



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO

“REDUCCIÓN DEL VOLUMEN DE MEZCLA GENERADO EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE INTERFASES DE PRODUCTOS LIMPIOS DIÉSEL-SÚPER Y SÚPER-DIÉSEL DEL POLIDUCTO PASCUALES-CUENCA”

RAFAEL ANUBIS MEJÍA GRANDA

**Trabajo de titulación modalidad: Proyectos de Investigación y Desarrollo
presentado ante el Instituto de Posgrado y Educación Continua de la ESPOCH,
como requisito parcial para la obtención del grado de:**

**MAGISTER EN SISTEMAS DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN
INDUSTRIAL**

Riobamba– Ecuador

Junio 2018

ESCUELA SUPERIOR POLITECICA DE CHIMBORAZO

CERTIFICACIÓN:

EL TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN CERTIFICA QUE:

El trabajo de titulación denominado: “Reducción del volumen de mezcla generado en el proceso de recepción de interfases de productos limpios diésel-súper y súper-diésel del poliducto Pascuales-Cuenca”, de responsabilidad del Señor Rafael Anubis Mejía Granda, ha sido minuciosamente revisado y se autoriza su representación.

Tribunal:

Ing. Wilson Zúñiga, MsC

PRESIDENTE

Ing. Fausto Cabrera, MsC

TUTOR DE TESIS

Ing. Fernando Mejía, MsC

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Mayra Pacheco, MsC

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

DERECHOS INTELECTUALES

Yo, Rafael Anubis Mejía Granda, declaro que soy responsable de las ideas, doctrinas y resultados expuestos en el **Trabajo de Titulación modalidad Poyectos de Investigación y Desarrollo**, y que el patrimonio intelectual generado por la misma pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

RAFAEL ANUBIS MEJIA GRANDA
No. Cédula: 060410759-9

©2017, Rafael Anubis Mejía Granda

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho del Autor.

Yo, Rafael Anubis Mejía Granda, declaro que el presente proyecto de investigación, es de mi autoría y que los resultados del mismo son auténticos y originales. Los textos constantes en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Titulación de Maestría.

RAFAEL ANUBIS MEJIA GRANDA
No. Cédula: 060410759-9

DEDICATORIA

A mis colegas, amigos y maestros que contribuyeron para la realización de la investigación, así como a investigadores futuros.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar agradecer al Gran Arquitecto del Universo por haber permitido la realización del presente trabajo, a mis padres Carlos y Rosita por su orientación, tiempo y apoyo durante toda esta etapa; a mis hermanos Michael e Isis por el ánimo y confianza depositados en mí. A Aurora por su dedicada labor día a día.

Rafael

CONTENIDO:

	Pág.
RESUMEN	XIII
ABSTRACT	XIV
CAPITULO I	
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Planteamiento del problema	1
1.1.1. Situación problemática	1
1.1.2. Formulación del problema.....	2
1.2. Sistematización del problema.....	2
1.3. Justificación de la investigación.....	3
1.4. Objetivo general	4
1.5. Objetivos específicos	4
1.6. Hipótesis.....	5
CAPITULO II	
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. Antecedentes del problema	6
2.2. Marco conceptual	7
2.2.1 Sistema Scada.....	7
2.2.2. Pirámide de automatización	8
2.2.3. Sensores y actuadores	9
2.2.3.1. Sensores	9
2.2.3.2. Actuadores	9
2.2.4. Protocolos de comunicación en redes industriales.....	9
2.2.4.1. Profibus (PROcess Field BUS).....	10
2.2.4.2. Modbus	11
2.2.4.3. DeviceNet	12
2.2.4.4. Hart	12
2.2.4.5. Gateway	13
2.2.4.6 EtherNet /IP	13
2.2.5. Sistemas en tiempo real.....	14
2.2.6. Sistemas de control distribuido DCS	14
2.2.7. Delta V	15
2.2.7.1. Componentes DeltaV.....	16

2.2.8. Proceso secuencial	18
2.2.9. Poliducto	18
2.2.10. Interfase.....	19
2.2.11. Gravedad API.....	20
2.2.12. GRAFCET (Gráfico de control de etapas y transiciones).....	20
2.2.13. Guía GEMMA.....	22
2.2.14. Diagramas P&IDs	23

CAPITULO III

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	25
3.1. Descripción del proceso	25
3.1.1. Interfase: Gasolina Súper –Diésel a implementar.....	30
3.1.2. Interfase: Diésel- Gasolina Súper a implementar	31
3.2. Diseño de la metodología.....	32
3.3. Integración de la secuencia al sistema de control.....	37
3.3.1. Interfase: Diésel-Gasolina Súper	39
3.3.2. Interfase: Gasolina Súper-Diésel	47

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	53
4.1. Pruebas de funcionamiento	53
4.1.1. Recepción de interfase diésel - súper.....	53
4.1.2. Recepción de interfase súper - diésel.....	58
4.2. Datos obtenidos:.....	63
4.2.1. Modo automático.....	63
4.2.2. Modo manual.....	66
4.2.3. Interfases recibidas en forma automática posterior a la integración del algoritmo de control secuencial.....	69
4.3. Análisis de datos	70
4.3.1. Media.....	70
4.3.2. Desviación estándar.....	71
4.3.3. Intervalo de confianza del 95% de reducción de volumen	71
4.4. Resultados	74
5. CONCLUSIONES:	76
6. RECOMENDACIONES:	77

INDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1-2: Longitud en función de la velocidad de transmisión con cable.....	10
Tabla 2-2: Velocidad de comunicación DeviceNet	12
Tabla 1-3: Rango de densidades en el proceso de productos limpios	26
Tabla 2-3: Densidades API consideradas en el proceso de recepción de productos	32
Tabla 3-3: Elementos empleados en el proceso de recepción de productos limpios	32
Tabla 4-3: Descripción de transiciones	33
Tabla 5-3: Válvulas trampa receptora y unidad de medición a comprobar	39
Tabla 1-4: Capacidad generada recibida de interfases en modo automático	66
Tabla 2-4: Capacidad generada recibida de interfases en modo manual	69
Tabla 3-4: Interfases recibidas en modo automático.....	69
Tabla 4-4: Reducción de interfase diésel - súper	70
Tabla 5-4: Reducción de interfase súper – diésel.....	70
Tabla 6-4: Intervalo de confianza al 95%	72

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1-2: Representación de la pirámide de automatización	8
Figura 2-2: Representación de aplicación de bus Profibus en la industria	11
Figura 3-2: Terminadores en DeviceNet.....	12
Figura 4-2: Señal de comunicación HART.....	13
Figura 5-2: Arquitectura típica de un DCS.....	15
Figura 6-2: Descripción del sistema DeltaV	16
Figura 7-2: Descripción del sistema DeltaV	17
Figura 8-2: Controlador Redundante DeltaV.....	18
Figura 9-2: Curva característica de monitoreo de densidad en un poliducto	19
Figura 10-2: Factores que generan interfase.....	20
Figura 11-2: Representación típica de estados y transiciones en un GRAFCET.....	21
Figura 12-2: GRAFCET de nivel I.....	22
Figura 13-2: GRAFCET de nivel II.....	22
Figura 14-2: GRAFCET de nivel III.....	22
Figura 15-2: P&ID receptora de productos limpios.....	24
Figura 1-3: Diagrama de flujo de almacenamiento productos limpios	27
Figura 2-3: Diagrama de flujo de almacenamiento productos limpios	28
Figura 3-3: Arquitectura del sistema de control en Delta V	29
Figura 4-3: Arquitectura del sistema de control visto en el HMI	29
Figura 5-3: Diagrama de flujo recepción de interfases súper-diésel.....	30
Figura 6-3: Diagrama de flujo recepción de interfases diésel-súper.....	31
Figura 7-3: GRAFCET para la recepción de interfases diésel-súper y súper-diésel	36
Figura 8-3: Configuración del sistema, DeltaV Explorer	37
Figura 9-3: Variables de campo, escritura y selección de interfase vistas en HMI	38
Figura 10-3: Lectura de variables de campo y escritura desde HMI	38
Figura 11-3: Bloques funcionales verificación de alineación en válvulas.....	39
Figura 12-3: Bloque de funciones del módulo de control PERM-INTER.....	40
Figura 13-3: Configuración del comportamiento del push button.....	40
Figura 14-3: Configuración de la apariencia del push button.....	41
Figura 15-3: Edición del script del push button.....	41
Figura 16-3: Cuadro de diálogo al ejecutarse el script del push button.....	42
Figura 17-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper	42
Figura 18-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper	43

Figura 19-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper	43
Figura 20-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper	44
Figura 21-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper	44
Figura 22-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper	45
Figura 23-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper	45
Figura 24-3: Diagrama de bloques etapa de reset y aborto.....	46
Figura 25-3: Vista final de pantalla principal diésel/súper en HMI.....	47
Figura 26-3: Configuración del comportamiento del push button Súper/Diésel	47
Figura 27-3: Configuración de la apariencia del push button Súper/Diésel	48
Figura 28-3: Edición del script del push button Súper/Diésel	48
Figura 29-3: Cuadro de diálogo al ejecutarse el script del push button Súper/Diésel	49
Figura 30-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel	49
Figura 31-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel	50
Figura 32-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel	50
Figura 33-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel	51
Figura 34-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel	51
Figura 35-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel	52
Figura 36-3: Vista final de pantalla principal súper/diésel en HMI.....	52
Figura 1-4: Verificación de interfase diésel-súper.....	53
Figura 2-4: Interfase diésel-súper	54
Figura 3-4: SDV abierta.....	54
Figura 4-4: MOV-7105E abierta.....	55
Figura 5-4: MOV-7105D cerrada	55
Figura 6-4: SDV-7251 cerrada	56
Figura 7-4: SDV-7241 abierta	56
Figura 8-4: MOV-7105C abierta	57
Figura 9-4: MOV-7105E/A/B/D y SDV-7261 cerradas	57
Figura 10-4: Bache súper.....	58
Figura 11-4: Verificación de interfase súper-diésel.....	58
Figura 12-4: Interfase súper-diésel	59
Figura 13-4: SDV slop abierta	59
Figura 14-4: MOV-7105E slop abierta.....	60
Figura 15-4: MOV-7105C cerrada	60
Figura 16-4: SDV-7241 cerrada	61
Figura 17-4: SDV-7251 abierta	61
Figura 18-4: MOV-7105D abierta	62
Figura 19-4: MOV-7105E/A/B/C y SDV-7261 cerradas	62

Figura 20-4: Bache diésel	63
Figura 21-4: Corte inicial en 39.95 API interfase diésel-súper.....	64
Figura 22-4: Corte final en 56.42 API interfase diésel-súper	64
Figura 23-4: Corte inicial en 58.01 API interfase súper-diésel	65
Figura 24-4: Corte final en 40.17 API interfase súper-diésel	66
Figura 25-4: Corte inicial en 38.90 API interfase diésel-súper.....	67
Figura 26-4: Corte final en 65.12 API interfase diésel-súper	67
Figura 27-4: Corte inicial en 61.56 API interfase súper-diésel	68
Figura 28-4: Corte final en 38.95 API interfase súper-diésel	68

RESUMEN

El presente trabajo de titulación tiene como objetivo la integración de un algoritmo de control secuencial al sistema de control existente sobre el software DCS DeltaV, aplicando el método guía GEMMA empleando el GRAFCET como herramienta de automatización de procesos; el método experimental y cuantitativo con la finalidad de reducir la capacidad de volumen recibida de producto (interfase) generada al momento de recibir las interfases diésel-súper y súper-diésel en la estación reductora del terminal de productos limpios Cuenca EP-Petroecuador. Se estudió el proceso a automatizar, las características de los productos a recibir, así como las facilidades con las que se cuenta; la supervisión y control del proceso en tiempo real mediante el sistema SCADA permite analizar los resultados mediante charts gráficos (históricos) facultando al operador interactuar con el proceso. El análisis de datos obtenidos posterior a la integración del algoritmo de control secuencial entregó como resultado la disminución de volumen de interfase generada en el intervalo de confianza del 95%, esto es; $IC_{95\%} = (40.8; 99.1)$ barriles e $IC_{95\%} = (52.1; 139.8)$ barriles en interfases diésel-súper y súper-diésel respectivamente. Se concluyó que al integrar el algoritmo de control secuencial al sistema de control existente ha permitido disminuir la capacidad de interfase generada en el proceso de recepción en interfases diésel-súper y súper-diésel de la terminal de productos limpios Cuenca EP Petroecuador, se recomienda que el valor API referencial a ser ingresado por HMI al sistema para establecer el inicio y fin de la interfase debe ser el valor corregido a la temperatura actual del proceso.

Palabras clave: <TECNOLOGÍAS Y CIENCIAS DE LA INGENIERÍA>, <MÉTODO GEMMA>, <SISTEMA DE CONTROL Y ADQUISICIÓN DE DATOS (SCADA)>, <SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO (DCS)>, <INTERFASE>, <POLIDUCTO>, <DELTAV (SOFTWARE)>.

ABSTRACT

This research work aims the integration of sequential control algorithm to the existing control system about the DCS Delta V software, applying the reference method GEMMA and using GRAFCET as process automation tool; the experimental and quantitative method in order to reduce the bulk capacity got by (interphase) product, generated when receiving the diesel-super and super-diesel interphases at reductive station of clean products, Cuenca EP-Petroecuador. The automate process was studied as well as the products characteristics and the obtained facilities; the real time control and supervision of the process trough the SCADA system, allows to analyze the results by means of graphic charts (historic) and letting the operator to interact with the process. The analysis of the obtained data after the integration of a sequential control algorithm, resulted in the decrease of bulk interphase generated in the trust interval of 95% which means $TI_{95\%}=(40.8;99.1)$ barrels e $TI_{95\%}(52.1; 139.8)$ barrels in diesel-super and super diesel interphases respectively. It was concluded that by integrating the sequential control algorithm with the existing control system, the interphase capacity produced at the reception process in diesel-super and super-diesel interphases of the clean product station, Cuenca EP Petroecuador, has been reduced. As recommendation, the referential API value should be the corrected one at the current temperature of the process in order to be inserted by HMI to the system for stablishing the beginning and end of the interphase.

Keywords: <ENGINEERING TECHNOLOGIES AND SCIENCES>, <GEMMA METHOD>, <DATA CONTROL AND ACQUISITION SYSTEM>, <DISTRIBUTED CONTROL SYSTEM (DCS)>, <INTERPHASE>, <POLIDUCT>, <DELTA V (SOFTWARE)>.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Planteamiento del problema

1.1.1. *Situación problemática*

Los poliductos aparecieron casi al mismo tiempo que las refinerías, así en Estados Unidos se presentaron los primeros problemas de logística como variaciones de flujo y presión de bombeo lo que hacía irregular la operación; por lo que se tenía que manipular la presión con la finalidad de mantener el flujo. La naturaleza del proceso debido a que no existe ninguna separación física entre los lotes origina mezclas en cierto volumen a medida que los productos avanzan en el ducto; lo que da lugar a un producto que no cumple especificaciones de ninguno que se denomina “interfase”.

En la actualidad estudios predicen con relativo acercamiento los volúmenes de interfases haciendo uso de ecuaciones de masa, variables de estado, modelaciones lineales concluyendo que el modelo no es representativo, otros modelos contemplan programación de técnicas metaheurísticas y simulación requiriendo de datos de campo ajustados haciendo fallar el modelo apareciendo nuevamente interfases.

Se ha implantado el enviar un separador físico entre cada producto denominado pig con la intención de evitar las interfases, sin embargo esto no es aplicable cuando se tiene que pasar por estaciones de bombeo, y al tener que pasar por estaciones de bombeo se ha optado por enviar un producto de interfase que no altera las condiciones del producto entre cada producto lo que evita la mezcla entre ambos. (Rossel Cartes, 2017).

En el proceso de transporte de hidrocarburos por poliducto el principal factor que permite la distinción de productos para la recepción y almacenamiento es la densidad. En Ecuador se tienen los siguientes poliductos:

- ✓ Shushufindi –Quito
- ✓ Quito-Riobamba
- ✓ Libertad-Manta-Pascuales

- ✓ Tres Bocas-Salitral
- ✓ Tres bocas-Fuel Oil
- ✓ Tres Bocas- Pascuales
- ✓ Ambato-Riobamba
- ✓ Pascuales-Cuenca
- ✓ Esmeraldas-Santo Domingo-Quito

En estos poliductos el proceso de recepción es mediante muestreo en campo para determinar el producto que se está recibiendo y poder almacenarlo de manera adecuada.

Al ser la densidad del producto a transportar el principal factor para identificarlo se han establecido secuencias de transporte o lotes de la siguiente manera: gasolina extra, gasolina súper, gasolina extra, GLP, gasolina extra, gasolina súper, gasolina extra, diésel; esta secuencia se repite dependiendo de la demanda y programación establecida. En esta secuencia no consta súper-diésel y súper-diésel que no es usual en el transporte por poliductos.

El sistema de control SCADA con el que cuenta actualmente la terminal de productos limpios Cuenca EP-Petroecuador no integra la recepción de interfase diésel-súper ni súper-diésel, lo que ocasiona tiempos de respuesta largos debido a que el operador realiza la secuencia de manera manual generando un gran volumen de mezcla durante el proceso, el mismo que se destina para almacenamiento en otro tanque “tanque de interfase” para luego del respectivo análisis de control de calidad poder realizar la recuperación.

1.1.2. Formulación del problema

¿En la recepción de interfases diésel-súper y súper diésel la carencia de un sistema de control automático generará el incremento del volumen considerado como pérdida en los lotes enviados?

1.2. Sistematización del problema

- ¿Cómo el análisis de los parámetros e instrumentos de campo del proceso de recepción de interfase en el terminal de productos limpios Cuenca EP Petroecuador permitirá diseñar e implementar un sistema SCADA para disminuir la pérdida en los productos?

- ¿De qué manera el diseño del algoritmo de control permitirá automatizar la recepción de productos diésel-súper y súper-diésel para detectar las interfases y derivar al respectivo tanque de almacenamiento?
- ¿Cuál es el volumen de reducción de mezcla generado luego de la implementación al sistema SCADA?

1.3. Justificación de la investigación

La terminal de productos limpios Cuenca EP Petroecuador se abastece de producto mediante recepción por poliducto siendo supervisado el proceso a través del SCADA.

El sistema de control de la planta está implementado en DeltaV el cual es de suma importancia debido a que controla el proceso de recepción de productos por poliducto garantizando condiciones normales de operación para el almacenamiento de los mismos en tanques atmosféricos en el caso de productos limpios (extra, súper, diésel) y en esferas o tanques presurizados para GLP.

La correcta alineación de válvulas al momento de derivar el producto hacia el tanque de destino, los permisivos e interlocks que se tienen para evitar problemas de contaminación, llenado de tanques a nivel de seguridad y presión en el caso del GLP. Las secuencias de apertura y cierre en válvulas al momento de detectar llegada de distinto producto por variación de densidad en reductora de presión, colocación de parámetros de operación en el controlador, el control de las válvulas de control, válvulas motorizadas, comandos de arranque y secuencias de operación en tiempo real.

Actualmente los volúmenes originados de producto interfase generados al momento de la recepción ocasionan pérdidas en los lotes enviados restando la capacidad de recepción de nuevos lotes debido a que los tanques para la recepción de producto interfase son llenados rápidamente.

Para optimizar el proceso de recepción de interfases diésel-súper y súper-diésel por poliducto se deberá integrar al sistema de control un algoritmo secuencial que permita mantener las variables del proceso dentro de los sets configurados en el proceso de recepción de interfase en la terminal de productos limpios Cuenca EP Petroecuador.

La temática abarcada servirá de base para investigaciones futuras en sistemas de recepción de hidrocarburos que son transportados por poliducto donde prima abastecer y salvaguardar la calidad de los combustibles transportados para su distribución y abastecimiento en los distintos puntos de comercialización.

El desarrollo práctico del proyecto encaminará el proceso a una etapa de adaptabilidad y escalabilidad que brinde al sistema la capacidad de ser controlado y supervisado.

Por lo expuesto automatizar el proceso de recepción de interfase beneficiará directamente a EP Petroecuador debido a que se reducirían los costos generados por las pérdidas en los lotes transportados por poliducto causados por la recepción manual de interfases.

Indirectamente se beneficiará a las 6 provincias de la zona sur del país (Cañar, Azuay, Loja, Morona Santiago, Zamora Chinchipe, El Oro) que se abastecen de combustibles desde la terminal Cuenca.

1.4. Objetivo general

- Reducir el volumen de mezcla generado en el proceso de recepción de interfases de productos limpios diésel-súper y súper-diésel del poliducto Pascuales-Cuenca implementando un sistema SCADA sobre el proceso existente.

1.5. Objetivos específicos

- Analizar los elementos de campo del proceso de recepción de interfases en la terminal de productos limpios Cuenca EP Petroecuador.
- Diseñar el algoritmo de control que permita automatizar la recepción de productos diésel-súper y súper-diésel para detectar la interfase y derivar al respectivo tanque de almacenamiento.
- Analizar el volumen de mezcla generado en el proceso de recepción de interfases posterior a la integración del algoritmo secuencial de control.

1.6. Hipótesis

La implementación de un algoritmo de control secuencial al sistema SCADA sobre el proceso de recepción de interfases Diésel-Súper y Súper-Diésel permite reducir el volumen de mezcla generado.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes del problema

Varios estudios en laboratorios y en sistemas de transporte han dado lugar a un mejor entendimiento y conocimiento de los factores que tienen una gran influencia en la cantidad de frente de contaminación obtenido en casos particulares cuando se transportan diferentes productos por la misma línea (poliducto) dando lugar a la necesidad de predecir de alguna manera el volumen de interfaz obtenido en el proceso de bombeo y recepción de productos. (Demoya, A. C, 2007)

Fórmulas y curvas de tipo empírico se han obtenido y propuesto con tal fin brindando resultados aproximados y aceptables para ciertas condiciones de operación concluyendo como relevantes a los siguientes factores:

- Velocidad (flujo)
- Diferencia de densidad
- Paso a través de instalaciones (estaciones de bombeo)
- Anomalías en el proceso de bombeo (Neira, Z., & Ricardo 2003).

En la operación de un poliducto la manera más común empleada para localizar las interfases son los densímetros; debido a que cada producto tiene una densidad específica; en cada tramo correspondiente a una interfase se observa una transición del valor de la densidad desde el primer producto hasta el correspondiente al segundo, brindando la posibilidad de gestionar el destino del producto contaminado antes de que la interfase llegue a un tanque no deseado.

La formación de interfases no es deseable debido a que el producto contaminado no cumple las especificaciones de uno o los dos productos que lo forman por lo que debe ser gestionado de forma conveniente de tal forma que no ponga en peligro la calidad ni la cantidad de los productos a ser entregados en los puntos de distribución o terminales.

Es conveniente incorporar válvulas de cierre y apertura rápidos en el proceso de recepción para minimizar el tiempo durante el cual se ha detectado presencia de interfase y derivar el producto hacia el lugar de destino lo antes posible (Sánchez, 2007).

A nivel de Latinoamérica la red nacional de poliductos Ecopetrol S.A. Colombia; ha implementado un agente separador entre lotes denominado Virgin oil (VOIL), con el objeto de reducir al máximo el volumen de contaminado entre productos al momento de ser transportados por el ducto se, siendo inyectado a la línea una vez completado el lote y al inicio del siguiente. Dicho agente separador tiene características compatibles con ambos productos lo cual no afectará la calidad de ambos productos. (Macías Arcinegas & Martínez Gallegos, 2012).

En la red de poliductos implementados en Ecuador el proceso de recepción es mediante muestreo en campo lo que permite determinar que producto se está recibiendo y poder almacenarlo de manera adecuada, en algunos casos se tiene incorporados densímetros como referencia, sin embargo, los cortes se los realiza de forma manual desde campo.

2.2. Marco conceptual

2.2.1 Sistema Scada

El concepto de SCADA hace referencia a (Supervisory Control And Data Acquisition o Control con Supervisión y Adquisición de Datos) se define al software que permite acceder a los datos remotos de un proceso empleando medios de comunicación para tomar control del mismo. Desde este punto de vista no se trata de un sistema de control, se trata de un software desarrollado para el monitoreo y supervisión del proceso con la capacidad de establecer una interfase entre los niveles de control (PLC) y los de gestión de la automatización.

Debido a que los sistemas SCADA son concebidos como herramienta de control y supervisión tienen como objetivos:

- Economía
- Accesibilidad
- Mantenimiento
- Ergonomía
- Gestión
- Flexibilidad
- Conectividad

Aspectos que llevan a optimizar el proceso y permiten gestionar de manera oportuna la evolución del proceso. (Penin, A.R 2011)

2.2.2. Pirámide de automatización

La automatización es el compendio de ciencias clásicas (mecánica y electricidad) con modernas (electrónica, informática) la integración de éstas puede verse gráficamente en forma de pirámide o CIM (Computer Integrated Manufacturing), (Rodríguez Penin, 2007).

Se tiene 5 niveles jerarquizados, donde la parte superior es la encargada de tomar decisiones de política empresarial y en el punto inferior se encuentra toda la parte a nivel de campo como sensores, actuadores, transductores, transmisores como se puede ver en la figura 1-2. (García Moreno, 1999).



Figura 1-2: Representación de la pirámide de automatización

Fuente: Fundamentado en (García Moreno, 1999)

Nivel 0: se encuentran los equipos que realizan el proceso, así como la instrumentación como: sensores, detectores, actuadores, variadores de velocidad válvulas. Es el inicio del proceso de automatización.

Nivel 1: denominado nivel de control o de célula aquí se tienen los dispositivos de control como los autómatas, computadores industriales, controladores que prosearch las señales entregadas por los elementos de campo del nivel anterior.

Nivel 2: destinada a la adquisición y control de datos dónde la principal tarea es el monitoreo y supervisión de la evolución del proceso. Adquiriendo datos para gestionar mantenimiento, creación de históricos, visualización de eventos y alarmas.

Nivel 3: corresponde al nivel de planificación mediante sistemas (MES) con lo cual se pretende programar la producción, gestión de materiales, gestión de compras, control de inventarios, gastos.

Nivel 4: Es el nivel superior de la pirámide de automatización encargada de la gestión compuesta por los sistemas de gestión integral (ERP).

2.2.3. Sensores y actuadores

2.2.3.1. Sensores

Las variables físicas inherentes en todo proceso requieren ser captadas para ser transmitidas al PLC o controlador, es así que los sensores tienen la capacidad de proporcionar estas señales debido a que se sitúan directamente en el proceso a controlar siendo necesario en varios casos el empleo de transductores que posibilitan convertir la variable física en una señal eléctrica ya sea de corriente o voltaje. Una vez obtenida la señal se la acondiciona para poder ser entregada al controlador pudiendo ser esta una señal continua o discreta. (Balcells & Romeral, 2000)

2.2.3.2. Actuadores

Son los elementos que facultan al controlador o PLC tomar control sobre el proceso o máquina así se tienen actuadores eléctricos, neumáticos, hidráulicos, térmicos pudiendo ser accionados por señales discretas ON OFF o señales análogas 4-20mA. Para lograr la conexión entre PLC y actuadores es necesario incorporar una interfaz o pre – accionadores que posibiliten el acople de señales así se tienen: relés, solenoides, electroválvulas, contactores, variadores de frecuencia; que permitirán controlar el elemento final (Balcells & Romeral, 2000).

2.2.4. Protocolos de comunicación en redes industriales

Se conoce como protocolo al conjunto de reglas que hacen posible el intercambio y transferencia de datos entre los dispositivos que integran una red.

La evolución de las redes industriales y procesos automatizados han dado lugar a la existencia de buses de campo con el objetivo de sustituir las conexiones punto a punto convencionales en lazos de control de corriente 4-20mA o voltaje 0-10 Vdc a redes digitales, bidireccionales, multipunto ensambladas sobre un bus serie facultando la conexión entre dispositivos de campo, actuadores, transductores sensores y equipos de supervisión siendo los más empleados: (Mascarós, V., Casanova, V., & Salt, J, 2004)

2.2.4.1. Profibus (PROcess Field BUS)

Es un bus de campo europeo abierto para el control de procesos, proporciona tres versiones diferentes figuras.

- Profibus DP (Decentralized Periphery)
Diseñado para la comunicación con unidades periféricas descentralizadas con tiempos rápidos de acción que incorpora un maestro y varios esclavos. La configuración del maestro permite identificar los esclavos conectados y el direccionamiento. Orientado a sensores, actuadores conectados a RTU's o PLC's.
- Profibus PA (Process Automation)
Diseñado para control de proceso en áreas con riesgo de explosión, dispone de seguridad intrínseca especializado para la industria química.
- Profibus FMS (Fieldbus Message Specification)
Fue desarrollado para establecer comunicación de autómatas en pequeñas células de proceso y para la comunicación con dispositivos de campo con interface FMS, en la figura 2-2 se muestra la representación y versiones de aplicación de bus Profibus en la industria, en este bus lo primordial es el volumen de información antes que el tiempo de respuesta.

El medio físico más empleado es el estándar RS-485 sin descartar la fibra óptica para largas distancias como se aprecia en la tabla 1-2, las principales características de profibus son:

- ✓ Transmisión asíncrona NRZ
- ✓ Baud rate de 9.6 kBit/s a 12 Mbit/s
- ✓ Par trenzado con blindaje.
- ✓ 32 estaciones por sección, máximo 127 estaciones.
- ✓ Distancia extensible hasta 10km con el uso de repetidoras
- ✓ Conector D-Sub de 9 pines.

