



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO ELECTRÓNICO EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

TEMA: “DESARROLLO DE UNA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA DE ALTO DESEMPEÑO (HPHMI) PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE CRUDO Y GAS EN PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL S.A.”

AUTOR: RIVERA TENE, BRYAN DAVID

DIRECTOR: ING. ORTIZ TULCÁN, HUGO RAMIRO

SANGOLQUÍ

2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, *“DESARROLLO DE UNA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA DE ALTO DESEMPEÑO (HPHMI) PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE CRUDO Y GAS EN PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL S.A.”*, realizado por el señor *Rivera Tene, Bryan David* ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido: por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, Agosto del 2018

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul, que parece ser 'H. Ortiz Mgs.', escrita sobre una línea de puntos.

Ing. Hugo Ortiz Mgs.

DIRECTOR

C.C. 1707721591



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Rivera Tene, Bryan David*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: *“DESARROLLO DE UNA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA DE ALTO DESEMPEÑO (HPHMI) PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE CRUDO Y GAS EN PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL S.A.”*, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 16 de Agosto del 2018

Firma:

Una firma manuscrita en tinta azul que parece decir "Bryan David Rivera Tene".

Bryan David Rivera Tene

C.C. 1721630109



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

AUTORIZACIÓN

Yo, Rivera Tene, Bryan David, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “DESARROLLO DE UNA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA DE ALTO DESEMPEÑO (HPHMI) PARA PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE CRUDO Y GAS EN PROYECTOS INTEGRALES DEL ECUADOR PIL S.A.”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, Agosto del 2018

Firma:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Bryan David Rivera Tene', written over a horizontal dotted line.

Bryan David Rivera Tene

C.C. 1721630109

DEDICATORIA

A mi padre, porque nunca me dejó solo. Por todo el apoyo, trabajo y dedicación que me dio siempre. Por toda la ayuda que me brindó en el camino, por su tenacidad y en especial por todo su amor y su ejemplo. Por siempre hacerme sonreír. Porque no pude haber tenido un mejor padre, esto va por ti, te amo papá.

A mi madre, por todo el amor que me brindó desde el primer día. Por su trabajo, por sus sacrificios, por su fuerza, por su paciencia y por todo su apoyo y entendimiento. Porque por más fuerte que sean las dificultades, siempre me hiciste sentir protegido. Eres una mujer maravillosa, esto es por ti. Te amo mamá.

A mis viejitos, Germán e Ita. Por todo el amor que me brindaron siempre. Por la ternura con la cual me han cuidado desde niño. Por sus sabios consejos, porque nunca me dejaron solo, por toda su entrega y por toda la felicidad que me han regalado. Porque han sido faros de luz y ejemplos de vida. Los amo demasiado abuelitos. Esto es por ustedes.

AGRADECIMIENTOS

A Dios y a la Virgencita, por haberme dado a personas maravillosas en mi vida. Por darme la salud y la capacidad para cumplir con mis objetivos. Por haber cuidado de mí en cada segundo y de toda mi familia. Por guiarme e iluminarme en cada paso. Por todo lo que tengo y lo que soy.

A mi padre, Giovanni. Gracias por tu esfuerzo para que nunca me falte nada. Por enseñarme a ser feliz con las cosas simples de la vida. Gracias, por ser mi amigo y enseñarme que puedo ser capaz de cualquier cosa. Gracias por compartir conmigo lo lindo del fútbol y del deporte. Gracias papá.

A mi madre, Patty. A ti nunca podrá agradecerte lo suficiente por todo lo que has hecho por mí en toda mi vida. Por haberme apoyado y ayudado en los momentos más lindos y más duros. Gracias por enseñarme que, a pesar de cualquier dificultad, siempre va a existir alguien que te va a amar y nunca te dejará solo. Gracias por todo mamá.

A Anita. Gracias porque nunca dejaste de creer en mí a pesar de cualquier cosa. Gracias porque siempre me inyectaste fuerza y motivación para lograr mis objetivos. Gracias por brindarme felicidad al compartir conmigo cada momento. Gracias porque siempre me has hecho ser una mejor persona. Gracias por toda la ayuda y apoyo que me diste en muchas ocasiones. Y, sobre todo, gracias por todo el amor sincero que me das cada día y por llenar de alegría mi vida cuando estás conmigo. Gracias por ser mi amiga y mi equipo. Gracias amor.

A mis abuelitos, Germán y Libia. Gracias por haber sido mis otros padres. Gracias porque nunca me faltó nada junto a ustedes. Gracias por su ternura, su entendimiento, su paciencia, sus enseñanzas y sus cuidados. Gracias por todo su amor.

A mis abuelitos, Néstor y Mercedes. Gracias por siempre haber estado junto a mí. Gracias por su preocupación y porque nunca me han dejado de querer. Gracias porque siempre me han dado todo su amor y su ayuda. Gracias por estar conmigo.

A mis tías Lady y Bethy. Gracias por llenarme de su amor y cariño. Ustedes siempre han sido como otras madres para mí. Les quiero mucho.

A mis tíos y tías, Néstor, Nancy, Zara, Luis y Edwin. Gracias por siempre estar pendientes de mí, por brindarme su atención. Gracias por su ayuda y apoyo. Les quiero mucho.

A mi primo, Sebas. Por el cariño, por ser mi hermano, más que mi primo. Te quiero mucho.

Al Ingeniero Hugo Ortiz, por su orientación y ayuda en este proyecto.

Al personal de PIL S.A., en especial a Raúl Cáceres, Jaime Torres y Walter Silva. Por la oportunidad de realizar este proyecto en tan distinguida empresa y por la ayuda y apoyo brindados.

A los docentes de calidad de la ESPE, por todas las enseñanzas impartidas para que seamos buenos profesionales y buenas personas.

A mis amigos del colegio Benalcázar, en especial a Jorge, Tefa, Diego, David y Daniel. Por haberme brindado siempre todo su apoyo y fuerzas. Gracias por su amistad.

A mis amigos de la ESPE, por todo lo que compartimos juntos en estos años. Porque gracias a ellos el camino se hizo más llevadero y feliz.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTOS	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xvii
ÍNDICE DE TABLAS	xx
RESUMEN.....	xxi
ABSTRACT	xxii
CAPÍTULO I.....	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia.....	4
1.3 Alcance	8
1.4 Objetivos	11
1.4.1 Objetivo General	11
1.4.2 Objetivos Específicos.....	11
1.5 Descripción del Proyecto	12
1.5.1 Capítulo 2 – Marco Referencial	12
1.5.2 Capítulo 3 – Desarrollo de la Filosofía y Guía de Estilo para el diseño de HPHMI bajo el estándar ANSI/ISA-101.01-2015	12

1.5.3 Capítulo 4 – Desarrollo de la Interfaz HPHMI	12
1.5.4 Capítulo 5 – Pruebas y Resultados	13
1.5.5 Capítulo 6 – Conclusiones y Recomendaciones	13
CAPÍTULO II	14
MARCO REFERENCIAL	14
2.1 Descripción general del Proceso de extracción de Crudo y Gas	14
2.1.1 Prospección	14
2.1.2 Exploración	15
2.1.3 Perforación	15
2.1.4 Extracción o producción.....	16
2.2 Descripción de los Subprocesos de Producción	17
2.2.1 Sistema de Recepción de la Producción.....	18
2.2.2 Sistema de Mezcla y Separación de la Producción	18
2.2.3 Sistemas de Bombas Booster	19
2.3 Interfaz Humano Máquina	20
2.3.1 Generalidades	20
2.3.2 Breve Historia y Evolución de los HMI's	23
2.3.3 Problemas de los HMIs	27
2.3.4 Evolución del concepto de diseño	29
2.3.5 Estándares y Normas de Diseño.....	31
2.4 Interfaz de Alto Desempeño (HPHMI)	34
2.4.1 Características Principales de los HPHMI	35
2.4.1.1 Apropiado uso del Color	36

2.4.1.2 Datos e Información	39
2.4.1.3 Importancia del uso de Tendencias	41
2.4.1.4 Estandarización	44
2.5 Plataforma de desarrollo Ignition	44
2.5.1 Qué es y cómo funciona Ignition	44
2.5.2 Los beneficios de Ignition	46
2.5.2.1 Despliegue basado en Web	46
2.5.2.2 Licencia Ilimitada.....	46
2.5.2.3 Estabilidad y Seguridad.....	46
2.5.2.4 Control y Monitoreo en Tiempo Real	47
2.5.2.5 Expandible.....	47
2.5.2.6 Flexibilidad.....	47
CAPÍTULO III	48
DESARROLLO DE LA GUÍA DE DISEÑO DE HPHMI'S BAJO LA NORMA ANSI/ISA- 101.01-2015.....	48
3.1 Introducción	48
3.2 Norma ANSI/ISA-101.01-2015	48
3.2.1 Inicio y Creación	48
3.2.2 Propósito de la Norma.....	49
3.2.3 Contenido	49
3.3 Filosofía de Diseño de High Performance HMI (HPHMI)	51
3.3.1 Introducción a la Filosofía de Diseño	51
3.3.2 Propósito de la Filosofía HPHMI.....	51

3.3.3	Objetivos y Principios Fundamentales del HMI	52
3.3.4	Factores Humanos de Ingeniería (HFE).....	53
3.3.4.1	Principios generales del diseño HMI	53
3.3.4.1.1	Conceptos Generales de HFE.....	53
3.3.4.1.2	Conciencia de la Situación del Proceso.....	54
3.3.4.2	Limitaciones sensoriales del Usuario	54
3.3.4.2.1	Consideraciones Visuales.....	54
3.3.4.2.1.1	Luz del ambiente y Luminancia de la pantalla.....	55
3.3.4.2.1.2	Color	55
3.3.4.2.1.3	Densidad de la Información mostrada.....	55
3.3.4.2.1.4	Dinámica Visual	56
3.3.4.3	Límites Cognitivos del Usuario.....	56
3.3.5	Descripción Funcional de los elementos del HMI	57
3.3.5.1	Contenido de Pantalla.....	57
3.3.5.1.1	Consideraciones Generales para Pantallas	57
3.3.5.1.1.1	Uso del color	57
3.3.5.1.1.2	Fondos de Pantalla	57
3.3.5.1.1.3	Colores de elementos	58
3.3.5.2	Datos e Información	58
3.3.5.3	Representación de Líneas, Recipientes y Equipo Estático.....	58
3.3.5.3.1	Líneas de Procesos	58
3.3.5.3.2	Recipientes del Proceso.....	59
3.3.5.3.3	Flujo del Proceso	59

3.3.5.4 Representación de Texto	59
3.3.5.5 Símbolos y Objetos	59
3.3.5.6 Controladores de Procesos	59
3.3.5.7 Representación de Equipamiento Dinámico	60
3.3.5.8 Tendencias.....	60
3.3.5.9 Alarmas:	60
3.3.6 Diseño de Visualización:.....	61
3.3.7 Navegación:.....	61
3.3.8 Seguridad:.....	62
3.3.9 Pruebas, Instalación y Entrenamiento	63
3.3.10 Jerarquía	63
3.4 Guía de Estilo de High Performance HMI (HPHMI)	64
3.4.1 Introducción	64
3.4.2 Propósito y Uso de una Guía de Estilo HMI.....	65
3.4.3 Especificación de la Plataforma	65
3.4.4 Proceso de trabajo para el desarrollo del HPHMI.....	65
3.4.5 Librería de Objetos – Descripción y Uso	67
3.4.6 Conceptos de visualización, Objetivos y Contenido	68
3.4.6.1 Nivel 1 de Visualización – Visión en conjunto del proceso	68
3.4.6.2 Nivel 2 de Visualización – Gráficos de operaciones de unidades del proceso	69
3.4.6.3 Nivel 3 de Visualización – Visualización detallada del proceso	71
3.4.6.4 Nivel 4 de Visualización – Pantalla de soporte y diagnóstico del proceso	72
3.4.7 Valores predeterminados de visualización del sistema	72

3.4.8 Metodologías de Interacción con el Operador	73
3.4.8.1 Funcionalidad y uso del sistema de control	73
3.4.8.2 Ventanas emergentes.....	73
3.4.9 Diseño (Layout) de la Visualización y Densidad.....	74
3.4.10 Métodos de Navegación y Prácticas.....	75
3.4.10.1 Tipos de diseño de Navegación.....	75
3.4.10.2 Conceptos de diseño de Navegación	75
3.4.10.3 Métodos de Navegación	76
3.4.10.3.1 Botones y gráficos de navegación	76
3.4.10.3.2 Menús de navegación.....	76
3.4.10.3.3 Elementos de selección y punteros.....	76
3.4.10.3.4 Menús de contexto	76
3.4.10.3.5 Aparecer y Ocultar mecanismos para información detallada.....	77
3.4.11 Principios básicos de la Representación del Proceso	77
3.4.11.1 El papel apropiado del elemento pictórico del proceso.....	77
3.4.11.2 Elementos de Alto desempeño	78
3.4.12 El uso apropiado, Implementación e Importancia de las tendencias.....	80
3.4.12.1 Uso apropiado e implementación de tendencias	81
3.4.13 Uso de color	82
3.4.13.1 Definiciones de color y configuraciones.....	82
3.4.13.2 Color de Fondo de Pantallas.....	82
3.4.13.3 El rol del color en situaciones de advertencia	83
3.4.13.4 Diseños para deficiencias del color: Redundancia de código	83

3.4.14 Especificaciones y Funcionalidad detallada de los elementos de la interfaz	83
3.4.14.1 Representación de Líneas	83
3.4.14.2 Representación de texto estático en listas, tablas y estructuras parecidas	83
3.4.14.3 Recipientes y otras estructuras estáticas.....	84
3.4.14.4 Librería de equipo dinámico	84
3.4.14.5 Representación de valores analógicos y digitales	85
3.4.14.6 Representación de controladores.....	86
3.4.14.7 Representación de válvulas y otros elementos finales de control	88
3.4.14.8 Interbloqueo y elementos lógicos en las pantallas	88
3.4.15 Funcionalidad de las Alarmas	90
3.4.15.1 Representación apropiada de las alarmas.....	90
3.4.15.2 Prioridad de las alarmas	90
3.4.15.3 Indicación de situaciones anormales	91
3.4.16 Colores establecidos para el diseño.....	92
CAPÍTULO IV	94
DESARROLLO DE LA INTERFAZ HPHMI.....	94
4.1 Requisitos	94
4.1.1 Requisitos Generales para todas las Pantallas del proceso	94
4.1.2 Requisitos para la pantalla de la Trampa Receptora de Herramienta	96
4.1.3 Requisitos para la pantalla del Sistema de Mezclador Estático	96
4.1.4 Requisitos para la pantalla del Separador	97
4.1.5 Requisitos para la pantalla de Bombas Booster	98
4.1.6 Requisitos para la pantalla de Bombas de Transferencia de Fluido.....	99

4.1.7 Requisitos para la pantalla de Lanzador de Herramientas	99
4.2 Aplicación de la Filosofía y Guía de Diseño en el desarrollo del HPHMI	99
4.2.1 Evaluación de HMIs existentes en contraste con los principios de HPHMI.....	100
4.2.2 Análisis de las Tareas y Requerimientos.....	100
4.2.3 Diseño de los Gráficos y Pantallas.....	102
4.2.3.1 Diseño de Elementos Globales.....	102
4.2.3.1.1 Valores Analógicos	106
4.2.3.1.2 Válvulas	107
4.2.3.1.3 Bombas Booster	108
4.2.3.1.4 Controladores	109
4.2.3.1.5 Válvulas de Control.....	110
4.2.3.1.6 Elementos Digitales.....	110
4.2.3.1.7 Detectores de Fuego y de Gas	110
4.2.3.1.8 Bombas de Transferencia	111
4.2.3.2 Diseño de las Pantallas para las etapas del proceso	111
4.2.3.2.1 Pantallas globales de uso común.....	112
4.2.3.2.1.1 Pop-up para los Elementos Analógicos.....	112
4.2.3.2.1.2 Pop-up para los Elementos detectores de Fuego Y Gas.....	114
4.2.3.2.1.3 Pop-up para los Elementos de Control.....	114
4.2.3.2.1.4 Pop-up para Válvulas y Bombas	115
4.2.3.2.1.5 Representación de Interlocks (Bloqueo)	115
4.2.3.2.2 Pantallas de Nivel 2.....	117
4.2.3.2.2.1 Pantalla de la Trampa Receptora (Pig Receiver)	118

4.2.3.2.2 Pantalla del Sistema de Mezclado Estático	118
4.2.3.2.3 Pantalla del Separador	120
4.2.3.2.4 Pantalla del Sistema de Bombas Booster	123
4.2.3.2.5 Pantalla de Bombas de Transferencia	124
4.2.3.2.6 Pantalla de Trampa Lanzadora de Herramienta (Pig Launcher)	127
4.2.3.2.3 Pantallas de Nivel 3	128
4.2.3.2.3.1 Pantalla de Nivel 3 para la Trampa Receptora	129
4.2.3.2.3.2 Pantalla de Nivel 3 para el Mezclador Estático	129
4.2.3.2.3.3 Pantalla de Nivel 3 para el Separador	129
4.2.3.2.3.4 Pantalla de Nivel 3 para el Bombas Booster	129
4.2.3.2.3.5 Pantalla de Nivel 3 para Bombas de Transferencia	129
4.2.3.2.3.6 Pantalla de Nivel 3 para la Herramienta Lanzadora	134
4.2.3.2.4 Pantallas de Nivel 4	134
4.2.3.2.5 Pantalla de Nivel 1	134
4.3 Instalación, Integración y Puesta en Funcionamiento	138
4.3.1 Software para funcionamiento	138
4.3.2 Añadir un PLC	140
4.3.3 Añadir un emulador de PLC	141
4.3.4 Añadir una conexión con Base de Datos	143
CAPÍTULO V	145
PRUEBAS Y RESULTADOS	145
5.1 Pruebas 145	
5.1.1 Pruebas de Desempeño del Operador con la Interfaz	145

5.1.2 Pruebas de Tiempos de Respuesta del Sistema	148
5.2 Resultados	148
5.2.1 Resultados de Pruebas de Desempeño del Operador con la Interfaz	148
5.2.2 Resultados de Tiempos de Respuesta del Sistema	154
CAPÍTULO VI.....	156
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	156
6.1 Conclusiones	156
6.2 Recomendaciones.....	157
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	159

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Interacción del HMI con los sentidos	22
<i>Figura 2.</i> Cuarto de control en el pasado.....	24
<i>Figura 3.</i> Ejemplo de un HMI con deficiencias de diseño	26
<i>Figura 4.</i> Interfaz con objetos en 3-D y animaciones exageradas	27
<i>Figura 5.</i> Evaluación de la usabilidad	30
<i>Figura 6.</i> Uso excesivo del color para el proceso.....	36
<i>Figura 7.</i> Uso consciente del color	36
<i>Figura 8.</i> Deficiencia del color	37
<i>Figura 9.</i> Uso excesivo del color	38
<i>Figura 10.</i> Uso prudente del color	38
<i>Figura 11.</i> Indicador Analógico y Digital	41
<i>Figura 12.</i> Valores con tendencia.....	43
<i>Figura 13.</i> Tendencia con oscilación.....	43
<i>Figura 14.</i> Estructura de Ignition	45
<i>Figura 15.</i> Ciclo de Vida del HMI	50
<i>Figura 16.</i> Proceso de Trabajo para el Desarrollo del HPHMI	66
<i>Figura 17.</i> Pasos para diseño e implementación de un HPHMI....	¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 18.</i> Niveles de Jerarquía.....	¡Error! Marcador no definido.
<i>Figura 19.</i> Distribución de Pantalla.....	74
<i>Figura 20.</i> Diagrama de un indicador Analógico	86
<i>Figura 21.</i> Indicador analógico con valor digital	87
<i>Figura 22.</i> Valores Analógicos.....	106
<i>Figura 23.</i> Válvulas	108
<i>Figura 24.</i> Bombas Booster	109
<i>Figura 25.</i> Controlador	109
<i>Figura 26.</i> Válvula de Control.....	110
<i>Figura 27.</i> Alarma Digital	110
<i>Figura 28.</i> Detectores	111
<i>Figura 29.</i> Bomba de Transferencia	111

Figura 30. Pop-Up para valores Analógicos	113
Figura 31. Pop-Up de elementos de Fuego y gas.....	114
Figura 32. Pantalla de Control	115
Figura 33. Pop-Up de Actuadores	116
Figura 34. Riesgo de Interlock.....	117
Figura 35. Interlock.....	118
Figura 36. Pig Receiver Nivel 2.....	119
Figura 37. Mezclador estático Nivel 2	120
Figura 38. Separador Nivel 2	121
Figura 39. Pantalla Nivel 2 Bombas Booster	125
Figura 40. Pantalla Nivel 2 Bombas de Transferencia.....	126
Figura 41. Pantalla Nivel 2 de Trampa Lanzadora	128
Figura 42. Pantalla de Nivel 3 para Trampa Recibidora.....	130
Figura 43. Pantalla de Nivel 3 para el sistema de Mezclador estático.....	131
Figura 44. Pantalla de Nivel 3 para el Separador.....	132
Figura 45. Patalla de Nivel 3 para Bombas Booster	133
Figura 46. Pantalla de Nivel 3 para Bombas de Transferencia	135
Figura 47. Pantalla de Nivel 3 para trampa Lanzadora.....	136
Figura 48. Pantallas de Nivel 4	137
Figura 49. Pantalla de Visión General Nivel 1	139
Figura 50. Conexión de un dispositivo	140
Figura 51. Dispositivos disponibles para su uso	141
Figura 52. Conexiones de Servidor OPC	142
Figura 53. Tipo de conexión y localización.....	142
Figura 54. Tipo de servidor OPC	143
Figura 55. Creación de una nueva base de datos	143
Figura 56. Elección de la base de datos	144
Figura 57. Comparación de Tiempos entre Interfaces	149
Figura 58. Comparación general en las 3 etapas de Evaluación	150
Figura 59. Optimización total estimada	152

Figura 60. Análisis de Varianza en Pig Receiver.....	152
Figura 61. Análisis de Varianza en Bombas de Transferencia	153
Figura 62. Análisis de Varianza en Separador	153
Figura 63. Evaluación de Tiempos de Respuesta.....	155
Figura 64. Análisis para Tiempos de Respuesta	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Varios datos sin información concreta</i>	40
Tabla 2. <i>Datos convertidos en Información útil</i>	40
Tabla 3. <i>Ejemplo de valores de Presión</i>	42
Tabla 4. <i>Colores y Usos en el HPHMI</i>	92
Tabla 5. <i>Elementos de control y de observación en la Trampa Receptora</i>	101
Tabla 6. <i>Elementos de control y observación en el Mezclador Estático</i>	101
Tabla 7. <i>Elementos de control y observación en el Separador</i>	102
Tabla 8. <i>Elementos de observación y control en Bombas Booster</i>	103
Tabla 9. <i>Elementos de observación y control en Bombas de Transferencia</i>	104
Tabla 10. <i>Tabla de Resumen de Cálculo de Medianas en Pig Receiver</i>	149
Tabla 11. <i>Tabla de Resumen de Cálculo de Medianas en Bombas de Transferencia</i>	149
Tabla 12. <i>Tabla de Resumen de Cálculo de Medianas en etapa de Separador</i>	150
Tabla 13. <i>Tabla de resumen de cálculo de optimización de tiempo entre interfaces</i>	151

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se presenta la forma de diseñar y el desarrollo de una Interfaz Humano Máquina de Alto Desempeño (HPHMI). Para su correcta realización, fue indispensable la investigación y análisis de la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y de los principios y características del funcionamiento de alto desempeño que posteriormente se plasmó en la creación de una Filosofía y Guía de estilo de diseño y una librería de este tipo de elementos. Estas herramientas fueron aplicadas en una interfaz para procesos de producción de crudo y gas, sin embargo, servirán como estándar para futuros diseños y creaciones de HPHMIs en diferentes áreas de trabajo. La plataforma de desarrollo que se utilizó fue Ignition. Una vez que se tuvo el sistema funcionando correctamente bajo los requerimientos establecidos, se realizaron pruebas de desempeño de la interacción del operador con la interfaz. En estas pruebas se evaluaron los tiempos de reacción del operador para el reconocimiento y resolución de situaciones anormales comparando su desenvolvimiento en el HMI tradicional en contraste con la interfaz HPHMI desarrollada, teniendo como resultado que en efecto hay una diferencia numérica significativa entre los dos tipos de interfaz, presentando una optimización de los tiempos a favor de la interfaz HPHMI.

PALABRAS CLAVE:

- **INTERFAZ DE ALTO DESEMPEÑO (HPHMI)**
- **NORMA ANSI/ISA-101.01-2015**
- **FILOSOFÍA, GUÍA DE ESTILO Y LIBRERÍA**
- **ESTÁNDAR**
- **PRODUCCIÓN DE CRUDO Y GAS**
- **OPTIMIZACIÓN**

ABSTRACT

This research project presents the way to design and how to develop a High Performance Human Machine Interface (HPHMI). For its correct realization, it was indispensable the investigation and analysis of the ANSI/ISA-101.01-2015 standard and of the principles and characteristics of high performance interfaces that later were reflected in the creation of a Philosophy, Style Guide and Toolkit of this type of elements. These tools were applied to a interface for oil and gas production processes, however, they will serve as a standard for future designs and creations of HPHMIs in different work areas. The development platform that was used was Ignition. Once the system was working correctly under the established requirements, performance tests of the operator's interaction with the interface were done. In these tests, the operation reaction time for the recognition and resolution of abnormal situations were evaluated comparing the performance in the traditional HMI in contrast to the developed HPHMI interface, resulting that in effect there is a significant numerical difference between the two types of interfaces, presenting an optimization of the time in favor of the HPHMI interface. Thus, was proved that the HPHMI achieve the goals and objectives of better control and monitoring of processes.

KEYWORDS:

- **HIGH PERFORMANCE HMI (HPHMI)**
- **ANSI/ISA-101.01-2015**
- **PHILOSOPHY, STYLE GUIDE AND TOOLKIT**
- **STANDARDIZE**
- **OIL AND GAS PRODUCTION**
- **OPTIMIZATION**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La industria petrolera está presente en el Ecuador desde hace alrededor de 45 años y su forma de extraerlo, tratarlo, producirlo o transportarlo ha ido cambiando, así como ha ido avanzando la tecnología en los diferentes procesos, ya sea con máquinas y con software que permita la mejora de producción, seguridad, control y monitorización de este.

Uno de los principales componentes para el control y monitoreo de un proceso o sus diferentes subprocesos son las Interfaces Humano Máquina conocidas como HMI. Según la norma ISO 9241-110, se define a una interfaz de usuario como "todas las partes de un sistema interactivo (software o hardware) que proporcionan la información y el control necesarios para que el usuario lleve a cabo una tarea con el sistema interactivo".

La forma de diseñar o presentar los HMI's ha ido evolucionando, tanto en software como en hardware. Los primeros sistemas HMI estaban conformados por paneles que comprendían de indicadores como luces piloto, comandos, indicadores digitales o análogos entre otros elementos, que muchas veces se encontraban en grandes cuartos de control. Actualmente gracias a los controladores, computadoras, módulos y otros dispositivos electrónicos, existen HMI más eficientes, flexibles y poderosas que brindan mayor seguridad y productividad representando beneficios económicos en la industria (Cobo, Ulloa , Pérez, & Riveros , 2007)

Sin embargo, la evolución continúa y esto también se ha visto influenciado por los requerimientos o necesidades de los operadores, ingenieros o incluso gerentes que hacen uso de esta herramienta de trabajo. Las variaciones han tenido que ver principalmente con la forma de

presentación de colores, distribución e información necesaria acerca del proceso que deben conocer los usuarios, por ejemplo, muchas veces se puede presentar demasiados elementos y con muchos colores en una pantalla, pero que no muestran datos relevantes del proceso para la persona encargada de monitorizarlo, si no que al contrario puede producir fatiga visual, cansancio y hasta descuido y distracción.

En cualquier proceso industrial en el mundo es casi inevitable encontrarse con al menos un sistema HMI. En el Ecuador de igual manera las empresas más grandes cuentan con este tipo de tecnologías cuando tienen sus procesos debidamente automatizados, aunque muchas ocupan sistemas que vienen instalados de fábrica, otras utilizan interfaces más personalizadas, por ejemplo, las instituciones que se encargan del proceso de explotación de crudo y gas cuentan con HMI para monitorizar los elementos electrónicos, eléctricos, mecánicos, hidráulicos, etc, de los diferentes subprocesos, especialmente de producción y tratamiento.

La empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. tiene como eje central de su trabajo el proveer tecnologías y servicios especializados de procura, mantenimiento, diseño, ingeniería y construcción en las áreas de Automatización, Ingeniería Civil, Generación Eléctrica, Instrumentación, Mecánica, Procesos y Telecomunicaciones, principalmente para el sector energético, hidrocarburífero y la industria en general (PIL Automation, 2016).

Uno de los servicios de automatización que brinda Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. es justamente el desarrollo de HMI's para sus clientes. Se conoció que en los años de servicio se han ido creando interfaces con diferentes características y varios clientes, lo que ha provocado que ciertos elementos no tengan un diseño establecido y tengan variaciones innecesarias entre una interfaz u otra. Sus diseños se han desarrollado principalmente en base a pedidos de los clientes, pero no se ha creado una interfaz que se pueda presentar como propia de la empresa para ofrecerla

a otros clientes. Añadido a eso, hoy en día existen nuevos conceptos y normas de diseño (como las que se mencionarán a continuación) y necesidades como tener una mejor visualización del proceso, una síntesis y optimización de la información mostrada, mejorar el tratamiento de alarmas, entre otras. Por tales motivos las interfaces disponibles en Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A., se han vuelto algo discontinuadas y aunque son funcionales, se ve la necesidad de actualizar e innovar para el futuro.

Últimamente ha ido creciendo una nueva visión de desarrollo conocida como High Performance HMI (HPHMI). Esto se ha dado debido a la necesidad de mejorar las HMI's, porque a pesar de que la tecnología, software y demandas de los operadores han evolucionado durante los últimos 25 años, las soluciones tecnológicas no lo han hecho de gran manera. Algunos de los conceptos más importantes de diseños de alto desempeño son: el uso prudente de color, una óptima navegación de forma jerárquica, manejo integrado de alarmas y una forma avanzada de mostrar procesos analógicos, especialmente con tendencias (Barni, 2017).

Al usar HPHMI se pueden tener muchas ventajas incluyendo una mejor idea y supervisión del operador hacia el proceso, mejorar la respuesta del operador en situaciones anormales, entre otras. La importancia de las HPHMI es mostrar información útil que viene de los datos del proceso, los gráficos del HPHMI no solo muestran los valores del proceso si no que lo relacionan con lo que “es bueno” o está bien para el proceso. Se busca que las condiciones anormales estén diseñadas para ser destacadas de forma clara y se intenta seguir una jerarquía adecuada (Wilkins, 2015).

Para la creación de este concepto, existen ciertas normas o guías que pueden ayudar a su desarrollo. La norma ANSI/ISA-101.01-2015, es una normativa reciente, que, aún no está del todo consolidada, pero brinda bases de diseño que tienen que ver mucho con el concepto de alto

desempeño que se pretende crear. De igual manera será importante tomar en consideración la información que brinda el documento de “The High Performance HMI Handbook”.

El HMI que Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A., ofrece a sus clientes está desarrollada en el software Factory Talk View Studio, versión de lanzamiento 7.00 y versión de construcción 13, el cuál se ha creado bajo el criterio de diseño de sus ingenieros, basándose en gran medida en los diagramas P&ID de los procesos. Para el presente proyecto se ha decidido cambiarla, Ignition es una plataforma de software relativamente moderna en la cual se pueden crear sistemas HMI, SCADA o MES. Este entorno de desarrollo tiene muchas más prestaciones, como ser un software servidor basado en la web, manejado a través de la web y lanzado por la web. También cuenta con una estructura modular y una gran variedad de protocolos y comunicaciones a través de las cuales se puede conectar muchos dispositivos y así potenciar su funcionamiento. De igual manera gracias a que incluye drivers de PLC, se lo puede usar con prácticamente cualquier PLC que existe en el mercado (Inductive University, 2018).

Debido a dichas razones es de vital interés para la empresa el optimizar y modernizar su HMI, que no se limite únicamente a un proceso en específico, si no que permita tener los elementos más importantes y estandarizarlos para así poderlos integrar con la lógica de control existente y adaptarlos a diferentes procesos con un concepto innovador y en una plataforma más moderna, amigable y flexible.

1.2 Justificación e Importancia

El Product Manager de Siemens indica que hoy en día “la interfaz entre el humano y la máquina es el nexo que enlaza la automatización con los deseos individuales del operador, el cual tiene el rol de manejar y visualizar para así poder dominar el proceso y poder mantener en perfecto

funcionamiento las máquinas e instalaciones, obteniendo así mayor disponibilidad y productividad” (ElectroIndustria, 2013).

La ejecución del presente proyecto surge en la necesidad de la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A., de realizar una estandarización, optimización y actualización de los elementos existentes en su HMI, utilizada en los subprocesos de producción petroleros porque las interfaces que se tienen actualmente no tienen un diseño establecido en ciertos aspectos. Por ejemplo, en ciertos casos un mismo elemento u objeto varía en su diseño o funcionalidad entre un bloque y otro, lo que claramente no debería ocurrir al representar un mismo elemento. También se requiere crear un diseño propio de los objetos, para ofrecerlo a los clientes, que sea capaz de tener los atributos, funcionalidades o características más importantes y así obtener elementos que sean flexibles con el propósito de que se puedan adaptar de manera funcional, a los requerimientos no solo de un cliente en específico, si no que se lo pueda ingresar posteriormente al mercado para cualquier cliente y en una plataforma que sea más moderna, amigable, más segura en el sentido de salvaguardar el trabajo desarrollado al permitir tener respaldos en la nube, con más capacidad de integración y con más prestaciones.

De igual manera se busca obtener mayor seguridad propietaria, debido a que en la actual plataforma no se ha hecho uso de claves o seguridades por lo que no se tienen garantías en ese sentido porque cualquier empresa que usa sus librerías puede simplemente editar ciertos parámetros o características sencillas de determinados elementos y luego usarlos como suyos a su disposición, lo que obviamente afecta a los intereses económicos y productivos de Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

Para solventar dichas necesidades es importante el desarrollo de este proyecto que consistirá en estandarizar los principales componentes y dispositivos presentes en un subproceso típico de

producción y tratamiento de crudo y gas con respecto a su diseño e importancia. La RAE define como estándar a un tipo, modelo, patrón o referencia; y a estandarizar a la acción de tipificar o ajustar a un tipo o norma. Definido esto, la estandarización en este proyecto consistirá en desarrollar librerías con símbolos, atributos o propiedades y diseños basados en la norma ANSI/ISA-101.01-2015, con el propósito de simplificar la realización de HMI's basados en la norma, para su uso en futuros proyectos de la empresa en el desarrollo de diferentes interfaces de acuerdo con los requerimientos de cada proceso de producción de crudo y gas y disponiendo así elementos de modelo o referencia, como indica su definición.

Con el fin de solventar otro de los requerimientos ya mencionados es importante utilizar una nueva plataforma de desarrollo, para esto se utilizará el software Ignition, mediante el cual se tendrá un entorno moderno pero que a la vez es más económico y abierto con relación a disponibilidad de drivers, flexibilidad con diferentes sistemas, varios tipos de comunicación, amigable, seguridad en relación con su capacidad de respaldo de información en la nube, capacidad de integración con varios tipos de hardware y software y que además no presenta mayores limitaciones con respecto a licencias o a requerimientos de sistemas operativos (Open Automation, 2014).

Otro motivo importante para la realización del proyecto es que presentará un nuevo concepto de diseño para los componentes de la interfaz que no ha sido usado todavía en el país. El uso de HPHMI tiene diferencias con los HMI tradicionales principalmente en la forma de mostrar la información, distribución, manejo de alarmas, uso colores, lo que deriva en mejorar la productividad, seguridad, monitorización, visualización y análisis del operador con respecto al proceso y reducir el tiempo de reacción del operario en situaciones anormales para resolver problemas. Esto se sustenta en un estudio realizado por la empresa Nova Chemicals y el consorcio

ASM (Abnormal Situation Management), en el cual se analizaron 3 tareas comparando el uso de un HMI tradicional con un High Performance HMI:

- Detección de situaciones anormales antes de que ocurra una alarma:
- **Con HMI Tradicional:** Se dio un porcentaje de 10% de detección de situaciones anormales en su tiempo de uso.
- **Con HPHMI:** Se dio un porcentaje de 48% de detección de situaciones anormales en su tiempo de uso.
- **Mejora:** Es decir que se dio una mejora de casi 5 veces más.
- Porcentaje de éxito en manejar una situación anormal:
- **Con HMI Tradicional:** 70% de éxito.
- **Con HPHMI:** 96% de éxito.
- **Mejora:** Es decir que existe una mejora del 37% sobre la base.
- Tiempo en completar procedimientos para situaciones anormales en sus procesos industriales:
- **Con HMI Tradicional:** 18.1 minutos.
- **Con HPHMI:** 10.6 minutos.
- **Mejora:** Es decir que existe una reducción del 41% en el tiempo.

Con estos resultados la empresa del estudio en cuestión indicó que pudo obtener un ahorro anticipado de \$800,000 dólares por año en 1 planta de etileno. De esta manera se puede ver un caso real de la importancia de empezar a usar HPHMI en la industria, gracias a los beneficios que se obtienen (PSUG, 2011).

Este proyecto presenta un nuevo concepto de desarrollo, por lo que puede significar el paso inicial para que la industria en el país considere realizar un cambio en sus actuales sistemas y estar

a la vanguardia de lo que se usa en otros países, representando una mejora también en la productividad. Además, es de vital importancia que se realice el presente trabajo para que en el futuro se pueda implementar la interfaz creada en los sistemas petroleros en campo y se lo pueda ofrecer como un producto de negocio.

1.3 Alcance

El presente proyecto pretende realizar la optimización al usar un concepto de alto desempeño y estandarización de los elementos y dispositivos representados en la Interfaz Humano Máquina utilizada en los sistemas de procesos de producción de crudo y gas, para así prescindir de información y dispositivos sin funcionalidad. Se desarrollará bajo los principales conceptos de la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y de HPHMI, en una plataforma de software que sea más económica y flexible.

Primero, se efectuará un procedimiento para la familiarización y comprensión del proceso de producción y tratamiento de crudo y de gas, para entender su funcionamiento y conocer los dispositivos y elementos más importantes que intervienen en el proceso. Es decir, conocer la funcionalidad y parámetros de información de elementos como bombas, tanques, válvulas, sensores y transmisores de nivel, temperatura o presión y los diferentes actuadores presentes en la interfaz. También se deberá comprender los programas usados en los PLC's que permiten que el HMI funcione ya que son una parte importante para entender el funcionamiento de este. Esto se lo realizará mediante la ejecución de los diferentes programas, junto a la ayuda de documentación como planos, diagramas P&ID, filosofías de operación, matriz causa efecto y esquemas que serán provistos por la empresa Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.

Segundo, se investigará y estudiará los conceptos disponibles hasta el día de hoy con respecto a la norma ANSI/ISA-101.01-2015, con el fin de entenderla e interpretarla para poderla aplicar en

las siguientes etapas. De la mano de esto también se deberá aprender acerca del contenido tanto de información y diseño que debe presentar una HPHMI para cumplir sus objetivos de mejoramiento en visualización, análisis y productividad de los procesos. Esto se lo realizará mediante la búsqueda de información en documentos como “The High Performance HMI Handbook” y la documentación necesaria sobre la norma ANSI/ISA-101.01-2015.

Tercero, será importante determinar los elementos y dispositivos básicos y vitales para la conformación de un proceso, así como sus parámetros de funcionamiento, rangos de valores de condiciones normales y anormales, unidades de ingeniería y la información más relevante que se debe presentar. También se determinará un diseño general, basado en la norma antes mencionada, que presente información clara y concreta, teniendo así una estandarización, como ya se explicó anteriormente, con lo realmente necesario e importante.

Cuarto, se realizará una guía para el diseño de High Performance HMI bajo la norma ANSI/ISA-101.01-2015, esto será de mucha utilidad para la empresa debido a que de esta manera se tendrá una herramienta útil para posteriores desarrollos de aplicaciones.

Quinto, se hará la investigación y aprendizaje de la plataforma Ignition, su entorno y lenguaje de programación, funcionalidades, tipos de protocolos de comunicación, módulos existentes y prestaciones que ofrece para poder desarrollar el trabajo.

Sexto, se procederá a la aplicación de la guía antes desarrollada realizando en sí la programación para crear los elementos antes determinados, en la nueva plataforma de desarrollo elegida, es decir Ignition y bajo los nuevos conceptos de diseño de High Performance HMI, adaptándolos con la funcionalidad, características y parámetros que deben tener los dispositivos para de esta manera obtener un entorno optimizado, estandarizado y flexible.

Paralelamente a esto se realizará la fase de pruebas. A medida que se vaya creando la interfaz se irá probando que los elementos funcionen de manera correcta de acuerdo con sus características, comportamiento e información que deben presentar con respecto a rangos de funcionamiento, valores de condiciones normales y anormales, tendencias, alarmas y su respectiva comunicación con la programación de los PLC's. Esto se lo realizará mediante la ejecución en la interfaz de un subproceso típico de producción y tratamiento de crudo y gas, en el cual se pueda observar las diferentes pantallas que muestren los componentes esenciales que conforman cada elemento creado con todos sus parámetros, características, información y funcionalidades. También se podrá observar el funcionamiento de las diferentes alarmas y los elementos con tendencias de información que muestran datos útiles del proceso. Estas pruebas se lograrán realizar adecuadamente con la ayuda de programas demostrativos que permitan la simulación de los PLC's de campo y la variación de valores en los programas para la simulación, de igual manera, de eventos en el proceso, comprobando así que tanto la interfaz como sus componentes y dispositivos tienen un funcionamiento adecuado.

Finalmente se realizará la debida documentación que le sirva a cualquier ingeniero de la empresa para entender el funcionamiento de los elementos y dispositivos de la interfaz y poderla manejar sin problema, teniendo así una fuente de información para una futura implementación en un proceso en campo. Cabe señalar que el apropiarse, involucrarse y entender la lógica de control y operación de los sistemas petroleros implica un arduo y minucioso trabajo de revisión y comprensión de cada uno de ellos, además que se deberán realizar las modificaciones pertinentes a los mismos para que se pueda realizar su adaptación a la nueva plataforma de HMI que se va a realizar, siendo esto un importante trabajo de integración de sistemas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

Desarrollar un estándar de Interfaz Humano Máquina de Alto Desempeño (HPHMI) para los servicios de automatización brindados por la empresa *Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A.*, en los procesos de producción de crudo y gas, con la finalidad de disponer de un entorno actualizado y económico que brinde mayor flexibilidad y capacidad de integración mediante el uso del entorno Ignition.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Crear una guía versátil de diseño de High Performance HMI a través del análisis y aplicación de la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y de los conceptos de High Performance HMI.
- Crear una base de elementos que permitan mostrar información más clara y relevante acerca del proceso para mejorar su interpretación y capacidad de monitorización al usarse en una interfaz.
- Disponer de una herramienta de diseño estándar para el desarrollo de nuevas HMI en los diferentes procesos que PIL S.A. requiera realizar bajo el concepto de High Performance HMI.
- Estandarizar el desarrollo de las interfaces HMI de Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A. para su uso en el sector petrolero de forma que se adapte a los requerimientos de diferentes clientes.
- Desarrollar un sistema HPHMI en una plataforma más económica, versátil y flexible.

1.5 Descripción del Proyecto

1.5.1 Capítulo 2 – Marco Referencial

En este capítulo se realiza una revisión de los conceptos e información más importantes para entender el proyecto y su contexto. Se realiza una breve descripción de los diferentes procesos que tienen que ver con el crudo y gas. Luego se indica lo que es una Interfaz Humano Máquina, así como también un breve repaso de su historia y evolución, indicando también los problemas que ha presentado su forma de diseño tradicional a lo largo de los años. Posteriormente se revisa los principios más importantes sobre lo que es una Interfaz de Alto Desempeño (HPHMI), las mejoras que representa y sus características principales. Finalmente se hace una descripción general de qué es la plataforma Ignition, su forma de funcionamiento, sus módulos y prestaciones más importantes.

