

**DETAILED ENGINEERING FOR EXPANSION AND AUTOMATION OF
PUMPING PROCESS IN OIL WELLS****INGENIERÍA DE DETALLE PARA AMPLIACIÓN Y AUTOMATIZACIÓN DEL
PROCESO DE BOMBEO EN POZOS PETROLEROS**

MSc. Fabián Jiménez López*, **MSc. Oscar Rodríguez Díaz***
PhD. (c) Pedro Cárdenas Herrera**

* **Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia**, Sogamoso.
Calle 4 Sur, No. 15–134, Colombia.
E-mail: oscar.rodriguez@uptc.edu.co

** **Universidad Nacional de Colombia**, Bogotá.
Cra. 30, No. 45 – 03, Edificio 453, Bogotá, Colombia.
E-mail: pfcardenash@unal.edu.co

Abstract: This paper describes the methodology and development of the detailed engineering of an Ecopetrol S. A. project to increase the pumping and transport capacity of hydrocarbons in a polyduct, taking into account the requirements and characteristics of the process considerations, technology, equipment and distribution areas, and establishes the results and impacts obtained from this work (Case Study: Pozos Colorados Station - Magdalena, Colombia).

Keywords: Well pumping system, oil shipping, engineering design, process automation, industrial instrumentation.

Resumen: En este trabajo se describe la metodología de trabajo, y el desarrollo de la ingeniería de detalle de un proyecto de Ecopetrol S. A. para aumentar la capacidad de bombeo y transporte de hidrocarburos en un poliducto, teniendo en cuenta los requerimientos y consideraciones de características del proceso, tecnologías, áreas y distribución de equipos, y se expresan los resultados e impactos obtenidos de este trabajo (Caso de estudio: Estación Pozos Colorados – Magdalena, Colombia).

Palabras clave: Bombeo de Pozos, transporte de petróleo, diseño en ingeniería, automatización de procesos, instrumentación industrial.

1. INTRODUCCIÓN

En el desarrollo de proyectos de ingeniería y automatización de procesos, se hace indispensable dimensionar y planificar con un equipo de trabajo interdisciplinar estudios de factibilidad técnica y económica para determinar el grado de inversión y maduración de los proyectos, para tener una visión general del proceso y definir alternativas que deben ser estudiadas en las fases siguientes de ingeniería.

Las fases de ingeniería posteriores corresponden a la ingeniería conceptual, la ingeniería básica y la ingeniería de detalle, previo a la implementación definitiva del proyecto. En la fase de *Ingeniería Conceptual* se realiza la definición de las especificaciones o parámetros que concreta un proyecto, tales como: características del proceso, equipos, tecnologías, áreas o sistemas, distribución de equipos, arquitectura del proceso y esquema del proceso (*Plot Plan*) (Anaya, 1998).

De las decisiones que se tomen en este periodo, dependen el buen desempeño, el tiempo de ejecución, el costo de inversión y la operación de la planta terminada. Durante esta fase, es usual que se defina la tecnología de los procesos, y esta selección es de vital importancia puesto que permite optimizar el capital necesario para la ejecución y operación del proyecto así como definir la garantía de los equipos, en términos de confiabilidad y resultados.

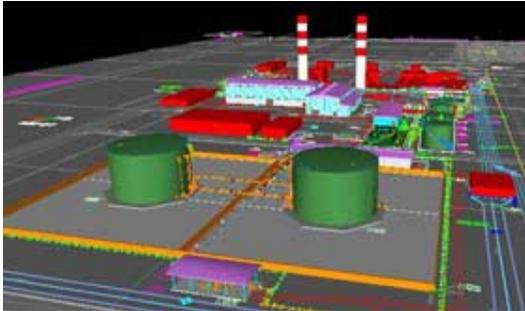


Fig. 1. Ejemplo de Plot Plan de una planta petrolera, Fase de Ingeniería Conceptual.

Posteriormente en la fase de *Ingeniería Básica* un equipo interdisciplinar de ingeniería optimiza los proyectos mediante la aplicación de procedimientos conocidos como *ingeniería de valor*, donde se analizan y aplican medidas correctivas que buscan maximizar los recursos y disminuir los costos del proyecto manteniendo su funcionalidad, calidad y confiabilidad inicial o mejorándolas (Talleres HAZOP); sin dejar de lado las especificaciones planteadas, con el propósito de mejorar la prospección del proyecto diseñado previamente (Mukhopadhyaya, 2009; Jianhua et al, 2010; Mullick, 2007).

