance las especificaciones necesarias, debido a que esta se contaminó con flujos irregulares que alcancen las entradas del patín de mezclado.

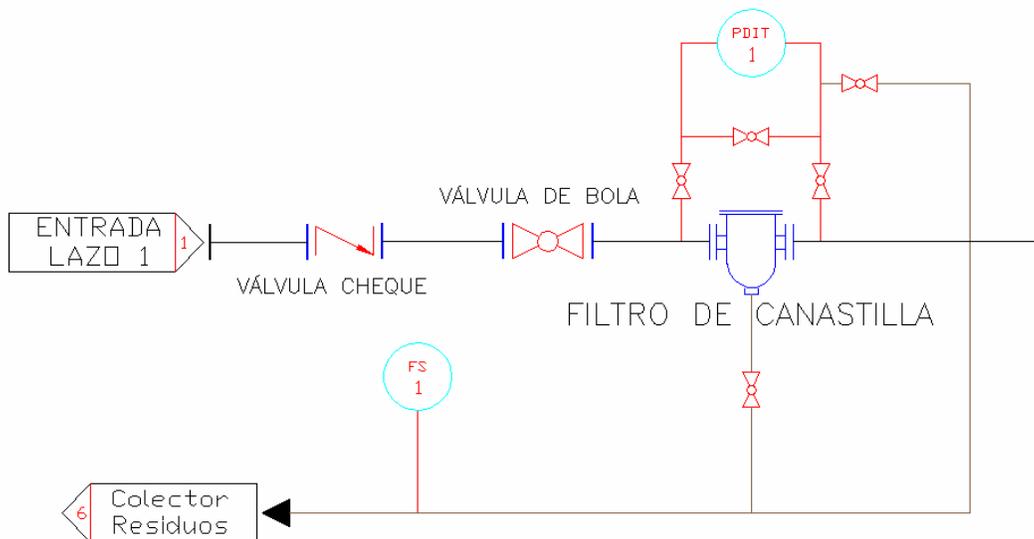


Figura 13. Diagrama de tuberías e instrumentación de la etapa de filtrado.⁵

⁵ Ver plano: T1001-I2 PID, Sistema de Mezclado en Línea de Crudo Liviano en apéndices A.3

Para realizar el filtrado del crudo liviano se utilizan un filtro de tipo canastilla y un transmisor de presión diferencial conectado a este. El transmisor es necesario ya que va a reportar al cuarto de control, cuando el filtro esté bloqueado y necesite mantenimiento o tenga que ser cambiado ya que ha sobrepasado su vida útil. Esto se realiza mediante una interfaz gráfica que esté monitoreando y reportando la variación de presión entre antes y después del filtro, como se muestra en el diseño de esta etapa. Los residuos filtrados son enviados hacia un tanque colector, en el que luego se decide si pueden ser reutilizarlos o definitivamente desechados.

La canasta del filtro de canastilla deberá ser de acero inoxidable, con las dimensiones consideradas estándar para estos elementos. La fabricación del filtro deberá ser sencilla y deberá tener provista una compuerta de apertura rápida con cierre seguro, sellos fabricados en el material adecuado para retener los líquidos que se trasieguen, y tener la capacidad necesaria para manejar el caudal indicado. Los filtros deberán cumplir con lo planteado en el código ANSI B 31.4 y en el ASME Sección VIII, los cuales se resumen en el documento de Especificaciones Técnicas de los Filtros Canasta [14].

- a.** El cuerpo de los filtros deberá ser adecuado para la clasificación de presión de servicio de la línea en la cual se instalen; el tamaño de la malla deberá seleccionarse para retener todos los objetos que puedan causar obstrucciones y averías mecánicas en los medidores o en los equipos que deberán proteger.
- b.** Los filtros deberán diseñarse y fabricarse para prevenir su daño por vibraciones, presión diferencial, pulsaciones, impacto de objetos y agresividad del medio ambiente.
- c.** Los filtros deberán ser permanentes, de tipo vertical, con tapa de apertura rápida provista de dispositivo de izamiento, tipo pescante, para facilitar la apertura y con empaques resistentes a la acción de los fluidos trasegados. La canasta será de acero inoxidable AISI 304.

- d. Los materiales del cuerpo y de la malla deberán estar de acuerdo con lo estipulado en las normas mencionadas anteriormente.
- e. Los filtros deberán suministrarse con venteo manual y deberán tener las conexiones para alivio, entrada y salida del fluido, drenaje y medición de la presión diferencial, colocados de manera que no interfieran con la inspección o cambio de la canasta, los cuales deberán efectuarse quitando la tapa o cubierta.
- f. La canasta deberá contar con un sistema de sujeción, fabricado en el mismo material utilizado en la canasta. Este dispositivo deberá facilitar la remoción de la canasta para su limpieza. Asimismo, todos los tornillos y las tuercas serán del mismo material de la canasta.

5.3.2 Etapa de medición

Las diferentes variables necesarias para caracterizar la composición química del crudo serán medidas en línea. Dichas características serán usadas por el controlador para fundamentar las decisiones que deba tomar, con el objetivo de mezclar la cantidad precisa de cada tipo de crudo liviano y lograr cumplir con la receta solicitada.

La instrumentación de esta etapa posee dos indicadores de presión (PI) y dos transmisores de presión (PT), ubicados antes y después del medidor de flujo, conocido como medidor de Coriolis. Estos se sitúan de esta manera para garantizar el funcionamiento correcto de este medidor de caudal, tal como se muestra en el diagrama de tuberías e instrumentación de esta etapa, presente en la Figura 14. Antes del medidor de flujo se sitúa un termo pozo (TW), en el cual se encuentra ubicado el transmisor de temperatura (TT), para monitorear el nivel calórico nominal al que es transportado en crudo por la tubería del sistema.

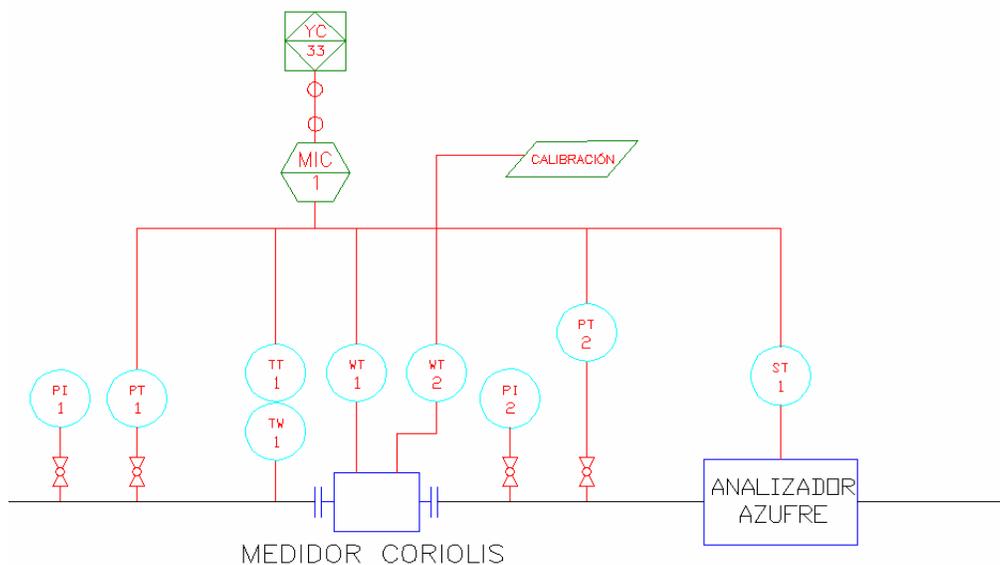


Figura 14. Diagrama de tuberías y instrumentación de la etapa de medición del diseño del mezclador en línea.⁶

Se puede observar que del medidor de flujo salen dos señales que transmiten el peso relativo del crudo (WT), esto debido a que una de ellas se usa en el proceso de calibración, como se explicará más adelante. La otra se utiliza propiamente para poder caracterizar la calidad del crudo, mediante el valor de la densidad relativa. Estas dos señales se trabajan de esta manera debido a que así lo ordenan las normas internacionales, donde se prohíbe compartir una señal de medición para la calibración de un equipo, con otra que tenga algún fin particular y diferente a este, ya que esto podría inducir a error.

Se requiere que los medidores de caudal, tipo Coriolis, cumplan con las siguientes especificaciones técnicas:

- a. Diseñado para uso en las aplicaciones de transferencia y custodia (“Custody Transfer”).
- b. Los medidores de caudal tipo Coriolis serán iguales o similares a los ELITE CMF400 con transmisor Modelo 2700 de Micro Motion.
- c. Precisión igual o mejor en caudal másico de $\pm 0,1\%$.
- d. Precisión igual o mejor en densidad de $\pm 0,5 \text{ kg/m}^3$.

⁶ Ver plano: T1001-I2 PID, Sistema de Mezclado en Línea de Crudo Liviano en apéndices A.3

- e. Ser capaz de mantener una precisión igual o mejor en caudal másico de +/- 0,1% para caudales iguales o mayores a un 10% de su caudal nominal.
- f. Conexión al proceso por medio de bridas con cara elevada, 150 mm (6"), ANSI Clase 150.
- g. Cuerpo del medidor en acero inoxidable 316L.
- h. El transmisor deberá poseer la capacidad de transmitir tanto los datos de flujo como la densidad y grado API del crudo liviano.
- i. Salida de frecuencia, con dos canales de pulsos discretos y salida RS485, tipo Modbus. Deberán ser con una cubierta a prueba de explosión, para ser instalada en un área clasificada como clase I, división I, grupo D.
- j. Todo el sistema deberá dimensionarse para que la sumatoria de caudales que lleguen a la entrada del mezclador sea un máximo de 800gpm; dejando como margen un 20% del caudal normal de operación como margen de seguridad
- k. La presión de operación de los equipos será determinada por el contratista en la ingeniería de detalle.
- l. El fabricante debe garantizar la inmunidad de los medidores al ruido producido por los demás o aislarlos adecuadamente.
- m. Las dimensiones del sensor no deberán ser mayores a 1200mm X 1100mm X 350mm.