1.5.2 Capítulo 3 – Desarrollo de la Filosofía y Guía de Estilo para el diseño de HPHMI bajo el estándar ANSI/ISA-101.01-2015

En este capítulo se hace una breve descripción, que sirva como guía, acerca de la norma ANSI/ISA-101.01-2015. Luego se describe la Filosofía para HPHMI desarrollada, a partir de la investigación correspondiente, ajustándose a la norma antes mencionada y a las características de alto desempeño. Finalmente se muestra la Guía de Estilo para diseño de HPHMI, que se desarrolló a partir de la filosofía, en la cual se indica más específicamente la forma de diseño y características de la interfaz. Estos documentos servirán como estándar para la creación de nuevos HPHMIs que la empresa PIL S.A. lo requiera.

1.5.3 Capítulo 4 – Desarrollo de la Interfaz HPHMI

En este capítulo se realiza la aplicación práctica de la Filosofía y Guía de Estilo antes creadas, en la plataforma de desarrollo de interfaz correspondiente. Se indican y alinean los requisitos de

la empresa con los documentos antes mencionados para implementar un sistema correctamente funcional. Se describe cómo se realizó la configuración, creación, diseño y desarrollo de la interfaz, su comunicación y también las funcionalidades de cada etapa del proceso para la que se creó cada pantalla de la interfaz, describiendo las características y funcionamiento de los elementos más importantes. De igual forma se indica cómo se realizó la integración del sistema con la lógica de control y conexión con base de datos para su correcta puesta en funcionamiento.

1.5.4 Capítulo 5 – Pruebas y Resultados

En este capítulo se realiza la descripción de las pruebas realizadas para determinar si el sistema, a más de que está integrado de manera apropiada y funciona correctamente, cumple con otro tipo de mejoras en su desempeño. Se describe las pruebas que se realizaron comparando la interfaz desarrollada con la interfaz tradicional, para evaluar el desempeño del operador con el uso de la interfaz y pruebas del sistema con respecto al tiempo de respuesta. A continuación, se indican y analiza los resultados obtenidos.

1.5.5 Capítulo 6 – Conclusiones y Recomendaciones

En este capítulo se realizan las conclusiones respectivas en base a los resultados obtenidos y a los objetivos planteados en el proyecto. Finalmente se hacen las recomendaciones pertinentes para el personal de la empresa PIL S.A. y en general para el desarrollo y mejoramiento que se pueda requerir en el desarrollo de HPHMIs.

CAPÍTULO II

MARCO REFERENCIAL

2.1 Descripción general del Proceso de extracción de Crudo y Gas

A continuación, se realizará una breve descripción de los procesos que se realizan para la exploración, perforación y producción del crudo y gas, los cuales son llevados de forma similar en el mundo.

2.1.1 Prospección

La prospección o búsqueda de los yacimientos es la etapa inicial en el proceso de extracción de crudo y gas el cual consiste en crear temblores artificiales en la tierra para crear una ecografía del subsuelo con el objetivo de encontrar acumulaciones de petróleo, esta actividad puede incluir estudios de escritorio, muestreo de suelo o lecho marino y estudios geofísicos, especialmente sísmicos (Bravo, 2007).

Estudios de escritorio: involucra revisiones de literatura y de datos. Se realiza muestreos de roca y de suelo, los resultados son recolectados y se crean modelos usando software especializado para visualizar cómo ha cambiado el área a través de tiempo y espacio.

Muestreo Geológico: se compila un mapa geológico a través de mapas y nuevos estudios de campo con posibles sitios petrolíferos.

Estudios Geoquímicos: los estudios geoquímicos se componen de muestreo de rocas, suelos y sedimentos de agua o arroyos, que luego son analizados.

Estudios Geofísicos: se usan levantamientos geofísicos para obtener imágenes de estructuras y capas subterráneas, las cuáles se usan para explorar lugares que puedan tener crudo y/o gas sin tener que realizar una perforación físicamente en la superficie terrestre.

2.1.2 Exploración

La exploración de petróleo tiene como objetivo identificar áreas con las condiciones geológicas adecuadas para una acumulación de petróleo a través de la recopilación y el modelado de los datos obtenidos en la fase de prospección. Este sondeo se realiza con una barrena muy potente instalada en una torre de perforación, que agujerea lentamente el suelo, hasta llegar al punto donde está el yacimiento para determinar las áreas más específicas donde se estima que existe mayor posibilidad de que haya crudo (Escobar, Reol , Castells, & Marti, 2002).

Estos análisis y estudios se deben realizar con mucha exactitud ya que la perforación de pozos exploratorios representa una importante inversión de dinero para las compañías y estadísticamente a nivel mundial, se conoce que, de cada 10 pozos exploratorios realizados, en sólo 3 se encuentran acumulaciones funcionales de petróleo (Intermountain Pil and Gas BMP Project, 2016).

2.1.3 Perforación

Las perforaciones en general se suelen hacer en una profundidad estimada que puede llegar hasta los 7000 metros de profundidad y sus diámetros también varían generalmente entre 7 y 32 pulgadas, dependiendo de la superficie y de que tan adentro se encuentra el yacimiento petrolífero. Luego de que el primer pozo perforado confirma la existencia del crudo, se realiza la perforación de varios pozos confirmatorios, mediante los cuales se busca el tipo de hidrocarburo que existe en el yacimiento, su volumen, las reservas explotables, la capacidad de extracción, su comportamiento en producción, etc. (Junta de Castilla y León, 2009).

El pozo queda protegido debido los tubos de revestimiento junto con un cemento especial que se inyecta a través de la misma tubería y se desplaza en ascenso por el espacio anular, el cual se solidifica desde la superficie hasta el fondo donde se fija con cemento con la finalidad de proteger al pozo de derrumbes, filtraciones o cualquier otro problema propio de la perforación (Esper, 2004).

Para las perforaciones de petróleo se debe realizar la construcción de torres metálicas muy altas con su respectivo refuerzo para que se pueda simplificar la manipulación de los equipos pesados de perforación y la superficie se taladra con movimientos de avance y rotación, con un instrumento conocido como árbol de navidad.

En la perforación existe un elemento muy importante como lo son los fluidos de perforación, los que sirven para limpiar el fondo del pozo, enfriar la punta de perforación, dar soporte a las paredes del pozo, evitar ingreso de fluidos de formación al pozo y permitir toma de registros.

2.1.4 Extracción o producción

Una vez que se accede a la capa que contiene petróleo y el pozo se ha abierto, se retira la torre, se instala una máquina de bombeo y se inicia la extracción del crudo, este proceso se hace con mucho cuidado debido a que se liberan presiones elevadas que hay que controlar para evitar escapes y explosiones (Escobar, Reol , Castells, & Marti, 2002).

Para producir petróleo se baja una especie de cañón y se perfora la tubería de revestimiento a la altura de las formaciones donde se encuentra el yacimiento. El petróleo fluye por esos orificios hacia el pozo y se extrae mediante una tubería de menor diámetro, conocida como "tubing" o "tubería de producción". La extracción del crudo puede ocurrir de manera natural o mediante el uso de medios mecánicos o técnicas específicas dependiendo de circunstancias como la profundidad del yacimiento, su presión, la permeabilidad de la roca reservorio, etc. El sistema de extracción más conocido es el bombeo mecánico el cual se realiza mediante una bomba de balancín, también existen otros sistemas comúnmente empleados como el bombeo hidráulico, las bombas centrífugas electro sumergibles y las bombas de cavidad progresiva. (Anayansi & De Ruiz, 2004)

Una vez que el petróleo llega al pozo, sube por una tubería vertical de producción hasta que llega a la superficie, en este proceso se produce la liberación del gas que se encuentra disuelto en el crudo, esto se debe a que la presión del medio disminuye.

El petróleo que alcanza la superficie se recolecta mediante un sistema de líneas de flujo, en donde previamente se construye estaciones de producción, separación, y almacenamiento los cuales facilitan la purificación del petróleo que se encuentra acompañado de agua, gas natural, separación y almacenamiento.

2.2 Descripción de los Subprocesos de Producción

En esta sección se describe cómo se efectúa el proceso de producción en las instalaciones también conocidas como facilidades tempranas, especificando cada una de sus etapas más importantes.

Las Facilidades Tempranas de una central de procesos, reciben la producción realizada en un campo en el que se está trabajando o extrayendo el crudo, mediante líneas de flujo. Esta producción ingresa a una trampa receptora, de la cual se la direcciona a mezcladores estáticos que también reciben un fluido caliente que recircula desde intercambiadores de calor. Luego de realizarse esta mezcla, el fluido se dirige hacia los separadores de producción, que se encargan de separar la corriente de gas de producción y la corriente líquida que se compone de agua y crudo (Paredes, 2015).

El compuesto líquido se dirige a la succión de bombas conocidas como “booster”, que descargan la producción líquida a intercambiadores de calor con el fin de aumentar la temperatura a valores alrededor de 175 F, para mejorar la transferencia hacia estaciones centrales de bombeo.

El gas que se obtiene del separador es dirigido a un sistema de gas combustible, de donde se remueven condensados y el exceso de gas es quemado a través de incineradores.

2.2.1 Sistema de Recepción de la Producción

Los sistemas de recepción de producción generalmente se conforman por líneas de flujo y trampas receptoras de herramientas, que reciben la producción de las plataformas en las que se esté trabajando. Este tipo de instrumentos se emplean para la limpieza conductos de transporte y su alineación puede ser realizada de forma manual con ayuda de válvulas motorizadas.

En el sistema de recepción de herramienta de limpieza, existen líneas de flujo que direccionan un fluido, compuesto que tiene químicos como inhibidores de escala, inhibidores de corrosión, demulsificantes y reservas, hacia cabezales de recolección, en donde también ingresan los fluidos de crudo y gas que provienen de las plataformas de producción temprana de donde se realizan los trabajos de extracción. Luego de realizarse este proceso de limpieza, el fluido ingresa a cabezales de distribución, los cuales direccionan el producto hacia los siguientes sistemas (Esper, 2004).

2.2.2 Sistema de Mezcla y Separación de la Producción

Estos sistemas generalmente se componen de mezcladores estáticos y separadores de producción. Los mezcladores estáticos tienen entradas para fluidos calientes y para fríos. Los fluidos calientes provienen generalmente de intercambiadores de calor mediante válvulas de control de temperatura.

Los separadores, dependiendo de su aplicación pueden ser de tipo horizontal o vertical y multifásicos, trifásicos, bifásicos, etc. En ocasiones se utilizan trifásicos para la separación de gas, agua y crudo pero en ciertas etapas o tipos de proyectos sólo se requieren bifásicas para la separación del gas de la mezcla del líquido. En estas etapas de procesos es importante contar con toda la instrumentación necesaria para el monitoreo y control de las variables del proceso (Escobar, Reol , Castells, & Marti, 2002).

A partir de cabezales de recolección, los fluidos provenientes de los campos de extracción se distribuyen simétricamente a los mezcladores estáticos en donde se realiza la mezcla con fluidos calientes que provienen de intercambiadores de calor. Posteriormente, los fluidos precalentados ingresan a los separadores de producción, pasando por sus válvulas de cierre de flujo. Estos instrumentos suelen trabajar a presiones de alrededor de 45 psig y temperaturas de 160 F, realizando operaciones de separación de líquido y gas asociado (PIL, 2016).

El gas de producción que se obtiene de los separadores, se lo puede enviar a sistemas de gas combustibles a partir de las facilidades apropiadas para el caso. El sistema de gas combustible tiene el fin de adecuar el gas de producción para ser empelado como gas combustible, hacia incineradores y piloto de incineradores.

Los fluidos de crudo y agua se dirigen desde los separadores mediante una línea común, hacia cabezales de succión de bombas booster. Los separadores deben contar generalmente con instrumentos para monitoreo y control de variables de proceso, como válvulas de control, cupones de corrosión, indicadores transmisores de nivel, controladores de nivel, etc.

2.2.3 Sistemas de Bombas Booster

Los sistemas de bombas Booster, reciben la producción líquida que se obtiene desde la fase de separación y en sus procesos de succión se inyectan nuevamente químicos como surfactantes, demulsificantes, inhibidores de corrosión y puntos de reserva. Generalmente las bombas booster están accionadas por motores eléctricos.

En las líneas de succión de las bombas booster es recomendable tener equipos de monitoreo como indicadores de presión. De igual manera es importante inyectar diesel en la succión de las bombas, con el fin de evitar que los fluidos de la producción se queden encapsulados en las bombas cuando se producen paradas prolongadas de los instrumentos. De igual forma es importante contar

con indicadores y transmisores de presión para las líneas de descarga de las bombas (Paredes, 2015).

La función de las bombas booster es succionar el fluido de los separadores de manera que se incremente la presión del fluido para poder vencer cualquier caída de presión que se pueda presentar a lo largo de las tuberías, accesorios e instrumentos en general, además de mantener las presiones de operación por encima de la presión de vapor de la mezcla con la finalidad de evitar la formación de vapores en intercambiadores de calor y en succionadores de las bombas de transferencia.

Luego de su paso por las bombas booster, el producto se dirige a las bombas de transferencia para luego finalmente pasar por el lanzador que envía la producción a sus líneas de transferencia para su transporte.

2.3 Interfaz Humano Máquina

2.3.1 Generalidades

En general se conoce como interfaz al medio por el cual el ser humano puede interactuar con diferentes dispositivos o máquinas. Para entenderlo mejor se puede ir desde el ejemplo más sencillo como el de un interruptor de luz, el cual a través de una acción que el humano efectúa sobre él, se encarga de prender o apagar una bombilla al dejar o no pasar la corriente que la enciende. Luego se tiene a los dispositivos que usamos en la vida cotidiana como los celulares que reciben las órdenes de su usuario mediante teclas o pantallas táctiles y desempeñan un gran número de acciones. Y más lejos se puede nombrar a los mandos y pantallas de control que usan los pilotos de aviones para poderlos poner en marcha y dirigirlos por los cielos.

En la industria que presenta procesos automatizados se conoce como interfaz Humano Máquina o HMI, por sus siglas en inglés, al software y hardware que permite la interacción del humano con diferentes tipos de máquinas y dispositivos (Shah , Bettes , Beilke, & Cone, 2015).

Las Interfaces Humano Máquina son enfocadas principalmente para ayudar a los operadores e ingenieros a realizar un control y monitoreo eficiente del proceso en ejecución, ya que son los que los usan con más frecuencia, pero también son de gran utilidad para otro tipo de usuarios a nivel de gerencia y manejo de la producción, gracias a que han mejorado las prestaciones que presentan los HMI's debido al avance de tecnología y conceptos de diseño.

Uno de los principales objetivos de las HMI's es que el operador pueda manejar los diferentes tipos de maquinaria de control y de procesos industriales, a través de un sistema de interfaz de usuario gráfico creado y operado por computador, conociendo, así como el HMI a la computadora en donde se ha instalado dicho software. Los HMI's presentan al usuario una representación visual de un sistema de control con sus diferentes componentes como sensores y actuadores, teniendo también la capacidad de adquirir datos e información sobre el proceso en tiempo real. Para que una línea de manufactura o de proceso industrial, compuesto por diferentes sensores, actuadores, entre otros dispositivos, sea integrada con un HMI se requiere de su funcionamiento con un PLC, el cuál será el que toma la información de los equipos de sensado y la transforma al lenguaje de máquina para que el HMI los pueda captar y realizar las diferentes acciones y decisiones (Anaheim Automation, 2018).

En la forma de fabricación, creación y de uso, se puede diferenciar a 2 tipos básicos de HMI: aquellos que se consideran de nivel de supervisión y los que se consideran de nivel de máquina.

Los HMI de nivel de Supervisión generalmente se diseñan para ambientes de control y se los usa por sistemas de control y de adquisición de datos (SCADA), la cual es una aplicación del

control de procesos que recoge los datos de los sensores físicos en las instalaciones para enviar su información a una computadora central para su procesamiento. Mientras que los HMI de nivel de Máquina usan dispositivos embebidos en las máquinas, como touch panels, en las propias instalaciones de producción o en campo. La mayoría de HMI's son diseñados para el nivel de supervisión o para el nivel de máquina según los requerimientos, aunque existen también HMI's que pueden ser utilizados por cualquiera de las dos formas (Hardin, 2016).

La interacción entre el HMI y el ser humano se trata de la forma en cómo se comunica el HMI y cómo da a conocer la información del proceso a través de los diferentes tipos de elementos de la interfaz que provocan algunos estímulos sensitivos para el ser humano que los recibe, luego los entiende a través de su capacidad cognitiva realizando también un análisis para tomar una decisión, si es el caso, para a su vez enviar una respuesta o una orden a la interfaz por los mismos medios para que se realice determinada acción. Se puede observar un esquema general de este proceso para su mejor entendimiento en la Figura 1.

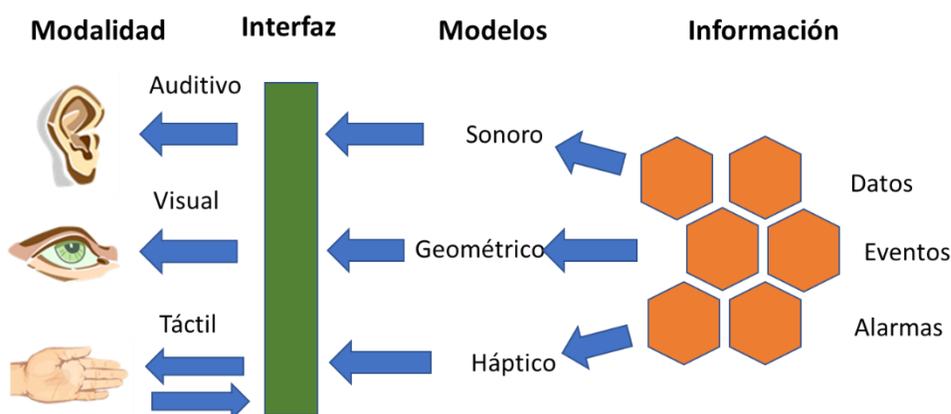


Figura 1. Interacción del HMI con los sentidos

Los HMI's se han vuelto herramientas necesarias y casi inevitables en las industrias con diferentes tipos de procesos, tanto de manufactura, farmacéuticas, de alimentos, procesos de crudo y gas, industria química y en sí cualquier industria que cuente con procesos automatizados. Los

HMI's permiten el mejoramiento de la gestión de los procesos y con el uso adecuado y efectivo representa una mejora en la productividad y seguridad, lo que deriva en beneficios económicos para las industrias. Una de las cualidades de los HMI's es la posibilidad que brinda al operario de tomar decisiones en tiempo real a través de los distintos indicadores que se pueden mostrar.

Otra de sus prestaciones más importantes es la capacidad de registrar datos y manejar alarmas, que permite al operador y otros usuarios tener la información necesaria para analizar la productividad o tener indicadores de operación y eficacia del proceso como también de cualquier tipo de evento anormal y tomar medidas para un futuro si estos son negativos para el proceso (Cobo, Ulloa , Pérez, & Riveros , 2007).

2.3.2 Breve Historia y Evolución de los HMI's

Se conoce de la existencia de cuartos de control desde hace mucho tiempo en plantas de manufactura. Alrededor de los años 1930-1940 era muy usual tener pequeños cuartos separados cerca del proceso en donde se situaban la mayoría de los instrumentos. Desde sus versiones iniciales los cuartos en donde se posicionaban a todos los elementos de monitoreo fueron evolucionando junto a la tecnología, es así como luego se fueron convirtiendo en paneles o paredes enteras compuestas de válvulas analógicas, botones, interruptores, alarmas en formas de paneles separados, entre otros elementos físicos que eran ubicados de manera apropiada, acorde a cómo se desarrollaba el proceso. También se solía utilizar esquemas o representaciones pictóricas del proceso como fondo de la pared o del lugar en donde se situaban los elementos, para tener una idea más clara del proceso y su desarrollo. Como referencia se puede ver un ejemplo en la Figura 2 (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).



Figura 2. Cuarto de control en el pasado
Fuente: (Advanced Control Systems, 2016)

Esta forma de instalaciones de los sistemas tenía muchas ventajas debido a que el estado del proceso se podía determinar a simple vista. Se tenía una visión clara de todo el proceso, las tendencias permanecían siempre a la vista al igual que los valores más importantes y con una caminata por el cuarto de control se podía controlar el proceso entero.

Pero a su vez presentaban muchas desventajas que volvieron poco práctico su uso. Para añadir nuevos elementos, alarmas o cualquier tipo de modificación se tenía que mover o readecuar otros instrumentos y se tenía que mantener un arreglo lógico y organizado. Esto representaba un gasto significativo a más de crear dificultades logísticas. De igual forma el espacio que se necesitaba para este tipo de instalaciones era muy grande, no se tenía flexibilidad con los sistemas y además no se disponía de una forma de extracción y análisis de datos. Este tipo de cuartos y paredes de control estuvieron vigentes hasta la década de 1970 (Hollifield, Bill; Perez, Hector, 2017).

En la década de 1980 aparecieron los sistemas de control distribuido (DCS), que principalmente realizaban el monitoreo de las señales del proceso mediante una estructura computarizada y los elementos físicos se reemplazaron por pantallas creadas por software. Debido a este cambio que se pudo realizar gracias al avance tecnológico, los sistemas incluyeron la capacidad de crear gráficos de visualización para poder tener el control de la operación (Hollifield, *The High Performance HMI*, 2015).

Las ventajas para las industrias por la introducción de este tipo de sistemas fueron muchas, ya que se hizo fácil reconfigurar las estrategias de control y se volvió posible cambiar el comportamiento del sistema mediante programación. A más de esto, la mayoría de los elementos del sistema pueden ser reemplazados sin mayor dificultad (Nasby, 2017).

A pesar de conseguir las mencionadas mejoras y hacer sistemas más flexibles y prácticos, no se realizó una guía ni una estandarización de cómo se debería diseñar las interfaces y crear gráficos efectivos. Por esta razón se empezaron a realizar interfaces basadas principalmente en los diagramas P&ID o en gráficos esquemáticos, siendo una idea errónea de diseño, ya que los P&IDs son herramientas para diseñar un proceso, que es algo muy diferente a una interfaz de usuario para controlar un proceso. Como una analogía para entender de mejor forma, diseñar un HMI basado en P&IDs sería como diseñar un panel de un auto, mostrando las partes internas del motor. Pero para conducir un auto se requiere de otras tareas que son diferentes a construir un motor, así que el panel debe mostrar datos presentes del auto basado en las tareas que el conductor debe realizar para conducirlo correctamente (OPTO 22, 2013).

Esto derivó en diseños de pantallas muy abultados, con diferentes tipos de objetos para los procesos, con exageración en el uso del color, sin tendencias, sin información del estado del

proceso y con un flujo de navegación inconsistente. (Perez, 2013). Un ejemplo de esto se puede ver en la Figura 3.

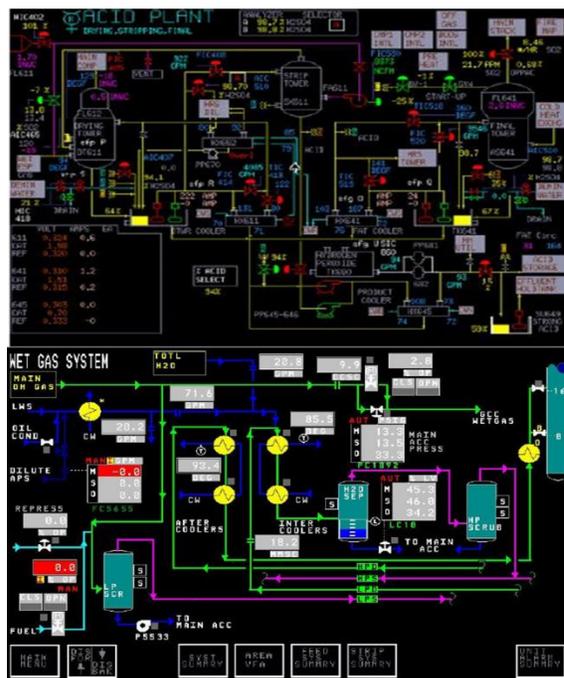


Figura 3. HMI con deficiencias

Fuente: (Perez, 2013)

Este tipo de sistemas se desarrollaron por alrededor de 20 años, provocando que los operadores e ingenieros se acostumbren a su uso y forma de representación.

A medida que la tecnología avanzaba, también progresaban los sistemas de hardware para el control de procesos, dando más funcionalidades, opciones de comportamiento, aplicaciones o prestaciones a los objetos y elementos utilizados para el desarrollo de las interfaces. Pero esto al contrario de mejorar la forma de crear las interfaces, tuvo un mal efecto en algunas empresas e industrias, ya que se empezaron a realizar diseños que principalmente tenían propósitos de marketing y no propósitos para el control de los procesos. Estos diseños deficientes mostraban el uso excesivo y exagerado de gráficos en 3-D, exageración en el uso de animaciones que provocaban distracciones para el operador, demasiado uso de color y la información relevante para el operador

no era mostrada de manera clara, teniendo de nuevo la falta de tendencias o de visión del estado del proceso; en la Figura 4 se puede observar un ejemplo de este tipo de HMIs (Hollifield, Bill; Perez, Hector;, 2017).

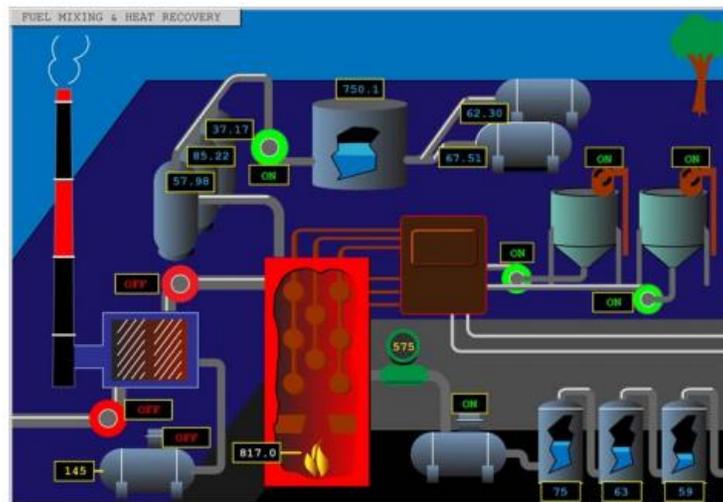


Figura 4. objetos en 3-D y animaciones exageradas
Fuente: (OPTO 22, 2013)

Lastimosamente el uso de todo este tipo de HMI's se extendió a lo largo de los años por las diferentes compañías e industrias, generalizando un diseño poco efectivo de interfaces.

2.3.3 Problemas de los HMIs

Debido al uso del tipo de HMIs descrito anteriormente fueron apareciendo problemas en las compañías o empresas que los utilizaban. Y aunque algunos problemas no necesariamente eran de gran importancia, también empezaron a ocurrir accidentes en las plantas de operación, lo que obviamente si representaba un real problema porque podía estar en juego la vida de los operadores.

A pesar de que no se puede culpar de todos los accidentes ocurridos a lo largo de los años en la industria a un diseño poco funcional de HMI, hay varios ejemplos de accidentes industriales graves en los que si se lo citó como un factor que contribuyó de forma importante para que sucedieran.

En 1994 en la Texaco Pembroke en Inglaterra ocurrió una explosión que fue uno de los casos más investigados y referenciados. Lo ocurrido fue el desbordamiento de materiales inflamables en un instrumento calentador no diseñado para líquidos, lo que provocó una ruptura y la explosión en una nube de vapor. Los factores que se determinaron contribuyentes para el accidente por parte del HMI, fue que no se tenía un manejo apropiado de alarmas y la ausencia de una visión general del estado del proceso para los operadores. El HMI brindado por el sistema de control distribuido no estaba diseñado ni configurado para ayudar a los operadores a desempeñar sus tareas de control y monitoreo. Si se hubiera desplegado la información necesaria acerca del balance de material o el nivel de volumen, tal vez el accidente se habría evitado (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008, pág. 13). Uno de los casos más recientes, más analizados y estudiados es el protagonizado en Texas. En la tarde del 23 de marzo del 2005 la refinería BP Texas City, sufrió una serie de explosiones debido a que una torre de destilación en una unidad de isomerización de hidrocarburos se sobrecargó de material, lo que provocó el envío de una gran cantidad de líquido al aire, que se convirtió en una nube de vapor altamente inflamable que fue combustionada rápidamente cuando tuvo contacto con un material que la encendió que se determinó habría sido el motor de un vehículo encendido. Este accidente provocó la muerte de 15 trabajadores y de 180 heridos junto a daños materiales en casas dentro de un radio de 1.2 km.

A raíz de este accidente el centro de Investigación de Seguridad y riesgos químicos (CSB) tomó el caso para analizarlo. Alrededor de 2 años de investigación después, el reporte determinó un número diferente de causas como un entrenamiento inadecuado, procesos inadecuados de encendido, problemas de instrumentación, un mal mantenimiento y un pobre diseño de sistema de control computarizado que no ayudó a los operadores a determinar que la torre se estaba sobrellenando. Esta última causa es la que se refiere a un pobre HMI, ya que la pantalla de

visualización que mostraba la lectura de los datos de cuánto líquido de refinado entraba en la unidad, estaba en una pantalla diferente de la que mostraba cuando líquido de refinado salía de la unidad. Al tener estos dos tipos de datos en pantallas diferentes se privó de la habilidad de conocer el balance de material y de la importancia del monitoreo del proceso (U. S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board, 2007).

2.3.4 Evolución del concepto de diseño

A la par del surgimiento de esta serie de problemas y debido a la necesidad que se presentó por tener sistemas con objetos o elementos estandarizados junto a reglas de diseño junto a las diferentes investigaciones que se empezaron a realizar con respecto a la ergonomía, se empezó a trabajar en el desarrollo de normas y guías de diseño para la creación de interfaces y de sus componentes, por parte de asociaciones o de institutos (OPTO 22, 2013).

En 1992 surgió una idea gracias a Sheridan, quien propuso que los progresos en la robótica en general dependen no solo de los avances y cambios tecnológicos, si no que también tiene un papel importante los avances que se realicen en el trabajo de la comprensión de la relación entre los seres humanos y las máquinas. Esto implica en que por un lado es necesario tener en cuenta a las dos partes por separado, es decir, el ser humano con sus características de usuario, aspectos cognitivos, capacidades y a las máquinas con su estructura, características y tipo de funcionamiento, también se debe tener en cuenta la relación entre los dos por medio de la interacción. Esto quiere decir que se debe considerar un reparto del control de los procesos y las tareas entre el humano y la máquina, en donde la tarea la ejecuta el ser humano por medio de la máquina. Y la interacción entre los dos viene a través de la interfaz desarrollada de acuerdo con las necesidades.

A esto se suma que no se debe considerar al humano y a la máquina como dos entornos diferentes, si no en uno mismo, ya que el sistema se forma por el humano, la máquina, el entorno

y las múltiples interacciones que pueden existir entre ellos al realizar una tarea. Esto ya se incluye en el estudio de la ergonomía cognitiva dentro de su marco conceptual que se lo conoce como sistema cognitivo conjunto, en donde se establece cómo debe realizarse el diseño centrado en el usuario desde el enfoque del diseño contextual (Ponsa & Granollers, 2007).

A partir de 1980 la visión del diseño tuvo un cambio y pasó de ser visto como un proceso lineal a una idea de ciclo de diseño que se mantiene hasta la actualidad. Esta idea se centra en el carácter repetitivo del proceso y en las necesidades y capacidades del usuario. Entonces surge el concepto de usabilidad que significa a como el usuario puede usar el sistema que se diseña. Para lograr esto es necesario alcanzar el concepto de evaluación de la usabilidad, descrito en la Figura 5.

Se plantea que es tarea de los expertos de ingeniería de la usabilidad el definir cómo se evalúan las especificaciones, cómo aplicar la opinión que se tomó de los usuarios en el ciclo del diseño y por último cómo establecer el mínimo número de prototipos a partir del cual se considera una iteración apropiada del ciclo, para dar por finalizado el diseño.

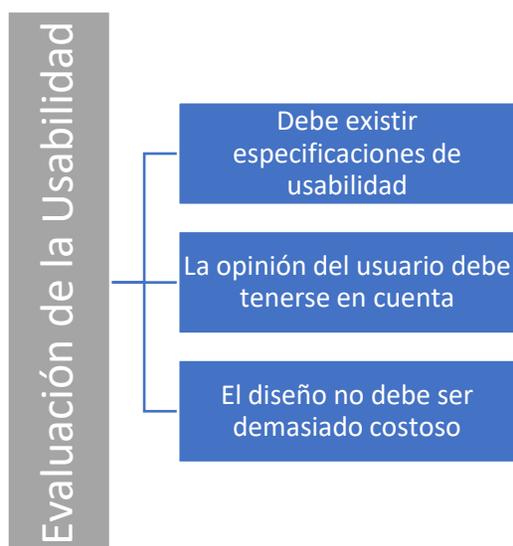


Figura 5. Evaluación de la usabilidad

2.3.5 Estándares y Normas de Diseño

A lo largo de los años se han ido desarrollando varios estándares por diferentes tipos de instituciones o entidades, buscando organizar, guiar y mejorar el diseño de interfaces. Debido a esto hay un gran número de normas y guías, permitiendo así a las industrias utilizar las que más se adapten a sus necesidades y requerimientos. Pero a pesar de que hay varias directrices no existe una receta o regla estándar para el diseño de buenas interfaces de usuario ya que hay un excesivo número de variables en las diferentes industrias como para poder definir un conjunto de reglas que sean aplicables en todos los casos. Por ejemplo, se debería considerar el conocimiento de cada operador, normas locales relacionadas con símbolos y colores, el alcance que tendría el sistema de control y por supuesto el tipo y complejidad del proceso (Brandl, 2017).

En ESPE (2012), se puede encontrar algunos de los estándares tradicionales más conocidos e importantes los cuales son:

- **ISO 11064:** Establece principios, requerimientos y recomendaciones para ser aplicados en el diseño de centros de control. Además de proponer aspectos de propósito general y en forma particular para su aplicación en salas de control industrial.
- **Human Factors Design Standards (HFDS):** Guía de requisitos sobre factores humanos que se aplica a los sistemas adquiridos y/o desarrollados para la Administración Federal de Aviación de los EE.UU. Aquí se da relevancia al rol del operario y la aplicación de la automatización centrada en el ser humano.
- **Human Interface (NUREG 0700):** Hace una revisión del diseño desde el punto de vista de los factores humanos de las interfaces persona-sistema en general. Establece ciertos requisitos de diseño para todos los tipos de interfaz persona-sistema para aplicarse en una sala de control de planta nuclear.

- **Safety Automation System NORSOK:** Se desarrollo por una industria petrolífera Noruega con el fin de garantizar una adecuada seguridad y un coste efectivo para todas las partes que tienen que ver en el desarrollo de sistemas petrolíferos. Determina una base para la ingeniería de sistemas que se relacionan con la seguridad y la automatización de sistemas en plataformas petrolíferas en Noruega.
- **Man System Integration Standard:** Este estándar se generó por la agencia NASA y da a conocer información específica para asegurar la integración adecuada de los requerimientos de interfaces humano-máquina con los de otras disciplinas espaciales.
- **Guía Ergonómica de Diseño de Interfaz de Supervisión (GEDIS):** Ofrece un método de diseño especializado en sistemas de control supervisor industrial basado en niveles en donde se van concentrando los diseños de los distintos tipos de pantallas y sus contenidos. Esta guía puede transformarse en un complemento para los ingenieros técnicos que desarrollan interfaces de supervisión mediante los sistemas SCADA.

OPTO 22 (2013), muestra la existencia de otros estándares y prácticas que están siendo desarrolladas o que se han desarrollado más recientemente por investigadores y profesionales de la automatización, con el fin de lograr que los HMIs sean más claros, consistentes, con más información en contexto y que sean capaces de proveer una retroalimentación real para las acciones de los operadores. Se menciona a algunas a continuación:

- **NASA Ames Research Center.-** mantienen investigaciones sobre la ciencia del color y su uso en pantallas de visualización de información compleja.
- **Center for Operator Performance.-** esta entidad publicó una investigación sobre las habilidades de los operadores, su entrenamiento y condiciones de trabajo y de igual manera sobre los sistemas automatizados y alarmas.

- **ASM Consortium.**- este consorcio publicó en el 2008 un texto denominado “The ASM Consortium’s Guideline, Effective Operator Display Design”, en donde se incluyen guías para el diseño de pantallas de visualización, características de navegación, texto y números, interacción de los operadores con las pantallas, prioridades de alarmas , entrenamiento del operador y el desarrollo de una metodología de HMI.
- **The International Standards Association (ISA).**- estableció hace algunos años un comité sobre estándares de Interfaces Humano Máquina en manufactura.

Este último ítem será revisado y aplicado en el capítulo 3 y 4, ya que es uno de los documentos claves para el desarrollo de este trabajo.

Como se ha visto existen varios estándares, normas, guías o recomendaciones a disposición, las cuales ofrecen información muy importante para el diseño de interfaces, pero no siempre es suficiente para realizar un trabajo correcto y efectivo. Esto puede suceder por diferentes razones como que las empresas no vean necesario gastar en este tipo de material, la información de algunos documentos es específica para ciertos procesos o que simplemente los ingenieros o el personal encargado del diseño de HMI’s no conocen del tema o no plasman de la mejor manera los conceptos y guías mostradas en determinado estándar e incluso se resisten al cambio.

Es por eso que es importante conocer cómo se debe realizar este tipo de trabajos y su aplicación correcta en el diseño de interfaces, sin limitarse a algún tipo de industria en específico, con conceptos que se alineen a las diferentes necesidades de los operadores y que sean fáciles de entender y de conseguir. Y justamente esto es lo que buscan conseguir las Interfaces de Alto desempeño HPHMI.

2.4 Interfaz de Alto Desempeño (HPHMI)

En el 2008 un grupo de profesionales e ingenieros con experiencia en diversas áreas como la química, la petrolífera, la mecánica, la eléctrica, la automatización y la industria en general, publicaron la primera edición del texto “The High Performance HMI Handbook. A Comprehensive Guide to Designing, Implementing, and Maintaining Effective HMIs for Industrial Plant Operations”. Esto originó una nueva idea y concepto de diseño para la creación correcta de HMIs con el fin de darle la efectividad que se necesita para el control y monitoreo de los procesos, buscando mejorar considerablemente las características y funcionalidades de los HMIs tradicionales (Anaheim Automation, 2018).

Una de las razones para buscar mejorar el desarrollo de los HMIs es que el avance tecnológico, junto a la combinación de procesos de trabajo cambiantes y los requerimientos de los operarios y usuarios crearon la necesidad de llevar a los HMIs a un nuevo nivel de desempeño.

El objetivo de la publicación del texto fue reunir los principios para la creación de un High Performance HMI en un solo lugar y que al aplicarlos apropiadamente en el diseño y posterior uso por los operadores, se logre monitorear y manejar una planta de procesos de forma segura y efectiva (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

Los conceptos planteados están basados en los principios sobre las mejores prácticas concernientes a factores humanos de ingeniería y diseño ergonómico buscando ser un gran soporte para que el operador pueda manejar situaciones normales y anormales mediante el reconocimiento de advertencias en el momento. Para su creación y desarrollo de los nuevos conceptos de diseño, los autores de este texto examinaron cientos de HMIs utilizados en la industria, encontrando que la mayoría de los casos siguen de forma muy remota los principios fundamentales de diseño para tener interfaces de alto desempeño (Perez, 2013).

En noviembre del 2006, el sitio Automation World publicó un artículo con un encabezado que decía: “Si está buscando estándares para mejores prácticas para diseñar pantallas de visualización gráficas para interfaces de operadores, no las va a encontrar”. Esto también motivó a los ingenieros a capturar el conocimiento existente sobre mejores prácticas para mejorar y optimizar el desempeño de los sistemas HMI.

Este nuevo concepto y sus principios se enfocan en dar consejos prácticos y técnicas para mejorar de manera importante el rendimiento de los HMIs existentes y de esta forma convertirlos en HMIs de alto desempeño o HPHMIs. Pero también su cumplimiento permite la realización de nuevos sistemas para que sean implementados de manera correcta desde un inicio sin tener que realizar rediseños por los problemas que se presenten. (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008, págs. 3-5)

2.4.1 Características Principales de los HPHMI

Para empezar a crear HMIs de alto desempeño con el fin de alcanzar las ventajas que esto implica se debe realizar algunos cambios a los conceptos de diseño tradicionales. Por un lado, si se inicia un nuevo proyecto se deberán establecer desde el inicio los requerimientos y lineamientos a través de una filosofía y estilo de guía, enfocándose en cómo deben operar las nuevas interfaces y las tareas que deberán cumplir. Mientras que, si se desea mejorar HMIs ya existentes, de igual manera el análisis se centrará en las nuevas funciones que se deseen tener pero se debe enfocar más en un estudio acerca de los gráficos y componentes existentes para depurar los que funcionan bien y aquellos que deberán mejorar.

Sea cual sea el trabajo que se desea realizar, las características y lineamientos que debe tener un HPHMI no van a cambiar. A continuación, serán descritas, de forma breve, las ideas y principios más importantes.

2.4.1.1 Apropiado uso del Color

Uno de los cambios más interesantes en los nuevos principios es el uso del color.

Se ha acostumbrado a usar diferentes colores para representar varios estados de los elementos en el proceso y esto se ha mantenido a lo largo de los años, pero hay que considerar que el color es una propiedad que capta la atención del humano, por lo que se indica que debería ser usado sólo para situaciones anormales del proceso, no para estados de parada y de funcionamiento y sin exageración en su empleo (Nasby, 2017).

En la Figura 6 y Figura 7 se puede observar un ejemplo de cómo el uso de varios colores puede resultar confuso y presenta dificultades para detectar situaciones anormales.

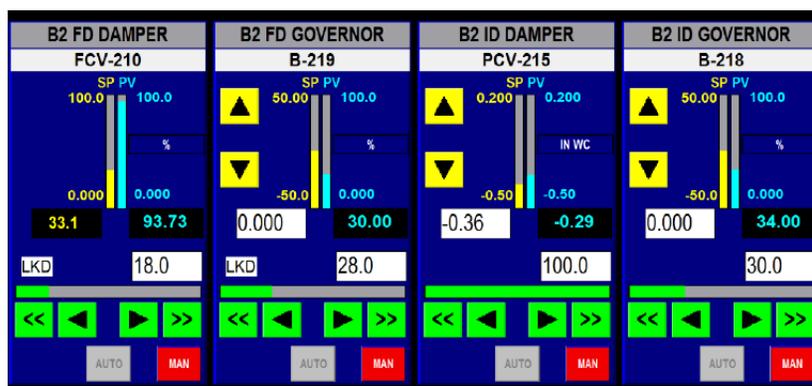


Figura 6. Uso excesivo del color para el proceso

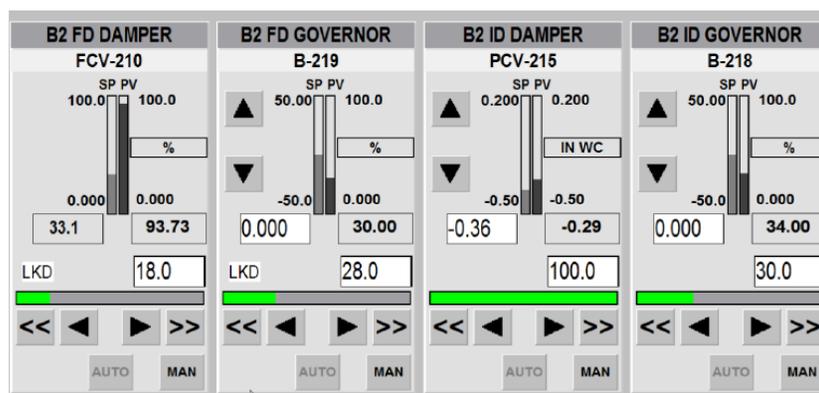


Figura 7. Uso consciente del color

La deficiencia visual es el problema que ocurre cuando no se puede identificar cierta gama de colores de forma clara. Esto produce que puedan existir confusiones y cuando se usan combinaciones excesivas de color para representar diferentes elementos o situaciones, se corre el riesgo de agravar esta situación. A pesar de que esto es más común en personas con enfermedades visuales, existen combinaciones de colores que su uso en forma exagerada puede provocar dificultades similares, a más de esto se debería considerar que ningún operario está libre de adquirir enfermedades visuales ya sea con el avance de la edad o muchos otros factores que pudieran ocurrir. Por esta razón es mejor prevenir o reducir este tipo de riesgos, siendo esto una de las propiedades de interfaces centradas en el usuario. En la Figura 8 se puede observar un ejemplo de algunas combinaciones que pueden traer problemas para diferenciar colores (Dornan, How to Improve Plant Operations through Better HMI Graphics, 2014).

