



Integración de controladores de la estación de transferencia Repsol SSFD al DCS

Foxboro EVO e implementación de interfaces humano máquina HMI.

Robalino Torres, Fabián Ronaldo

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica,

Automatización y Control

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro Mgs

29 de julio del 2022

COPYLEAKS

Tesis_Robalino_Copyleaks.pdf

Scanned on: 20:12 July 28, 2022 UTC



HUGO RAMIRO
ORTIZ TULCAN



Overall Similarity Score



Results Found



Total Words in Text

Identical Words	0
Words with Minor Changes	0
Paraphrased Words	0
Omitted Words	897



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **“Integración de controladores de la estación de transferencia Repsol SSFD al DCS Foxboro EVO e implementación de interfaces humano máquina HMI.”** fue realizado por el señor **Robalino Torres, Fabián Ronaldo**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 2 de agosto del 2022

Firma



Firmado electrónicamente por:
**HUGO RAMIRO
ORTIZ TULCAN**

Ing. Ortiz Tulcán, Hugo Ramiro Mgs

C.C.: 1707721591



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Robalino Torres, Fabián Ronaldo**, con cédula de ciudadanía n°1719818534, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Integración de controladores de la estación de transferencia Repsol SSFD al DCS Foxboro EVO e implementación de interfaces humano máquina HMI** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 2 de agosto del 2022

Firma

Robalino Torres, Fabián Ronaldo

C.C.: 1719818534



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Autorización de Publicación

Yo **Robalino Torres, Fabián Ronaldo**, con cédula de ciudadanía n°1719818534, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Integración de controladores de la estación de transferencia Repsol SSFD al DCS Foxboro EVO e implementación de interfaces humano máquina HMI** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 2 de agosto del 2022

Firma

Robalino Torres, Fabián Ronaldo

C.C.: 1719818534

Dedicatoria

A mis padres, Fabián y Mónica, quienes con su apoyo y cariño han sido un pilar fundamental para poder conseguir las metas y propósitos que me he planteado en cada etapa de mi vida, siempre guiándome por el camino de la honestidad, valor, fortaleza y perseverancia.

A mi tía Elena y mi abuelita Teresita, quienes en todo momento me brindaron su amor, siendo siempre el soporte con sus consejos y palabras de aliento, han hecho de mí una mejor persona, siguiendo su ejemplo de solidaridad, esfuerzo y tenacidad.

A mi hermana Alexandra que siempre ha estado conmigo animándome en cada momento que he necesitado para cumplir con mis metas.

Fabián Ronaldo Robalino Torres

Agradecimiento

A mi familia Fabián, Mónica y Alexandra quienes son los principales responsables de que hoy pueda conseguir mi título profesional, con su apoyo incondicional día a día para lograr cada uno de los objetivos que me he planteado en el ámbito educativo, profesional y deportivo, siempre siendo una fuente de inspiración y cariño en los buenos y malos momentos.

A mi tía Elena y mi Abuelita Teresita quienes desde pequeño siempre estuvieron cuidándome y brindándome todo su cariño. Gracias a sus consejos me convirtieron en la persona que soy ahora; sé que estarían felices y orgullosas de todas las victorias y metas que he cumplido.

A mi tutor Ing. Hugo Ortiz quien ha sido un guía en la elaboración de este trabajo de titulación, con sus conocimientos y apoyo, dedicando tiempo y determinación para que pueda conseguir uno más de mis objetivos.

A mi primo Pablín quien ha sido una guía siendo mi sensei y apoyándome siempre en todas las etapas de mi carrera. A mi tío Adolfo quien en todo momento me ha ayudado en lo que he necesitado.

A mis tíos y primos con los que he compartido grandes momentos y siempre han estado alentándome y confiando en mí.

A todos mis amigos de la universidad Puma, Luis, Nicolas, Carly, Daniel y Ricardo con los que he pasado momentos increíbles y me han apoyado siempre que lo he necesitado, cada proyecto, prueba, amanecida y unas pocas fiestas, siendo un soporte para que yo pueda conseguir mi objetivo.

Fabián Ronaldo Robalino Torres

Índice de Contenido

Dedicatoria	5
Agradecimiento	7
Índice de Contenido.....	8
Índice de Tablas	14
Índice de Figuras.....	16
Resumen.....	22
Abstract.....	23
Capítulo I. PRELIMINARES.....	24
Antecedentes	24
Justificación e Importancia	25
Alcance	27
Integración Controladores Sistemas Terceros al DCS	28
Desarrollo Sistema HMI.	29
Implementación en la estación.....	29
Objetivos	30
Objetivo General	30
Objetivos Específicos.....	30
Capítulo II. MARCO REFERENCIAL	31
Sistema de Control Industrial	31
Ventajas de los sistemas de Control	31

Sistema de Control Distribuido (DCS)	32
Controlador Lógico Programable (PLC).....	33
SCADA.....	34
Sistema HMI.....	34
Características	35
Ventajas.....	35
Redes Industriales.....	35
Ethernet/IP	36
Modbus	37
Mapeo Modbus	39
HART	39
DeviceNet	40
Estándar ANSI/ISA-101.01-2015.....	41
Gestión el Sistema HMI	41
Estándares del Sistema	42
Proceso de Diseño.....	45
Implementación del HMI	46
DCS Foxboro EVO	46
Wonderware System Platform.....	46
ArchestrA	48
Control HMI.....	49

	10
Foxboro Evo Control Network	49
Red de Área Local Virtual (VLAN).....	50
Equipos e Interfaces.....	50
Procesador de Control de Campo	50
Estación de Operación.....	50
Servidor Industrial	51
Firewall Industrial	51
Módulos de comunicación.....	51
Capítulo III. DISEÑO DE LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS TERCEROS	53
Arquitectura de Red	53
Virtualización.....	55
Estación SSFD.....	57
Equipos y Drivers de la Integración de sistemas Terceros	60
Field Control Processor 280.....	60
Módulo FBM 232.....	62
Driver FDSI-Allen Bradley	63
Arquitectura de Red y DCS Foxboro Evo	65
Distribución Gabinete.....	68
Base de señales Sistemas Terceros	72
Sistema Calentador Eléctrico E1613C	77
Sistema Instrumentado de Seguridad	78