Cabe destacar que en esta etapa existen únicamente indicadores locales de presión, los cuales muestran el valor de la medición en la tubería, mediante una interfaz gráfica. Así mismo, existen transmisores de presión, peso y temperatura, los cuales envían los datos medidos a los puertos del concentrador de señales y este se comunica con el controlador lógico programable (PLC) ubicado en el patín de mezclado, utilizando el protocolo comunicación serie de 4 a 20mA.

Al final de esta etapa se ubica el analizador de azufre, el cual está monitoreando el nivel de concentración de óxido de azufre (S_2O) en el crudo, mediante la relación de la cantidad de azufre por unidad de peso del crudo que fluye por la tubería. Este transmisor trabaja utilizando la misma comunicación serie de 4 a 20mA corriente continua.

5.3.3 Etapa de calibración y control

Al inicio de esta etapa se ubican las tuberías y las válvulas respectivas para la conexión del sistema de mezclado al patín móvil de calibración, esto para garantizar la operación de los medidores de caudal, tal como lo dictan los estándares del Sistema de Gestión de las Mediciones de Recope [15], como equipo sujeto a confirmación metrológica, basado en la norma ISO-10012.

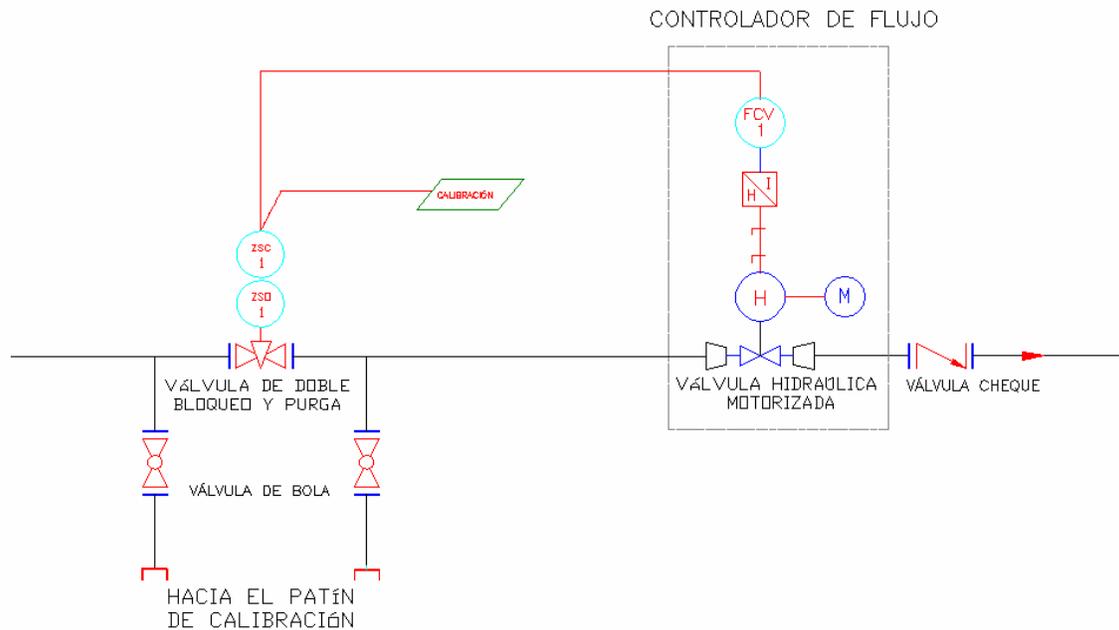


Figura 15. Diagrama de tuberías e instrumentación de la etapa de calibración y control del diseño del mezclador en línea.⁷

La válvula de doble bloqueo y purga realiza la función de cerrar el paso de la corriente en ambos sentidos, tanto las provenientes aguas arriba, como las provenientes agua abajo de su ubicación. La capacidad de sello de este tipo de válvula está basada en los asientos flotantes energizados por la presión de un resorte, creando así una verdadera barrera doble que obliga al crudo en su totalidad a viajar por la tubería hacia el patín de calibración.

Este sistema de medición portátil, o medidor maestro, se ubica sobre un camión equipado especialmente para poder adaptarse a las tuberías del sistema de mezclado, garantizando que el caudal de crudo que pasó por el medidor de

⁷ Ver plano: T1001-I2 PID, Sistema de Mezclado en Línea de Crudo Liviano en apéndices A.3

Coriolis de la etapa de medición explicada anteriormente, sea el mismo que llega al patín de calibración. Este se compone, en su esencia por un medidor de Coriolis de alta precisión, que opera con una exactitud del 0.05%, un computador de caudal y todos los sensores, periféricos y programas necesarios para realizar los cálculos en tiempo real de las cantidades de crudo, como se muestra en la Figura 16.A. El computador de caudal realiza las correcciones necesarias para presentar los volúmenes en cantidades netas y brutas, para realizar, por medio de una rutina automatizada, la operación de calibración, la cual busca registrar y corregir la diferencia que existe entre el valor obtenido por el medidor de caudal de la etapa anterior y el patrón metrológico del patín calibrador, certificado por el Centro Nacional de Metrología (CENAM).

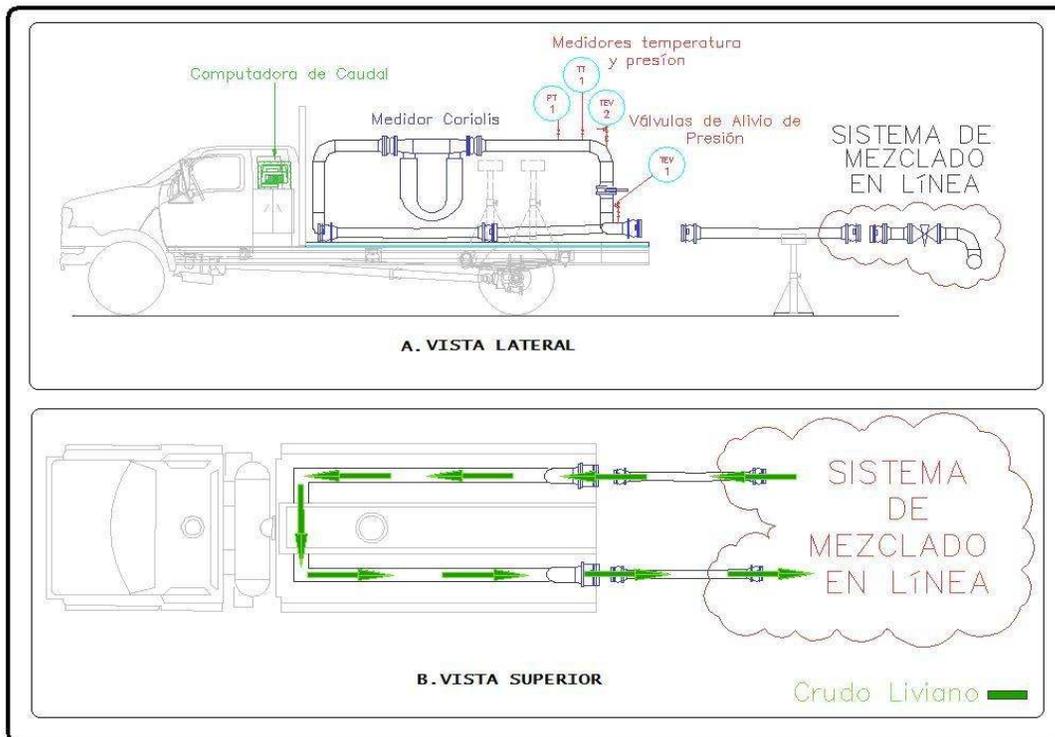


Figura 16. Vista lateral y superior de la conexión del sistema mezclado al camión de medición y calibración de la refinería.⁸

⁸ Tomado del plano: **Medidor Maestro T1090-LN-GE-I10-03**

En dicha conexión al patín de medición se encuentran trabajando conjuntamente la “válvula de doble bloqueo y purga” y los indicadores de posición (ZSO/ZSC), como se aprecia en la Figura 5.7. Estos dispositivos muestran la posición del elemento de cierre de las válvulas, siendo estos críticos para el proceso de calibración, indicando que está abierta o cerrada por medio de una lectura física, la cual se solicita en la rutina automatizada de calibración.

El controlador de flujo está conformado esencialmente por una válvula motorizada hidráulica, esta fue seleccionada debido a su gran precisión al operar con flujos variables. Esta válvula es gobernada mediante una señal eléctrica de corriente directa. Esta señal ingresa al transductor que se encarga de convertirla proporcionalmente a una señal hidráulica, por medio del torque de un motor y un relé hidráulico. Esta señal hidráulica ingresa al diafragma del actuador, donde se transfiere la fuerza hidráulica al actuador o pistón que regula el paso del crudo, estrangulando el caudal que corre por la tubería, como se puede apreciar en la Figura 17.B.