Tabla 1-2: Longitud en función de la velocidad de transmisión con cable

Baud rate (bit/s)	9.6	19.2	93.75	187.5	500	1500	2000
Largo/Sección (m)	1200	1200	1200	1000	400	200	100

Fuente: InfoPLC. (2007)

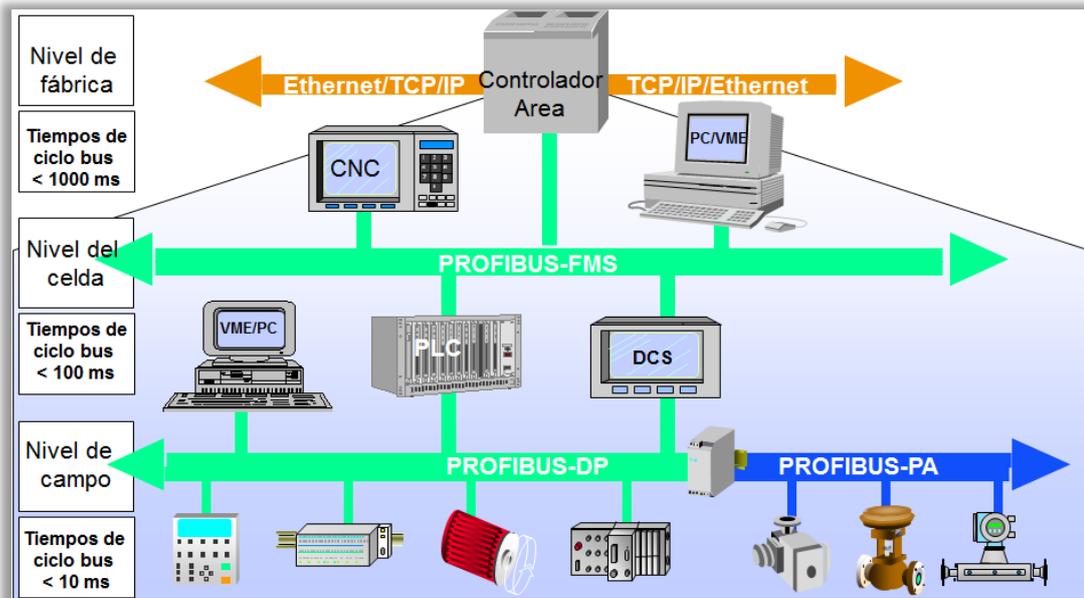


Figura 2-2: Representación de aplicación de bus Profibus en la industria

Fuente: InfoPLC. (2007)

2.2.4.2. Modbus

Empieza protocolo de comunicación serie, es el más común en entornos industriales permitiendo la comunicación entre varios dispositivos electrónicos conectados al mismo bus; existiendo un solo maestro y varios esclavos. Al principio se desarrolló a través de RS-485 o RS-232 llegando en la actualidad al Modbus TCP/IP lo que permite el encapsulamiento modbus en tramas Ethernet.

Para estructurar las unidades de información o caracteres que forman el mensaje. Por emplear interfaces serie el bus es capaz de transferir datos con tasas de hasta 19.2 kbps y alcanzar distancias de hasta 1 km, 63 estaciones como máximo más una estación maestra, el bus permite dos posibles modos de transmisión ASCII y RTU:

- ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Con codificación hexadecimal, consta de 1 bit de inicio, 7 bits de codificación, 1 bit de paridad y 1 o 2 bits de parada con un total de 9 a 11 bits por carácter.
- RTU (Remote Terminal Unit). Codificación binaria, cada carácter posee 1 bit de inicio, 8 bits de codificación, 1 bit de paridad y 1 a 2 bits de parada resultando un total de 10 a 12 bits. (Dutertre, B. 2007)

2.2.4.3. DeviceNet

Es un estándar abierto que posibilita la comunicación entre estaciones con la misma funcionalidad (peer to peer) y comunicaciones activa-pasiva (máster-esclavo). Se tiene tres velocidades de comunicación mostradas en la tabla 2-2:

Tabla 2-2: Velocidad de comunicación DeviceNet

Velocidad	Distancia
125 kbps	500 metros
250 kbps	250 metros
500 kbps	100 metros

Fuente: InfoPLC. (2007)

La topología es la de un bus lineal que transporta por el mismo cable (2 pares) los datos y alimentación (24 volt/16Amax) para los sensores y dispositivos, la longitud de trama es de máximo 8 octetos con 64 nodos permitidos. Emplea terminadores de red, normalmente resistores de 120 ohm 1/4watt que ayudan a minimizar reflexiones en la comunicación, esenciales para el funcionamiento de la red localizados en los extremos del bus. (Brady, J. 1998). En la (figura 3-2) se muestra los colores y asignaciones de terminales de Devicenet.

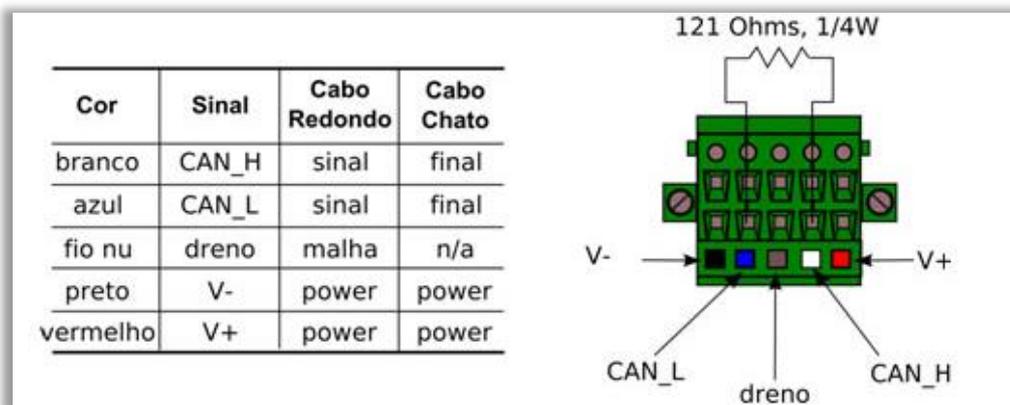


Figura 3-2: Terminadores en DeviceNet

Fuente: (Brady, J. 1998).

2.2.4.4. Hart

Protocolo de comunicación digital que está superpuesto a una señal analógica de 4-20mA como se muestra en la figura 4-2, emplea una onda senoidal de baja frecuencia como portadora de

la información digital modulada por desplazamiento de frecuencia FSK, el 1 lógico es codificado empleando una frecuencia de 1200 Hz y el cero lógico con 2200Hz. La velocidad de transferencia es de 1200bps y alcanza distancias de 3000 metros empleando cable par trenzado apantallado.

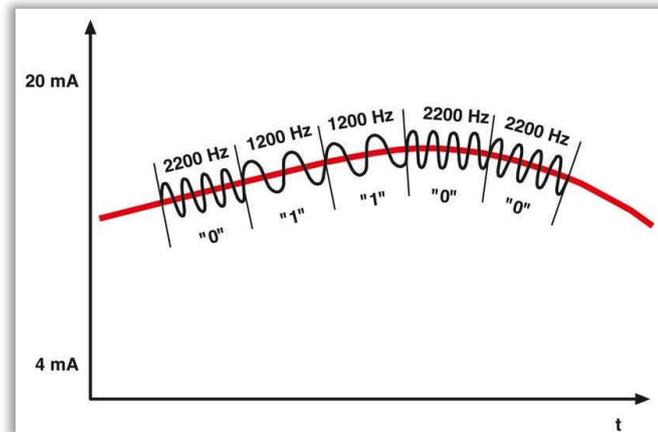


Figura 4-2: Señal de comunicación HART

Fuente: Liu, J., Fang, Y., & Zhang, D. 2007

Soporta comunicaciones punto a punto y multipunto hasta 30 dispositivos sobre un cable de 2 hilos. Se puede transmitir hasta 4 variables de proceso y cada dispositivo puede tener 256 máximos. (Liu, J., Fang, Y., & Zhang, D. 2007)

2.2.4.5. Gateway

Es un dispositivo de conversión de protocolos entre buses de campo que suministra interoperabilidad entre ellos, diseñado para trabajar en modo bidireccional y unidireccional, permitiendo la comunicación de aplicaciones solventando el problema de incompatibilidad entre buses de campo. . (Liu, J., Fang, Y., & Zhang, D. 2007)

2.2.4.6 EtherNet /IP

Es una red a nivel de célula basada en los estándares IEEE 802.3u que permite la integración de redes eficaces de comunicación de gran distancia (100mts) 100Mbit/s, IP (Industrial Protocol) ofrece todo el potencial de Ethernet empleando el protocolo CIP (Common Interface Protocol) que incorpora una trama al datagrama que permite añadir información sobre el destino del paquete permitiendo el determinismo y repetibilidad en el intercambio de información. (Schiffer, V. 2001)

2.2.5. Sistemas en tiempo real

Son sistemas que interaccionan repetidamente con el entorno físico respondiendo a las señales que reciben tan pronto suscite un evento dentro de un plazo determinado, distinguiéndose dos subsistemas que interactúan y cooperan entre sí; un sistema a ser controlado (ambiente o entorno físico) y un sistema que controla (sistema de control). (Kopetz, H. 2011)

2.2.6. Sistemas de control distribuido DCS

Son sistemas de control donde los elementos de control no están centralizados, sino que se distribuyen en todo el sistema con cada componente o subsistema y permiten considerar procesos, grupos de procesos o áreas funcionales; controlados por uno o más controladores capaces de ser definidos por un algoritmo de control que pueda ejecutarse de manera automática. Todos los componentes del sistema están conectados a través de redes de comunicación y monitoreo.

Un DCS permite determinar las siguientes características:

1. Flexibilidad y capacidad de expansión
2. Operaciones de mantenimiento
3. Apertura
4. Operatividad
5. Portabilidad
6. Rentabilidad
7. Redundancia/robustez

En la figura 5-2 se muestra la arquitectura de un DCS, donde se puede apreciar los elementos de campo (instrumentación), controladores integrados al sistema hasta llegar a la estación de trabajo.

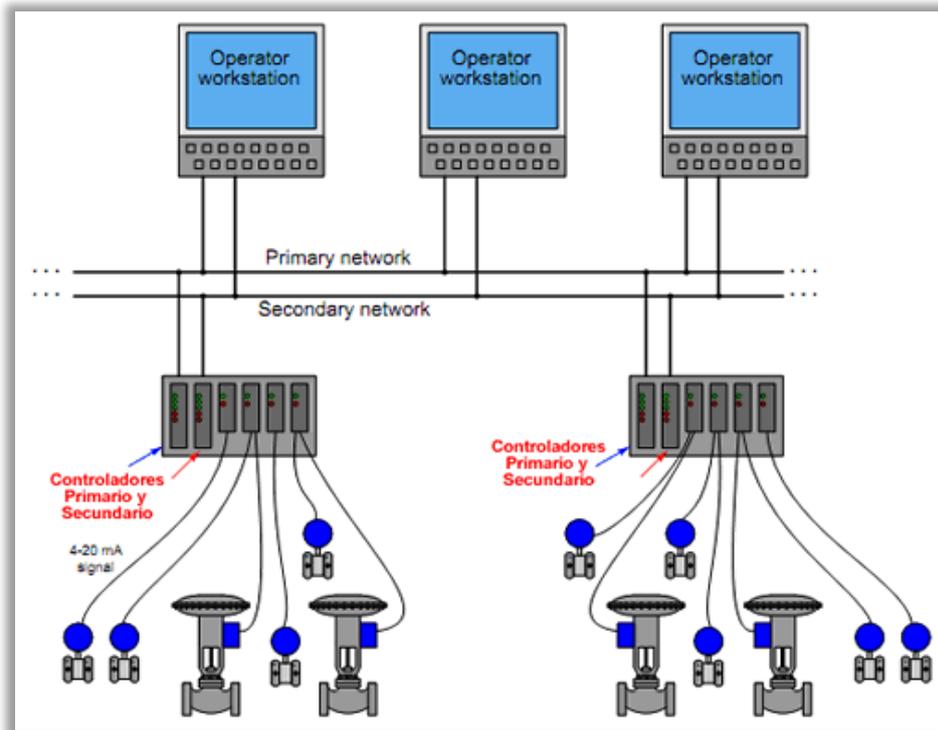


Figura 5-2: Arquitectura típica de un DCS

Fuente: Villajulca, J. (2014)

La arquitectura de un DCS típico establece que cada rack debe contener un controlador destinado a la implementación de las funciones de control, tarjetas individuales de entrada y salida (I/O), redundancia de procesadores, redundancia de cables de red y redundancia de tarjetas (I/O) necesarios para evitar fallas. A continuación, se citan algunos sistemas de control distribuido modernos: (Villajulca, J., 2014)

- ABB: 800xA
- Emerson: DeltaV y Ovation
- Invensys: Foxboro I/A Series e InFusion
- Honeywell: Experion PKS
- Yokogawa: CENTUM VP y CENTUM CS.

2.2.7. Delta V

Sistema de control distribuido diseñado por Emerson Electric Co. para brindar los beneficios que ofrece HART y las redes fieldbus como parte de la arquitectura digital de la planta, incorpora el AMS para la calibración, configuración y diagnóstico de instrumentos de campo.

La figura 6-2 muestra la flexibilidad de integración con soporte para los estándares de bus AS-i, DeviceNet y Profibus que ofrece DeltaV.

DeltaV brinda la capacidad de control y acceso a la información en tiempo real de toda la empresa con el OLE integrado para el control de procesos (OPC) y tecnologías XML. Consta de herramientas de control avanzado, las cuales reducen fácilmente la variabilidad del proceso, la herramienta Insight permite una afinación fácil para calcular y controlar los parámetros para los lazos PID y Fuzzy Logic, DeltaV Neural para redes neuronales y DeltaV Predict para el control basado en modelos. (León A., 2017)

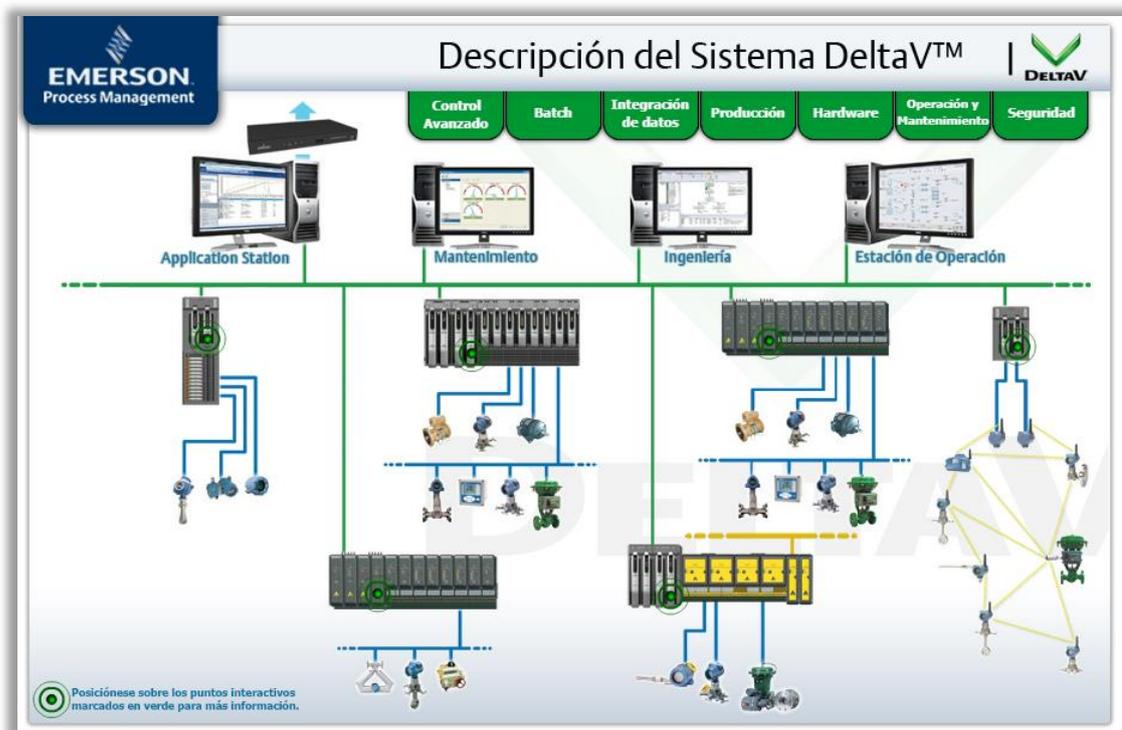


Figura 6-2: Descripción del sistema DeltaV

Fuente: León, A. (2017)

2.2.7.1. Componentes DeltaV

- **Estaciones de trabajo DeltaV**

Permiten realizar la configuración del sistema, diagnósticos y operación de la planta. Para integrar el sistema de control se requieren de las siguientes: (Emerson, 2017).

1. *Professional Plus (única)*. - Contiene la base de datos central del sistema, licencias a nivel de todo el sistema; permitiendo tener acceso a todos los datos de la planta, incluyendo

aplicaciones a terceros. Cuenta con un conjunto completo de herramientas de operación, diagnóstico, configuración y de ingeniería que permiten el desarrollo de lógicas de control y de la interfaz gráfica, de acuerdo a la norma IEC-61131-3.

La gestión de usuarios se lleva a cabo desde esta estación permitiendo al administrador configurar los privilegios de cada usuario y mantener la seguridad base del sistema.

2. *Estación Zone Server.* - Es el nexo de conexión entre múltiples sistemas autónomos su descripción gráfica se muestra en la figura 7-2 donde se tiene 4 zonas interconectadas entre sí.

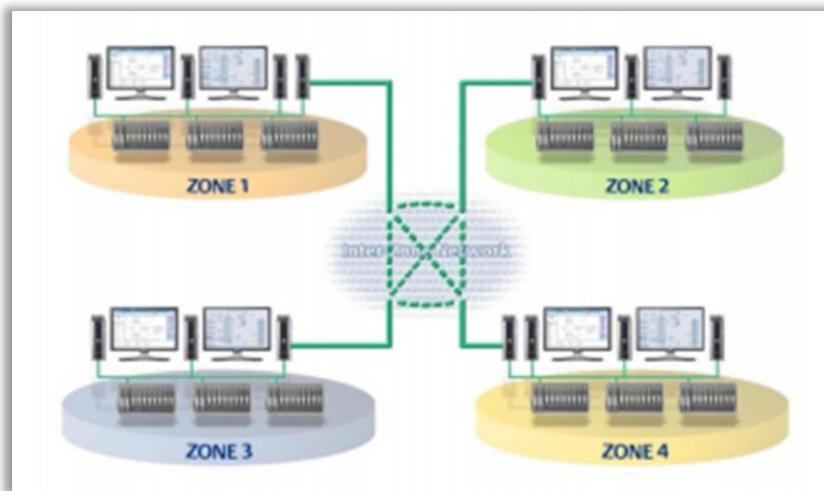


Figura 7-2: Descripción del sistema DeltaV

Fuente: DeltaV Arquitectura 2017

3. *Estación de operación.* - Es una combinación de software y hardware que proporciona una vista dinámica de los procesos de planta con la estabilidad, el rendimiento y la flexibilidad necesarios en el sistema de control.

Se la emplea para representar gráficos de control, diagnóstico, alarmas, tendencias y pantallas de estado, históricos, pantallas funcionales y registro de eventos.

4. *Estación de aplicación.* - Permite la integración rápida, eficiente y confiable del sistema DeltaV con aplicaciones que se encuentran fuera de la plataforma de la empresa.

La estación de aplicación utiliza DeltaV OPC Data Access Server para integrar los datos del proceso con el resto de la empresa, capaz de procesar hasta 3000 valores por segundo encargándose de las tareas de comunicación. No permite configurar el sistema u operarlo.

- **Controlador DeltaV**

Corre los algoritmos para controlar el equipo de proceso y comunicar los datos del mismo al operador, se los emplea redundantes, debido a su capacidad de proteger el proceso en caso de falla en hardware, así si un controlador activo falla el controlador que se encuentra en standby toma el control dotando al proceso la capacidad de controlar la operación de manera ininterrumpida sin necesidad de ser inicializado o intervenido por el usuario. En la figura 8-2 se muestra los distintos tipos de controladores empleados en sistemas Delta V.



Figura 8-2: Controlador Redundante DeltaV

Fuente: DeltaV Arquitectura 2017

- **Módulos de entrada y salida E/S.**

Permiten la conexión con actuadores y sensores los módulos más empleados son:

1. Serial Card RS232 /RS485
2. Profibus DP Card
3. DI card 32 Channels
4. DO card 32 Channels
5. AI 4-20mA Hart Charm
6. AO 4-20mA Hart Charm

2.2.8. Proceso secuencial

El proceso se descompone en una serie de operaciones que han de realizarse secuencialmente respondiendo a las señales del proceso empleando como estrategia de control el automatismo. Villajulca, J. (2014)

2.2.9. Poliducto

Sistema de tubería desarrollado para el transporte de hidrocarburos en fase líquida sin afectar considerablemente sus especificaciones de calidad. (Neira, Z., & Ricardo 2003).

2.2.10. Interfase

Es el frente de contaminación generado cuando se transportan diferentes productos por la misma línea (poliducto); no deseable en el transporte de productos refinados, donde las especificaciones de calidad son críticas, así la planificación de secuencia de bombeo de los diferentes productos a través de la misma línea es primordial para reducirla. (Neira, Z., & Ricardo 2003). En la figura 9-2 se muestra la curva característica de una interfase que permite interpretar el comportamiento de los productos puros A y B de distinta densidad al ser transportados mediante poliducto generando una interfase o frente de contaminación.

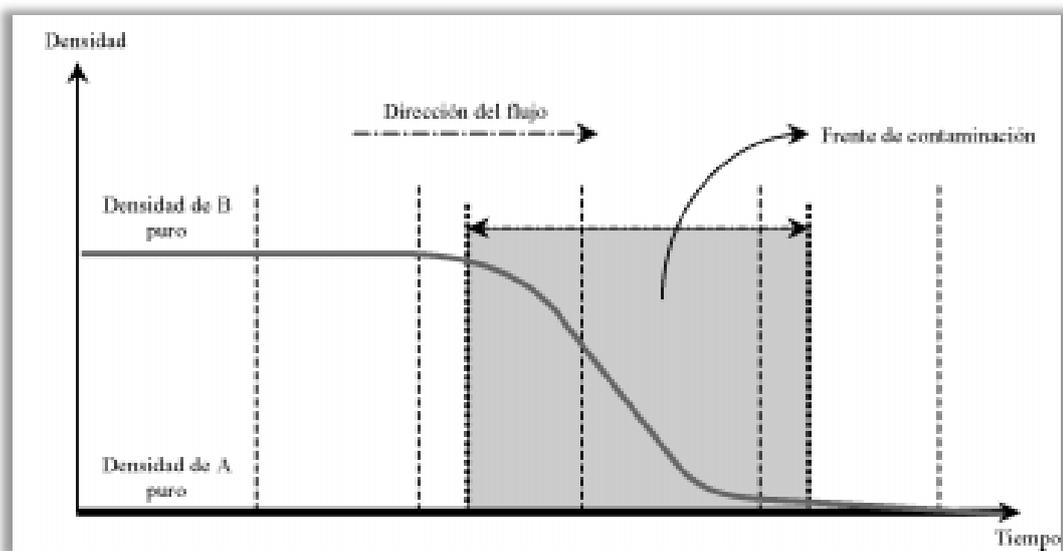


Figura 9-2: Curva característica de monitoreo de densidad en un poliducto

Fuente: (Neira, Z., & Ricardo 2003).

A continuación, en la figura 10-2 se muestran los factores que generan interfase, los mismos que son de suma importancia al momento de transportar derivados por poliducto.

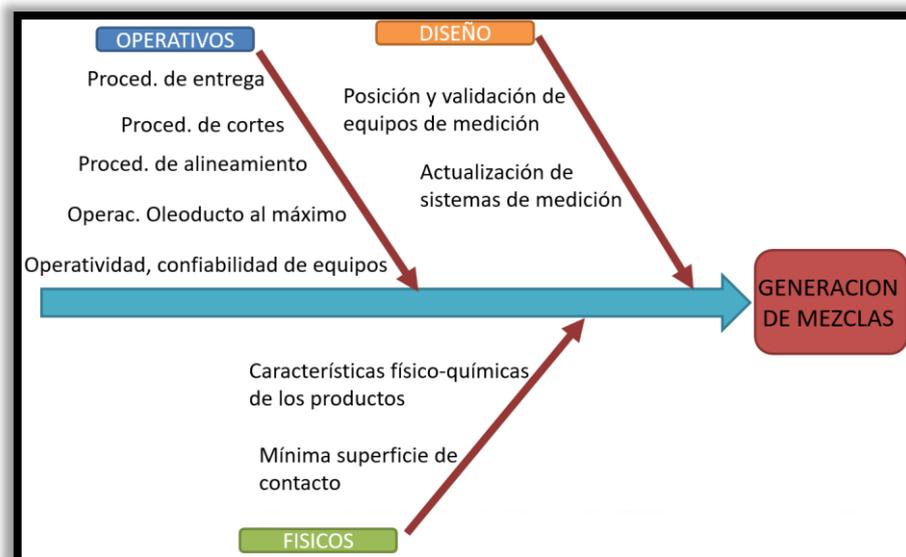


Figura 10-2: Factores que generan interfase

Fuente: (Rossel Cartes, 2017).

2.2.11. Gravedad API

Escala de gravedad específica desarrollada por el Instituto Estadounidense del Petróleo (American Petroleum Institute, API) para medir la densidad relativa de diversos líquidos de petróleo, expresada en grados.

La gravedad API está graduada en grados en un instrumento de hidrómetro y fue diseñada de manera tal que la mayoría de los valores quedaran entre 10° y 70° de gravedad API. La fórmula arbitraria utilizada para obtener este efecto es: Gravedad API = $(141,5/GE \text{ a } 60 \text{ °F}) - 131,5$; donde GE es la gravedad específica del fluido. ("gravedad API - Schlumberger Oilfield Glossary", 2017)

2.2.12. GRAFCET (Gráfico de control de etapas y transiciones)

Es el método gráfico para la especificación, análisis y diseño de automatismos que permite el modelado de sistemas secuenciales desarrollado en 1977 por AFCET (Asoc. Francesa para la cibernética) y ADEPA (Agencia Nac, para el desarrollo de la producción automatizada). Describe la evolución de un proceso que se pretende controlar, indicando las acciones que hay que realizar sobre dicho proceso y que efecto provoca ejecutar una u otra acción.

Se distinguen los siguientes elementos: (León P, 2016)

1. *Etapa inicial:* Representan el estado en el que se encuentra el proceso cuando se pone en funcionamiento el automatismo.
2. *Arco:* Línea que une dos etapas consecutivas.
3. *Receptividad:* Condición (T1, T2, T3,...) que describe la evolución entre dos estados consecutivos. En la figura 11-2 se tiene la representación típica de estados y transiciones en un GRAFCET los cuales permiten describir el automatismo.

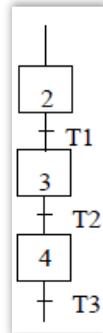


Figura 11-2: Representación típica de estados y transiciones en un GRAFCET
Fuente: (León P, 2016)

4. *Transición:* Arco + receptividad. Barrera existente entre dos etapas consecutivas y cuyo franqueamiento hace posible la evolución del sistema.
5. *Acción asociada a una etapa:* Acción o efecto que se desea aplicar mientras esté activa la etapa del sistema a la que se asocie.

Se tienen las siguientes reglas de evolución:

- a. Las acciones asociadas a una etapa están activas cuando la etapa está activa.
- b. Las etapas se activan de forma secuencial.
- c. Una etapa se activa cuando la anterior está activa y se satisface la condición de transición.
- d. La activación de una etapa supone la desactivación de la etapa anterior.
- e. La etapa inicial E0 se supone activa antes de que comience la evolución.

Se distinguen los siguientes niveles de operación:

- a. *Descripción funcional:* Es la descripción global del automatismo que permite comprender rápidamente su función, como se muestra en la (figura 12-2). No hace referencia a ningún tipo de tecnología empleada.

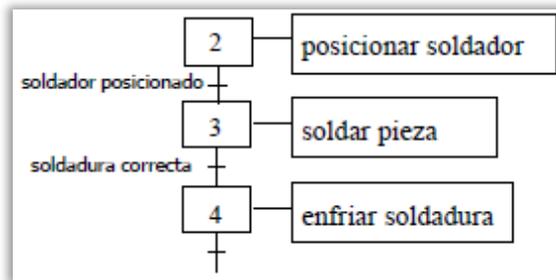


Figura 12-2: GRAFCET de nivel I

Fuente: (León P, 2016)

- b. Descripción tecnológica: Descripción a nivel tecnológico y operativo del automatismo, así como las tareas que han de realizar los elementos escogidos se muestra en la figura 13-2.

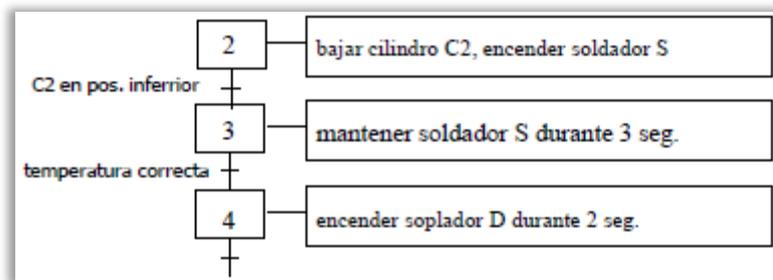


Figura 13-2: GRAFCET de nivel II

Fuente: (León P, 2016)

- c. Descripción operativa: Nivel de operación más detallado, definirá la evolución del automatismo y la activación de las salidas en función de la evolución de las entradas como se presenta en la figura 13-2.