	11
OCP	83
Estrategias de Control.....	86
Señales Discretas	88
Señales Análogas	89
Escalamiento de señales	91
Horómetros	92
Totalizadores	94
Capítulo IV. DESARROLLO DEL SISTEMA HMI.....	96
Funcionalidades del Sistema HMI.	96
Equipos	98
Servidor de Ingeniería.....	98
Estación de Operación.....	99
Estándares del sistema HMI.....	101
Filosofía	102
Guía de Estilo	104
Kit de Herramientas	108
Etapa de diseño	112
Diseño de Consola.....	112
Análisis de usuarios y funciones	116
Diseño de Pantallas	117
Librerías de instrumentos y objetos.....	120

Esquemáticos de Pantallas	126
Direccionamiento de objetos.....	131
Capítulo V. IMPLEMENTACIÓN.....	134
Montaje de los equipos	135
Gabinete X-40801-COM	135
Gabinete x-40802-DCS.....	138
Sala de control.....	139
Conciliación de la Galaxia	142
Configuración de equipos.....	144
Firewall Moxa.....	144
Anunciador Foxboro.....	145
Estación de Ingeniería	147
Integración Sistemas Terceros.....	148
OCP	152
Sistema HMI.....	156
Configuración de Pantallas y Framer	156
Framer Control Edition.....	157
Usuarios en el Controlador de Dominio.....	161
Pantallas Implementadas.....	163
Capacitación usuarios.....	172
Capítulo VI. PRUEBAS Y RESULTADOS	174

Protocolos de pruebas	174
Pruebas FAT.....	174
Pruebas SAT.....	178
Precomisionado de señales sistemas Terceros.....	179
Comisionado de las señales.....	180
Pruebas del sistema HMI	182
Resultados	183
Precomisionado y Comisionado	183
Encuesta de usabilidad y Experiencia de Usuario.....	186
Capítulo VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	195
Conclusiones.....	195
Recomendaciones.....	197
Trabajos Futuros	198
Bibliografía	199
Apéndices	203

Índice de Tablas

Tabla 1 Jerarquía de Pantallas ISA 101	43
Tabla 2 Máquinas Virtuales Servidores Virtualización	56
Tabla 3 Dirección IP Sistemas Terceros.....	59
Tabla 4 Especificaciones FCP 280	60
Tabla 5 Especificaciones FBM 232.....	62
Tabla 6 Tipo de datos FDSI.....	65
Tabla 7 Listado de descripción y rango señales Calentador E1613C	77
Tabla 8 Listado de descripción señales discretas Calentador E1613C	78
Tabla 9 Listado de descripción y rango señales SIS.....	79
Tabla 10 Tabla de limites Alarmas Señales Análogas SIS.....	80
Tabla 11 Listado resumen señales Discretas SIS.....	82
Tabla 12 Listado resumen Señales análogas sistema OCP	84
Tabla 13 Listado señales discretas Sistema OCP	85
Tabla 14 Especificaciones Técnicas Servidor de Ingeniería H90.....	98
Tabla 15 Especificaciones CPU Z4 estación de operación	100
Tabla 16 Guía de estilo de colores y codificación RGB para las pantallas del HMI.....	106
Tabla 17 Guía de estilo de textos y descripciones sistema HMI	107
Tabla 18 Guía de Colores según la prioridad del sistema de Alarmas	108
Tabla 19 Usuarios y funciones Sistema HMI	117
Tabla 20 Resumen de Pantallas Sistema HMI Foxboro.....	126

Tabla 21	Direccionamiento Pantalla T1601_P1607	132
Tabla 22	Resumen de pruebas FAT equipos Foxboro.....	176
Tabla 23	Resumen Pruebas SAT Equipos Foxboro.....	179

Índice de Figuras

Figura 1 Diagrama de Bloques Integración Controladores.....	28
Figura 2 Arquitectura DCS Refinería Shushufindi.....	33
Figura 3 Arquitectura Ethernet/IP	37
Figura 4 Componentes System Platform	47
Figura 5 Arquitectura de Red Repsol 2018.....	54
Figura 6 Arquitectura Sistema instrumentado de Seguridad.....	58
Figura 7 Procesador FCP 280	61
Figura 8 Módulo FBM 232	63
Figura 9 Esquema Integración Sistemas Terceros	64
Figura 10 Arquitectura de Red Repsol 2022.....	66
Figura 11 Arquitectura Red SSFD	67
Figura 12 Vista Frontal Gabinete X-40802-DCS	69
Figura 13 Distribución FBM Baseplate 0.....	70
Figura 14 Vista frontal gabinete X-40801-COM	71
Figura 15 Base de datos Señales Honeywell.....	73
Figura 16 Características Señal SDV-6209	74
Figura 17 Alarmas Válvula SDV 6209	75
Figura 18 Alarmas Transmisor Nivel 1603.....	76
Figura 19 Bloques de Control del Toolbox Infusion Control del entorno de desarrollo Orchestra IDE	87
Figura 20 Bloque BIN de la señal LSH-6831	88
Figura 21 Configuración Bloque BIN LSH_6831.....	88
Figura 22 Script para crear y configurar los Bloques de la señal Análoga del Termopar del Calentador E1613C	90

