

DISEÑO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO PARA EL DESPACHO, MEDICION Y MONITOREO EN UN OLEODUCTO COMPARTIDO

Alberto J. Baumeister, Katuska C. Márquez y Jorge Zambrano
INELECTRA, S.A.C.A.

Abstract

Dentro de los proyectos previstos para manejar el crudo en un oleoducto compartido para transportar crudo extra-pesado de la Faja Bituminosa del Orinoco en Venezuela, se acometió el diseño de nuevas facilidades que contemplaron entre otros, instalar un sistema de bombeo, tanques de almacenaje y un sistema de lanzamiento de esferas y medición fiscal, que permitiera en forma automática recibir y despachar el crudo de las empresas operadoras en ciclos de 48 horas.

El crudo estabilizado proveniente de las facilidades de producción y transportado a través de oleoductos independientes, sería medido utilizando unidades LACT (*lease and custody transfer*) y recibido en tanques en forma continua.

Por las características disímiles entre los productos manejados, y a efectos de evitar contaminación entre los mismos, el despacho de éstos sería realizado en forma discontinua (*batch*), en ciclos de 48 horas a un flujo de 469 KBPD de crudo extra-pesado diluido (DCO), utilizando esferas al comienzo y final de la transferencia de cada lote.

El sistema de medición y custodia para el despacho, mediría los lotes, y en forma automatizada controlaba la alineación y lanzamiento de esferas entre lotes.

Al otro extremo del oleoducto, a la llegada 155 km aguas abajo de la estación de bombeo, se instaló un sistema de recibo de esferas, unidades de medición fiscal y válvulas para alinear el crudo que se despachaba hacia el Complejo Mejorador de Crudo que correspondiera.

En la actualidad, el sistema está totalmente construido y operando, y se está acometiendo la conceptualización para su expansión a efectos de permitir la operación de un usuario adicional, copando la capacidad del oleoducto de 800 KBPD.

Introducción

El transporte de crudos de diferentes propiedades y/o distintos usuarios a través de un mismo oleoducto, es una operación comúnmente utilizada a los efectos de maximizar su capacidad.

Cuando la contaminación entre los fluidos transportados es un factor a considerar, se hace necesario utilizar algún mecanismo que permita su separación física a efectos de evitar contaminación entre los lotes transportados en el mismo oleoducto. Dependiendo de los volúmenes manejados de cada despacho y la longitud del oleoducto, existirán distintos lotes viajando a través del mismo.

Las propiedades (viscosidad, densidad, conductividad térmica), topografía, disposición del la tubería a lo largo del trayecto (enterrada, aérea), características del suelo y la temperatura ambiental, influyen el régimen de flujo, las mediciones y los requerimientos de bombeo.

Aparte de la complejidad en el manejo de los diferentes fluidos, existe toda una logística operacional que asegure un grado de automatización tal que las mediciones de los volúmenes manejados sean precisas.

En este estudio se analiza y describe el procedimiento y metodología empleados para diseñar el sistema de bombeo y medición de un oleoducto que opera bajo las características descritas, incluyendo sus capacidades, limitaciones y ventajas.

En el mismo se detalla la filosofía empleada para el manejo y medición de un sistema de transferencia de crudo extrapesado diluido (DCO) en lotes (o “*batches*”) que son transportados a través de un oleoducto de 155 km longitud y 42” de diámetro. El sistema fue diseñado inicialmente para operar con dos usuarios, una capacidad de manejo de 469 kbpd y previsión para ampliar el número de usuarios y volumen transportado de crudo de hasta 800 kbpd. En la actualidad, el sistema se encuentra operando cerca de su capacidad inicial de diseño.

El sistema fue diseñado para realizar medición fiscal en línea, utilizando unidades de custodia y transferencia (“*LACT – Lease and custody transfer*”) de acuerdo a los criterios y normativas venezolanas establecidas por Petróleos de Venezuela, S.A. (PDVSA), al comienzo del oleoducto principal y a su llegada 155 km aguas abajo. Adicionalmente, se instalaron dos unidades LACT de recepción en los oleoductos secundarios de las operadoras que comparten el sistema de transferencia de crudo.

Se instaló un sistema de lanzamiento y recepción de esferas para la separación física de los fluidos, por medio del cual se permite contabilizar los volúmenes de crudo despachados en los lotes y que son controlados de acuerdo a una estrategia secuencial automatizada de apertura y cierre de válvulas motorizadas de alineación y de compuertas hacia el oleoducto y de los equipos lanzamiento y recepción de las esferas.

Desarrollo

La Faja Petrolífera del Orinoco es la acumulación de Petróleo extrapesado más grande en Venezuela, con alrededor de 267 billones de barriles ($4.25 \times 10^{10} \text{ m}^3$) de crudo en reservas probadas para el País.

A finales de los años setenta, comienzos de los ochenta, la empresa estatal PDVSA inició la producción de este tipo de crudos, confrontando problemas para su manejo por la elevada viscosidad, utilizando una nueva tecnología en la que se producía una emulsión a boca de pozo que contenía cerca de 30% de agua, la cual se denominó comercialmente ORIMULSION.

Posteriormente, se encontró la conveniencia de bajar la viscosidad del crudo diluyéndolo con un fluido más liviano para transportarlo hacia las facilidades de producción, donde se desgasicaba, deshidrataba, desalaba y estabilizaba, para luego fraccionarlo, retornar de nuevo el diluyente hacia los pozos y producir el combustible ORIMULSION.

En los años noventa, con la consolidación de nuevas tecnologías de conversión profunda (Coquificación retardada, hidrocrackeo e hidrotratamiento), la explotación de la Faja del Orinoco se ha orientado más hacia la producción de crudos sintéticos, de más alto valor económico.

En la actualidad, la faja produce cerca de 900 kbpd de crudo extrapesado que se diluye para su manejo y se transporta desde las áreas de producción en la Faja del Orinoco, hacia las facilidades

donde se acondiciona y estabiliza para su transporte hacia la costa, alrededor de 200 km al norte, donde se encuentran las Plantas de Producción (“Upgraders” o Mejoradores) de los crudos sintéticos.

El transporte del crudo diluido hacia los mejoradores se hace a través de oleoductos en forma compartida, para hacer uso óptimo de su capacidad y minimizar el impacto económico, a fin de mejorar la viabilidad económica de los proyectos de producción de los crudos sintéticos.

Las operadoras concesionarias han realizado asociaciones estratégicas con la empresa estatal PDVSA, a través de las cuales operan, manejan y producen los crudos sintéticos, en la forma anteriormente descrita.