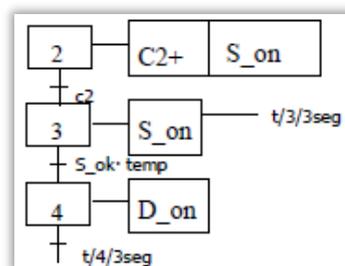


Figura 14-2: GRAFCET de nivel III

Fuente: (León P, 2016)

2.2.13. Guía GEMMA

GEMMA (Guided'Etude des Modes de Marches et d'Arrets) describe guías de estudio de los modos de marcha y paro del control secuencial complementado con el GRAFCET que buscan

establecer una metodología que incluya el funcionamiento correcto del proceso controlado junto con el funcionamiento ante anomalías incluyendo situaciones de emergencia. Es necesario seguir las siguientes fases:

- Automatización
- Supervisión
- Interacción
- Implementación
- Pruebas

La relevancia de la guía GEMMA radica en que promueve claramente la integración entre dos áreas de conocimiento complementarias como son la supervisión y la automatización.

2.2.14. Diagramas P&IDs

Con la finalidad de representar de una manera fácil y ordenada la información sobre un proceso en instrumentación y control se emplea un sistema de símbolos, el conjunto de estos símbolos se los conoce con el nombre de diagramas de instrumentación y tuberías (Piping and Instrumentation Diagrams, P&ID).

La interpretación de los diagramas es fundamental en el diseño, operación y mantenimiento del proceso industrial, por lo cual los símbolos han sido estandarizados por la ISA (Sociedad de Instrumentistas de América) para representar los instrumentos y equipos como se muestra en la figura 15-2. La norma ANSI/ISA-S5.1 es conveniente para el uso en las industrias química, petróleo, refinado de metales y otros procesos industriales. (Corrales Paucar, L., 2007). La figura 15-2 representa el diagrama de proceso e instrumentación correspondiente a la receptora de productos limpios, donde se representa las válvulas asociadas a la recepción de pig.

CAPITULO III

3. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

Una vez revisado el marco conceptual detallado en el capítulo II el cual tiene como fin presentar los fundamentos de sistemas de automatización, sus componentes, protocolos, su clasificación y alcance se procede al diseño de la metodología a emplear para reducir el volumen de mezcla generado en el proceso de recepción de interfases de productos limpios diésel-súper y súper diésel.

Se hizo uso de la metodología experimental iniciando con el detalle del proceso a automatizar continuando con el desarrollo de un control secuencial que será integrado al sistema de control existente empleando la guía GEMMA como herramienta. Como complemento a la investigación se aplica el método deductivo ya que parte de verdades previamente establecidas como principios generales; para luego ser aplicadas a casos individuales y así comprobar su veracidad en el desarrollo de procesos en redes Industriales.

Se emplea el método cuantitativo ya que posterior a la integrar al sistema de control el algoritmo de control secuencial; el volumen de interfase generado en el proceso de recepción es cuantificado.

3.1. Descripción del proceso

La terminal de productos limpios Cuenca EP Petroecuador dispone del área de recepción, “reductora” que es el punto de llegada de productos limpios que parten desde la estación de bombeo Pascuales atravesando 5 estaciones de bombeo: estación Chorrillo, estación Troncal, estación Delicia, estación Ducur y estación Charcay por medio de un poliducto de aproximadamente 200 km de longitud.

Para el monitoreo y recepción de los productos transportados por el poliducto, se cuenta con los siguientes instrumentos:

- Densímetro DT-7100A
- Densímetro DT-7100B

- Válvula Reductora de presión PCV-7101A, para GLP
- Válvula Reductora de presión PCV-7101B, para productos limpios
- Válvula MOV-7101A, para la línea de entrada de GLP
- Válvula MOV-7101B, para la línea de entrada de productos limpios.

A una distancia alrededor de 700 metros aguas arriba a la llegada a la estación reductora, se ubica el Densímetro DT-7100A, con el objeto de permitir al operador y al sistema de control advertir de la llegada de interfases y de nuevos baches de producto para realizar las acciones operacionales respectivas de recepción y almacenamiento.

La secuencia de bacheo por el poliducto es la siguiente: Gasolina Extra – Gasolina Súper – Gasolina Extra – GLP – Gasolina Extra - Diésel

Se dispone de los siguientes tanques de almacenamiento:

Gasolina Extra:	2 de 40 000 Barriles
Gasolina Súper:	2 de 15 000 Barriles
Diésel:	2 de 45 000 Barriles
GLP	2 esferas de 3200 TM

En la entrada de la estación se cuenta con un Densímetro DT-7100B, el mismo que permite detectar la densidad del producto que está ingresando a la estación.

Antes del manifold de ingreso a los tanques de productos limpios, se ubica el Densímetro DT-7127 y un visor SG-7127, que posibilitan determinar el producto y por medio del visor diferenciar por la coloración si es gasolina Extra o gasolina Súper. La interfase Gasolina Extra/Diésel, Diésel/Extra es enviada a los tanques de slop.

Se cuenta con rango de densidades tabla para diferenciar los productos de llegada, tabla 1-3:

Tabla 1-3: Rango de densidades en el proceso de productos limpios

RANGO DE DENSIDADES		
EXTRA	710	750
DIESEL	825	880
GLP	500	550

Fuente: Terminal de productos limpios Cuenca EP-Petroecuador

La Terminal Cuenca dispone de la siguiente infraestructura para la recepción y distribución de productos:

- Válvulas de cierre de emergencia, ESDV-7100 a la entrada de la estación. Esta válvula permite el cierre de emergencia en caso de fugas. El accionamiento de esta válvula está ligado al Sistema Instrumentado de Seguridad de la estación y al sistema de detección de fugas en el poliducto.
- Trampa receptora de herramientas de limpieza, TCU-RE-7110.
- Válvulas motorizadas MOV-7101A (GLP) y MOV-7101B (productos limpios).
- Válvula reductora de presión PCV-7101B en la línea de entrada de Productos limpios a la estación. Esta válvula esta comandada por el controlador de presión PIC-7100 y tiene la función de mantener la presión positiva en el sitio más alto de la cordillera.
- Válvula reductora de presión PCV-7101B. Esta válvula esta comandada por el controlador de presión PIC-7101B y tiene la función de mantener la presión de llenado de tanques de almacenamiento de productos limpios.
- A continuación de la regulación de presión, se encuentra la MOV-7101B, que permite el ingreso de productos limpios al manifold de llenado de tanques.
- En caso de alta presión en la línea en las líneas de productos limpios, detectada por el PIT-7101B, el switch PSH-7102B cierra inmediatamente la ESDV-7100.
- Manifold de distribución de productos.

En la figura 1-3 se muestra el diagrama de bloques que describe el proceso de recepción de productos limpios desde la recepción por poliducto, hacia su tanque de almacenamiento final.

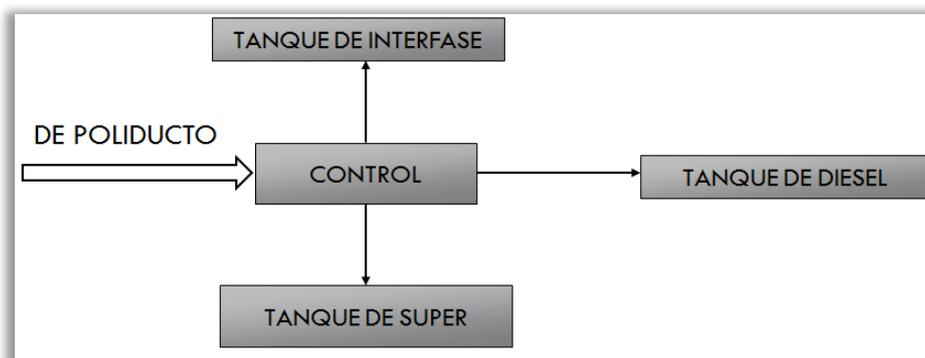


Figura 1-3 Diagrama de bloques almacenamiento de productos limpios

Fuente: Terminal de productos limpios Cuenca EP-Petroecuador

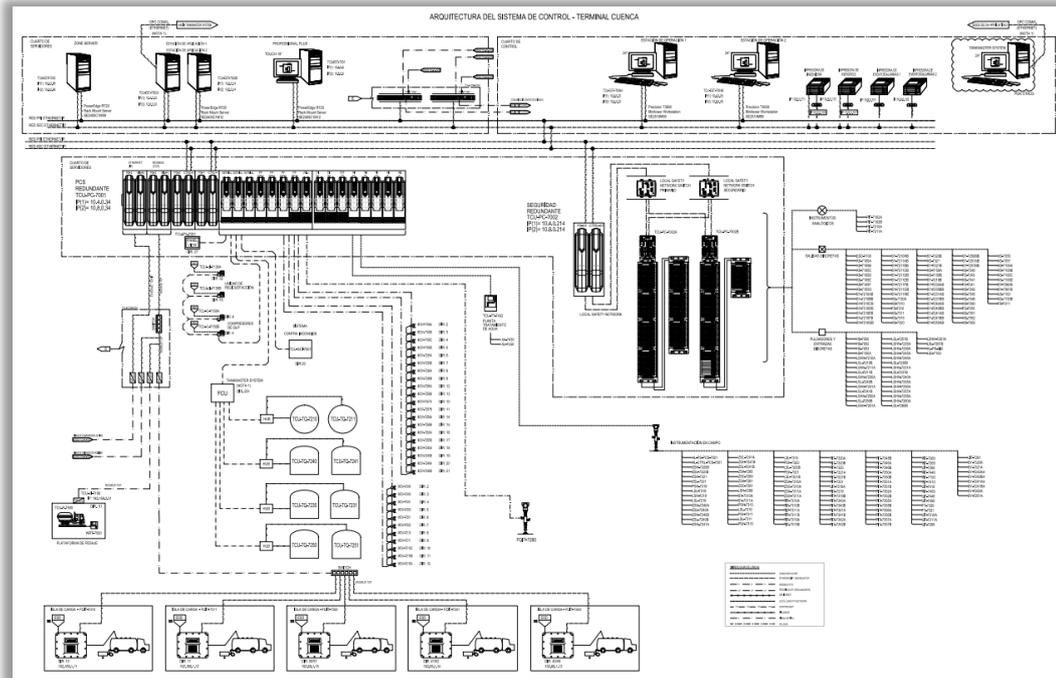


Figura 3-3: Arquitectura del sistema de control en Delta V

Fuente: Terminal de productos limpios Cuenca EP-Petroecuador

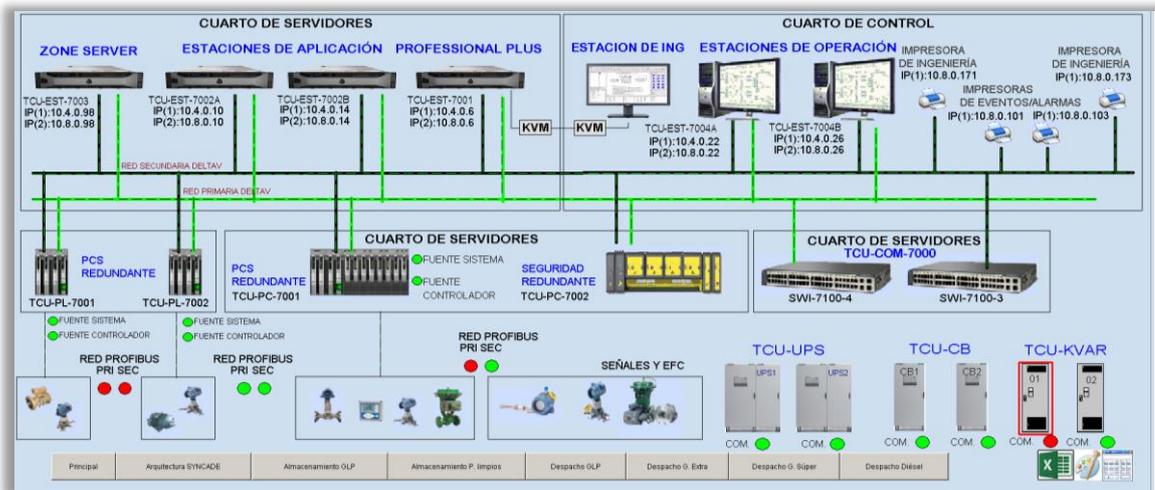


Figura 4-3: Arquitectura del sistema de control visto en el HMI

Fuente: Terminal de productos limpios Cuenca EP-Petroecuador

En la figura 4-3 se muestra la arquitectura del sistema de control implementado en Delta V de la terminal de productos limpios EP Petroecuador en donde los actuadores están conectados mediante la red de comunicación industrial Profibus DP redundante y la instrumentación de campo por cableado en duro al controlador.

3.1.1. Interfase: Gasolina Súper –Diésel a implementar

Para efectuar la secuencia de control para la recepción de interfases se emplearán los datos entregados de campo por los densímetros DT-7100A y la densidad API de la unidad de medición de productos limpios TCU-FQIT-7125B. El valor de la densidad API tanto para el corte de producto como el cambio se ingresará desde HMI.

Existe un botón de confirmación Súper/Diésel en HMI; el mismo que permitirá ser accionado siempre y cuando se hayan comprobado permisivos y selección de tanques previos para habilitar el sistema de recepción de manera automática. La figura 5-3 muestra la secuencia lógica a seguir para cumplir la recepción de productos y su derivación a cada tanque de almacenamiento.

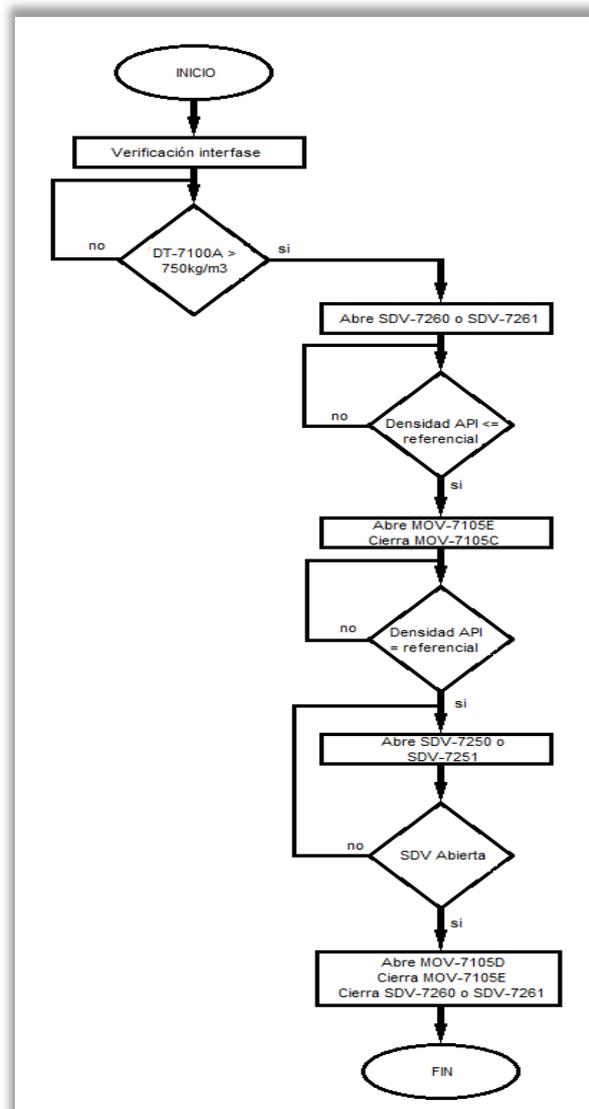


Figura 5-3: Diagrama de flujo recepción de interfases súper-diésel

Fuente: Raafael Anubis Mejía Granda

3.1.2. Interfase: Diésel- Gasolina Súper a implementar

Existe un botón de confirmación Diésel/Súper en HMI; el mismo que permitirá ser accionado siempre y cuando se hayan comprobado permisivos y selección de tanques previos para habilitar el sistema de recepción de manera automática. La figura 6-3 muestra la secuencia lógica a seguir para cumplir la recepción de productos y su derivación a cada tanque de almacenamiento.

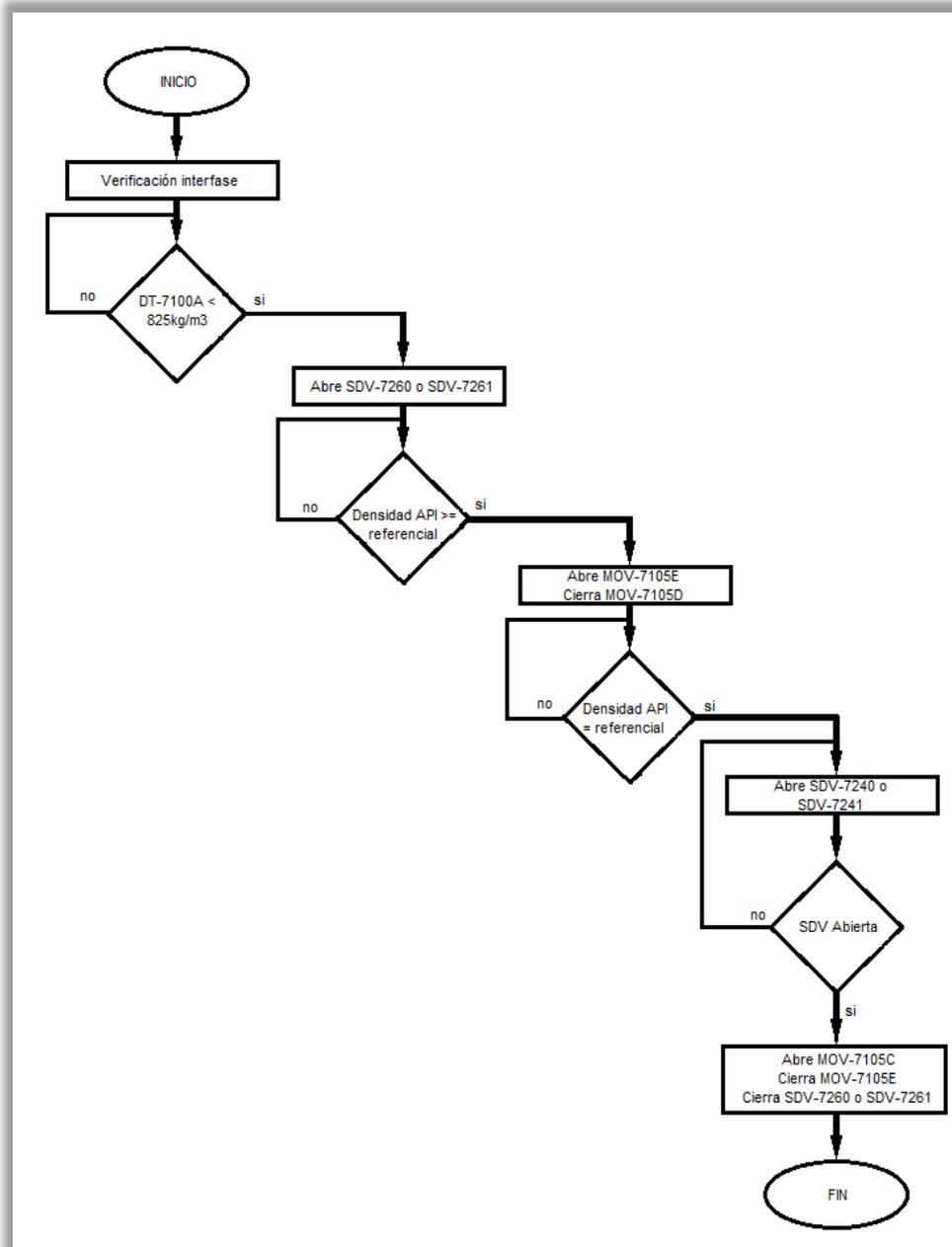


Figura 6-3: Diagrama de flujo recepción de interfases diésel-súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Con la finalidad de establecer densidades API a ser consideradas durante el proceso de interfases se ha clasificado como se muestran en la tabla 2-3.

Tabla 2-3: Densidades API consideradas en el proceso de recepción de productos

Densidad API		
Diésel	Súper	Interfase
35.9	59.1	46.1
36.2	60	46.3
37.3	60.1	46.4
38.4	60.2	47
39.8	60.5	47.3

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

3.2. Diseño de la metodología

El diseño de la metodología se basa en el desarrollo del algoritmo de control secuencial que permita realizar la recepción de interfases de manera automática brindando la capacidad de supervisar, interactuar y controlar el proceso. Tomando en consideración el estándar IEC-61131-3 que hace referencia a los esquemas para programar controladores se hará uso de bloques de función secuenciales SFC (Sequential Function Chart) para integrar al sistema de control dicho algoritmo.

En la tabla 3-3 se presentan los elementos a emplear en el proceso de recepción de productos limpios.

Tabla 3-3: Elementos empleados en el proceso de recepción de productos limpios

Actuador	Descripción	Estado inicial	Valores posibles	Señal
MOV-7105A	Válvula motorizada manifold productos limpios.	Abierta	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
MOV-7105B	Válvula motorizada manifold productos limpios extra	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
MOV-7105C	Válvula motorizada manifold productos limpios super	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
MOV-7105D	Válvula motorizada manifold productos limpios diesel	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
MOV-7105E	Válvula motorizada manifold productos limpios interfase	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
SDV-7250A	Válvula shutdown entrada al tanque diésel TQ-7250	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
SDV-7251A	Válvula shutdown entrada al tanque diésel TQ-7251	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
SDV-7240A	Válvula shutdown entrada al tanque súper TQ-7240	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
SDV-7241A	Válvula shutdown entrada al tanque súper TQ-7241	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
SDV-7260	Válvula shutdown entrada	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta

	al tanque interfase TQ-7260			
SDV-7261	Válvula shutdown entrada al tanque interfase TQ-7261	Cerrada	Abierta(1) – cerrada(0)	Discreta
Sensor	Descripción	Estado	Valores posibles	Señal
DT-7100A	Densímetro ultrasónico	activo	500 – 800 kg/m ³	Análoga 4-20mA
FQIT-7126	Transmisor totalizador indicador de flujo	activo	30-68 API 0-1200 BPH	Análoga 4-20mA

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Una vez determinados los elementos a ser empleados en el proceso de automatización se presenta el Grafset a ser considerado en el desarrollo del algoritmo de control secuencial, donde se ha considerado condiciones de falla que pueden presentarse en cualquier momento del proceso y las acciones correspondientes que debe tomar el sistema de control para llevar el proceso a un modo seguro.

Analizando el proceso a automatizar se ha establecido las siguientes transiciones que proporcionarán las condiciones idóneas para controlar la evolución del proceso en forma automática.

- **Transiciones:**

La siguiente tabla 4-3 describe las transiciones del GRAFCET a integrar al sistema:

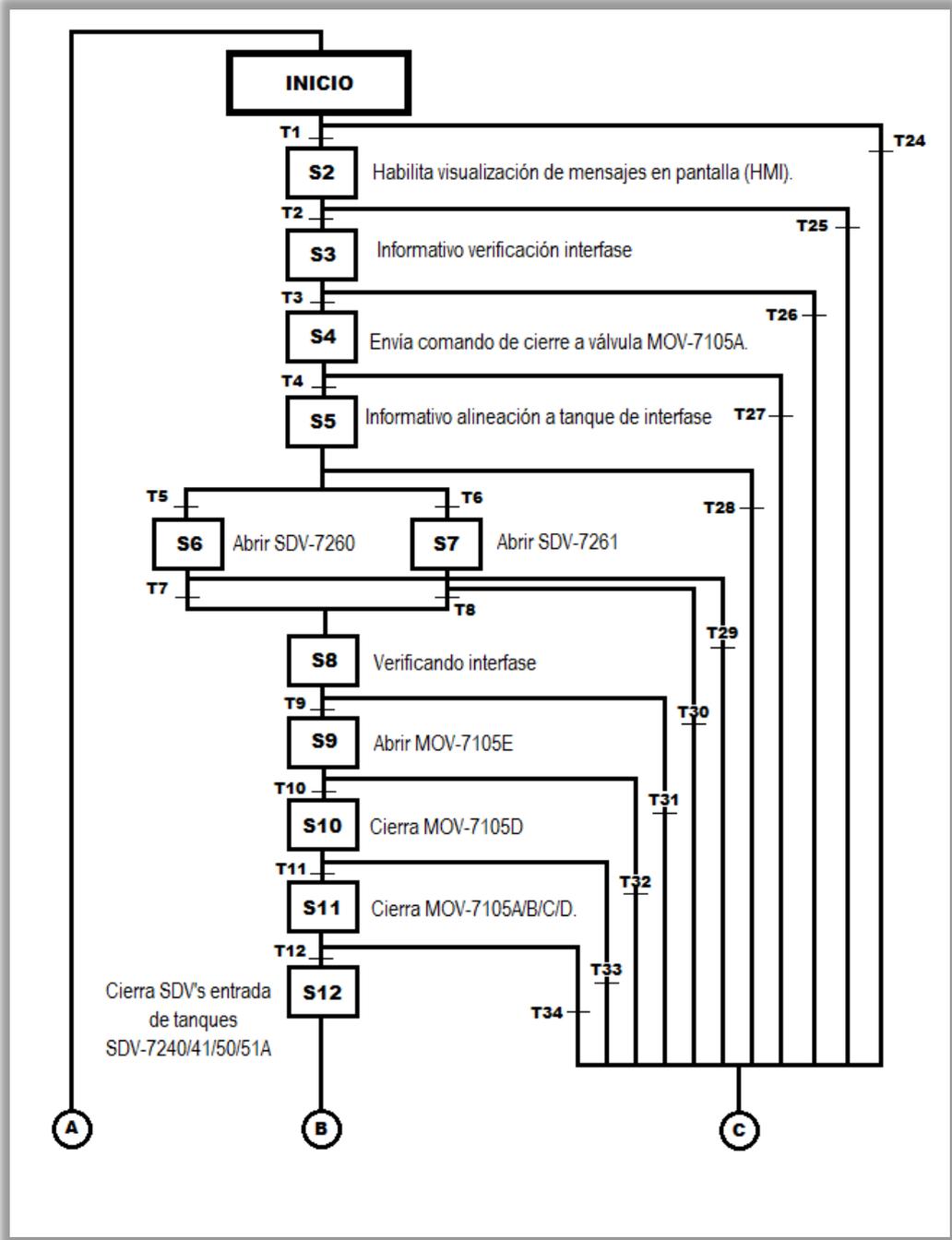
Tabla 4-3: Descripción de transiciones

Transición	Descripción funcional
T1	Transición de inicio, siempre verdadera (TRUE).
T2	Transición de verificación de selección de interfase y permisivos de alineación en reductora, así como verificación de densidad en DT-7100 ^a
T3	Verifica que haya presencia de interfase
T4	Verificación de selección de tanques
T5	Verifica que se haya seleccionado el TQ-7260
T6	Verifica que se haya seleccionado el TQ-7261
T7	Verifica apertura de SDV-7260
T8	Verifica apertura de SDV-7261
T9	Verificación de densidades para iniciar alineación a interfase
T10	Verifica alineación de válvula de manifold correspondiente a la línea de interfase
T11	Verifica cierre de MOV-7105D válvula de manifold correspondiente a diésel o súper según el caso
T12	Verifica cierre de válvulas de manifold.

T13	Verifica cierre de SDV de súper o diésel según el caso
T14	Verifica densidad para cambio a súper o diesel
T15	Verifica selección de TQ-7240 o TQ-7250.
T16	Verifica selección de TQ-7241 o TQ-7251
T17	Verifica apertura de SDV-7240A o SDV-7250A
T18	Verifica apertura de SDV-7241A o SDV-721A
T19	Verifica apertura de válvula MOV-7105C (súper) o MOV-7105D (diésel) del manifold
T20	Verifica cierre de válvulas de manifold
T21	Verifica cierre de SDV de tanque slop (interfase)
T22	Verifica cierre de válvulas de manifold
T23	Verifica cambio de densidad fuera de rangos para súper o diésel según la interfase direccionando la secuencia al inicio
T24, ..., T44	Verifican paro de secuencia "aborto"
T45	Verifica que se haya reiniciado la secuencia direccionándola al inicio.

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

A continuación, en la figura 7-3 se presenta el GRAFCET desarrollado para la recepción de interfases diésel – súper y súper – diésel.