Figura 23 Bloques señal Análoga Corriente de Fase A Bomba P-1611C	90
Figura 24 Escalamiento señal transmisor de temperatura TT-6508B	91
Figura 25 Bloques de estrategia de control de Horómetros Bombas P-1611A/B/C.....	92
Figura 26 Código secuencia programada Temporizadores Horómetros	93
Figura 27 Lógica de transformación de segundos a horas.....	93
Figura 28 Bloques de la estrategia de control totalizadores FQIT 6508AB	94
Figura 29 Lógica de Totalizadores Bloque CALC FQIT_6507AB.....	95
Figura 30 Servidor de Ingeniería H90.....	99
Figura 31 Estación de Operación H92 HP	101
Figura 32 Ciclo de Vida HMI ISA según estándar 101	102
Figura 33 Jerarquía y Navegación de Pantallas del sistema HMI de la Estación SSFD	105
Figura 34 Instrumentos y Equipos de proceso estándar ISA S5.1	109
Figura 35 Animaciones de objetos del Graphic Toolbox en el entorno de desarrollo Archestra IDE	110
Figura 36 Aplicación Intouch de la plataforma WSP401	111
Figura 37 Configuraciones del Framer Control Edition	112
Figura 38 Medidas Workcenter Estación SSFD.....	114
Figura 39 Posturas de usuarios según la norma ANSI	115
Figura 40 Distribución de equipos y gabinete en la sala de control.....	116
Figura 41 Sección Plano P&ID calentador E1613C	118
Figura 42 Pantalla bombas de transferencia de crudo sistema HMI Honeywell	119
Figura 43 Pantalla Comunicaciones Sistema HMI Honeywell.....	119
Figura 44 Pantalla Mezclador Sistema HMI Honeywell.....	120
Figura 45 Intercambiador de calor del sistema HMI.....	121
Figura 46 Tubo Lanzador Sistema HMI	121

Figura 47	Propiedades Librería Bomba Sistema HMI Foxboro	122
Figura 48	Script Direccionamiento para Librerías Animadas Sistema HMI Foxboro ...	124
Figura 49	Transmisor de Temperatura sistema HMI.....	125
Figura 50	Representación gráfica para los lazos de control en el sistema HMI	126
Figura 51	Barra de Navegación Estación SSFD	127
Figura 52	Pantalla Nivel 1.....	128
Figura 53	Pantalla Station Heating Circuito de Aceite Térmico Sistema HMI Foxboro Evo.....	128
Figura 54	Pantalla Bombas P1611A/B/C Sistema HMI Foxboro Evo.....	129
Figura 55	Pop Up Información detallada de la Bomba P-1611A	130
Figura 56	Pop Up Control de Bombas P-1616B	130
Figura 57	PopUp Tendencias	130
Figura 58	Pop Up Variables del lazo de control	131
Figura 59	Gabinetes dentro del cuarto de comunicaciones	135
Figura 60	Gabinete X-40801-COM antes de la implementación del sistema Foxboro Evo.....	136
Figura 61	Equipos Parte Superior Gabinete X-40801-COM.....	137
Figura 62	Parte inferior Gabinete X-40801-COM.....	137
Figura 63	Montaje FCP 280 dentro del gabinete DCS Foxboro X-40802-DCS	138
Figura 64	Montaje de tarjetas FBM en el Baseplate A del Gabinete X-40802-DCS	139
Figura 65	Montaje soporte de los monitores NEC en la pared display del Workcenter	140
Figura 66	Parte posterior del Workcenter donde se encuentra la alimentación redundante para los equipos	141
Figura 67	Marquilla Cable de red de la estación de Ingeniería hacia el Switch Foxboro	141

Figura 68 Plataformas de la Galaxia Repsol.....	142
Figura 69 Estrategias de control del compound COM_CLXSIS	143
Figura 70 Configuración de la Dirección IP del Firewall de la estación AWP401	144
Figura 71 Configuración Reglas para los Firewalls Moxa	145
Figura 72 Configuración ID Anunciador P0924WV	146
Figura 73 Configuración para inicializar el Anunciador	146
Figura 74 Instalador Configurador FDSI 1.6	147
Figura 75 Gabinete Controlador Calentador E1613C	148
Figura 76 Comunicación PLCs SIS y E1613C en el software RSLinx.....	149
Figura 77 Configuración Interface FBM232 para sistemas Terceros	149
Figura 78 Creación Device dentro de la FBM 232 del calentador E1613C	150
Figura 79 Comunicación Controlador CLXSIS en el DCS Foxboro Evo.....	151
Figura 80 Comunicación Controlador CLXSIS en el DCS Foxboro Evo.....	152
Figura 81 Arquitectura Integración Sistema OCP	153
Figura 82 Configuración Cliente OPC del controlador del sistema de OCP	153
Figura 83 Nombre del Atributo y dirección Señales OCP en el cliente OPC	154
Figura 84 Configuración parámetro PV Instancia 803_PT_7076	155
Figura 85 Object Viewer de la instancia 803_MOV_7073.....	156
Figura 86 Pantallas Estación SSFD en el software Control HMI.....	157
Figura 87 Configuración de la navegación del marco dentro del Framer Control Edition	158
Figura 88 Anunciador Foxboro Implementado	159
Figura 89 Configuración Anunciador Foxboro Framer Control Edition	159
Figura 90 Configuración del color de alarmas según su prioridad.....	160
Figura 91 Configuración Monitores Framer Control Edition	161
Figura 92 Roles del Usuario Operador en el Archestra IDE.....	162

Figura 93	Roles de usuario para Ingeniería	163
Figura 94	Pantalla Nivel 1 con datos implementada en la estación SSFD	164
Figura 95	Pantalla Nivel 2 Tanques 1601 y Bombas Booster	165
Figura 96	Pantalla Nivel 3 Recibidor R1681 y calentador Eléctrico E1613C	165
Figura 97	Pantalla Nivel 3 Calentador E1613C.....	166
Figura 98	Pantalla Nivel 3 Bombas de succión P1611A/B/C	167
Figura 99	Ventana Pop Up información de la bomba P1611B	167
Figura 100	Pantalla de Nivel 3 Circuito de Aceite térmico e intercambiadores E1613A/B	168
Figura 101	Pantalla de Datos del sistema OCP	168
Figura 102	Pantalla del sistema de seguridad y ESD	169
Figura 103	Alarm Panel Process Ventana Nivel 4	170
Figura 104	Alarm DB Panel del sistema HMI.....	170
Figura 105	Tendencia señal del sistema SIS de la presión de aire	171
Figura 106	Visualización de tendencias aplicación Trend.....	172
Figura 107	Capacitación sistema HMI Personal de Repsol	173
Figura 108	Montaje Equipos para las pruebas FAT	175
Figura 109	Revisión Sistema HMI Prueba FAT	178
Figura 110	Señales discretas ESD	180
Figura 111	Comisionado de señales Control Room SSFD	181
Figura 112	Comisionado de transmisor en campo.....	182
Figura 113	Resultados Integración del Sistema SIS	184
Figura 114	Resultados Integración del Sistema E1613C	184
Figura 115	Resultados Integración Sistema OCP.....	185
Figura 116	Puesta en marcha del proceso con el nuevo sistema	186
Figura 117	Gráfico de respuestas pregunta monitoreo del proceso.....	187