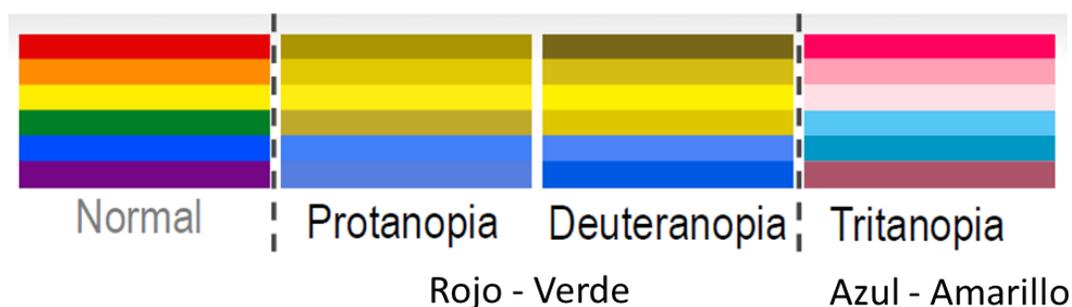


Figura 8. Deficiencia del color

Fuente: (Dornan, How to Improve Plant Operations through Better HMI Graphics, 2014)

Otro aspecto importante sobre el uso apropiado del color es que para las diferentes alarmas que existan en el proceso deben estar reservados colores de acuerdo con la prioridad de cada una y esos colores ya no deberían ser usados en otros elementos del proceso. A más de esto la presentación de alarmas debe ser acompañada de formas y números, no solo de color, para que sea identificable de una manera más clara, rápida y eficiente.

En la Figura 9 se puede observar nuevamente un ejemplo del uso exagerado de combinaciones de colores para muchos eventos del proceso, dificultando la detección de una alarma y en la Figura 10 se puede ver un uso prudente del color facilitando la detección de alarmas.



Figura 9. Uso excesivo del color
Fuente: (Perez, 2013)

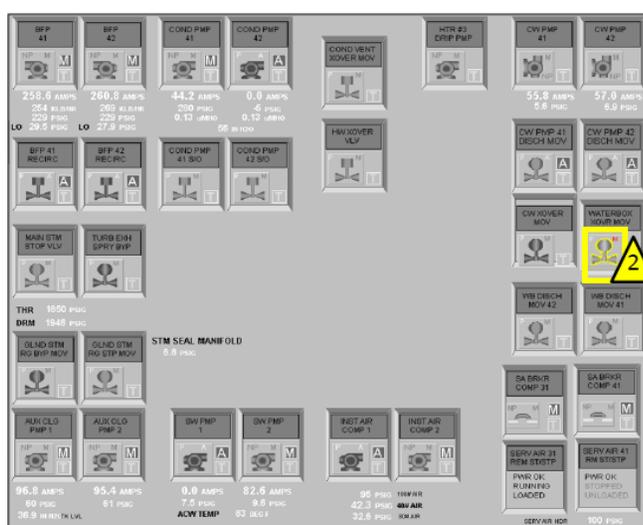


Figura 10. Uso prudente del color
Fuente: (Perez, 2013)

2.4.1.2 Datos e Información

Una de las diferencias más importantes de los gráficos de alto desempeño es el principio que indica que, cuando sea posible, los valores de operación se muestren en un contexto de información y no en forma de datos sin procesar que se encuentran dispersos por la pantalla (Hollifield, Bill; Perez, Hector, 2017).

La información son datos que en contexto son útiles, esto quiere decir que se deben mostrar valores que le sirvan al operador para conocer cómo se encuentra el estado del proceso de un vistazo, sin la necesidad de análisis profundos. En la mayoría de las interfaces se muestran grandes cantidades de datos con una pobre presentación que no le ayudan al usuario a tener un control y monitoreo eficaz de la situación, ya que los números por sí solos no proveen la posibilidad de conocer el estado del proceso de un vistazo. Los operadores deberían tener un alto trabajo mental para memorizar los rangos de operación normales de los diferentes procesos y obviamente esto dificulta su trabajo y traería ciertos riesgos. Por el contrario, si los datos o valores son acompañados por información como rangos de operación normal del proceso, el trabajo de los operadores sería más fácil, eficaz y completo, aportando así también a la rápida detección de situaciones anormales (Dornan, How to Improve Plant Operations through Better HMI Graphics, 2014).

Para entender mejor este principio, se explica el siguiente ejemplo. En la Tabla 1 se muestran valores comunes de un examen de sangre realizado a mascotas.

A menos que una persona se haya memorizado todos los rangos normales para estos valores (Tabla 1) o que quien los lea sea un veterinario, sería difícil saber si estos valores están dentro de lo normal o si hay algo malo en alguno de ellos. Para transformar estos datos en información funcional para quien los lee, solo es necesario mostrar los rangos normales de cada valor a su lado.

Esto ayudará a entender el estado actual de la situación, sin tener que recurrir a memorizar muchos números, como se muestra en la tabla (OPTO 22, 2013).

Tabla 1.

Varios datos sin información concreta

Prueba de Sangre	Resultados
HCT	33.4 %
HGB	11.5 g/dl
MCHC	34.2 g/dl
WBC	$8.9 \times 10^9/L$
GRANS	$6.8 \times 10^9/L$
L/M	$1.2 \times 10^9/L$
PLT	$320 \times 10^9/L$

Tabla 2.

Datos convertidos en Información útil

Prueba de Sangre	Resultados	Rango
HCT	33.4 %	24.0 – 45.0 %
HGB	11.5 g/dl	8.0 – 15.0 g/dl
MCHC	34.2 g/dl	30.0 – 36.9 g/dl
WBC	$8.9 \times 10^9/L$	$5.0 - 18.9 \times 10^9/L$
GRANS	$6.8 \times 10^9/L$	$2.5 - 12.5 \times 10^9/L$
L/M	$1.2 \times 10^9/L$	$1.5 - 7.8 \times 10^9/L$
PLT	$320 \times 10^9/L$	$175 - 500 \times 10^9/L$

Gracias a la forma de mostrar la información en la Tabla 2, es fácil conocer si las cosas están bien o si algo está fuera del rango deseado. Incluso se puede mejorar la manera de mostrar la información añadiendo gráficos analógicos e indicadores de alarmas junto a los valores que estén fuera de los rangos normales. Los gráficos analógicos tienen un mejor efecto sobre el ser humano al momento de mostrar la información, siendo más efectivos que los gráficos digitales ya que el cerebro interpreta una visualización analógica más rápido que un número y por eso se recomienda

su uso como soporte en el despliegue de la información. Esto se lo observará más claramente en el capítulo 3, pero como ejemplo para entenderlo mejor se puede citar a los indicadores de las revoluciones por minuto en los paneles de los automóviles. Si se observa un indicador analógico se tiene una idea más clara de qué tanto se está forzando al motor y sobre todo si se está llegando a un límite muy alto, mientras que sólo con una representación digital es un poco más complicado tener una idea de en qué altura del rango está trabajando (Dornan, How to Improve Plant Operations through Better HMI Graphics, 2014).

En la Figura 11 se pueden observar las diferencias y se puede ver claramente que en la forma analógica se mira fácilmente donde está el valor, su significado para el proceso y sus rangos de cambio y funcionamiento.



Figura 11. Indicador Analógico y Digital

Fuente: (Dornan, 2014)

2.4.1.3 Importancia del uso de Tendencias

Una de las deficiencias más notables que presentan los HMIs tradicionales es la falta de implementación apropiada de tendencias. Siempre existirán valores que son más entendibles si se los presentan en forma de tendencias, pero los gráficos en general no las contienen. Esto ocurre porque se ha creído que los operadores pueden acceder a las tendencias en el curso del proceso con solo un click, lo cual en la práctica no se cumple debido a que en ocasiones conseguir un rango y

escala apropiadas para las tendencias podría tomar entre 10 a 20 clicks de selección para crearla y no están siempre presentes en la pantalla (Hollifield, Bill; Perez, Hector;, 2017).

Las tendencias son de mucha utilidad para representar valores que cambian continuamente y deberían estar siempre visibles, embebidas en los gráficos junto con elementos que permitan representar los rangos normales y anormales de operación para sus valores.

Como se dijo anteriormente, para que un operador tenga conciencia de la situación y pueda realizar un control y monitoreo más efectivo, debe saber en qué estado estuvo el proceso en el pasado, cómo está el proceso en el presente y a dónde se dirige el proceso en el futuro. Las tendencias tienen una gran importancia justamente para analizar qué estado podría tener el proceso en el futuro porque tienen la característica de indicar al operador de qué forma la situación puede cambiar. Por ejemplo, si se está controlando y monitoreando la presión de un proceso y se tienen los valores de la Tabla 3 (OPTO 22, 2013).

Tabla 3.

Ejemplo de valores de Presión

PV de Presión	Nivel de Alarma	Nivel de Apagado
229.2 psig	250 psig	300 psig

Fuente: (OPTO 22, 2013)

Con estos datos se puede observar que el PV está dentro del rango correcto de operación en el momento presente del proceso, pero no se sabe más, es decir no se tiene una idea de cómo puede variar en el futuro. En la Figura 12 y Figura 13 se puede observar cuánta información adicional pueden aportar las tendencias.

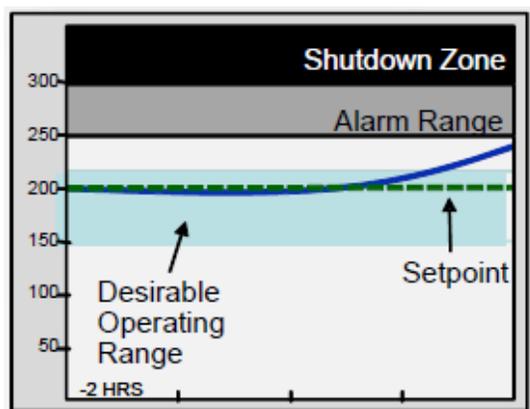


Figura 12. Valores con tendencia
Fuente: (Perez, 2013)

En la Figura 12 se ve reflejada la tendencia del PV de la Tabla 3. Esta tendencia muestra que la presión ha estado subiendo de forma continua con el tiempo y que es muy probable que pronto se active una alarma.

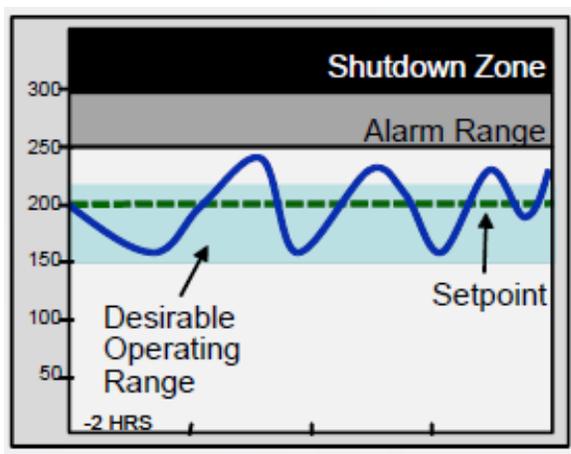


Figura 13. Tendencia con oscilación
Fuente: (Perez, 2013)

En la Figura 13 se puede observar otro comportamiento del proceso para el mismo valor. En este caso la tendencia muestra que la presión ha estado oscilando entre valores aceptables o deseados de operación. Esto tal vez puede requerir una revisión del porqué de la oscilación, pero no parece ser un problema urgente (OPTO 22, 2013).

Como se pudo observar, las dos tendencias representan un mismo valor actual o presente pero un comportamiento totalmente diferente del mismo. Es así que las tendencias pueden ayudar al operador a “predecir” el futuro, dándole la posibilidad de conocer si el valor actual está continuando en un rango deseado o si tiende a presentar problemas.

Las tendencias deben estar junto a los datos y siempre visibles, debido a la importancia que presentan para que el operador pueda tomar acciones o medidas antes de que determinada situación suceda. Se debe evitar que el operador pierda tiempo hasta encontrar la tendencia o incluso crearla.

2.4.1.4 Estandarización

Estandarizar un proceso es muy importante. La estandarización no se refiere solo a conceptos, diseños, colores u otras características o funciones en un HMI, sino que debe abarcar a que las decisiones y conceptos más importantes se deberían aplicar a todos los HMIs de la compañía.

Esto permitirá que los operadores necesiten menos tiempo para adaptarse al uso de los nuevos HMIs de forma eficiente (Winter, 2015).

En esta sección del capítulo se han visto los conceptos más importantes y generales de lo que es un HPHMI y sus objetivos, pero todo será revisado y aplicado más específicamente en el siguiente capítulo mediante el desarrollo de la filosofía y guía de estilo del HPHMI.

2.5 Plataforma de desarrollo Ignition

2.5.1 Qué es y cómo funciona Ignition

Ignition es una plataforma de software Integrado. Fue creada y puesta en el mercado por Inductive Automation en enero del 2010. Se basa en una arquitectura centrada de base de datos en SQL, está construida y funciona a través de la tecnología Java. Consta de tres componentes principales: el Gateway de Ignition, el diseñador y los clientes que funcionan en tiempo real y entre otras cosas provee el desarrollo de sistemas HMIs, SCADA y Mes (Inductive Automation, 2018).

Esta plataforma cuenta con una estructura modular mediante la cual los módulos independientes trabajan juntos al mismo tiempo, desempeñando cada uno una función específica y le proveen diversas funcionalidades. Por ejemplo, en un proceso se puede controlar el sistema y monitorear la información en tiempo real, conectarse a un sin número de dispositivos a través de OPC, crear HPHMIs para las plantas de operación, enviar, recibir y gestionar alarmas, analizar y crear históricos y tendencias, crear reportes, realizar soluciones de internet de las cosas (IoT) en el ámbito industrial entre otras funciones.

El principal objetivo de Ignition es que mediante su uso los ingenieros, operadores, administradores e incluso CEOs puedan ver, controlar y analizar los datos de su compañía permitiéndoles tomar decisiones para mejorar sus procesos.

Ignition funciona desde un servidor web (Figura 14), lo que permite que pueda ser instalado y desplegado en cualquier sistema con funcionalidad web y se puede tener acceso remoto desde cualquier lugar (Inductive University, 2018).

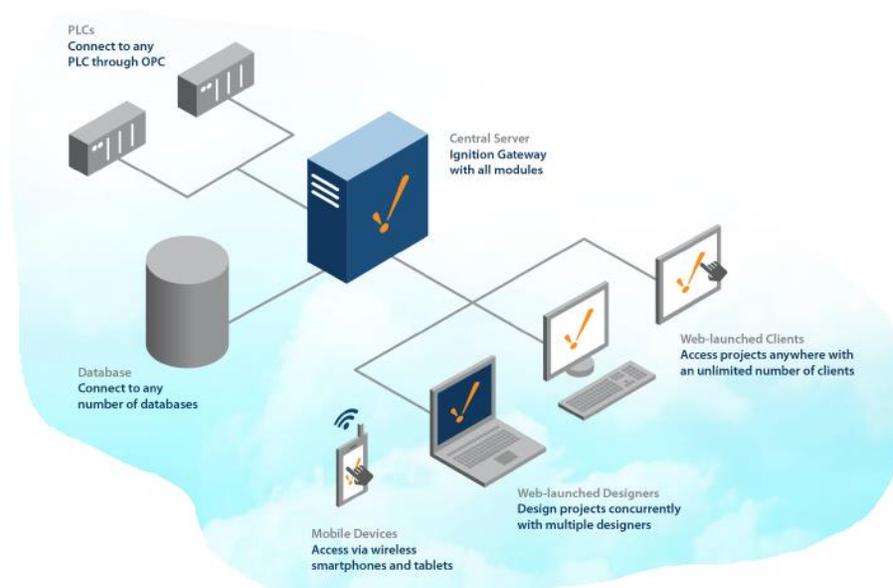


Figura 14. Estructura de Ignition

Fuente: (Inductive University, 2018)

2.5.2 Los beneficios de Ignition

Gracias a su estructura y su forma de funcionamiento, Ignition muestra varios beneficios que le dan un valor agregado con relación a otros sistemas similares. A continuación, se describirán los más importantes.

2.5.2.1 Despliegue basado en Web

El proyecto puede desplegarse y funcionar desde cualquier número de clientes en dispositivos individuales sin necesidad de otra instalación del sistema y se lo puede manejar de forma total en una estación central. De esta manera se reduce el punto complejo que presenta la implementación de los sistemas en general. Uno de los beneficios de que sea basado en servidor es que, si se hace un cambio en el diseñador del proyecto, el cambio se actualiza a todos los clientes que se están ejecutando, sin tener que preocuparse de realizar un respaldo o restauración en las máquinas cliente (ATS, 2018).

2.5.2.2 Licencia Ilimitada

Teniendo como premisa a los nuevos criterios de comunicación, Ignition ha postulado que la colaboración es un valor clave para el éxito de las empresas y por lo tanto no presenta una restricción de licencias. Gracias a esto, dentro de cada módulo implementado y proyecto realizado no existe un límite de usuarios ni de tags, brindando así la capacidad de conexiones y escalabilidad ilimitadas, lo que reduce los costos en las empresas (Automation, 2014).

2.5.2.3 Estabilidad y Seguridad

Ignition funciona con protocolos modernos de seguridad que se enfocan en proteger los datos de los procesos. Está construido bajo los más altos estándares de seguridad en la tecnología industrial con una arquitectura sólida y unificada, siendo más seguro y confiable que las plataformas tradicionales de desarrollo. Las características que aportan para su estabilidad y

seguridad son el uso de tecnología SSL, la realización de auditoría, la autenticación al permitir la configuración por niveles, grupos o dominios (ATS, 2018).

2.5.2.4 Control y Monitoreo en Tiempo Real

Gracias a las características que ofrece Ignition en tiempo real, le permite al usuario poder disponer de la información que necesite en el momento que lo requiera y le brinda la capacidad de poder analizar rápidamente los eventos y el funcionamiento del proceso (Automation, 2014).

2.5.2.5 Expandible

Al ser modular se puede tener un alto grado de personalización. Le permite al usuario empezar por una aplicación con ciertas funcionalidades y luego ir añadiendo módulos para tener más prestaciones. De esta forma la empresa puede gastar sólo lo necesario a medida de lo que vaya necesitando en el proyecto, evitando un despilfarro de dinero desde el inicio del proyecto.

2.5.2.6 Flexibilidad

Mediante OPC, Ignition permite la conexión con todos los PLCs de diferentes marcas como Allen Bradley, Siemens, etc. También brinda la capacidad de conectarse y funcionar con diversos sistemas bases de datos como SQL, MySQL, Oracle, entre otras. Y otra de sus ventajas es que puede funcionar en los sistemas operativos más utilizados, es decir Windows, Mac y Linux.

CAPÍTULO III

DESARROLLO DE LA GUÍA DE DISEÑO DE HPHMI'S BAJO LA NORMA ANSI/ISA-101.01-2015

3.1 Introducción

En el siguiente capítulo se presenta una breve descripción de la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y el posterior desarrollo de los documentos de Filosofía de High Performance HMI (HPHMI) y su respectiva Guía de estilo, los cuales son necesarios para la correcta creación y diseño de un HPHMI. Este material servirá de apoyo para el desarrollo de HPHMIs en la industria en general, ya que mostrará los lineamientos más importantes para un correcto diseño de interfaz basada principalmente en la Norma ANSI/ISA-101.01-2015, e integrada a los conceptos de HPHMI, para poder obtener interfaces eficaces, efectivas y potenciadas.

3.2 Norma ANSI/ISA-101.01-2015

La norma ANSI/ISA-101.01-2015 es un estándar desarrollado y publicado por la Sociedad Internacional de Automatización (ISA) y el Instituto Nacional Americano de Estándares (ANSI), su título completo en inglés es: “Human Machine Interfaces for Process Automation Systems”.

3.2.1 Inicio y Creación

En el 2003 un conjunto de usuarios de diferentes industrias de procesos se unió y vieron la necesidad de la creación de un estándar de diseño para interfaces humano máquina para procesos de automatización (Nasby, 2017). Un comité compuesto por diferentes ingenieros en diversas ramas de trabajo se formó oficialmente en el 2006, con el objetivo de establecer estándares e indicar buenas prácticas para diseñar, implementar, usar o administrar interfaces humano máquina en aplicaciones de procesos de automatización, pero no tenían una dirección clara. Recién en el 2013

un borrador fue enviado para su completa revisión por todo el comité y al tener la mayoría de aceptación en el 2014 el estándar se envió a votación y aunque pasó la votación de la mayoría tuvo ciertos comentarios por los cuales tuvieron que realizarse conversaciones y reuniones cara a cara en dos ocasiones, hasta marzo del 2015 para resolverlo completamente. Con estos sucesos se realizó nuevamente una votación. Dos personas cambiaron su voto para aprobación positiva, por lo que al final todos estuvieron a favor de manera unánime. Este comité de votación estuvo conformado por 34 miembros y después de varias revisiones y análisis finalmente el estándar se aprobó oficialmente el 9 de julio del 2015 (Wilkins, 2015).

3.2.2 Propósito de la Norma

El propósito de la norma es direccionar la filosofía, diseño, implementación operación y mantenimiento de interfaces humano máquina para los procesos que usan sistemas automatizados. Este estándar define terminología y modelos para desarrollar un HMI e indica un proceso de trabajo recomendado para el correcto desempeño de un HMI a través de su ciclo de vida. Con el cumplimiento de los lineamientos del estándar se pretende tener sistemas más seguros y un control más efectivo y eficiente de los procesos en situaciones normales y anormales. De igual forma pretende ayudar a los usuarios de HMIs a entender los conceptos más importantes para que puedan aceptar y acostumbrarse al estilo de HMI que la norma recomienda desarrollar y que de esta manera también mejoren las habilidades para detectar, diagnosticar y responder de forma adecuada a situaciones anormales. El público para el cuál la norma está dirigida son: operadores, usuarios finales, diseñadores, desarrolladores e implementadores de sistemas HMI (ANSI/ISA, 2015).

3.2.3 Contenido

El documento está compuesto por 9 secciones, de las cuales las primeras 3 son una introducción al contexto. En la 4 sección se presenta el modelo del ciclo de vida que debe tener un HMI. Este

modelo se lo puede ver en la Figura 15. En las secciones 5 a 9 se indican detalles específicos de cómo se debe llevar a cabo el ciclo de vida y cómo se debe ejecutar el proceso de trabajo. Desde la sección 4 se establecen requerimientos obligatorios y recomendaciones opcionales que son indicados según corresponda su tipo. Se conoce que se está trabajando en un reporte técnico de esta norma, ya que el estándar es un documento que establece qué se debe hacer, mientras que el reporte técnico indica el cómo se lo debe hacer (Wilkins, 2015).

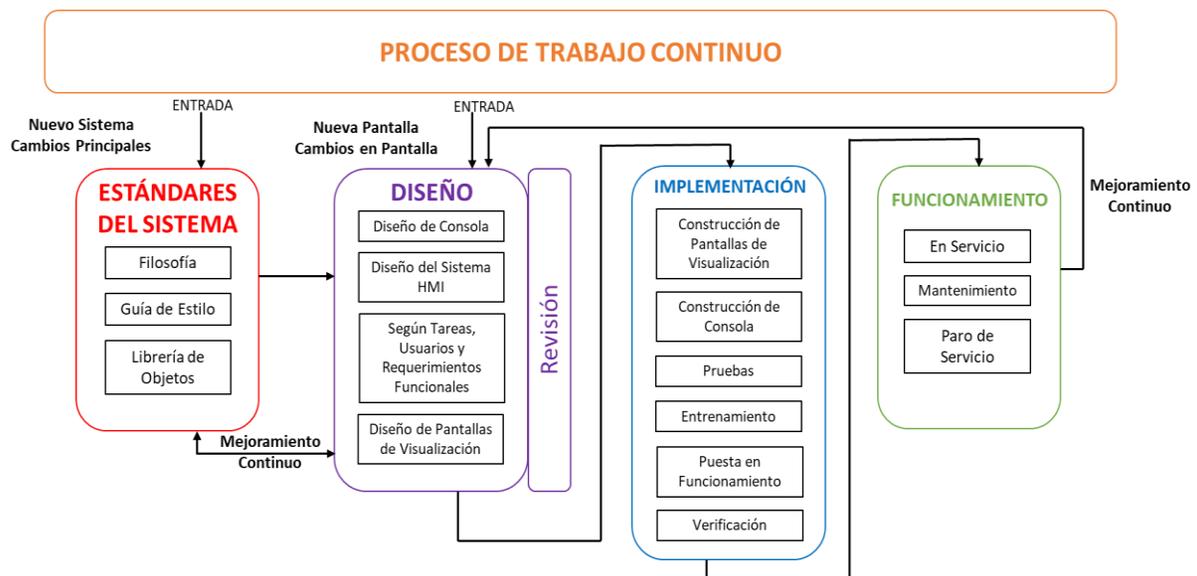


Figura 15. Ciclo de Vida del HMI
Fuente: (ANSI/ISA-101.01, 2015)
Traducido por: Rivera Bryan

Las recomendaciones y lineamientos establecidos en el documento son aplicables para cualquier proceso que use un HMI o cualquier tipo de interfaz para sistemas de control, incluyendo, pero sin limitarse, a procesos continuos, procesos por lote, y procesos discretos. Se debe tomar en cuenta que, obviamente existirán diferencias en la forma implementación con el fin de cumplir los diferentes requerimientos de cada tipo de procesos.

3.3 Filosofía de Diseño de High Performance HMI (HPHMI)

3.3.1 Introducción a la Filosofía de Diseño

Este documento fue creado para el uso y comprensión de ingenieros, operadores y otros usuarios de HMI's de la empresa PIL S.A., en su aplicación para procesos de crudo y gas.

Su objetivo es establecer los fundamentos y conceptos principales para el diseño de la interfaz HMI de alto desempeño (HPHMI), su funcionamiento junto a sus conceptos técnicos de diseño para su posterior aplicación.

3.3.2 Propósito de la Filosofía HPHMI

El propósito del desarrollo de la Filosofía HMI es dar pautas, guías y conceptos fundamentales para lograr el diseño de un HMI de alto desempeño (HPHMI) que permita monitorear y controlar operaciones de manera segura y eficiente, con la capacidad para detectar, diagnosticar y responder a situaciones anormales en el menor tiempo posible y sin consecuencias perjudiciales.

La intención es que, mediante el uso de los principios descritos, se pueda lograr mejoras importantes en el desarrollo, productividad, mantenimiento y usabilidad de HMI's.

Esta filosofía es genérica y flexible, es decir que podrá ser aplicable a cualquier sistema HMI, software o a varios tipos de DCS, independientemente de su proveedor específico.

Se la ha planteado principalmente con base en los lineamientos del estándar ANSI/ISA-101.01-2015 y del texto "The High Performance HMI Handbook". Busca cubrir el ciclo de vida de un HMI indicado por la norma, incluyendo diseño, implementación y mantenimiento.

A más de esto, para el desarrollo de esta Filosofía HMI, se ha considerado experiencias de ingeniería, junto a otros textos, así como también las necesidades y especificaciones de PIL S.A., junto a las normas usadas anteriormente por la empresa.

Es importante mencionar que aquí sólo se darán los fundamentos y principios principales para el desarrollo del HMI, pero su detalle a mayor escala y aplicación de lo dará en la Guía de Estilo que debe ser creada.

3.3.3 Objetivos y Principios Fundamentales del HMI

Los principios para lograr un HPHMI que cumpla con los objetivos requeridos son:

Representaciones con la más alta claridad posible:

- Los gráficos deben ser fáciles de leer y entender.
- Los gráficos deben mostrar el estado del proceso y sus condiciones de forma clara.
- Los gráficos no deben tener detalles innecesarios.
- Los gráficos deben tener información relevante y no solo datos.
- La información se deberá mostrar con más énfasis de acuerdo a su importancia.
- Las alarmas e indicadores de situaciones anormales deben ser claras y distinguibles.
- Las funciones gráficas son estandarizadas, sencillas y no requieren de demasiadas acciones de teclados o manipulación de punteros.
- El HMI deberá ser configurado para la navegación de una forma lógica, jerárquica y orientada para un buen rendimiento.

Representaciones con Realimentación consistente:

- Los elementos y controles gráficos (objetos) deben comportarse y funcionar de forma consistente en todas sus representaciones y situaciones.
- Para acciones importantes con consecuencias significativas se debe disponer de herramientas que confirmen la acción, para evitar activaciones sin intención o por error.
- Los principios de diseño deben lograr minimizar la fatiga del usuario, ya que los operadores utilizan los gráficos constantemente.

Si se siguen estos principios se podrá lograr un objetivo importante del desarrollo de HPHMI, que se trata de dar a los usuarios y operadores la información que ellos necesitan, en un formato claro e intuitivo minimizando las posibilidades de cometer errores (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

Este diseño tendrá que ser consistente, fácil de leer e interpretar para eliminar problemas de confusión y consiguientes errores. Se deben usar gráficos que capten la atención del operador para la información más crítica y la forma de mostrar la información que necesita el operador será en una estructura simple, lógica y orientada al desempeño del HMI, así se optimizará el tiempo de reacción en situaciones anormales (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

3.3.4 Factores Humanos de Ingeniería (HFE)

3.3.4.1 Principios generales del diseño HMI

La aplicación apropiada de los principios de Factores Humanos de Ingeniería (HFE) relacionados con las capacidades y limitaciones cognitivas y sensoriales de los usuarios de un HMI, aseguran un diseño de HMI efectivo. El diseño debe ayudar al monitoreo y control de las principales tareas del usuario (Acromag, 2017).

3.3.4.1.1 Conceptos Generales de HFE

Los requerimientos de tareas y necesidades de operadores deben ser considerados para el diseño de un HMI y al ser varios los usuarios, se debe tratar de considerar la mayor cantidad de necesidades.

Ejemplos de conceptos generales de HFE:

- La forma de funcionamiento del HMI debe ser intuitiva para el usuario.
- El HMI debe ser diseñada para ayudar a las tareas en todos los modos de operación, incluyendo situaciones anormales.

- El HMI debe dar información importante para cumplir tareas.
- La información debe ser presentada en un formato que el operador pueda entenderlo y lo maneje sin problemas, es decir unidades de medida familiares para el operador.
- La terminología mostrada en el HMI debe ser consistente y entendible para los usuarios (ANSI/ISA, 2015, pág. 35).

3.3.4.1.2 Conciencia de la Situación del Proceso

Conciencia de la situación significa:

- Estar consciente de lo que está pasando en el proceso.
- Entender el estado actual del proceso.
- Entender el probable estado del proceso en el futuro.

Cuando el proceso está funcionando de manera normal, se debe exhibir el mínimo estímulo sensorial para el usuario ya que uno de los principales factores de accidentes por errores humanos es la forma inadecuada de tener conciencia de la situación (ANSI/ISA, 2015, pág. 36).

3.3.4.2 Limitaciones sensoriales del Usuario

El HMI debe incorporar principios ergonómicos que se basen en las limitaciones sensoriales del usuario (campos visuales y auditivos). Se debe considerar umbrales y límites superiores en los sistemas sensoriales del operador y también las deficiencias comunes del sistema sensorial.

En este documento no se considerará los campos auditivos, debido a que se centra en el desarrollo de un software y no en la adecuación y construcción en un cuarto de control con alarmas auditivas.

3.3.4.2.1 Consideraciones Visuales

Se debe considerar las limitaciones visuales de los usuarios en general que puedan producirse en los ambientes de trabajo.

3.3.4.2.1.1 Luz del ambiente y Luminancia de la pantalla

La luminancia de la pantalla debe ser apropiada para el trabajo, se debe prevenir la fatiga visual mediante el uso de un contraste apropiado (Wilkins, 2015).

3.3.4.2.1.2 Color

Las deficiencias respecto al color, como lo son la ceguera del color, el daltonismo o deficiencias visuales por la edad, se deben considerar mediante el diseño del HMI.

La combinación de colores que aportan más a la ceguera del color es: rojo-verde, verde-amarillo y blanco-celeste. Debe ser utilizada una diferencia de brillo y contraste apropiados.

De igual forma hay que tener consideraciones importantes para los problemas de visualización relacionados con la edad. Esas deficiencias por ejemplo son:

- Dificultades con el enfoque en campos cercanos de información.
- Dificultades con la habilidad de volver a enfocarse rápidamente entre objetos cercanos y lejanos.
- Distorsiones cromáticas, relacionadas con decoloraciones de lentes, que por ejemplo pueden tornar azules en morados y morados en grises (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

3.3.4.2.1.3 Densidad de la Información mostrada

La densidad de información de una pantalla de visualización dependerá de su función o propósito. Es importante mostrar información pertinente que pueda ser interpretada rápidamente por el operador, evitando información innecesaria.

Si los requerimientos iniciales de un usuario incluyen demasiada muestra de datos en una sola pantalla, entonces se debe considerar hacer un rediseño. Las opciones de rediseño pueden ser:

- Consolidar datos en información de una pantalla de densidad menor.

- Usar el estilo de visualización más efectivo para una buena interpretación del operador.
- Proveer sólo información importante.
- Dividir una pantalla de visualización con muchos datos en múltiples visualizaciones.

3.3.4.2.1.4 Dinámica Visual

Debido a lo mencionado anteriormente sobre los límites cognitivos y de percepción del usuario, solo cierto número de colores puede ser usado efectivamente en un diseño de pantalla. Lo que significa que técnicas de dinámica visual pueden ser usadas para captar la atención del operador para información específica.

Se conoce como técnicas de dinámica visual a elementos con movimiento, parpadeo o “blinking” y destellos o “flashing”. Para entenderlo mejor se describe a qué se refiere cada una:

Movimiento: es el cambio de posición o tamaño de los elementos o gráficos para simular movimiento.

Parpadeo: es la aparición(visible) y desaparición (no visible) de los elementos o gráficos. El ejemplo más claro de esto es el cursor de la barra de texto.

Destello: es la alternabilidad repetida de colores o de su intensidad en un elemento o gráfico.

Es muy importante que tampoco se abuse de estas herramientas debido a que, si se lo hace, producirá distracción en el operador. Por eso se deberá usar de manera muy específica estrictamente en elementos que en realidad lo ameriten y aplicando la herramienta que les convenga. No todos los elementos son aptos para el uso de estas características (ANSI/ISA, 2015, pág. 38).

3.3.4.3 Límites Cognitivos del Usuario

Para el desempeño del ser humano es importante las capacidades y procesos cognitivos que transforman, reducen, memorizan, guardan y usan las entradas sensoriales al cerebro. Estos

procesos pueden ser afectados por el nivel de trabajo, la conciencia de la situación o la dificultad de las tareas. Un diseño de HMI apropiado debe tratar de optimizar estos factores.

Para procesar datos de forma óptima, es recomendable agrupar los datos de manera consistente. Esto producirá que los datos sean procesados de manera cognitiva como un solo objeto, haciendo un grupo mental, permitiendo que la respuesta del operador sea más rápida.

En los siguientes puntos se dará los lineamientos generales del diseño de los elementos del HPHMI, para el cumplimiento de estos conceptos y principios generales, que se revisó en este ítem (ANSI/ISA, 2015, pág. 39).

3.3.5 Descripción Funcional de los elementos del HMI

3.3.5.1 Contenido de Pantalla

3.3.5.1.1 Consideraciones Generales para Pantallas

3.3.5.1.1.1 Uso del color

La percepción del color es un tema muy complejo, en lo cual se debe tener mucho cuidado. De acuerdo con las consideraciones para un HPHMI y a la norma ANSI/ISA-101.01-2015, se debe tratar de cumplir que el uso de colores tendrá como objetivo enfatizar información importante o diferenciar factores importantes como alarmas o situaciones anormales, sin embargo, el color nunca debe ser el único diferenciador de factores importantes. Cuando el proceso trabaja de manera normal, entonces los elementos deben tener un color que no llame la atención.

3.3.5.1.1.2 Fondos de Pantalla

Los colores para fondos de pantallas, ventanas, faceplates, entre otros, deberán tener un buen contraste para que se pueda distinguir los elementos que se encuentren dentro de ellos sin ningún problema. Es por eso que se usarán colores grises claros, lo que ayuda a reducir la fatiga visual y reflejos no deseados.

3.3.5.1.1.3 Colores de elementos

Líneas de procesos y salidas de tanques o equipos deben ser de un gris oscuro o negro. El énfasis en las diferencias se debe hacer mediante el grosor de sus líneas y no el color.

Los gráficos en primer plano deben tener un mínimo número de colores y su uso debe ser estandarizado y rigurosamente cumplido.

De igual manera se recomienda que el color no debe usarse para indicar el tipo de material, ya que generalmente no se presenta de esta manera en la práctica real y demuestra ser una distracción, por lo que se tomará estas consideraciones en la medida de lo posible para el proceso (Hollifield, Bill; Perez, Hector, 2017).

3.3.5.2 Datos e Información

Se debe saber diferenciar los datos de la información, debido a que no es lo mismo. Generalmente los gráficos o HMI's muestran muchos datos, pero no siempre son relevantes por lo tanto no se entrega información útil. La información son datos hechos útiles en el contexto del proceso.

Es por esto que se creará gráficos y elementos que muestren rangos de lo que es correcto e incorrecto para el proceso, permitiendo así al operador reconocerlo a simple vista. Es importante que esto vaya acompañado de indicadores para que se cumpla con el objetivo.

3.3.5.3 Representación de Líneas, Recipientes y Equipo Estático

Para no caer en usos exagerados de los elementos gráficos se los debe diseñar de forma correcta.

3.3.5.3.1 Líneas de Procesos

Deben ser oscuras y se las debe diferenciar de acuerdo con su grosor y no a su color.

3.3.5.3.2 Recipientes del Proceso

Los recipientes deben ser gráficos de 2 dimensiones y no de 3 dimensiones. Su interior debe ser uniforme tanto en color como en forma, sin gradientes y sin animaciones.

3.3.5.3.3 Flujo del Proceso

Vapores hacia arriba y líquidos hacia abajo, a pesar de que compresores o bombas afecten esta representación.

3.3.5.4 Representación de Texto

La cantidad de texto mostrada en las pantallas debe ser mínima, principalmente para diferenciar elementos cuando su ubicación o forma no lo hagan de manera obvia. Es recomendable que el texto estático y general sea de gris oscuro y no negro. También se debe usar mayúsculas para títulos o textos importantes, mientras que para lo demás podrá ser una mezcla de mayúsculas y minúsculas.

Se debe tratar de usar abreviaciones estandarizadas en algún glosario o lista de términos para que todos los usuarios puedan entenderlo.

3.3.5.5 Símbolos y Objetos

Se debe desarrollar formas y tamaños estandarizados para recipientes, bombas, calentadores, válvulas, etc. De esta forma se busca tener un patrón para reconocer cada elemento fácilmente. Es importante también no exagerar en el uso de etiquetas o nombres identificadores para cada uno de los dispositivos representados en pantalla, se debe procurar hacer esto solo cuando sea necesario.

3.3.5.6 Controladores de Procesos

El controlador debe ser representado e ideado como una entidad física en el HMI, como bombas o motores. Y mientras sea posible, relacionarlo con los elementos sobre los que tiene su control.

En ciertos HMI's las pantallas de controladores muestran demasiados parámetros, lo que puede ser contraproducente. Una representación efectiva de un controlador en la pantalla junto a los demás elementos deberá mostrar los 4 puntos más importantes, con más detalle o posibilidad de configuración en una ventana tipo pop-up disponible (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

3.3.5.7 Representación de Equipamiento Dinámico

En elementos o equipos que tiene varios estados de operación es importante indicar la condición presente de manera apropiada. Nuevamente no debe depender sólo del color, si no de su forma, relleno del elemento o incluso de texto.

3.3.5.8 Tendencias

Las tendencias son elementos importantes que no son utilizados de manera muy habitual en algunos HMI's. Tienen la capacidad de mostrar información extra del proceso, ya que no sólo muestra el estado presente de lo que está sucediendo, si no que muestra hacia dónde va el proceso y cómo se ha desarrollado en determinado tiempo.

Generalmente en los HMI's existen pantallas dedicadas a las tendencias o históricos, pero esto no se muestra a primera vista si no que se debe desplazar hacia la pantalla dedicada, lo que significa que ocupará toda la pantalla, quitando opción de monitorear al mismo tiempo el resto del proceso cuando el operador necesita mirar algo más. Por esta razón los valores más importantes del proceso se mostrarán también en tendencias que se puedan ver y entender a simple vista (Advanced Control Systems, 2016).

3.3.5.9 Alarmas:

Para el reconocimiento de alarmas es muy importante el uso del color, ya que de esta manera se debe captar la atención del operador. Aquí se usará un rango de colores que representará a los tipos de alarmas de acuerdo a su importancia y prioridad.

Según estudios, el cerebro humano capta de mejor manera la información en forma de colores y formas, por lo que el color de cada alarma irá acompañado por una figura geométrica respectivamente. Así se busca mejorar el reconocimiento y diferenciación de situaciones anormales y el tiempo de reacción para las mismas (Hollifield, Bill; Perez, Hector, 2017).

3.3.6 Diseño de Visualización:

Los gráficos para su visualización en la pantalla deben situados de forma consistente de acuerdo con el flujo del proceso y no necesariamente con la localización física de los elementos. Es importante que el diseño permita entender el proceso de forma clara. El flujo del proceso irá de izquierda a derecha y de preferencia desde arriba hacia abajo cuando sea posible. Es recomendable evitar cruces de líneas de flujo del proceso (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

3.3.7 Navegación:

La navegación de pantallas debe ser de forma lógica, consistente y organizada. Es importante realizar un esquema de navegación efectivo e intuitivo para el usuario, logrando de esta manera que el operador tenga intervenciones veloces y precisas en el sistema. Se debe poder acceder a cualquier gráfico, sin necesidad de conocer la jerarquía del sistema, esto puede significar incluir un menú general del sistema o acceso con un click en un gráfico de nivel inferior.

Dependiendo de los requerimientos del usuario, se debe proveer de múltiples métodos de navegación para facilitar el acceso a pantallas. El operador debe tener la posibilidad de desplazarse hacia arriba y abajo de la jerarquía establecida, de lado a lado del proceso y acceso a detalles de gráficos, tendencias y estatus de elementos.

Los tipos de navegación pueden ser de forma jerárquica, relacional y secuencial. El tipo que se elija depende del proceso específico para el cuál se va a realizar el HMI. Los tipos son:

- a) Jerárquica: Este es el diseño más usado comúnmente, en este tipo de diseño la información se muestra en base a la organización física del proceso. Esta estructura se la puede describir en términos de profundidad, en la que los niveles inferiores contienen información cada vez más específica y relacionada con los niveles superiores. La profundidad se entiende por el número de niveles de la jerarquía y el ancho que es el número de opciones por nodo. Generalmente en esta estructura se tienen tipos de visualización definidos para las pantallas en cada nivel de la jerarquía.
- b) Relacional: Esa estructura tiene múltiples enlaces entre nodos, los cuales se basan en una variedad de relaciones. Si un camino de navegación probable varía con el tipo de problema que pueda presentarse, una estructura de relación formalizada puede ser lo apropiado. Comúnmente es efectivo para sistemas de utilidad distribuida, en donde la navegación deseada puede ser para todos los productores, todos los consumidores, un productor o consumidor específico o para controles de eliminación del sistema. Generalmente incluye enlaces de navegación de lado a lado.
- c) Secuencial: Este diseño de visualización organiza páginas o pantallas de visualización en una serie. Esto es efectivo en entornos por etapas en donde el proceso fluye secuencialmente a través de una estructura lógica, pero esa estructura puede cambiar de una etapa o lote a otro en base a productos específicos que se producen, fabrican, crean o procesan (ANSI/ISA, 2015).