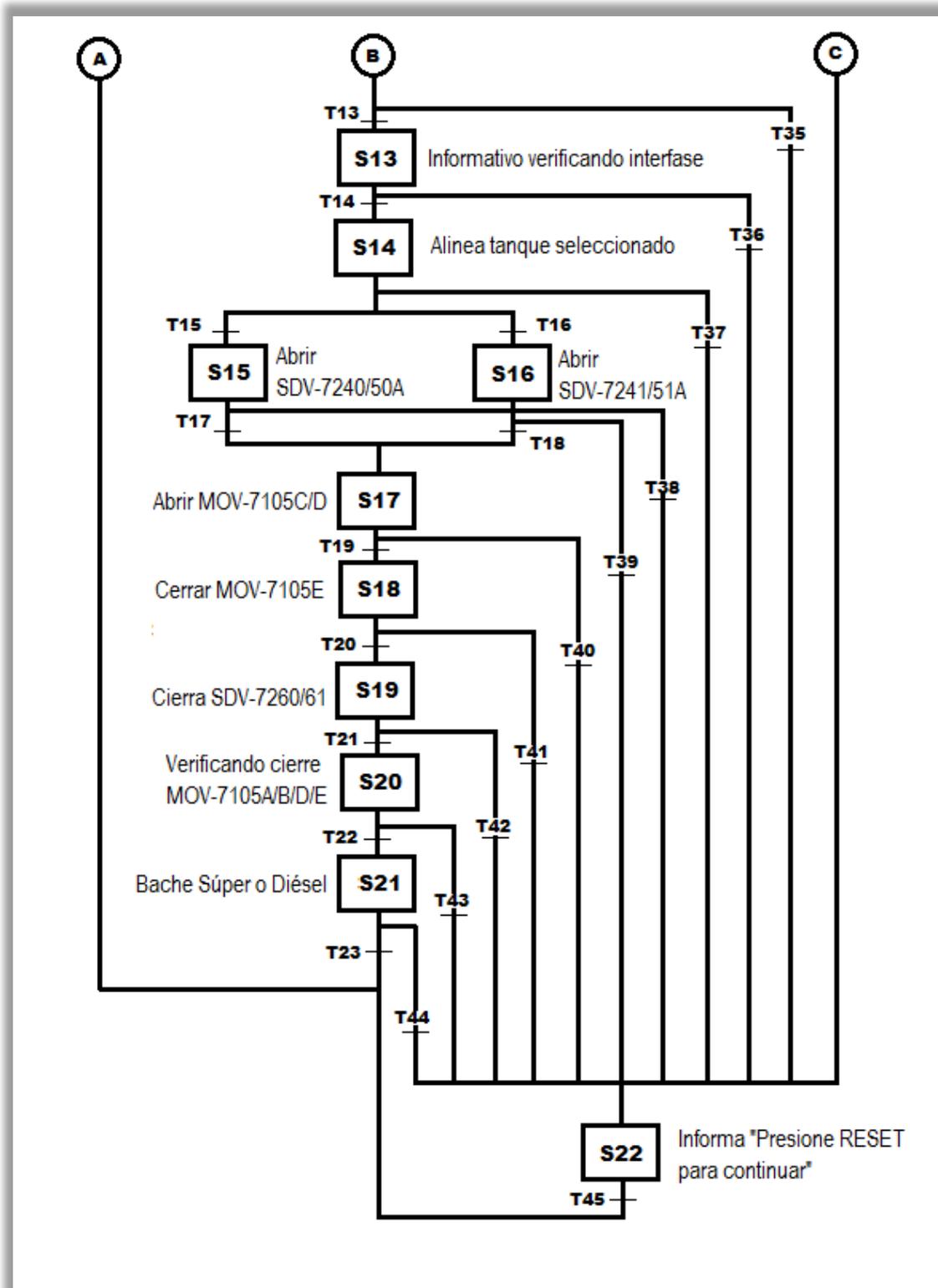


Figura 7-3: GRAFCET para la recepción de interfases diésel-súper y súper-diésel
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

3.3. Integración de la secuencia al sistema de control

La configuración básica del sistema requiere definir las áreas de la planta, módulos de control e identificar las etiquetas de señal de dispositivo (DST'S) en DeltaV Explorer, para ello se ha establecido la siguiente configuración. La figura 8-3 muestra la configuración del sistema Delta V, las estrategias de control, áreas de la planta, celdas de proceso y módulos de control que permiten la integración del algoritmo.

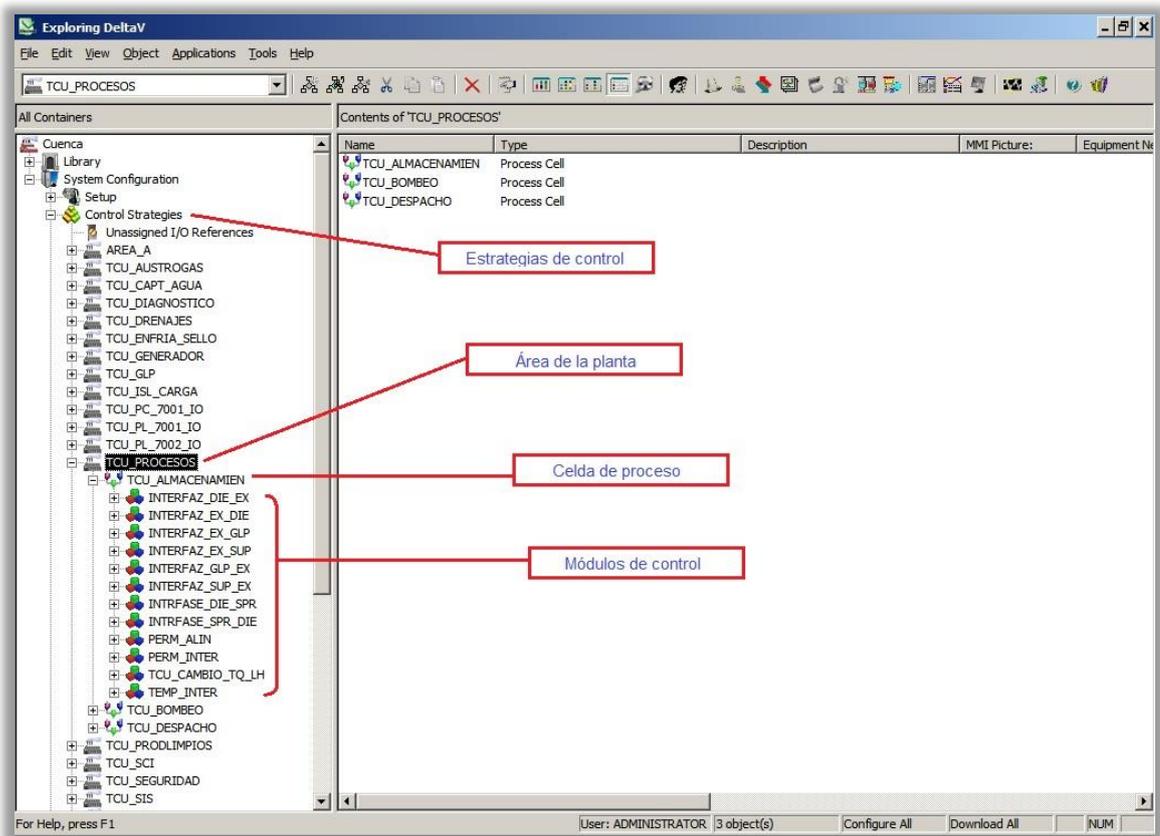


Figura 8-3: Configuración del sistema, DeltaV Explorer

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Delta V demanda de una división lógica de un sistema de control de proceso denominada “área” que representan típicamente las ubicaciones de la planta o funciones principales del proceso, celdas de proceso empleadas para organizar las unidades o módulos dentro de un área específica y módulos de control donde se incorporan los algoritmos implementados al sistema.

El desarrollo de la interfaz hombre máquina HMI para la integración de las interfases automáticas al sistema de control requiere de la incorporación de dos botones adicionales para seleccionar la interfase a recibir; así como el ingreso de la densidad API referencial para el

inicio de la interfase y fin de la misma. La figura 9-3 muestra la escritura, lectura de variables y selección de interfase a ser recibida.



Figura 9-3: Variables de campo, escritura y selección de interfase vistas en HMI

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

La figura 10-3 muestra la lectura de variables de campo como son API-ACTUAL-B1, API-ACTUAL-B2; así como la escritura desde HMI API-INI, API-FINL, EXTRA-R1, EXTRA-R2, DIESEL-R1 y DIESEL-R2 hacia el sistema.

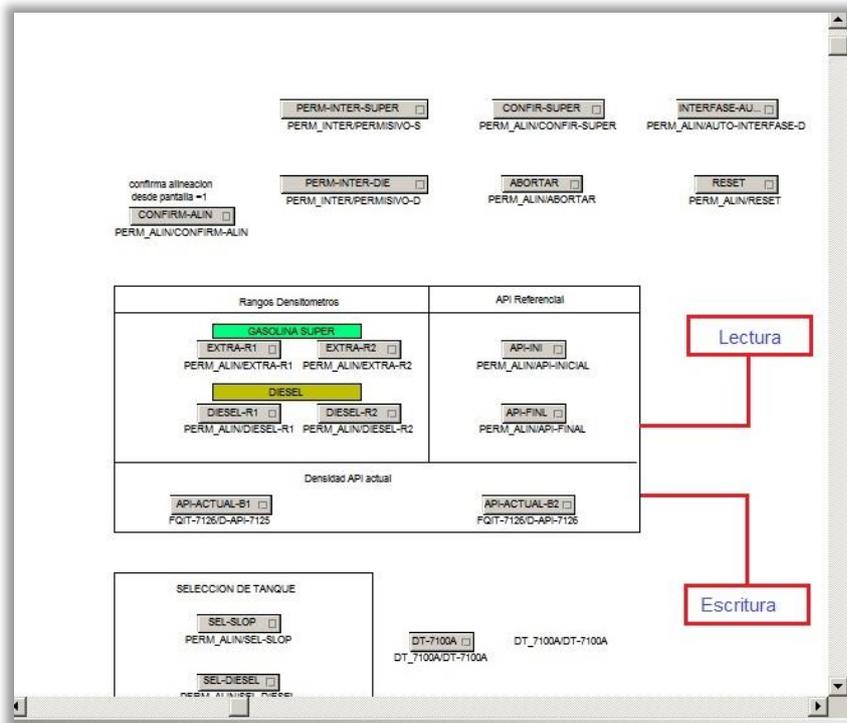


Figura 10-3: Lectura de variables de campo y escritura desde HMI

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

3.3.1. Interfase: Diésel-Gasolina Súper

Al tener definida una secuencia a seguir se han implementado permisos requeridos como seguridad del proceso para que se garantice la recepción de interfase, es así que se inicia con integrar un algoritmo de bloques funcionales de verificación de alineación en válvulas como se muestra en la figura 11-3, se presenta el algoritmo de verificación del módulo de control PERM_ALIN.

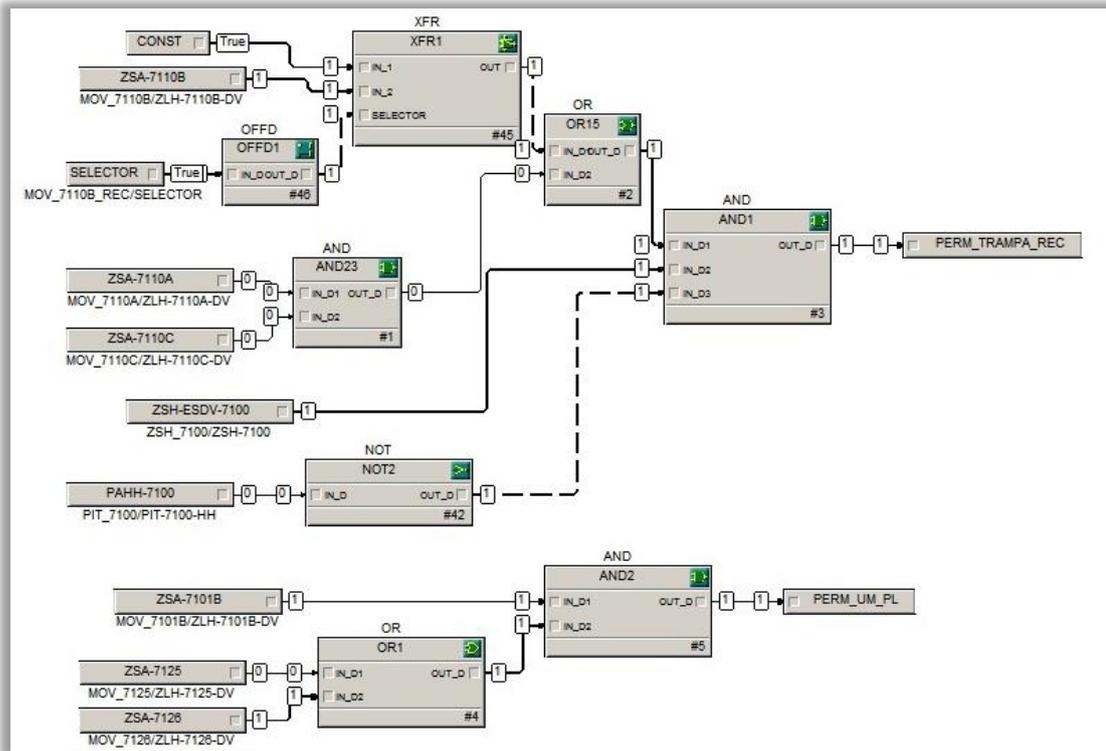


Figura 11-3: Bloques funcionales verificación de alineación en válvulas

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En este algoritmo se realiza la comprobación de switches de posición de las válvulas de trampa receptora (tabla 5-3) como de unidad de medición de productos limpios de la tabla; los cuales son valorados y entregan dos permisos PERM_UM_PL y PERM_TRAMPA_REC, las señales de estas válvulas son historizadas. Esta comprobación asegura que se tenga seleccionada una alineación adecuada para poder operar el sistema.

Tabla 5-3: Válvulas trampa receptora y unidad de medición a comprobar

Válvula	Descripción
ESDV-7100	Válvula de paro de emergencia
MOV-7110A	Válvula de trampa receptora
MOV-7110B	Válvula de trampa receptora
MOV-7110C	Válvula de bypass trampa receptora
MOV-7101B	Válvula de productos limpios
MOV-7125	Válvula de unidad de medición
MOV-7126	Válvula de unidad de medición

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Una vez verificada la alineación de la trampa receptora como de la unidad de medición es necesario conocer que producto se está recibiendo actualmente, esto se determina comparando el valor de densidad en el DT-7100A con en el rango de densidades ingresado desde HMI. De la comparación de densidades se obtienen dos nuevos permisos PERMISIVO-D y PERMISIVO-S, los mismos que habilitarán la selección de interfase desde HMI. A continuación, la figura 12-3 se muestra el bloque de funciones implementado en el módulo de control PERM-INTER.

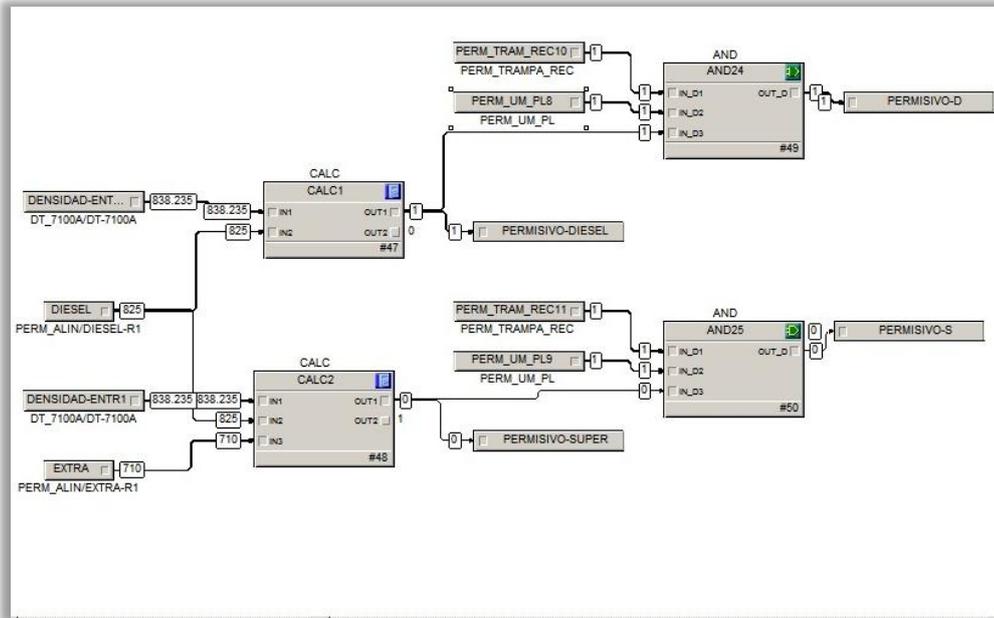


Figura 12-3: Bloque de funciones del módulo de control PERM-INTER

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

La habilitación (aparición y comportamiento) así como la ejecución de los botones selectores Push Buttons se muestran en la figura 13-3 y figura 14-3 a continuación:

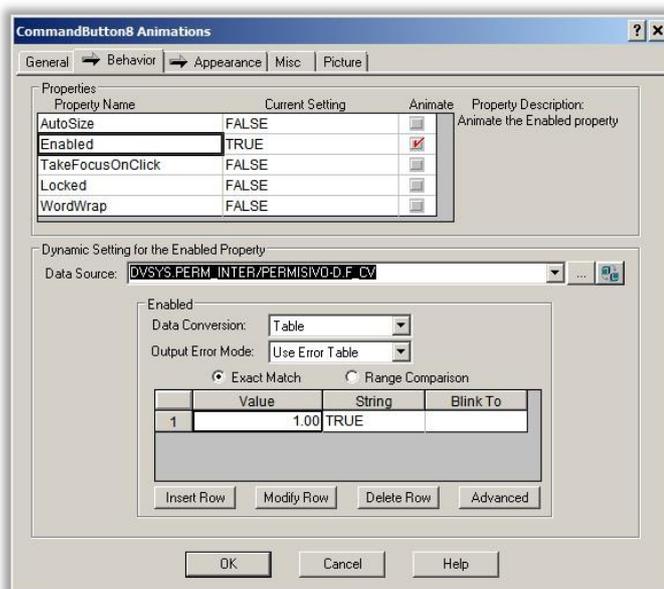


Figura 13-3: Configuración del comportamiento del push button.

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En este cuadro de diálogo se habilita la activación del botón en HMI al cumplirse con el PERMISIVO-D.

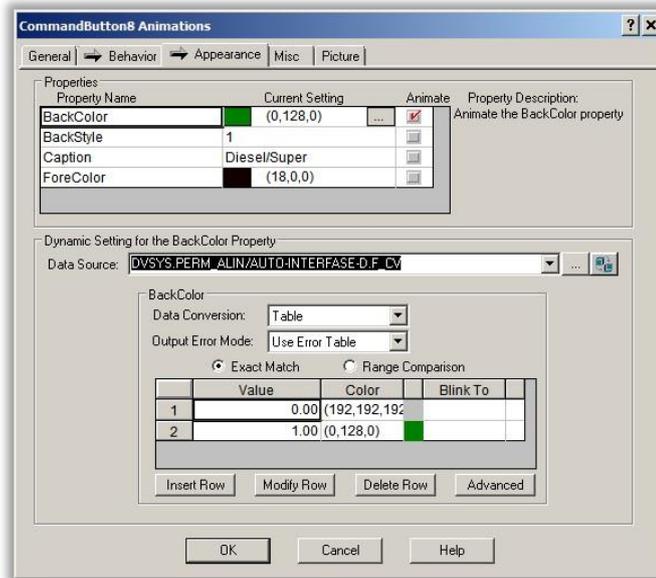


Figura 14-3: Configuración de la apariencia del push button.

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Aquí se selecciona el color (verde) que se activará cuando se cumpla con el permiso AUTO-INTERFASE-D

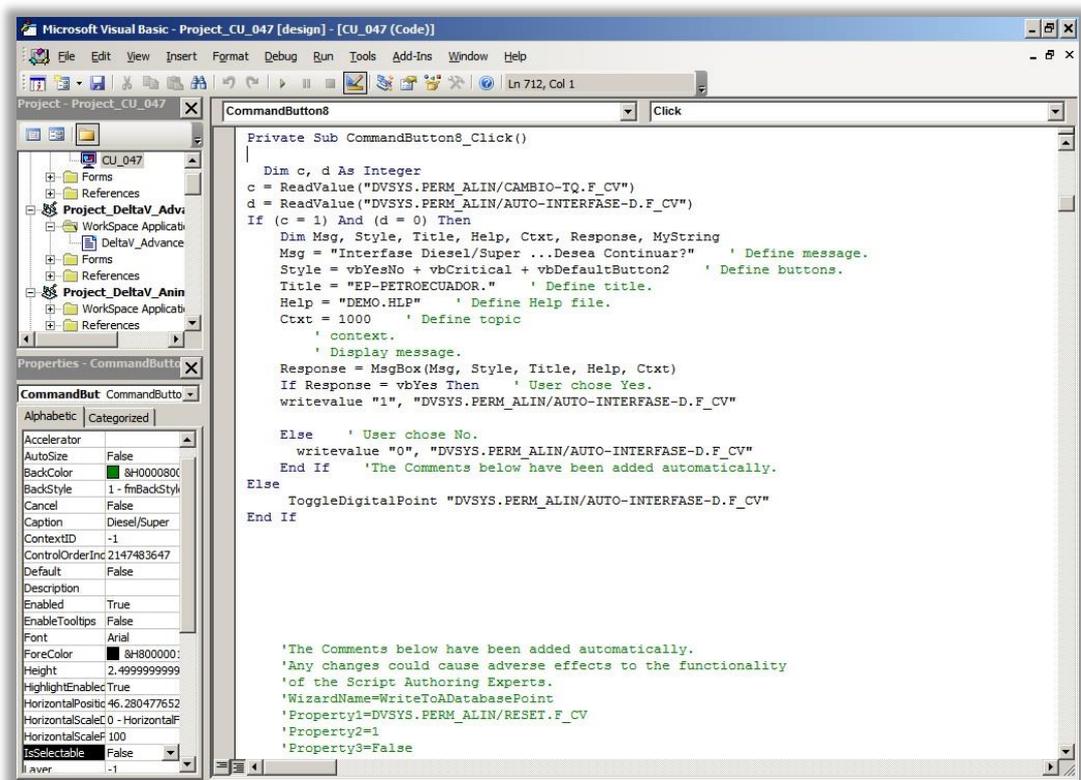


Figura 15-3: Edición del script del push button.

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la figura 15-3 se muestra el script ejecutable al momento de dar click sobre el push button, posterior se desplegará sobre la pantalla un cuadro de diálogo, pidiendo confirmación de interfase como se muestra en la figura 16-3, lo que asegura que el operador este consciente de la interfase a recibir.

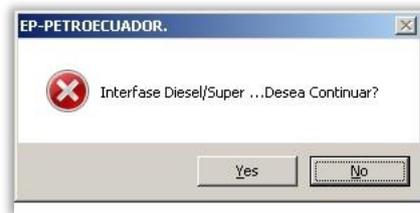


Figura 16-3: Cuadro de diálogo al ejecutarse el script del push button.

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la herramienta DeltaV explorer se añade un nuevo módulo de control de tipo sequential function chart SFC con el nombre INTRFASE_DIE_SPR donde se implementó el algoritmo de control secuencial para recepción de interfase diésel/súper que se muestran en las figuras 17-3 hasta figura 23-3 a continuación:

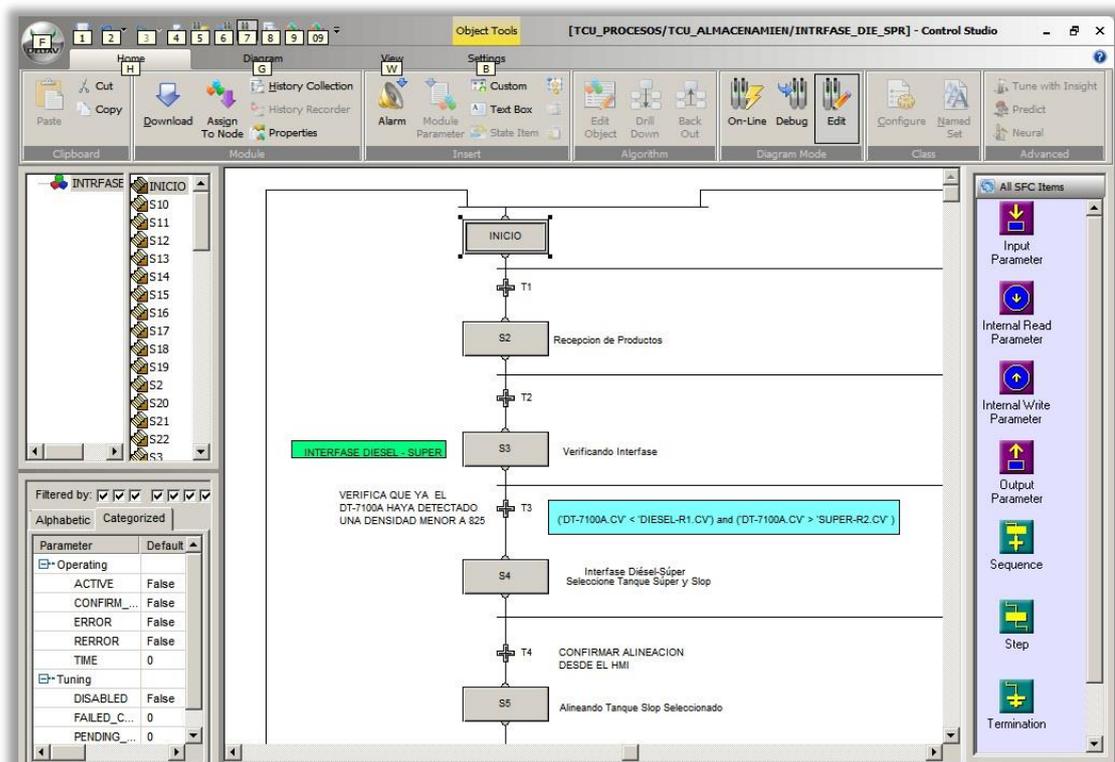


Figura 17-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

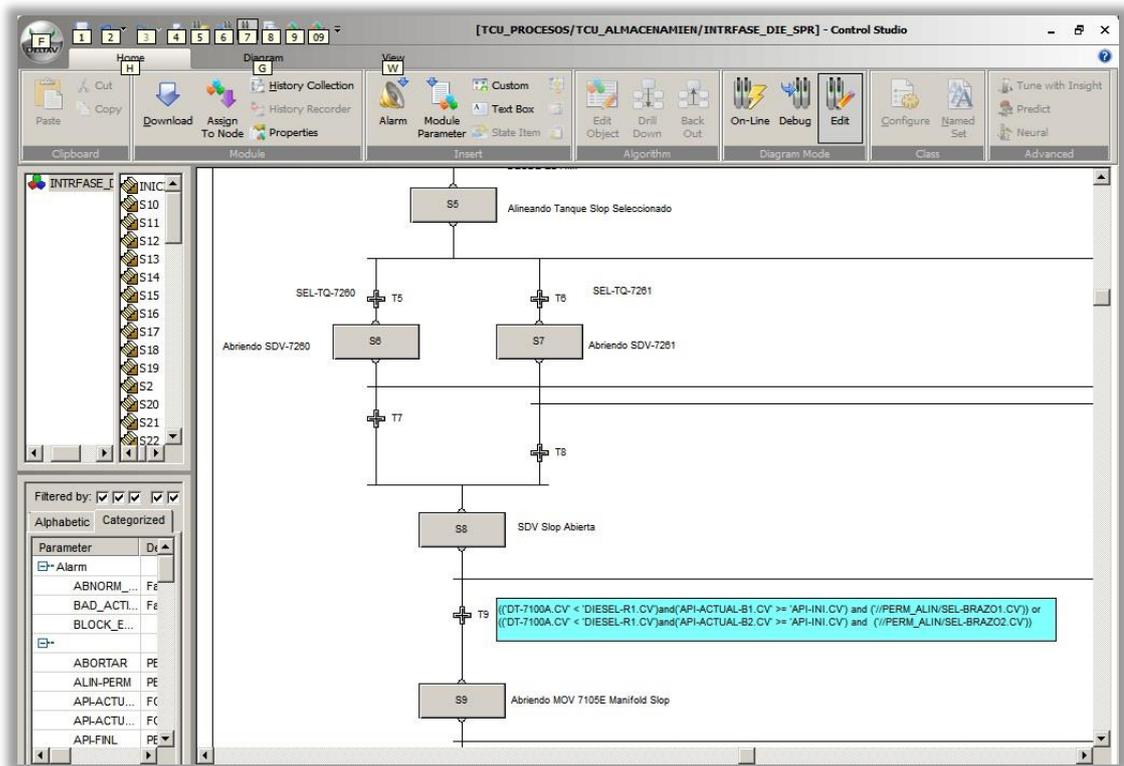


Figura 18-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

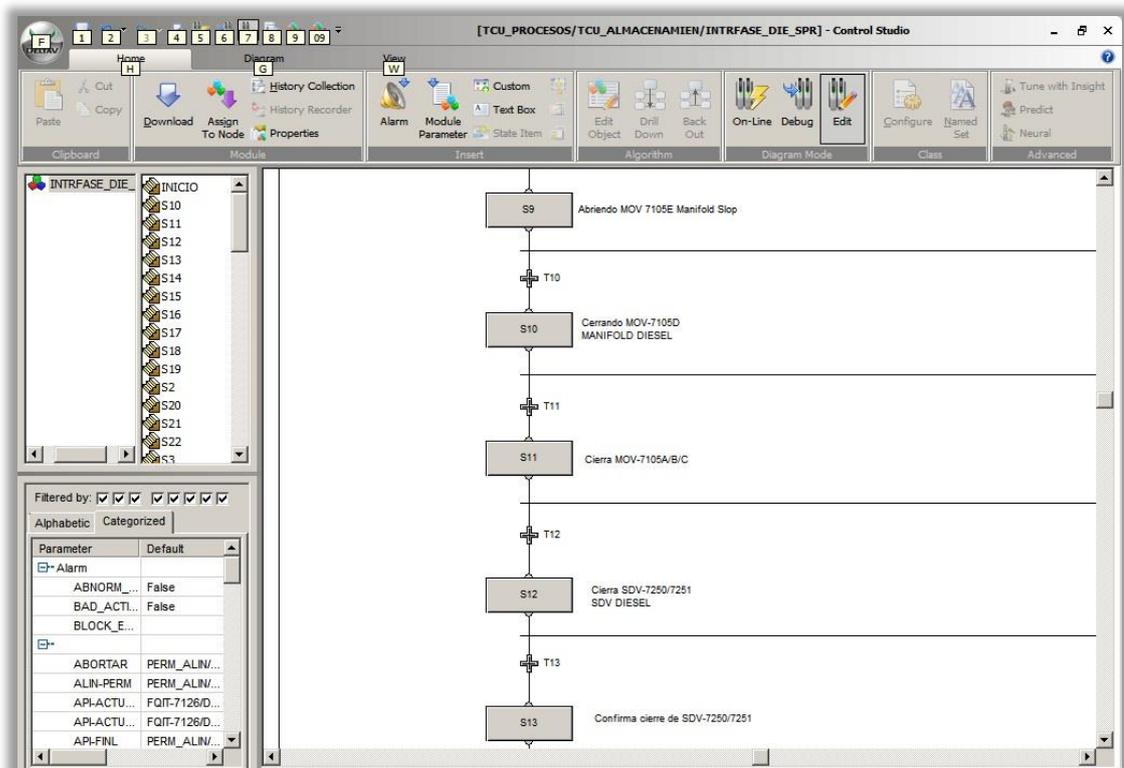


Figura 19-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

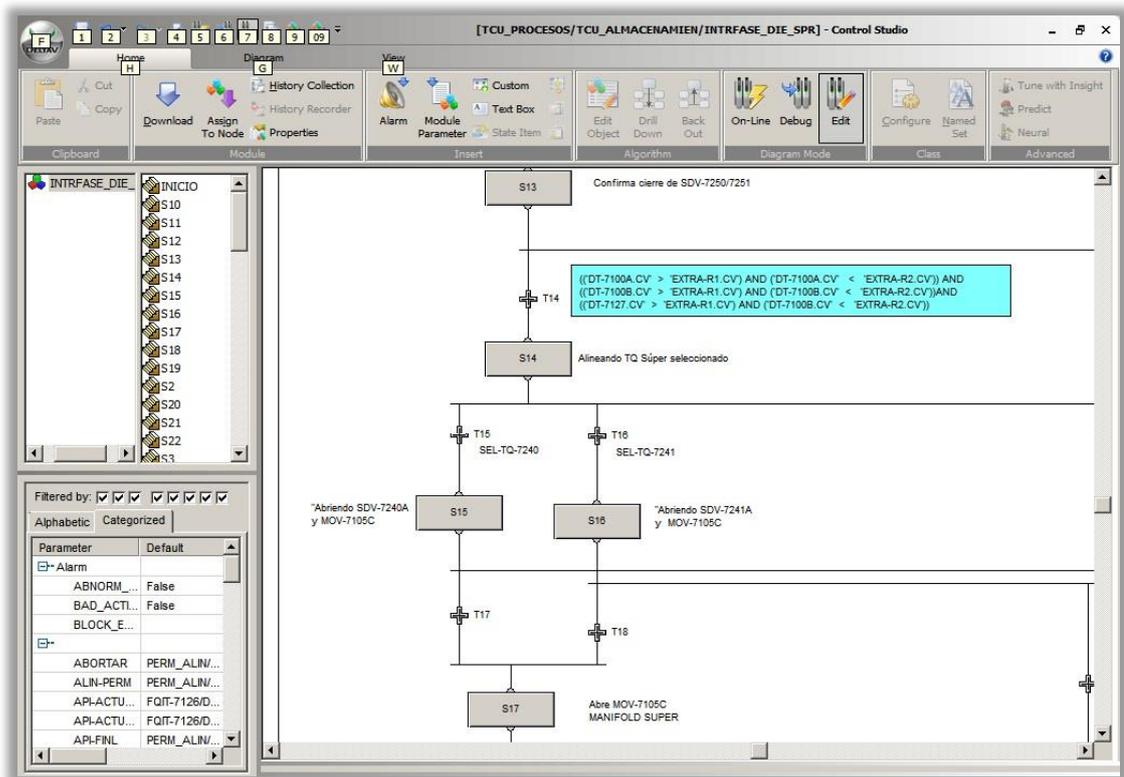


Figura 20-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

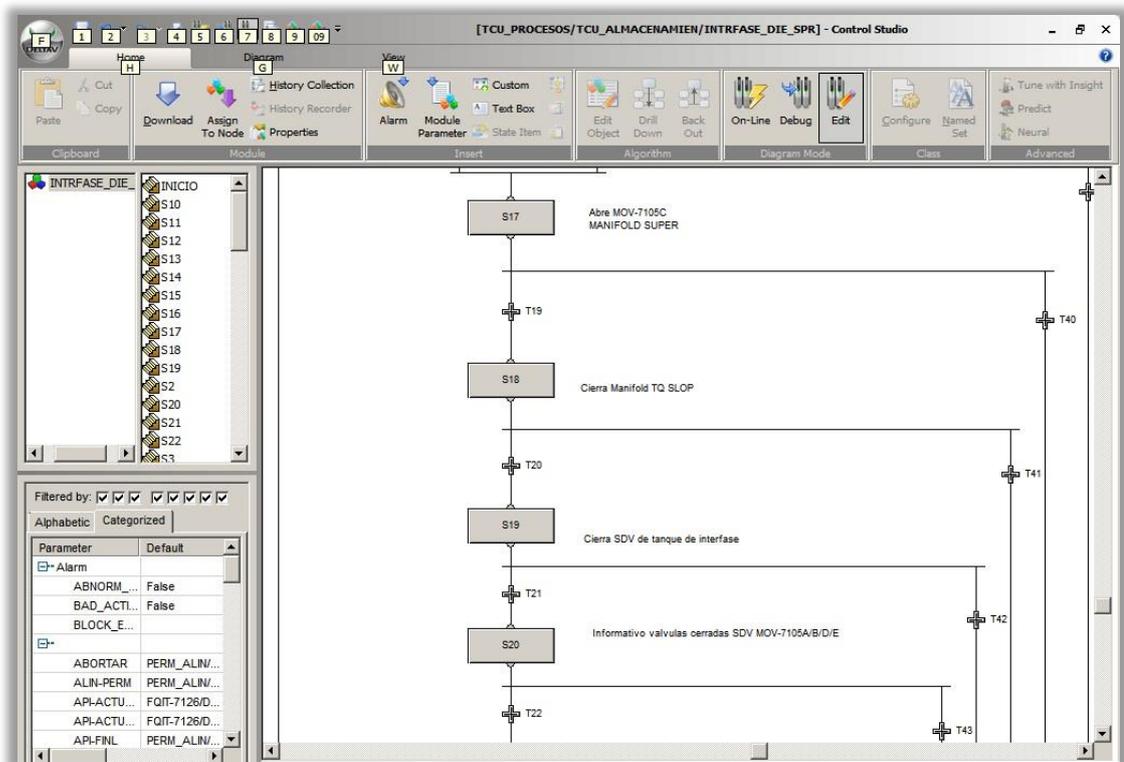


Figura 21-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

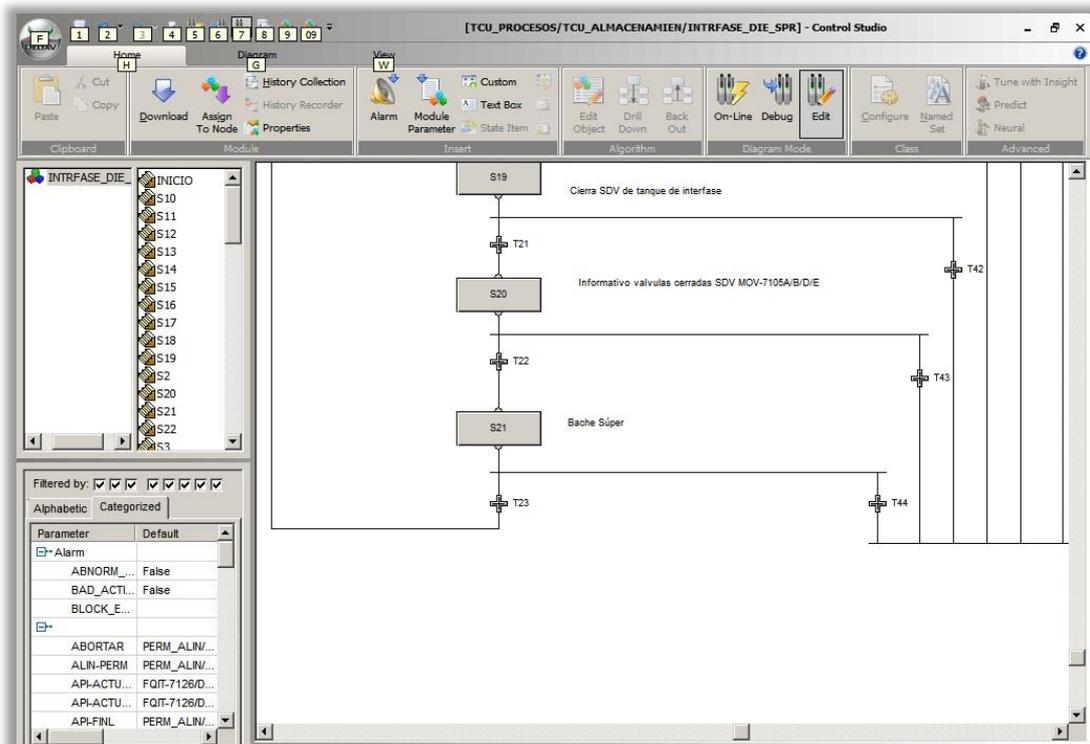


Figura 22-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

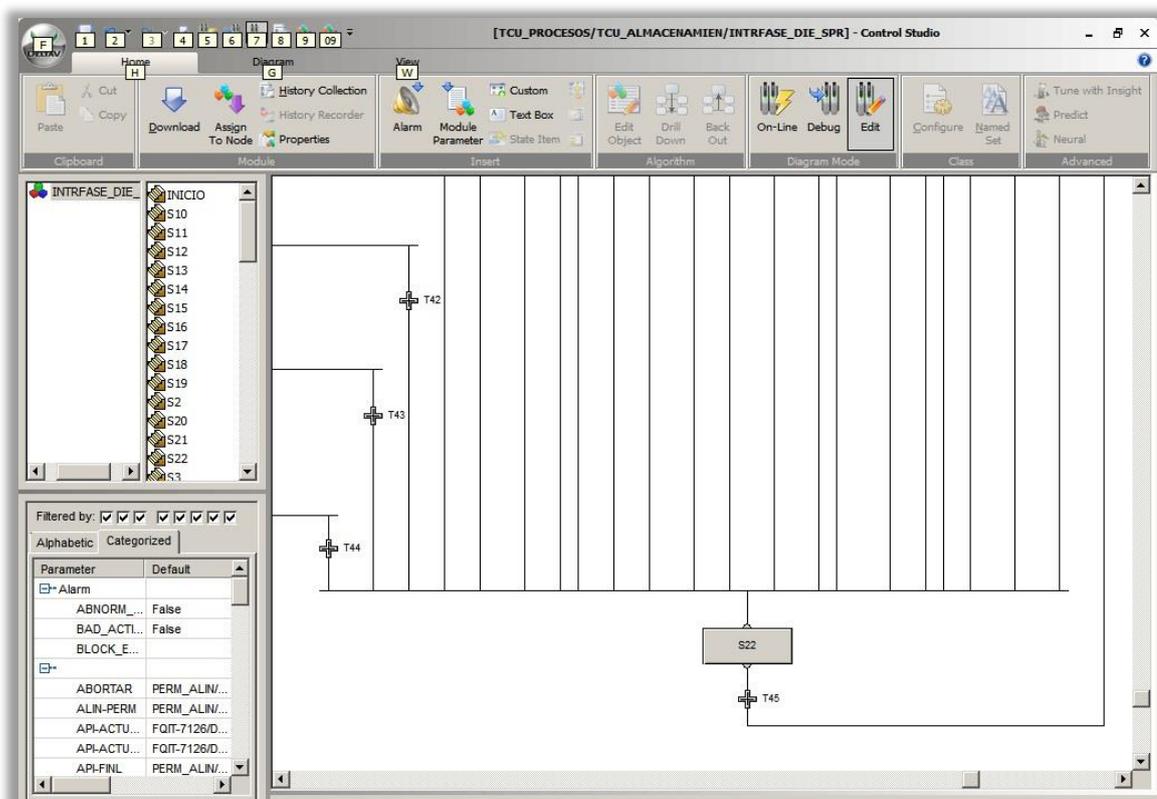


Figura 23-3: Algoritmo de control secuencial interfase diésel/súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

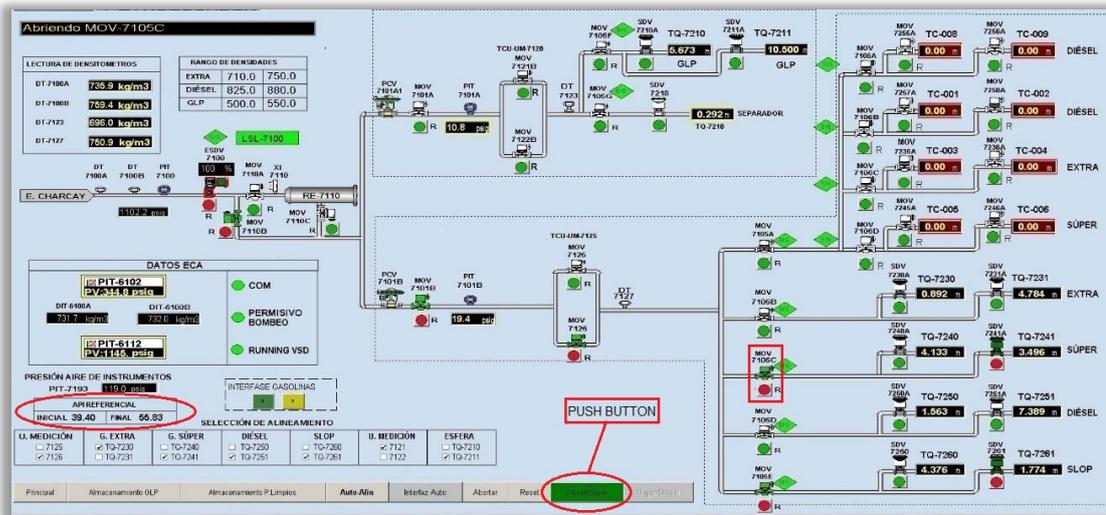


Figura 25-3: Vista final de pantalla principal diésel/súper en HMI.

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

3.3.2. Interfase: Gasolina Súper-Diésel

Para el desarrollo de esta interfase se ha variado las válvulas a ser comandadas en cada etapa así como las condiciones a cumplirse en cada transición del graficet. La selección de interfase se la realiza mediante el botón de HMI previa verificación de permisos.

La habilitación (aparición y comportamiento) así como la ejecución de los botones selectores Push Buttons se muestran a continuación en la figura 26-3 y figura 27-3:

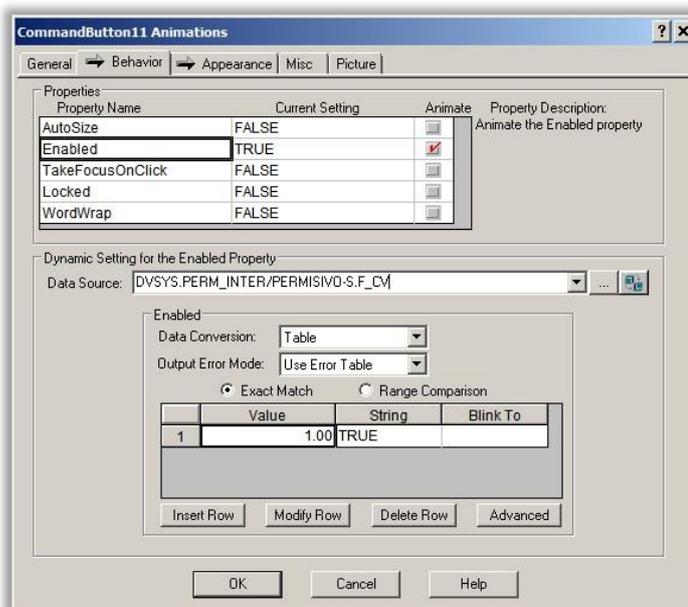


Figura 26-3: Configuración del comportamiento del push button Súper/Diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En este cuadro de diálogo se habilita la activación del botón en HMI al cumplirse con el PERMISIVO-S.

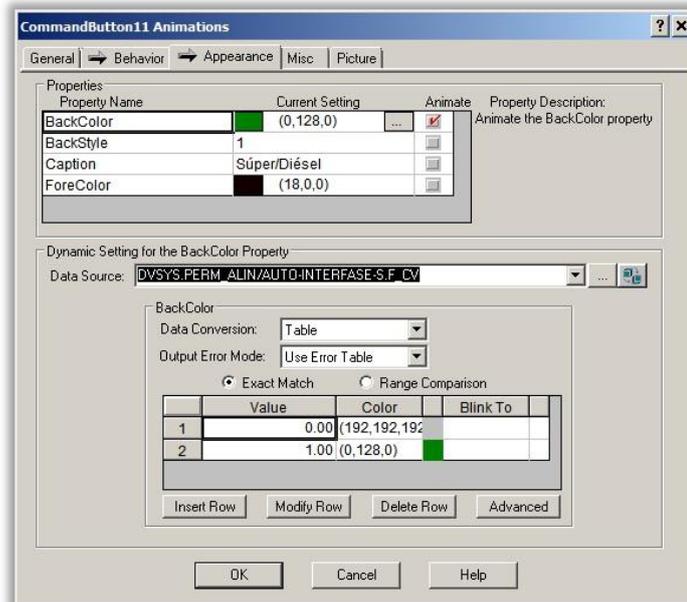


Figura 27-3: Configuración de la apariencia del push button Súper/Diésel
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Aquí se selecciona el color (verde) que se activará cuando se cumpla con el permiso AUTO-INTERFASE-S

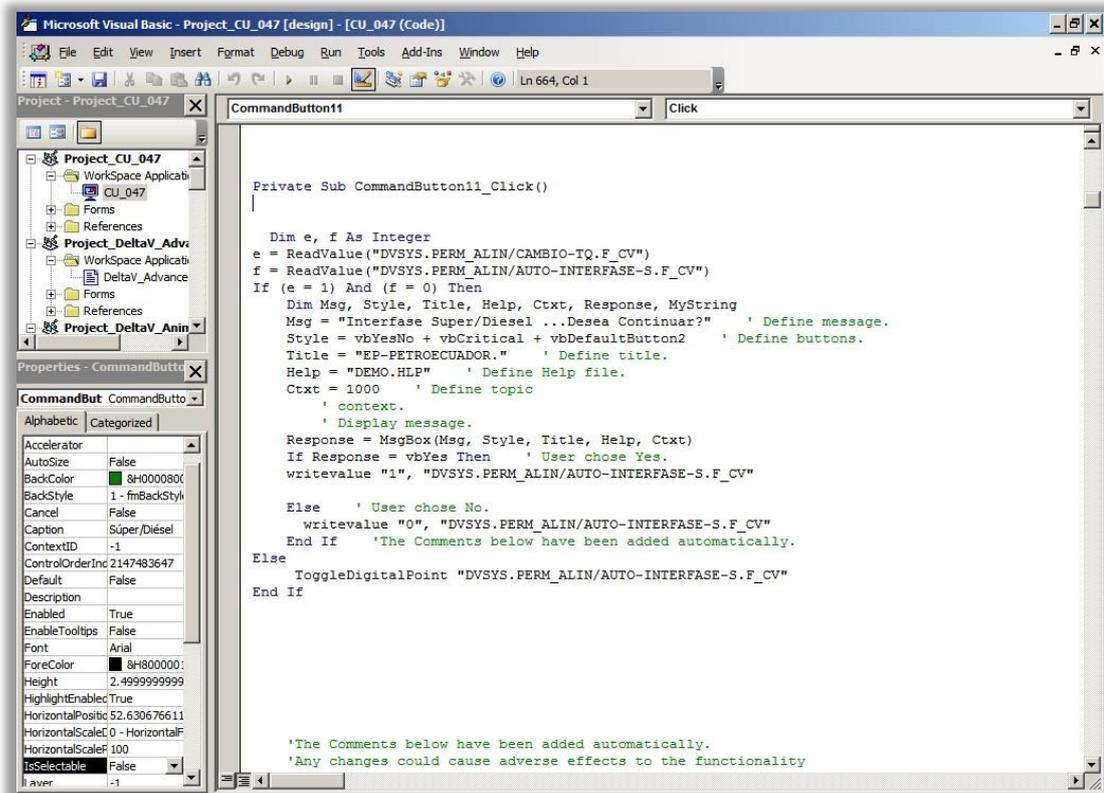


Figura 28-3: Edición del script del push button Súper/Diésel
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la figura 28-3 se muestra el script ejecutable al momento de dar click sobre el push button; se desplegará sobre la pantalla un cuadro de diálogo como se muestra en la figura 29-3 pidiendo confirmación de interfase, lo que asegura que el operador este consciente de la interfase a recibir.

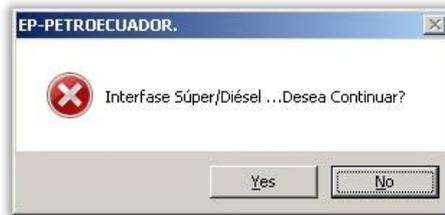


Figura 29-3: Cuadro de diálogo al ejecutarse el script del push button Súper/Diésel
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la herramienta DeltaV explorer se añade un nuevo módulo de control de tipo sequential function chart SFC con el nombre INTRFASE_SPR_DIE donde se implementó el algoritmo de control secuencial para recepción de interfase diésel/súper como se muestran en las figuras (figura 30-3 hasta figura 35-3)