Figura 118	Gráfico de respuestas pregunta estilo de colores ISA 101.....	187
Figura 119	Gráfico de respuestas pregunta Navegación	188
Figura 120	Gráfico de respuestas pregunta Jerarquía entre pantallas.....	188
Figura 121	Gráfico de respuestas pregunta manejo de alarmas del proceso.....	189
Figura 122	Gráfico de respuestas pregunta tiempo carga de datos.....	190
Figura 123	Gráfico de respuestas pregunta Distribución de elementos	190
Figura 124	Gráfico de respuestas pregunta librerías de alarmas.....	191
Figura 125	Gráfico de respuestas pregunta fatiga visual	192
Figura 126	Gráfico de respuestas pregunta control del proceso.....	192
Figura 127	Gráfico de respuestas pregunta Históricos y tendencias	193
Figura 128	Gráfico de respuestas satisfacción sistema HMI.....	194

Resumen

La estación de transferencia SSFD se encuentra ubicada en la ciudad de Shushufindi en la provincia de Sucumbíos. Como parte de la actualización del sistema de control de la estación, en el presente trabajo de titulación se realiza la integración de tres controladores Allen Bradley que corresponden a los sistemas terceros SIS, E1613C y OCP al DCS Foxboro Evo. La integración de los controladores se realiza mediante comunicación Ethernet IP a través de la interface FBM 232 y el driver FDSI. Cada una de las estrategias y bloques de control son desarrollados en el entorno Orchestra IDE dentro de la Galaxia REPSOL, donde se encuentran el resto de plantas del sistema general Repsol. La integración del sistema OCP se realiza mediante un cliente OPC existente dentro de la Galaxia. Para la implementación del sistema HMI se realizó el proceso de diseño tomando en cuenta las consideraciones y recomendaciones que establece el estándar ANSI/ISA-101.01-2015, los esquemáticos de las pantallas se dibujan en base a diagramas P&ID y tomando como referencia pantallas del sistema HMI anterior. De las pruebas de precomisionado y comisionado de las señales se obtuvo que la integración mediante comunicación es eficaz y reduce la cantidad de hardware. De los resultados de experiencia de usuario y usabilidad se evidencio que el sistema HMI bajo el estándar ISA 101 mejora la operación obteniendo un HMI mucho más eficiente y disminuyendo la fatiga.

Palabras Clave: Ethernet IP, Foxboro Evo, Sistema HMI, Galaxia.

Abstract

The SSFD transfer station is located in the city of Shushufindi in the province of Sucumbíos. As part of the update of the station control system, in this work the integration of three Allen Bradley controllers that correspond to the third-party systems SIS, E1613C and OCP to the DCS Foxboro Evo is carried out. The controllers are integrated via Ethernet IP communication through the FBM 232 interface and the FDSI driver. Each of the strategies and control blocks are developed in the Archestra IDE environment within the REPSOL Galaxy, where the rest of the plants of the general Repsol system are located. The integration of the OCP system is done through an existing OPC client within the Galaxy. For the implementation of the HMI system, the design process was carried out taking into account the considerations and recommendations established by the ANSI/ISA-101.01-2015 standard, the schematics of the screens are drawn based on P&ID diagrams and taking system screens as reference. About the signal pre-commissioning and commissioning tests, it was obtained that integration through communication is effective and reduces the amount of hardware. From the results of user experience and usability, it was evidenced that the HMI system under the ISA 101 standard improves the operation, obtaining a much more efficient HMI and reducing fatigue.

Key words: Ethernet IP, Foxboro Evo, HMI System, Galaxy.

Capítulo I. PRELIMINARES

Antecedentes

Los sistemas de control Distribuidos DCS son sistemas de control que contienen diferentes elementos que se encuentran distribuidos geográficamente en toda la planta industrial y son utilizados en procesos industriales complejos, con el propósito de mejorar la eficiencia, seguridad y fiabilidad del sistema.

El software industrial Wonderware adquirido por la Empresa Schneider Electric y AVEVA, se utiliza para el desarrollo de la etapa de software en el DCS Foxboro Evo. (Wonderware Spain, s.f.)

El desarrollo de los DCS ha fomentado su implementación en varias industrias importantes en el país en especial en las de producción de los sectores estratégicos como gas, petróleo, generación eléctrica y minera. (Energy & Commerce, 2020)

En los procesos industriales implementar un sistema HMI es de suma importancia ya que permite la supervisión y control del proceso por parte de los operadores, por lo que es fundamental que el diseño y desempeño de las pantallas HMI sean óptimas y eficientes. Para cumplir con esto se aplica el estándar ISA 101 que define los modelos y terminologías más adecuados para diseñar, construir y operar HMIs efectivas, durante todo su ciclo de vida. (InfoPLC, 2015)

Una de las plantas industriales, con el sistema de control distribuido más grande en el Ecuador, es la Central Térmica de Esmeraldas II de CELEC, que cuenta con un sistema DCS Foxboro EVO actualizado en 2021 por la empresa Tecniequipos S.A. Este DCS está conformado por siete controladores y varios módulos FBMS para la integración de las señales de comunicación y las señales de campo. El control y supervisión de este proceso industrial cuenta con alrededor de setenta pantallas HMI diseñadas bajo el estándar ISA 101, que son manejadas por varios operadores en 3

estaciones. Esta planta industrial cuenta con 12 generadores, cada uno produce aproximadamente 6 MW, alimentando con 2 generadores a la Refinería en Esmeraldas y con el resto de generadores al Sistema Nacional Interconectado.