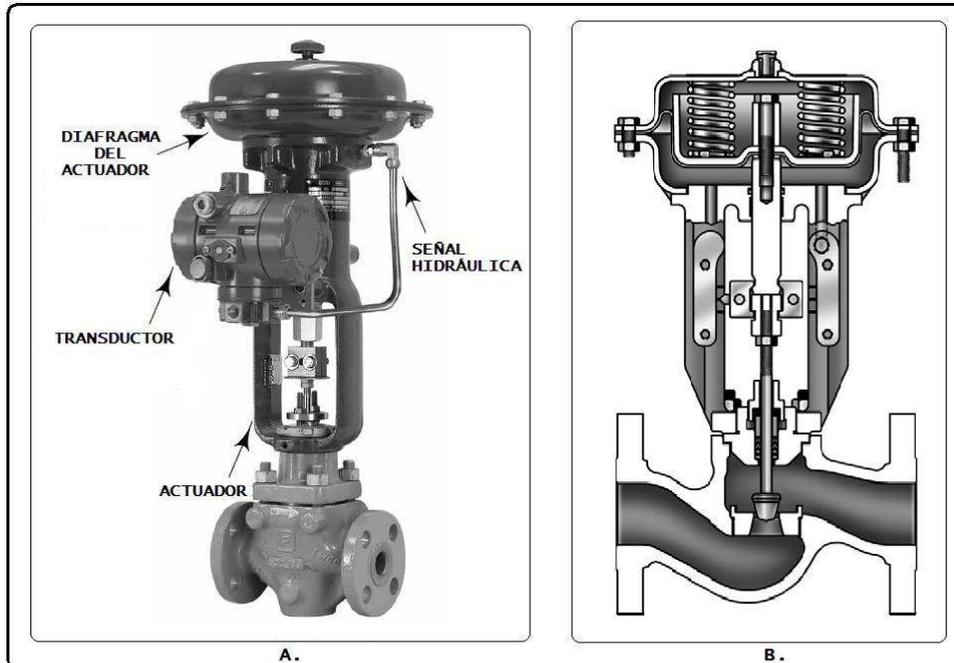


Figura 17. Vista frontal y de corte interno de la válvula utilizada en el control de flujo en los brazos del sistema de mezclado en línea [16].

A continuación se muestra el bloque completo de instrumentación presente en cada brazo del sistema, compuesto por las tres etapas explicadas anteriormente. A través de este bloque circulará la cantidad de crudo dictada por la receta, para mezclarse homogéneamente al ingresar al mezclador estático dentro del patín de mezclado.

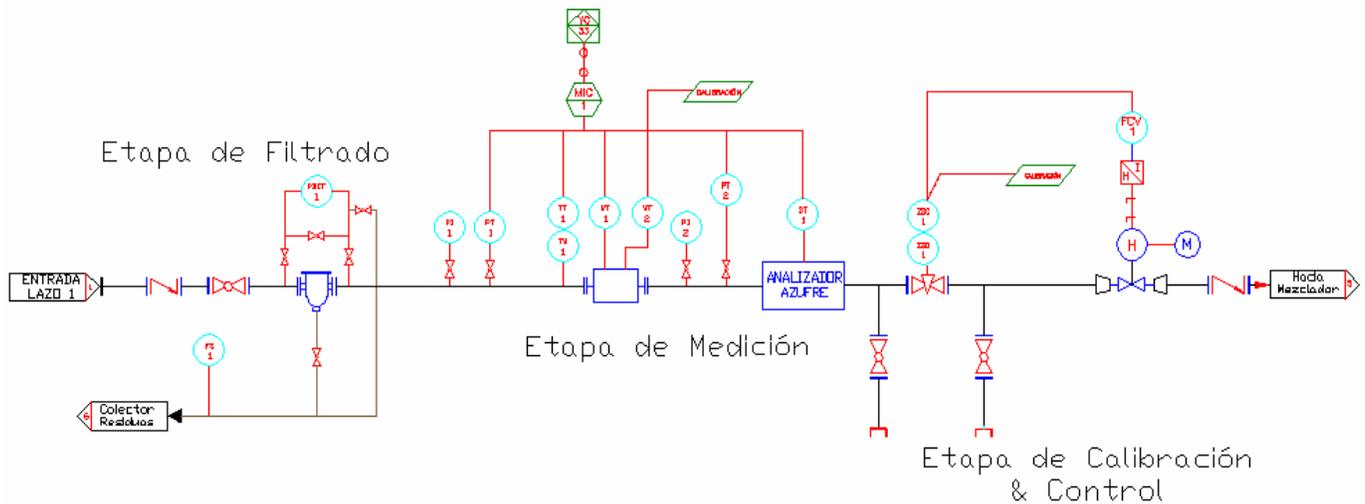


Figura 18. Diagrama de tuberías e instrumentación de uno de los brazos del diseño del mezclador en línea.⁹

5.3.4 Etapa de acople y verificación de mezcla

Esta última etapa cumple la función de garantizar la composición de la mezcla que se va a entregar a planta. Por lo cual se utiliza una estructura similar a la etapa de medición presentada en el apartado 5.3.2 de este capítulo. Los elementos más destacados son el medidor de concentración de azufre y el medidor de Coriolis, que en este caso estará configurado únicamente para medir el grado API del crudo. El monitoreo de la temperatura de esta etapa se realizará en el tanque de estabilización, esto para aprovechar los equipos que serán implementados dentro de él, ya que este formará parte del SMAT de la Refinería. Por ende, deberá instrumentarse con detectores de alto y bajo nivel para generar alarmas y disparos en el sistema, así como medidores continuos

⁹ Ver plano: T1001-I2 PID, Sistema de Mezclado en Línea de Crudo Liviano en apéndice A.3

de variables físicas, mediante el cual se operarán los lazos de control que permitan el equilibrio operativo.

Como se muestra en la Figura 19, este tanque de 500bbl se instalará entre el mezclador en línea y la planta. La finalidad de este tanque será la de almacenar la mezcla aproximadamente durante 20 minutos de funcionamiento normal del sistema de mezclado, trabajando un caudal nominal de 730gal/min, todo esto en el caso de que la planta no se encuentre preparada para recibir el lote de mezcla. De lo contrario se entregará en su totalidad continuamente el caudal de crudo saliente del patín de mezclado y que cumpla la revisión de los requerimientos de esta etapa. Otra función de este tanque es servir como interfaz hidráulica entre los sistemas de bombeo, para brindar estabilidad dinámica al acople. El puente del tanque es necesario para no detener el proceso de mezclado, cuando sea necesario sacar de operación al tanque para su mantenimiento respectivo.

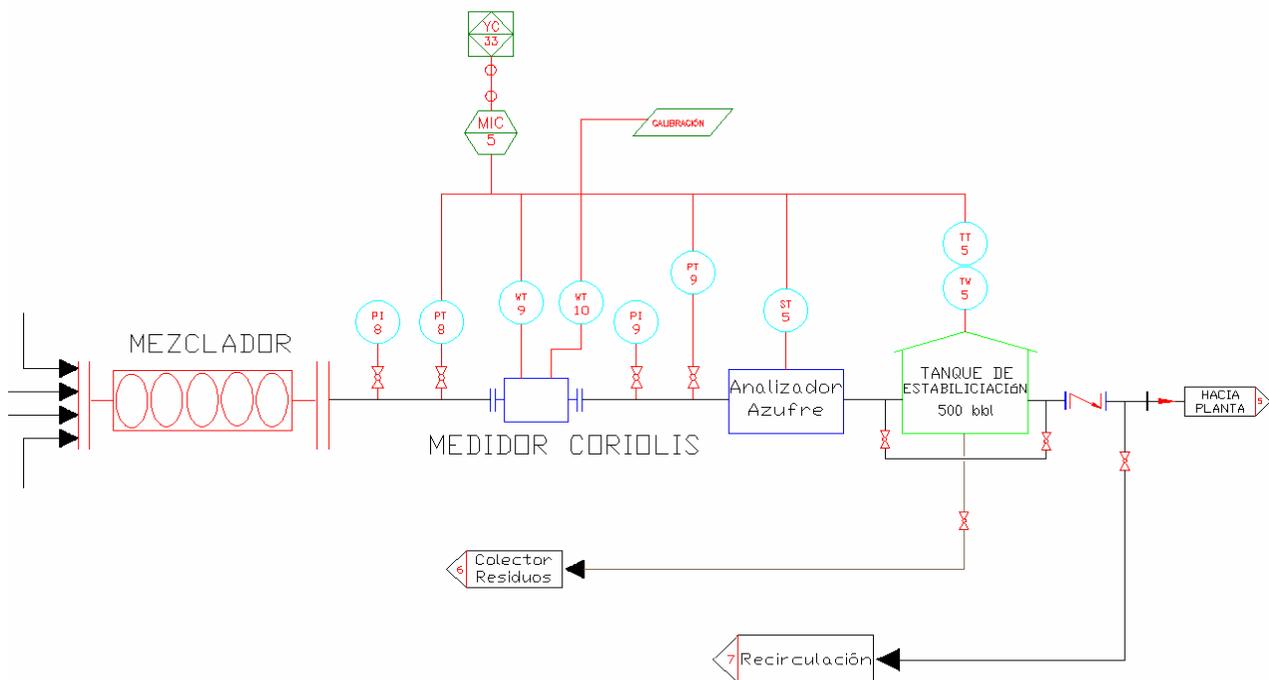


Figura 19. Diagrama de tuberías e instrumentación de la etapa de calibración y control del diseño del mezclador en línea.¹⁰

¹⁰ Ver plano: T1001-I2 PID, Sistema de Mezclado en Línea de Crudo Liviano en apéndice A.3

En caso de que el producto de mezcla que pasa por esta etapa de acople y verificación de mezcla no cumpla las condiciones necesarias para ingresar a planta, deberá ser desviado mediante la tubería de recirculación ubicada después del tanque de 500bbl. Este lote se deberá asignar a un tanque de almacenamiento que contenga un crudo liviano con características similares, para que este se pueda utilizar en un nuevo proceso de mezcla.