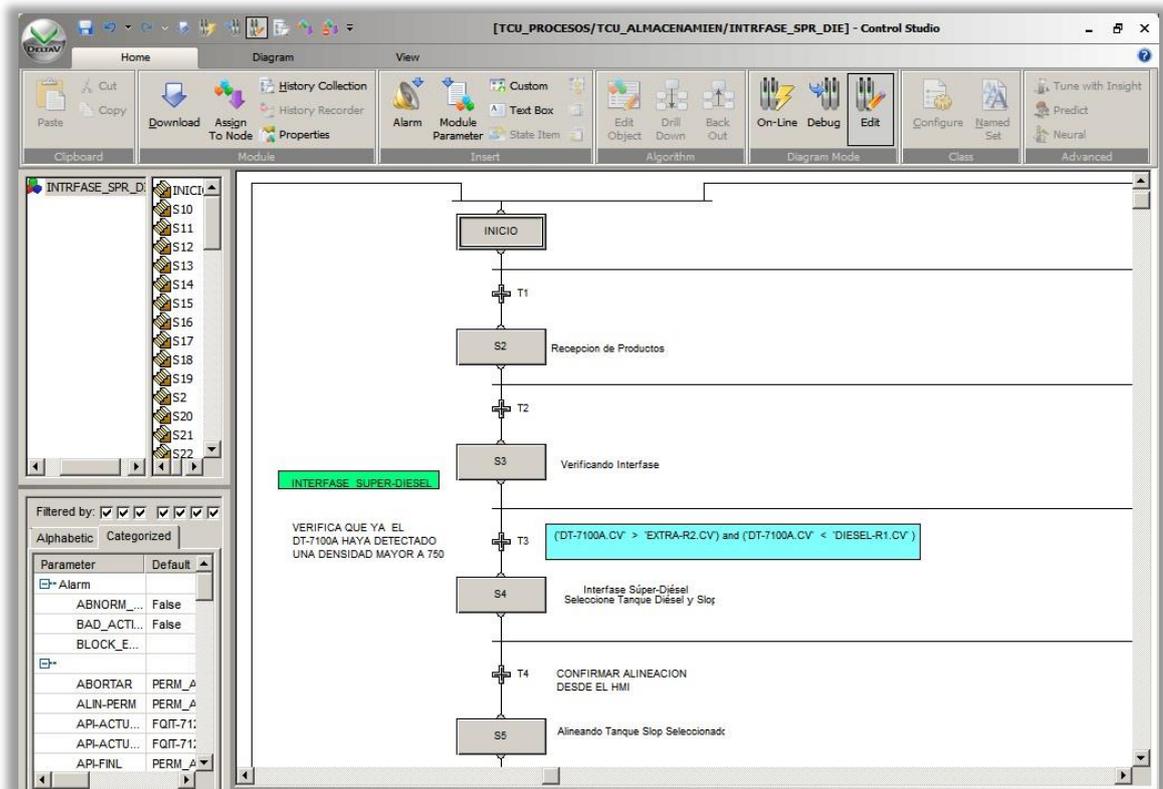


Figura 30-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

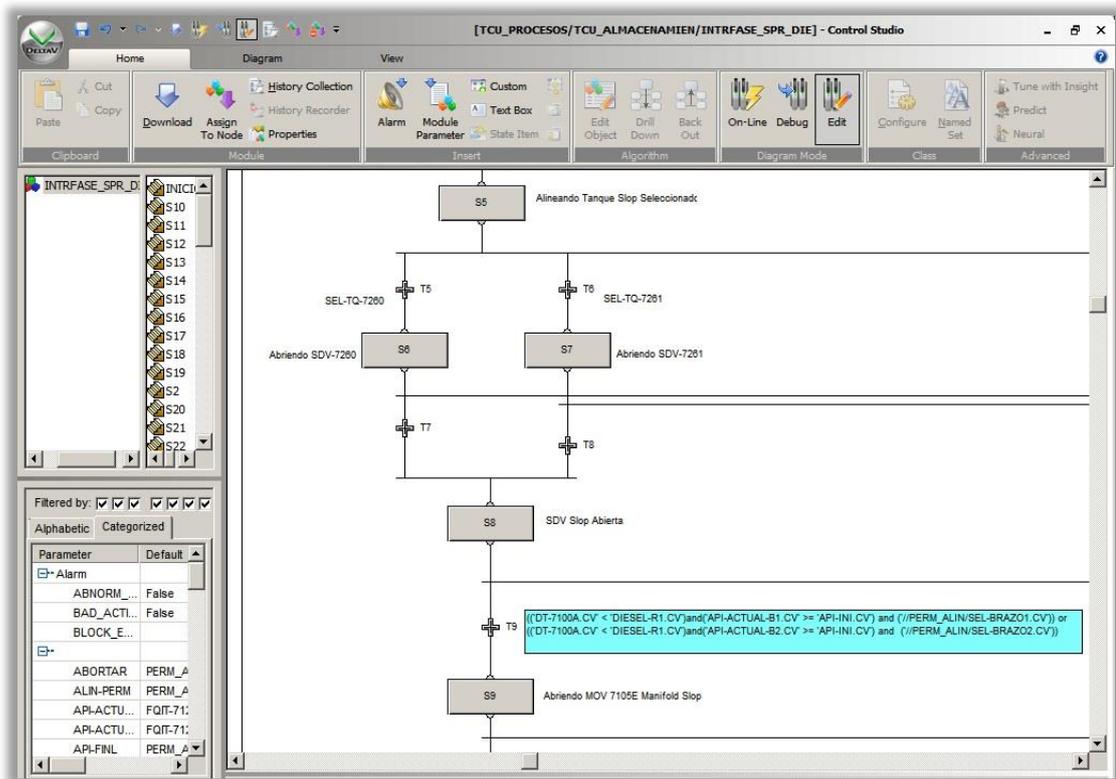


Figura 31-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

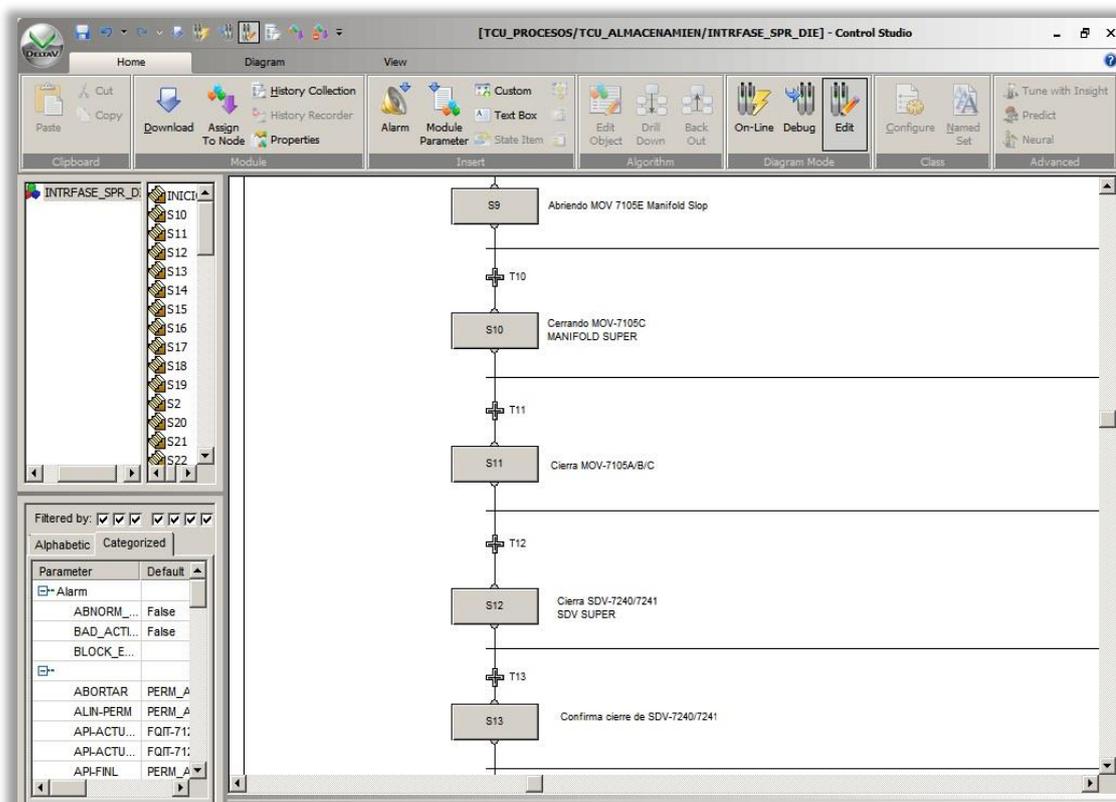


Figura 32-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

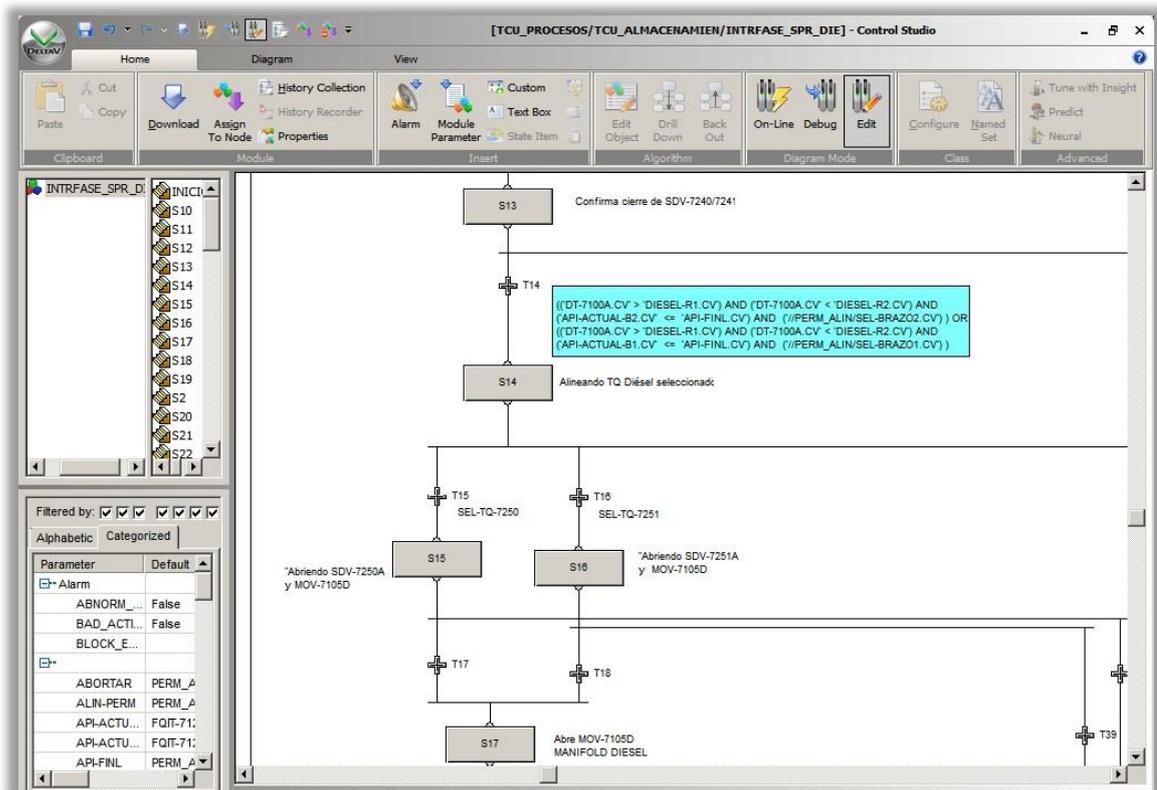


Figura 33-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

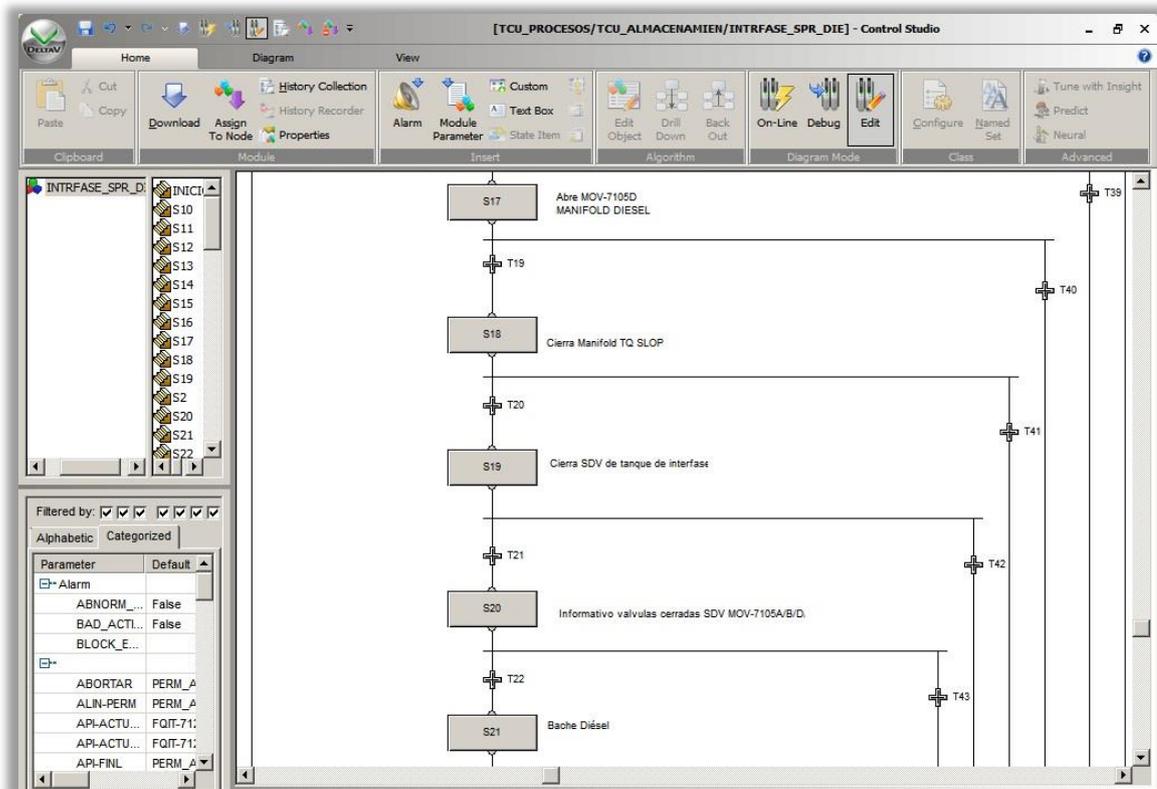


Figura 34-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

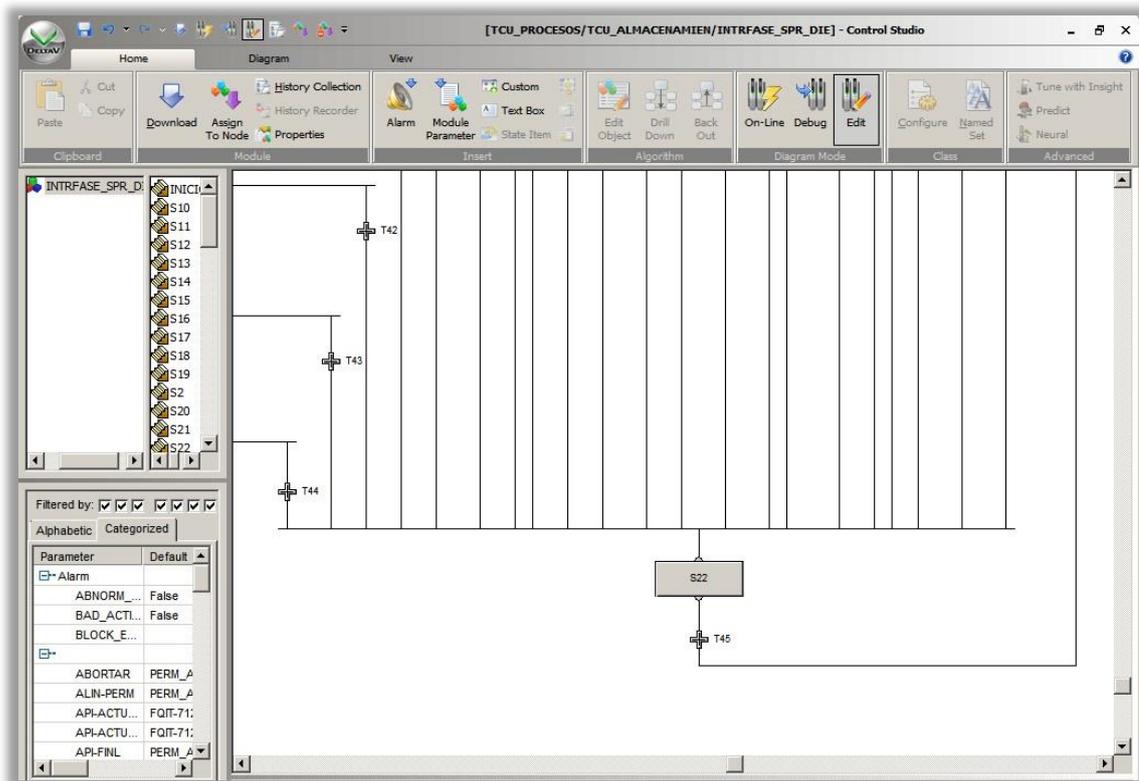


Figura 35-3: Algoritmo de control secuencial interfase súper/diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Posterior a la implementación del algoritmo de control secuencial en el sistema de control se tiene la siguiente representación HMI mostrada en la Figura 36-3

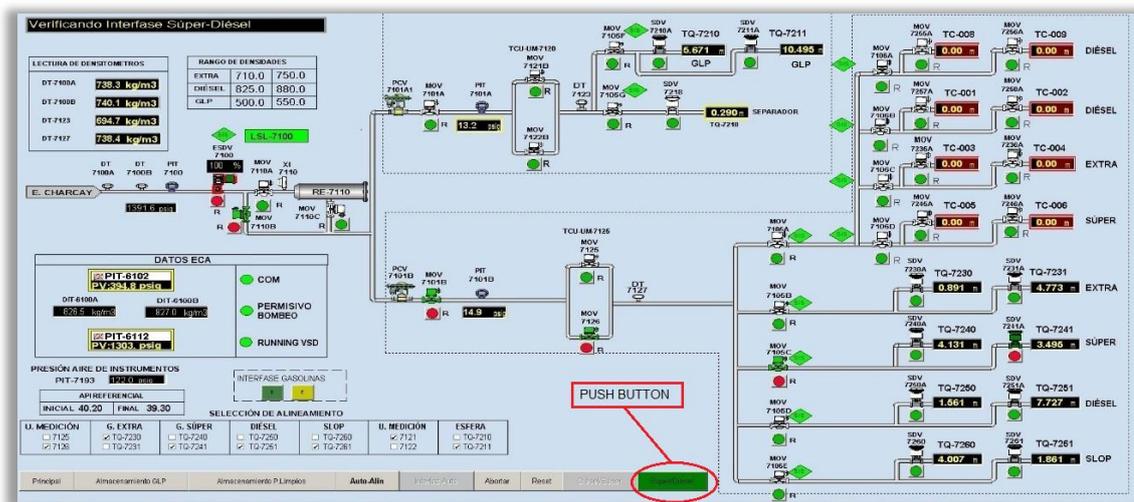


Figura 36-3: Vista final de pantalla principal súper/diésel en HMI.

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

CAPITULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan las pruebas de funcionamiento del algoritmo secuencial de control implementado en el sistema y los resultados obtenidos en el volumen de interfase generado en el proceso de recepción de interfases.

4.1. Pruebas de funcionamiento

Las pruebas de funcionamiento realizadas que se muestran a continuación permiten comprobar el funcionamiento entre los dispositivos de campo y el sistema de control, ante el proceso y su respuesta.

4.1.1. Recepción de interfase diésel - súper.

Para la recepción de interfase en modo automático es preciso ingresar los valores referenciales de gravedad API inicial y final desde HMI para que se realicen los cortes.

A continuación, se presenta la figura 1-4 donde se muestra la recepción de interfase vista desde HMI. La verificación de permisos de alineación como de producto ya fue realizada, lo cual habilitó la selección diésel-súper en color verde en HMI. Se ha ingresado un API INICIAL de 39.40 y un API FINAL de 55.83.

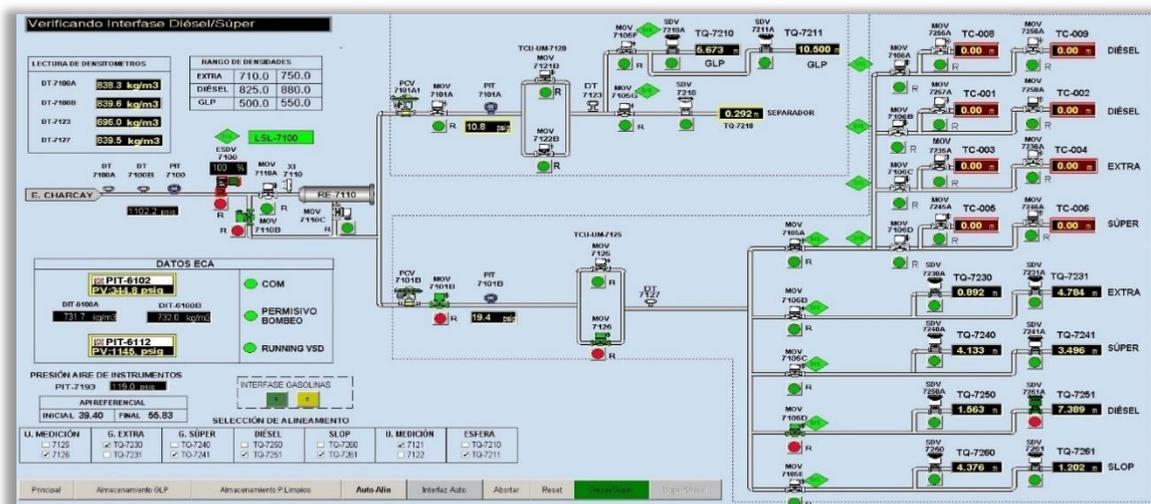


Figura 1-4: Verificación de interfase diésel-súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

El densímetro DT-7100A detectará una densidad menor a 825kg/m^3 lo que indica presencia de interfase, como se muestra en la figura 2-4:

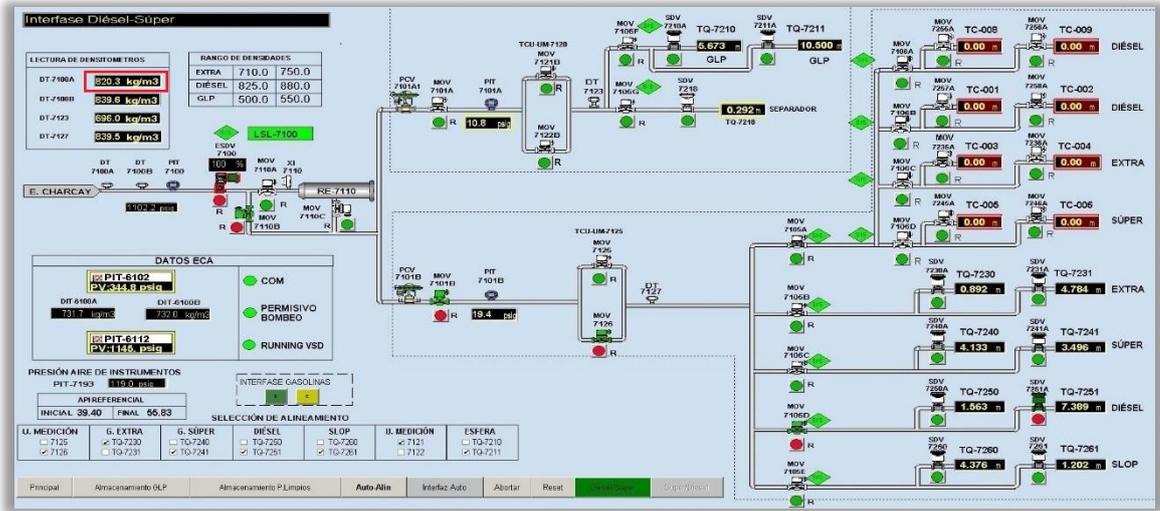


Figura 2-4: Interfase diésel-súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se abrirá una de las válvulas; SDV-7260 ó SDV-7261 de entrada a los tanques TQ-7260 ó TQ-7261, en este caso la seleccionada del TQ-7261 como se muestra en la figura 3-4:

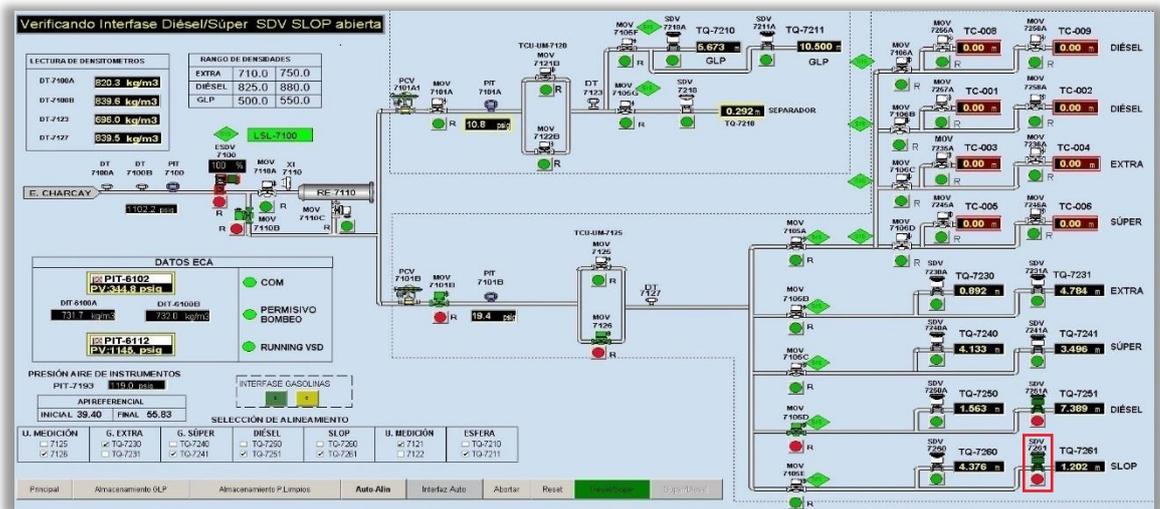


Figura 3-4: SDV abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la unidad de medición TCU-FQIT-7126B se detectará incremento en la densidad API, confirmando presencia de interfase. Se abrirá la MOV-7105E (manifold de slop) como se muestra en la figura 4-4:

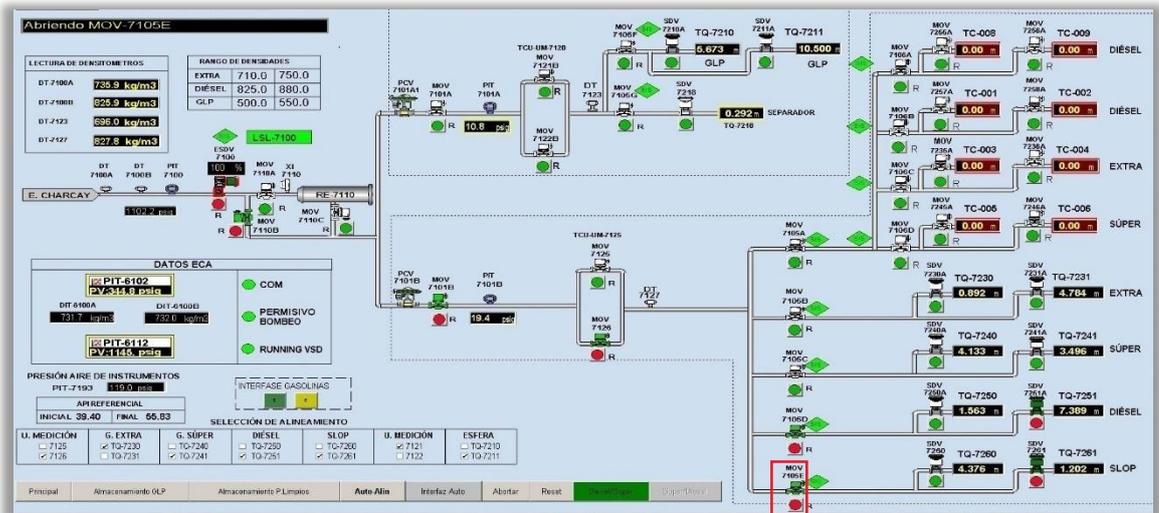


Figura 4-4: MOV-7105E abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se cierra la MOV-7105D (manifold diésel premium), como se muestra en la figura 5-4:

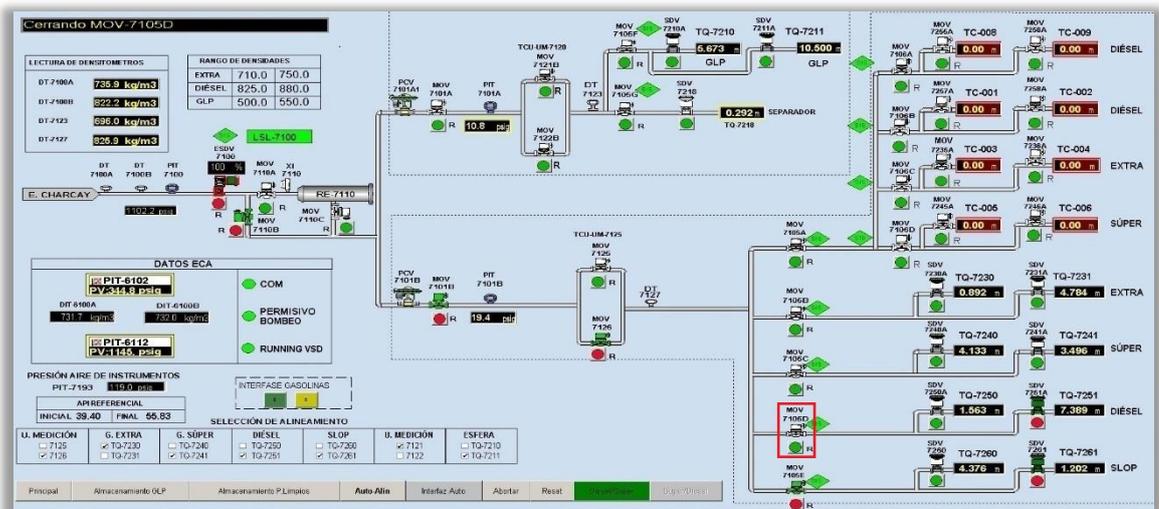


Figura 5-4: MOV-7105D cerrada

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se cierra SDV-7251 y se mantendrá esta alineación hasta que la densidad de la unidad de medición llegue al valor API FINAL ingresado (referencial) en el sistema correspondiente a gasolina súper como se muestra en la figura 6-4:

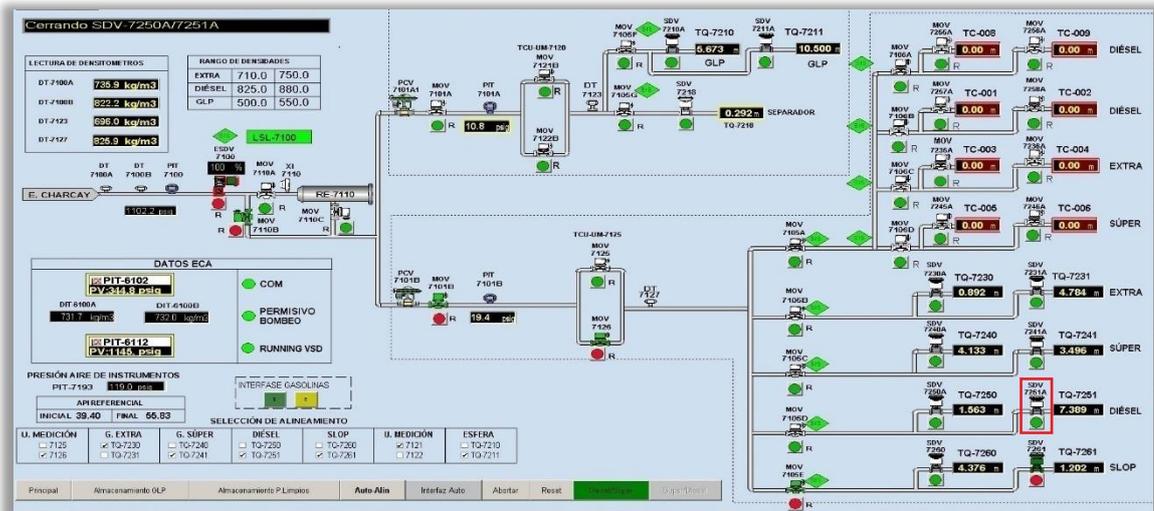


Figura 6-4: SDV-7251 cerrada

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se abre una de las válvulas SDV-7240 ó SDV-7241 de entrada a los tanques TQ-7240 ó TQ-7241, en este caso la seleccionada del TQ-7241 como se muestra en la figura 7-4:

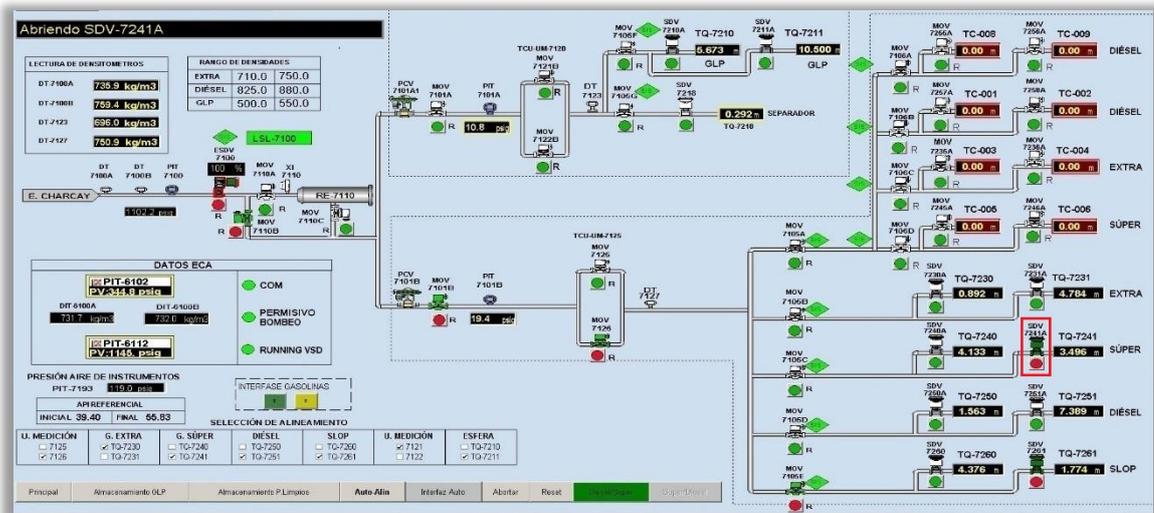


Figura 7-4: SDV-7241 abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se abre la MOV-7105C (manifold de súper); como se muestra en la figura 8-4:

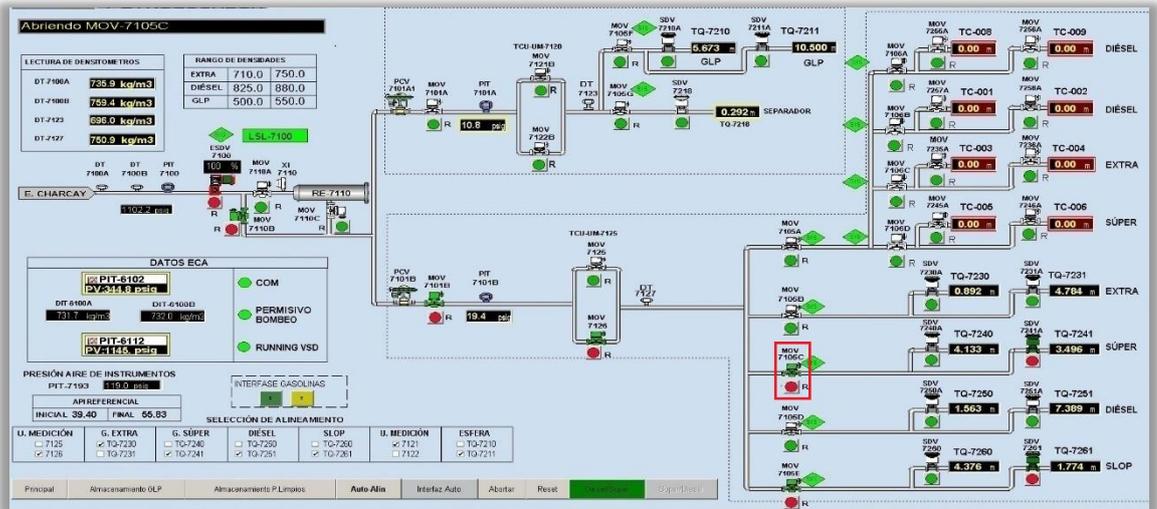


Figura 8-4: MOV-7105C abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se cierra la MOV-7105E (manifold slop) y finalmente se cierra una de las válvulas seleccionadas SDV-7260 ó SDV-7261 de entrada a los tanques TQ-7260 ó TQ-7261 como se muestra en la figura 9-4:

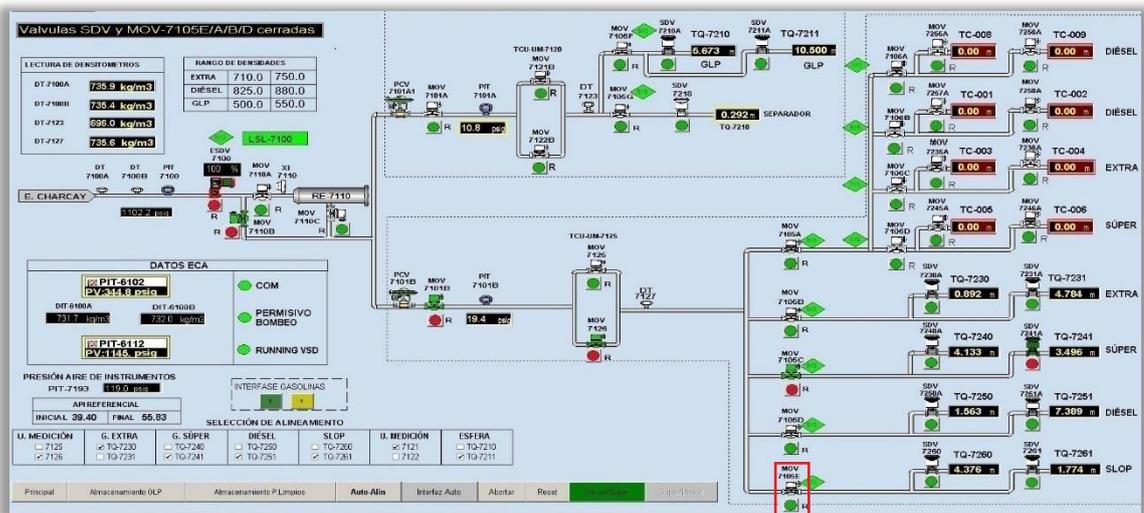


Figura 9-4: MOV-7105E/A/B/D y SDV-7261 cerradas

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Visualización final en HMI del sistema de control posterior a la recepción de interfase diésel – súper, se muestra en la siguiente figura 10-4:

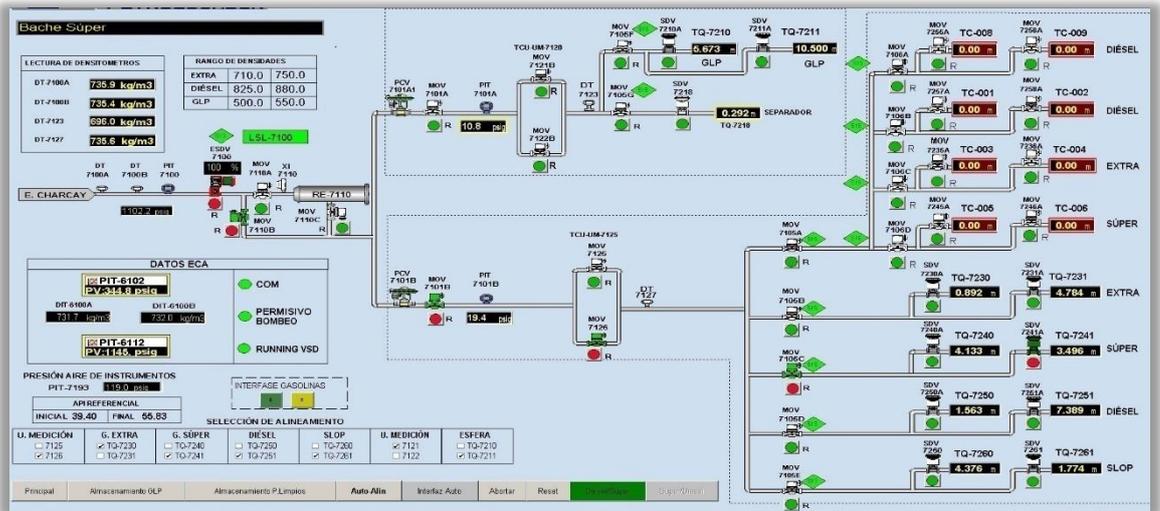


Figura 10-4: Bache súper
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

4.1.2. Recepción de interfase súper - diésel

Para la recepción de interfase en modo automático es preciso ingresar los valores referenciales de gravedad API inicial y final para que se realicen los cortes. A continuación se presenta la figura 11-4 correspondiente a la recepción de interfase vista desde HMI.