En la fase ingeniería básica también se realiza el análisis de riesgo y seguridad funcional del proyecto para asegurar que todos los factores de peligro sean tenidos en cuenta, para poder manejar y mitigar su impacto durante las demás etapas de desarrollo, considerando aspectos como su impacto ambiental y hacia las comunidades.

La fase de *Ingeniería de Detalle* corresponde al manejo del proyecto en todas sus etapas teniendo en cuenta los procedimientos internos en cada área de diseño (civil, mecánico, hidráulico, eléctrico, instrumentación, automatización, entre otros), que garantizan la integralidad del Diseño. En esta fase se somete a revisión la ingeniería básica para detectar observaciones y proponer los ajustes que correspondan hacerse.

Así mismo en esta fase se desarrollan metodologías de control y seguimiento para monitorear de manera estricta el progreso y la calidad de los diseños, para garantizar la implementación del proyecto de manera segura, ética, cumpliendo con los parámetros de calidad, costo y plazo requeridos.

En este trabajo se describe el desarrollo de la ingeniería de detalle realizada a la estación Pozos Colorados de Santa Marta en el Departamento de Magdalena, Colombia con el propósito de ampliar la capacidad de bombeo y transporte de hidrocarburo hacia la Estación Galán en Barrancabermeja, Departamento de Santander, de 60 a 120 KBPD (*Thousand Barrels Per Day*).

Inicialmente se define la contextualización, descripción y especificaciones del proyecto, para continuar con la explicación del proceso de reproducción de planos y demás documentación generada. A continuación se define la jerarquía de sistemas del proyecto, para finalizar con el impacto económico, ambiental y productivo del mismo.

2. DESCRIPCIÓN Y ESPECIFICACIONES DEL PROYECTO

El propósito del proyecto de Ingeniería de Detalle que se realizó a la estación Pozos Colorados ubicada en Santa Marta en el Departamento de Magdalena, consistió en la ampliación de capacidad de bombeo para el envío y recepción de hidrocarburo (Nafta y Diesel) de 60 a 120 KBPD (*miles de barriles por día*) hacia la estación Galán en Barrancabermeja, Santander, para dar inicio, actualmente a la ejecución de la obra, en donde se realizan visitas periódicas para brindar asesoramiento de interpretación correcta de los documentos, y solventar aciertos y errores de las soluciones propuestas en los planos (TIPIEL, 2010).

Dentro del diseño de ingeniería de detalle se ajustaron los valores y especificaciones técnicas de la ingeniería básica (admitida correcta y previamente diseñada), mediante la revisión y detección de observaciones para planificar y ejecutar el proyecto de ampliación de capacidad.

La ingeniería de detalle, se realizó conforme a normas y procedimientos establecidas por la Contraloría Delegada en minas y Energía de la Republica de Colombia y ECOPETROL S.A., planteadas en la propuesta de contrato del proyecto y los criterios de seguridad ajustando la

caso de que sea necesario, pero que de manera alternativa puede trabajar como bomba de relevos, es decir, puede ser utilizada en cualquier momento para cumplir una función secundaria, como por ejemplo tomar el fluido desde el tanque de relevos TK-705 (Ver Fig. 2) hacia los tanques de almacenamiento.

Estas bombas de transferencia bombean volúmenes de crudo hasta de 70.000 BPD las cuales tienen incorporado un motor eléctrico de 375 HP y pueden alcanzar una presión de succión máxima de 600 psi. En la Fig. 4, se observa el diagrama de instrumentación y tubería diseñado para la línea de bomba Booster adicional en donde se estableció implementar una válvula de entrada de bola de referencia ZSV 1450A que posee sensores de posición ZLC (Close) y ZLO (Open) para indicar su estado. Esta información es enviada al sistema de control.

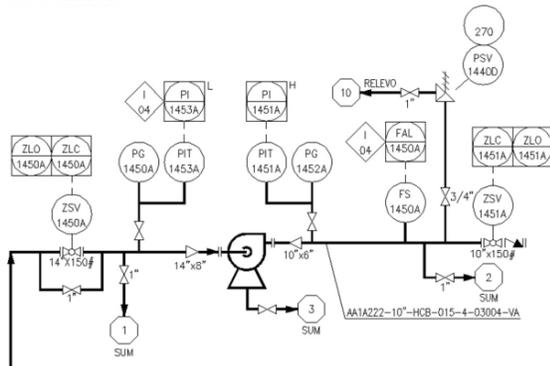


Fig. 4. Diagrama P&ID Línea nueva con bomba Booster.