En la actualidad, hay 6 operadoras, cuatro de las cuales producen Crudos Sintéticos y dos de ellas producen Orimulsión. El transporte del crudo diluido y estabilizado desde cada una de las facilidades se realiza en oleoductos que transportan entre 270 kbpd y 520 kbpd de 26” a 42” de diámetro.

La utilización de los oleoductos en forma compartida, ha sido definida en base a la cercanía relativa entre las facilidades de producción de cada operadora. Actualmente, hay tres oleoductos que manejan el crudo diluido. Cada uno de estos, maneja por lotes y en ciclos de tiempo a dos operadoras. El transporte por lotes ha sido definido en forma tal que se asegura el suministro continuo de crudo a los respectivos complejos mejoradores.

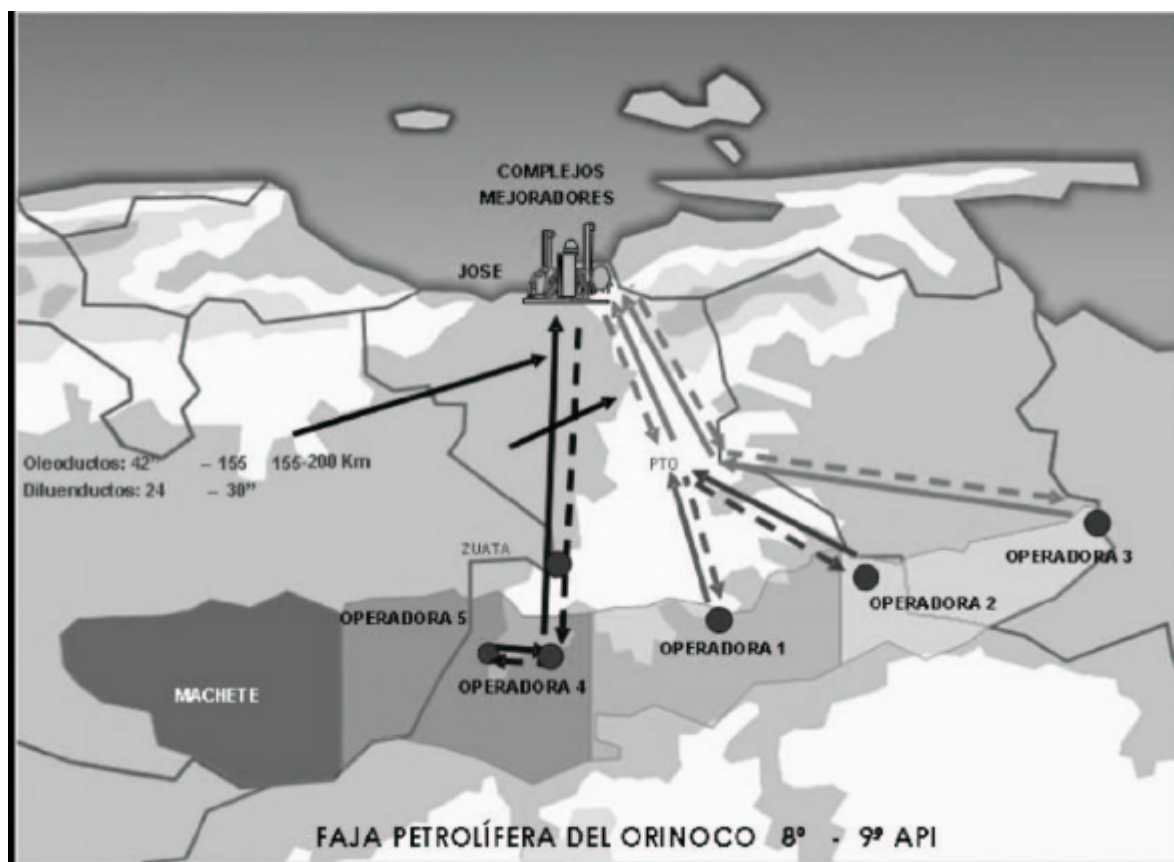


FIGURA #1. Esquema de Transferencia Crudo desde los Centros de Producción hasta los Complejos Mejoradores de Crudo en la Faja Petrolífera del Orinoco

Descripción del Sistema Diseñado

En el caso objeto de este trabajo, se discute el Proyecto mediante el cual se diseñó el sistema de transporte y medición utilizado para manejar los crudos que provenían de dos facilidades de producción y se recibirían en una estación común de rebombeo, para luego transferirlos a las plantas de mejoramiento de crudo, 155 km aguas abajo.

Los crudos diluidos y estabilizados serían bombeados desde cada una de las facilidades de producción a través de oleoductos independientes (30”), distantes de la estación común de rebombeo 58 km y 141 km respectivamente.

La recepción de cada uno de los crudos sería realizada en tanques de 250 kbbl cada uno, dos para cada operadora, con medición fiscal para cada operador, a los fines de contabilizar el crudo que llegaba de cada una de las facilidades de producción.

Cabe destacar que el Estado Venezolano, mediante su ente regulador, el Ministerio de Energía y Petróleo (MEP), exige que cada operador disponga un sistema de medición en cada límite de batería entre instalaciones desde y hacia donde se transfiere crudo, a efectos de fiscalizar los volúmenes de crudo que se manejan.

El crudo diluido de cada operadora se recibiría en forma continua a los tanques, pero el despacho hacia los mejoradores sería realizado en forma discontinua a través de un sistema de bombas de transferencia con medición de los lotes de crudo, para su posterior recibo en los complejos mejoradores.

A fines de evitar contaminación de los lotes transferidos, los crudos serían enviados utilizando un dispositivo que los separara físicamente. Por tales razones, se debió incluir en el diseño adicionalmente, un sistema automático de lanzamiento y recepción de esferas, con capacidad de manejar varios lotes para el ciclo de bombeo considerado.

Bases del Diseño

El sistema fue diseñado según las especificaciones definidas a continuación:

1 - Características del Crudo.

La tabla # 1 muestra las propiedades y condiciones de los crudos manejados por el sistema.

Crudo Diluido	Operadora 1	Operadora 2
Densidad °API	16	16
Viscosidad cP @ 95°F	315	686

TABLA # 1: Propiedades de los Crudo de las Dos Operadoras

2 - Recibo de Producción desde las Facilidades.

El sistema recibiría crudo desde dos facilidades de producción. El crudo diluido proveniente de las facilidades sería transferido en oleoductos de 30” y recibido en tanques de techo flotante de 250 kbbl para cada operador (dos tanques para cada uno), a razón de 288 kbpd y 181 kbpd, respectivamente.