3.3.8 Seguridad:

EL HMI deberá ser diseñado bajo las normas de seguridad dispuestos por PIL S. A.

Los accesos a las diferentes pantallas, privilegios de usuarios, accesos de información o configuración serán dispuestos según las normas indicadas.

3.3.9 Pruebas, Instalación y Entrenamiento

Se debe realizar correctamente la instalación un programa que permita diseñar y posteriormente poner a funcionar el HPHMI. En este caso se lo hará con el programa Ignition de Inductive Automation.

Luego de la estandarización de los gráficos para HPHMI, su diseño, su configuración, el diseño de las pantallas, distribución de jerarquías y establecimiento de seguridad de niveles de usuarios, se debe realizar las pruebas que sean necesarias para comprobar el buen funcionamiento de todos los elementos. Es importante que varios usuarios puedan realizar la comprobación del sistema. Una vez realizadas las acciones indicadas, se deberá asegurar que la instalación en los diferentes usuarios este hecha de manera correcta comparadas con las versiones de prueba.

Se debe dar las indicaciones y entrenamiento necesarios a los operadores para entender y lograr usar el sistema HPHMI. Esto se lo deberá realizar en áreas como:

- Aspectos de la filosofía del HPHMI que son relevantes para las operaciones.
- Las razones por las que se cambió o actualizó el HMI y los resultados esperados.
- Aspectos de la presentación y manejo de alarmas.
- Navegación en el HPHMI.
- Uso de tendencias.
- Jerarquía del proceso.
- Cambios específicos en determinados gráficos y el uso de los nuevos diseños creados.

3.3.10 Jerarquía

Los gráficos del HPHMI serán diseñados en una jerarquía para tener la facilidad de mostrar detalles de manera progresiva y manejar tareas específicas. Generalmente se tiene la mala idea de realizar HMI's de forma "plana", sin jerarquía lo que produce pantallas sin un buen orden y

dispuestas sin diferencias entre situaciones normales o anormales. Para una correcta y estructurada visualización del proceso se debe crear una jerarquía correcta, esto debe ayudar a que el operador tenga la información necesaria en forma organizada y lógica, para llevar a cabo diferentes tareas de manera adecuada. De igual forma es importante que esto permita una navegación correcta y óptima. Una jerarquía apropiada es:

- Nivel 1 - Visión general del área del proceso
- Nivel 2 – Control de la unidad de proceso
- Nivel 3 – Detalle de la Unidad de proceso
- Nivel 4 – Soporte de la unidad de proceso y Pantallas de diagnóstico

Se recomienda tener un máximo de 4 niveles, con el nivel 1 teniendo una visión más amplia y el nivel 4 una visión más específica. Cabe mencionar que estos niveles de visualización no están relacionados con la jerarquía de navegación que puede tener más o menos niveles (Hollifield, Bill; Perez, Hector;, 2017).

3.4 Guía de Estilo de High Performance HMI (HPHMI)

3.4.1 Introducción

En esta sección se va a detallar los principios indicados en la Filosofía de HPHMI desarrollada en la sección anterior, para el correcto diseño de las pantallas de visualización, gráficos, símbolos y todos los elementos que deben estar contenidos en el presente proyecto de desarrollo de un HPHMI para procesos de producción de crudo y gas.

Será de gran utilidad para el personal de PIL S.A y para ingenieros en general que requieran desarrollar interfaces de alto desempeño para diferentes procedimientos.

Es importante destacar que los detalles de diseño aquí descritos se tendrán que cumplir en la medida que el sistema o la plataforma de desarrollo de interfaz así lo permita, debido a que se

pueden presentar ciertas limitaciones en determinados tipos de plataformas. La intención no es obligar a cambiar totalmente de sistema o plataforma de desarrollo si la única razón para hacerlo es representar idénticamente lo que aquí se indica, porque esto significará gastos innecesarios en la empresa. Lo realmente importante será usar el sistema más conveniente en todos los sentidos y realizar los cambios y desarrollo de gráficos con el fin de cumplir con las condiciones más importantes y relevantes.

3.4.2 Propósito y Uso de una Guía de Estilo HMI

El objetivo del uso de una guía de estilo para interfaces Humano Máquina es aplicar los principios rectores y los conceptos fundamentales de la filosofía HPHMI desarrollada con el fin de indicar la forma de implementación del HMI, dentro de las capacidades de la plataforma en la que se vaya a desarrollar (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

3.4.3 Especificación de la Plataforma

Para el desarrollo de este HMI de alto desempeño se usará un nuevo software, es decir se realizará una actualización del sistema que se ha venido usando en la empresa.

Ignition es una plataforma que trabaja con un servidor web que permite el uso de varios clientes con actualizaciones en los cambios o diseños que se realicen a la interfaz. Dispone de mejores protocolos de comunicación, permitiendo una gran capacidad de flexibilidad e integración.

El sistema de control usado actualmente será integrado con el nuevo sistema de diseño HMI para su correcto funcionamiento.

3.4.4 Proceso de trabajo para el desarrollo del HPHMI

Para el desarrollo del HPHMI se seguirá el ciclo de vida indicado en la norma ANSI/ISA – 101.01 – 2015 (Figura 15) mediante el cual se realiza la etapa de estándares del sistema, realizando la creación de la Filosofía, la Guía de estilo y el desarrollo del kit de elementos o librería de objetos

para su posterior uso. Luego en la etapa de diseño, se realiza el diseño del sistema como tal en base a los estándares, requerimientos y usando los objetos de la librería desarrollada. Finalmente se realiza la etapa de implementación en la cual se realizan las pruebas y resultados para verificar el correcto funcionamiento de la interfaz, el proceso se lo realiza de la manera como se muestra en la Figura 16.

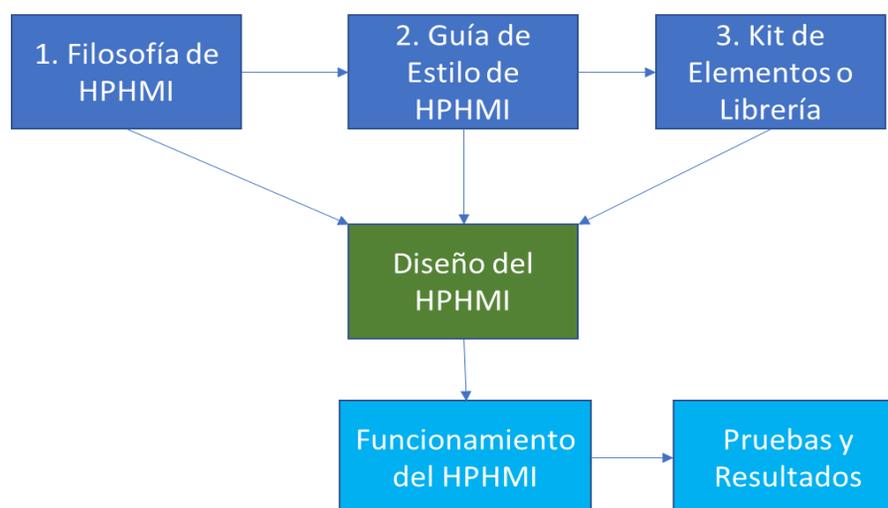


Figura 16. Proceso de Trabajo para el Desarrollo del HPHMI

Es importante mencionar que una futura implementación del sistema en el campo, se deberá tener otra etapa de operación en la cual se debería analizar el sistema en servicio y el mantenimiento que se debe revisar periódicamente por operadores e ingenieros.

Como una guía general, “The High Performance HMI Handbook”, recomienda seguir ciertos pasos para el diseño e implementación de un HPHMI los cuales deberían ser seguidos por diseñadores para el desarrollo de las interfaces para cualquier tipo de proceso: (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

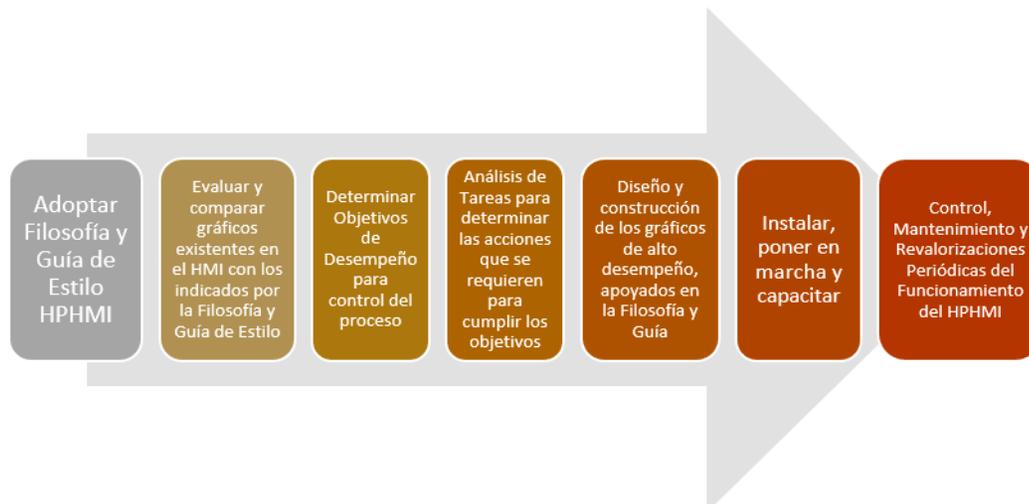


Figura 17. Pasos para diseño e implementación de un HPHMI

Cuando se realiza este tipo de proyectos en las industrias o empresas, se necesita de un equipo de trabajo conformado por operadores, personal de mantenimiento, ingenieros, diseñadores, supervisores e incluso gerentes para la correcta realización de todos los pasos con el fin de obtener un buen resultado que cumpla con los objetivos requeridos.

3.4.5 Librería de Objetos – Descripción y Uso

La librería de objetos va a ser creada en Ignition Designer, y contendrá los elementos para usar en la construcción del HPHMI. Serán elementos con las características de HPHMI descritas de manera general en la Filosofía.

Se crearán elementos estandarizados y con funcionalidades específicas que compondrán la nueva librería. Estos elementos podrán ser escogidos y usados en cualquier momento en las pantallas de visualización.

El detalle de las características forma de uso y funcionamiento de cada elemento se lo realizará en las siguientes secciones de esta guía de estilo.

3.4.6 Conceptos de visualización, Objetivos y Contenido

Se va a manejar un concepto de jerarquía de pantallas para el diseño de la interfaz. Su propósito será entregar diferentes cantidades de detalles de operación para ayudar al operador a realizar diferentes tareas, de igual manera se busca conseguir una navegación sencilla. Para esto se seguirá una organización de 4 niveles de visualización según lo establecido en la filosofía de HPHMI. Cada nivel representa un incremento de detalles del proceso y la mayoría de las acciones del operador deberían ser realizadas en los gráficos de niveles 2 y 3 (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008, pág. 98).

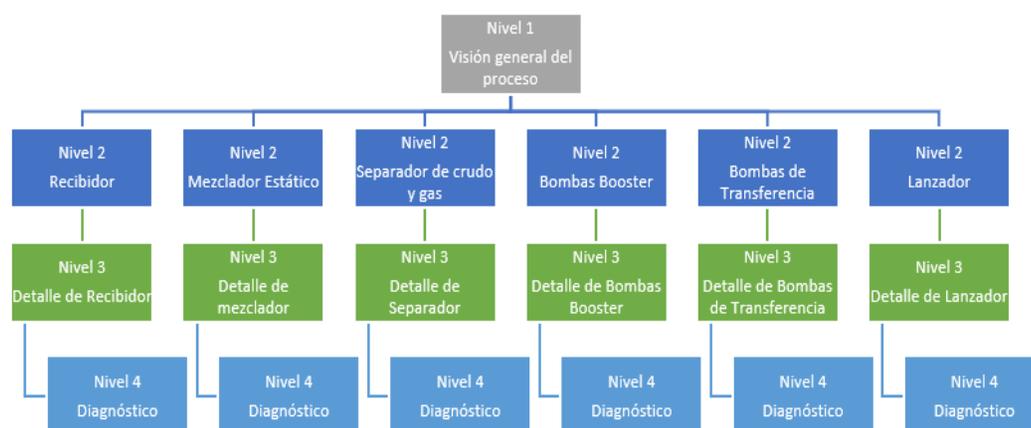


Figura 18. Niveles de Jerarquía

A continuación, se detalla el contenido de cada nivel.

3.4.6.1 Nivel 1 de Visualización – Visión en conjunto del proceso

La pantalla de visión general o en conjunto del proceso va a mostrar la representación más amplia de las instalaciones. Es una gran imagen a primera vista la unidad del proceso y mostrará indicadores claros del desempeño actual del proceso. Esta pantalla mostrará elementos y características como las siguientes:

- Valores, tendencias o desviaciones.
- Alarmas de las prioridades más altas, es decir prioridad 1 y 2.

- Los controladores claves del proceso.
- Parámetros y condiciones importantes.
- Indicadores de situaciones anormales.
- Estado de los equipos más importantes.

En este tipo de pantalla ya no se muestra el paradigma del “proceso pictórico” el cual se conoce principalmente como la representación casi exacta de un diagrama P&ID para el diseño de la interfaz. En lugar de eso es importante mostrar tendencias embebidas, indicadores analógicos en movimiento e incluso gráficos de radares, si es necesario. Este tipo de pantallas son de utilidad también para ingenieros, supervisores y gerentes.

Se va a diseñar una pantalla de visión general, aunque en ciertos casos en los cuáles los procesos son más grandes y complejos, se tienen varios estados de operación o se elaboran diferentes tipos de productos, se pueden crear varias pantallas de visión general de manera alternativa y se las puede usar en conjunto al momento apropiado.

Esta pantalla no va a ser la primera en diseñarse, debido a que es más práctico diseñar las pantallas de Nivel 2 y luego desarrollar la respectiva pantalla de Nivel 1 (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008, pág. 98).

3.4.6.2 Nivel 2 de Visualización – Gráficos de operaciones de unidades del proceso

En este nivel de visualización se va a tener toda la información y controles requeridos para desempeñar la mayoría de las tareas que le corresponden a una planta en específico.

En el proceso de diseño las pantallas de Nivel 2, serán las primeras en crearse. Una de las principales intenciones del desarrollo de este tipo de pantalla de visualización es determinar y verificar el modelo mental que debe tener el operador sobre el proceso. Para esto se tienen algunas consideraciones importantes:

- Será importante modelar el rango de responsabilidad de control para la posición de operación. Se debe usar un diagrama geográfico de la planta y diagramas P&IDs para definir la amplitud del diseño.
- Si bien es cierto que el diagrama P&ID es una herramienta para el desarrollo de este diseño, el resultado no se debería parecer o ver como un P&ID.
- El modelo mental de la planta se debe dividir en secciones autónomas lógicas, generalmente siendo subsistemas principales, como por ejemplo un reactor, un horno, columna de destilación, etc.

Los controladores e indicadores importantes son mostrados en las pantallas de Nivel 2 y las pantallas que pertenecen a este nivel son usadas principalmente para tareas rutinarias como, por ejemplo: manipulación de controladores, bombas de operación, sopladores de arranque, abertura de válvulas, etc. Las alarmas de las 3 prioridades más altas con respecto al proceso son mostradas e incluso si es posible se podrán mostrar todos los tipos de alarmas. A continuación, se describen algunas características que van a tener las pantallas:

- Para los controladores más importantes, el setpoint y el valor del proceso son representados también en tendencias.
- Se podrá configurar el rango de tiempo para las tendencias de manera individual.
- Para dos tipos de controladores (presión y nivel), no es necesario tendencias de tamaño total embebidas, por lo que se usarán “sparklines”. Un Sparkline es un gráfico diseñado para dar una representación gráfica de información numérica o estadística, de manera rápida en un pequeño espacio y sin ejes.
- Se usarán indicadores analógicos para poder observar situaciones anormales a simple vista.

- Los botones de navegación se muestran en la parte inferior de la pantalla para facilitar su acceso.
- Se provee de accesos a gráficos del Nivel 3 para mostrar en detalle la información del proceso que así lo amerite.

Como se ha descrito, el contenido de las pantallas de Nivel 2 no es más que la visualización de tendencias de valores importantes que han sido predefinidos así como acceso a los controladores apropiados. Esto puede ayudar mucho para el monitoreo y control de proceso, principalmente para operadores experimentados (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008, pág. 102).

3.4.6.3 Nivel 3 de Visualización – Visualización detallada del proceso

En las pantallas de visualización de Nivel 3 se mostrarán los lazos de control (controladores, indicadores, alarmas, interruptores, etc) y también serán usados para intervenciones que no son críticas de tiempo. Este tipo de pantallas deben incluir:

- Visión detallada de subunidades, elementos de equipos individuales, componentes e indicaciones y controles relacionados.
- Visualización de tendencias personalizadas para diagnósticos específicos.
- Diagnósticos de interbloqueo y solución de problemas similares.

Esta visualización detallada de las pantallas tiene como principal intención la solución de problemas o la manipulación de elementos que no son accesibles desde el Nivel 2.

En algunos casos la información será mostrada de dos formas; de manera analógica, para una mejor comprensión y más rápido reconocimiento de problemas y con el proceso pictórico, para un análisis y visualización más concentrada (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008, pág. 113).

3.4.6.4 Nivel 4 de Visualización – Pantalla de soporte y diagnóstico del proceso

Las pantallas de visualización de Nivel 4 proveen la información más detallada de los subsistemas, sensores o componentes. Muestran la información de diagnóstico o miscelánea de la forma más detallada posible. La línea que divide el Nivel 3 y el Nivel 4 puede no ser tan clara, por lo que para entender mejor una pantalla de soporte de Nivel 4 debería tener:

- Visualización de alarmas comunes con detalles individuales del estado de sensores.
- Información detallada acerca de equipos e instrumentos.
- Pantallas de ayuda
- Documentación de alarmas, procedimientos de respuesta, guía de situaciones anormales.

Esta información debe ser incluida en operaciones en las que sea funcional y requeridas por el usuario (Hollifield, Bill; Perez, Hector, 2017).

3.4.7 Valores predeterminados de visualización del sistema

Para todas las pantallas de visualización del sistema existen características predeterminadas que se cumplirán globalmente.

El diseño de visualización de las pantallas y su estilo tienen un gran impacto en la velocidad de reacción y exactitud de interacción del operador con las mismas. Cuando se realiza un diseño inapropiado puede provocar respuestas lentas pudiendo producir mayores errores de percepción y comprensión.

La presentación de la información se lo realizará en una forma innovadora que ayudará al operador a tratar con situaciones anormales y mejorar su desempeño.

- Las pantallas del proyecto tendrán una resolución de 1920 x 1080 píxeles, para todas aquellas que sean consideradas como principales.

- La esquina superior izquierda de la pantalla tendrá coordenadas de 0,0 y la inferior derecha 1920,1080.
- Los pop-ups o faceplates tendrán una resolución de 1000 x 700 píxeles.
- El idioma de las pantallas de visualización será en inglés o español.

Esto es general para todas las pantallas de visualización de cada tipo, las características de color, distribución, densidad, etc, se lo verá con más detalle en los siguientes puntos.

3.4.8 Metodologías de Interacción con el Operador

3.4.8.1 Funcionalidad y uso del sistema de control

El sistema de control usado en este proyecto es realizado mediante PLC's configurados y programados por el software de Rockwell Automation. El uso del sistema se da mediante los controladores distribuidos en el proyecto en campo de producción de crudo y gas. Para su funcionalidad completa se integra el sistema de Ignition, para el diseño del HPHMI, mediante el cual se realizará el monitoreo y control de forma remota del proceso.

3.4.8.2 Ventanas emergentes

Las ventanas emergentes, también conocidas como popups o faceplates, tendrán su fondo de un color determinado, del mismo color de fondo que las demás pantallas. Su tamaño variará dependiendo de su función o de los elementos a los que pertenecen y se los diseñará para dar información más detallada o para el control de características sobre algún elemento o subproceso.

El operador podrá controlar el cierre de las ventanas emergentes de acuerdo a sus necesidades, los pop-ups serán diseñados de manera que no cubran u oculten partes importantes del proceso en la pantalla HPHMI o se los podrá mover para cumplir con esta condición. La presentación de las ventanas emergentes y su interacción con el usuario debe ser consistente junto al resto del HPHMI (Hawrylo, 2015).

3.4.9 Diseño (Layout) de la Visualización y Densidad

La visualización de las pantallas necesita tener una apariencia consistente para el usuario. La localización y tipo de navegación entre los diferentes elementos de la pantalla puede variar entre los diferentes sistemas, pero para el desarrollo de esta interfaz, estas características deben ser implementadas para cumplir con los principios de pantallas HPHMI.

La distribución de la pantalla se lo hará bajo los preceptos de HPHMI, en la forma en la que se muestra la información relevante de cada proceso y subproceso. La organización de cada sección debe tener una pantalla funcional y también cumpliendo con los niveles de jerarquía establecidos y los métodos apropiados de navegación que se debe ofrecer al usuario para un correcto monitoreo del sistema. Se deben crear diseños que usen todo el tamaño de la pantalla establecido para la aplicación, con el fin de aprovechar el espacio de trabajo con contenido eficiente de información y del estado del proceso. Las pantallas deben ser claras y limpias, realizando plantillas de diseño estándar que muestren elementos comunes para cada tipo y nivel de visualización.

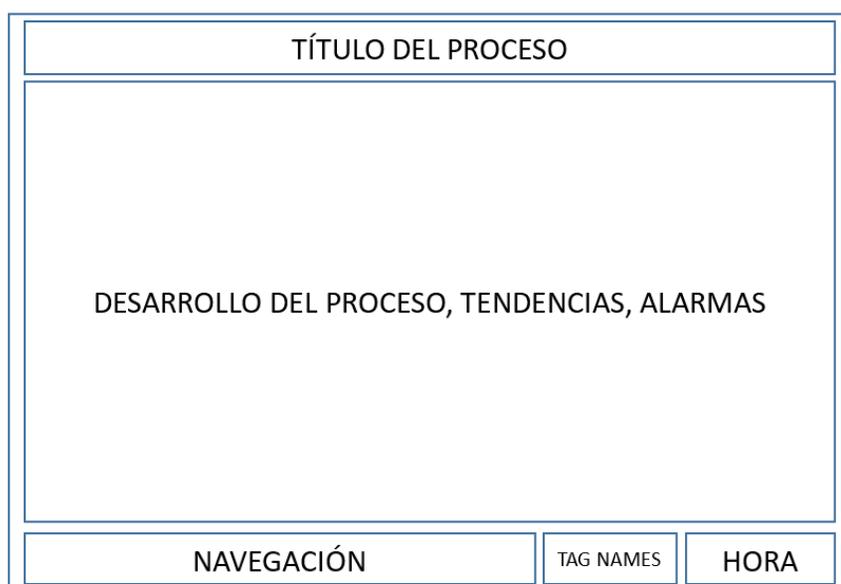


Figura 19. Distribución de Pantalla

3.4.10 Métodos de Navegación y Prácticas

Las claves de diseño para una navegación eficiente son el desempeño, la consistencia e intuición. Se proveen múltiples métodos de navegación para el usuario, con el fin de que pueda desplazarse por el proceso de la manera más conveniente. Se usan nombres de pantallas o gráficos de manera clara y estandarizada. Los métodos de navegación consisten en símbolos gráficos en las pantallas de visualización, también botones de teclado, entradas de menú, botones de barras de herramientas, tablas y menús desplegables con click derecho (Rovisys, 2017).

3.4.10.1 Tipos de diseño de Navegación

No existe un único tipo de navegación que es conveniente para todos los procesos existentes, es por eso que se debe usar el o los métodos apropiados para el proceso en específico.

Para este proyecto se realizarán los métodos de navegación Jerárquico y Secuencial que se establecieron en la filosofía HPHMI. Estos son los más indicados debido a que se podrá acceder a las pantallas según su jerarquía de visualización y también si se requiere se podrá seguir la secuencia lógica del proceso (ANSI/ISA, 2015, pág. 50).

3.4.10.2 Conceptos de diseño de Navegación

Para la navegación se deben considerar ciertos conceptos en el diseño y funcionamiento de las pantallas de visualización.

Los accesos para las pantallas de visualización deben ser diseñados para minimizar acciones de pulsación del operador. Los símbolos que sirven para navegar, como etiquetas, botones, textos, etc, deben ser diseñados de manera consistente y con una característica visual distinta para diferenciarlos de aquellos que no cumplen una función de navegación. De igual manera para aquellos símbolos o elementos que pueden ser seleccionables.

3.4.10.3 Métodos de Navegación

Los métodos de navegación que se deben tener en cuenta para este diseño son:

3.4.10.3.1 Botones y gráficos de navegación

Para navegar entre las diferentes pantallas y niveles de visualización predispuestos en la interfaz, se tendrán botones dedicados enlazados a cada proceso o pantalla. Estos botones seleccionables tendrán un color más oscuro en su apariencia, para poderlos diferenciar de aquellos que no tengan la función de navegar por el proceso. El código de color será RGB: 128, 128, 128.

De igual manera habrá gráficos que permitan acceder a otras pantallas que muestren información más detallada o que se dirijan a los procesos subsiguientes. Un ejemplo de esto será la visualización de los gráficos de tendencias en niveles dos y tres, que al acceder a estos mostrará una ventana con información más detallada de la tendencia, así como más opciones de control.

3.4.10.3.2 Menús de navegación

En las diferentes pantallas de visualización se dispondrá de menús de navegación para poder acceder a todas las partes del proceso. Estos menús comprenderán de un conjunto de botones y accederán a las pantallas según la jerarquía y secuencia.

3.4.10.3.3 Elementos de selección y punteros

Los elementos que puedan ser seleccionables deben tener otra apariencia para diferenciarlos del resto. En este proyecto serán diseñados con un color más oscuro, de código RGB: 128,128,128. El puntero para su selección en general en el proyecto es el ratón de la computadora.

3.4.10.3.4 Menús de contexto

Los menús de contexto son aquellos que muestran menús más pequeños y particulares para ciertos elementos, generalmente su apareamiento se da con el click derecho del mouse y sirven para ver funciones o detalles específicos.

Estos menús van a estar presentes en las ventanas de tendencias para configurar sus opciones de visualización.

3.4.10.3.5 Aparecer y Ocultar mecanismos para información detallada

Ventanas emergentes o faceplates, estarán presentes en elementos importantes que así lo requieran. Esto funcionará para mostrar la información detallada del elemento y debe tener la característica de aparecer de manera que no oculte las partes importantes del proceso que deben ser monitoreadas y de igual manera se debe tener la posibilidad de cerrarlo u ocultarlo cuando se requiera.

Los elementos que tendrán esta propiedad serán principalmente los gráficos de tendencias, sparklines y los elementos de control (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

3.4.11 Principios básicos de la Representación del Proceso

3.4.11.1 El papel apropiado del elemento pictórico del proceso

El elemento pictórico también se lo puede entender como el elemento gráfico o ilustrativo en el proceso. En el contexto de diseño de HMIs se refiere principalmente a la forma pictórica o ilustrativa en que se representa el proceso industrial.

A lo largo de los años los procesos industriales han adoptado diseños basados en sus P&ID para representar su interfaz, cuando los P&ID nunca han sido diseñados o han tenido el objetivo de ser una base para un HMI. Los P&IDs son representaciones sin jerarquía, mostrando una forma plana de todos los elementos del proceso, sin ser una herramienta para información adicional de utilidad acerca del mismo. Sin embargo, en los procesos industriales son muy usadas las representaciones que son básicamente P&IDs con valores en tiempo real. La razón de esto es la conveniencia de los diseñadores, la disponibilidad de los documentos y porque es relativamente

sencillo hacer una representación del P&ID de un proceso (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

A esto se lo conoce como el paradigma del “proceso pictórico”, en el cuál muchos diseñadores de HMIs siguen cayendo hoy en día, creyendo que se está haciendo de la manera correcta. Esto es debido a que con el tiempo se ha establecido como predefinido este tipo de representación.

Lo dicho no quiere decir que se debe eliminar el proceso pictórico como un elemento del High Performance HMI, si no que se debe tener una aplicación correcta del concepto. Cuando se lo aplica de manera correcta es un elemento que tiene lugares y usos apropiados en la interfaz. Esto se lo consigue al minimizar las deficiencias en las áreas donde se presentan, obligando a usar métodos más efectivos para mostrar la información al operador, como el uso de gráficos de alto desempeño, distribución apropiada, niveles de información, etc. En los siguientes puntos se describirán las propiedades que deben tener los gráficos de alto desempeño para el HPHMI y se detallará su diseño específico en este proyecto.

3.4.11.2 Elementos de Alto desempeño

Los elementos de alto desempeño deben tener ciertos parámetros para lograr su cometido. Para tener más claro los diseños que se van a realizar con respecto al HPHMI, primero se va a revisar los errores o características que tienen los pobres elementos o gráficos de los HMIs convencionales y así aportar para que los diseñadores eviten seguir usando o creando los mismos.

Los gráficos de poco desempeño:

- No usan tendencias
- Animaciones exageradas, como flamas en movimiento cuando un calentador está encendido, rotación de bombas o agitadores, bandas transportadoras en movimiento, movimiento de líquidos y otros elementos con este tipo de animaciones.

- Recipientes o tanques con colores brillantes junto a sombras, así como también líneas de procesos y bombas en 3D.
- Representaciones demasiado detalladas de elementos que no tienen cambios en su comportamiento.
- Representación de tuberías con colores y movimiento de su contenido.
- Unidades de medida mostradas en textos grandes o brillantes.
- Los niveles de líquidos en recipientes o tanques se muestran con colores brillantes y ocupando todo el ancho del recipiente.
- Una representación exacta del P&ID con pocas conexiones y válvulas.
- Muchos cruces de líneas.
- El flujo del proceso se lo representa de izquierda a derecha, de derecha a izquierda, de arriba hacia abajo y de abajo hacia arriba.
- Colores relacionados con alarmas, son usados para elementos que no se relacionan con alarmas.
- Navegación al azar y limitada entre pantalla y pantalla.
- Color inconsistente para algunos elementos.

Por otro lado, los gráficos de alto desempeño deben cumplir con:

- Una representación general y no esquemática, a menos de que sea funcionalmente esencial y en el nivel 3.
- Limitación con el uso de color y se lo usa de manera específica y consistente.
- Fondos en color gris para reducir problemas de reflexión y deslumbramiento.
- Sin animaciones, a excepción de alarmas específicas relacionadas con el comportamiento gráfico.

- Tendencias embebidas en los gráficos, mostrando un formato apropiado para parámetros importantes.
- Representación analógica de medidas importantes, incluyendo su valor para condiciones normales, anormales, alarmas y de bloqueo.
- Una jerarquía apropiada para mostrar el contenido proporcionado por la exposición de información detallada según las necesidades.
- Representaciones simples y directas en 2-D y no en 3-D.
- Representación y diseño de flujo consistente para reducir el cruce de líneas.
- Información embebida en contexto, como documentación y racionalización de alarmas, procedimientos de operación estándar y más.
- Métodos de navegación lógicos y consistentes.
- Técnicas para reducir errores de ingreso de datos por el operador.
- Medidas de validación y seguridad.

Con esto se busca lograr que la atención de los operadores se concentre en situaciones anormales que requieran su acción para evitar fallos graves en los sistemas y dar mayor seguridad al proceso (Nasby, 2017).

3.4.12 El uso apropiado, Implementación e Importancia de las tendencias

Las tendencias son herramientas muy útiles para el monitoreo de procesos industriales, sin embargo, en su mayoría no son bien utilizadas e implementadas. Su importancia característica se lo debe a que tiene la capacidad de mostrar datos o información, no solo de la situación presente del proceso, si no acerca de cómo estuvo desarrollándose el proceso en determinado tiempo y hacia dónde va el proceso en el futuro. Esto le ayuda al operador a analizar determinado comportamiento

del proceso y así actuar más efectivamente, por ejemplo, se podrá ver patrones de que algún error puede volver a ocurrir por el comportamiento similar que se viene dando en la tendencia.

3.4.12.1 Uso apropiado e implementación de tendencias

El primer requisito para una correcta implementación de gráficos con tendencias es que se las pueda apreciar directamente a simple vista. Esto quiere decir que no deben estar ocultas en otras pantallas que se deban acceder por medio de otros botones en la pantalla, si no que sean un elemento que este siempre presente, al cual se lo tenga que acceder solo para tener un detalle más ampliado o para su configuración. De igual manera, se debe tratar de lograr que su despliegue no oculte la visión del resto del proceso.

En este proyecto se debe definir los valores más importantes para el proceso, los cuales deberán mostrarse en tendencias.

Para su implementación se debe cumplir con ciertas características:

- Cuando el gráfico detallado de una tendencia sea desplegado, la extensión será automáticamente ajustada a un valor predeterminado para poder observar, leer y apreciar cambios importantes en los valores del proceso. Este tamaño de escala podrá ser ajustable.
- La tendencia debe mostrarse con una base de tiempo predeterminada dependiendo de las condiciones del proceso y de igual manera se podrá modificar su valor.
- Valores normales, límites o rangos deseados de operación deberán ser mostrados basados en el estado del proceso.
- Se podrá volver al ajuste de valores determinados rápida y sencillamente.
- El operador no tendrá que manipular ningún teclado para que la tendencia sea utilizable.

Un gráfico apropiado de una tendencia de controlador deberá mostrar el Valor del Proceso, Setpoint y la salida del controlador. (Hollifield, Bill; Perez, Hector, 2017)

3.4.13 Uso de color

3.4.13.1 Definiciones de color y configuraciones

De acuerdo con lo visto en la Filosofía HMI, el color es uno de los temas más complejos e importantes. Un uso apropiado del color permite que la comprensión de los gráficos sea sencilla y de fácil uso. El uso de color debe ser controlado, sin exageraciones, no se debe tratar de enfatizar la “belleza” de la interfaz mediante su uso, si no que se lo debe emplear para la funcionalidad efectiva y segura de la misma.

El uso del color será restringido para su uso por razones específicas, teniendo como principal objetivo el captar la atención del operador para situaciones anormales.

A continuación se describe cómo se ha definido el color para el diseño de las pantallas de visualización y elementos más generales. En los siguientes puntos, en los que se detalla el diseño de los elementos específicos dentro de las pantallas, se describirá el color que llevará cada uno (Hollifield, The High Performance HMI, 2015).

3.4.13.2 Color de Fondo de Pantallas

A lo largo del tiempo se ha creído que un buen contraste para la visualización de las pantallas se logra usando fondos claros u oscuros, pero casi no se ha considerado usar un equilibrio o término medio. Esto es una verdad parcial porque, aunque el contraste es importante, no lo es todo para una buena visualización. Por ejemplo, un alto contraste obtenido usando figuras brillantes y coloridas con un fondo negro u oscuro causará fatiga para el sentido visual.

Es por esto y siguiendo los conceptos de la Filosofía HPHMI, que se usará un color gris claro para todos los fondos de pantallas, ventanas emergentes, facplates, etc. Debido a que hay algunas gamas de este color y basado en la normativa RGB, se ha elegido como la mejor opción el código RGB: 221, 221, 221.

3.4.13.3 El rol del color en situaciones de advertencia

El color tiene un rol muy importante para las situaciones de advertencia en el proceso. Como se ha dicho anteriormente, el color sirve para llamar la atención del cerebro y de esta manera el operador pueda detectar rápidamente situaciones anormales y tomará las debidas acciones efectivamente. Esto principalmente se lo aplicará en el uso de alarmas, es importante que los colores establecidos para cada situación sean de uso específico para lo indicado y no se lo use para otras acciones del proceso (Dornan, 2014).

3.4.13.4 Diseños para deficiencias del color: Redundancia de código

Para precautelar la influencia de posibles deficiencias del color, de acuerdo con lo establecido en la Filosofía del HPHMI, se usarán formas geométricas y números como otros factores para diferenciar las situaciones anormales. Esto se lo detalla en el uso de alarmas (ANSI/ISA, 2015).

3.4.14 Especificaciones y Funcionalidad detallada de los elementos de la interfaz

3.4.14.1 Representación de Líneas

El diseño para la representación de líneas, tendrán las siguientes características:

- Las líneas del proceso serán de un gris oscuro de código RGB: 74, 74, 74.
- Su significado o función se la diferenciará por su forma y grosor, no por su color.
- Las líneas que representan partes principales del proceso tendrán un grosor de 3 pixeles y las secundarias deberán ser de 1 pixel. En líneas principales se deberá usar flechas para indicar la dirección del flujo del proceso.

3.4.14.2 Representación de texto estático en listas, tablas y estructuras parecidas

El texto mostrado sea de la manera que sea o en los elementos en los que se encuentre va a cumplir con los siguientes lineamientos:

- Los textos serán de un color gris oscuro de código RGB: 74, 74, 74.

- La fuente de texto será Dialog.
- Cuando existan equipos del mismo tipo, se usará texto altamente visible para identificarlo.
- Para textos cortos, etiquetas, títulos es preferible usar letras mayúsculas.

3.4.14.3 Recipientes y otras estructuras estáticas

Lo primordial para el diseño de recipientes de fluidos tales como tanques, mezcladores, entre otros, será evitar su representación en 3D, como ya se lo ha enfatizado anteriormente. A más de esto las características para estos elementos serán:

- El interior del recipiente será el mismo que el color del fondo de la pantalla de visualización.
- El color del contorno de los elementos será negro (RGB: 0,0,0)
- La forma del gráfico debe ser mostrado, para su diferenciación de cada tipo, pero sin mucho detalle.
- No deben existir animaciones acerca del contenido del recipiente.
- EL tamaño del gráfico del recipiente, deberá ser relativo con su importancia en el proceso y si es posible con su tamaño físico (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

3.4.14.4 Librería de equipo dinámico

Los elementos dinámicos servirán para representar el estado de un equipo. Por ejemplo, instrumentos como bombas, motores, sensores, transmisores o máquinas en general, pueden tener diferentes estados, como encendido, corriendo, apagados, detenidos, etc. Generalmente esta representación se la hacía mediante los colores verde y rojo, para indicar encendido o funcionamiento normal y apagado o detenciones, respectivamente.

Como ya se lo ha revisado, el uso de estos colores para dichas representaciones no es correcto, así que para el desarrollo del HPHMI se representará a la funcionalidad normal o a equipos en

funcionamiento con un color Blanco de código RGB: 255, 255, 255 y a aquellos que están detenidos o apagados con un gris de código RGB: 136,136,136.

Estos elementos son dinámicos debido a que cambian el color o su forma de acuerdo al estado del equipo al que representan, reemplazando así posibles animaciones que no es apropiado usarlas. En ciertos casos se podrá realizar la configuración de los mismos accediendo a sus faceplates y se los determina mediante su función en el proceso.

3.4.14.5 Representación de valores analógicos y digitales

Se deberá usar una apropiada representación de los valores analógicos y digitales, dando preferencia a las representaciones analógicas.

Los valores analógicos tienen mucha importancia en las interfaces HPHMI. Su uso permite visualizar el estado de la operación a simple vista ayudando a detectar situaciones anormales con anticipación. Para conseguir esto los diseños deberán mostrar indicadores con movimiento, puntero en el valor del Set Point, rangos deseados de operación, rangos de diferentes alarmas según la utilidad, indicadores de alarmas según la prioridad cuando el valor llegue a tal rango e incluso rangos de bloqueo o apagado en equipos que así lo ameriten. Todo esto se lo debe diseñar y configurar según la funcionalidad en el proceso y si así lo permite la plataforma en la que se desarrolle el diseño. En este caso gracias a las prestaciones de IGNITION, se podrá cumplir con lo estipulado de la siguiente forma:

- Rango de operación normal, en el color del fondo de la pantalla, código RGB: 221, 221, 221.
- Rango deseado de operación en color azul claro de código RGB: 184, 218, 255.
- Rangos de alarmas inactivas, indicador en movimiento y puntero del set point en color Gris de código RGB: 128, 128, 128.

- Rango de bloqueo en color Negro de código RGB: 0, 0, 0.
- Alarma activada de prioridad 2 en color Amarillo de código RGB: 255, 255, 0.
- Alarma activada de prioridad 1 en color Rojo de código RGB: 255, 0, 0.

En la Figura 6 se puede observar claramente lo indicado (Hollifield, Bill; Perez, Hector, 2017):

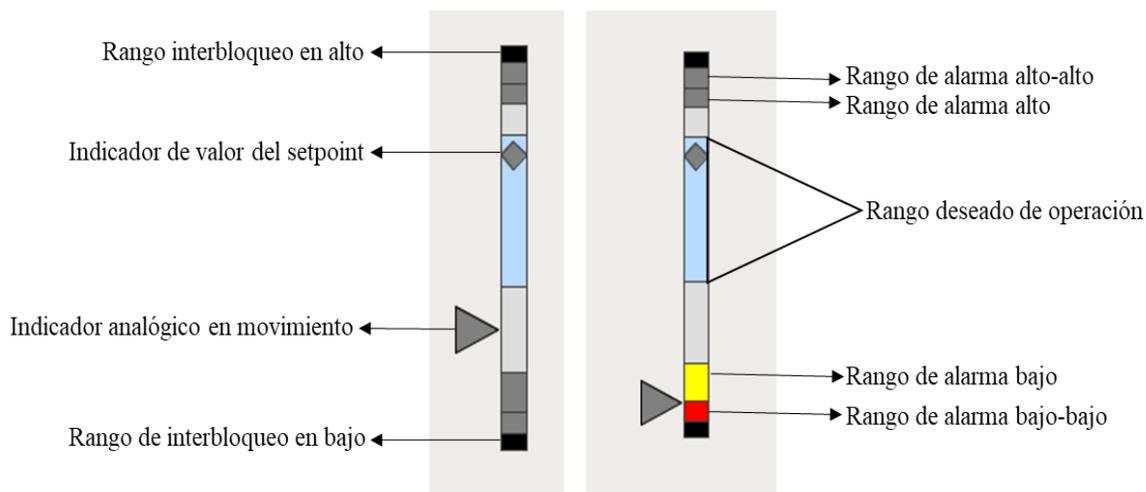


Figura 20. Diagrama de un indicador Analógico

Los valores digitales son un apoyo para las representaciones analógicas y se los muestra principalmente para conocer la exactitud del valor de la medición, como se lo observa en la Figura 21.

3.4.14.6 Representación de controladores

En algunos casos se asocia a los controladores con un equipo o equipos en particular como válvulas y se colocan los valores de set points, salida del controlador o variable del proceso junto a las representaciones gráficas de los mismos. Esta es una práctica pobre, ya que, si bien es cierto que un controlador es un software y no un elemento físico en el proceso como tal, se debe recrear su existencia física para mejorar el modelo mental del proceso para el operador. Los controladores no trabajan solamente sobre un instrumento, si no que en ocasiones lo hacen sobre algunos elementos por lo que, al representar al controlador de manera separada, permitirá mostrar

información acerca de su estado y funcionamiento de manera apropiada. Para el diseño de la representación de un controlador se debe tener cuidado de no mostrar demasiada información, por lo que su gráfico mostrará los 4 puntos más importantes, como se indicó en la filosofía HPHMI.