De igual forma se estableció implementar un lazo de control de baja presión (L) para succión a la entrada de la bomba (PI 1453A), con el fin de que ésta se deshabilite a bajas presiones de operación, ya que la bomba no puede estar operando en vacío, lo que podría acarrear daños sobre el equipo. En este sentido, si se llegara a presentar esta situación, se activa la alarma por baja presión (Rombo I 04) y la lógica de enclavamiento diseñada apaga la bomba (interlock) (Drath et al, 2006).

En la descarga de la bomba se implementó igualmente un lazo de control de presión alta pero esta vez es por alta presión (H) ubicado en el instrumento PI 1451A. Más adelante de la descarga se ubicó un sensor todo o nada de flujo FS 1450A que trabaja por dispersión térmica, el cual envía un cero lógico al sistema de control cuando el caudal es menor a un mínimo especificado y si el flujo sobrepasa el valor máximo establecido, un uno lógico es enviado.

Como se puede observar también se asoció una válvula de alivio de presión PSVI 1440 D la cual tiene la misión de aliviar la línea en caso de alta presión, esta válvula está diseñada para activarse a la máxima presión establecida para la línea de la bomba, enviando el crudo hacia los tanques de relevo a través de la bomba de relevo.

La configuración y diseño del sistema de bombeo en paralelo garantiza que las dos bombas que trabajan en forma simultánea tengan acceso a la succión desde la fuente, y la descarga de las bombas se la realiza a una línea común que lleva el fluido hasta su destino. Esta configuración se utiliza para variar las condiciones de caudal de bombeo en la descarga, pero manteniendo la presión aproximadamente constante.

2.3. Sistema de Filtrado

Este sistema está compuesto por cuatro filtros tipo canasta los cuales tienen la función de garantizar que el fluido que se transporte esté libre de impurezas o partículas suspendidas. Posterior a esta etapa se encuentra el sistema de medición que está compuesto por elementos que tienen contacto directo con el fluido en donde se debe garantizar un producto limpio para no alterar las condiciones de su medición.

Es obligatorio contar con filtros que garanticen la integridad mecánica del equipo de medición de la etapa posterior, pero adicionalmente el filtrado es indispensable para proteger equipos costosos como válvulas, bombas, turbinas y medidores evitando que partículas sólidas, residuos o cualquier partícula en suspensión los averíen. El filtrado dimensionado es el apropiado ya que depende de la máxima caída de presión que acepta el proceso, diámetro de tubería, densidad y temperatura del fluido y la recomendación de máximo tamaño de partícula especificado.

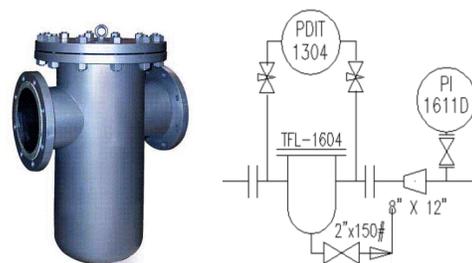


Fig. 5. Filtro tipo canasta y diagrama.

2.4. Sistema de Medición

En este sistema se realiza el registro del fluido que se envía desde la estación de despacho hasta los diferentes puntos a los que debe llegar. Para

realizar la medición de la cantidad de fluido la planta contaba inicialmente con dos brazos de medición, donde cada brazo fue diseñado para detectar hasta 4000 Barriles de crudo por hora.

El diseño realizado para mejorar esta área propuso trabajar con tres brazos de medición, con el fin de que operen dos (2) y el brazo de medición adicional en *stand by*, para garantizar redundancia si alguno de los brazos falla y evitar de esta manera que se afecte el funcionamiento de la planta.

El brazo nuevo se diseñó con la mismas características físicas de los brazos existentes y con las misma capacidad de transferencia de 4000 BPH (barriles por hora). En la Fig. 6 puede observarse el patín o brazo de medición nuevo.