El crudo sería medido en unidades LACT a su llegada a los tanques, para controlar la cantidad transferida desde su origen.

3 - Transferencia del Crudo a los Complejos Mejoradores.

El sistema fue diseñado para manejar inicialmente 469 kbpd de crudo diluido, el cual permitiría suministrar los requerimientos de dos complejos mejoradores: 181 kbpd y 288 kbpd en ciclos de 48 horas. Se dejaron provisiones en el sistema para expandirlo hasta 800 kbpd e incluir nuevos usuarios.

Para controlar la transferencia de los lotes de un crudo u otro, se contempló la instalación de una unidad de manejo de lotes (*"Batching Meter"*), la cual mediría el flujo y volumen de crudo diluido despachado desde la estación de bombeo.

Un arreglo de bombas centrífugas verticales tipo *"vertical can"* en paralelo, a la vez alineadas a un sistema de bombas centrífugas horizontales en serie, manejaría el caudal requerido de 469 kbpd para la transferencia de los lotes de crudos hacia los mejoradores.

A la salida del límite de batería de la estación, se instaló una trampa lanzadora de esferas (*"pig launcher"*), con el fin de separar los lotes de crudos, y evitar su contaminación.

Debido a la longitud del oleoducto (155 km), en el ciclo de transferencia definido de 48 horas, habría más de un lote de producto en camino hacia el mejorador, por lo cual se utilizaría una trampa con capacidad para manejar la totalidad de esferas requeridas que permitiera separar los lotes transferidos durante el ciclo.

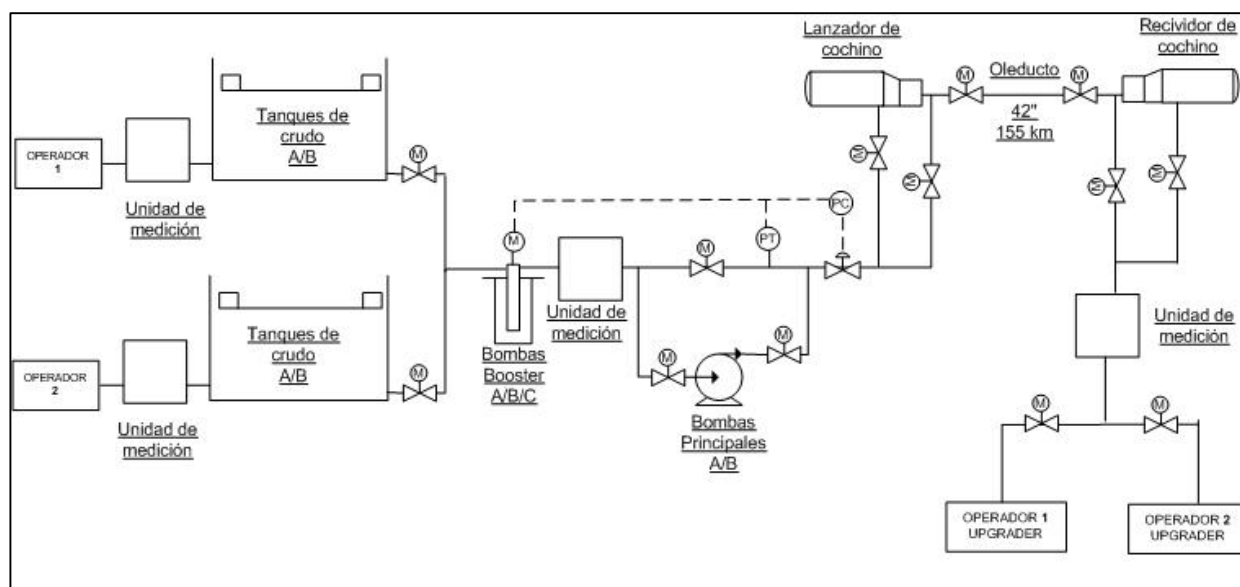


FIGURA # 2. Esquema de las Facilidades mostrando el Sistema de Despacho y Recepción de Crudo Diseñado

En la llegada a los complejos mejoradores, se instaló una trampa recibidora de esferas, con capacidad también para recibir la totalidad de las esferas enviadas en el ciclo.

Asimismo, se contempló la instalación de una unidad LACT, para medir los volúmenes de crudo despachados desde la estación de rebombeo, y permitir controlar la transferencia de crudo correspondiente a cada usuario.

Filosofía Operacional

El crudo extrapesado diluido proveniente de las facilidades de producción de las operadoras es enviado a través de oleoductos de 30" hasta el patio de tanques en el centro de rebombeo, donde es medido y recibido en 4 tanques de 250 kbbl, dos para la operadora 1 y dos para la operadora 2.

Cada uno de los tanques tiene en la línea de entrada y salida válvulas motorizadas las cuales permiten alinear en forma automática el recibo y el despacho de crudo de cada operadora.

El crudo diluido almacenado en los tanques de cada operadora es bombeado discontinuamente a través de un sistema de bombeo constituido por tres (3) bombas "Booster" en paralelo del tipo centrífugas verticales (dos en operación y una de respaldo), en serie con un sistema de dos bombas principales centrífugas horizontales que operan en serie.

Las bombas "Booster" suministran la altura de succión negativa (*NPSHA* – "Net positive suction head available") apropiada para las bombas principales. Una unidad de custodia y medición para el despacho de los lotes de crudo está instalada entre los dos sistemas de bombas, para generar las señales de inicialización y finalización de cada transferencia y medir los volúmenes de cada uno de los crudos transferidos.

	# Actual	Capacidad kbpd	Presión Diferencial psi	# Futuro
Bombas Booster	3	240	131	5
Bombas Principales	2	469	175	3

Tabla # 2: Capacidad y Cantidad de Bombas en la Estación de Rebombeo

Las variaciones de presión y flujo en el oleoducto, así como la presión de succión de las bombas principales son reguladas con una válvula de control que se encuentra aguas abajo de las bombas principales.

El sistema tiene las provisiones necesarias para instalar a futuro nuevas bombas que permitan incrementar la capacidad del sistema hasta 800 kbpd, el cual es el límite hidráulico impuesto por las características del sistema y topografía del oleoducto (42" x 155 km de longitud, con un cambio de elevación - 923 ft descendiente - y presión máxima permisible 890 psig).

Operación del Oleoducto

Basado en los volúmenes requeridos por cada una de las operadoras y la disponibilidad de tanques en la estación de rebombeo y en los complejos mejoradores, se determinó que el ciclo de duración de los lotes fuese de 48 horas, período durante el cual se transfiere crudo diluido de un operador durante 29 horas (equivalente a un total de 567 kbbl) y 19 horas (equivalente a un volumen total de 371 kbbl) para el otro operador, a una tasa de bombeo de 469 kbpd (ver tabla #3).