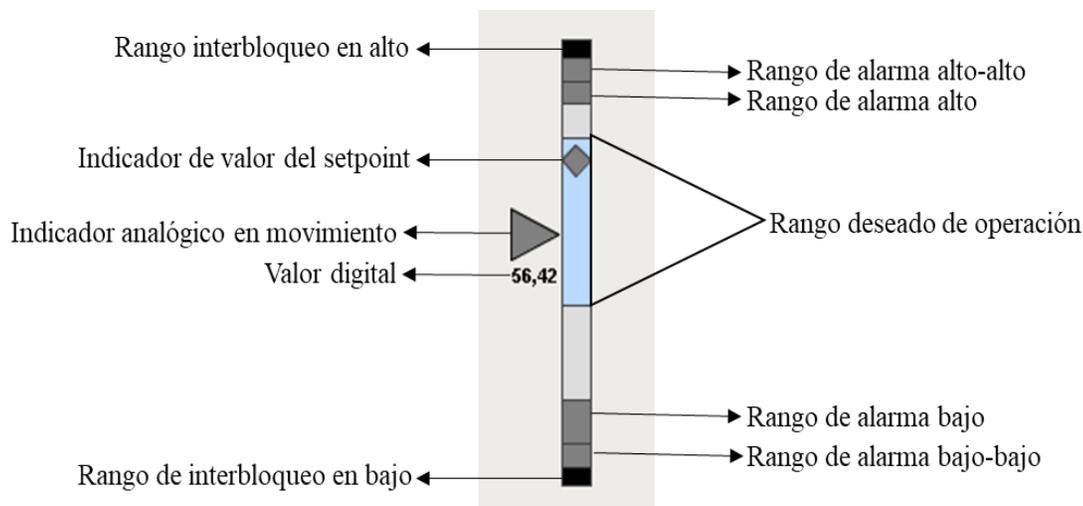


Figura 21. Indicador analógico con valor digital

Estos datos son:

- Valor del controlador del proceso (PV): Es el valor actual o presente del proceso, el cual está siendo controlado. Se lo muestra en unidades de ingeniería.
- Setpoint (SP): es el valor en el que se desea mantener el proceso. Se lo muestra en unidades de ingeniería del PV.
- Salida del Controlador (OP): Se expresa como un porcentaje.
- Modo de Control: generalmente es Automático (AUTO), manual (MAN), en cascada (CAS) u otros modos dependiendo del proceso y del sistema de control.

La representación del controlador será simple y consistente. Un cuadrado que permita mostrar los 4 parámetros más importantes, unidades de medida, información de posibles alarmas y un título si es necesario, para poder identificar el equipo.

Los valores de OP y PV tendrán un color azul oscuro de código RGB: 0, 0, 172.

El valor del SP será de un color verde oscuro de código RGB: 0, 128, 0.

La intención de diferenciar de esta manera los colores será para distinguir las medidas sensadas por el sistema y las medidas modificables por el operador.

Un click en este elemento gráfico permitirá el despliegue de un faceplate, el cual tendrá más detalle y permitirá la modificación de parámetros del setpoint, modo o salida (Nasby, 2017).

3.4.14.7 Representación de válvulas y otros elementos finales de control

Hay gran variedad de representaciones de válvulas y objetos finales de control. El diseño de estos elementos para esta interfaz se lo realizará con el fin de evitar mostrar demasiada información en escalas pequeñas.

Para reconocer una válvula “abierta” y una válvula “cerrada” se usará el uso de colores. La válvula abierta se la representará con el color blanco de código RGB: 255, 255, 255 y la válvula cerrada con un gris oscuro de código de color RGB: 136, 136, 136.

Se podrá acceder al faceplate de la válvula para conocer más información o su tipo, cuando sea aplicable.

En algunos casos un controlador actúa sobre múltiples válvulas en técnicas de rangos divididos. Cuando esto suceda se mostrará numéricamente el porcentaje de abierto junto a la válvula (Hollifield, Bill; Perez, Hector;, 2017).

3.4.14.8 Interbloqueo y elementos lógicos en las pantallas

Las funciones de interbloqueo son aquellas por las cuales las acciones normales de control son canceladas o anuladas por condiciones del proceso predeterminadas. Para entenderlo mejor, un ejemplo puede ser cuando se anula una válvula de vapor al cerrarla porque la temperatura del equipo o la presión está demasiado alta.

Las funciones de interbloqueo son implementadas bajo estructuras lógicas, en este caso desarrolladas en el programa de control del sistema. Uno de los problemas que se presenta al representar este tipo de acciones es que puede ser complicado de entenderlo. De igual forma debido a que generalmente se activan de forma esporádica, ya que principalmente son diseñadas para proteger el sistema de situaciones anormales, cuando esto sucede el operador quizá tenga problemas para recordar lo que debe hacer en este tipo de situaciones debido a que es algo con lo que no está relacionado frecuentemente. Esto podrá causar retrasos en la producción u otro tipo de problemas.

Por estos motivos cuando se activa un interbloqueo, se necesita indicar la activación de los apropiados Niveles 2 y 3.

Para las pantallas de visualización de Nivel 2, es apropiado usar un gráfico de secuencia de interbloqueo, mediante el cual se muestre el rango en el cuál se podría activar el interbloqueo y si esto sucede, un diagrama mostrando su alarma de prioridad y sobre qué elementos puede tener efecto (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008, pág. 109).

Para las pantallas de visualización de Nivel 3, un elemento de diagnóstico de interbloqueo debe ser creado, de forma que muestre claramente las posibles acciones de inicio o de otro tipo que debe seguir el proceso de interbloqueo. Esto se lo debe hacer de manera simple, por ejemplo, por medio de una tabla a través de la cual el operador pueda entender la lógica del proceso a pesar de que en la programación esté lleno de sentencias.

Este elemento de diagnóstico puede aparecer como una ventana emergente en el nivel 2 o nivel 3 de gráficos, o puede ser combinado con otras funciones de interbloqueo en una pantalla de nivel 3 o incluso en una pantalla de nivel 4 más detallada. Esto se lo hará según lo amerite la situación.

3.4.15 Funcionalidad de las Alarmas

3.4.15.1 Representación apropiada de las alarmas

Todos los valores en una alarma deben ser mostrados de forma clara y consistente, debido a que existen algunos métodos para su representación, para este diseño se seguirán ciertos principios primordialmente:

- El color es relacionado con la prioridad de la alarma. Cada una de las prioridades de alarmas tienen su propio color que no se lo debe usar para nada más.
- Las alarmas no reconocidas, deben ser distinguidas de las reconocidas. El método más común para hacerlo es el “flashing” del indicador de la alarma cuando no es reconocida.
- Si más de una alarma es accionada en un valor, la alarma con la más alta prioridad debe ser la mostrada.

El comportamiento de la alarma debe ser consistente basada en su configuración (Nasby, 2017).

3.4.15.2 Prioridad de las alarmas

La mejor práctica para procesos de alarmas es utilizar un sistema de prioridad de alarmas. Lo más recomendable es usar un sistema de 3 tipos de prioridad, con una más que es segregada después de las 3, conocida como una alarma de tipo diagnóstico. Las alarmas de diagnóstico son aquellas que indican un funcionamiento incorrecto de determinado instrumento, que no puede ser solucionable por el operador y que por lo tanto pueden requerir una acción de mantenimiento. Si el sistema de control y monitoreo es capaz de anunciar una cuarta prioridad de alarma, entonces las situaciones en las que la única respuesta del operador es el pedido o escritura de una orden de mantenimiento, serán agrupadas en la cuarta prioridad.

Los colores que se van a usar para cada prioridad son los siguientes:

- Prioridad 1 (Más Alta): Rojo, código de color RGB: 255, 0, 0.
- Prioridad 2 (Segunda Más Alta): Amarillo, código de color RGB: 255, 255, 0.
- Prioridad 3 (Tercera Más Alta): Naranja, código de color RGB: 255, 102, 0.
- Prioridad 4 (Reservado para alarmas de diagnóstico): Magenta, código de color RGB: 255, 0, 255.

3.4.15.3 Indicación de situaciones anormales

Existen varios métodos para indicar la existencia de situaciones anormales, todas con sus ventajas y desventajas en la forma de mostrarlas. A continuación, se describe el método elegido para su desarrollo en este proyecto.

Para este método se realiza la combinación antes mencionada en la redundancia del color, al incluir formas geométricas para facilitar la identificación de las alarmas. De igual manera que para el color, una forma geométrica será asignada según la prioridad de la alarma.

La designación de las figuras para cada prioridad será:

- Prioridad 1 (Más Alta): Cuadrado o rectángulo.
- Prioridad 2 (Segunda Más Alta): Triángulo.
- Prioridad 3 (Tercera Más Alta): Triángulo invertido.
- Prioridad 4 (Reservado para alarmas de diagnóstico): Rombo

Con este método lo que se consigue es:

- El color se muestra de forma que consigue captar y dirigir la atención para el valor en alarma que se despliega de forma clara y consistente.
- Para alarmas no identificadas el “flashing” o aparecimiento y desaparecimiento de todo el elemento geométrico, no afecta la visibilidad del valor.
- No hay problemas en la combinación del color.

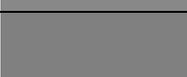
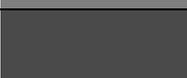
- El indicador de la alarma en forma geométrica puede ser situado en cualquier lugar cerca del valor, intentando que sea un lugar consistente.
- La prioridad de la alarma es representada redundantemente por la forma del indicador de alarma, color y el número de prioridad (Advanced Control Systems, 2016).

3.4.16 Colores establecidos para el diseño

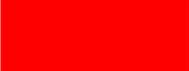
De acuerdo con todo lo que se ha descrito con respecto al diseño de cada uno de los componentes, a continuación, se muestra la paleta de colores con todos los códigos RGB que se van a usar y la descripción de cada una de sus funciones:

Tabla 4.

Colores y Usos en el HPHMI

Color	Código RGB	Muestra	Usos definidos
Gris 1	221, 221, 221		Fondo de pantalla global
Blanco	255, 255, 255		Indicación de equipos encendidos o en operación normal.
Gris Claro	243, 243, 243		Resaltar elementos pequeños como indicaciones de calidad de PV.
Gris Oscuro 1	136, 136, 136		Indicación de equipo detenido o apagado.
Gris Oscuro 2	128, 128, 128		Alarmas inactivas en indicador analógico.
Gris Oscuro 3	43, 43, 43		Líneas del proceso y algunos textos.
Negro	0, 0, 0		Contorno de elementos, algunos textos, rangos de interbloqueo.
Azul oscuro	0, 0, 172		Valores de proceso, modos de control, propósitos similares y ciertas tendencias.
Verde Oscuro	0, 128, 0		Setpoints de controladores, ciertas tendencias.
Verde Claro	153, 255, 102		Posible color para resaltar algo en específico.
Azul claro	184, 218, 255		Rangos o condiciones deseadas de operación.

CONTINÚA 

Café	204, 102, 0		Tendencias, indicador de posición de retroalimentación.
Rojo	255, 0, 0		Alarma de prioridad uno.
Amarillo	255, 255, 0		Alarma de prioridad dos.
Naranja	255, 102, 0		Alarma de prioridad tres.
Magenta	255, 0, 255		Alarma de prioridad cuatro para diagnósticos.
Magenta oscuro	204, 0, 102		Tendencias.

CAPÍTULO IV

DESARROLLO DE LA INTERFAZ HPHMI

4.1 Requisitos

Los requisitos son uno de los puntos de partida para el desarrollo de la interfaz. Son los parámetros de funcionamiento, el tipo de funcionamiento y el contenido que debe tener el HMI, los cuales vienen establecidos por el cliente o la entidad que vaya a hacer uso del sistema desarrollado, de acuerdo a sus necesidades, para que cumpla de forma correcta con las funciones y tareas requeridas.

En este caso los requisitos vienen dados por la empresa PIL S.A. y son establecidos en base a los criterios de funcionamiento de un sistema de Producción de Crudo y Gas, tomando en cuenta parámetros de presión, temperatura, nivel, de seguridad, entre otros, que se deben cumplir en cada etapa del proceso.

4.1.1 Requisitos Generales para todas las Pantallas del proceso

- Todas las pantallas mostrarán una representación clara de su etapa del proceso determinado.
- Se crearán pantallas para las etapas de:
 - o Recepción de producción en la trampa receptora de herramienta.
 - o Sistema de Mezclador estático
 - o Separador de Producción
 - o Sistema de Bombas Booster
 - o Sistema de Bombas de Transferencia
 - o Lanzador de Herramientas

- Todas las pantallas tendrán indicadores de las variables más importantes de cada etapa del proceso para conocer su estado, es decir que serán visibles los valores de los diferentes transmisores de presión, temperatura, flujo y nivel.
- Se podrá tener acceso a las funciones de los elementos actuadores como bombas, válvulas manuales, válvulas de control y de esta forma poder enviar órdenes o acciones a cada uno cuando así lo requiera el proceso.
- Todos los objetos que representen transmisores indicadores de cualquier variable tendrán acceso a la configuración de su rango de funcionamiento máximo y mínimo en unidades de ingeniería, que vendrá dado de acuerdo con el tipo de elemento físico que se utilice. De igual manera tendrán acceso a la configuración de los valores de HHSP, HSP, LSP o LLSP, de acuerdo con las necesidades de cada etapa del proceso.
- Existirán alarmas por situaciones anormales que puedan ocurrir en el proceso. Estas alarmas deberán ser diferenciadas de acuerdo con su prioridad, siendo la prioridad más alta las alarmas que se activen por valores de HH o LL en cualquier tipo de variable, algún funcionamiento erróneo del equipo o estados de emergencia. Siguiendo por alarmas que se activen por valores de H o L. Luego vendrán las alarmas que se activen por indicación de ByPass en el proceso y finalmente las alarmas indicadoras de First Out.
- En todas las pantallas que representen etapas del proceso, será posible visualizar las diferentes alarmas.
- Existirá una pantalla que muestre una visión general del proceso y permita navegar a cualquier etapa de este.
- La navegación a través del proceso será diseñada de forma lógica con el flujo del proceso.

- Se deberá configurar la seguridad para que un tipo de usuarios pueda acceder a las ventanas de configuraciones de valores de set points de transmisores y controladores, mientras que otro tipo sólo pueda leerlos, sin la posibilidad de cambiarlos.
- De igual forma algunos usuarios tendrán restricciones para manipular ciertos elementos.

4.1.2 Requisitos para la pantalla de la Trampa Receptora de Herramienta

Para su correcto funcionamiento y cumplimiento de tareas de monitoreo y control, esta pantalla tuvo que incluir los siguientes elementos:

- Una válvula de corte que servirá como seguridad para protección de la trampa receptora. Esta válvula se abrirá o cerrará de acuerdo con los valores de presión determinados o a una orden desde el HMI y presentará condiciones de alarma si ha fallado en abrirse o cerrarse, al igual que el estado de su permisivo.
- Un transmisor indicador de presión configurado con alarmas de HH o LL y que determina la acción de la válvula.
- Un transmisor de posición, que indicará el estado de la válvula y que generará la alarma correspondiente si no está operando en los rangos deseados.

4.1.3 Requisitos para la pantalla del Sistema de Mezclador Estático

Los elementos que debe presentar esta pantalla son:

- Un transmisor indicador de Temperatura con su respectiva alarma por baja temperatura.
- Un transmisor indicador de presión con sus respectivas alarmas de alta y baja presión.
- Un transmisor indicador de flujo.
- Una válvula de control de nivel que funciona a través de los datos de un transmisor indicador de nivel que viene desde el separador.

4.1.4 Requisitos para la pantalla del Separador

Este sistema recibe directamente el flujo que viene del sistema de Mezcla y los elementos que deben estar presentes para su correcto monitoreo son:

- Un lazo de control de Presión, que se ejecuta mediante un transmisor indicador de presión. Este lazo de control tiene alarmas de alta y baja presión.
- Una válvula controlada por el lazo de control de presión.
- Un transmisor indicador de flujo a la salida de la línea del gas.
- Un lazo de control de nivel que se ejecuta mediante un transmisor indicador de nivel que tendrá alarmas de muy alto o muy bajo.
- Una válvula controlada por el lazo de control de nivel.
- Un transmisor indicador de temperatura con sus alarmas por alta y baja temperatura.
- Dos transmisores indicadores de nivel de interface con alarmas por muy alto nivel, alto nivel, bajo nivel y muy bajo nivel.

Existen elementos de seguridad que sirven como protección del equipo en caso de que ocurran perturbaciones que no puedan ser eliminadas por el sistema de control. Para la representación de estos elementos se debe tener:

- Un transmisor indicador de nivel total que tendrá alarmas de muy alto nivel total y muy bajo nivel total. Este transmisor también generará un cierre de una válvula de corte cuando se den las alarmas indicadas y a su vez apagará las bombas booster en la siguiente etapa.
- Un transmisor indicador de presión con alarmas de muy alta y muy baja presión y que también causa el cierre de la válvula de corte.
- Un transmisor analizador de BSW que se ubica en la línea de salida del crudo para su funcionamiento idóneo.

- Una válvula de corte al ingreso del separador que es accionada mediante el transmisor indicador de nivel total y el transmisor indicador de presión cuando se accionan sus alarmas.
- Un detector de gas con alarmas por alta y muy alta concentración del límite inferior de explosividad (LEL).
- Un detector de fuego que en condiciones de emergencia se encargan de parar el separador.
- Un push button de área que produce la parada del separador al ser pulsado.
- Un medidor de flujo a la salida del crudo junto a una válvula de control de nivel.
- Un medidor de flujo en la salida de agua de producción junto a una válvula de control de nivel.

4.1.5 Requisitos para la pantalla de Bombas Booster

Para el monitoreo, control y protección de los equipos se debe incluir:

- Un transmisor indicador de presión, ubicado en el cabezal de succión y con alarmas de alta y baja presión.
- Tres transmisores indicadores de presión a la succión de las bombas con alarmas de muy baja presión, de naja presión y de alta presión que apagan las bombas en su accionamiento.
- Tres transmisores indicadores de presión a la descarga de las bombas con alarmas por alta presión y muy baja presión.
- Tres bombas booster que se apagan por el accionamiento de las alarmas de los transmisores indicadores de presión en la succión de las bombas.
- Un transmisor indicador de presión en el cabezal de descarga de las bombas booster, con sus alarmas de alta presión y baja presión.
- Un transmisor indicador de temperatura en el cabezal de descarga de las bombas booster que general alarmas por alta temperatura y baja temperatura.

4.1.6 Requisitos para la pantalla de Bombas de Transferencia de Fluido

Esta pantalla debe mostrar los siguientes elementos para su correcto monitoreo y control:

- Un transmisor indicador de presión en la succión de la bomba con sus alarmas por baja presión y muy baja presión.
- Un interruptor de muy baja presión ubicado en la succión de la bomba.
- Un interruptor de muy alta presión en la descarga de la bomba.
- Un transmisor indicador de presión para el monitoreo de la presión en el cabezal de descarga de las bombas.
- Un transmisor de temperatura en el cabezal de descarga de las bombas.

4.1.7 Requisitos para la pantalla de Lanzador de Herramientas

Esta pantalla debe contener:

- Un transmisor indicador de presión que estará ubicado en la línea de salida de producción. Tendrá alarmas de muy alta presión que tendrá como efecto accionar una válvula de cierre. Y con alarmas de baja y muy baja presión.
- Una válvula de corte al final de la línea de producción que se accionará según el transmisor indicador de presión.
- Un interruptor de posición para la válvula.

A todos los requisitos descritos en los ítems anteriores establecidos por la empresa, se añadirán los principios y conceptos desarrollados en la Filosofía y Guía de estilo para crear el HPHMI.

4.2 Aplicación de la Filosofía y Guía de Diseño en el desarrollo del HPHMI

El proceso de trabajo para la creación de la interfaz tuvo algunas etapas, siendo la primera de ellas justamente el desarrollo de la Filosofía y Guía de estilo realizada en el capítulo 3 y que va a ser aplicada en el presente capítulo. A continuación, se describen los pasos adicionales y la forma

de ejecución requerida para la correcta aplicación de la filosofía y guía de estilo al realizar la creación de la interfaz HPHMI.

4.2.1 Evaluación de HMIs existentes en contraste con los principios de HPHMI

Luego de disponer de una filosofía, se compararon los principios ahí plasmados con los gráficos y funcionalidades de los HMIs tradicionales. Los parámetros analizados tienen que ver con la forma de mostrar la información en situaciones normales y anormales, las tareas que tienen los usuarios por medio de la interfaz y de esta forma se establecieron los cambios en el funcionamiento que deben tener los elementos para cumplir con lo requerido. Esto también se lo ha desarrollado de gran forma en los capítulos anteriores.

Luego de tener claros los cambios que debe tener un HPHMI en sus elementos, se procedió a realizar una primera estandarización definiendo los objetos que debían ser construidos para el proceso, con los atributos, parámetros, características, diseño y funcionalidades que debieron crearse para cada uno, ajustándose a los principios de la norma ANSI/ISA-101.01-2015 y de HPHMI establecidos.

Esta primera estandarización fue el paso inicial para realizar la librería de objetos estandarizada que se diseñó y creó posteriormente para su uso en interfaces de alto desempeño.

4.2.2 Análisis de las Tareas y Requerimientos

En este paso se realizó un análisis de tareas de acuerdo a los requerimientos realizados por la empresa, con el fin de conseguir los objetivos de operación y funcionamiento establecidos.

Estas tareas tuvieron que ver con los aspectos de:

- El modo de controlar y configurar los setpoints.
- La forma de configurar e ingresar datos y configurar los diferentes rangos de alarmas.
- Establecer los rangos de alarmas y de operación de acuerdo a los requisitos.

- El modo de funcionamiento y manipulación de válvulas, bombas, valores análogos, elementos digitales.
- La forma de mostrar información como tendencias.
- El modo de mostrar los valores requeridos en elementos análogos.
- La forma en que se van a manejar las situaciones anormales.

Como resultado del análisis en base a las tareas y requerimientos se establecieron los parámetros de funcionamiento para las diferentes etapas del proceso, como se puede observar en de la Tabla 5 a la Tabla 9.

Tabla 5.

Elementos de control y de observación en la Trampa Receptora

Trampa Receptora			
Elemento	Tipo de Indicador	Rango Permitido de Operación	Alarmas
Monitoreo de Presión al ingreso PIT-ST40118A	Indicador Analógico y Sparkline	20 PSI a 100 PSI	Muy Alta > 100 PSI (Interlock 170) Muy Baja < 20 PSI (Interlock 240)

Tabla 6.

Elementos de control y observación en el Mezclador Estático

Sistema de Mezclador Estático			
Elemento	Tipo de Indicador	Rango Permitido de Operación	Alarmas
Monitoreo de Presión al ingreso del sistema PIT-40006	Indicador Analógico y Sparkline	40 PSI a 65 PSI	Alta > 65 PSI Baja < 40 PSI
Monitoreo de Temperatura al ingreso del sistema TIT-40006	Indicador Analógico y Sparkline	Mayor a 140 °F	Baja < 140 PSI

4.2.3 Diseño de los Gráficos y Pantallas

Luego de haber establecido los requisitos y los parámetros de funcionamiento se procedió a diseñar y construir los gráficos y pantallas para el HPHMI aplicando los principios en la Filosofía y los elementos descritos en la Guía de estilo para cumplir con las tareas determinadas.

4.2.3.1 Diseño de Elementos Globales

Existen elementos que se deberán usar repetidamente en varias etapas del proceso ya que, aunque están asignados para las diferentes variables, tienen similitudes en su forma de comportamiento de representación.

Tabla 7.

Elementos de control y observación en el Separador

Separador de la Producción			
Elemento	Tipo de Indicador	Rango Permitido de Operación	Alarmas
Monitoreo y set de control (4) de Nivel de crudo en el Separador LIT-V40170B	Indicador Analógico y Sparkline	18 IN a 78 IN	Muy Alta > 78 IN Alta > 72 IN Baja < 30 IN Muy Baja < 18 IN
Monitoreo de Nivel de Interface en el Separador LIT-V40170C y LIT-V40170E	Indicador Analógico y Sparkline	18 IN a 66 IN	Muy Alta > 66 IN Alta > 54 IN Baja < 30 IN Muy Baja < 18 IN
Monitoreo de Nivel total en el Separador LIT-V40170D	Indicador Analógico y Sparkline	27 IN a 81 IN	Muy Alta > 81 IN (Interlock A3) Muy Baja < 27 IN (Interlock A2)
Monitoreo y set de control (45) de Presión en el Separador PIT-V40170A	Indicador Analógico y Sparkline	35 PSI a 60 PSI	Alta > 60 PSI Baja < 35 PSI
Monitoreo de Presión en el Separador PIT-V40170B	Indicador Analógico y Sparkline	25 PSI a 80 PSI	Muy Alta > 80 PSI

CONTINÚA 

			(Interlock A1) Muy Baja < 25 PSI
Monitoreo de Temperatura en el Separador TIT-V40170A	Indicador Analógico y Sparkline	150 °F a 180 °F	Alta > 180 °F Baja < 150 °F

Para este tipo de objetos se han creado diseños de elementos tipo gracias a la posibilidad que brinda Ignition para ello. A partir de Templates Globales se pueden crear elementos para usarlos en todos los proyectos que se desarrollen y ofrecen la característica de crear un modelo general para elementos similares pero que desplieguen la información y comportamiento específica de acuerdo a los parámetros asignados al tag del elemento que el objeto está representando.

Tabla 8.

Elementos de observación y control en Bombas Booster

Bombas Booster			
Elemento	Tipo de Indicador	Rango Permitido de Operación	Alarmas
Monitoreo de Presión en el cabezal de succión de las bombas Booster PIT-A40001	Indicador Analógico y Sparkline	30 PSI a 50 PSI	Alta > 50 PSI Baja < 30 PSI
Monitoreo de Presión en el cabezal de descarga de las bombas Booster PIT-A40002	Indicador Analógico y Sparkline	80 PSI a 120 PSI	Alta > 120 PSI Baja < 80 PSI
Monitoreo de Temperatura en el cabezal de descarga de las bombas Booster TIT-40001	Indicador Analógico y Sparkline	150 °F a 180 °F	Alta > 180 PSI Baja < 150 PSI
Monitoreo de Presión en la succión de la Bomba Booster PIT-B58 AA	Indicador Analógico y Sparkline	20 PSI a 50 PSI	Alta > 50 PSI Baja < 30 PSI Muy Baja < 20 PSI (Interlock IA4)

CONTINÚA 

Monitoreo de Presión en la descarga de la Bomba Booster PIT-B58 AB	Indicador Analógico y Sparkline	60 PSI a 120 PSI	Alta > 120 PSI Muy Baja < 60 PSI
Monitoreo de Presión en la succión de la Bomba Booster PIT-B58 BA	Indicador Analógico y Sparkline	20 PSI a 50 PSI	Alta > 50 PSI Baja < 30 PSI Muy Baja < 20 PSI (Interlock IA6)
Monitoreo de Presión en la descarga de la Bomba Booster PIT-B58 BB	Indicador Analógico y Sparkline	60 PSI a 120 PSI	Alta > 120 PSI Muy Baja < 60 PSI
Monitoreo de Presión en la succión de la Bomba Booster PIT-B58 CA	Indicador Analógico y Sparkline	20 PSI a 50 PSI	Alta > 50 PSI Baja < 30 PSI Muy Baja < 20 PSI (Interlock IA8)
Monitoreo de Presión en la descarga de la Bomba Booster PIT-B58 CB	Indicador Analógico y Sparkline	60 PSI a 120 PSI	Alta > 120 PSI Muy Baja < 60 PSI

Tabla 9.*Elementos de observación y control en Bombas de Transferencia*

Bombas de Transferencia			
Elemento	Tipo de Indicador	Rango Permitido de Operación	Alarmas
Monitoreo de Presión en la succión de las bombas de Transferencia PIT-40445BA	Indicador Analógico y Sparkline	60 PSI a 70 PSI	Baja < 60 PSI Muy Baja < 70 PSI
Monitoreo de Presión en la descarga de las bombas de Transferencia PIT-40445BB	Indicador Analógico y Sparkline	50 PSI a 700 PSI	Muy Alta > 700 PSI Alta > 650 Baja < 200 PSI Muy Baja < 50
Monitoreo de Temperatura en el cabezal de descarga de las bombas de Transferencia TIT-40061	Indicador Analógico y Sparkline	Menor a 200 °F	Alta > 200 °F

Para que esto funcione correctamente, también es necesario la creación de UDTs que de igual forma permitan el agrupamiento de varios tags con las mismas propiedades. Los UDTs son los que reciben, envían y guardan la información de los diferentes tags y permiten su despliegue en el elemento que se desee.

Para entenderlo mejor, por ejemplo, se necesitan varios tags que representan a los diferentes transmisores de nivel, presión y temperatura usados a lo largo del proceso. Debido a que son de un mismo tipo, es decir transmisores, tendrán los mismos parámetros o características. La creación de estos elementos uno por uno sería un trabajo tedioso y largo, así que para optimizar los recursos se realiza la creación de un UDT para los objetos de transmisores. Cuando se crea un UDT se añaden todos los parámetros que tendrán esos tags y luego se procede a la creación de instancias de ese UDT para su uso específico a los diferentes tags. Esta diferenciación se realiza al asignar un parámetro específico a cada instancia del UDT, por ejemplo, el nombre del tag y a su vez este será el parámetro que diferencie la dirección del path de conexión con el PLC. Es así como las instancias guardan la información de cada tag requerido, pero nacen de la creación de un solo UDT para ese tipo de elementos.

En el presente proyecto se crearon UDTs para los siguientes tipos de objetos:

- Válvulas
- Bombas Booster
- Válvulas de Control
- Controladores
- Elementos Digitales
- Detectores de Fuego
- Detectores de Gas

- Indicadores de Caudal
- Bombas de Transferencia
- Transmisores Indicadores
- Interruptores de Posición

Luego de haber sido creados los UDTs indicados, se procedió a la creación de los diseños de los Templates Globales, a los cuales serían asignados posteriormente los UDTs. Es importante mencionar que se pueden crear uno o varios templates para cada UDT y se puede añadir una o varias UDTs a cada template.

A continuación, se describen los templates más importantes para cada elemento tipo junto a sus características y funcionalidades.

4.2.3.1.1 Valores Analógicos

Este elemento ha sido creado principalmente para la representación de todos los transmisores y transmisores indicadores que existen en el proyecto. Con su diseño y funcionalidad cumple todos los parámetros que debe tener para poder desplegar la información y datos que este tipo de elementos requiere.

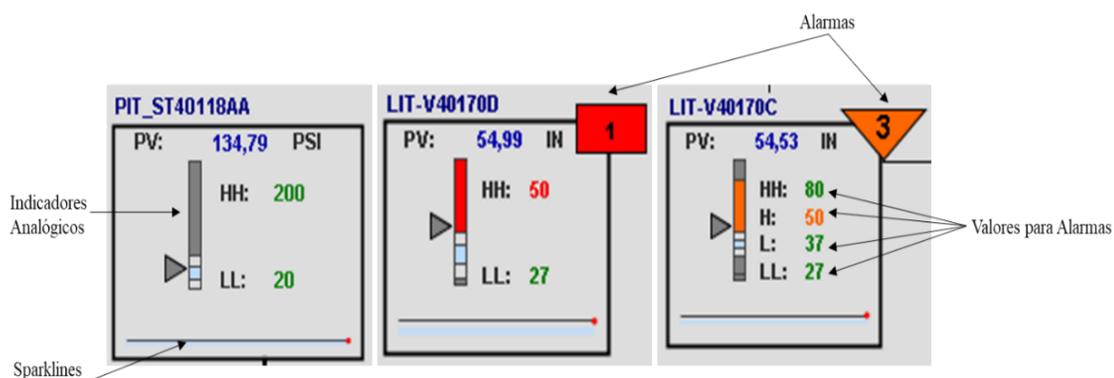


Figura 22. Valores Analógicos

Como se puede observar en la Figura 22, el diseño de este elemento muestra la información de su valor del proceso con sus respectivas unidades.

También se muestra los límites de valores para operación de muy alto, alto, bajo y muy bajo. Esta información es desplegada de acuerdo a la configuración deseada, es decir hay elementos que tienen los 4 valores y otros que no, así que dependiendo del tipo de elemento y sus parámetros se mostrarán los valores determinados.

Tanto los valores de la variable del proceso como de sus límites por alarmas también son representados en un indicador analógico. Este indicador tiene la propiedad de mostrar la posición actual e indica los rangos de las alarmas en un color gris. De esta forma se puede identificar fácilmente si el valor está cerca de alarmarse o está en un rango aceptable. Si se llega a activar una alarma, en estos rangos el color se tornará de gris a amarillo o rojo de acuerdo al tipo de alarma, dando la posibilidad de identificar rápidamente el problema.

Este elemento también incluye la representación de la variable del proceso en sparklines, permitiendo de esta forma ver la tendencia de cómo se ha venido comportando el proceso a lo largo del tiempo. Este tiempo puede ser configurable para mostrar la información de acuerdo a la necesidad del usuario.

4.2.3.1.2 Válvulas

Este tipo de elementos fueron creados para representar válvulas analógicas que no tienen funciones de control y que principalmente cumplen tareas de corte de flujo.

Este objeto muestra los estados de abierto, cerrado y en viaje de acuerdo al funcionamiento del proceso. A más de esto muestra el estado del permisivo del elemento, es decir si se encuentra habilitado o no y de igual forma del estado del Cmd out. Siguiendo las especificaciones de la guía de estilo, los estados abiertos o habilitados tienen un color blanco y los cerrados o deshabilitados un color gris como se muestra en la figura. Y también se le asignó la opción de mandarlo a cerrar o abrir desde el HMI.

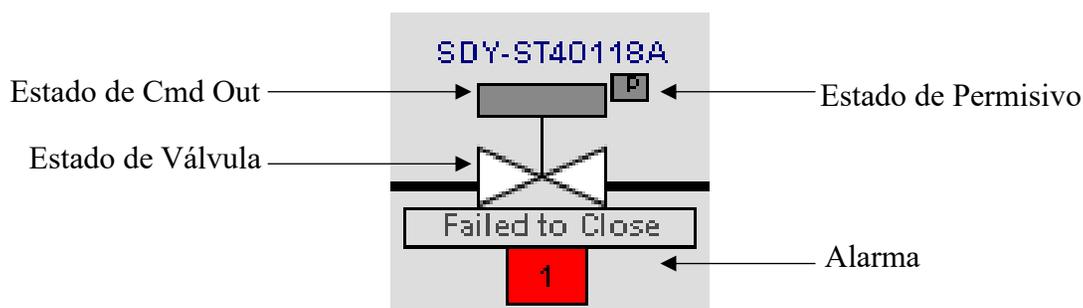


Figura 23. Válvulas

A más de lo dicho con anterioridad, a este elemento se le agregó una alarma de prioridad uno que se activa cuando se da una falla al abrir, al cerrar o un mismatch.

4.2.3.1.3 Bombas Booster

El elemento para bombas booster fue creado con varias funcionalidades. Este elemento muestra si la bomba está funcionando o está parada. También indica el estado de operación, es decir manual, manejada por el operador, automática o por secuencia. Además, muestra el estado de su permisivo y si se encuentra sobrecargada o no.

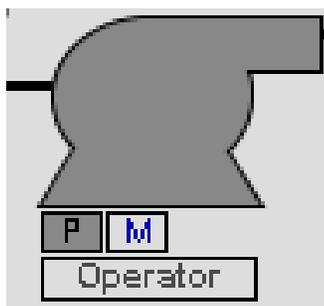


Figura 24. Booster

Las alarmas al igual que el caso de las válvulas analógicas, se activan cuando se tiene una falla al pararse o al iniciarse y estas órdenes se las puede enviar también desde el HMI.

4.2.3.1.4 Controladores

Según las indicaciones realizadas en la filosofía y guía de estilo HPHMI, a pesar de que los controladores no tienen una ubicación física como tal en el proceso, se los debe representar en el HMI pero no como válvulas u otro tipo de actuadores. Es por eso que se realizó el diseño para los objetos controladores con los parámetros que deben mostrar.



Figura 25. Controlador

Para este tipo de elementos se creó un diseño, como se puede observar en la figura, mediante el cual se puede ver la variable del proceso, el setpoint que tiene ese elemento, la salida del controlador y el modo de operación, es decir automática o manual.

También presenta alarmas cuando está en rangos fuera de los deseados de operación y al acceder mediante un click se despliega opciones de configuración e información más detallada del

lazo de control. Junto a este tipo de elementos se ubican las tendencias respectivas para que sean observables a primera vista.

4.2.3.1.5 Válvulas de Control

El diseño para las válvulas de control muestra el estado de la válvula, es decir abierta o cerrada y el valor del porcentaje de abertura, de ser el caso.

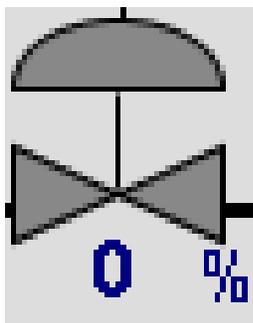


Figura 26. Válvula

4.2.3.1.6 Elementos Digitales

Los elementos digitales fueron creados principalmente con la función de indicar el tipo de alarma a la que están asociados y al acceder mediante click se puede cambiar su configuración para funcionamiento en bypass o normal.



Figura 27. Alarma Digital

4.2.3.1.7 Detectores de Fuego y de Gas

Los detectores de fuego y gas son elementos de protección del sistema. Su representación muestra el valor de la variable junto a los límites de alto y muy alto. Cuando sus límites muy altos

son alcanzados, se activan las alarmas respectivas y esto a su vez realiza el paro total del sistema. Su diseño se puede observar en la Figura 28.

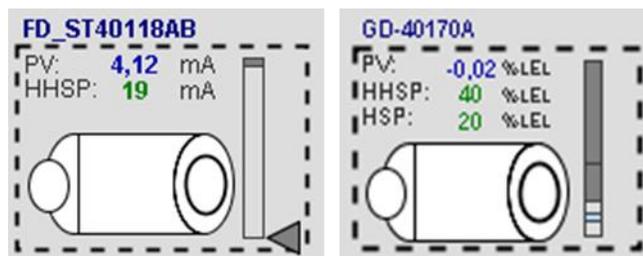


Figura 28. Detectores

Además, sus valores y rangos de operación son mostrados mediante el indicador analógico.

4.2.3.1.8 Bombas de Transferencia

Para las bombas de transferencia se creó un diseño según los principios de la filosofía y guía de estilo HPHMI, que indica si la bomba está en funcionamiento o está parada, además muestra el estado de su permisivo, como se muestra en la Figura 29.

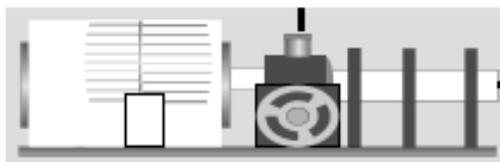


Figura 29. Bomba de Transferencia

También se puede acceder al hacer click sobre esta bomba y se podrá mandarla a abrir o cerrar según se lo requiera.

4.2.3.2 Diseño de las Pantallas para las etapas del proceso

Luego de haber realizado la creación y diseño de los elementos globales más importantes y esenciales para la representación del proceso y disponer de ellos para su uso, se procedió con la construcción y diseño de las diferentes pantallas para cada etapa.

A continuación, se describirá cómo se efectuó su desarrollo al aplicar la filosofía y guía de estilo creada y también se indicará su forma de funcionamiento.

4.2.3.2.1 Pantallas globales de uso común

Para algunos elementos globales se crearon pantallas dedicadas que se despliegan para realizar las configuraciones que le corresponden a cada uno. Estas pantallas fueron creadas de tipo pop-up y se desempeñan de tal manera que reciben los atributos de información del tag contenido en el elemento global, al hacer click sobre este.

4.2.3.2.1.1 Pop-up para los Elementos Analógicos

Para todos los elementos de tipo transmisores se creó un pop-up que permite configurar los valores de sus parámetros según se lo requiera mediante los campos de entrada que ofrece Ignition. También se puede observar el valor del proceso y su despliegue en un indicador analógico con sus rangos de operación elegidos. Además, se configuró la aparición de las alarmas determinadas de ser el caso y tiene las opciones de poner en estado de bypass el elemento y de ir fuera de línea. El estado de bypass indica que en ese momento el elemento no está siendo parte activa del proceso ya que puede estar en mantenimiento o revisión.

Como se puede ver en la Figura 30 también se añadió una tendencia para observar de mejor manera el comportamiento de la variable del elemento, con los límites de alarmas y cuenta con la opción de configurar el tiempo deseado de despliegue de la información.

Los parámetros configurables que se crearon y su función son los siguientes:

- D. Band y D. Bounce: son valores de configuración de banda muerta de acuerdo al tipo de elemento.

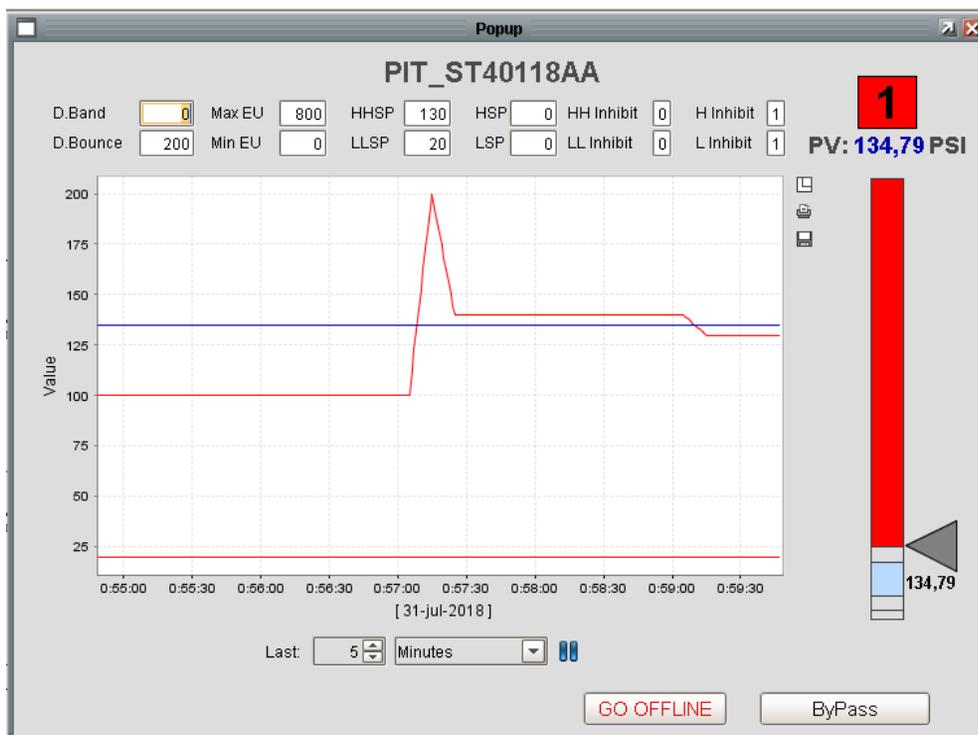


Figura 30. Pop-Up para valores Analógicos

- Max EU y Min EU: son los rangos eléctricos mínimo y máximo de funcionamiento del elemento, convertidos a unidades de ingeniería. Esto depende de sus características técnicas.
- HHSP, HSP, LSP y LLSP: son los valores para alarmas por muy alto, alto, bajo o muy bajo, de acuerdo a los requerimientos establecidos anteriormente.
- HH Inhibit, H Inhibit, L Inhibit, LL Inhibit: estos campos sirven para configurar si se desea hacer visibles u ocultar los diferentes valores de las alarmas. Por ejemplo, existen elementos que no tienen valores para los 4 tipos de alarmas (HH, H, L, LL), entonces al activar este parámetro se podrá inhibir su despliegue e influencia en el comportamiento del elemento.

4.2.3.2.1.2 Pop-up para los Elementos detectores de Fuego Y Gas

Este tipo de pop-up tiene las mismas características del pop-up de los elementos analógicos, pero añade la opción de poder conocer otros parámetros del dispositivo, como se puede ver en la Figura 31.

4.2.3.2.1.3 Pop-up para los Elementos de Control

Esta pantalla se creó con todas las prestaciones para poder configurar el elemento de control de acuerdo a lo que se necesite. Muestra toda la información del controlador, es decir, el valor del proceso, el set point y la salida de la acción de control. Y se despliega con las barras indicadoras analógicas y su tendencia respectiva.