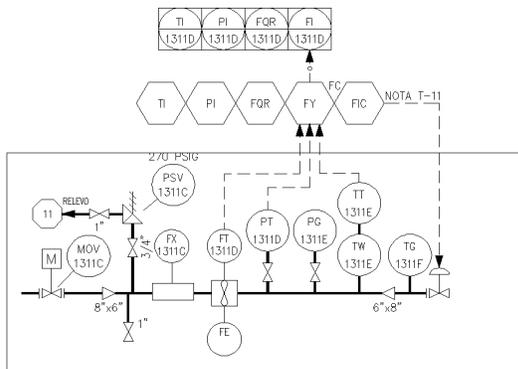


Fig. 6. Brazo de Medición adicional diseñado.

Como se puede observar en la Fig. 6, el sistema de medición consta de diferentes elementos que realizan un aporte para que la medición realizada sea la correcta los cuales se describen a continuación. Una válvula de bola motorizada de entrada *MOV 1311C* permite el paso de flujo por el brazo de medición, y además posee una válvula de seguridad *PSV 1311C*, la cual está diseñada para abrirse a la máxima presión que puede soportar el brazo de medición que es de 207 *psi* según especificaciones (Creus, 1997).

Para la medición de transferencia de custodia de hidrocarburos refinados, el medidor de flujo ampliamente utilizado es el medidor tipo turbina, que requiere ser instalado y recalibrado en sitio mediante un probador convencional o un probador compacto *FX 1311C*. Estos medidores tienen dos bobinas colectoras de pulsos (*pick-up coil*) instaladas de tal forma que se generen trenes de pulsos con 90° eléctricos de desfase, estos pulsos son enviados por el transmisor *FT 1311D* hacia el controlador digital de flujo *FY*.



Fig. 7. Vista general del sistema de medición.

El uso de sensores como la turbina es recomendado para la medición de caudales de crudo refinado elevados, ya que gracias a su tamaño compacto, a su moderada caída de presión a través del medidor y, a su excelente linealidad sobre el rango de flujo hasta $\pm 0.07\%$ en un margen de 10:1. Dentro de las características de este sensor de flujo se estableció utilizar acondicionadores de flujo aguas arriba y aguas abajo del sensor, con el fin de que la medida de flujo sea la mejor (Roca, 2003).

2.5. Sistema de Fiscalización

La necesidad de calibrar periódicamente un medidor es un requerimiento para obtener una medición precisa y para disminuir la incertidumbre asociada a ésta. Conforme a su exactitud se garantiza la calidad, contabilización, facturación y registro del crudo para su transferencia, ya que si esta por fuera de los límites de su carta de control, debido a las variaciones en las características del fluido, se puede provocar condiciones de mal funcionamiento del proceso y desgaste de equipos (Lipták, 2003).

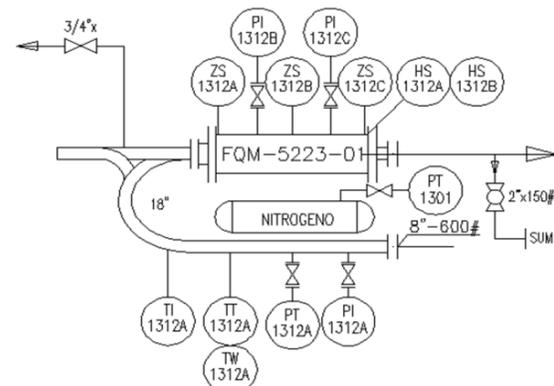


Fig. 8. Sistema de Fiscalización diseñado.

Los sistemas de fiscalización utilizan probadores de desplazamiento mecánico que operan con el principio de desplazamiento positivo de un

volumen conocido de líquido en una sección de tubería calibrada entre dos detectores. Dicho desplazamiento se lleva a cabo por medio de una esfera, un pistón o un desplazador que se desliza a través de la tubería del probador.

La instalación de la unidad de fiscalización está conectada en la línea de descarga, para medir el crudo en movimiento procedente de los brazos de medición. El diseño se planteó para realizar una transferencia automática de custodia del crudo LACT (*Lease: Automatic Custody Transfer*), para garantizar calidad y cantidad del hidrocarburo transferido; disponiendo de una unidad de rechazo para asegurar que la calidad del producto esté dentro de los rangos aceptables (API, 2010).



Fig. 9. Vista general de Unidad LACT.