En el tanque de estabilización se va a implementar un sistema de muestreo por goteo en línea con caudal ajustable y de acople seco. Este sistema tiene por objetivo recolectar una muestra promedio del producto mezclado, el cual debe ser suministrado con los recipientes de recolección y transporte de las muestras adquiridas, cumpliendo con los requisitos que define el Capítulo 8, Sección 2, del *Manual of Petroleum Measurement Standards* del API en todos los extremos aplicables.

Tabla 5. Equipo de instrumentación utilizado en el diseño del sistema de mezclado en línea de crudo liviano.

CANTIDAD	EQUIPO
4	Filtros tipo canastilla
10	Indicadores de presión
4	Indicadores de posición
1	Interruptores de caudal
5	Medidores de concentración de azufre
5	Medidores de tipo Coriolis
1	Mezclador estático
4	Trasmisores de presión diferencial
10	Trasmisores de presión
10	Trasmisores de peso
5	Trasmisores de concentración de azufre

5	Transmisores de temperatura
5	Termo pozos
9	Válvulas cheque
12	Válvulas de bola
4	Válvulas de doble bloqueo con purga
4	Válvulas de control de flujo

5.3.5 Patín de mezclado

El patín de mezclado en línea es concebido como un patín auto contenido, el cual Recope necesita que sea diseñado e integrado por una compañía especialista en la manufactura y en la distribución de este tipo de tecnologías, que cuente con amplia experiencia y de la cual se encuentren equipos operando en circunstancias similares de capacidad y aplicación. Esto para garantizar que el funcionamiento del mezclador sea bajo requerimientos solicitados, y que su controlador se integre correctamente a la unidad general de control del sistema de mezclado en línea.

El mezclador debe ser provisto con una sección de mezclado compuesta por secciones helicoidales contrapuestas, propias de un mezclador estático como se muestra en la Figura 20, cuya relación de mezclado a la salida sea lo suficientemente homogénea de tal modo que el valor del grado API representativo del producto resultante sea el mismo, aun cuando no se analice la totalidad del área transversal de la tubería.

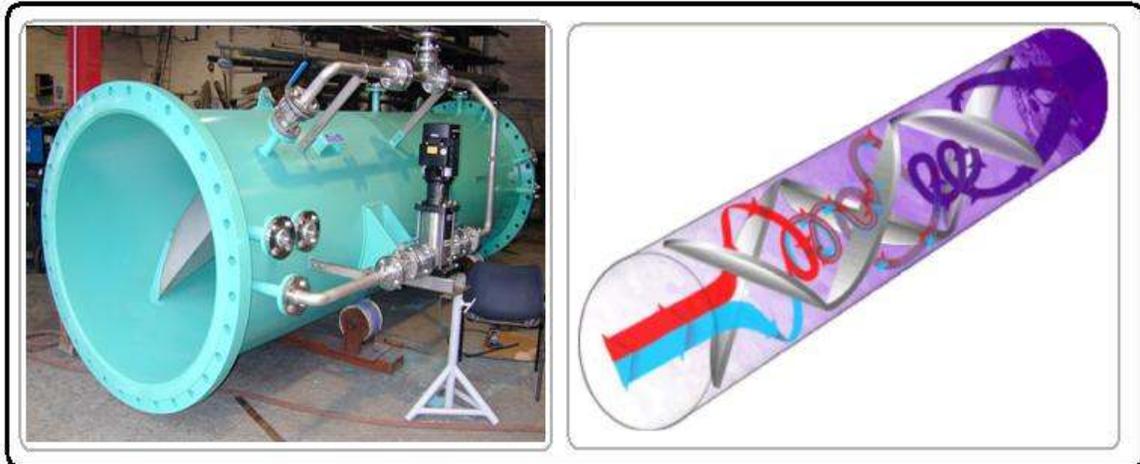


Figura 20. Mezclador estático requerido [10].

El sistema de control del mezclador será de última tecnología, y deberá ser suministrado con un programa de administración y control totalmente compatible con a la aplicación que corre el SCADA de la Refinería. Básicamente, lo que se pretende es tener los siguientes niveles de funcionalidad, de acuerdo con las circunstancias operativas que se presenten:

- a. Para una operación “NORMAL” el operador del sistema de mezclado de crudo liviano, ingresa los datos de los parámetros base de la mezcla a producir, en la terminal de operador ubicada en Unidad General de Control dentro del edificio administrativo. Con base en estos datos, el controlador del mezclador determina si las posibles recetas son viables, en cuanto a calidad y cantidad. Una vez ingresados estos datos, el operador puede ver cuáles bombas siguen en la secuencia de operación, para que entren a operar una vez sea solicitado el arranque del sistema.
- b. En caso de que por alguna razón, el HMI de la Unidad General de Control no se encuentre disponible o haya perdido la comunicación, se podrá hacer uso del modo de operación de “RESPALDO”, en cuyo caso, los datos de mezcla podrán ingresarse directamente desde la terminal HMI adjunta a la unidad de control del patín de mezclado, esta operación debe contar con las mismas posibilidades que cuando se hiciera en modo “NORMAL”, pero dada su separación física de las áreas operativas, no es deseable. Una vez

descargados los datos hacia el controlador del mezclador, deberán hacerse respaldos respectivos a fin de que, restablecida la comunicación, se transfiera la información hacia la base de datos de la Unidad General de Control para los cierres de inventarios y para que el control de cantidad de crudo liviano sea actualizado.

El mezclador iniciará la producción del lote solicitado una vez que el controlador central se lo indique, ya que este debe sincronizar los sistemas de bombeo, a fin de operar el sistema completo en modo automático y balanceado.

Al concluir el lote, el controlador del mezclador emitirá un reporte, el cual podrá ser impreso en cualquiera de las dos terminales del operador, y almacenará sus datos en la base de datos propia del sistema de mezclado. Los datos que contendrá este reporte serán definidos durante los procesos de diseño y puesta en marcha, de acuerdo con la conveniencia de Recope.

Las siguientes son las entradas y las salidas del concentrador de señales del controlador del patín de mezclado, las cuales deberán estar respaldadas en el concentrador del controlador de la Unidad General de Control.

Entradas:

- Tren de pulsos de cinco (5) medidores de caudal, con dos canales de pulsos discretos cada uno.
- Cinco (5) transmisores de temperatura (4-20 mA cc, con fuente provista en la tarjeta de la unidad de control).
- Diez (10) transmisores de presión (4-20 mA cc, con fuente provista en la tarjeta de la unidad de control).
- Cuatro (4) transmisores de presión diferencial (4-20 mA cc, con fuente provista en la tarjeta de la unidad de control).
- Un (1) interruptor de caudal (4-20 mA cc, con fuente provista en la tarjeta de la unidad de control).

- Cuatro (4) transmisores de concentración de azufre (4-20 mA cc, con fuente provista en la tarjeta de la unidad de control).
- Paro de la carga por accionamiento de interruptor de emergencia.

Salidas:

- Cuatro (4) salidas analógicas de 4-20 mA cc, para el control de los caudales de principales y de corte, propios de las válvulas de control.
- Contacto de alarma externa (monitoreado por el SCADA).
- Puerto comunicación de datos usando los protocolos Modbus, DeviceNet, ControlNet u otro protocolo abierto. Esto para la comunicarse con el PLC de la Unidad General de Control; a través del estándar RS-485, EIA-485, RS-232, RS-422 o Ethernet.

5.3.6 Controlador del patín de mezclado

El PLC que desempeñará la función de controlar todo lo que acontece dentro del sistema de mezclado, también deberá monitorear las variables físicas mediante la instrumentación ubicada a lo largo de las tuberías del sistema, tomará las decisiones que corresponden propiamente a la automatización, a la planificación de propiedades y a las proporciones de mezcla.

5.3.6.1 El control de proporciones de mezclas. Una aplicación de control de mezclas es usada en las operaciones con el objetivo de mantener la proporción de los componentes y aditivos usados en la mezcla en línea de crudo liviano. Se requiere una propuesta de solución que permita a la Refinería realizar las mezclas continuas de este tipo de hidrocarburos, antes de que ingresen a la planta. Las soluciones propuestas deberán realizar las funciones claves:

a. Gestión de órdenes de mezclas por parte de planta, que incluyan las siguientes características:

a.1 Interfaz con una aplicación externa de planificación de mezclas para recibir y almacenar las órdenes de mezclas en una biblioteca de recetas.

a.2 Visualización y edición del manual de recetas en la biblioteca de recetas antes de ser descargado al control de proporciones de mezclas.

- Opción de ingreso manual de orden de mezcla en la pantalla de composición de recetas de la aplicación.
- Selección por parte del operador de los componentes: tanques, controladores de flujo, bombas y tanque receptor.
- Selección de componentes adicionales en la orden de mezcla con equipos asociados para su uso, en caso de futuras emergencias.
- Prevención de descarga accidental de una nueva orden de mezcla, a menos que la mezcla anterior haya sido cerrada por el operador.
- Disponibilidad de selección de órdenes de mezcla previas en la composición de recetas para una nueva orden de mezcla de manera que se requiera un mínimo de entradas o cambios entre una mezcla y otra.

b. Validación de la receta para garantizar que cumpla con los requerimientos mínimos configurados. Estará disponible al usuario un despliegue para la modificación de criterios de validación de recetas. Se presentan los siguientes tipos de validación de recetas:

- La suma total de la receta está dentro del rango de tolerancia.
- El flujo del componente está dentro del rango de tolerancia.