Operadora	Flujo kbpd	Tiempo hr	Volumen kbbls	% Ocupado en el Oleoducto
1	469	29	567	67
2	469	19	371	44

Tabla # 3: Distribución de Flujo en el Oleoducto

Los batches de crudo despachado son medidos con la unidad LACT (“batch meter”) instalada entre los sistemas que bombean el crudo. El patín de medición instalado puede operar de forma automática o manual. Está constituido por 4 brazos de medición (“meter runs”), cada brazo con un medidor tipo desplazamiento positivo (“PD meter”). El patín también cuenta con un sistema de prueba (“prover”), para calibración. El sistema contiene información de las propiedades de cada fluido, a fin de realizar las mediciones en forma apropiada según el tipo de crudo que se esté manejando.

Para disminuir la contaminación entre los fluidos de cada una de las operadoras durante el proceso de envío, se utilizan esferas como medio de separación mecánica, utilizadas también como indicativo para el cambio de medición de volumen entre los usuarios del oleoducto.

Al momento en que se inicializa la transferencia, la unidad LACT comienza a medir el volumen transferido y dará la señal para lanzar una esfera. Cuando totaliza el volumen que sea transferir en el lote, hace los cambios en la alineación de los tanques, reinicia la medición y lanza la nueva esfera.

A la llegada a los mejoradores de crudo 155 km aguas debajo de la estación de rebombeo, otra unidad LACT va totalizando el volumen de crudo que llega, y permite alinear el crudo hacia el operador correspondiente.

Cuando llega la esfera, la señal de recibo en la trampa receptora aguas abajo da la indicación de finalización del lote a la unidad LACT, con lo cual se alinea automáticamente la transferencia hacia el otro mejorador. A su vez, la unidad LACT se reinicializa para contabilizar el volumen del nuevo lote recibido. En la trampa de recepción de crudo, las esferas viajan a una velocidad tal, que llegan 43 horas después que han sido lanzadas, por lo que los operadores en las dos áreas mantienen comunicación continua. Un registro automatizado les permite establecer a qué operadora corresponde el crudo que se está recibiendo, que puede o no ser el mismo que se está despachando (ver figura # 3, en página siguiente).

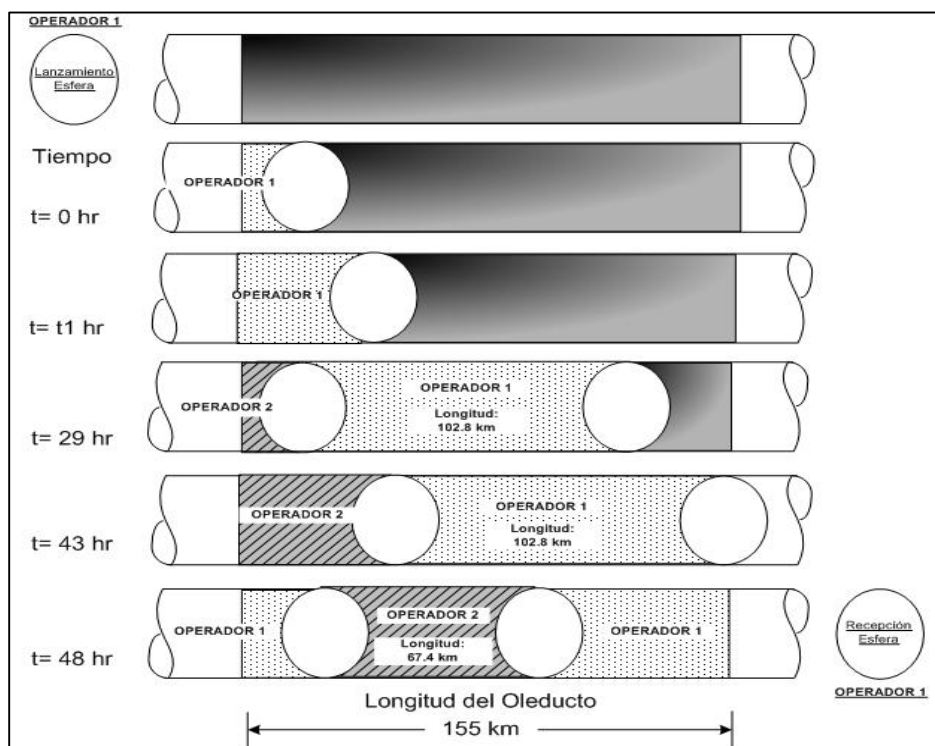


FIGURA # 3. Esquema de la Transferencia por Lotes a lo Largo del Oleoducto

Sistema de Control

La funciones de despacho, medición, monitoreo y manejo del sistema son ejecutadas por medio de un sistema de control automatizado de alta confiabilidad, basado en un sistema SCADA (*“Supervisory Control and Data Acquisition”*) y conformado por equipos controladores PLC (*“Programmable Logic Controller”*) y enlaces de comunicación hacia sistemas auxiliares, equipos especializados de medición tipo LACT, sistemas de protección de bombas por vibración y temperatura y sistemas de manejo de válvulas motorizadas mediante comunicación a 2-hilos.

El sistema de control en conjunto con la unidad de custodia y transferencia LACT de despacho del oleoducto principal, efectúan la medición en línea, y en forma automatizada controlan la alineación y lanzamiento de esferas entre los diferentes lotes de crudo.

La supervisión y control del proceso se realiza remotamente y de forma centralizada a través del sistema SCADA, desde una sala de control ubicada en la estación de rebombeo, mientras que los equipos controladores, adquisición de datos y sistemas auxiliares están geográficamente distribuidos en dos salas de equipos satélites, localizadas una en la misma estación principal de bombeo y otra al final del oleoducto, en el área adyacente a los mejoradores de crudo. Adicionalmente, el sistema también cuenta con dispositivos adquisición de datos instalados directamente en campo.

Las funciones inherentes a la seguridad y protección de personal y de planta son realizadas con equipos independientes, basados en sistemas de alta integridad y tolerante a fallas SIS (Safety Instrumented System), dedicados (cada uno por separado) a las acciones de parada de emergencia (*ESD – “Emergency Shutdown”*) y a las contingencias generadas por fuego y gas (*F&G - “Fire and Gas”*), permitiendo al mismo tiempo integración de toda la información de monitoreo al sistema de control de planta.