La unidad LACT es una importante herramienta en la evolución de la automatización de transferencia de hidrocarburos, la cual se va mejorando con el tiempo y es ampliamente aceptada en la Industria del Petróleo ya que está normalizada por la API (*American Petroleum Institute*) y su instalación se justifica para reemplazar un trabajo repetitivo hecho por uno o más medidores, que redundan en un ahorro de tiempo y eliminación del error humano, aunque cabe notar que la medición automática tampoco es exacta mientras que esté afectada por el error mecánico, que a diferencia del error humano, puede controlarse mediante verificación periódica en el mantenimiento y calibración del instrumento.

2.6. Bombas Principales de Distribución

El sistema de bombeo está compuesto por dos (2) bombas que operan en paralelo las cuales se dimensionaron para cumplir con el flujo a 120 KBPD y una (1) bomba en *stand by* por redundancia. Estas unidades pueden bombear 120 KBPD de Nafta y 113 KBPD de Diesel. En esta área no fue necesario modificar la ingeniería de diseño básica.

2.7. Sistema de Relevo

Se encuentra compuesto por un tanque de relevo con capacidad de 5 KBPD para recolectar los alivios de las válvulas de seguridad del poliducto, estos alivios recolectados se envían por medio de las mismas bombas de trasiego a los tanques de almacenamiento de producto. Para este sistema únicamente se ajustó la inserción de válvulas de seguridad.

2.8. Trampa de Despacho de Crudo

La trampa de despacho corresponde al suministro de un equipo para la limpieza de la línea por la que se envía el hidrocarburo, este equipo es denominado marrano, diablo o "pig" y su envío se hace según políticas de la planta a cargo, puede ser diario semanal o como se establezca en el plan de mantenimiento. Esta trampa es totalmente nueva y requiere diferentes instrumentos para su diseño.

En la Fig. 10 puede observar el esquema general de la trampa de despacho la cual trae asociada un arreglo de válvulas motorizadas con el fin de tener la opción de envío a través de la trampa o directamente sobre el poliducto.

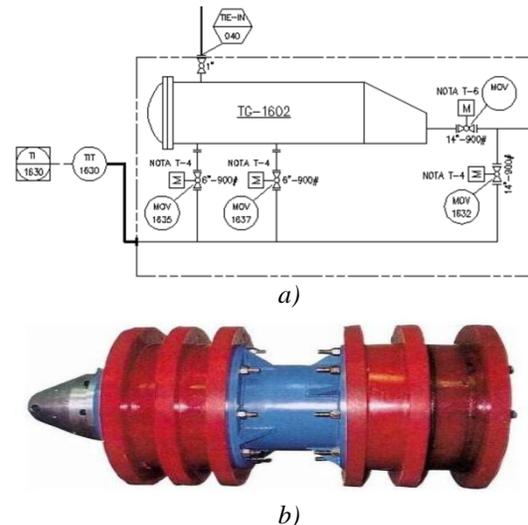


Fig. 10. Trampa de Despacho a) Diagrama Esquemático. b) Pig.

3. GENERACIÓN DE DOCUMENTOS

Dentro de los proyectos de ingeniería se generaron diferentes documentos por departamentos de ingeniería que fueron aplicados como entradas para el proyecto a implementar. A continuación se resume una breve explicación de los documentos generados en el área de Automatización e Instrumentación.

3.1 Listado de Instrumentos y Base de Datos

Se tuvo en cuenta todos los instrumentos que se requieren para los diferentes lazos de control e instrumentación del proyecto, de tal forma que se trabajó sobre una plataforma base de datos *Smartplant® Instrumentation* en la cual se ingresaron los instrumentos con sus características principales, tales como su ubicación, tipo de instrumento, el lazo en el que se encuentra, tipo de señal que maneja (análoga, digital, *on off*), rangos de operación, entre otros (Intergraph, 2011).

Así mismo, los equipos que se requirieron para el proceso se tuvieron en cuenta en esta lista, con sus respectivas señales de entrada y salida al sistema de control. Tomando como ejemplo una bomba motorizada, ésta envía señales al cuarto de control tales como sensado de vibración, temperatura de operación, si esta energizada o no o si esta en modo de control local o remoto.

También en esta base de datos se dispusieron de los sistemas de supervisión que debe poseer la planta como el sistema de alarmas o emergencia, el sistema de control y el sistema *Fire & Gas*. Con base en los planos P&ID emitidos por el proceso, se enlazó y genero el listado de instrumentos que conforman los sistemas de Control y Protección de la Planta incluyendo la siguiente información: Identificación (Tag), Servicio, Componentes, Número de Hoja Técnica, Número de Requisición de Material, Número de P&ID y Número de del equipo o línea.