- El flujo mínimo calculado (basado en los límites de flujo bajo del controlador) no excede la tasa de flujo objetivo
- La receta no es imposible, cuando el flujo mínimo de un controlador no es inconsistente con el flujo máximo de otro controlador.

c. Una orden típica de mezcla en la biblioteca incluye la siguiente información:

- Nombre del mezclador.
- Número de identificación de la mezcla.
- Grado del producto.
- Volumen objetivo del lote.
- Tasa de flujo objetivo con los límites de tasas mínimas y máximas.
- Nombres de componentes, proporciones, restricciones de las recetas, restricciones de volumen, tanques recomendados, señalizadores indicando el funcionamiento.
- Nombres de corrientes a utilizar, flujo objetivo, flujo mínimo, flujo máximo, costo, señalizador indicando el funcionamiento.
- Tanque de producto y volumen de remanente en fondo.
- Nombres de aditivos, concentración y tanques fuentes
- Modo de control de propiedades (tanque o cabezal)
- Propiedades de componentes, corrientes o valores de mezcla.

d. Arranque, operación y apagados automáticos del mezclador y sus equipos asociados, el perfil de flujo para la aceleración. Lapso de espera inicial, desaceleración, lapso de espera final, puede ser configurado por el ingeniero de la planta.

e. Control maestro de flujo con programación (*set point*) de tasa de flujo; parada de emergencia inmediata de mezcla; permite el re-arranque de la mezcla; permite el arranque retardado de bombeo para el controlador de flujo al comienzo de la mezcla y permite el apagado temprano de la bomba al finalizar la mezcla.

f. Mantener los porcentajes de componentes y concentraciones de aditivos según lo indicado en la receta de la mezcla.

g. El ritmo de la tasa de flujo de la mezcla, en caso de que un controlador de flujo no esté en capacidad de satisfacer una alta demanda de flujo; parada automática de la mezcla si el flujo de un componente dado no puede ser mantenido en el punto fijado; configuración de límites mínimos y máximo del flujo del controlador de flujo.

h. Interfaz con analizadores de propiedades y validación de señales de analizadores.

i. Análisis matemático de las propiedades en el cabezal de la mezcla y destino de la mezcla.

j. Opción de control de recetas volumétricas con corrección de errores, en el modo de corrección volumétrica la aplicación ajusta los puntos fijados del controlador de flujo para garantizar que la receta volumétrica del componente, basado en los volúmenes mezclados coincida con la receta requerida.

k. Opción de control de ajuste de propiedades simples o binarias basado en la retroalimentación de los analizadores; el usuario puede seleccionar el componente que controle una propiedad dada y el componente que provea una compensación total del flujo en el modo de mezcla de ajuste binario.

l. Permite cambios en línea en los valores de las recetas, restricciones del planificador de recetas, volumen objetivo, flujo objetivo y objetivos de propiedades.

m. Encendido automático de bombas para componentes con no cero recetas, y apagado automático de bombas para componentes con cero recetas; parada automática de mezcla.

n. Alarmas audibles y mensajes para alertar al operador en el caso de una operación anormal de mezclado.

o. Controlador de presión del cabezal de mezcla con perfil de apertura de flujo-válvula.

p. Compensación de temperatura para la caracterización de flujos.

q. Pantallas de operación estándar y pantallas de configuración estándar.

r. Generación de reportes de mezclas, con información clave al finalizar cada mezcla.

s. Gráficos a la medida y funcionalidades a la medida, deben incluir gráfico del cabezal del mezclador basado en la convención de gráfico de usuario, gráfico de selección de analizadores para propiedades con múltiples fuentes analizadoras. Ejemplo de funcionalidades a la medida incluyen módulos de Sistema Control Distribuido (SCD) para encender y apagar bombas de las muestras de los analizadores, encender o apagar muestrarios de compuestos, encender o apagar bombas impulsadoras o bombas adicionales.

t. Fácil configuración de equipos, componentes, analizadores y propiedades; acceso a los datos de configuración basada en el nivel de seguridad del usuario;

seguridad operacional basada en la configuración de los siguientes tipos: tanques destinos configurados, tanques-fuentes configurados y bombas que pueden ser usadas para controlar el flujo.

u. Las pantallas de aplicaciones podrán ser accedidas por cualquier usuario en la red de control de la refinería o planta mediante un programa cliente y privilegios de acceso.

5.3.6.2 Control de propiedades de mezclas. Adicionalmente al control directo de equipos del sistema de mezclado, la solución propuesta deberá proveer el control de propiedades mediante el uso del control supervisorio del punto de ajuste de las recetas individuales de componentes en el mezclador. Esta función de optimización de mezclas deberá usarse junto con la solución de control de proporciones de mezclas para lograr la completa integración entre el control de la receta de componentes básicos y el control de propiedades. Las soluciones propuestas deberán basarse en los siguientes puntos claves:

- a. Opere en una plataforma de un sistema operativo abierto que reside en la red de control de la planta, edificio administrativo.
- b. Plataforma abierta para la comunicación con el control de proporciones de terceros a través de un servidor.
- c. Instalaciones para la gestión de órdenes de mezclas. La aplicación de gestión de órdenes de mezcla es común para el control de proporciones de mezclas y control de propiedades de mezclas.
- d. Validación de las señales de analizadores con las siguientes características:
 - Verificación de validación para la detección de valor malo, valor fuera de rango, y valor excesivo.

- Reinicialización por parte del operador, de analizadores que no pueden ser validados debido al criterio de cambio excesivo.
 - Compensación dinámica para el retraso y tiempo muerto debido al tiempo requerido para el flujo de muestra y el análisis.
 - Tiempo de calentamiento para alcanzar un estado estable antes de que comience la validación de señales.
- e.** Herramientas de optimización *offline* opcionales para las pruebas de recetas antes de ser descargadas.
- f.** Permite leyes de mezclado no-lineal a la medida definidas por el usuario.
- g.** Generación de reportes de optimización de mezcla y datos históricos de mezclas; resultados de la optimización para cada ciclo de optimización incluyendo la nueva receta, restricciones actuales, propiedades actuales del cabezal y destino.
- h.** Inclusión/exclusión de componentes y propiedades durante la mezcla (mediante el cambio del señalizador que indica el funcionamiento).
- i.** Disponibilidad de diversas fuentes de propiedades con recurso de emergencia configurable hacia otra fuente, en caso de que falle la fuente primaria.
- j.** Permite realizar cambios en-línea de: las restricciones de recetas, volumen objetivo, flujo objetivo, objetivos de propiedades del cabezal, costos, señalizadores de funcionamiento de componentes, señalizadores de funcionamiento de propiedades, volumen de remanente de fondo, propiedades de remanente de fondo y las fuentes de mezcla y destinos; el

monitor de mezcla y los programas de calidad de mezclas pueden leer datos de configuración nuevos o modificados durante una mezcla activa a solicitud del usuario.

- k. Información de orden de mezcla objetivo antes de iniciar la mezcla al finalizar la misma que puede ser enviada como archivo a una aplicación externa para el análisis estadístico de mezclas.
- l. Las pantallas de aplicaciones pueden ser accedidas por cualquier usuario en la red de control de la refinería o planta mediante el *software* de cliente y privilegios de acceso.
- m. Proporciona datos objetivos y reales para los reportes de gestión de mezclas.

5.3.6.3 Reportes de gestión de mezclas. La aplicación de reportes de gestión de mezclas es utilizada para producir reportes históricos para rastrear el desempeño e identificar las áreas de operaciones de mezclado que necesiten ser mejoradas. La aplicación deberá ser capaz de alinear los resultados de los analizadores en línea con los resultados de los análisis de laboratorio fuera de línea y de asociar los eventos de re-mezclas con el evento de mezcla original que dio lugar a las remezclas. Las soluciones propuestas deberán basarse en los siguientes puntos claves:

- a. Captar los resultados planeados de mezclas objetivo y reales.
- b. Asociar los resultados de laboratorio fuera de línea con los resultados de analizadores en línea.
- c. Recabar los datos requeridos para la regresión de valores de mezclas a partir de mezclas anteriores.

d. Proveer una serie de reportes estándar que incluyan:

- Reportes comparativos de análisis reales versus análisis de laboratorio.
- Reportes comparativos de composición de recetas objetivo versus recetas reales.
- Reportes de estrategias de administración de datos para mejorar las bases de planificación de futuras órdenes de mezclas.

5.3.6.4 Planificación de mezclas. La aplicación se basa en producir un programa de órdenes de mezclas con varios productos en un lapso razonable de tiempo, para cumplir con los compromisos y satisfacer las restricciones del inventario y de calidad dadas por planta. Es deseable que la aplicación de planificación utilice técnicas de optimización con miras a minimizar el desperdicio, logrando la calidad del producto y venciendo las restricciones operacionales del sistema. Las soluciones propuestas deberán basarse en los siguientes puntos claves:

- a.** Optimización de receta multiproducto.
- b.** Utilizar técnicas no lineales para predicción de propiedades.
- c.** Proveer capacidad de regresión para calcular valores de mezclas a partir de mezclas anteriores.
- d.** Soportar las restricciones de composición de mezclas.
- e.** Proveer interfaces estándar para el laboratorio y la implantación de volúmenes de tanques.
- f.** Proveer interfaces con el control de propiedades de mezclas.
- g.** Proveer los datos para la elaboración de reportes de gestión de mezclas.

Este controlador, cuyas funciones primordiales se explicaron anteriormente, debe estar integrado con la Unidad General de Control, la cual tiene a cargo todo el

proceso del sistema de mezcla, desde la toma del crudo de los tanques hasta la entrega de lote mezclado a planta. De la misma forma, se debe recibir continuamente mediante una interfaz de datos así como las tramas de información que sean necesarias del Sistema de Medición Automática de Tanques, SMAT.