En el Ecuador la empresa Repsol opera el bloque 16 que está conformado por la estación Norte NPF, la estación Sur SPF y la Planta Topping, aparte tiene la estación de transferencia Shushufindi (SSFD). Cada una de las estaciones posee un sistema DCS que permite el control y supervisión de los procesos industriales que brinda mayor seguridad y eficiencia al momento de la extracción y refinación del petróleo. En el caso de las Estación del Norte, se realizó ya una migración en el año 2018 del sistema de control de Honeywell a Foxboro EVO, tanto a nivel de hardware como de software; mientras que en la estación del Sur se realizó la actualización del sistema Foxboro IA hacia una nueva versión del DCS, el Foxboro EVO. En ambas actualizaciones del DCS el sistema HMI se realizó bajo el estándar ISA 101.

Considerando la aplicación de los sistemas de control en las plantas industriales mencionadas, principalmente los DCS de las estaciones de Repsol y tomando en cuenta el estado en el que se encuentran los equipos de la estación, es indispensable actualizar el sistema con el fin de obtener un DCS mucho más eficiente y multiplataforma. Para esto se realizará la integración de los controladores de los sistemas terceros (OCP, SIS, E1613C) al DCS Foxboro EVO y la implementación del sistema HMI bajo el estándar ISA 101 utilizando los conceptos de redes industriales, DCS, comunicaciones, aplicación del estándar ISA 101.

Justificación e Importancia

El hardware de control actual en la estación Shushufindi (SSFD) es el Experion PKS R311 de Honeywell, que ya no presenta soporte por fábrica y desde el 2015 sus equipos se encuentran en estado “Legacy” (equipos que están desactualizados, pero

continúan en uso debido a que siguen desempeñando gran parte de sus funciones). Por ello es indispensable la actualización del sistema, a fin de corregir inconvenientes a nivel de funcionamiento, además este sistema cuenta con 19 pantallas HMI que no se rigen bajo el estándar ISA 101. Hay que resaltar que no existe comunicación entre los datos de la estación de transferencia SSFD con las estaciones SPF y NPF, tomando en cuenta esto la actualización del sistema permitirá una comunicación multiplataforma entre todas las estaciones de Repsol con el DCS Foxboro EVO mediante la red Foxboro Control Network, incluyendo los sistemas terceros OCP, SIS y E1613C con controladores Allen-Bradley que van a ser integrados al DCS en la estación SSFD.

El sistema HMI implementado en la estación se encuentra desarrollado bajo el software de Honeywell Display Builder, considerando que el DCS que se va actualizar en la estación SSFD es el Foxboro EVO de Schneider Electric, la implementación del sistema HMI debe actualizarse al software industrial que maneja el DCS en este caso AVEVA.

Con el avance de la tecnología los procesos industriales se mantienen en una mejora continua en varios aspectos como son: la eficiencia, seguridad, optimización de recursos, productividad y manejo de datos; para esto es indispensable un entorno visual productivo, que permita contar con toda la información disponible en tiempo real y visualizar el proceso de manera completa y comprensible para el operador; todos estos parámetros son fundamentales tomar en cuenta al momento de diseñar una interfaz HMI por lo cual se deben tomar en cuenta todas las consideraciones del estándar ISA 101.

La integración de todos los controladores al DCS es de suma importancia ya que permite supervisar cada una de las señales y tomar acciones en el respectivo caso. Los controladores que se van a integrar en este proyecto al DCS son de los sistemas SIS,

OCP, E1613C, cada uno presenta su función específica que es indispensable en el funcionamiento de la estación de transferencia SSFD Repsol.

Alcance

La estación Repsol SSFD está ubicada en la ciudad Shushufindi, provincia de Sucumbíos, esta se encuentra funcionando y operativa, cuenta con un sistema de control soportado por el hardware Experion PKS R311 de Honeywell; este sistema ha presentado inconvenientes a nivel de actualizaciones de Windows Server 2003 en el caso de los servidores y Windows XP para las estaciones de operación, debido a que estos sistemas operativos ya no se encuentran soportados por fábrica.

En la actualidad la estación SSFD utiliza el controlador C200 CPM y sus respectivos módulos, estos equipos se encuentran desactualizados, pero continúan en uso dentro de la estación debido a las funciones que desempeñan. Además, la estación cuenta con los siguientes sistemas terceros: el sistema de Oleoducto de Crudos Pesados OCP, el Sistema Instrumentado de Seguridad SIS y el E1613C que incluye el sistema de calentamiento del mezclador.

El alcance del proyecto de titulación consiste en la integración de los controladores de los sistemas terceros OCP, SIS y E1613C al DCS Foxboro Evo y la implementación del Sistema HMI para la estación SSFD en el ambiente DCS de Schneider Electric, AVEVA (antes Wonderware).

El proyecto se puede separar en dos etapas principales: la implementación de todo el sistema HMI en ambiente Foxboro EVO (el cual va a ser desarrollado en el software industrial de Schneider, Control HMI y Orchestra IDE) y la integración de los 3 sistemas terceros OCP, SIS y E1613C al DCS mediante comunicación Ethernet/IP.

La implementación de los esquemáticos se va realizar bajo el estándar ANSI/ISA-101.01-2015, los objetivos del estándar son: establecer una guía para el diseño,

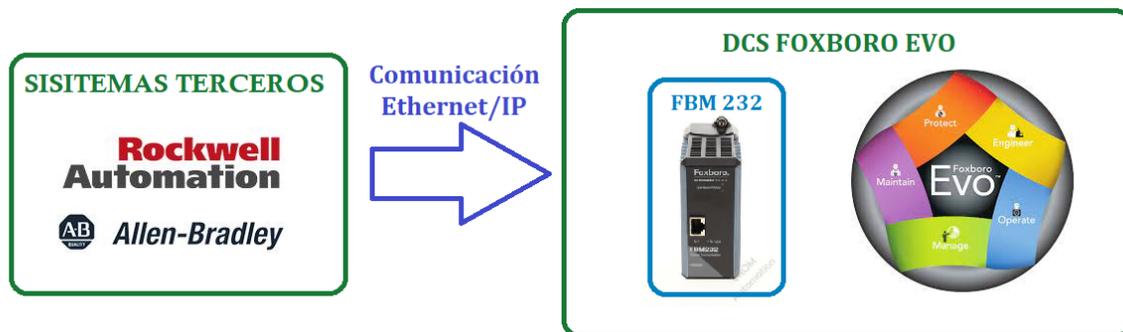
construcción y operación de las interfaces Humano máquina, con el objetivo de tener un DCS o sistema seguro, eficiente para toda situación de operación y mejorar la habilidades del usuario para detección y respuesta adecuada a anomalías en el proceso (InTech México, 2019); otro aspecto que se va a considerar en el diseño del sistema HMI corresponde el de sistemas Situational Awareness para operadores.