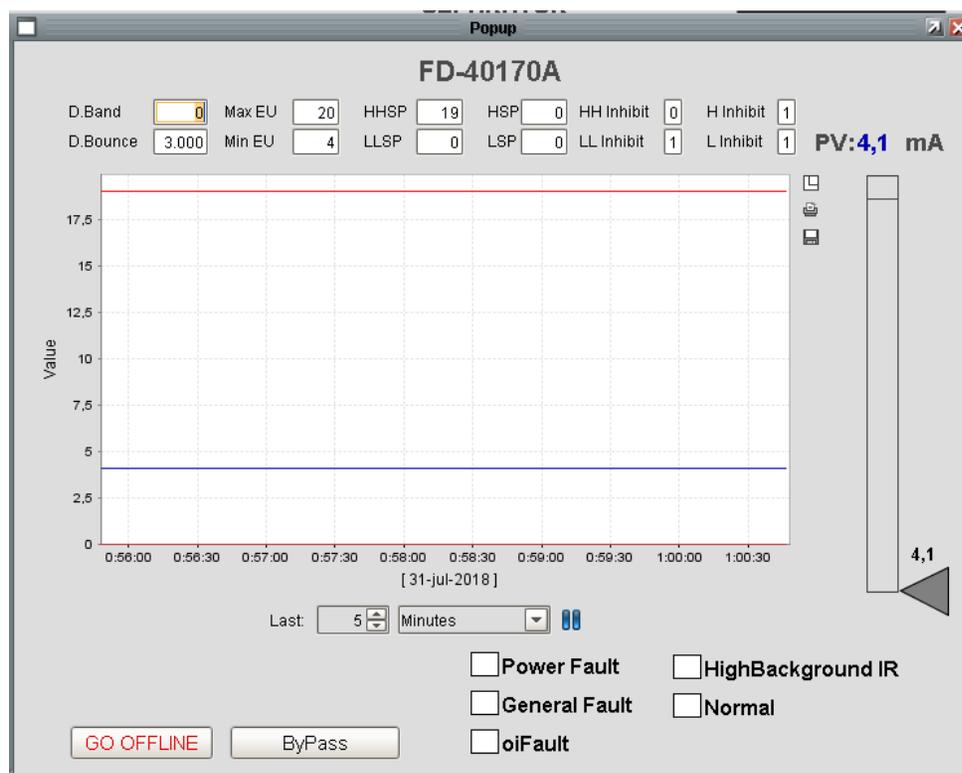


Figura 31. Pop-Up de elementos de Fuego y gas

Debido a que los controladores pueden funcionar en modo manual y automático se desarrolló la posibilidad de elegir cualquiera de los dos modos. Esto se lo hizo mediante la posibilidad de

cambiar el modo con un botón, el cual despliega la opción de editar los valores del set point y oculta esta posibilidad para los valores de la salida del controlador en el modo automático y viceversa cuando se selecciona el modo manual.

Además, como se puede observar en la Figura 32, mediante los campos de entrada que permiten modificar el valor de los tags a los que sean direccionados, se puede editar el valor de los modos del controlador junto con otros valores configurables de acuerdo a la necesidad.

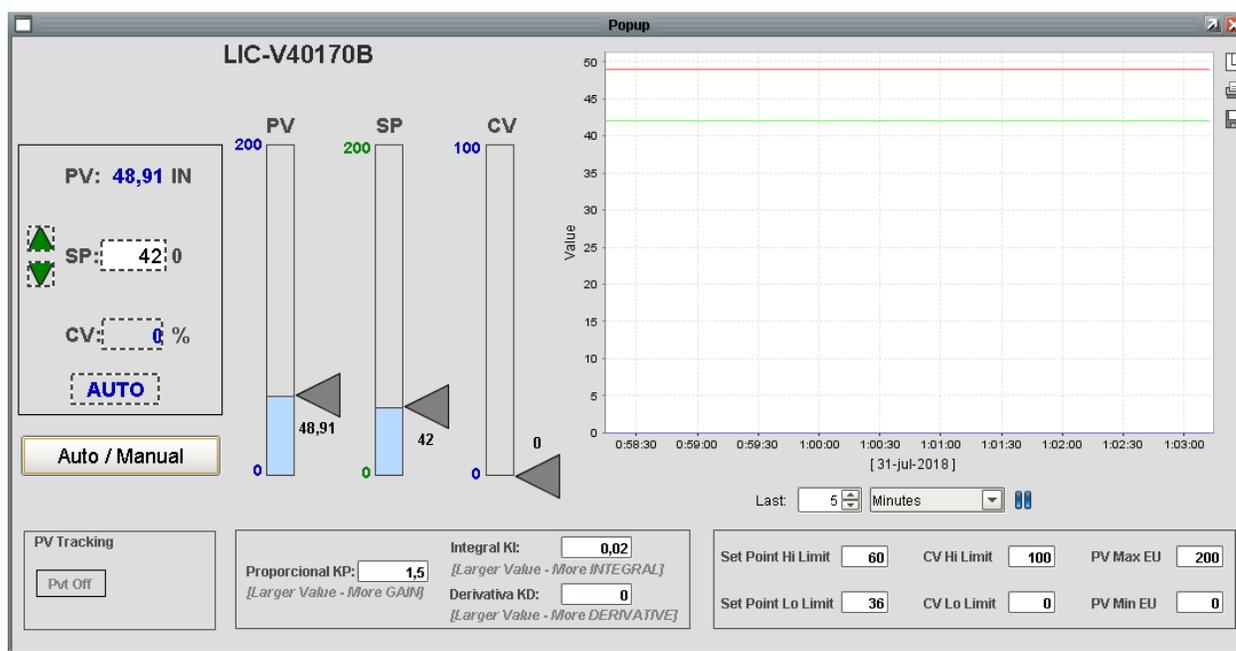


Figura 32. Pantalla de Control

4.2.3.2.1.4 Pop-up para Válvulas y Bombas

En este pop-up se realizó la configuración para el envío de la señal respectiva para que ejecute la acción de abrir o cerrar el elemento, como se observa en la Figura 33.

4.2.3.2.1.5 Representación de Interlocks (Bloqueo)

Aunque no es una pantalla como tal, se desarrolló una herramienta visual de uso global. Se creó una representación para protección del proceso en las etapas que así lo requieran.

Según los requerimientos existen algunos interlocks en ciertas etapas, que se cumplen cuando los valores del proceso alcanzan cierto límite que acciona un bloqueo en los elementos como válvulas, bombas, entre otros.



Figura 33. Pop-Up de Actuadores

Para que se pueda divisar este tipo de eventos de mejor manera, no sólo se dispuso del despliegue de alarmas, si no que se realizó la representación del evento de forma clara y en dos estados. Cuando está a punto de ocurrir el evento, se desarrolló el diseño de manera que se pueda divisar una línea entrecortada, con la identificación del interlock y señalando al valor que lo podría llegar a activar, como se puede observar en la Figura 34. Si no se pudo corregir el estado de advertencia, entonces se desarrolló el diseño respectivo para que se pueda ver los elementos afectados por el interlock, representados por líneas continuas para observarlo de forma clara, como se muestra en la Figura 35.

Posteriormente se vinculó todos los interlocks de los requisitos con la debida lógica de control de acuerdo a su correcto funcionamiento. Esta función de visualización se la realizó con el fin de

brindar al operador un recurso muy útil para prevención y protección de situaciones anormales en el proceso.

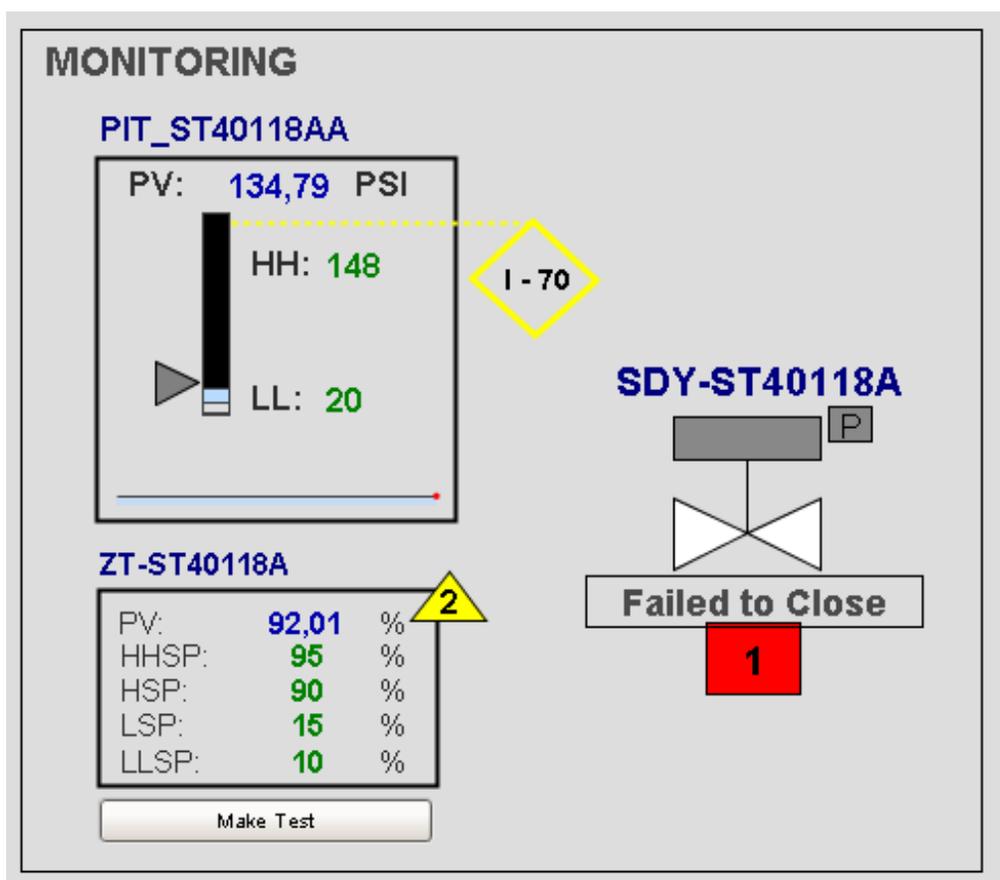


Figura 34. Riesgo de Interlock

4.2.3.2.2 Pantallas de Nivel 2

De acuerdo a la guía de estilo se pide que primero se realice el diseño y construcción de las pantallas de nivel 2 y 3, antes que la pantalla de nivel 1. Siguiendo todos los principios y elementos de diseño y los requisitos técnicos de funcionamiento se procedió a crear las pantallas de nivel 2 para cada etapa del proceso.

4.2.3.2.2.1 Pantalla de la Trampa Receptora (Pig Receiver)

Para el diseño de esta pantalla se utilizó una válvula, un transmisor indicador de presión, un transmisor de posición, dos detectores de fuego y una representación de la trampa receptora de herramienta, como se puede observar en la Figura 36.

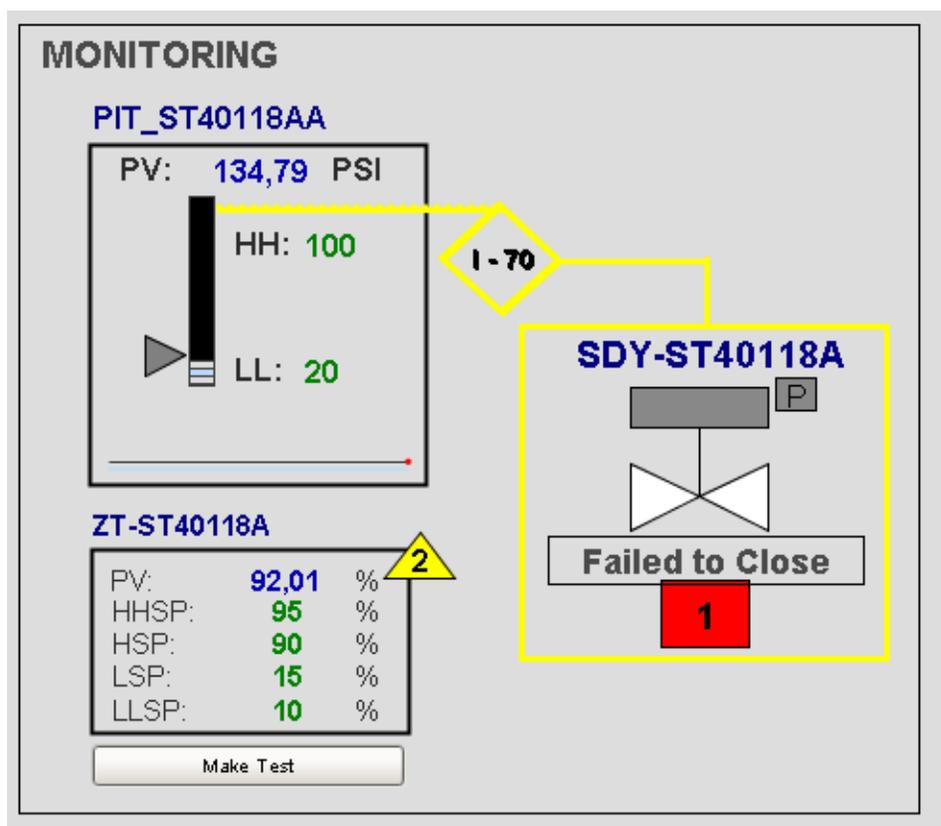


Figura 35. Interlock

4.2.3.2.2.2 Pantalla del Sistema de Mezclado Estático

En la construcción de esta pantalla se utilizó un transmisor indicador de presión, un transmisor indicador de temperatura, un transmisor indicador de flujo, un transmisor indicador de nivel, un controlador de nivel, una válvula de control y las representaciones de los mezcladores estáticos. A cada uno de los elementos globales se le asignó su tag por medio de la instancia de UDT respectivo

y se configuraron los valores de las alarmas según los requerimientos. El diseño de la pantalla se muestra en la Figura 37.

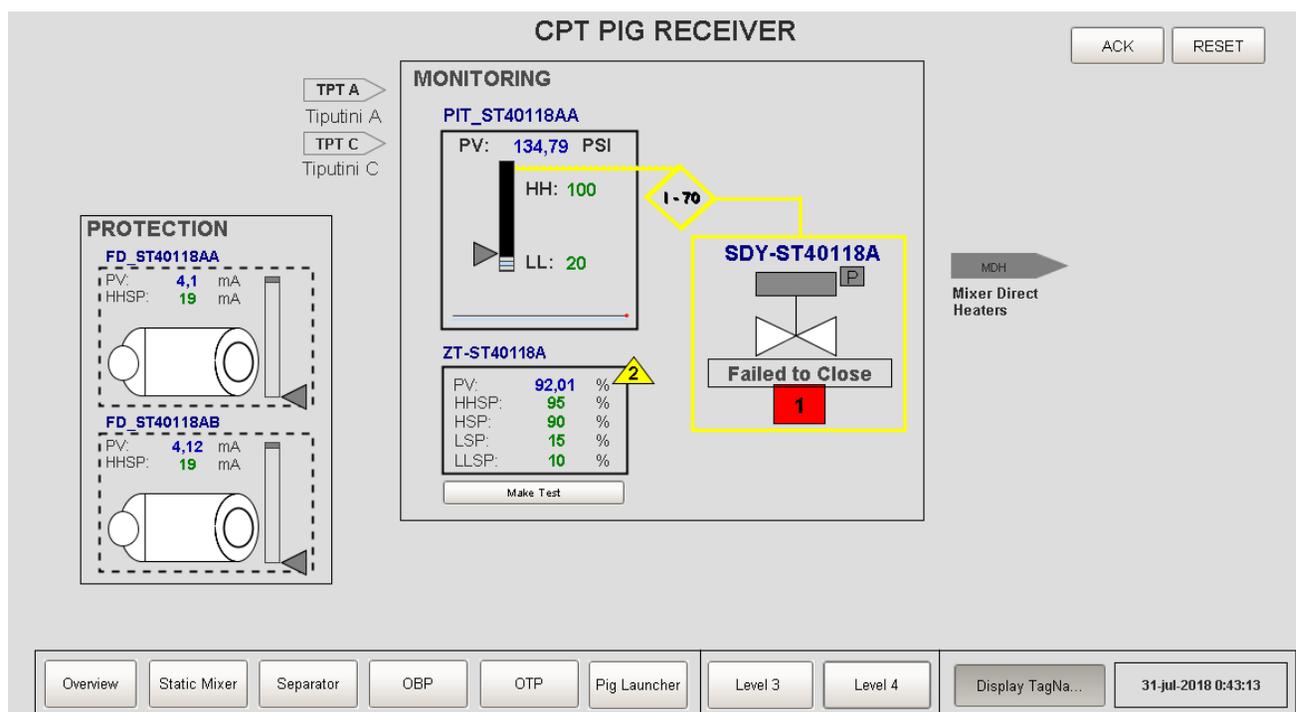


Figura 36. Pig Receiver Nivel 2

En esta etapa se realiza un monitoreo de presión y temperatura al ingreso del flujo a los mezcladores. Mediante los elementos transmisores indicadores se lee el valor de los tags de las variables indicadas y si se exceden los valores de operación permitida se activará la respectiva alarma. A los mezcladores también ingresa un flujo caliente de intercambiadores de calor que es leído por un transmisor de flujo y controlado por un controlador de temperatura. Junto al controlador de temperatura se tiene una tendencia para conocer el comportamiento de la variable.

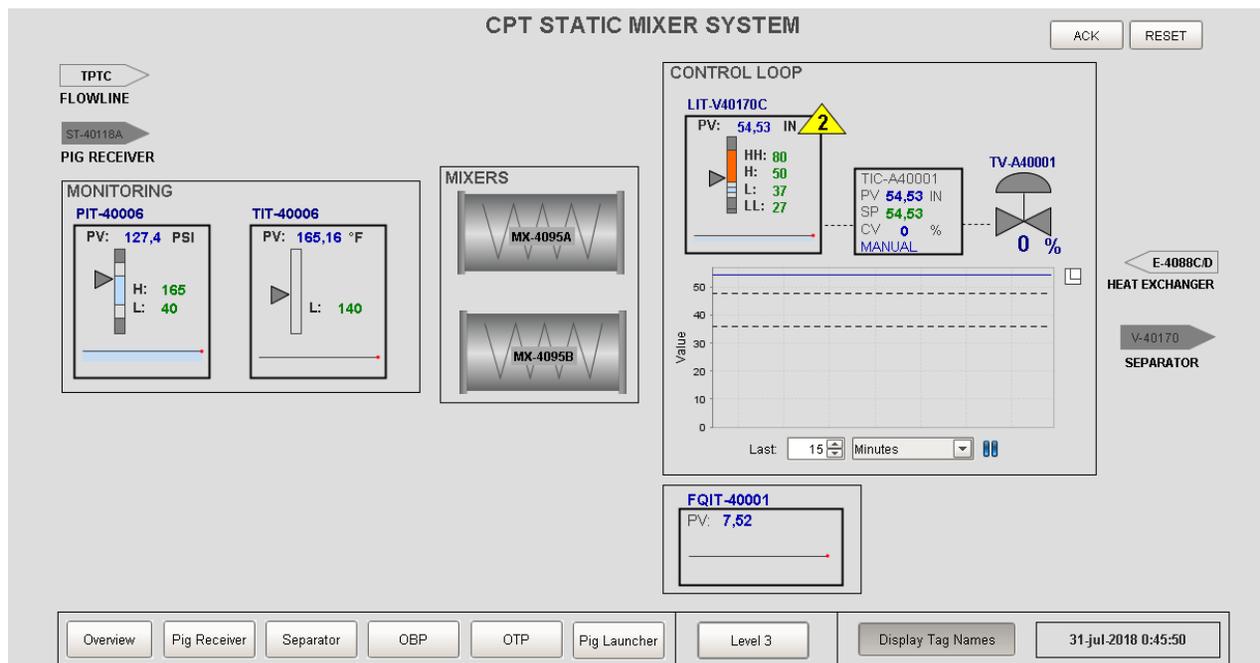


Figura 37. Mezclador estático Nivel 2

4.2.3.2.2.3 Pantalla del Separador

Para la creación de esta pantalla se procedió a la asignación de las instancias del UDT del tipo transmisores para dos transmisores indicadores de presión, cuatro transmisores indicadores de nivel, un transmisor indicador de temperatura, dos transmisores indicadores de flujo, un transmisor analizador de agua libre y sedimentos. Luego se realizó el mismo proceso para un controlador de presión y dos controladores de nivel. Posteriormente, como en las anteriores etapas se configuraron los valores de alarmas según los requisitos.

Luego de tener estos elementos con la información de sus respectivos tags se procedió a la creación del tanque separador con los parámetros de diseño de HPHMI. Para esto se insertaron tendencias embebidas en el tanque que muestran el nivel del crudo y agua presente.

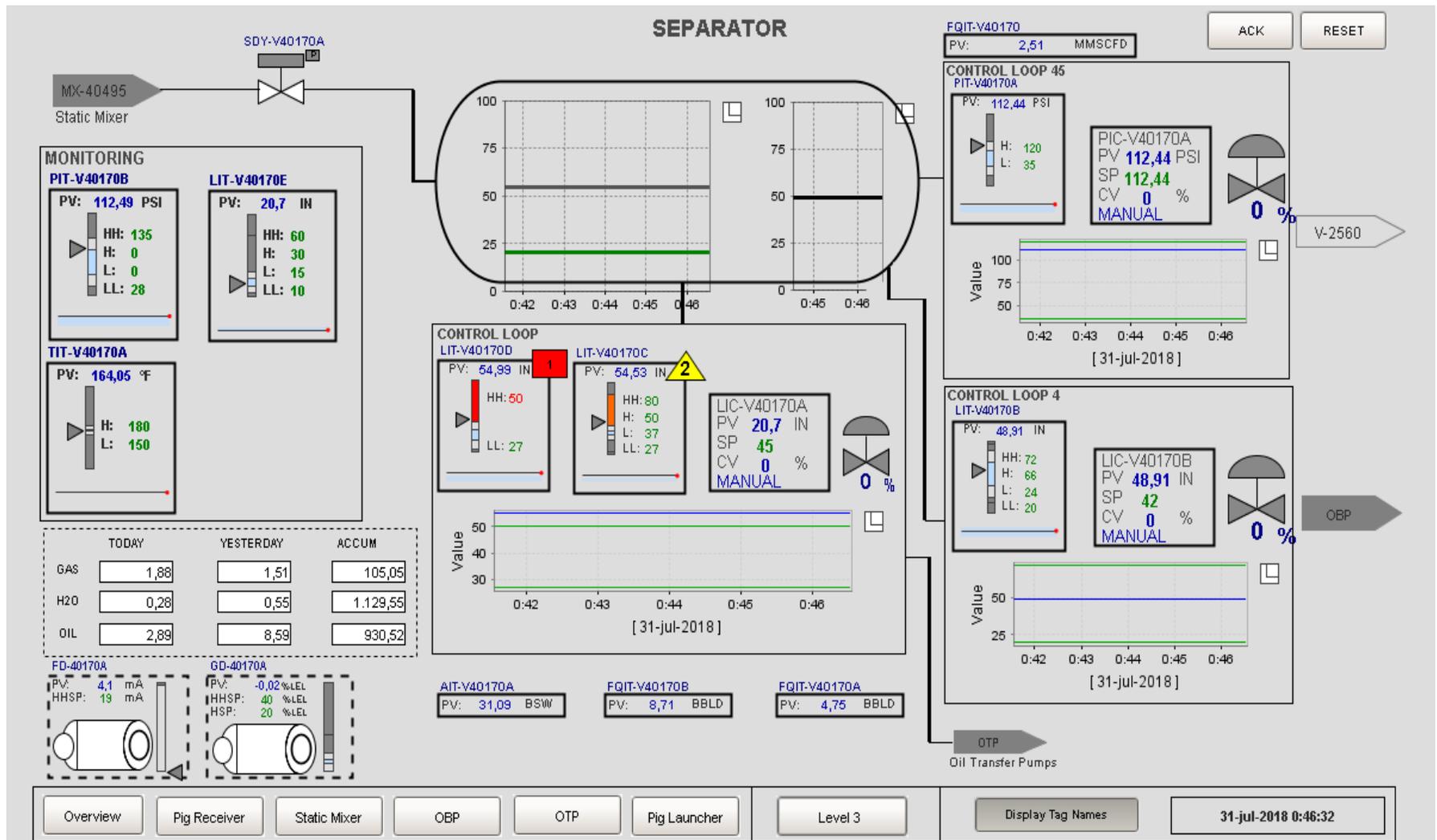


Figura 38. Separador Nivel 2

También se usó un detector de gas, un detector de fuego, tres válvulas de control y una válvula de corte. El diseño de esta pantalla se puede ver en la Figura 38.

El objetivo en esta etapa del proceso se centra en monitorear y controlar los diferentes valores de presión, temperatura, nivel y flujo dentro del tanque de separación. Este tanque realiza una función muy importante, ya que por medio de los efectos de presión y temperatura a la que está sometido el flujo, se separa el líquido constituido por agua y crudo del gas natural.

El flujo que viene desde la etapa del mezclador pasa por una válvula de corte para protección. Luego de ser separado, el gas resultante se dirige a un sistema combustible para ser empelado posteriormente como gas combustible, mientras que el fluido de crudo y agua se dirección a la etapa de bombas booster.

A continuación, se explica el funcionamiento de los elementos más importantes:

- Se creó el lazo de control de presión A, mediante el controlador PIC-V40170A que recibe los datos del transmisor indicador de presión PIT-V40170A, su función es controlar la válvula PV-V40170B, que mantiene la presión en la línea de salida de gas, indicada por los requisitos.
- Se colocó el transmisor indicador de flujo FQIT-V40170 en la salida de la línea de gas y que tiene como función leer y mostrar el dato de flujo de gas.
- Se creó el lazo de control de nivel B, mediante el controlador LIC-V40170B que recibe los datos del transmisor indicador de nivel LIT-V40170B, su función es mantener el nivel del separador dentro de los rangos establecidos. Si se está alcanzando los valores de alto para esta variable, el control se realiza mediante la variación de la velocidad de las bombas de transferencia que permitirá la salida del fluido. Si el nivel está bajando demasiado, la válvula de recirculación ubicada en la etapa de bombas de transferencia de igual forma

modulará el fluido para que recircule hacia el separador haciendo que las bombas operen a su mínima velocidad. Cuando se alcanzan los valores límites el sistema se alarmará.

- Para la recirculación del fluido desde el sistema de bombas de transferencia hacia el separador, se deberá operar de forma manual el porcentaje de apertura su válvula desde el HMI.
- El transmisor indicador de temperatura TIT-V40170A se encargará de leer y monitorear la variable del proceso junto a sus límites para alarmas.
- Los transmisores indicadores de nivel LIT-V40170C y LIT-V40170E monitorean el nivel de interface en el tanque junto a sus rangos de alarmas establecidos.
- Luego se añadió el transmisor indicador de nivel LIT-V40170D, al cual se le asoció la función de cerrar la válvula SDV-V40170A mediante los respectivos interlocks establecidos en los requisitos, por muy alto y muy bajo nivel. A este elemento también se le asignó la función de apagar las bombas booster en las condiciones anormales.
- De igual forma se añadió y configuró el transmisor indicador de presión PIT-V40170B, que también cierra la válvula SDV-V40170 por muy alta y muy baja presión, mediante el interlock I-A1, establecido en los requisitos.
- También se añadieron y configuraron los elementos detectores de gas y de fuego para que activen sus alarmas si se exceden los límites permitidos por el proceso.

4.2.3.2.4 Pantalla del Sistema de Bombas Booster

Para la creación de esta pantalla se procedió a agregar tres elementos de tipo bombas booster con su respectivo funcionamiento. Luego se añadieron y configuraron, con sus valores del proceso y límites de alarmas, por medio de las instancias creadas a partir del respectivo UDT de sus tipos de tags, ocho transmisores indicadores de presión y un transmisor indicador de temperatura.

El respectivo diseño se puede ver en la Figura 39.

El transmisor indicador de presión PIT-A40001, fue configurado para el monitoreo de la presión al ingreso del cabezal de succión de las bombas y despliega las alarmas de alto y bajo que están asignadas, según su requisito.

Luego se añadieron y configuraron un grupo de tres transmisores indicadores de presión al inicio de la succión de cada bomba, con el fin de leer el valor de presión y alarmarse por valores de alta, baja y muy baja presión establecidos. A más de esto se le asignó la función de apagar la bomba respectiva mediante el interlock i-A8, cuando se dan estas condiciones anormales.

De igual forma se añadió otro grupo de transmisores indicadores de presión a la descarga de cada bomba, consus configuraciones respectivas para mostrar alarmas de alta y muy baja presión.

Finalmente se añadió y configuró el transmisor indicador de presión PIT-A40002 y el transmisor indicador de TIT-A4000, desarrollados con la función de monitorear sus respectivas variables de medida con las alarmas establecidas para cada uno.

4.2.3.2.2.5 Pantalla de Bombas de Transferencia

Para la construcción de esta pantalla se procedió a usar y añadir los siguientes elementos globales: un transmisor indicador de nivel, tres transmisores indicadores de presión, un transmisor indicador de temperatura, un transmisor de temperatura, un transmisor de velocidad, una bomba de transferencia. seis elementos digitales, una válvula de corte, un detector de fuego y un detector de gas. El diseño se puede apreciar en la Figura 40.

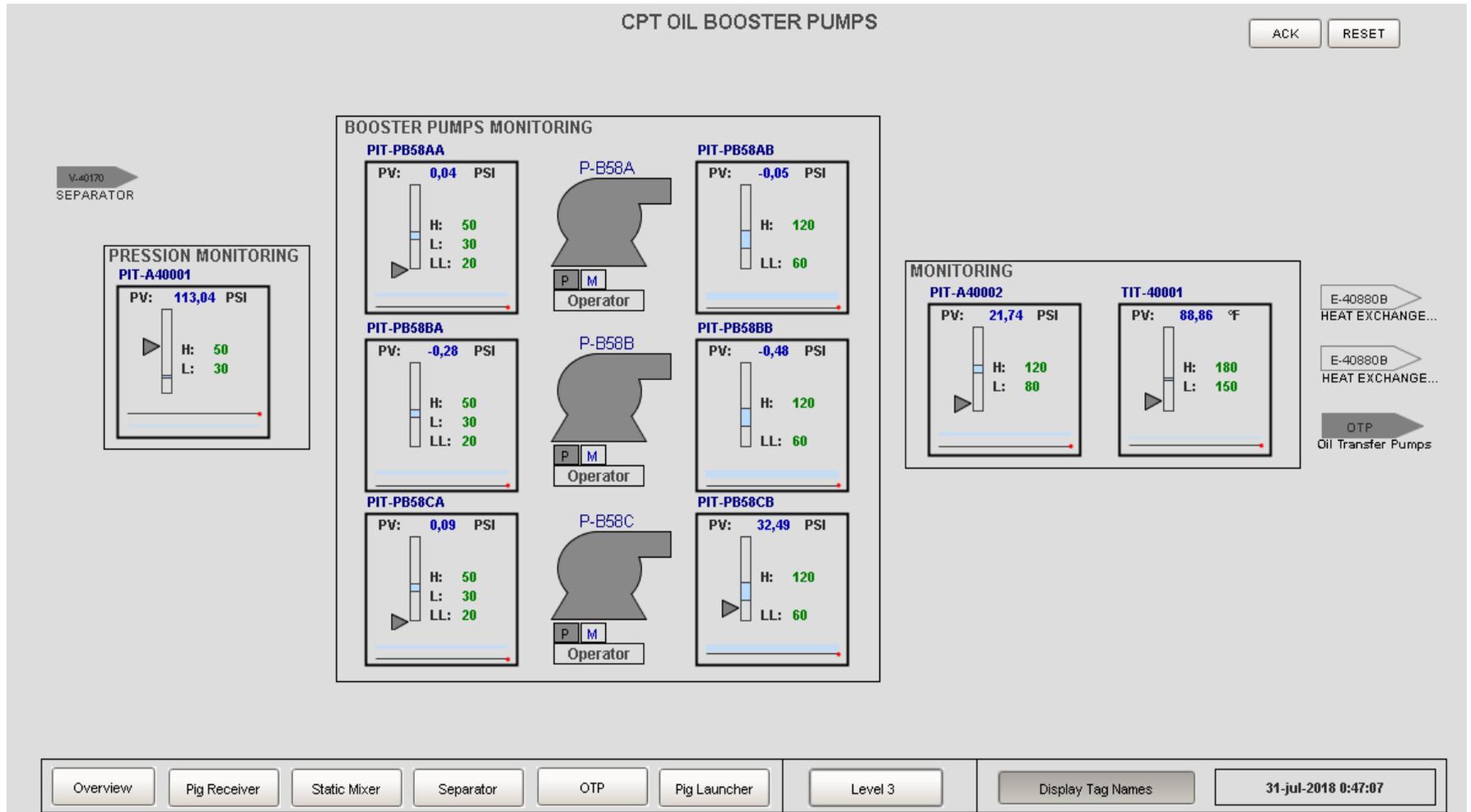


Figura 39. Pantalla Nivel 2 Bombas Booster

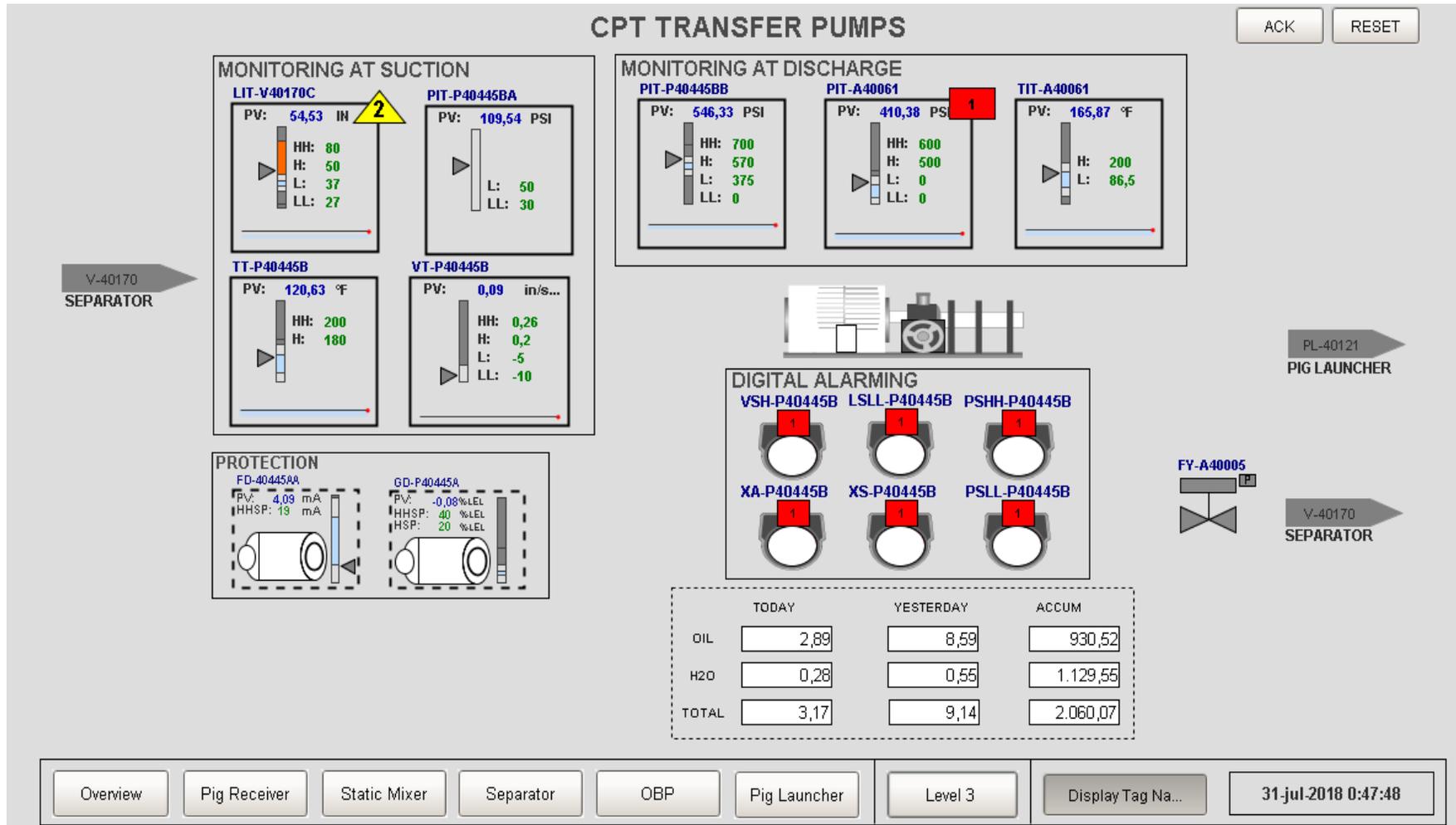


Figura 40. Pantalla Nivel 2 Bombas de Transferencia

Luego de haber añadido los elementos mencionados se procedió a la configuración y asignación de atributos y alarmas de acuerdo con lo establecido. El principal objetivo en esta etapa del proceso es monitorear la presión al ingreso y salida de la bomba de transferencia. En la succión de la bomba se procedió a ubicar al transmisor indicador de presión PIT-P40445BA con sus alarmas por baja y muy baja presión. A la descarga de la bomba se ubicó el transmisor indicador de presión PIT-P40445BB, con sus alarmas configuradas para baja presión, alta presión y muy alta presión.

La velocidad de la bomba de transferencia también es monitoreada y controlador a través de los datos que recibe el controlador de nivel desde el transmisor indicador de nivel LIT-V40170C o LIT-V40170D, ubicados en el separador.

Además, cuenta con los demás elementos añadidos para el total monitoreo a lo largo del paso del flujo por este sistema y que despliegan y muestran las respectivas alarmas que fueron asignados a cada uno. Luego de su paso por la bomba, el flujo sale con mayor presión y se dirige hacia la etapa del lanzador y una parte recircula hacia el separador, con el flujo controlado manualmente por la válvula FV-A40005.

4.2.3.2.2.6 Pantalla de Trampa Lanzadora de Herramienta (Pig Launcher)

Para la etapa final del proceso, primero se añadió, un transmisor indicador de presión, una válvula de corte y un transmisor de posición. Luego se procedió a la configuración de las alarmas correspondientes a los límites de operación, según lo establecido, a los elementos de monitoreo de presión y posición. También se hizo el desarrollo respectivo para el despliegue de la alarma asignada a la válvula de cierre. El diseño se puede observar en la figura Figura 41.

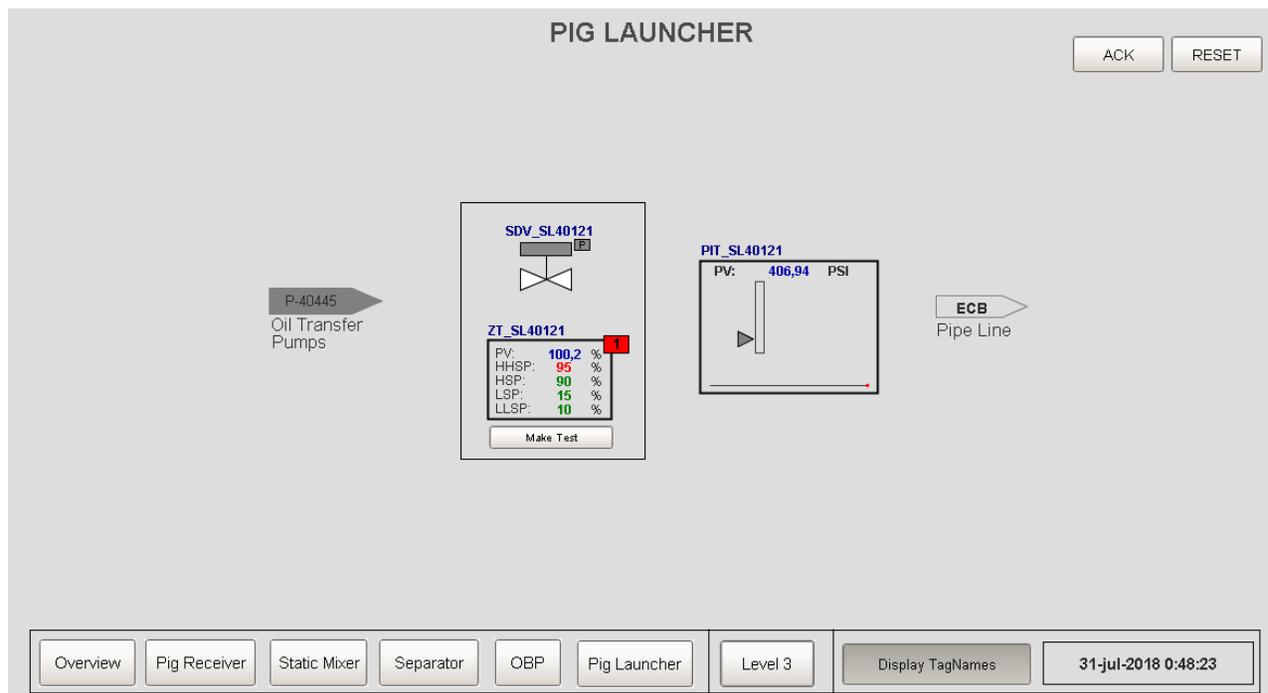


Figura 41. Pantalla Nivel 2 de Trampa Lanzadora

Posteriormente se configuró la acción del transmisor indicador de presión, la cual consiste en que, mediante el interlock I-173 en alarma de muy alta presión, se accione la válvula de cierre. Esta es la etapa final de este proceso. Por aquí se traslada el flujo que anteriormente pasó por las bombas de transferencia y es dirigido hacia el siguiente proceso que corresponda.

4.2.3.2.3 Pantallas de Nivel 3

De acuerdo a lo establecido por la guía de estilo basada en la norma ANSI/ISA, las pantallas de nivel tres presentan información más detallada del proceso al que representan, principalmente en la forma de representación pictórico del proceso. Las pantallas de nivel 3 son las que se tienen tradicionalmente en todos los HMIs.

Debido a que las principales funciones en estas pantallas son las mismas que en el nivel 2, aumentando ciertos detalles, se realizará la descripción de la información o funciones que fueron añadidas para estas pantallas cuando sea necesario, con el fin de no caer en la redundancia de la

explicación de las mismas funciones realizadas por las pantallas de nivel 2 de cada etapa del proceso.

4.2.3.2.3.1 Pantalla de Nivel 3 para la Trampa Receptora

En la pantalla nivel 3 de la trampa receptora se realizó principalmente la representación pictórica del proceso, con una idea más clara del flujo del mismo, como se observa en la Figura 42.

4.2.3.2.3.2 Pantalla de Nivel 3 para el Mezclador Estático

En la pantalla de nivel 3 para el mezclador estático, de igual forma se realizó la representación pictórica del proceso y se estableció una idea más clara de la disposición de los elementos. Su diseño realizado se puede observar en la Figura 43.

4.2.3.2.3.3 Pantalla de Nivel 3 para el Separador

Para la pantalla de nivel 3 de la etapa del Separador, se realizó otra forma de mostrar los valores analógicos del proceso. Se incrementó la opción de cambiar el transmisor para realizar la acción de control de nivel y se adicionó un radar de nivel para tener otro elemento que sirva de ayuda para el monitoreo del proceso. Su diseño se lo puede observar en la Figura 44.

4.2.3.2.3.4 Pantalla de Nivel 3 para el Bombas Booster

Se realizó el diseño pictórico del proceso, permitiendo observar de mejor manera el flujo del proceso, como se puede ver en la Figura 45.

4.2.3.2.3.5 Pantalla de Nivel 3 para Bombas de Transferencia

Para esta etapa del proceso se diseñó la representación pictórica del proceso y se puede observar las diferentes salidas que son de importancia para conocerlo de mejor manera, como se observa en la Figura 46.