En función de los requerimientos establecidos por el cliente, el sistema automatizado se diseñó sobre la base de los siguientes lineamientos:

- Unidades de custodia y transferencia LACT diseñadas con arreglos de N+1 ramales en paralelo, provistas de computadores de flujo dedicados por cada meter run y centralizados en sistemas supervisorios para propósitos de fiscalización, independientes del sistema SCADA de planta, uno para despacho y otro para el área de recepción.
- Filosofía de automatización jerarquizada en dos niveles, el primer nivel destinado al control del proceso, supervisión y adquisición de datos, y el segundo nivel asociado al manejo de información y coordinación operacional de planta y de su entorno como integrante de las facilidades de producción dentro una corporación.
- Arquitectura del sistema basada en sistemas abiertos, utilizando al máximo dispositivos y protocolos de comunicación estandarizados o de comprobada aplicación en soluciones petroleras similares.
- Instrumentación electrónica convencional basada en señales analógicas de 4-20 mA, entradas digitales en contactos secos, salidas discretas y alimentación de toda señal de campo en 24 VDC, desde el sistema de control.
- Servicio de alimentación de potencia para el sistema automatizado en 120 VAC mediante equipos de suministro continuo ininterrumpido (*UPS – “Uninterrupted Power Supply”*).

El sistema SCADA se estructuró sobre una arquitectura cliente-servidor, empleando servidores basados en computadores personales industriales (PC) en configuración redundante, estaciones de operación igualmente basadas en PC y comunicaciones entre dispositivos sobre redes Ethernet TCP/IP (*“Transmission Control Protocol / Internet Protocol”*) con canales redundantes,

conformando de esta manera, junto con las redes de supervisión de planta e información corporativa, el segundo nivel de automatización.

En el primer nivel de automatización están los controladores de proceso basados en PLC, en configuración redundante y las unidades remotas de I/O (“*Input/Output*”), enlazados por una red de control de procesos basada en *ControlNet* y lo complementan las unidades de medición LACT y equipos auxiliares conectados al PLC mediante canales de comunicación serial en protocolo *Modbus RTU*.

Los equipos auxiliares lo conforman dos sistemas de protección de bombas por monitoreo de vibración y temperatura, uno para las bombas *booster* (bombas de levantamiento de presión) y otro para las bombas principales, y dos sistemas inteligentes para el manejo de actuadores motorizados a 2-hilos, uno para el área de despacho y otro para el área de recepción.

La integración de los sistemas de seguridad y protección SIS (ESD y F&G) es realizada directamente al nivel de la red *Ethernet* del sistema de control.

En la figura # 4, se muestra el diagrama general de la arquitectura base del sistema automatizado.

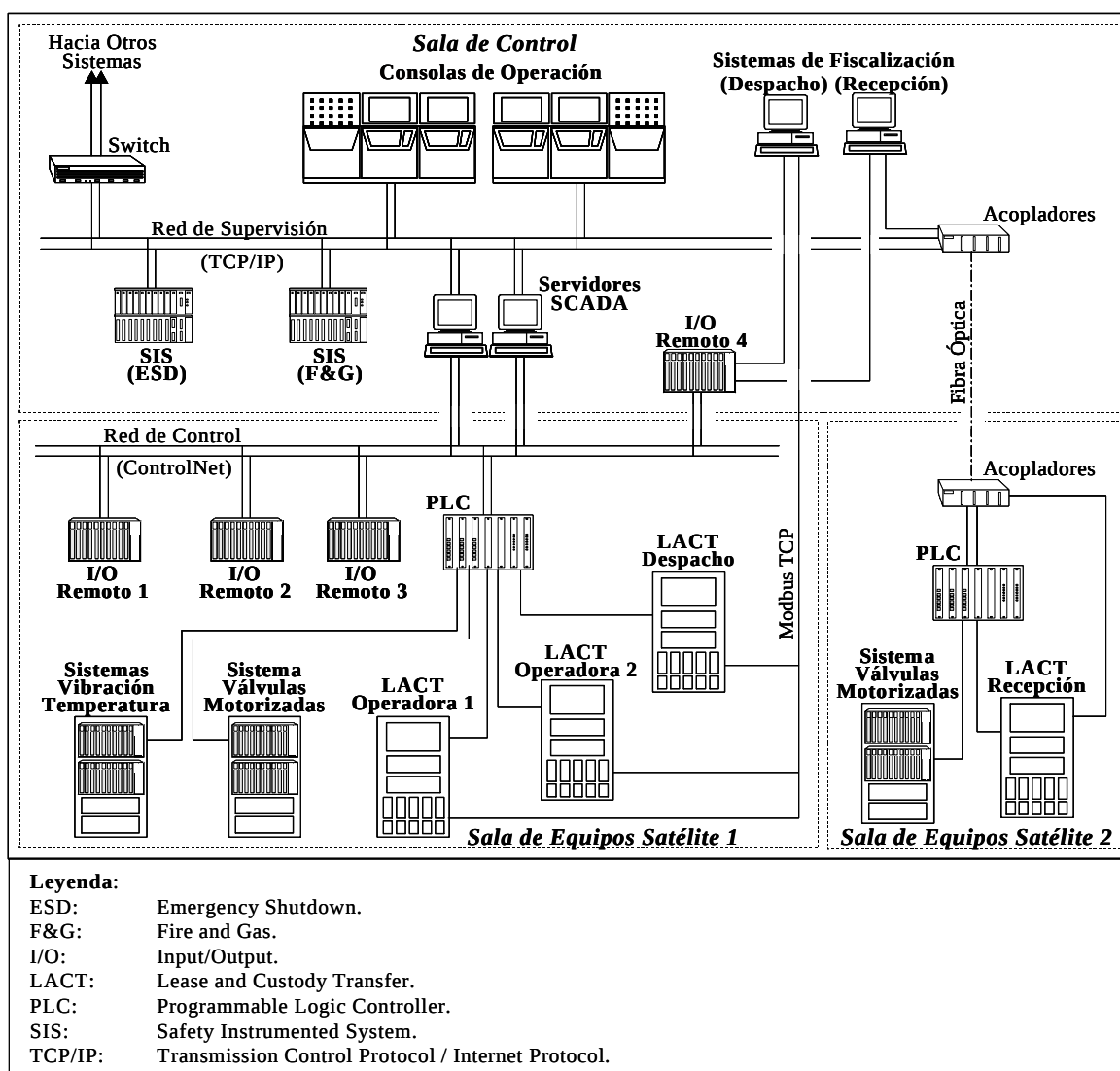


Figura # 4: Arquitectura del Sistema Automatizado

Los sistemas de protección de bombas están compuestos por sensores de vibración y temperatura instalados directamente sobre las bombas y por dispositivos electrónicos de monitoreo de alta confiabilidad, dedicados al procesamiento de señales.