Esta Unidad General de Control deberá ser compatible con los sistemas de control distribuido existentes en la Refinería, de manera que exista una comunicación para el envío de señales críticas del proceso de mezclado al Sistema de Control Distribuido (SCD) de la Refinería.

El sistema de interfaz con el operador (HMI) de la Unidad General de Control debe instalarse en un gabinete autosoportado dentro del cuarto de control asignado. Este deberá ser diseñado específicamente para la operación de un sistema de última tecnología, en el cual por medio de la pantalla del computador de control se tendrá acceso a todo lo que ocurra en el controlador de mezcla, además de la información correspondiente al mantenimiento y supervisión de la instrumentación y bombas. Debe implementarse una plataforma lo suficientemente robusta para la administración de la base de datos, que se encargará de almacenar toda la información de los acontecimientos ocurridos en el proceso. La Unidad General de Control deberá incluir los siguientes subsistemas:

- Sistema de control de mando **SCM**
- Sistema de control del proceso **SCP**
- Sistema de control de seguridad **SCS**

Donde la pérdida o falla en la Unidad General de Control no deberá tener efecto en el Sistema de Control de Proceso ni en el Sistema de Control de Seguridad. Por ende, la pérdida o falla en el SCP no deberá tener efecto en el Sistema de Control de Seguridad. Cada subsistema deberá continuar operando aún cuando se tenga pérdida de comunicación con las estaciones de operación o interfaces hombre máquina. La pérdida o falla de una o varias estaciones de operación o interfaces hombre máquina no deberá afectar a ninguno de los subsistemas. La pérdida de

las comunicaciones sobre las redes de datos no debe afectar las funciones de los controladores.

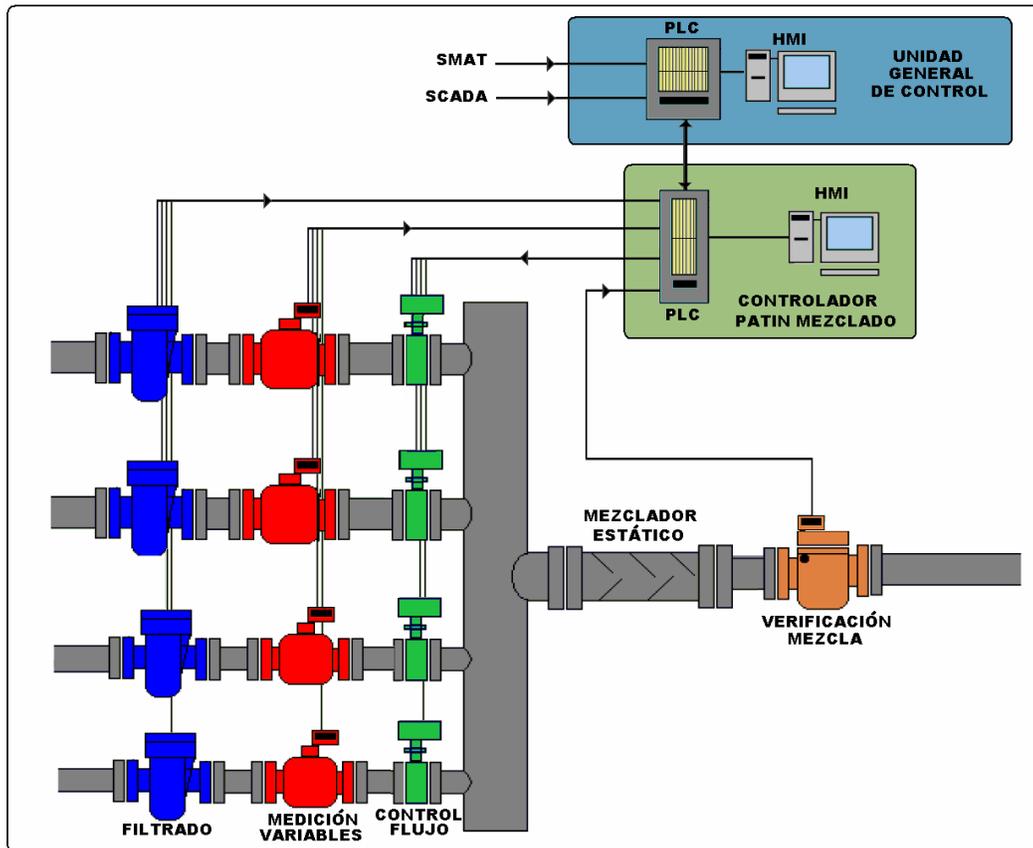


Figura 21. Arquitectura de control del sistema de mezclado en línea.

5.3.7 Unidad general de control

El control de todo el proceso de mezclado deberá hacerse desde una unidad de control local, a instalarse en el cuarto de control en el edificio administrativo de Recope, la cual contará con las siguientes características:

- Electrónica digital basada en microprocesadores y controladores lógicos programables.
- Pantalla de cristal líquido sensible al tacto *LCD TouchScreen*
- Indicación de las variables de ingeniería en el sistema internacional de unidades (SI).

- Requerimiento de código de acceso y número de transacción o identificación para iniciar la mezcla.
- Preajuste remoto de la cantidad a despachar, el caudal de operación y las rampas de arranque y paro.
- Cubierta para uso interior a prueba de polvo y humedad NEMA 3 como mínimo.
- Control total de la tanda a mezclar (productos base, caudal de operación, múltiples recetas, rampa de arranque y paro ajustables, enclavamientos de seguridad por *hardware* y por *software*, transmisión constante de los datos al SCADA)
- Tablas del API para la compensación de la densidad de entrada a la referencia de 10 °C y a la salida a 50°C.
- Alimentación eléctrica de 115 Vca, 60 Hz, con fusible y protección contra fluctuaciones de tensión.
- Configuración y carga remota de los parámetros operacionales.
- Mezcla automática hasta la cantidad preajustada a la orden de “inicio” por parte del operador o mediante acceso remoto.
- Indicación durante el proceso de mezcla de la cantidad preajustada, de la cuenta creciente de lo mezclado y de la cuenta decreciente de lo faltante.
- Comunicación de hora de inicio y finalización, masas cargadas y otras variables al computador supervisor al final de cada transacción, así como su almacenamiento en una memoria no volátil.
- Comunicación de cualquier alarma al computador supervisor.
- Respaldo de memoria en caso de falla de la alimentación eléctrica de todos los datos internos, así como los de la transacción interrumpida.
- Almacenamiento en memoria de los datos, de al menos, las diez últimas transacciones, en caso de falla de comunicación con el computador principal.
- Detención de la carga por parte del operador mediante un botón de “parada” y reinicio posterior para completar la cantidad preajustada.

- La unidad de control debe incluir la opción que le permita confirmar la integridad de los pulsos recibidos desde el medidor de caudal másico, por medio de la comparación de los pulsos dobles, de acuerdo con el API MPMS, capítulo 5, sección 5, con un grado de seguridad mínimo nivel B.
- La unidad de control debe incluir protección contra transitorios eléctricos interna o externa tanto para la fuente, como para todas las señales de entrada y salida.
- La unidad de control debe suministrarse con un puerto de comunicación para conectarlo a un PLC, con protocolo Modbus, DeviceNet, ControlNet u otro protocolo abierto; a través del estándar RS-485, RS-232, RS-422 o Ethernet.

CAPÍTULO 6

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados mencionados en el apartado anterior quedaron plasmados en el juego de planos del proyecto en la institución, los cuales serán incluidos en la ingeniería básica que formará parte del Cartel de Licitación del Proyecto Ampliación del Parque de Tanques de la Refinería. Dichos diagramas cumplen con los estándares ISA y las normas API.

El plano T1001-LN-I1 presenta el diagrama de conexión propuesto para los nueve tanques que alimentarán el sistema de mezclado; estas modificaciones en las tuberías permiten el acople correcto entre estos tanques y la estructura de instrumentación detallada en el plano T1001-LN-I2, dichas especificaciones de la arquitectura del mezclador fueron argumentadas a fondo en el capítulo anterior.

El desarrollo de este diseño se apegó a los requisitos y alcances planteados por el Dpto. de Planificación de Proyectos de Recope. “En el caso de las gasolinas y el crudo liviano, contarán con sus propios mezcladores en línea, los cuales deberán ser interconectados y controlados mediante sistemas de tuberías, accesorios mecánicos, instrumentos, transmisores, controladores, analizadores en línea, cableado eléctrico y de instrumentación...” tomado del Anexo N°13: CRITERIOS BÁSICOS DEL DISEÑO del documento CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA PREINGENIERÍA DEL PROYECTO AMPLIACIÓN DE TANQUES DE LA REFINERÍA. De este mismo documento pero del ANEXO N°14 ALCANCE DE INGENIERÍA BÁSICA se ordena “...el desarrollador determinará la capacidad óptima del mezclador en línea de crudo liviano tomando en cuenta la capacidad de la unidad de destilación atmosférica (25 000 barriles). Dentro del diseño se considerarán la mezcla de cuatro a cinco tipos de crudo liviano con el fin de obtener mezclas en el rango de 28 a 39°API en la alimentación a planta, esto usando analizadores en línea de gravedad o densidad de grado API.

Además, se deberá considerar la inclusión de un tanque de compensación previo al envío a planta. Dicho tanque de compensación deberá atender la capacidad de planta por al menos 20 minutos de operación...”

Los siguientes son los principales alcances específicos logrados en el diseño ingenieril del nuevo sistema de mezclado:

- Descripción de la lista de equipos e instrumentos que operan el proceso de mezclado en línea.
- Determinación de los lazos a utilizar en la estrategia de control del proceso de mezclado en línea.
- Especificación de un sistema de medición y calibración, que garantizará el cumplimiento de los estándares metrológicos durante el proceso de mezclado en línea.
- Establecimiento de las bases del sistema de automatización, mediante interfaces humano-máquina y consolas de operación, del proceso de mezclado en línea.