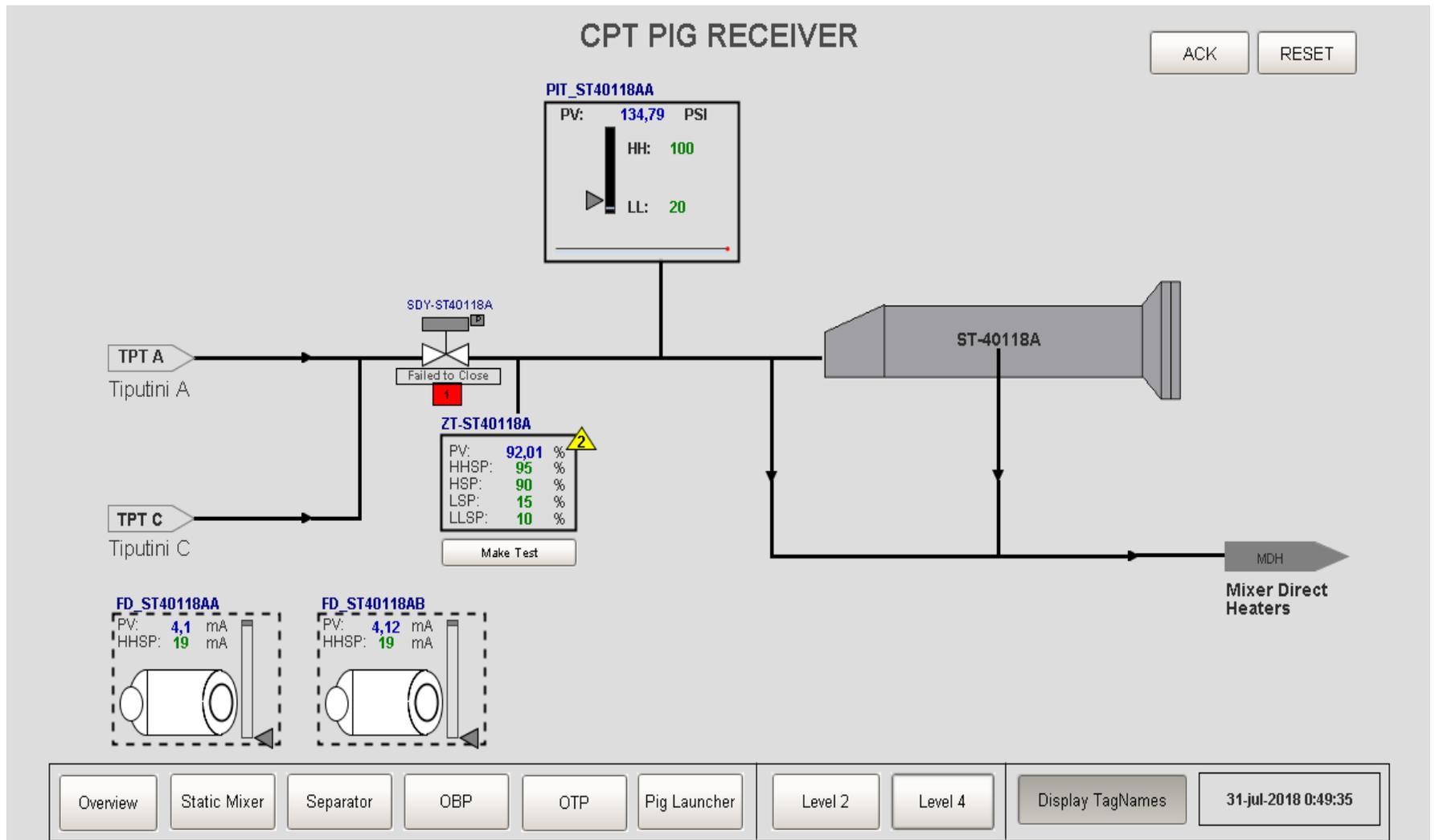


Figura 42. Pantalla de Nivel 3 para Trampa Recibidora

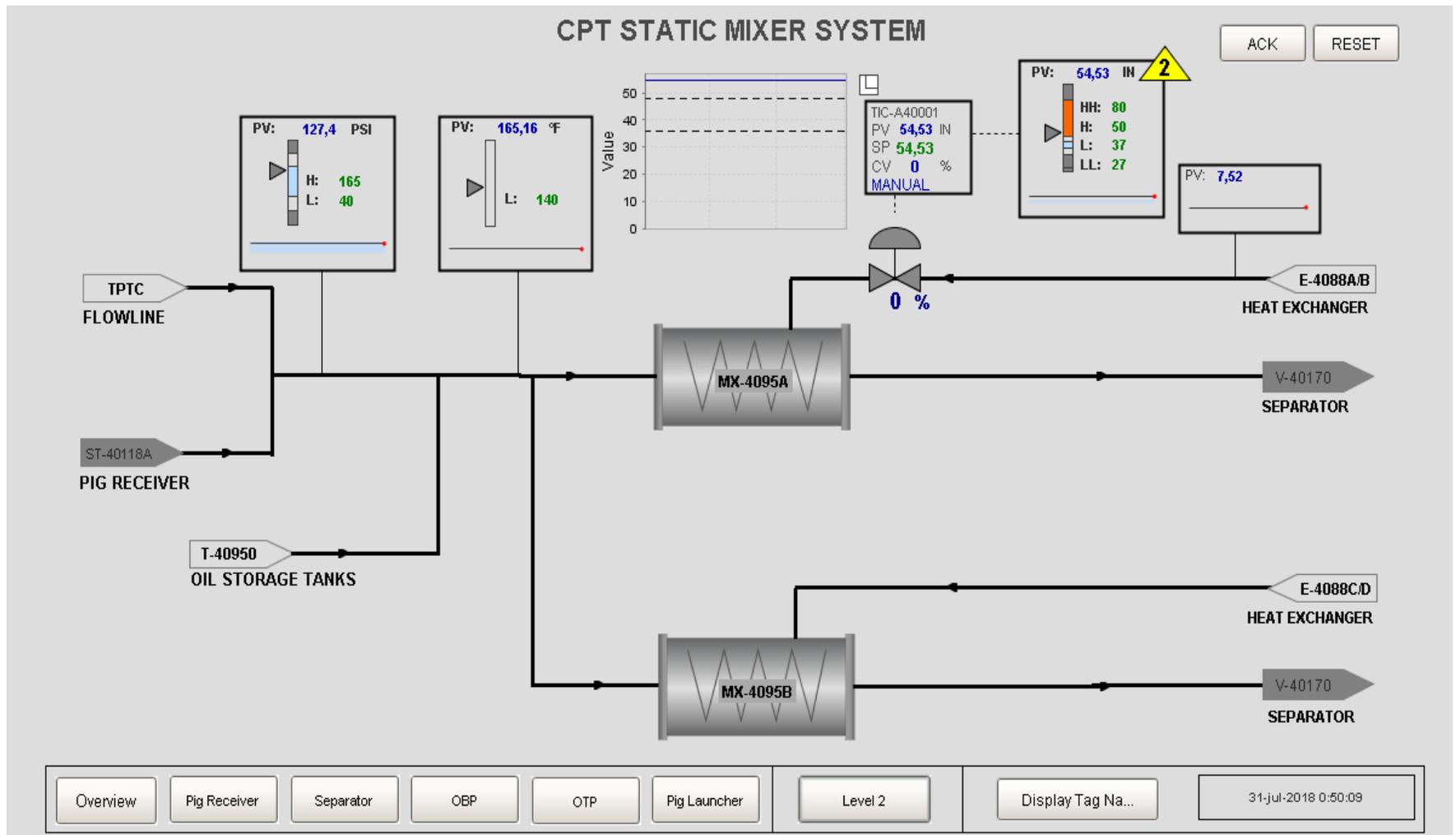


Figura 43. Pantalla de Nivel 3 para el sistema de Mezclador estático

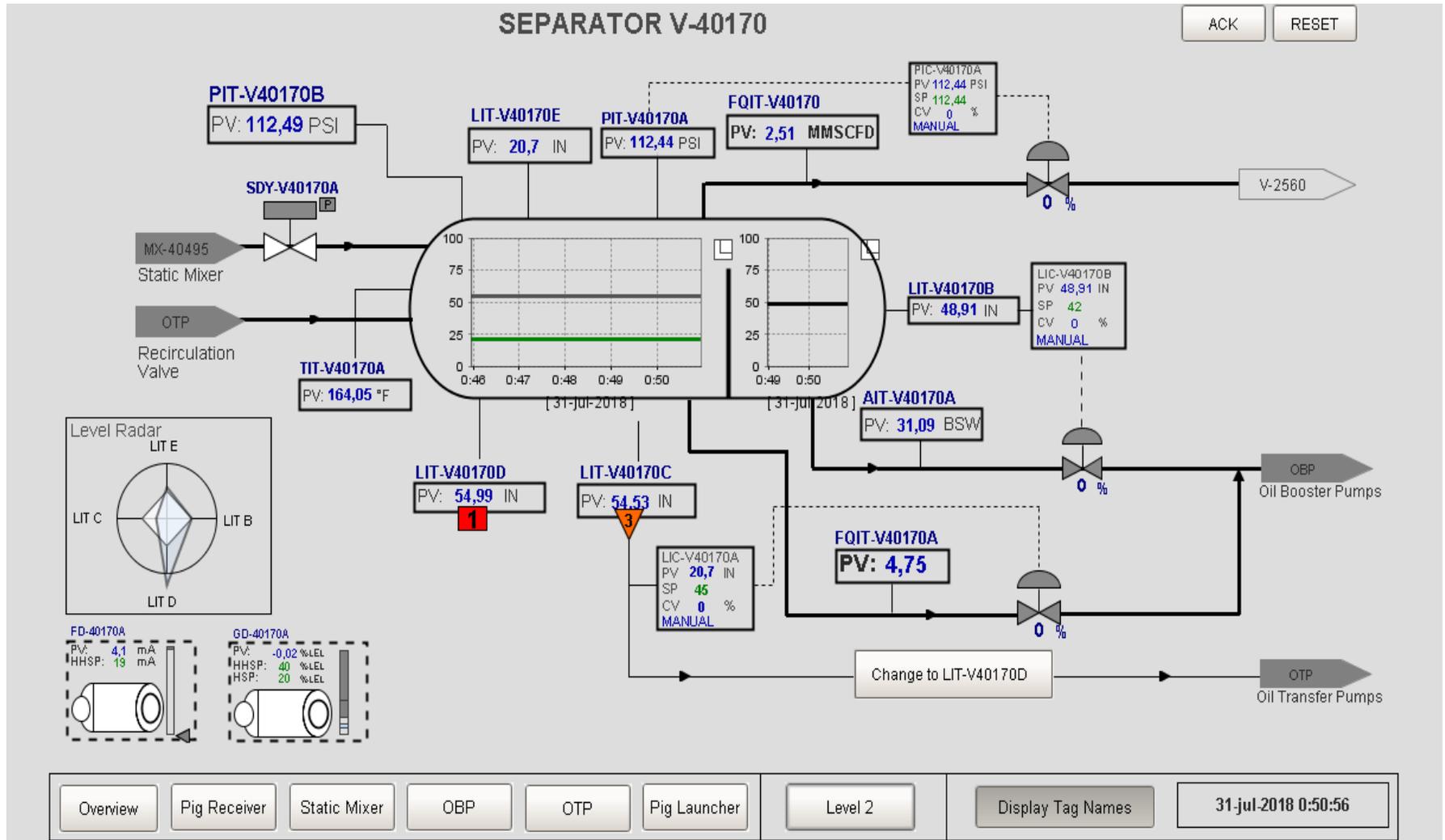


Figura 44. Pantalla de Nivel 3 para el Separador

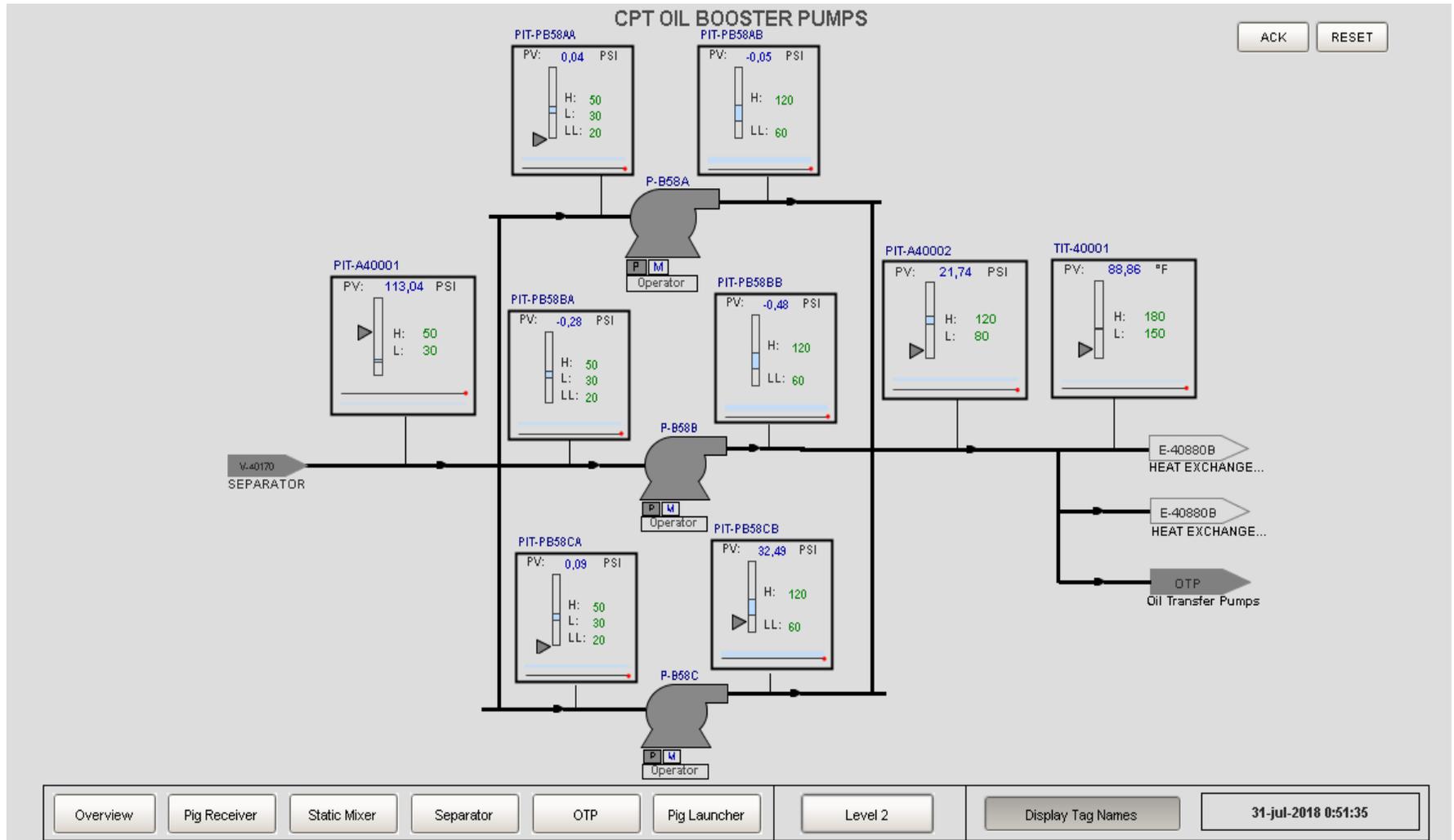


Figura 45. Patalla de Nivel 3 para Bombas Booster

4.2.3.2.3.6 Pantalla de Nivel 3 para la Herramienta Lanzadora

Para finalizar con el diseño de las pantallas de nivel tres, se creó la respectiva pantalla para la trampa lanzadora y como se puede ver en la Figura 47 se añadió el elemento de la trampa lanzadora como tal, mostrando más detalle del flujo del proceso.

4.2.3.2.4 Pantallas de Nivel 4

Las pantallas de nivel 4 se crearon de forma similar para todos los procesos, cambiando sólo la información específica que se muestra. Estas pantallas fueron creadas con la finalidad de mostrar el detalle de las alarmas que se han generado hasta ese instante, la opción de reconocerlas y borrarlas, como también se desarrolló la opción de desplegar su tendencia para conocer su comportamiento.

A más de esto, se insertó una tabla informativa de los respectivos interlocks existentes en cada etapa, teniendo en cuenta que no en todos los procesos existen requerimientos de interlock. En esta tabla se muestra la razón de activación o el iniciador y la acción que se debe realizar para corregir el problema, junto al estado de cada uno. En la Figura 48 se puede observar claramente lo dicho.

4.2.3.2.5 Pantalla de Nivel 1

Luego de haber realizado toda la creación, diseño, configuración y organización de todas las pantallas antes mencionadas, se prosiguió con la creación de la pantalla de nivel 1, que es aquella que muestra la visión general de todo el proceso.

Para la creación de esta pantalla se dividió su espacio para poder desplegar el estado de cada etapa del proceso. Luego se realizó el análisis de los valores y elementos más importantes que se deben mostrar en una visión general para tener una idea en un vistazo.

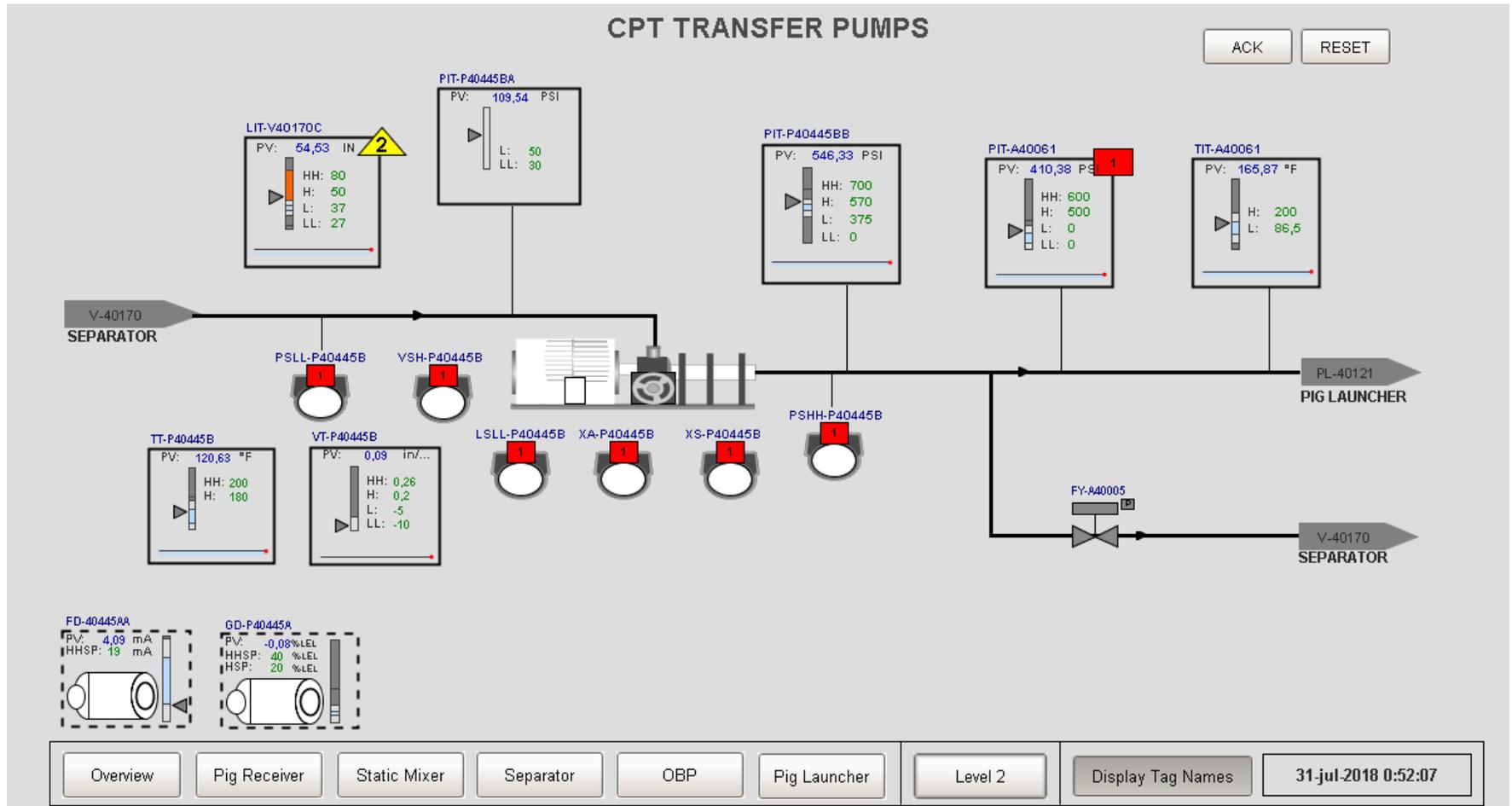


Figura 46. Pantalla de Nivel 3 para Bombas de Transferencia

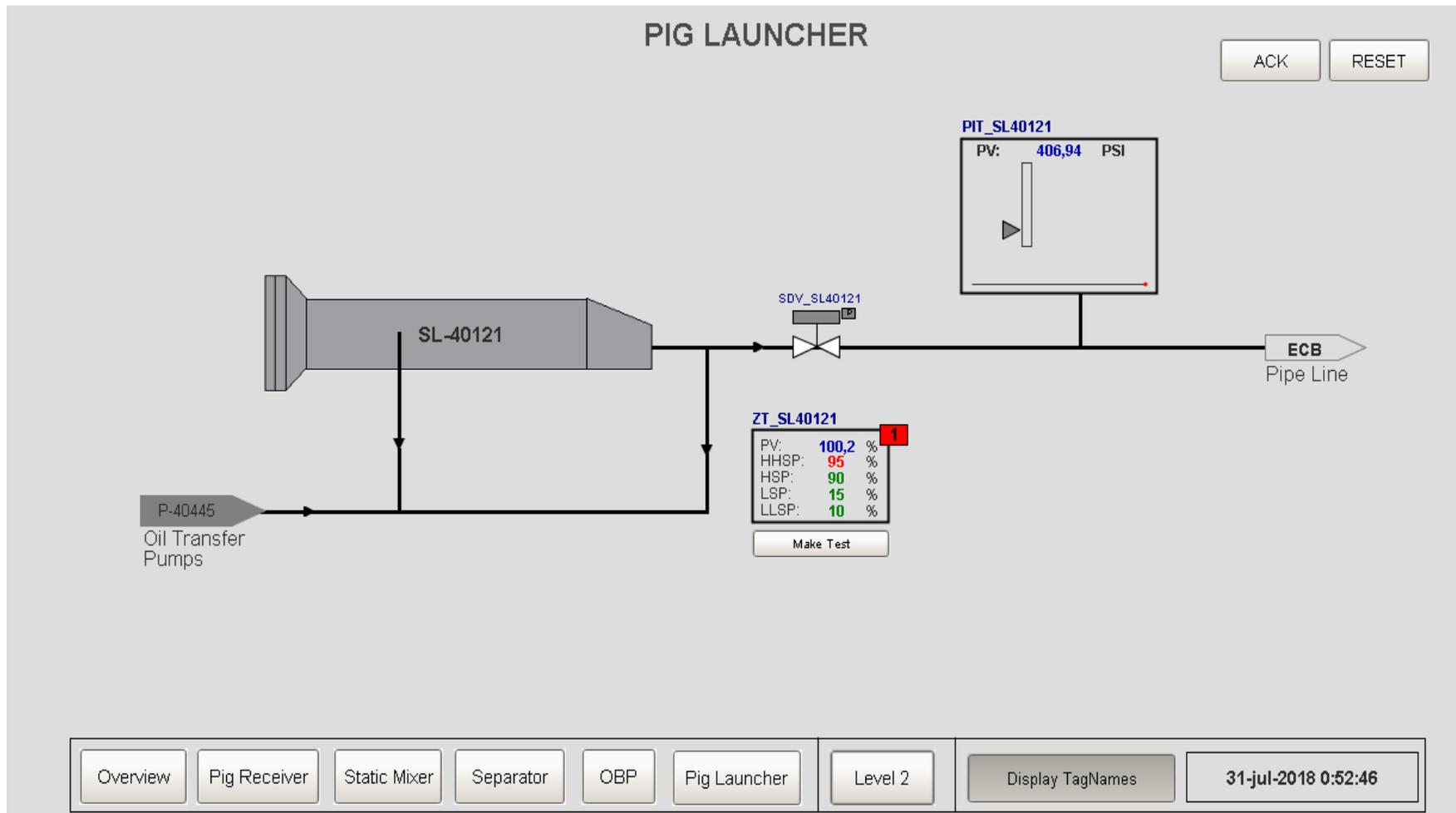


Figura 47. Pantalla de Nivel 3 para trampa Lanzadora

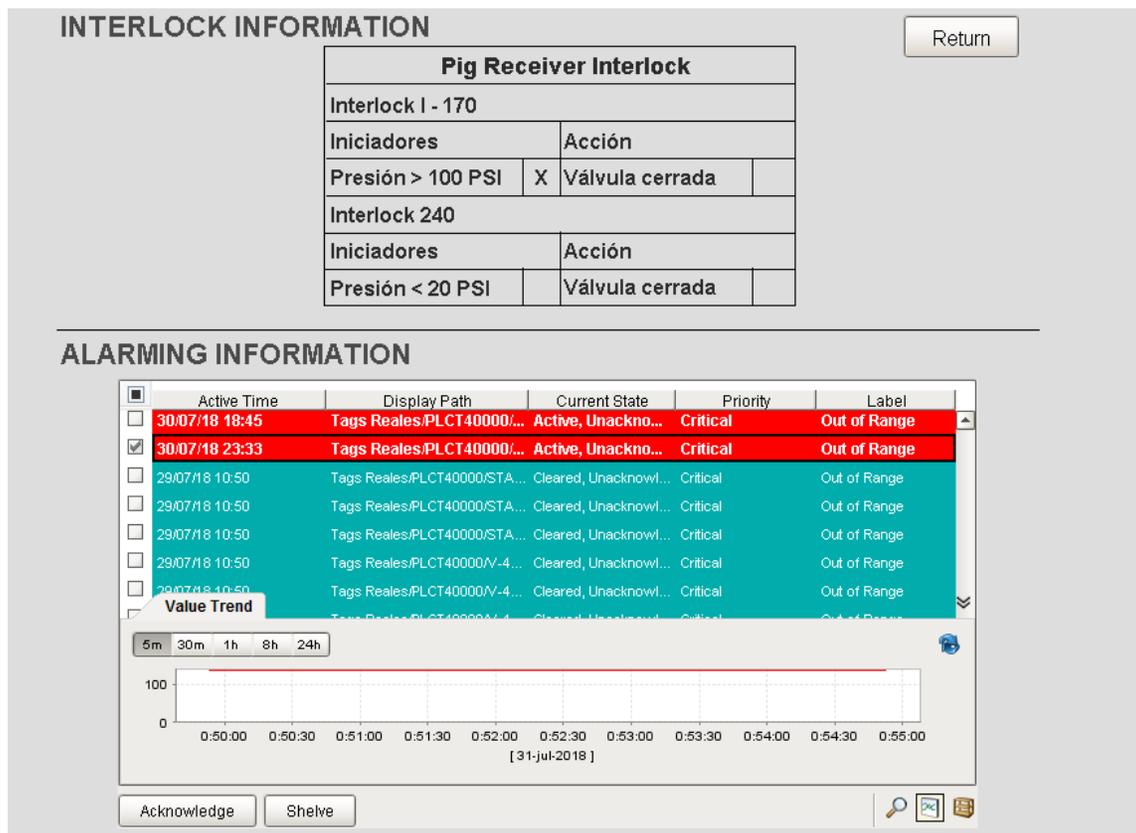


Figura 48. Pantallas de Nivel 4

Luego de disponer la información más importante de cada etapa, vincularla con su respectiva información, se procedió a añadir información de los KPIs del proceso. Se realizó un análisis para establecer los indicadores claves de rendimiento importantes para este proceso, los cuales se definieron como el valor del analizador del contenido de agua libre y sedimentos contenidos en el crudo. Este es un valor importante ya que su medida en valores bajos evita la presencia de suciedad y por consiguiente dificultades para el procesamiento del crudo y daños de equipos.

El otro KPI establecido fue el valor de la cantidad de barriles de petróleo, netamente de crudo, que se procesan al día. Claramente este valor es de vital importancia para conocer la cantidad de producción que se está ejecutando en el proceso.

Finalmente se añadió la información de las alarmas de todo el proceso para tener la idea general y clara del estado del proceso y cómo se ha ido desarrollando.

Mediante esta pantalla también se podrá navegar por las diferentes etapas del proceso. En la Figura 49 se puede ver su diseño.

4.3 Instalación, Integración y Puesta en Funcionamiento

Luego de haber desarrollado todos los elementos y pantallas que se van a utilizar se procedió a la configuración del entorno de trabajo para que la lógica de control pueda funcionar con el HPHMI y con el respectivo PLC, teniendo así los elementos integrados.

Para que esto sea posible se realizaron ciertas acciones importantes en el software que serán descritas a continuación.

4.3.1 Software para funcionamiento

En primer lugar, se debe tener todos los programas instalados en una misma red para que exista la correcta comunicación. En este caso se usó RS Logix 5000, RS Logix Emulate e IGNITION como los programas principales para el desarrollo, puesta en funcionamiento y pruebas.

Sin embargo, a más de estos programas fue importante el uso de otro software para la comunicación del sistema. Debido a que la conexión del entorno Ignition con el respectivo PLC o su simulador se lo realiza mediante OPC, se tuvo que instalar el programa OPC CORE COMPONENTS, con el objetivo de que Ignition pueda reconocer sin problemas el tópico respectivo de la lógica de control y funcione correctamente. Otro paso importante fue la instalación de un programa que maneje base de datos, ya que es necesario el uso de la misma para el correcto funcionamiento de las prestaciones de Ignition con respecto a los elementos y utilidades que se emplearon. Para esto Ignition ofrece una gama de varios sistemas de base de datos que se puede instalar a conveniencia, en este caso se usó el software MySQL.

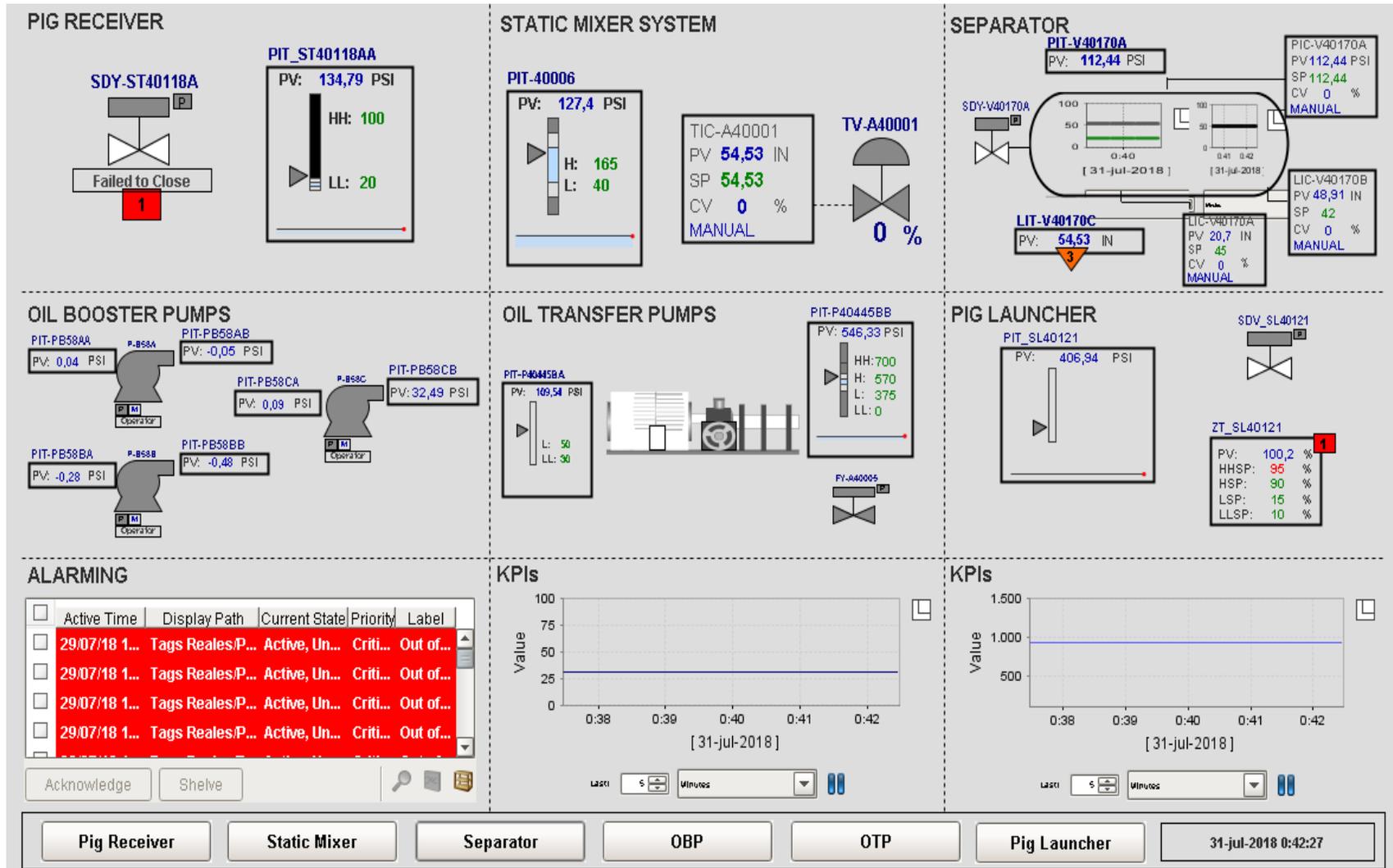


Figura 49. Pantalla de Visión General Nivel 1

Con todos estos programas en un mismo entorno de red se procedió a la configuración, comunicación e integración de todos ellos.

4.3.2 Añadir un PLC

Luego de tener instalado el software pertinente se procedió a agregar los elementos necesarios para su funcionamiento.

Para poder usar un PLC, a más de añadir la lógica de control mediante RS Logix 5000, se tuvo que hacer la configuración correspondiente mediante Ignition. En su entorno existe la opción de agregar dispositivos, mediante la misma se puede añadir cualquier tipo de PLC de cualquier marca mediante OPC (Figura 50).

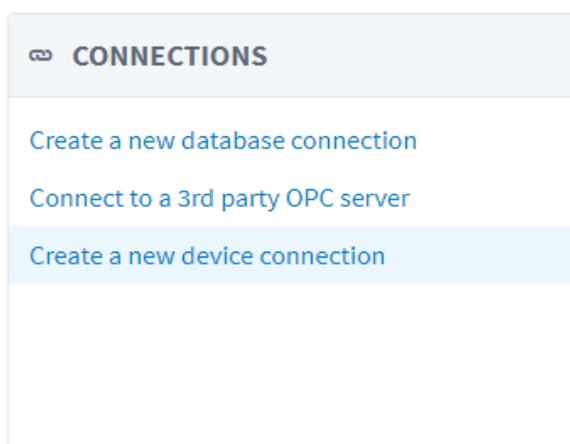


Figura 50. Conexión de un dispositivo

Luego de escoger la opción de añadir un nuevo dispositivo, se procedió a elegir el tipo de controlador que se va a utilizar. En este caso fue un Control Logix 1756 de la familia de los controladores Allen-Bradley Logix Driver (

Figura 51).

Finalmente se procedió a la configuración de la conexión con respecto al nombre a usar, el hostname y el número de slot en el cual se tiene la lógica de control. De esta manera se tuvo añadido

al dispositivo requerido y luego en el entorno de desarrollo de la interfaz se pudo agregar los tags, contenidos también en el PLC, a los elementos del HPHMI, teniendo así un correcto funcionamiento de la lógica de control y de la interfaz.

4.3.3 Añadir un emulador de PLC

En este proyecto también se trabajó con el emulador RS Emulate 5000. Para su correcta comunicación con la interfaz se realizaron otros pasos mediante el entorno Ignition.

En Ignition se debe ingresar a la opción de conexiones OPC, en la cual se crea una nueva conexión de un servidor OPC (Figura 52).

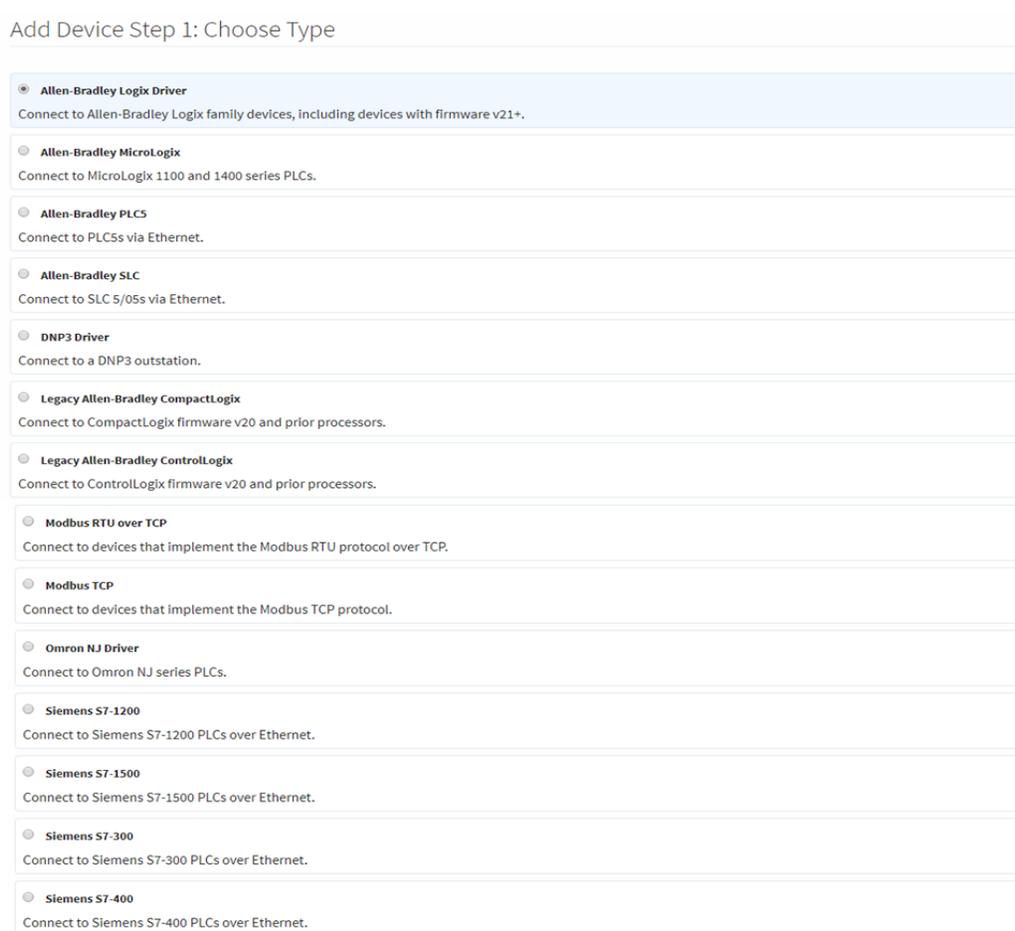


Figura 51. Dispositivos disponibles para su uso

OPC Server Connections

Name	Type	Description	Read-only	Status	
Ignition OPC-UA Server	OPC-UA	A connection to the OPC-UA server provided by Ignition's OPC-UA module.	false	Connecting	More ▾ edit
RSLINK	OPC-DA COM Connection		false	Connected	delete edit

→ Create new OPC Server Connection...

Note: For details about a connection's status, see the [OPC Connection Status](#) page.

Figura 52. Conexiones de Servidor OPC

Posteriormente se escogió el tipo de conexión OPC y se especificó su ubicación. En este caso fue una conexión tipo OPC-DA COM y al trabajar en un mismo entorno de red, su ubicación fue Local. Se puede observar en la Figura 53.

Add OPC Server Connection Step 1: Choose Type

OPC-UA
Connect to a device or server that supports OPC-UA.

OPC-DA COM Connection
Provides access to legacy COM-based OPC-DA servers. Supports OPC-DA versions 2 and 3.

Choose Server Location

Local
Connect to an OPC server on the gateway machine.

Remote
Connect to a remote OPC server over DCOM.

Next >

Figura 53. Tipo de conexión y localización

A continuación, se eligió el tipo de servidor OPC que existe localmente en la computadora y se configura el nombre deseado para su uso, como se observa en la Figura 54.

De esta manera se puede usar el emulador para el funcionamiento de la lógica de control junto a la interfaz. Al igual que con PLC, se puede divisar los tags de la lógica de control, en el entorno del desarrollo de la interfaz y así se las tuvo integradas correctamente.

4.3.4 Añadir una conexión con Base de Datos

Luego de haber instalado la base de datos que se desea utilizar, se tuvo que hacer la respectiva comunicación y conexión con Ignition.

Para su efecto, mediante Ignition se procedió a crear una nueva conexión de base de datos, como se puede mirar en la Figura 55.

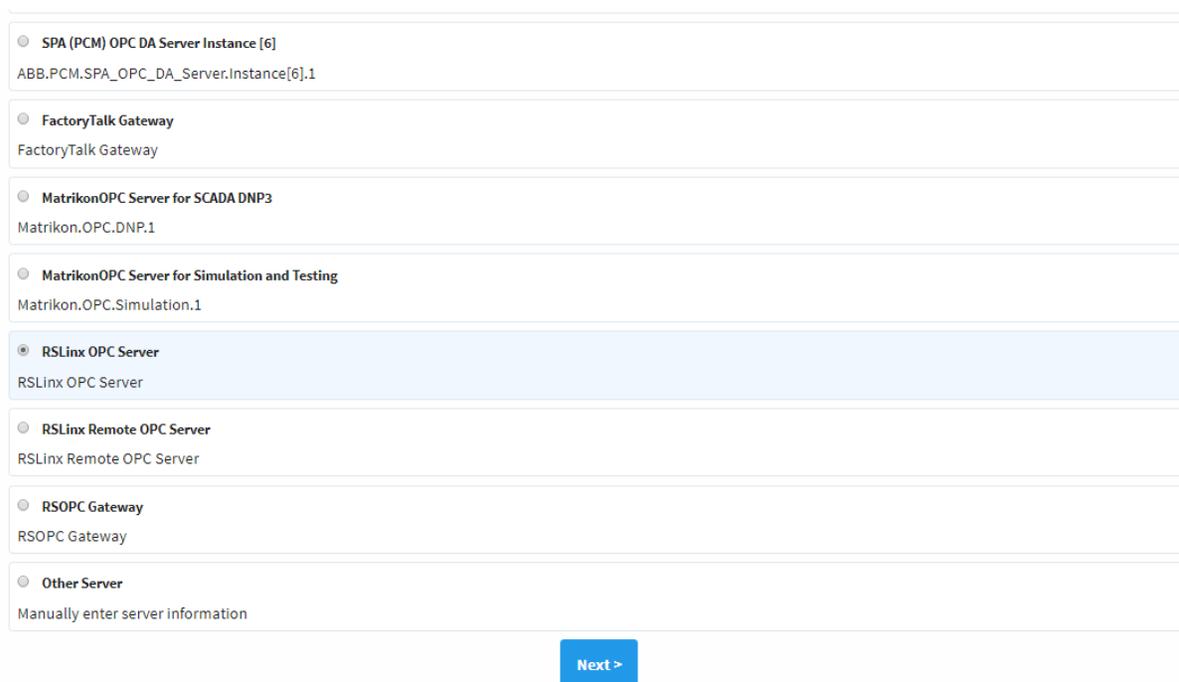


Figura 54. Tipo de servidor OPC

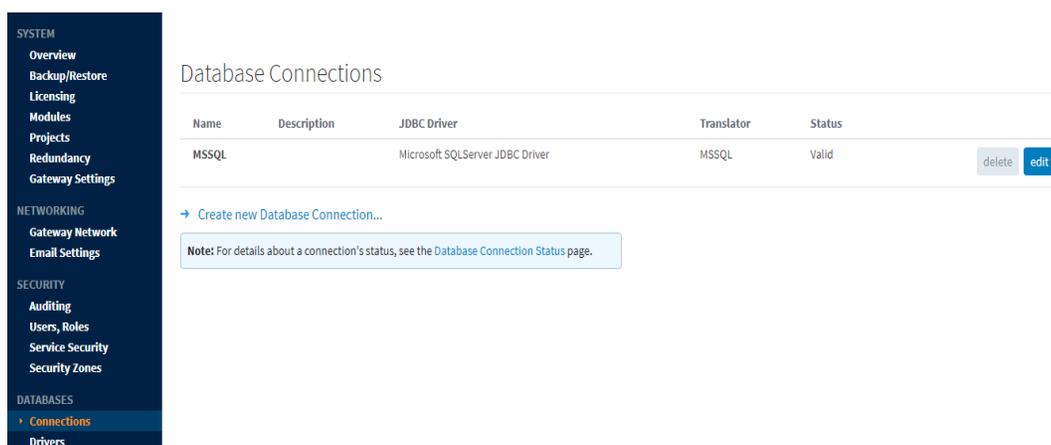
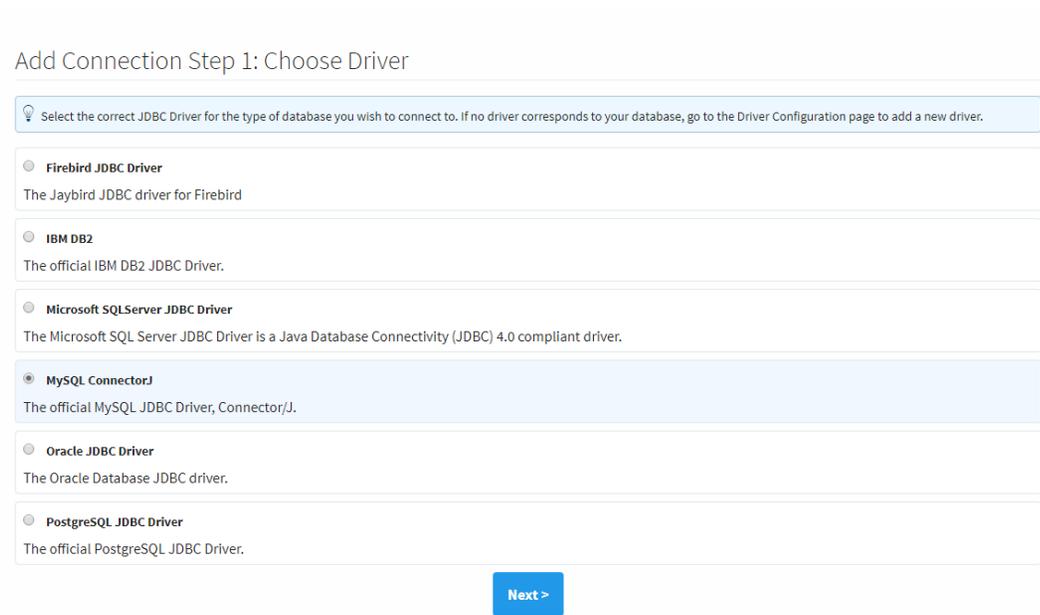


Figura 55. Creación de una nueva base de datos

Luego, se elige el tipo de base de datos que se desea utilizar para su funcionamiento. Existen varias opciones como se observa en la Figura 56.