Las unidades de custodia y transferencia LACT se especificaron con un arreglo de configuración similar y base para todas las unidades, con las siguientes características:

- Una sección de medición (“*metering unit*”) conformada por:
 - Ramales de Medición en configuración de N+1 meter runs en paralelo, con “n” medidores operando en línea y un (1) medidor en modo reserva (“*stand-by*”).
 - Cabezales de entrada y salida.
 - Cada meter run cuenta con el siguiente arreglo:
 - ✓ Una válvula de entrada.
 - ✓ Filtro.
 - ✓ Válvula de alivio térmico.
 - ✓ Medidor de flujo de desplazamiento positivo.
 - ✓ Transmisor de presión y manómetro.
 - ✓ Transmisor de temperatura y termómetro.
 - ✓ Una válvula motorizada de alineación al sistema de prueba.
 - ✓ Una válvula motorizada de alineación al cabezal común de salida.
 - ✓ Una Válvula de balance de flujo.
- Una sección de calidad o muestreo (“*quality unit*”) conformada por:
 - Una bomba para transferir la muestra al lazo de calidad.
 - Analizador de corte de agua y sedimentos (BS&W – “*Basic Sediment and Water*”).
 - Medidor de densidad en línea.
 - Toma muestras automático.
- Una sección de prueba o calibración (“*proving system*”) basada en un probador bi-direccional, compuesto por:
 - Una válvula de 4-vías.
 - Una sección de medición, conformada por dos pares de *switches* detectores para dar los volúmenes de flujo, con un volumen nominal (VBS – “*Volume Between Switches*”) de 500 galones.
 - Una cámara de lanzamiento.
- Panel de Control conformado por:
 - Un computador de flujo por cada meter run, dedicado a todas las mediciones de su correspondiente ramal.
 - Un controlador basado en PLC para el manejo de válvulas motorizadas y las estrategias de control de medición.
 - Una interfase de operación (HMI – “*Human-Machine Interface*”).

Las unidades LACT se diseñaron y ensamblaron modularmente en fábrica sobre patines (“*Skids*”) de medición, con cada unidad dividida, por razones de manejo y facilidad transporte, en dos skids

independientes: En el primero de ellos, toda la sección de medición y en el segundo las secciones de calidad y prueba de cada unidad LACT.

En la figura # 5, se muestra el diagrama típico de las unidades de custodia y transferencia LACT especificadas.

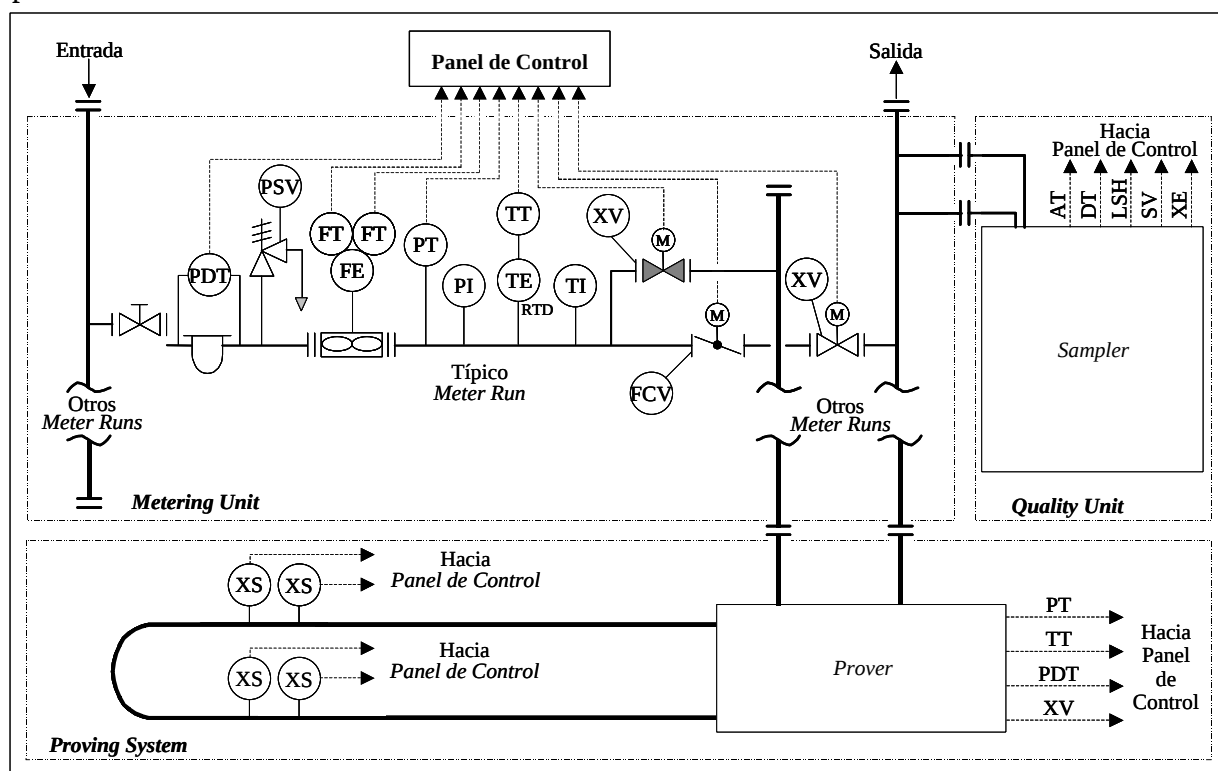


Figura # 5: Esquemático de las Unidades LACT Especificadas para el Sistema Diseñado

En la Tabla # 4, se resumen las características y capacidades de las unidades LACT.