3.2. Planimetrías

Los documentos generados a partir de la base de datos documental son las planimetrías de instrumentos, de *fire & gas* y de telecomunicaciones, donde se define la ubicación e identificación de los diferentes tipos de instrumentos que se aplican en la planta.

De igual forma el departamento de obras civiles genera las planimetrías de edificios, cuartos técnicos y de control, los cuales hacen parte de estos documentos, donde se facilitan las labores de instalación durante la fase de construcción del proyecto. Estos documentos se basan en los *plot plan* emitidos por el departamento de tubería, donde se dibuja sobre estos documentos la ubicación exacta de los transmisores, elementos finales de control, cajas de empalme etc.

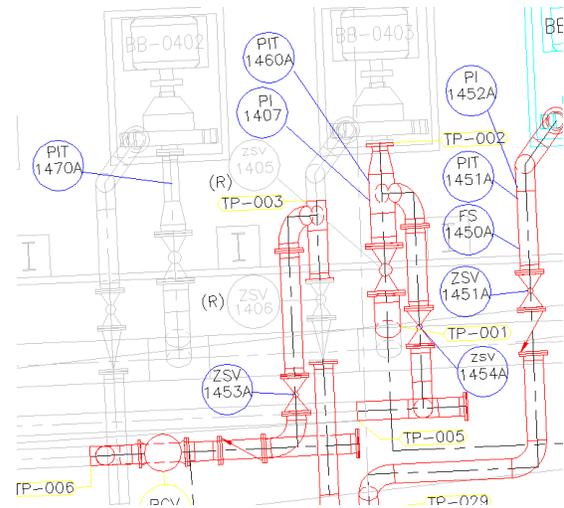


Fig. 11. Ejemplo de Planimetría

3.3. Recorridos de cables y diagramas de cableado

El recorrido de cables y los diagramas de cableado de instrumentación, cajas de empalme y gabinetes, establecen la forma de interconectar los instrumentos con los sistemas de cuarto de control y de telecomunicaciones y sirven para realizar labores de tendido de cables y conexión durante la fase de implementación del proyecto, este documento es emitido únicamente en la fase de detalle.

En este documento se especificó con precisión la ruta donde pasaran los cables de instrumentos, detallando si el recorrido es de tipo aéreo, superficial, subterráneo o mixto. Si es de tipo aéreo se señalan las respectivas bandejas que soportan el cableado; así mismo, si el recorrido es superficial, se simboliza con una línea sencilla y si el recorrido es de tipo subterráneo se deben diseñar con detalle los ductos subterráneos, también a escala, por donde pasaran los ductos que albergan los cables y las cajas de halado necesarios para halar los cables después de cierta longitud facilitando labores de instalación.

3.4. Típicos de Montaje

Los típicos de montaje son especificaciones gráficas que permiten saber la forma de conexión de los instrumentos con los elementos de campo, ya sean tanques, hornos, compresores, etc., o con las líneas de proceso. Los típicos de montaje se generaron mediante una base de datos de *Oracle*, donde se trabajan todos los códigos para cada instrumento y se genera un reporte de los típicos que se requieren para toda la planta. Aquí existen 4 clases de Típicos de Montaje: Eléctricos, mecánicos, neumáticos y de soporte.

3.5. Arquitecturas de Diseño

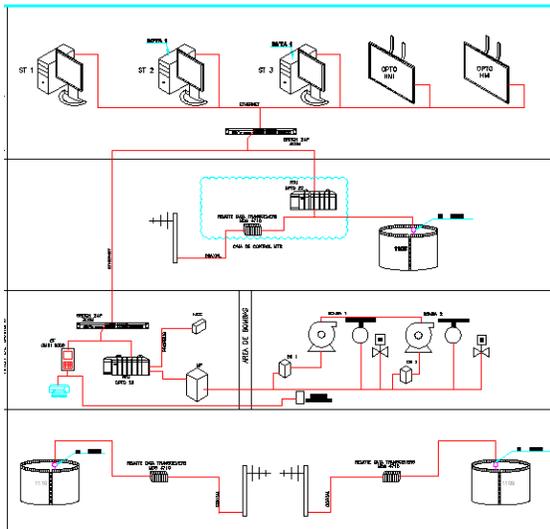


Fig. 12. Ejemplo de Arquitectura de Diseño

En las arquitecturas se visualiza el camino que tienen los datos desde que son capturados por los instrumentos de medición hasta llegar a la visualización de los operarios, es decir, se establece la ruta desde que la señal adquirida por el sensor y transmisor se dirige hacia la caja de empalme, y se especifica si se tiene un cuarto de control remoto o si llega directamente al cuarto de control principal como se muestra en la Fig. 12.