Add Connection Step 1: Choose Driver

Select the correct JDBC Driver for the type of database you wish to connect to. If no driver corresponds to your database, go to the Driver Configuration page to add a new driver.

- Firebird JDBC Driver
The Jaybird JDBC driver for Firebird
- IBM DB2
The official IBM DB2 JDBC Driver.
- Microsoft SQLServer JDBC Driver
The Microsoft SQL Server JDBC Driver is a Java Database Connectivity (JDBC) 4.0 compliant driver.
- MySQL ConnectorJ
The official MySQL JDBC Driver, Connector/J.
- Oracle JDBC Driver
The Oracle Database JDBC driver.
- PostgreSQL JDBC Driver
The official PostgreSQL JDBC Driver.

Next >

Figura 56. Elección de la base de datos

Finalmente se realiza la respectiva configuración de la base de datos a agregarse. Principalmente con respecto a su nombre deseado, el nombre de usuario y la contraseña si es el caso. Así ya se tuvo una base de datos conectada al entorno de desarrollo Ignition y se pudo utilizar las utilidades como históricos y tendencias en la interfaz.

Luego de haber realizado toda la configuración descrita, tanto de software como de hardware, se tuvo un entorno de trabajo integrado y conectado correctamente, disponiendo así del funcionamiento deseado entre la lógica de control y la interfaz, con los tags necesarios para el desarrollo del proceso junto a sus datos, instrucciones, alarmas y acciones funcionando de acuerdo a la lógica de control. De esta forma se demostró que Ignition puede trabajar con varios programas de diferentes tipos.

Con el sistema funcionando, se pudo proceder a la fase de pruebas del proyecto.

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Pruebas

Una vez que se tuvo el sistema integrado con todas las alarmas configuradas correctamente, la lectura de datos de transmisores desplegándose de forma apropiada, controladores realizando su acción correctamente, todos los elementos diseñados realizando su trabajo de manera apropiada y todos los procedimientos funcionando con la lógica de control, se procedió a evaluar si la interfaz desarrollada cumplía su propósito eficientemente.

5.1.1 Pruebas de Desempeño del Operador con la Interfaz

Luego de comprobar que la interfaz se desempeña correctamente con lo requerido y cumple con lo establecido respecto a su funcionalidad, se procedió a determinar si el sistema desarrollado también consigue una optimización con respecto al sistema tradicional.

Con el fin de probar esto, se tomó en cuenta una recomendación realizada para la creación de HPHMIs, en la cual se postula realizar una evaluación y comparación de esta interfaz con respecto a la interfaz tradicional (Hollifield, Oliver, Nimmo, & Habibi, 2008).

Esta evaluación consistió en el establecimiento de 3 etapas del proceso de producción, en las cuales, existieron diferentes eventos de situaciones anormales, las mismas que debieron ser reconocidas o identificadas y posteriormente resueltas.

Para su realización, se tomó un grupo de operadores para efectuar el trabajo en estos eventos en las 3 etapas del proceso. Esto se lo hizo con el diseño de HMI tradicional y otro grupo se dedicó para evaluar los mismos eventos y bajo las mismas condiciones en el HPHMI. El objetivo de este

procedimiento fue hacer una comparación entre el uso de una interfaz y la otra, con respecto al tiempo empleado para cumplir con cada acción.

Cada grupo estuvo constituido por 10 operadores elegidos aleatoriamente para la ejecución de cada interfaz y a todos los operadores se les realizó el mismo entrenamiento y explicación con respecto al uso del tipo de interfaz que les fue asignada.

Se establecieron tres rutinas en tres etapas diferentes del proceso total, es decir una rutina por etapa y para cada rutina se dispusieron diferentes eventos. Todas las rutinas con sus eventos fueron realizadas de igual manera y bajo las mismas condiciones en los dos tipos de interfaces. Las etapas elegidas fueron: La trampa Receptora, el Separador de crudo y gas y las bombas de transferencia.

Los eventos anormales consistieron en tipos de alarmas de diferente prioridad, teniendo que reconocer cada una de las alarmas desplegadas, en orden de prioridad, desde la más alta a la más baja y de igual forma se debía ejecutar su resolución.

Las alarmas por valores muy altos o muy bajos tuvieron la prioridad más crítica o 1, las alarmas por valores altos o bajos tuvieron la prioridad 2 y las alarmas informativas de bypass tuvieron una prioridad 3.

De acuerdo con lo explicado anteriormente, las rutinas de evaluación consistieron en:

- Proceso en Etapa de Pig Receiver: en esta etapa se estableció un problema de presión crítico al ingreso de la trampa receptora y una alarma de diagnóstico en la válvula de cierre. El operador debía reconocer cuál era la razón para la activación de la alarma crítica y de igual forma qué indicaba la alarma de diagnóstico. Luego de su respectivo reconocimiento se debía realizar la resolución del problema y volver a poner al proceso en condiciones normales.
- Proceso en Etapa de Bombas de Transferencia: en esta etapa se estableció un problema de presión crítico y un problema de temperatura de menor peligrosidad. El operador debía

reconocer cuál era la razón para la activación de la alarma crítica debido que tenía la mayor prioridad y luego determinar qué problema presentaba la temperatura. Luego de su respectivo reconocimiento se debía realizar la resolución de los problemas y así volver a poner al proceso en condiciones normales.

- **Proceso en Etapa de Separación:** en esta etapa se estableció un problema de temperatura crítico, un problema de nivel de menor peligrosidad y una alarma de diagnóstico con respecto a la presión. El operador debía reconocer cuál era la razón para la activación de la alarma crítica debido que tenía la mayor prioridad, luego determinar qué problema presentaba el nivel en el separador y finalmente reconocer qué indicaba la alarma de diagnóstico sobre la presión. Luego de su respectivo reconocimiento se debía realizar la resolución de los problemas y así volver a poner al proceso en condiciones normales.

Se tomó el tiempo para cada uno de los 20 operadores en realizar su trabajo diferenciando aquellos que actuaron en la interfaz tradicional y aquellos que lo hicieron en el HPHMI desarrollado. Las tablas con los tiempos tomados se pueden observar en el anexo 1.

Se realizó la prueba a diferentes personas entre HMIs, porque si se lo realizaba a una misma persona en los dos HMIs, el desempeño cambiaría debido a que el operador ya sabría de qué se trata el procedimiento y en el segundo HMI, sea cual fuere, habría una alta posibilidad de que lo haga mucho más rápido y no represente adecuadamente la evaluación que se quiere hacer.

Luego se realizó un análisis para cada uno de los tiempos obtenidos. De cada uno de los eventos en su respectiva etapa del proceso, se calcularon las medidas de tendencia central para la interfaz tradicional y para la interfaz HPHMI. De estas medidas, se utilizó la mediana ya que es el cálculo más recomendable para no perder tanta información en contraste con la media y la moda.

Luego se procedió a determinar las diferencias entre las medianas de tiempos entre las dos interfaces para cada evento, mediante las cuales se determinó el porcentaje de optimización, si existiera, en base al mayor valor que sería el 100%.

Además, fue necesario realizar un análisis estadístico que respalde estos resultados, porque los datos varían de acuerdo a la capacidad de entendimiento, capacidades cognitivas, rapidez mental y forma de interpretar la información de cada operador, sin seguir un patrón constante. Para ellos, se procedió a hacer el test estadístico ANOVA o también conocido como el test de análisis de la varianza, el cuál analizó los datos de los grupos, es decir de HMI tradicional y HPHMI, para determinar si las diferencias entre los dos grupos son estadísticamente significativas.

5.1.2 Pruebas de Tiempos de Respuesta del Sistema

Otra prueba realizada fue la evaluación del tiempo de respuesta de los dos sistemas para enviar y recibir datos del PLC. Esto se lo hizo principalmente con respecto a las ventanas más importantes de configuración del proceso, velocidad de navegación y a datos o información enviada y recibida

5.2 Resultados

5.2.1 Resultados de Pruebas de Desempeño del Operador con la Interfaz

En base a las pruebas realizadas a los 20 operadores se obtuvieron los resultados de tiempos que se pueden observar en el Anexo 1.

En estos resultados se puede observar claramente que en general existen diferencias en los tiempos de ejecución del trabajo de los operadores entre una interfaz y la otra, siendo, estas diferencias, favorables para la interfaz HPHMI desarrollada. En la Figura 59 se puede observar el gráfico comparativo entre un promedio estimado de tiempos totales de las 3 etapas de evaluación para el reconocimiento y resolución de situaciones anormales en los dos tipos de interfaces, estos tiempos están representados en segundos.

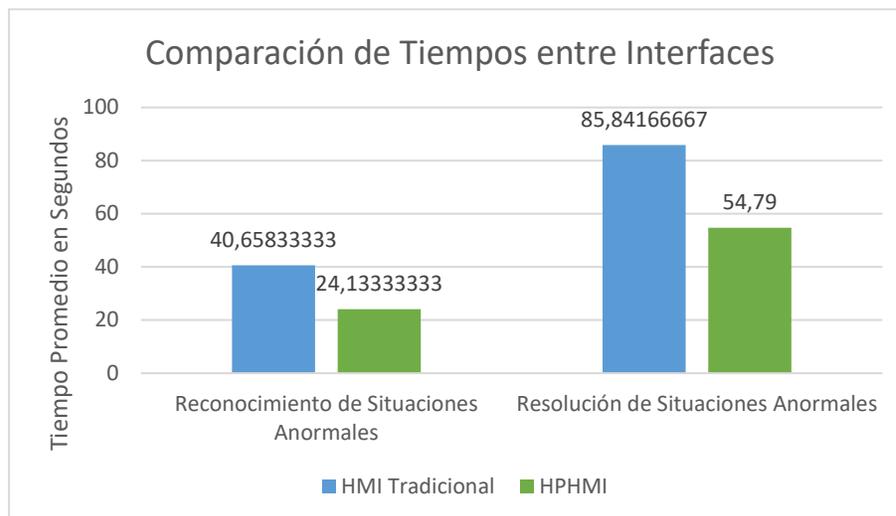


Figura 57. Comparación de Tiempos entre Interfaces

Para el análisis a estos datos se procedió a calcular la mediana. Los cálculos de la mediana para cada evento se pueden observar en el Anexo 2, mientras que en la Tabla 10, Tabla 11 y

Tabla 12 se muestran los valores totales de cada etapa.

Tabla 10

Tabla de Resumen de Cálculo de Medianas en Pig Receiver

Proceso en Pig Receiver		
	HMI Tradicional	HPHMI
Mediana de Reconocimiento	21,475 segundos	10,575 segundos
Mediana de Resolución	55,325 segundos	35,09 segundos

Tabla 11.

Tabla de Resumen de Cálculo de Medianas en Bombas de Transferencia

Proceso en Bombas de Transferencia		
	HMI Tradicional	HPHMI
Mediana de Reconocimiento	31,415 segundos	16,46 segundos
Mediana de Resolución	84 segundos	51,73 segundos

Tabla 12.

Tabla de Resumen de Cálculo de Medianas en etapa de Separador

Proceso en Separador de Crudo y Gas		
	HMI Tradicional	HPHMI
Mediana de Reconocimiento	41,22 segundos	23,385 segundos
Mediana de Resolución	99,015 segundos	62,74 segundos

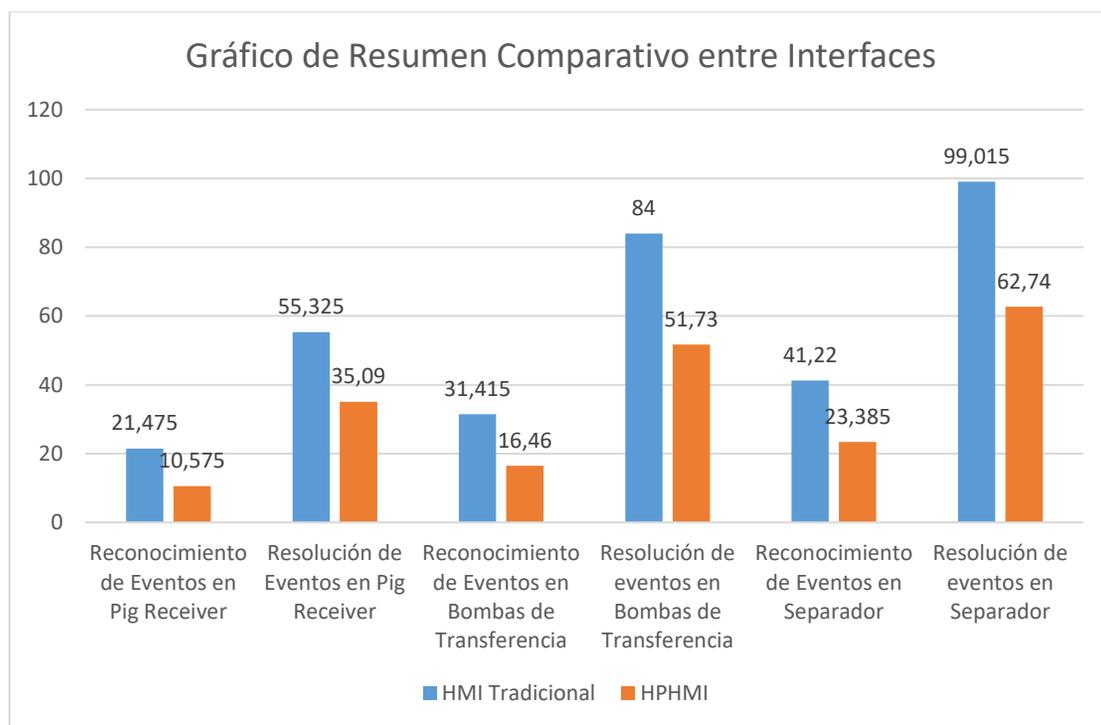


Figura 58. Comparación general en las 3 etapas de Evaluación

Estas medidas se pueden apreciar de mejor manera en la Figura 58. En la Tabla 13, se muestran los resultados de las diferencias de tiempo entre las dos interfaces para cada etapa de evaluación y la respectiva optimización de tiempo calculada para el reconocimiento y resolución de situaciones anormales.

Con estos datos se obtuvo un promedio total de las tres etapas del proceso para conocer un valor estimado de optimización en el reconocimiento de situaciones anormales y en su resolución. Esto se lo puede observar en la Figura 59.

Tabla 13.

Tabla de resumen de cálculo de optimización de tiempo entre interfaces

Proceso en Pig Receiver		
Acción	Diferencia de tiempo entre Interfaces	Optimización de tiempo del uso de HPHMI con respecto al HMI Tradicional
Reconocimiento	10,9 segundos	50,76%
Resolución	20,235 segundos	36,57%
Proceso en Bombas de Transferencia		
	Diferencia entre el tiempo de Interfaces	Optimización de tiempo del uso de HPHMI con respecto al HMI Tradicional
Reconocimiento	14,955 segundos	47,60%
Resolución	32,27 segundos	38,41%
Proceso en Separador de Crudo y Gas		
	Diferencia entre el tiempo de Interfaces	Optimización de tiempo del uso de HPHMI con respecto al HMI Tradicional
Reconocimiento	17,835 segundos	43,27%
Resolución	36,275 segundos	36,63%

Para el análisis de la varianza o conocido como test ANOVA, se ingresó los datos obtenidos tanto para reconocimiento y resolución, de cada etapa de evaluación para su comparación. Mediante el programa Infostat se obtuvieron los resultados individuales para cada evento y los

resultados totales en cada proceso. Dichos resultados se los puede observar en la Figura 60, Figura 61 y Figura 62, para cada etapa de evaluación.

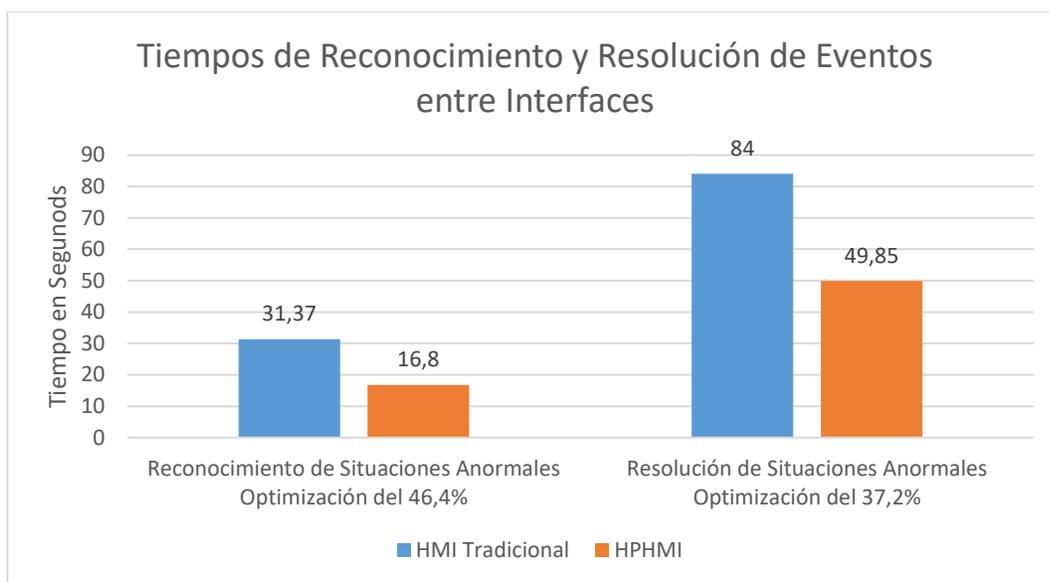


Figura 59. Optimización total estimada

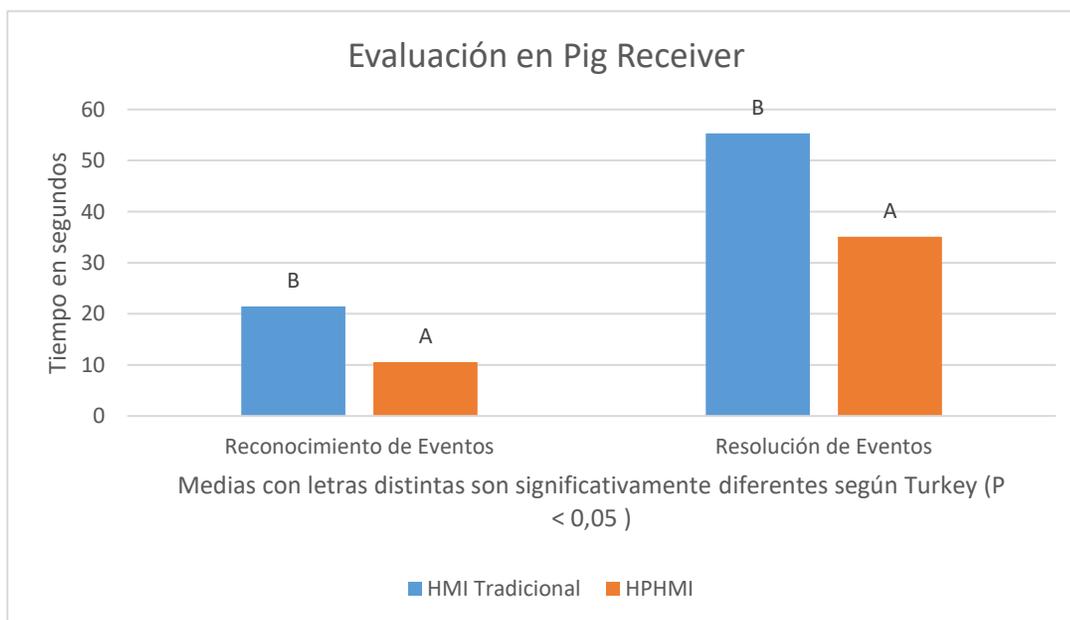


Figura 60. Análisis de Varianza en Pig Receiver

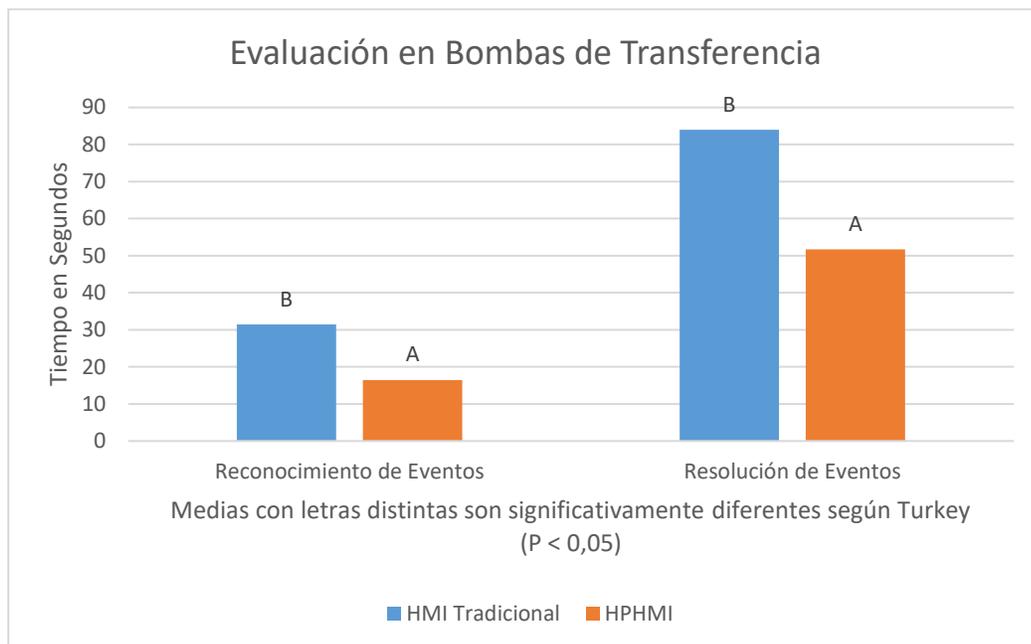


Figura 61. Análisis de Varianza en Bombas de Transferencia

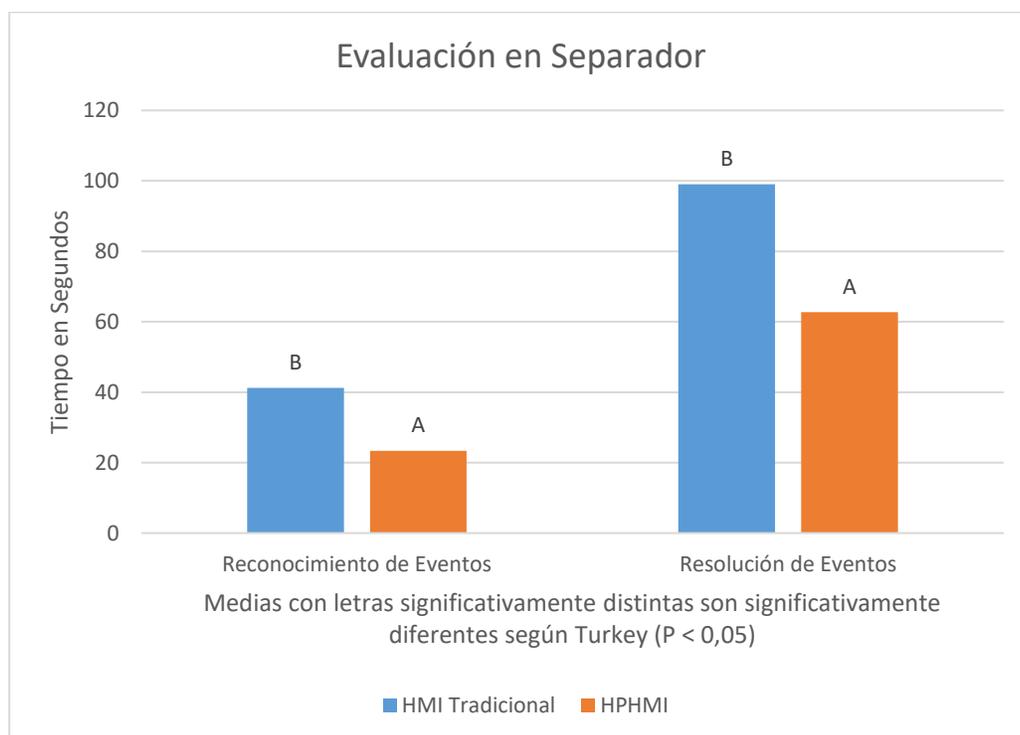


Figura 62. Análisis de Varianza en Separador

Cuando dos grupos son asignados con letras diferentes quiere decir que el análisis arrojó P Valores menores a 0.05, que es lo indicado para que estos dos grupos de datos comparados sean significativamente diferentes. Lo que demuestra que, en efecto, sí existe una diferencia entre el desempeño en el HMI tradicional y el HPHMI desarrollado.

También se pudo observar que en algunos eventos individuales no existe una diferencia marcada, porque en este evento la forma de reconocerlo y resolverlo es muy similar en los dos tipos de HMIs, además de ser un evento que no representa un problema crítico del proceso, si no una alarma de diagnóstico informativo. Demostrando que el HPHMI desarrollado cumple su objetivo principal de ayudar a mejorar el desempeño de los operadores para situaciones anormales críticas para el proceso, permitiendo así monitorear y controlar el sistema de forma más segura y efectiva.

5.2.2 Resultados de Tiempos de Respuesta del Sistema

En la evaluación de los tiempos de respuesta de un sistema y el otro se obtuvo los valores tomados en 10 repeticiones. En la Figura 63 se puede observar la comparación entre las dos interfaces con la media de los valores tomados en segundos. Como se puede observar en la Figura 63, la plataforma en la que se desarrolló el HPHMI presenta mejores tiempos de respuesta en su manejo, presentando una optimización de tiempo con respecto al sistema de HMI tradicional. Los porcentajes de optimización fueron de un 58,82% en tiempo de respuesta del sistema en reconocer alarmas, un 62,99% en tiempo de respuesta para el reset del sistema una vez solucionados los problemas y un 43,03% en tiempos de navegación entre pantallas.

También se realizó el análisis de la varianza para determinar si los valores son significativamente distintos. Los resultados arrojaron que los P valores son menores a 0,05, por lo que también se comprobó en esta prueba que los dos grupos son significativamente distintos en la velocidad de los tiempos de respuesta. Esto se lo puede ver en la Figura 64.

De esta forma se puede ver que la plataforma Ignition también presenta una mejora en la velocidad de acción del sistema.

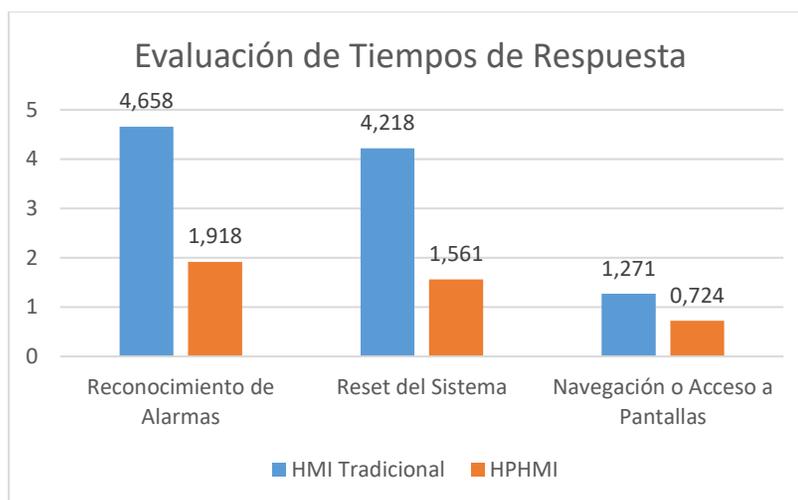


Figura 63. Evaluación de Tiempos de Respuesta

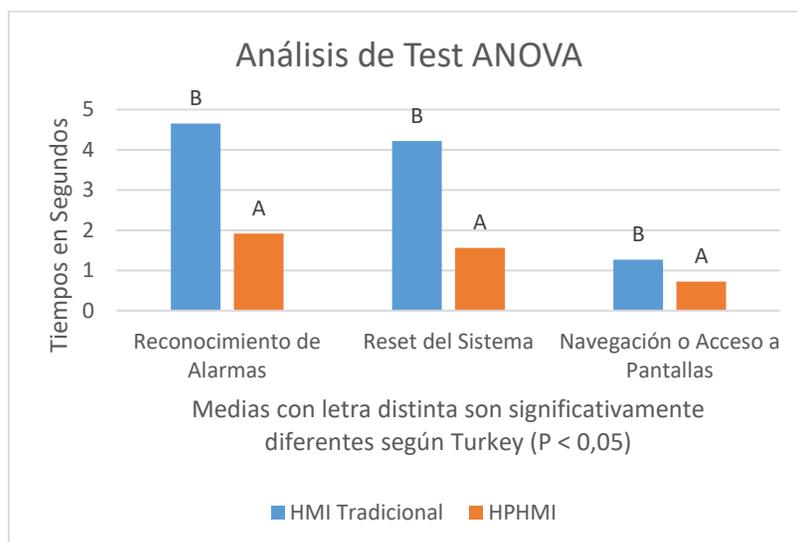


Figura 64. Análisis para Tiempos de Respuesta

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

La guía versátil de diseño de High Performance HMI fue creada mediante el estudio y análisis de la norma ANSI/ISA-101.01-2015, la cual ayudo a la creación de la interfaz HPHMI de manera precisa y solventando los requisitos establecidos por la empresa.

Los elementos de alto desempeño utilizados en la interfaz HPHMI se presentan al usuario de manera más clara y precisa en comparación con los elementos utilizados en el HMI tradicional, lo que permite a los operadores actuar más rápido ante situaciones anormales debido a la fácil y rápida interpretación para el monitoreo y control del proceso.

Se realizó la estandarización de los elementos usados en procesos de crudo y gas, que junto a su posterior creación y desarrollo en Ignition, brinda una herramienta funcional que le permitirá a los diseñadores e ingenieros de PIL S.A., realizar nuevas interfaces HPHMI para diferentes tipos de usos y aplicaciones en la industria, basados en una filosofía y guía de estilo correcta que cumple de mejor manera con los requerimientos de monitoreo y control.

Las interfaces HMI de Proyectos Integrales del Ecuador PIL S.A., ahora cuentan con una librería de elementos de alto desempeño con varias características y prestaciones que podrán ser configuradas y modificadas de acuerdo a los requerimientos de diferentes clientes, manteniendo sus principales condiciones de diseño y funcionamiento. Estos elementos se los podrá elegir y usar en la creación de diferentes interfaces para el campo petrolero de acuerdo con lo que se necesite.

La implementación de la aplicación de la guía de estilo en el entorno Ignition permitió la creación de HPHMI de manera dinámica y eficaz, logrando integrar la interfaz desarrollada con la

lógica de control de manera apropiada, sin problemas en su comunicación y funcionamiento, demostrando así que el entorno es flexible con diferentes tipos de dispositivos controladores, además, permite la opción de tener varios clientes sin necesidad de adquirir una licencia para cada uno, disponiendo así de un sistema más económico.

El desarrollo de la interfaz HPHMI permitió optimizar el tiempo de reconocimiento de situaciones anormales por parte de los operadores en un aproximado de 46,7% y su resolución en un aproximado de 37,2%. Además, se comprobó que los tiempos entre las dos interfaces son estadísticamente diferentes de forma significativa, cuando se trata de reconocimiento y resolución de eventos críticos del proceso. Por otro lado, para eventos de baja peligrosidad o alarmas informativas, las interfaces no presentan diferencias significativas. De esta forma se mejoró el monitoreo y control del proceso por parte del operador para situaciones de riesgo importantes.

La interfaz desarrollada, presenta una mejora en la velocidad de los tiempos de respuesta entre el sistema HPHMI y el software de control en contraste con el sistema HMI anterior. Estas mejoras representan una optimización del 58,82% en enviar y recibir la señal de reconocimiento de situaciones anormales, un 62,99% en el envío y recibimiento de la orden de Reset del sistema luego de haber solucionado los problemas y un 43,03% en la velocidad de navegación entre pantallas.

6.2 Recomendaciones

Se recomienda al personal de PIL S.A., realizar una evaluación continua del uso de la interfaz HPHMI, con una correcta retroalimentación, para determinar ciertas mejoras o especificaciones que se puedan incluir en la interfaz de acuerdo a lo necesitado y que de esta manera el sistema se encuentre en un estado de mejoramiento continuo.

Es importante que el personal encargado, brinde un entrenamiento adecuado acerca del uso de este tipo de interfaces, para que los operadores puedan entender las mejoras que este tipo de diseño representa.

Se recomienda a los operadores familiarizarse y aprender sobre los conceptos de High Performance HMI y de la norma ANSI/ISA 101.01-2015, con el fin de que puedan adquirir un entrenamiento correcto para el uso de la nueva interfaz y a su vez se adapten rápidamente con el nuevo entorno, para que no exista resistencia al cambio.

Es muy importante que, para el diseño de futuras interfaces se siga la filosofía y guía de estilo desarrollada, ya que se comprobó que, al aplicarla, permitirá tener una interfaz que funciona correctamente.

Se recomienda el uso de la plataforma Ignition ya que presenta ventajas considerables con respecto a otros sistemas de diseño de interfaces. Además, es importante conocer todas las prestaciones que ofrece para poder explotar todas sus ventajas.

Se recomienda el desarrollo de nuevos elementos y nuevas interfaces para diversas aplicaciones de procesos industriales, bajo los principios de HPHMI, para que este tipo de diseño se vaya estableciendo en los trabajos de ingeniería y automatización y de esta forma se ayude a mejorar el desempeño de los operadores, así como también la seguridad y efectividad de los procesos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acromag. (2017). *2017 State Of Technology: HMIs and Industrial PCs*. Recuperado el 2018, de Control Global: http://www.putmanmedia.com/assets/ct_sot_hmipc.pdf
- Advanced Control Systems. (2016). *The New High Performance HMI: Contrasting traditional design techniques with recent innovations in HMI design.*, (pág. 28). Recuperado el 2018
- Anaheim Automation. (2018). *Human Machine Interfaces*. Recuperado el 2018, de <http://www.anaheimautomation.com/manuals/forms/hmi-guide.php#sthash.CPw2Rct3.4CxLgR9W.dpbs>
- Anayansi, I., & De Ruiz, A. (2004). *El Petróleo y su Proceso de Refinación*. Recuperado el 2018
- ANSI/ISA. (2015). *Human Machine Interfaces for Process Automation Systems*.
- ATS. (2018). *Profibus & Profinet Competence Center*. Recuperado el 2018, de https://profibus-profinet.ats-global.com/sg/en/24_ats-products-partners/2336_ignition-hmi-scada-mes-software.html?do=article
- Automation, O. (2014). *On-line process supervision*. Recuperado el 2018, de <http://www.openautomation.net/page/noticias/id/66/title/On-line-process-supervision%3A-Ignition-by-Inductive-Automation.-Una-herramienta-en-la-que-Open-Automation-conf%C3%ADa>
- Barni, D. (2017). *High Performance HMI*. Recuperado el 27 de 07 de 2018, de ABB Asea Brown Boveri Ltd: <http://www.abb.com/cawp/seitp202/9347997f988dd04bc1257c7d006689cb.aspx>

- Brandl, D. (2017). *Quién está construyendo tu HMI*. Recuperado el 2018, de Schneider Electric:
<https://www.schneider-electric.es/es/work/insights/who-is-building-your-hmi.jsp>
- Bravo, E. (2007). *Los Impactos de la Explotación Petrolera en Ecosistemas Tropicales y la Biodiversidad*. Recuperado el 2018, de
http://canariasdicensoarepsol.com/informes_cientificos/20070500_impactos_explotacion_petrolera-esp.pdf
- Cobo, R., Ulloa , C., Pérez, J., & Riveros , A. (2007). *Electroindustria*. Recuperado el 2018, de
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=837>
- Dornan, K. (2014). *How to Improve Plant Operations through Better HMI Graphics*. (pág. 42). Rockwell Automation.
- Dornan, K. (2014). *How to Improve Plant Operations through Better HMI Graphics*. Recuperado el 2018
- ElectroIndustria. (Marzo de 2013). *EMB*. Recuperado el 2018, de
<http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=2020>
- Escobar, J., Reol , N., Castells, C., & Marti, X. (2002). *El Petróleo, el recorrido de la energía*. Recuperado el 2018, de <https://www.fenercom.com/pdf/aula/recorrido-de-la-energia-el-petroleo.pdf>
- Chacón, A. (2012). *Fundamentos del Diseño de Interface HMI*, (pág. 37). Recuperado el 2018
- Esper, J. (2004). *El Petróleo*. Recuperado el 2018

Hardin, W. (21 de Abril de 2016). *Engineering 360*. Recuperado el 2018, de HMIs Adapt to Reality on the Plant Floor: <https://insights.globalspec.com/article/2521/hmis-adapt-to-reality-on-the-plant-floor>

Hawrylo, M. (2015). ISA 101, Human Machine Interfaces. *Applying ISA 101 Concepts to Existing HMI Applications* (pág. 34). ISA. Recuperado el 2018, de http://wilmingtonisa.org/files/Download/ISA-Applying-ISA101-to-Existing-HMIs_MikeHawrylo.pdf

Hollifield, B. (2015). *The High Performance HMI*.

Hollifield, B., Oliver, D., Nimmo, I., & Habibi, E. (2008). *The High Performance HMI Handbook*. Houston: PAS.

Hollifield, Bill; Perez, Hector. (2017). *Maximize Operator Effectiveness: High Performance HMI Principles and Best Practices*. PAS. Recuperado el 2018

Hollifield, Bill; Perez, Hector;. (2017). *Maximize Operator Effectiveness: High Performance HMI Case Studies, Recommendations, and Standards*. 2, pág. 30. PAS. Recuperado el 2018

Inductive Automation. (2018). *Ignition*. Recuperado el 2018, de <https://inductiveautomation.com/ignition/>

Inductive University. (2018). *Ignition Courses*. Recuperado el 2018, de <https://www.inductiveuniversity.com/course/ignition-basics/>

Intermountain Oil and Gas BMP Project. (2016). *Oil and Gas BMP*. Recuperado el 2018, de <http://www.oilandgasbmps.org/resources/development.php>

Junta de Castilla y León. (2009). *Los Hidrocarburos*. Castilla. Recuperado el 2018, de <http://www.siemcalsa.com/images/pdf/Hidrocarburos.pdf>

Larraioz, B. (2010). *Pasado, presente y futuro de los Interfaces HMI*. Recuperado el 2018, de <https://www.interempresas.net/Electronica/Articulos/40224-Pasado-presente-y-futuro-de-los-interfaces-HMI.html>

Nasby, G. (2017). *Using ISA-101 & High Performance HMIs for More Effective Operations.*, (pág. 48). Ontario. Recuperado el 2018

Open Automation. (05 de 2014). *On-line process supervision: Ignition by Inductive Automation. Una herramienta en la que Open Automation confía*. Recuperado el 27 de 07 de 2018, de <http://www.openautomation.net/page/noticias/id/66/title/On-line-process-supervision%3A-Ignition-by-Inductive-Automation.-Una-herramienta-en-la-que-Open-Automation-conf%C3%ADa>

OPTO 22. (2013). *Building an HMI that Works: New Best Practices for Operator Interface Design*. Recuperado el 2018, de http://documents.opto22.com/2061_High_Performance_HMI_white_paper.pdf

Paredes, E. (2015). *Descripción del Proceso de Facilidades Tempranas y Producción*. Quito. Recuperado el 2018

Perez, H. (2013). A High Performance HMI. *PAS Technology Conference*, (pág. 50). Recuperado el 2018

PIL. (2016). *Facilidades tempranas para Producción*. Quito. Recuperado el 2018

- PIL Automation. (2016). *Reseña y Visión de PIL S.A.* Recuperado el 27 de 07 de 2018, de <http://www.pilautomation.com.ec/site/>
- Ponsa, P., & Granollers, T. (2007). *Fundamentos Diseño Industrial*. Universidad Politécnica de Cataluña. Recuperado el 2018
- PSUG. (09 de 2011). *The High Performance HMI*. Recuperado el 27 de 07 de 2017, de https://www.rockwellautomation.com/resources/downloads/rockwellautomation/pdf/events/automation-fair/2011/psug/afpsug11_ed09.pdf
- Rovisys. (2017). Implementing ISA 101. *A Case Study: High Performance, High Resolution, High Availability HMI Upgrade*, (pág. 30). Recuperado el 2018, de <https://www.districtenergy.org/HigherLogic/System/DownloadDocumentFile.ashx?DocumentFileKey=6c65487a-027d-3e53-70f8-4ce8da84dfec>
- Shah , C., Bettes , L., Beilke, R., & Cone, A. (16 de Septiembre de 2015). *What are Human Machine Interfaces and Why Are They Becoming More Important*. (C. Gonzalez, Entrevistador) Recuperado el 2018, de <http://www.machinedesign.com/iot/what-are-human-machine-interfaces-and-why-are-they-becoming-more-important>
- U. S. Chemical Safety and Hazard Investigation Board. (2007). *Refinery Explosion and Fire*. BP Texas City Refinery. Recuperado el 2018, de <https://www.csb.gov/bp-america-refinery-explosion/>
- Wilkins, M. (2015). *ISA 101: Human Machine Interfaces for Process Automation Systems, What It is and What it isn't and what's Coming*. YOKOGAWA. Recuperado el 2018

Winter, P. (2015). Whitepaper: *Nine Rules of Thumb for good HMI Design*. Königsbrücker.

Recuperado el 2018