Integración Controladores Sistemas Terceros al DCS

Los controladores se van a integrar al DCS de la estación mediante una comunicación Ethernet/IP desde sus respectivos racks SIS-ESD Rockwell Automation y E1613C Rockwell Automation de la planta, hacia la tarjeta Foxboro FBM232, para el sistema OCP se realizará mediante instancias para obtener el dato respectivo de la Galaxia, integrando cada una de las señales de estos controladores de la marca Rockwell.

Figura 1

Diagrama de Bloques Integración Controladores



La interface de comunicación de estos sistemas, como se puede observar en la Figura 1, va a ser realizada a través de la interface FBM 232/233 utilizando el FDSI Driver (Invensys, Foxboro, 2012) , que permite configurar la FBM 232/233 usando varios protocolos para comunicarse hacia un PLC Allen- Bradley.

Desarrollo Sistema HMI.

Las actividades que se relacionan con el desarrollo del Sistema HMI son:

Elaboración de la base de datos de todas las señales que van a ser utilizadas en las pantallas, dibujo de los esquemáticos de cada pantalla y Pop Up, animación de cada uno de los elementos de las pantallas, configuración de las alarmas en el HMI, direccionamiento de las señales cableadas a los módulos del DCS y señales integradas por comunicación.

Para el desarrollo de cada uno de los esquemáticos de las pantallas, que van a cumplir los estándares especificados, se tomará como base los Diagramas P&ID y esquemáticos anteriores de la estación SSFD, añadiendo todas las señales necesarias de la nueva instrumentación que se implementará en campo en Shushufindi.

Las librerías de cada elemento de instrumentación, medición, indicadores y control que van a formar parte de los esquemáticos del sistema, se van a realizar con un concepto de programación orientada a objetos.

Implementación en la estación

La implementación se va a realizar en la estación SSFD de Repsol una vez realizada la ingeniería, para esta etapa del proyecto se procederá con la implementación empezando con el montaje y conexión de cada uno de los equipos nuevos en el Control Room donde se va a montar un gabinete con todas las tarjetas de comunicación respectivas, y la estación de operación para el manejo del Operador donde se incluirá firewalls como medida de Ciberseguridad para protección de las estaciones.

Finalizada la implementación se procederá al comisionado de señales, pruebas de lazo para todas las pantallas del HMI, por último, proceder con las pruebas de puesta

en marcha con la estación de transferencia SSFD para que funcione en tiempo real con el sistema actualizado.

Objetivos

Objetivo General

Actualizar el sistema de la estación de transferencia SSFD Repsol mediante la integración de los controladores de los sistemas terceros y la implementación del sistema HMI bajo el estándar ANSI/ISA-101.01 con la finalidad de unificar el sistema a una misma plataforma.

Objetivos Específicos

- Desarrollar la base de datos de señales de cableado del DCS y de comunicación necesarias para el sistema HMI.
- Diseñar cada uno de los esquemáticos para las pantallas del sistema bajo el estándar ANSI/ISA-101.01-2015 tomando en cuenta los diagramas y especificaciones necesarias.
- Implementar, animar y direccionar cada uno de los elementos en los esquemáticos planteados en el sistema HMI
- Obtener una base de datos de cada una de las señales de los sistemas terceros a ser integrados al DCS.
- Configurar y comunicar la interface FBM232/233 con los controladores Allen-Bradley de los sistemas terceros mediante el driver FDSI.
- Realizar pruebas de funcionamiento que permitan validar cada una de las etapas del sistema.

Capítulo II. MARCO REFERENCIAL

Sistema de Control Industrial

Un sistema de Control Industrial se define como una combinación de varios elementos de Hardware y Software que actúan de manera inteligente utilizando una red, tiene el objetivo de equilibrar un ambiente industrial para que cumpla su propósito específico. Estos sistemas se fundamentan en la adquisición de información y datos con la finalidad de controlar y monitorear diferentes procesos industriales. (Teknei, 2022)

Ventajas de los sistemas de Control

Los sistemas de control conceden las siguientes ventajas en la industria:

- **Rentabilidad y Competitividad:** La mejora de la producción debido a la supervisión del proceso mejora la eficacia de la empresa y como consecuencia un aumento de competitividad con respecto a los rivales, mientras más eficiente sea el sistema de control y menos pérdidas presente más competitivo y rentable será con respecto a sus competidores.
- **Reducción de Costos:** Automatizar un proceso industrial mediante un sistema de control, acelera los tiempos de producción y disminuye las pérdidas producidas por errores humanos, el sistema se mantiene en constante funcionamiento provocando que la producción no se limite al horario laboral de un trabajador, optimizando el rendimiento de los empleados y los recursos.
- **Seguridad:** Un proceso industrial automatizado por un sistema de control, supervisa las variables del proceso constantemente, como consecuencia mejora

la transparencia y el control, de manera que la persona pueda conocer a fondo cada etapa del proceso. (Teknei, 2022)

Los sistemas de control industriales (ICS) se clasifican en diferentes tipos dependiendo de su funcionalidad y complejidad de la acción de control los más utilizados son:

Sistema de Control Distribuido (DCS)

Los DCS tienen distribuido de manera geográfica en toda la planta varios sistemas de control individuales con funciones y procesos específicos. El DCS se utiliza como el cerebro central de la planta donde todos los sistemas y elementos se comunican mediante una red industrial, se encarga de realizar un seguimiento de los procesos industriales para tomar decisiones específicas en tiempo real e historizar todos los datos obtenidos (Midwest Engineered Systems, Inc., 2022).