La verificación de permisos de alineación como de producto ya fue realizada, lo cual habilitó la selección súper-diésel en color verde en HMI. Se ha ingresado un API INICIAL de 58.30 y un API FINAL de 40.32

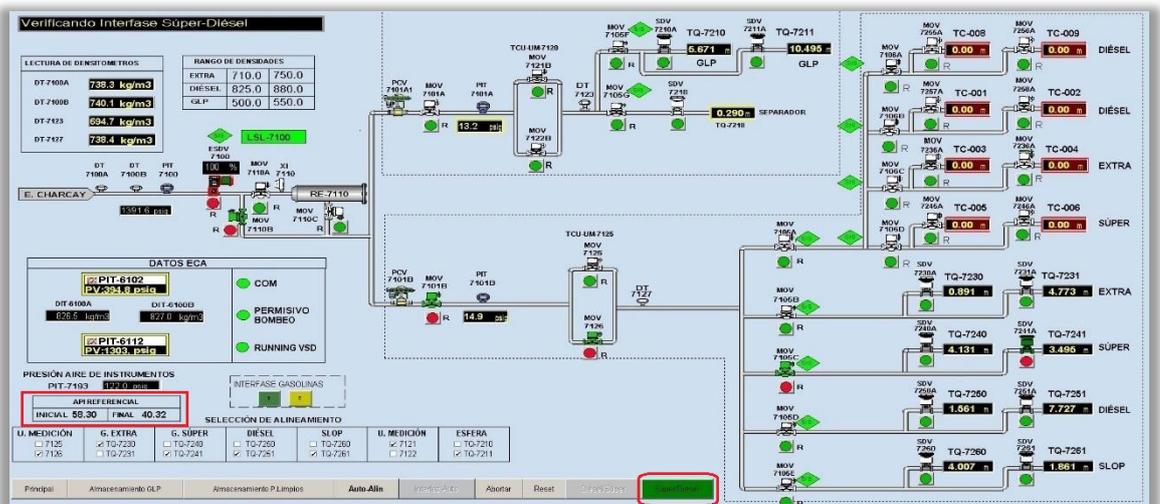


Figura 11-4: Verificación de interfase súper-diésel
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

El densímetro DT-7100A detectará una densidad mayor a 750kg/m^3 lo que indica presencia de interfase, como se muestra en la figura:

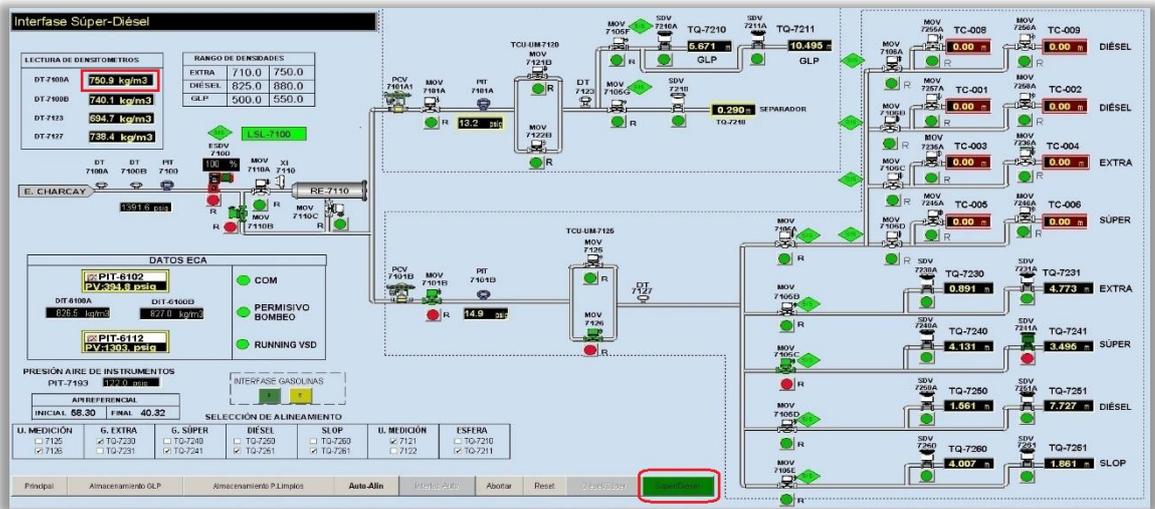


Figura 12-4: Interfase súper-diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se abrirá una de las válvulas; SDV-7260 ó SDV-7261 de entrada a los tanques TQ-7260 ó TQ-7261, en este caso la seleccionada del TQ-7261 como se muestra en la figura 13-4:

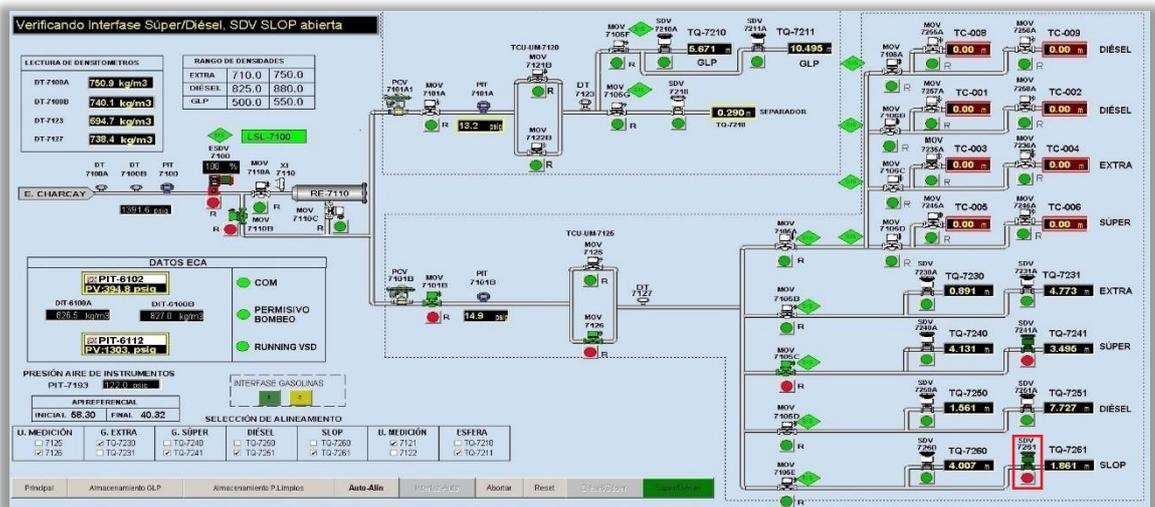


Figura 13-4: SDV slop abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la unidad de medición TCU-FQIT-7126B se detectará incremento en la densidad API, confirmando presencia de interfase. Se abrirá la MOV-7105E (manifold de slop) como se muestra en la gráfica 14-4:

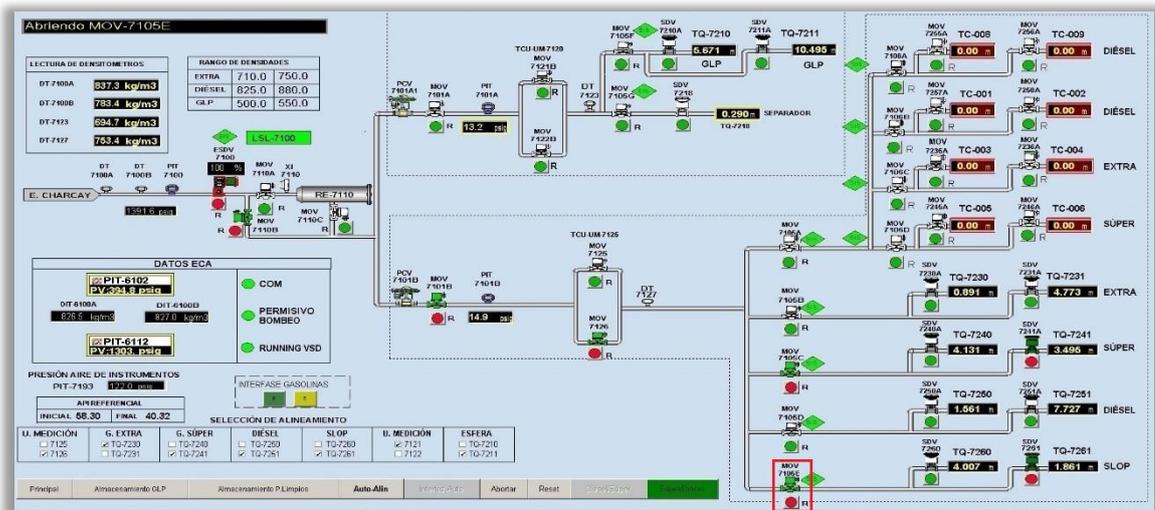


Figura 14-4: MOV-7105E slop abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se cierra la MOV-7105C (manifold súper), como se muestra en la figura 15-4:

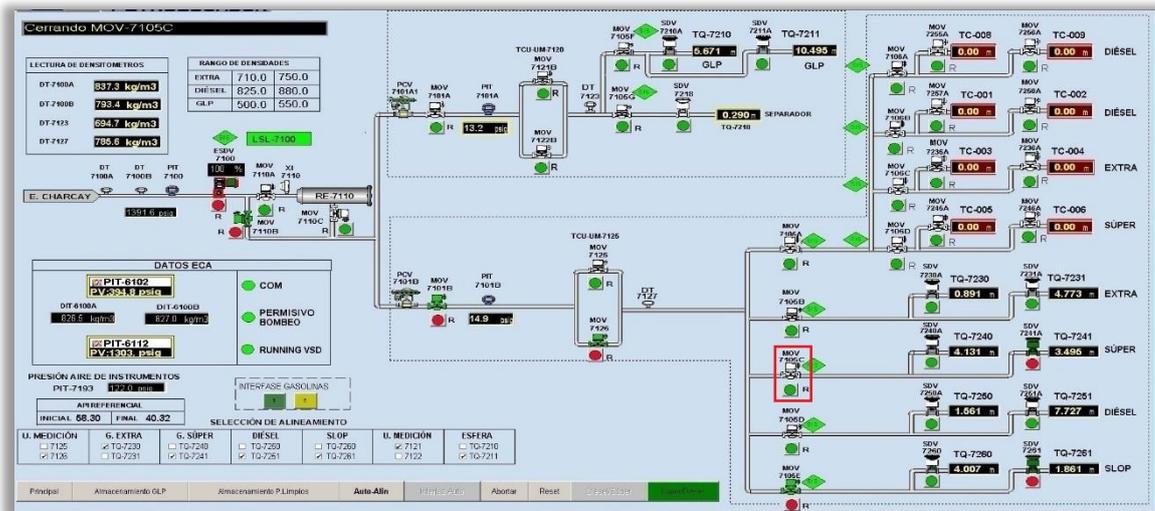


Figura 15-4: MOV-7105C cerrada

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se cierra SDV-7241 y se mantendrá esta alineación hasta que la densidad de la unidad de medición llegue al valor API FINAL ingresado (referencial) en el sistema correspondiente a diésel premium como se muestra en la figura 16-4:

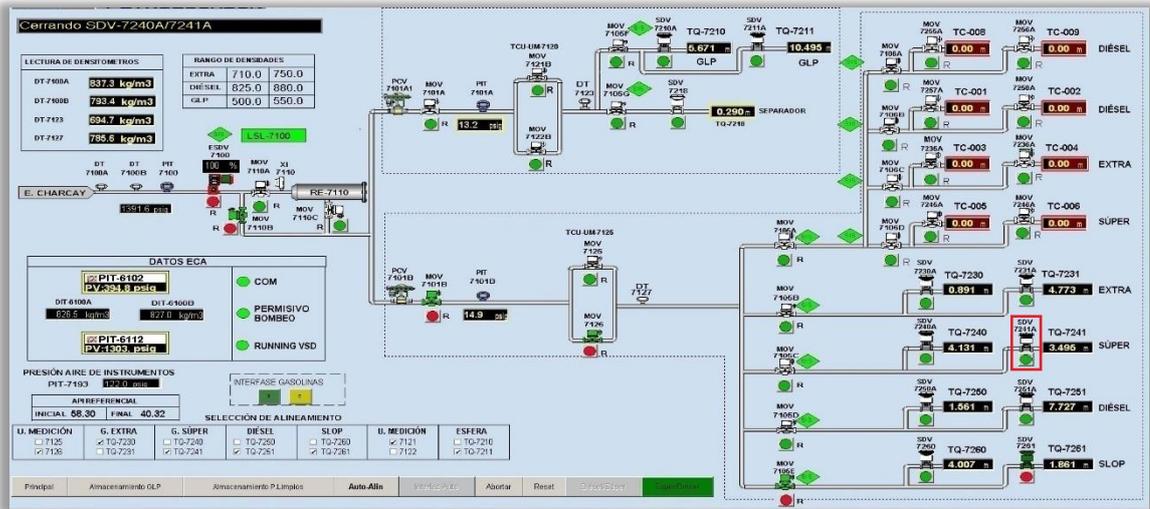


Figura 16-4: SDV-7241 cerrada

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se abre una de las válvulas SDV-7250 ó SDV-7251 de entrada a los tanques TQ-7250 ó TQ-7251, en este caso la seleccionada del TQ-7251 como se muestra en la figura 17-4:

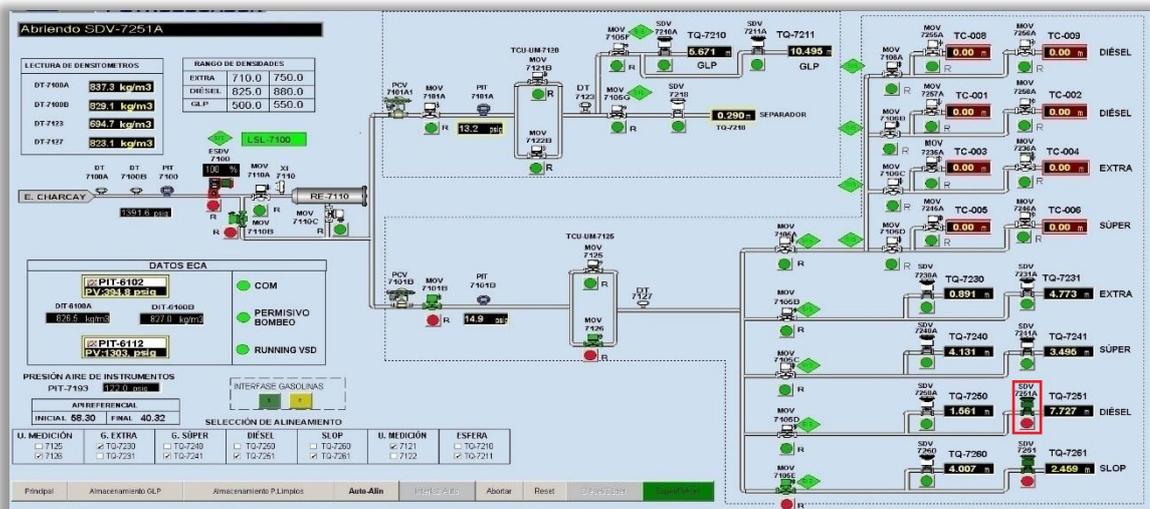


Figura 17-4: SDV-7251 abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se abre la MOV-7105D (manifold diésel premium); como se muestra en la figura 18-4:

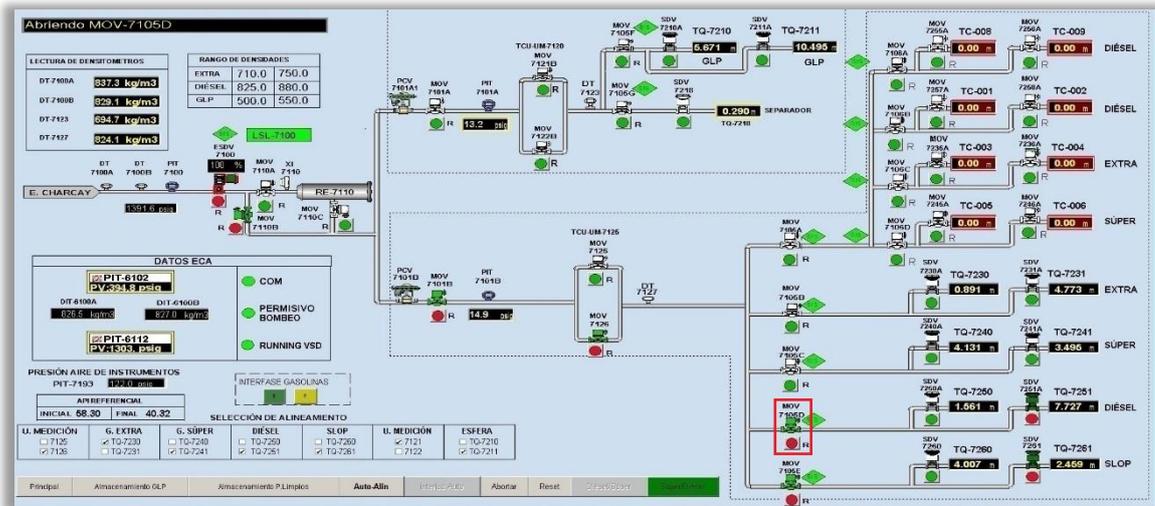


Figura 18-4: MOV-7105D abierta

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se cierra la MOV-7105E (manifold slop) y finalmente se cierra una de las válvulas seleccionadas SDV-7260 ó SDV-7261 de entrada a los tanques TQ-7260 ó TQ-7261 como se muestra en la figura 19-4:

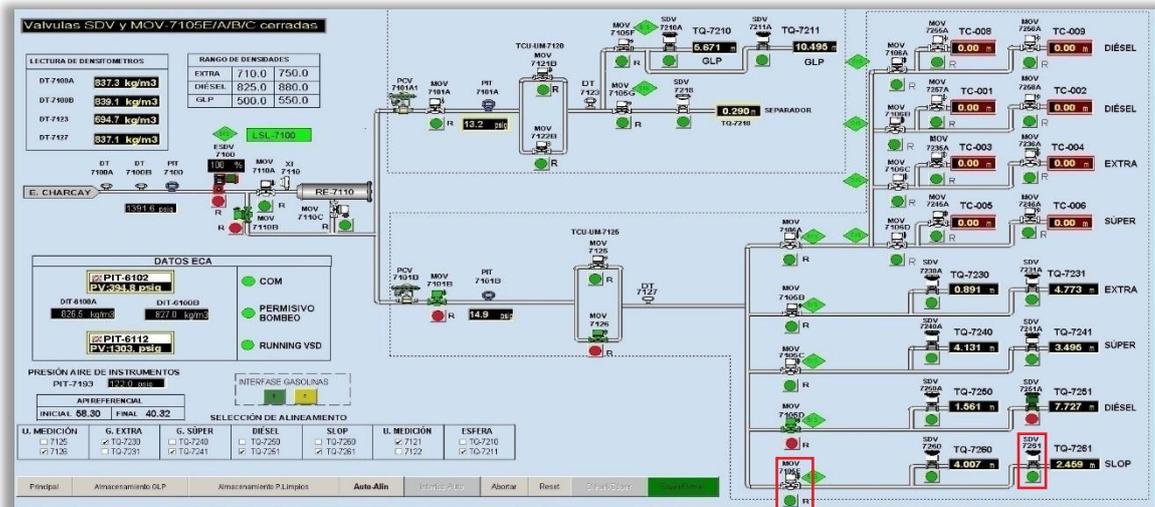


Figura 19-4: MOV-7105E/A/B/C y SDV-7261 cerradas

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Visualización final en HMI del sistema de control posterior a la recepción de interfase súper-diésel, se muestra en la siguiente figura 20-4:

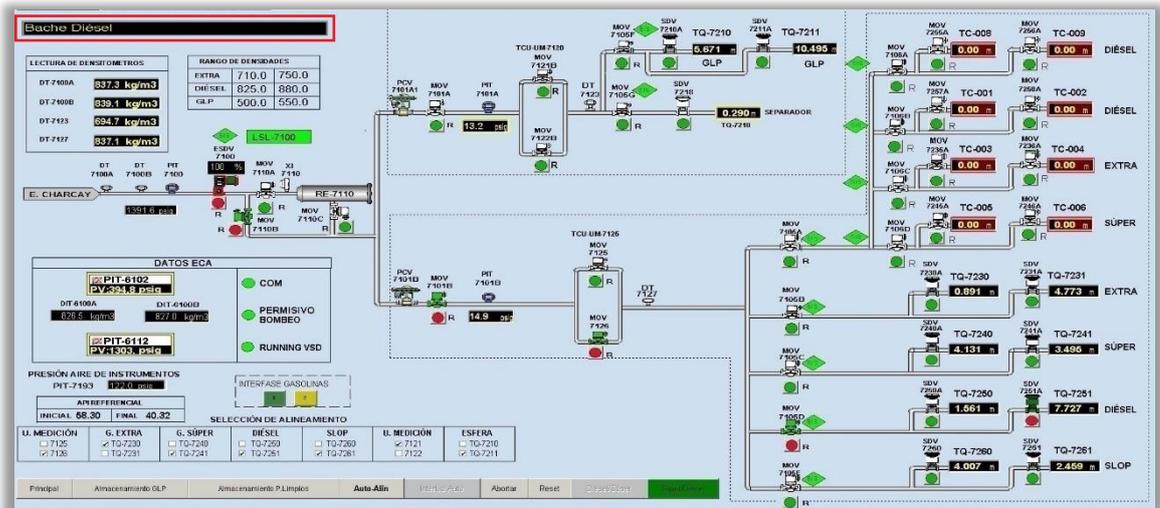


Figura 20-4: Bache diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

4.2. Datos obtenidos:

4.2.1. Modo automático

La evolución del proceso se aprecia en las siguientes gráficas obtenidas con la herramienta Process History View v12.3.1 de DeltaV, donde se puede verificar los valores de cortes inicial y final. Se ha considerado para el análisis interfases que generaron menor capacidad en recepción.

- **Interfase diésel-súper**

En la figura 21-4 se muestra el corte inicial en 39.95 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase diésel-súper.

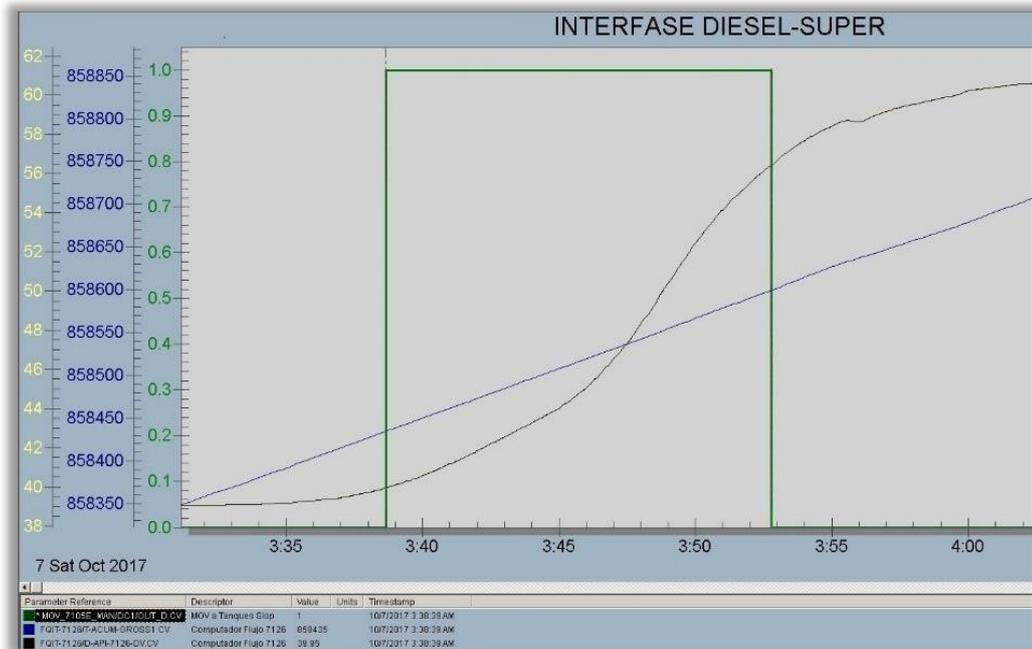


Figura 21-4: Corte inicial en 39.95 API interfase diésel-súper
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la figura 22-4 se muestra el corte final en 56.42 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase diésel-súper.

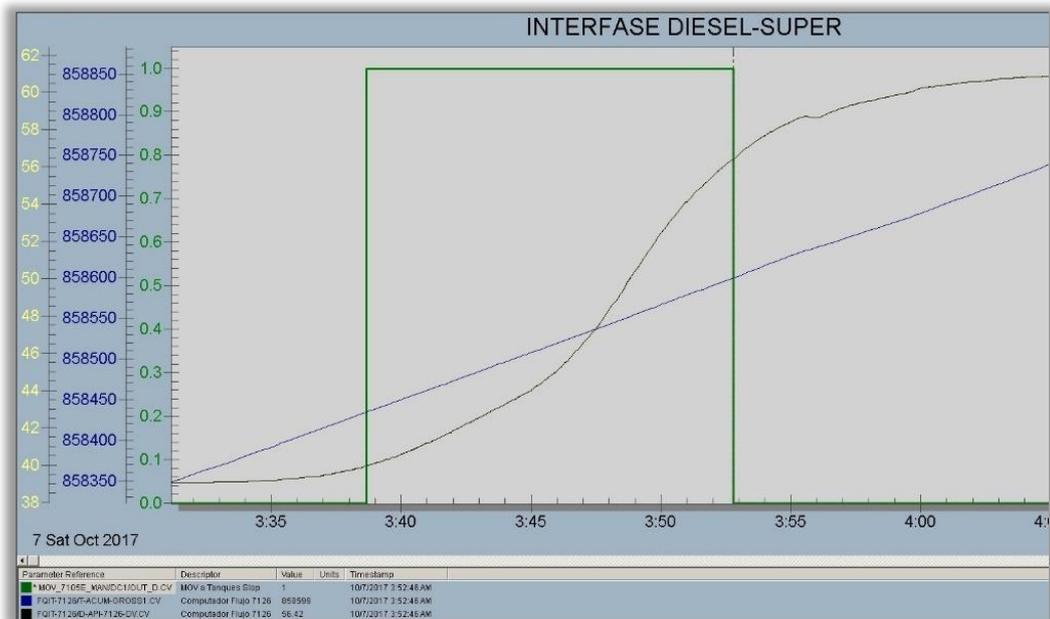


Figura 22-4: Corte final en 56.42 API interfase diésel-súper
Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

- **Interfase súper-diésel**

En la figura 23-4 se muestra el corte inicial en 58.01 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase súper-diésel.