A su vez se elaboraron las especificaciones de elementos vitales del proyecto como las válvulas de regulación de flujo, las cuales deben trabajar en complemento con los variadores de frecuencia de las bombas de succión, para habilitar la llegada al patín de mezclado del caudal exacto de cada crudo, dictado por la receta. Así mismo, se especificó cada uno de los instrumentos a utilizar, con el fin de que el contratista cumpla con los requisitos y calidades especificadas.

Es preciso aclarar que en la estructura del sistema de mezclado en línea existen cinco medidores de Coriolis, pero únicamente es indispensable aplicarles la rutina de calibración a los cuatro presentes en los brazos de recirculación; realizando el proceso con solo un medidor a la vez. Al restante, ubicado en la etapa de verificación de mezcla, no es necesario aplicarle esta norma ya que está configurado solo para medir el grado API del crudo y no su caudal.

Con respecto a la red de comunicación se especificó la arquitectura básica presente en la Figura 21 y de manera más amplia en el plano T1001-LN-I1 en donde la red de comunicación debe tener topología de anillo, con el fin de que se cuente con redundancia, ya que todos los sistemas del proyecto requieren esta característica, dado su importancia.

Si bien es cierto no existe una única solución al problema pues existen diferentes equipos que cumplen con las normas, se propone la opción que se contempla como idónea, después de realizar un estudio económico y un análisis de características técnicas de cada equipo. Esto se hace con la colaboración de todo el grupo de trabajo encargado del proyecto en donde existen ingenieros de diversos campos.

Como se ha podido discutir en esta sección de análisis, los resultados obtenidos por el diseño de la ingeniería básica son muy satisfactorios, ya que cumplen con una serie de normas nacionales e internacionales y han sido aprobados por expertos, antes de incorporarse al cartel de licitación del proyecto. Por lo cual, este diseño servirá como consigna para definir el proceso de desarrollo de la ingeniería de detalle que elabore el contratista, en la cual se deben resolver los detalles técnicos operativos de la instalación y la puesta en marcha del sistema, respetando la arquitectura y filosofía de control para la operación segura del mismo.

CAPÍTULO 7

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

- Se lograron definir los requerimientos de los sistemas, equipos por utilizar y la estrategia de control necesaria para la implementación de un sistema acondicionador en línea de crudo liviano en la planta de refinación de Moín, que viene a dar una solución al déficit existente en la producción de este tipo de hidrocarburos.
- Se especificó la etapa de instrumentación del nuevo sistema de mezclado en línea de crudo liviano, la cual, debido a la arquitectura de su diseño y acople, puede ser integrada a la operación normal de la Refinería.
- Se determinó el modo de funcionamiento del sistema de medición y calibración por utilizar, de manera que este fuese funcional y que cumpliera con la metrología legal nacional e internacional. Este, a su vez, cumplirá con el alto grado de precisión, calidad y seguridad que establecen las normas que rigen los procesos en las refinerías.
- El estudio de los estándares sobre instrumentación en procesos industriales, utilizados para el mezclado de hidrocarburos, hizo posible al diseñador el aprendizaje del funcionamiento de estos dispositivos que se deben incorporar, así como el establecimiento de las directrices jerárquicas necesarias para el control correcto de todo el sistema.

- Los protocolos de comunicación tienen preponderancia en el control de procesos, ya que mediante estos se logra la integración de sistemas, y la óptima transmisión de datos y de las señales de campo propias de los lazos de control. Además dan una velocidad de actuación operativa, ya que el monitoreo y el almacenamiento de datos de todos los procesos se realiza en forma remota gracias a la función que estos cumplen en un sistema de control.

7.2 Recomendaciones

- Como recomendación principal se propone el cambio de lugar donde se tiene planeado construir el sistema de mezclado en línea a alguna ubicación más cerca de la entrada a planta. Esto para hacer el bombeo de la mezcla de crudo más eficiente.
- A fin de brindar un grado de automatización más robusto al sistema homogeneizador se debe instalar los actuadores automáticos en las válvulas de todos los tanques de crudo, las cuales actualmente solo operan manualmente, logrando con esto un manejo totalmente remoto de los tanques desde el sistema SCADA de la Refinería.
- A efecto de evaluar los peligros potenciales de la implementación de este sistema se debe realizar un estudio de operatividad HAZOP, basado en el trabajo de un equipo de profesionales en procesos, instrumentos, maquinaria, ingeniería de proyectos y operaciones para estudiar las modificaciones que se deben realizar en instalaciones ya existentes de la Refinería. De este modo poder tener claro el funcionamiento del sistema al margen de las intenciones de su diseño o de averías de partes concretas de los equipos y los efectos que estas pudieran tener sobre el conjunto de las instalaciones.
- Una vez implementado el sistema, se debe suministrar la correcta documentación de la ingeniería de detalle que es de vital importancia, en miras de realizar mejoras estructurales y de proceso en el futuro.

- La participación conjunta de los contratistas, los proveedores y los profesionales en electrónica es fundamental para brindar la factibilidad técnica en la escalabilidad propia que debe tener la instrumentación de este sistema.
- El costo de los elementos que conforman los sistemas y los subsistemas de esta propuesta asciende a una inversión muy significativa, es por ello que se hace necesario especificar el diseño del equipo de protección de tierras y descargas atmosféricas, para salvaguardar la instrumentación y los sistemas de control electrónicos. También se deben tomar las previstas de las condiciones del clima tropical propio de la geografía de la Refinería.
- La capacitación y el entrenamiento profesional y técnico sobre el manejo de los equipos, interfaces y consolas de control es una recomendación esencial, con el fin de que el personal conozca en detalle el funcionamiento de los sistemas por implementar.

CAPÍTULO 8

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Refinería Costarricense de Petróleo S.A., Departamento de de Planificación. (2006). **Estadísticas de Preparación de Gasolinas en Moín.**
- [2] Refinería Costarricense de Petróleo S.A., Departamento de Evaluación de Proyectos. (2007). **Planta Instalaciones Propuestas Moín.**
- [3] Refinería Costarricense de Petróleo S.A., Fotografía aérea refinería Moín, http://www.recope.go.cr/centro_informativo/escuela_virtual/galeria.htm (consultada 10 de julio 2008).
- [4] Petróleos de Venezuela, Sociedad Anónima. (2005). **PVDSA Crude Oils Documentation September 2005.** Venezuela.
- [5] Anderson, A. (1980). **Instrumentation for Process Measurement and Control.** 3era Edición. Pennsylvania: Chilton Company.
- [6] Anderson, N. (1987). **Curso de Instrumentación.** San José, Costa Rica.
- [7] Nacif, J. (1981) **Ingeniería de Control Automático.** Tomo 2, 3era Edición. México DF: Costa-Amic Editores S.A.
- [8] IEEE Std 1100 (1999). **Recommended Practice for Powering and Grounding Electronic Equipment,** Institute of Electrical and Electronic Engineers.
- [9] Gráfico de Columna de Fraccionamiento. Kalipedia, Santillana. 2007. <http://pr.kalipedia.com/tecnologia/tema/graficos-esquema-columna-fraccionamiento.html> (consultada 20 de noviembre 2008).
- [10] Ince T. Brian, (2005) **Technical Paper TB006-0512-2,** In-Line Blending Control Systems, JISKKOT, USA.
- [11] Refinería Costarricense de Petróleo S.A., Departamento de Procesos de Ingeniería. (2006). Especificación Técnica **SMAT Sistema de Medición Automática de Tanques.**
- [12] Refinería Costarricense de Petróleo S.A., Departamento de Procesos de Ingeniería. (2000). **Especificación No. GG-GS-201 Condiciones de Sitio de las Estaciones.**

- [13] Segleau, J. (1999). **Redes de automatización industrial: DeviceNet**. Universidad de Costa Rica. Escuela de Ingeniería eléctrica.
- [14] Refinería Costarricense de Petróleo S.A., Departamento de Procesos de Ingeniería. (2002). Especificación Técnica **Filtros Canasta N° T1090-LN-206**.
- [15] Refinería Costarricense de Petróleo S.A., Departamento de Procesos de Ingeniería. (2002). Especificación Técnica **Patín de Medición - Ventas EI- 400 T-1090-LN**.
- [16] Fisher Controls International. (2005). **Control Valve Handbook**, Four Edition. Marshalltown, IA, USA.
- [17] Refinería Costarricense de Petróleo S.A. Políticas Institucionales. http://www.RECOPE.com/acerca/vision_corporativa/politicas.htm / Políticas de RECOPE (consultada 08 de octubre del 2008)
- [18] FMC Technologies. Catalogo de válvulas. <http://www.fmctechnologies.com/MeasurementSolutions/Products/LiquidMeasurement/SmithValvesandLineAccessories/215Valve.aspx> (consultada 05 de noviembre 2008).
- [19] Catálogo de productos. “Crudo Liviano” ECOPEPETROL <http://www.ecopetrol.com.co/especiales/catalogo/bunker.htm> (consultada 28 de agosto 2008).
- [20] American Petroleum Institute. (2004). **Manual of Petroleum Measurements Standards. (Chapter 6 Metering Assemblies, Section 2)**. Third Edition. Washington DC.

CAPÍTULO 9

APÉNDICES Y ANEXOS

9.1 Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

Actuador: Dispositivo o mecanismo el cual transforma una señal en un movimiento correspondiente, controlando la posición del mecanismo de regulación interna (elemento de cierre) de la válvula de control.

Aguas abajo: Localización de un dispositivo o cualidad del mismo, cuando se adelanta en sentido de flujo del elemento en análisis.