Las aplicaciones más comunes donde se utilizan los DCS son:

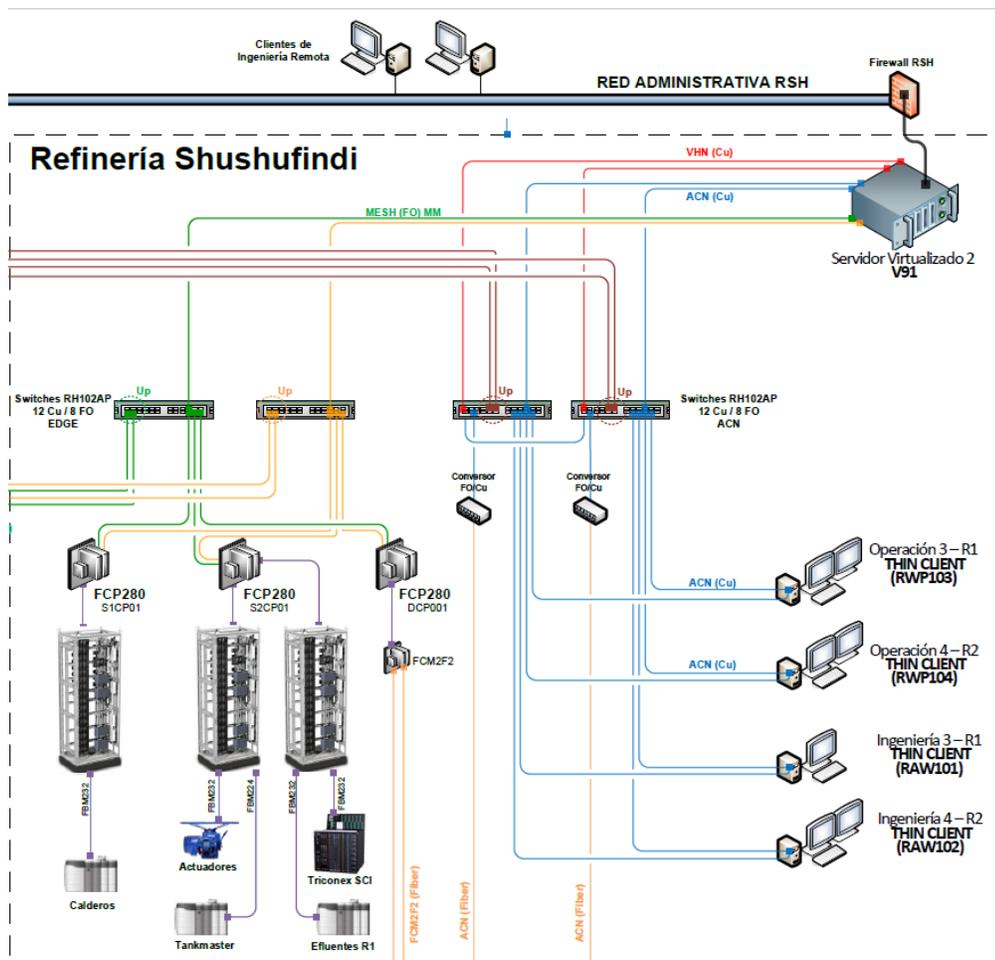
- Refinerías de Petróleo
- Plantas Químicas
- Plantas Nucleares
- Tratamiento de Aguas
- Minería

La arquitectura de un DCS debe constar de diferentes equipos y sistemas, en la Figura 2 la arquitectura del DCS desarrollado en el proyecto de Actualización del DCS de la Refinería Shushufindi Petro Ecuador. En esta arquitectura se encuentran diferentes elementos como: Controladores, Triconex, Actuadores, Estaciones de

Operación, CPU, todos estos elementos según su función van a estar distribuidos geográficamente en toda la planta (Tecniequipos S.A, 2021).

Figura 2

Arquitectura DCS Refinería Shushufindi



Nota: Tomado de *Actualización del sistema de Control de Refinería Shushufindi*, por Tecniequipos S.A., 2021.

Controlador Lógico Programable (PLC)

Según la Comisión Electrotécnica Internacional en el estándar IEC 61131 define a un PLC como: Un sistema electrónico con memoria programable diseñado para implementar diferentes funciones como: secuencias, lógicas, retardos, aritméticas con la

finalidad de controlar diferentes procesos en su mayoría industriales. Este estándar considera a los sistemas de automatización basados en Controladores Lógicos Programables como la base para el monitoreo y control de señales en cualquier proceso industrial; estas señales de entrada y salida físicas generalmente llegan de sensores y transmisores y salen a los actuadores e indicadores de estado. (Comisión Electrotécnica Internacional, 2003).

SCADA

El sistema SCADA proviene de las siglas (Supervisión Control y Adquisición de Datos), se define como un sistema que hace la supervisión de una planta tipo centralizada o distribuida que mediante controladores se realiza el control y la adquisición de datos de manera bidireccional a campo.

Supervisión en un SCADA se centra en la revisión de los datos que obtiene un Operador, quien es el encargado de tomar las decisiones más importantes y críticas a nivel de manejo de una planta industrial (Corrales, 2007).

Los sistemas SCADA manejan una interfaz Humano máquina que les permite monitorear y controlar el proceso que se está supervisando por parte del Operador. En la actualidad la cantidad de información que llega a un sistema SCADA no se maneja únicamente con señales cableadas, sino con la inserción de las redes industriales que permiten un mayor flujo de información a este sistema.

Sistema HMI

El estándar ANSI/ISA-101.01-2015 define a un sistema HMI como un conjunto de Hardware como de Software utilizado por diferentes tipos de usuarios principalmente un operador con el propósito de monitorear y manipular un proceso mediante un sistema de control (ISA, 2015).

Características

- Utilizan máquinas, dispositivos inteligentes, monitores, pantallas y ordenadores para representar la información.
- Manipula dos tipos de información: de monitoreo o estadística e información de control.
- Requiere de una comunicación directa con el proceso para la adquisición de los datos que van a ser representados, la comunicación puede ser mediante señales cableadas, tarjetas de comunicación, flujos de información a través de diferentes protocolos.
- Su aplicación principal son los procesos industriales, debido al gran flujo de datos que se maneja, la eficacia y seguridad que requieren estos procesos.