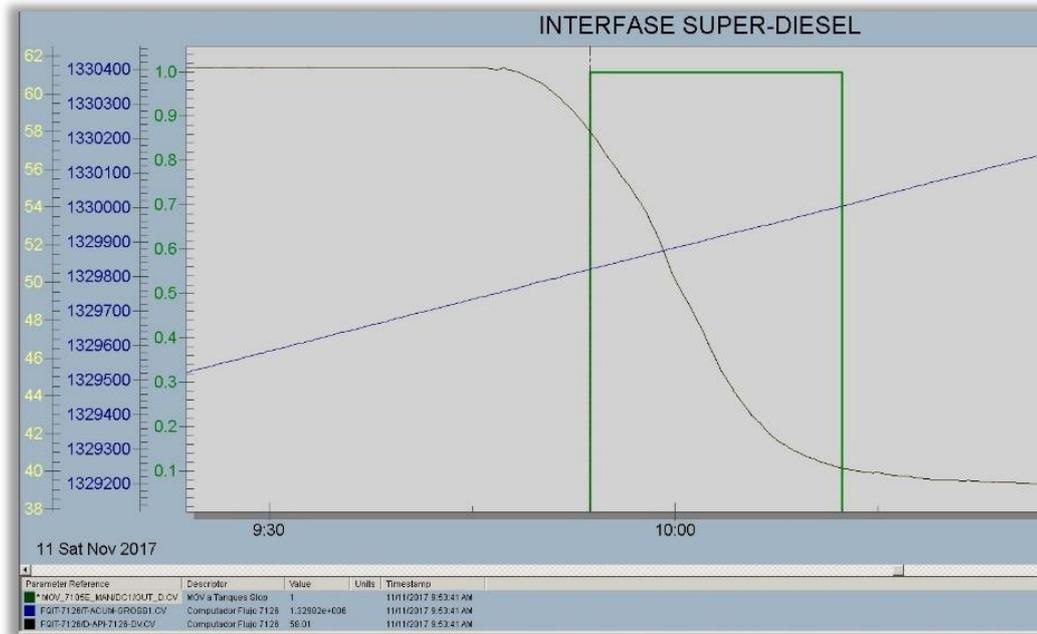


Figura 23-4: Corte inicial en 58.01 API interfase súper-diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la figura 24-4 se muestra el corte final en 40.17 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase súper-diésel.

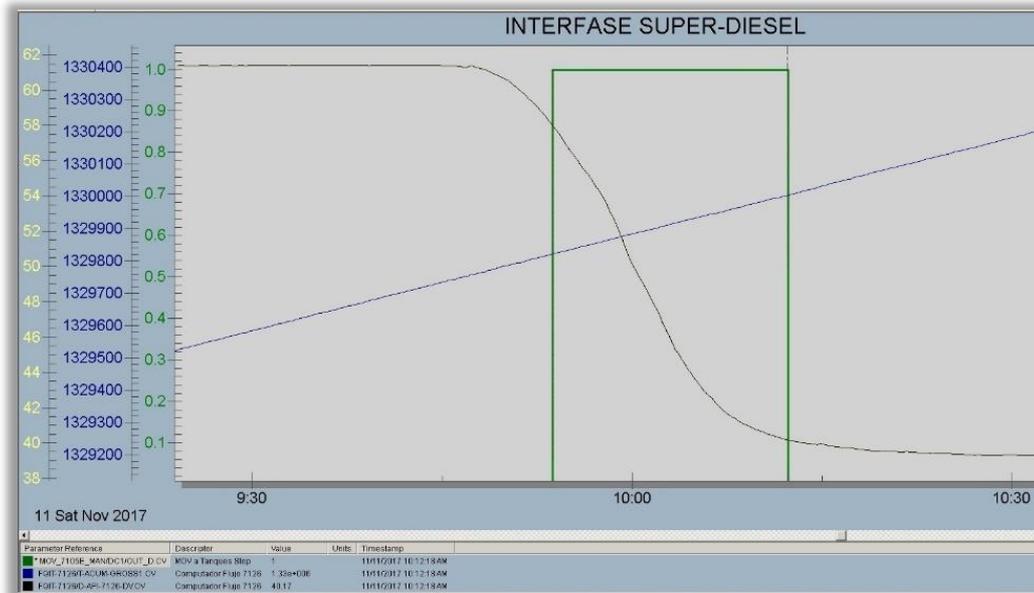


Figura 24-4: Corte final en 40.17 API interfase súper-diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

La capacidad generada, recibida en el proceso de recepción de interfases diésel-súper y súper-diésel ha sido cuantificada por medio del TCU-FQIT-7126B durante la recepción automática, dando como resultado los valores de la tabla 1-4; tomados de históricos del sistema SCADA.

Tabla 1-4: Capacidad generada recibida de interfases en modo automático

Producto	Diésel Premium-súper	Súper- Diésel Premium
Capacidad interfase recibida en BLS	165	171
Duración de recepción	03:38 PM 03:52 PM 14 minutos	09:53 PM 10:12 PM 19 minutos
Fecha	7-octubre-2017	11-noviembre-2017

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

4.2.2. Modo manual

La evolución del proceso se aprecia en las siguientes gráficas obtenidas con la herramienta Process History View v12.3.1 de DeltaV, donde se puede verificar los valores de cortes inicial y final. Se ha considerado para el análisis interfases que generaron menor capacidad en recepción.

- **Interfase diésel-súper**

En la figura 25-4 se muestra el corte inicial en 38.90 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase diésel-súper.

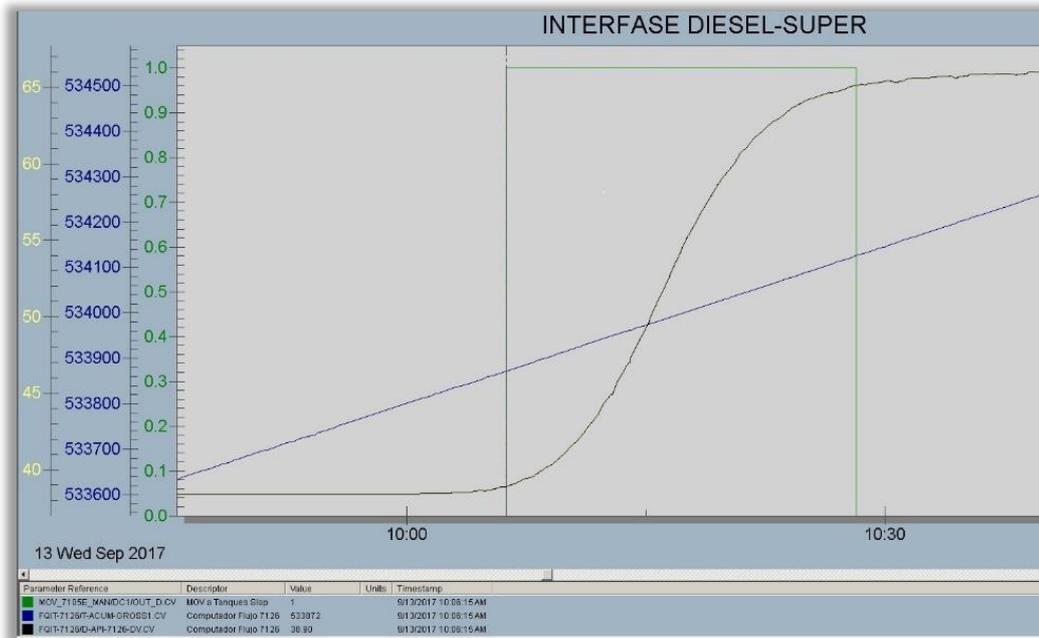


Figura 25-4: Corte inicial en 38.90 API interfase diésel-súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la figura 26-4 se muestra el corte final en 65.12 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase diésel-súper.

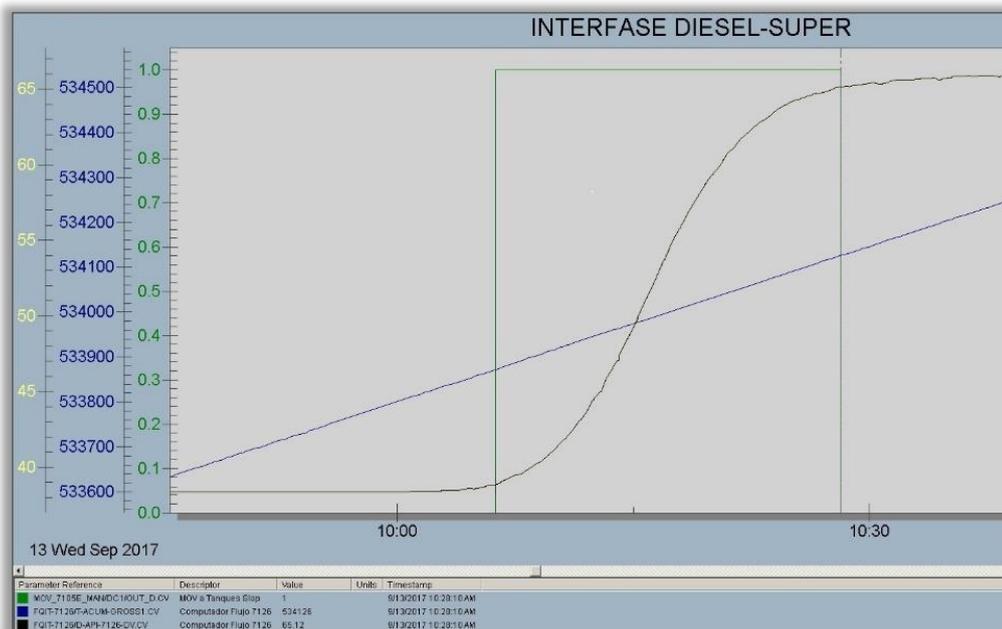


Figura 26-4: Corte final en 65.12 API interfase diésel-súper

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

- **Interfase súper-diésel**

En la figura 27-4 se muestra el corte inicial en 61.56 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase súper-diésel.

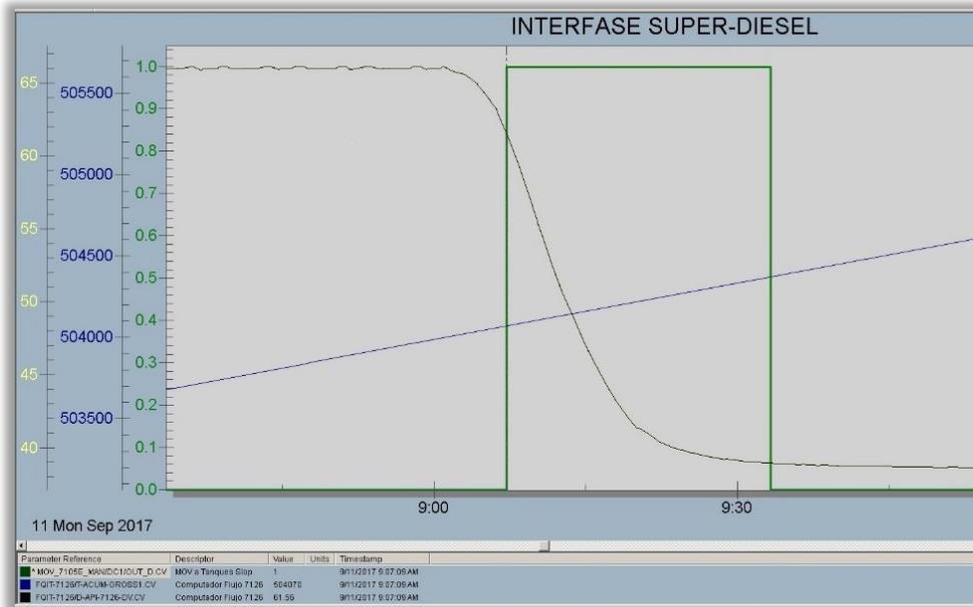


Figura 27-4: Corte inicial en 61.56 API interfase súper-diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

En la figura 28-4 se muestra el corte final en 38.95 API, estado de la válvula MOV-7105E (verde), API (negro) y el valor del contador del TCU-FQIT-7126 (azul) en la interfase súper-diésel.

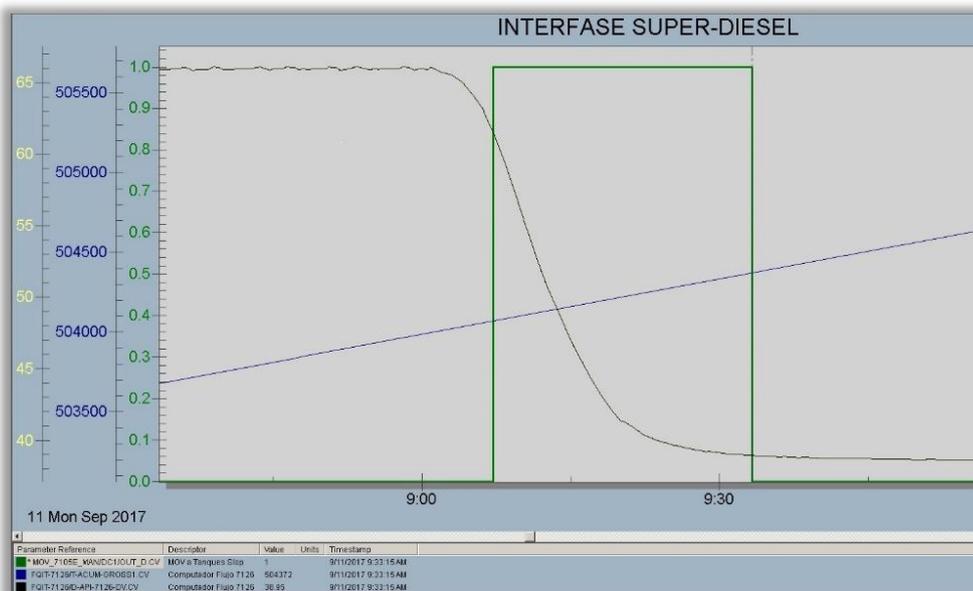


Figura 28-4: Corte final en 38.95 API interfase súper-diésel

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

La recepción de interfases de forma manual, con muestreo y confirmación desde campo antes de la implementación del algoritmo de control ha entregado los siguientes resultados consultados de históricos del SCADA mostrados en la tabla 2-4:

Tabla 2-4: Capacidad generada recibida de interfases en modo manual

Producto	Diésel Premium-súper	Súper-Diésel Premium
Capacidad interfase recibida en BLS	254	303
Duración de recepción	10:06 PM 10:28 PM 22 minutos	09:07 PM 09:33 PM 26 minutos
Fecha	13-septiembre-2017	11-septiembre-2017

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

4.2.3. *Interfases recibidas en forma automática posterior a la integración del algoritmo de control secuencial.*

La integración del algoritmo de control al sistema permitió obtener los siguientes datos (tabla 3-4) de las interfases recibidas mediante la herramienta Process History View.

Tabla 3-4: Interfases recibidas en modo automático

Nº	Diésel - súper	Súper - Diésel	Capacidad de interfase recibida en barriles (BLS)	Duración	Fecha
1	X	-	165	3:38 PM - 3:52 PM 14 minutos	7-octubre-2017
2	-	X	230	11:04 PM - 11:24 PM 20 minutos	11-octubre-2017
3	-	X	231	1:33 PM - 1:45 PM 12 minutos	17-octubre-2017
4	-	X	210	12:02AM - 12:18AM 16 minutos	28-octubre-2017
5	-	X	200	10:26 PM 10:46 PM 20 minutos	1-noviembre-2017
6	X	-	200	7:50 PM 8:05 PM 15 minutos	4-noviembre-2017
7	-	X	200	11:19 PM 11:39 PM 20 minutos	5-noviembre-2017
8	X	-	190	8:17 PM 8:32 PM 15 minutos	8-noviembre-2017
9	-	X	171	9:53 AM 10:12AM 19 minutos	11-noviembre-2017
10	X	-	181	6:52 PM 7:08 PM 16 minutos	12-noviembre-2017

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

4.3. Análisis de datos

Para el análisis de los datos obtenidos se calculará la media y desviación estándar de cada interfase en modo automático con datos adquiridos respecto a la diferencia de volumen en cada una en referencia a las interfases de menor valor en modo manual esto es 254 barriles en interfase diésel-súper y 303 barriles en interfase súper-diésel.

La reducción de capacidad recibida en interfases diésel-súper se aprecia en la tabla 4-4

Tabla 4-4: Reducción de interfase diésel - súper

Nº	Interfase diésel-súper manual BLS	Interfase diésel-súper automático BLS	Reducción BLS
1	254	165	89
2	254	200	54
3	254	190	64
4	254	181	73

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

La reducción de capacidad recibida en interfases súper-diésel se aprecia en la tabla 5-4

Tabla 5-4: Reducción de interfase súper – diésel

Nº	Interfase súper-diésel manual BLS	Interfase súper-diésel automático BLS	Reducción BLS
1	303	230	73
2	303	231	72
3	303	210	93
4	303	200	103
5	303	200	103
6	303	171	132

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

4.3.1. Media

El cálculo de la media aritmética del conjunto de datos diésel- súper (89, 54, 64, 73)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\bar{x}_1=70$$

El cálculo de la media aritmética conjunto del conjunto de datos súper-diésel (73, 72, 93, 103, 103, 132)

$$\bar{x} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

$$\bar{x}_2=96$$

4.3.2. *Desviación estándar*

El cálculo de la desviación estándar del conjunto de datos diésel- súper (89, 54, 64, 73)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$S_1= 14.85$$

El cálculo de la desviación estándar del conjunto de datos súper-diésel (73, 72, 93, 103, 103, 132)

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$S_2= 22.39$$

4.3.3. *Intervalo de confianza del 95% de reducción de volumen*

Para el cálculo de intervalo de confianza se ha empleado la distribución normal correspondiendo a un valor de $IC_{95\%} = (-1.96; 1.96)$ para ambos casos.

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

Dónde: μ media
 σ desviación estándar

Reducción de capacidad de volumen interfase diésel - súper $N(70, 14.85)$.

Reducción de capacidad de volumen interfase súper - diésel N(96, 22.39).

En la tabla 6-4 se presenta el intervalo de confianza resultante al 95% en reducción de capacidad de interfase recibida tanto en interfase diésel-súper como súper – diésel.

Tabla 6-4: Intervalo de confianza al 95%

Interfase	Intervalo de confianza al 95%
Diésel - súper	IC _{95%} = (40.8; 99.1) BLS
Súper - diésel	IC _{95%} = (52.1; 139.8) BLS

Fuente: Rafael Anubis Mejía Granda

Se ha empleado el software R para el análisis estadístico de datos obteniendo los siguientes resultados.

```
#####INTERFASE DIESEL-SUPER
```

```
manual_BLS=c(165,200,190,181)
```

```
#.....Estudio de la Normalidad
```

```
shapiro.test>manual_BLS)
```

```
#Shapiro-Wilk normality test
```

```
#data:>manual_BLS
```

```
#W = 0.98621, p-value = 0.9373
```

```
#Interpretación: como el p-value = 0.9373>0.05 los datos se distribuyen normalmente
```

```
# Como los datos se distribuyen normalmente se utilizo un Contraste para la media de una población normal
```

```
#1.- Hipótesis nula e hipótesis alternativa.
```

```
#Ho:  $\mu \geq 254$  (La media del VOLUMEN DE MEZCLA GENERADO EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE
```

```
# INTERFASES DE PRODUCTOS LIMPIOS DIÉSEL-SÚPER es mayor o igual a 254)
```

#H₁: $\mu < 254$ (La media del VOLUMEN DE MEZCLA GENERADO EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE

INTERFASES DE PRODUCTOS LIMPIOS DIÉSEL-SÚPER es menor que 254)

#2.- Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

#3.- Criterio: Rechazar la hipótesis nula si $p\text{-valor} < 0.05$, donde el estadístico es t

#4.- Cálculos:

```
t.test(manual_BLS, mu=254, alternative="less")
```

```
#One Sample t-test
```

```
#data: manual_BLS
```

```
#t = -9.4245, df = 3, p-value = 0.001266
```

```
#alternative hypothesis: true mean is less than 254
```

#5.- **Decisión:** Puesto que el $p\text{-value} = 0.001266$ es menor que 0.05, la hipótesis nula se

rechaza, en otras palabras la media del VOLUMEN DE MEZCLA GENERADO EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE

INTERFASES DE PRODUCTOS LIMPIOS DIÉSEL-SÚPER es menor que 254,

con un nivel de confianza del 95%.

```
#####INTERFASE SUPER - DIESEL
```

```
manual_BLS2=c(230,231,210,200,200,171)
```

```
#.....Estudio de la Normalidad
```

```
shapiro.test(manual_BLS2)
```

```
#Shapiro-Wilk normality test
```

```
#data: manual_BLS2
```

```
#W = 0.91416, p-value = 0.4643
```

#Interpretación: como el $p\text{-value} = 0.4643 > 0.05$ los datos se distribuyen normalmente
Como los datos se distribuyen normalmente se utilizo un Contraste para la media de una población normal

#1.- Hipótesis nula e hipótesis alternativa.

#Ho: $\mu \geq 303$ (La media del VOLUMEN DE MEZCLA GENERADO EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE

INTERFASES DE PRODUCTOS LIMPIOS SÚPER-DIÉSEL es mayor o igual a 303)

#H₁: $\mu < 303$ (La media del VOLUMEN DE MEZCLA GENERADO EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE

INTERFASES DE PRODUCTOS LIMPIOS SÚPER-DIÉSEL es menor que 303)

#2.- Nivel de significancia $\alpha = 0.05$

#3.- Criterio: Rechazar la hipótesis nula si $p\text{-valor} < 0.05$, donde el estadístico es t

#4.- Cálculos:

```
t.test(manual_BLS2, mu=303, alternative="less")
```

```
#One Sample t-test
```

```
#data: manual_BLS2
```

```
#t = -10.499, df = 5, p-value = 6.763e-05
```

```
#alternative hypothesis: true mean is less than 303
```

#5.- **Decisión:** Puesto que el $p\text{-value} = 6.763e-05$ es menor que 0.05, la hipótesis nula se

rechaza, en otras palabras la media del VOLUMEN DE MEZCLA GENERADO EN EL PROCESO DE RECEPCIÓN DE

INTERFASES DE PRODUCTOS LIMPIOS SÚPER-DIÉSEL es menor que 303,

con un nivel de confianza del 95%.

4.4. Resultados

Una vez analizados los datos luego de implementar el algoritmo de control secuencial al sistema de control se ha empleado la desviación estándar como medida de dispersión y la media como

medida de tendencia central para poder obtener un volumen de confianza al 95% que han entregando los siguientes resultados:

- Con respecto a la interfase diésel-súper se ha alcanzado una reducción en el volumen de mezcla generado en la recepción que cae en el intervalo de 40 a 99 barriles, 1680 a 4158 galones respectivamente.
- Mientras que en la interfase súper-diésel se ha reducido el volumen de mezcla generado en la recepción en el intervalo de 55 a 139 barriles, 2310 a 5838 galones respectivamente.

5. CONCLUSIONES:

- Se analizó las características de los elementos a ser empleados en el proceso de recepción de interfases lo que permitió configurar las propiedades de las tarjetas E/S y la asignación de Tag's requeridos para ser integrados al sistema.
- Tomando en consideración las fases de la guía GEMMA en sistemas de automatización se ha desarrollado e integrado el algoritmo de control, GRAFCET al sistema.
- Integrar el algoritmo de control secuencial al sistema de control existente ha permitido disminuir la capacidad de interfase generada en el proceso de recepción en interfases diésel-súper y súper-diésel de la terminal de productos limpios Cuenca EP Petroecuador.
- Se analizó el volumen de mezcla generado posterior a la integración del algoritmo de control secuencial, obteniendo una reducción de volumen de interfase en el intervalo de confianza $IC95\% = (40.8; 99.1)$ BLS e $IC95\% = (52.1; 139.8)$ BLS en interfases diésel-súper y súper-diésel respectivamente lo que representa una optimización al proceso de recepción que faculta disponer de una mayor capacidad de recepción en tanques y reducir las pérdidas en los lotes transportados.
- Empleando el software R para el análisis estadístico de datos se realizó la verificación de hipótesis nula aceptando la alternativa.
- La integración del algoritmo de control secuencial se ha desarrollado considerando la matriz de causa y efecto del sistema; asegurando de esta manera no tener problemas en el sistema instrumentado de seguridad SIS.
- El sistema de control DeltaV por ser distribuido y dotar de confiabilidad en lectura de datos en tiempo real al proceso ha permitido reducir el volumen generado en la recepción de interfases diésel-súper y súper -diésel.

6. RECOMENDACIONES:

- El valor API referencial a ser ingresado por HMI al sistema para establecer el inicio y fin de la interfase debe ser el valor corregido a la temperatura actual del proceso.
- Disponer de certificados de calibración actualizados (anual) en instrumentos.
- Durante el transporte de productos por poliducto mantener las presiones y evitar al máximo paralizar la operación. De ser necesario planificar las paralizaciones.
- Realizar mantenimiento preventivo a válvulas y actuadores con la finalidad de brindar al sistema equipos confiables.

BIBLIOGRAFÍA:

Andrade Moreano, F. J. (2007). *Control y visualización de las etapas de recepción, filtrado y despacho de combustibles de la planta jet fuel del terminal El Beaterio de Petrocomercial (Doctoral dissertation. QUITO/EPN/2007).*

Asensio, P. P., & Arbós, R. V. (2005). *Automatización de procesos mediante la guía GEMMA. Barcelona. Edit. Edicions UPC.*

Balcells, J. & Romeral, J.L (2000) *Autómatas programables. Barcelona: Marcombo, S.A.*

Brady, J. (1998). *Networking with devicenet. The Computer Applications Journal, 6, 38-42.*

Corrales Paucar, L. (2007). *Instrumentación Industrial.*

DeltaV Arquitectura (n.d.). Recuperado September 20, 2017, de <http://www2.emersonprocess.com/es-es/brands/deltav/differentiators/Pages/SystemOverview.aspx>

Demoya, A. C., Cruz, H. Q., & Hernandez, P. N. B. (2007). *Modelamiento de la propagación de los frentes de contaminación generados por el transporte de combustibles por poliducto. Dyna, 74(152), 89-96.*

Dutertre, B. (2007, March). *Formal modeling and analysis of the Modbus protocol. In International Conference on Critical Infrastructure Protection (pp. 189-204). Springer, Boston, MA.*

Emerson. (n.d.). Recuperado Septiembre 22, 2017, de <http://www.emerson.com/en-us/catalog/deltav-ve31red>

García Moreno, E (1999). *Automatización de procesos industriales: robótica y automática. Valencia, España: Universidad Politécnica de Valencia.*

Gravedad API - Schlumberger Oilfield Glossary. (2017). *Glossary.oilfield.slb.com.* Recuperado 24 September 2017, de http://www.glossary.oilfield.slb.com/es/Terms/a/api_gravity.aspx

- InfoPLC.** (2007). *Introducción a las redes de comunicación industrial.*
- Kopetz, H.** (2011). *Real-time systems: design principles for distributed embedded applications.* Springer Science & Business Media.
- León, A.** (2017) *Sistemas de control distribuido* Recuperado de https://es.slideshare.net/alleonchile/sistemas-de-control-distribuido-dcs-7298975?from_action=save#
- León P,** (2016) *Automatización Industrial Integrada.*
- Liu, J., Fang, Y., & Zhang, D.** (2007, May). *PROFIBUS-DP and HART protocol conversion and the gateway development.* In *Industrial Electronics and Applications, 2007. ICIEA 2007. 2nd IEEE Conference on* (pp. 15-20). IEEE.
- Macías Arciniegas, D. M., & Martínez Gallego, J. E.** (2012). *Modelación para la programación del transporte de productos refinados en la red nacional de poliductos de Ecopetrol SA.*
- Mascarós, V., Casanova, V., & Salt, J.** (2004). *Análisis experimental del funcionamiento de un sistema de control basado en red sobre el protocolo Profibus-DP (I).* XXV Jornadas de Automática, Ciudad Real (España).
- Neira, Z., & Ricardo, E.** (2003) *Análisis de frentes de contaminación en el transporte de hidrocarburos líquidos por tubería.* *Ingeniería e Investigación; Vol. 23, núm. 2 (2003): (52); 31-36 Ingeniería e Investigación; Vol. 23, núm. 2 (2003): (52); 31-36 2248-8723 0120-5609.*
- Penin, A. R.** (2011). *Sistemas SCADA.* Marcombo.
- Rodriguez Penin, A.** (2007). *Sistemas SCADA.* Barcelona, España: Marcombo-Alfaomega
- Rossel Cartes, G. E.** (2017). *Estudio de sistema alternativo de transporte de hidrocarburos a través de oleoducto ENAP BíoBío-San Fernando (Doctoral dissertation, Universidad Andrés Bello).*
- Schiffer, V.** (2001, October). *The CIP family of fieldbus protocols and its newest member-*

Ethernet/IP. In Emerging Technologies and Factory Automation, 2001. Proceedings. 2001 8th IEEE International Conference on (pp. 377-384). IEEE.

Sánchez, Á. G. (2007). *Programación del transporte de hidrocarburos por oleoductos mediante la combinación de técnicas metaheurísticas y simulación.*

Verdecia Lorente, Y. (2016). *Interfaz gráfica para el sistema SCADA del oleoducto Varadero-Matanzas (Doctoral dissertation, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Facultad de Ingeniería Eléctrica. Departamento de Automática y Sistemas Computacionales).*

Villajulca, J. (2014). *Introducción a los DCS: Sistemas de Control Distribuido. Recuperado de www.instrumentacionycontrol.net*

ANEXOS:

Acuador neumático SDV



Acuador eléctrico MOV



Medidor de flujo FQIT



Manifold de distribución



Reductora de presión