Unidad	LACT Despacho Oleoducto Principal	LACT Recepción Oleoducto Principal	LACT Oleoducto Secundario Operadora 1	LACT Oleoducto Secundario Operadora 2
Presión de Operación (Normal)	100 psig	100 psig	100 psig	100 psig
Temperatura de Operación (Normal)	95°F	95°F	95°F	95°F
Densidad	59.07 lb/ft3	59.07 lb/ft3	59.07 lb/ft3	59.07 lb/ft3
Viscosidad @ 85°F	1190 cP	1190 cP	1190 cP	1190 cP
Viscosidad @ 95°F	315 cP	315 cP	315 cP	686 cP
Presión de Diseño	260 psig	940 psig	690 psig	1170 psig
Temperatura de Diseño	150°F	150°F	150°F	150°F
Rating	ANSI Class 150	ANSI Class 600	ANSI Class 300	ANSI Class 600
Cantidad de Meter Runs	4	4	4	3
Máximo Flujo de Diseño	173 kbpd	173 kbpd	112 kbpd	112 kbpd
Máximo Flujo de Diseño Unidad LACT	469 kbpd	469 kbpd	288 kbpd	181 kbpd

Tabla # 4: Características y Capacidades Unidades de Custodia y Transferencia LACT

El sistema de custodia y transferencia cuenta con dos sistemas supervisorios de fiscalización, los cuales poseen el siguiente arreglo de configuración:

- Un Sistema de Fiscalización de Despacho, empleado para centralizar y consolidar toda la información de las unidades de custodia y transferencia siguientes:
 - LACT de Despacho Compartido del Oleoducto Principal (“Batch Meter”).
 - LACT de Recepción del Oleoducto Secundario de la Operadora 1.
 - LACT de Recepción del Oleoducto Secundario de la Operadora 2.
- Un Sistema de Fiscalización de Recepción, destinado a centralizar y consolidar la información asociada a la unidad de custodia y transferencia LACT de Recepción Compartida del Oleoducto Principal.

Los sistemas de fiscalización están basados en computadores estandarizados tipo PC industrial, con capacidad de ejercer las funciones siguientes:

- Adquisición, procesamiento y consolidación de todas las mediciones provenientes de los computadores de flujo de cada LACT.
- Correcciones por temperatura, presión, densidad y viscosidad.
- Proceso automático de funciones de prueba.
- Generación de reportes fiscales de custodia y transferencia.
- Supervisión, monitoreo y control centralizado de las unidades LACT.
- Supervisión, monitoreo y control centralizado del proceso de transferencia de crudo.
- Almacenamiento y archivo de información.
- Manejo de señales de sincronismo en conjunto con el PLC de control principal para el control secuencial de la transferencia por batches.

Las estrategias de control que permiten la ejecución de los procedimientos rutinarios de apertura y cierre de válvulas motorizadas, de las compuertas de los equipos lanza esferas y la medición fiscal en línea, están configuradas en el PLC de la Sala de Equipos Satélite No. 1. Por su parte, las estrategias asociadas al proceso de recepción y medición, están configuradas en el PLC de la Sala de Equipos Satélite No. 2. Todas las funciones de control y supervisión centralizada del proceso son realizadas remotamente desde la Sala de Control del complejo.

Las estrategias de control se diseñaron sobre la base de una coordinación de procedimientos operacionales, soportados por el manejo automatizado de señales sincronizadas entre los correspondientes PLC y sus respectivas unidades LACT. Se desarrollaron dos estrategias con funciones específicas y claramente definidas: Una para las acciones de despacho y otra para los procedimientos de recepción de los batches transferidos.

La estrategia de despacho está basada en los siguientes procedimientos:

- Definición de los parámetros de bombeo, los cuales comprenden todos los valores a ser ingresados manualmente por el operador, tanto en el sistema de control, como en el sistema supervisorio fiscal, los cuales establecen:
 - El orden en que las operadoras estarán haciendo uso compartido del oleoducto.
 - La cantidad de tanques a ser empleados por cada operadora durante el bombeo.
 - La modalidad automática o manual de transferencia de los lotes.
 - Los volúmenes a ser transferidos.

- La modalidad por volumen o por tiempo de operación de la unidad LACT.
- Arranque del bombeo, comprende todas las acciones ejecutadas por intervención manual del operador o de forma automática por el sistema de control, condicionadas a comandos de inicio generados por el operador o por la ocurrencia de un evento, las cuales se realizan inicialmente durante la fase de arranque del bombeo:
 - Alineación de las bombas booster y bombas principales.
 - Alineación de la trampa lanzadora de esferas.
 - Arranque de las bombas booster y bombas principales.
 - Apertura de las válvulas de descarga de las bombas booster y bombas principales.
 - Arranque de la unidad LACT de despacho (Batch Meter).
 - Lanzamiento de la esfera inicial.
 - Restauración de la trampa lanzadora, una vez asegurado el lanzamiento de la esfera.
- Transferencia de los lotes, comprende todas las acciones ejecutadas por intervención manual del operador o de forma automática por el sistema de control, condicionadas a comandos de inicio del operador o por la ocurrencia de un evento, las cuales se realizan continuamente durante la fase de transferencia de batches:
 - Sincronización entre la LACT y el PLC para finalización del lote transferido.
 - Alineación de tanques de despacho.
 - Alineación de la trampa lanzadora de esferas.
 - Cambio de los tanques de despacho de una operadora a la siguiente.
 - Lanzamiento de la esfera de separación entre batches.
 - Restauración de la trampa lanzadora, una vez asegurado el lanzamiento de la esfera.

En general, el ingreso de parámetros de las estrategias de control es realizado mediante selectores configurados por software y accesibles a través de las consolas de operación, por medio de los despliegues gráficos del sistema. En la figura # 6, se muestra el diagrama esquemático asociado a las señales y parámetros de la estrategia de despacho.