Aguas arriba: Localización de un dispositivo o cualidad del mismo, cuando se antepone en sentido de flujo del elemento en análisis.

Aguas oleaginosas o aceitosas: Aguas residuales contaminadas, saturadas o emulsionadas con producto, las cuales son enviadas y tratadas en el equipo necesario para recuperar el producto y descontaminar el agua.

API (*American Petroleum Institute*): Organismo que, entre otras actividades, establece la clasificación de calidad, servicio, así como las normas tanto de almacenamiento y de distribución de los diferentes derivados del petróleo en los Estados Unidos de América.

Automática: ciencia tecnológica que busca la incorporación de elementos de ejecución autónoma que emulan el comportamiento humano o incluso superior.

bbl (Barril, *Barrel*): Medida estándar para los hidrocarburos y sus productos derivados. Un barril es equivalente a 42 galones ó 159 litros.

Bomba: Máquina o artefacto para elevar el agua u otro líquido y darle impulso en una dirección determinada.

BPSD (*Barrels Per Stream Day*): Barriles por flujo diario.

BPD (*Barrels per day*): Barriles por día, en términos de producción, el número de barriles de aceite que produce un pozo en un período de 24 horas,

normalmente se toma una cifra promedio de un período de tiempo largo. (En términos de refinación, el número de barriles recibidos o la producción de una refinería durante un año, divididos por trescientos sesenta y cinco días menos el tiempo muerto utilizado para mantenimiento).

Bus de datos: se refiere al camino que recorren los datos desde una o varias fuentes hacia uno o varios destinos y es una serie de hilos contiguos.

Drenaje abierto: Se considera drenaje abierto todos los puntos de drenaje de los equipos y sistemas que descargan al separador.

Drenaje cerrado: Son los drenajes de equipos y sistemas que descargan al tanque sumidero.

Drenaje limpio. Es el producto evacuado de un equipo o sistema y que no está contaminado con agua u otro producto diferente de los manejados por el sistema.

Diagrama PFD (*Process Flow Diagram*): se utiliza para representar el balance de materia y energía del proceso. Incluye: Un esquema de bloques o pictórico del proceso (líneas principales); Lazos de control principales; Caudales, composiciones, presiones y temperaturas; Puede incluir consumos de servicios.

HMI (*Human Machine Interface*): es una interfaz hombre-máquina que usualmente es para visualización del proceso, como arranque y para de las máquinas. Usualmente se basa en PC que se comunica a través de PLC del proceso para adquirir información, haciendo posible variar algunos parámetros de este, escribir directamente a la memoria del PLC y ver en pantalla un esquema o inclusive ver gráficas en movimiento.

ISA (*Instrument Society of America*): Fundada en 1945, es una organización mundial, no lucrativa que fija el estándar para procesos de automatización, ayudada por más de 30.000 miembros alrededor del mundo para solucionar problemas técnicos difíciles, mientras que realiza las capacidades profesionales de sus miembros. ISA desarrolla estándares; certifica a profesionales de la industria; proporciona la educación y el entrenamiento; publica los libros y artículos técnicos;

Indicador de posición: Dispositivo que muestra la posición del elemento de cierre de la válvula. La señal o energía motriz puede ser neumática, eléctrica, hidráulica o una combinación de éstas.

Medidor de desplazamiento: Elemento que sirve para medir el volumen de líquido que se separa mecánicamente en pequeñas cantidades de volumen fijo y para contar las cantidades de unidades de volumen.

Medidor de masa (efecto coriolis): Este medidor opera bajo el principio de las fuerzas de inercia que son generadas cuando las partículas del flujo dentro de un cuerpo giratorio se mueven hacia dentro o hacia fuera del centro de rotación de cuerpo que lo contiene.

Medidor de turbina: Medidor cuyo elemento de medición es un rotor con aspas múltiples, al cual el flujo le imparte una velocidad angular proporcional a la velocidad promedio de la corriente.

NFPA (*National Fire Protection Association*): es la fuente principal mundial para el desarrollo y diseminación de conocimiento sobre seguridad contra incendios y de vida. Con su sede en Quincy, Massachusetts, EE.UU., la NFPA es una organización internacional que desarrolla normas fundada en 1896 para proteger gente, su propiedad y el medio ambiente del fuego.

OIML (*Organisation Internationale de Métrologie Légale*): Organización creada mediante su Convenio constitutivo, firmado en París el 12 de octubre de 1955. Tiene actualmente 60 Estados miembros y 53 miembros corresponsales. Se financia mediante un presupuesto ordinario cubierto principalmente por las contribuciones anuales de los estados miembros. La OIML fue instituida para promover la armonización mundial de los procedimientos de metrología legal. La metrología legal se define como el conjunto de procedimientos legislativos, administrativos y técnicos instaurados por las autoridades públicas o con referencia a estas últimas, y aplicados en su nombre para especificar y asegurar por la vía reglamentaria o contractual el grado idóneo de calidad y credibilidad de las mediciones relativas a los controles oficiales, al comercio, la salud, la seguridad y el medio ambiente.

OPC (*OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control*): Un estándar de comunicación en el campo del control y supervisión de proceso, corresponde a un conjunto de especificaciones basadas en los estándares de Microsoft que cubren los requerimientos de comunicación industrial entre

aplicaciones y dispositivos, especialmente en lo que se refiere a la atención al tiempo real.

Permisivo de mano (*dead-man*): En cada posición de carga habrá un sistema de paro de emergencia de las bombas (hombre-muerto), una válvula eléctrica digital, tipo diafragma, controlada en forma automática desde la unidad de control.

PID (*Process and Instrumentation Diagram*): se utiliza para representar el proceso completo. Incluye cada uno de los siguientes ítems: Equipos de proceso y servicios; Líneas de proceso y servicios (con diámetros, materiales, aislantes, etc.); Instrumentos; válvulas; accesorios (juntas, bridas, filtros, etc.); Puntos de conexión con planta existente y/o límites de batería; puntos de toma de muestra; codificaciones (equipos, líneas, instrumentos, puntos de conexión); codificaciones sobre lazos de control, enclavamientos y maniobras.

PLC: son dispositivos electrónicos muy usados en automatización industrial. No sólo controlan la lógica de funcionamiento de máquinas, plantas y procesos industriales, sino que también pueden realizar operaciones aritméticas, manejar señales analógicas para realizar estrategias de control, tales como controladores proporcional integral derivativo (PID).

Presión diferencial: es la diferencia entre dos presiones medidas entre los puntos C y C'.

Presión manométrica: Son normalmente las presiones superiores a la atmosférica, que se miden por medio de un elemento define la diferencia entre la presión que es desconocida y la presión atmosférica existente.

Protocolo de comunicación: Conjunto formal de reglas convencionales que rigen el formato y la sincronización relativa al intercambio de mensajes entre dos o más dispositivos en una red de comunicaciones.

Sistema de control: Es todo aquel sistema que efectúa las funciones necesarias para mantener el equipo o proceso bajo control.

Supervisión: acto de observar el trabajo o tareas de otro (individuo o máquina) que puede no conocer el tema en profundidad, supervisar no significa el control sobre el otro, sino el guiarlo en un contexto de trabajo, profesional o personal, es decir con fines correctivos i/o de modificación.

Válvula de control: Dispositivo de campo que manipula directamente el flujo de uno o más corrientes de proceso. Consiste de una válvula conectada a un actuador (incluyendo todos los accesorios relacionados) el cual es capaz de cambiar la posición del elemento de cierre en la válvula en respuesta a una señal desde el sistema de control de proceso.

Válvulas de caudal (válvulas de corte secundario): Estas válvulas influyen sobre la cantidad de circulación de aire comprimido; el caudal se regula en ambos sentidos de flujo.

Principales familias: autómatas, robots, controles de movimiento, adquisición de datos, visión artificial, etc.

PAC (*Programmable Automation Controller*): Controlador de Automatización Programable, la nueva generación de los PLC.

SCADA: Un sistema incluye un *hardware* de señal de entrada y salida, controladores, interfaz hombre-máquina (HMI), redes, comunicaciones, base de datos y *software*.

A.2 Información sobre la institución

En 1931 se dicta la Ley del Monopolio de la Importación y Expendio de Gasolina. El responsable de realizar estas tareas fue el Banco de Seguros. En 1933 se autoriza a expendios privados para vender gasolina a compradores particulares. En 1940 se deroga la Ley del Monopolio y el Estado otorga concesiones a cinco grandes compañías: la West Indian Oil Company (llamada posteriormente ESSO Standard Oil), a la Texas Company Ltda. (denominada luego TEXACO Caribbean Inc), la Union Oil Company of California (luego llamada GULF Costa Rica Company), a la Compañía Petrolera de COSTA RICA (llamada luego Chevron S.A.) y CEI de Costa Rica S.A.

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), fundada en 1961, inició la construcción de su planta refinadora ubicada en Moín, provincia de Limón, Costa Rica, en 1963. Esta fue inaugurada cuatro años después, igualmente se construyó igualmente un oleoducto para transportar el combustible desde la costa del Caribe a San José a través de la terminal de distribución de Ochomogo, Cartago.

El muelle petrolero de la zona portuaria de Moín forma parte del complejo de la Refinería y se encuentra ubicado a tres kilómetros de la misma. Su capacidad de refinamiento asciende a más de 25 mil barriles de petróleo diarios. La extensión de las instalaciones de la Refinería es de 68 hectáreas y cuenta con 76 tanques de almacenamiento. RECOPE cuenta con oficinas administrativas tanto en la ciudad de Limón como en San José.

A3. Planos elaborados

Ver planos en folder adjunto

9.2 Anexos

Ver planos en folder adjunto