4. JERARQUÍA DE SISTEMAS

Para el proyecto de Pozos colorados y para todos los proyectos, se deben contemplar la implementación de los sistemas de seguridad en caso de falla del Sistema de Control, para garantizar llevar al proceso a un estado de operación segura antes de que se excedan los límites de funcionamiento, en la Fig. 13 se observan los diferentes sistemas que intervienen para la estación de Pozos Colorados.



Fig. 13. Jerarquía de Sistemas

En la Fig. 14, se observa un ejemplo representativo de los sistemas anteriormente descritos aplicado a una línea de carga y descarga de la bomba Booster nueva que se diseño para el proyecto de Pozos Colorados.

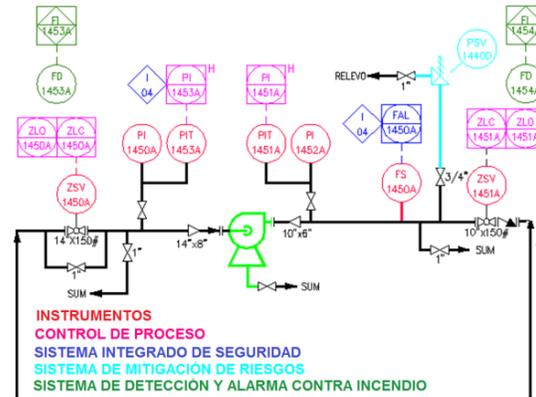


Fig. 14. Sistemas de seguridad para línea de bomba

5. IMPACTO DEL PROYECTO

El trabajo realizado para la ampliación de la capacidad de bombeo de la planta de distribución Pozos Colorados aportó un trabajo interdisciplinar que se reflejo en ganancias económicas significativas para la región donde se encuentra instalada, gracias a que en la actualidad posee mayor capacidad de distribución de combustible Diesel y Nafta, generando un incremento en las ventas del producto y aumentando la eficiencia de la planta.

Uno de los requerimientos del proyecto fue plantear una propuesta de ingeniería con la menor inversión posible en equipos, por lo que se realizó una evaluación del sistema existente y se obtuvo un informe de disponibilidad que obtuvo como resultado un ahorro estimado del 30% en el costo del proyecto. Este estudio incluyó la evaluación del sistema de control, reubicación de instrumentación, utilización de computadores de flujo operativos, entre otros.

De igual manera en la totalidad del diseño se tuvo en cuenta la evaluación costos versus prestaciones de operatividad, buscando siempre lograr un ahorro con elementos de gran calidad.

Para la ampliación se realizaron diseños aplicando normatividad vigente y considerando la selección de tecnologías existentes en la planta y nuevas en el área de instrumentación y control, en donde se

destacan las normas API, NAMUR, ISA 5.1, y los instrumentos de medición de caudal por turbina y desplazamiento positivo, bombas hidráulicas de última generación, transmisores de temperatura y presión inteligentes, así como redes de válvulas neumáticas e hidráulicas monitorizadas (API, 2010); (Ecopetrol, 2007); (DIN, 2008); (NAMUR, 2001, 2007).

El impacto académico fue sustancial debido a que en la asesoría de este trabajo y visitas de campo se adquirieron conocimientos para realizar aportes a los contenidos del programa académico de Ingeniería Electrónica en el área de instrumentación, control, automatización y comunicaciones industriales aplicados a un contexto industrial real. Desde el punto de vista ambiental, el transporte de diesel y nafta limpio y libre de impurezas gracias al manejo integral de control de calidad y seguridad durante el proyecto, redujo significativamente la concentración de contaminantes transferidos al poliducto y la detección oportuna de fugas de hidrocarburo.

6. RECONOCIMIENTO

Los autores dan reconocimiento a la Ingeniera Martha Cervantes por sus aportes y documentación.