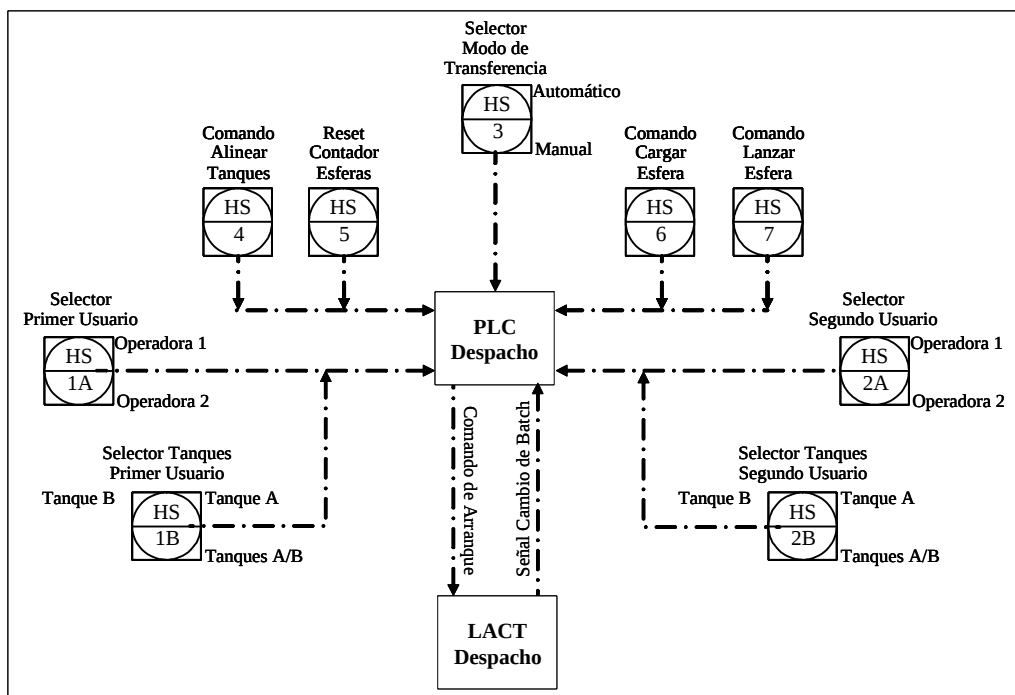


Figura # 6: Esquemático de Señales de la Estrategia de Despacho para el Sistema Diseñado

La estrategia de recepción está conformada por los siguientes procedimientos:

- Definición de los parámetros de recepción, los cuales comprenden todos los valores a ser ingresados manualmente por el operador, tanto en el sistema de control, como en el sistema supervisorio fiscal. Estos parámetros establecen:
 - El orden en que las operadoras estarán haciendo uso compartido del oleoducto.
 - La modalidad automática o manual de recepción de batches.
 - Los volúmenes a ser transferidos.
- Inicio de recepción, comprende todas las acciones ejecutadas por intervención manual del operador o de forma automática por el sistema de control, condicionadas a comandos de inicio generados por el operador o por la ocurrencia de un evento, las cuales se realizan inicialmente durante la fase de arranque de la recepción:
 - Alineación de la trampa receptora de esferas.
 - Alineación de la entrega de producto hacia la operadora correspondiente.
 - Captura de la esfera inicial.
 - Restauración de la trampa receptora, una vez asegurado la recepción de la esfera.
 - Comando de sincronización de arranque con la unidad LACT de recepción.
- Recepción de batches, comprende todas las acciones ejecutadas por intervención manual del operador o de forma automática por el sistema de control, condicionadas a comandos de inicio generados por el operador o por la ocurrencia de un evento, las cuales se realizan continuamente durante la fase de recepción de batches:
 - Alineación de la trampa receptora de esferas.
 - Captura de la esfera de separación entre batches.
 - Restauración de la trampa receptora, una vez asegurado la recepción de la esfera.
 - Comando de sincronización de cambio de batch con la unidad LACT de recepción.
 - Alineación de la entrega de producto hacia la operadora correspondiente.

En la figura # 7, se muestra el diagrama esquemático asociados a las señales y parámetros de la estrategia de recepción.

Conclusiones

La automatización del manejo en oleoductos donde se comparte el uso, permite simplificar la logística de su operación y asegurar una medición adecuada de los volúmenes de fluidos transferidos.

La medición fiscal, en conjunto con el uso de dispositivos de separación física de lotes para sistemas de transferencia compartidos es una herramienta fundamental para la contabilización apropiada de los volúmenes que se manejan.

En la medida en que se agregan usuarios en sistemas de transferencia compartida o las propiedades de los fluidos manejados difieren en forma importante, la justificación para el uso de estos sistemas automatizados es mayor.

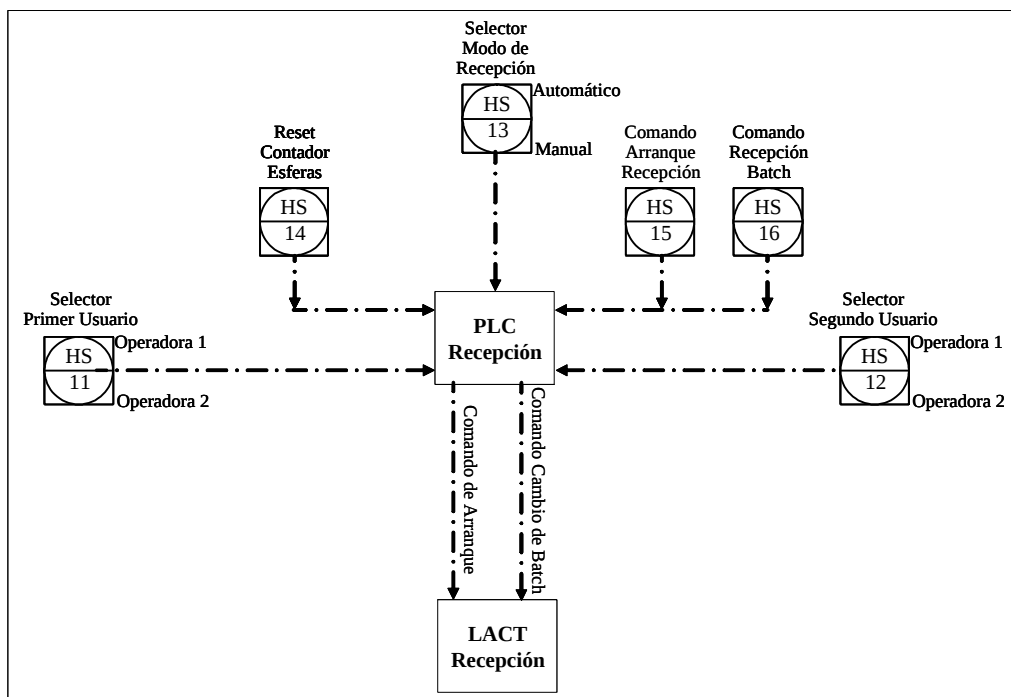


Figura # 7: Esquemático de Señales de la Estrategia de Recepción para el Sistema Diseñado

Referencias

- 1) **FMC Energy Systems**, “Meter and Prover LACT Units”, 2001.
- 2) **PDVSA**, “Normas de Diseño serie K”:
 - 2.1) K-300 “Instrumentation Introduction”
 - 2.2) K-308 “Distributed Control Systems”
 - 2.3) K-309 “SCADA Systems”
 - 2.4) K-330 “Control Panels and Consoles”
 - 2.5) K-334 “Instrumentation Electrical Requirements”
 - 2.6) K-335 “Packaged Unit Instrumentation
 - 2.7) K-339 “Rotating Equipment Instrumentation”
 - 2.8) K-360 “Programmable Logic Controllers”
 - 2.9) K-362 “Control Networks”
- 3) **Ministerio de Energía y Minas**, “Normas Técnicas para la Fiscalización de Hidrocarburos líquidos”, 2001.