5. CONCLUSIONES

Se realizó un estudio detallado de los estándares y normas que se aplican en la Industria de Hidrocarburos *Oil & Gas* para garantizar la calidad de los diseños de ingeniería y su respectiva construcción sin fallas, accidentes o ineficiencia en los procesos, ya que la importancia de cumplir con las normas Industriales son trascendentales para garantizar la seguridad de los operarios, el medio ambiente y la reputación y estabilidad de la empresa.

El análisis de los planos isométricos establecidos por los Departamentos de Tubería, Proceso, Eléctrico, Civil y Mecánica, permitieron ubicar los instrumentos de campo con sus respectivos típicos de montaje para garantizar la instalación de las obras sin inconvenientes por cruces estructurales, de línea o de ductos.

Existieron dificultades en cuanto a las vaguedades de algunas especificaciones planteadas por parte de la Estación Pozos Colorados, ya que en varias ocasiones se requirió información específica y

puntual de algunos parámetros del proceso y no se tenían respuestas precisas a las solicitudes, ya que en algunos apartes del proyecto no existía ningún tipo de memoria de cálculo o planimetría, por tal razón en ocasiones se hizo necesario calcular y realizar levantamiento de procesos en la planta.

REFERENCIAS

- Anaya, A. (1998). *Implantación de equipos en plantas petroquímicas*, Instituto Mexicano del Petróleo, México.
- Mukhopadhyaya, A. K. (2009). *Value Engineering Mastermind*, SAGE Publications Inc, New Delhi, India.
- Jianhua, Z.; Guangfei, Z. and Guangfei, X. (2010). “*Value Engineering Contract Management in the Stage of Construction for Building Project*”, Proc. In International Conference on E-Product E-Service and E-Entertainment ICEEE, Vol. 1, pp. 1 – 5.
- Mullick, S. and Dhole, V. (2007). “*Consider integrated plant design and engineering Innovative methods are vital in new project management*”, Journal in Hydrocarbon Processing, Vol. 1, pp. 81–85.
- Xin, X; Beike, Z; Xin, M. and Chongguang, W. (2010). “*Improvement and Application of HAZOP Analysis for Batch Process with SDG*”, Proc. In International Symposium on Intelligence Information Processing and Trusted Computing IPTC, Vol. 1, pp. 390 – 394.
- IEEE Std, (2011). *IEEE Std 1490-2011, Guide-Adoption of the Project Management Institute (PMI[®]) Standard*, IEEE Standard Association, 4th Edition, New York, pp. 1 – 508.
- TIPIEL, S.A. (2010). *Bases De Diseño De Proceso Para Proyecto 1244_85 Ingeniería Detallada Ampliación Bombeo Pozos Colorados A 120 KBPD*, TIPIEL S.A., Bogotá.
- Drath, R.; Fay, A. and Schmidberger, T. (2006). “*Computer Aided Design and implementation of interlock control code*”, IEEE International Conference on Computer Aided Control System Design, Vol. 1, pp. 2653 – 2658.
- API, Std. (2010). *Manual of Petroleum Measurement Standard MPSM, Chapter 4. Proving System and Chapter 5 - Metering*, American Petroleum Institute API, Third Edition.

- Intergraph, E. (2011). *SmartPlant P&ID Software Support*, Intergraph Enterprise, <http://www.intergraph.com/products/ppm/smartplant/pid/default.aspx> (25 de Sept. 2012).
- Creus, A. (1997). *Instrumentación Industrial*, Ed. Alfaomega, Marcombo, 6ta Edición, Barcelona, España.
- Roca, A. (2003). *Control de Procesos*, Ed. Alfaomega, 2da Edición, Barcelona, España.
- Lipták, B. (2003). *Process Measurement and Analysis: Instrument Engineers' Handbook*. CRC Press, 4th Edition, Vol. I. New York, USA.
- Ecopetrol, Std. (2007). *Estándar de Ingeniería para la medición Dinámica de Cantidad y Calidad de Hidrocarburos Líquidos*, ECOPETROL. ECP-VST-P-INS-ET-018
- DIN, Std. (2008). *DIN EN 61360 (draft): Standard data element types with associated classification scheme for electric components – Part 1 and 2: Definitions and Dictionary Schema*, Deutsches Institut für Normung. .
- NAMUR, Std. (2001). *NE 91: Requirements for Online Plant Asset Management Systems*, User Association for Automation in Process Industries.
- NAMUR, Std. (2007). *NE 100, Version3.1: Use of lists of Properties in process Control Engineering Workflows*, User Association for Automation in Process Industries.