Ventajas

- Presenta de manera simple y resumida toda la información que se requiere para una operación ideal de una máquina, sistema, proceso.
- Permite acceder a los datos o la información en tiempo real y de manera simultánea desde varios puntos de acceso.
- La información se representa de manera gráfica facilitando el entendimiento por parte del usuario y que pueda realizar una operación óptima del proceso.

Redes Industriales

En la industria un buen manejo del flujo de datos es crucial para que la información se envíe en el momento y contexto adecuados, las redes industriales se

establecen como la intercomunicación de sistemas en una misma plataforma mediante el intercambio y control de información, provocan una reducción significativa en el cableado, optimización en el proceso y una flexibilidad en el sistema de control.

Para la comunicación mediante las redes industriales existen diferentes protocolos de comunicación que permiten la transmisión de la información.

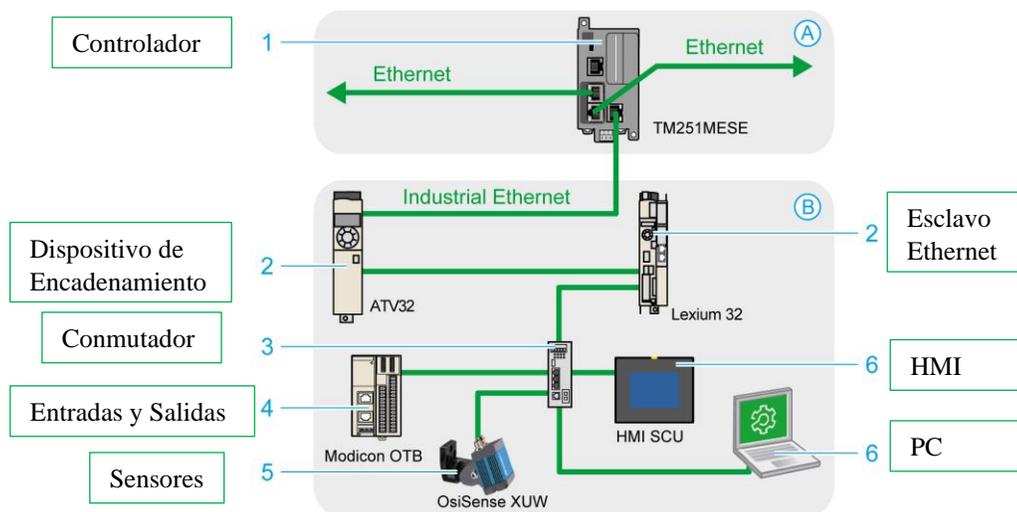
Ethernet/IP

Ethernet Industrial es un Protocolo de comunicación abierta que puede transferir información concreta en tiempo real entre diferentes procesos, sistemas o maquinarias. Utiliza la capa Ethernet estándar para poder comunicar la información y es compatible con diferentes topologías de red.

Con los avances de la tecnología de red, este protocolo ha aumentado la velocidad de transmisión, su integración con dispositivos como diferentes tipos de controladores, sensores y actuadores, lo que ha llevado a una aceptación importante a nivel Industrial ya que es aplicado por las marcas importantes en este ámbito (Schneider Electric, 2019).

Características de Ethernet/IP

- Es muy flexible utiliza diversos protocolos y tecnologías de acceso como: protocolo de Control de Transmisión (TCP), el Protocolo Internet (IP).
- Está diseñado a partir del (CIP) protocolo de control e información, que crea una colección de los elementos y define los accesos.
- Ethernet I/P tiene la capacidad de usar una herramienta para configurar dispositivos CIP desde un punto de acceso hacia distintas redes (SIEMON, 2021).

Figura 3*Arquitectura Ethernet/IP*

Nota: Adaptado de *Ethernet Industrial*, por Schneider Electric, 2019.

En la Figura 3 se puede apreciar las características de una arquitectura de red con Ethernet/IP encargada de intercomunicar la información entre los controladores los dispositivos de red, computadoras y paneles de control.

Modbus

Es un protocolo de comunicación desarrollado en el año 1979 por Modicon se lo utiliza en controladores lógicos programables, la transmisión de los datos e información se realiza mediante líneas seriales en un formato de Maestro – Esclavo. Al equipo que realiza la petición de la información se le denomina Maestro Modbus y los equipos que reciben la información se los denomina Esclavo Modbus, deben estar conectados en diferentes tipos de buses o redes (Schneider Electric, 2021).

Existen algunas variaciones del protocolo Modbus de acuerdo a su codificación y forma de transmisión de los flujos de información que conforman el mensaje.

Modbus TCP/IP: es una variación del protocolo Modbus estándar serie a través de hilos Ethernet TCP/IP donde los dispositivos deben estar conectados a una red TCP/IP mediante equipos de interconexión como Switches, puentes, routers o Gateways.

Modbus ASCII: Utiliza un sistema que codifica en hexadecimal presenta un bit de inicio en formato ASCII y un bit final en formato ASCII, los datos son codificados cada 7 bits, adicional se puede agregar bits de paridad o parada, por lo que un mensaje codificado podría cumplir hasta 11 bits de tamaño de acuerdo con su formato (Schneider Electric, 2021).

Modbus RTU: Utiliza el mismo protocolo de transmisión que el Modbus ASCII, pero la codificación del mensaje se realiza a través de números binarios, estos dispositivos utilizan interfaces serie con una capacidad de transmisión de 19.2 Kb por segundo (Hurtado, 2022).

Características

- Las líneas seriales envían una serie de bits a una velocidad de transmisión de 9600 baudios.
- Los bits de las líneas seriales se envían en forma de voltaje en caso de ser cero el voltaje es positivo y para un bit 1 el voltaje es negativo.
- Ofrece servicios especificados por códigos de función que son elementos de las solicitud- respuesta de las PDU.
- En Modbus estándar la información del esclavo Modbus se guarda en 4 tablas diferentes, 2 tablas para almacenar las variables discretas y dos tablas para el guardar los registros que son valores numéricos

- En una red Modbus simple pueden existir 247 esclavos para un solo Maestro Modbus el cual también tiene la capacidad de escribir la información hacia los esclavos (Modbus Organization, 2005).

Mapeo Modbus

El Mapeo Modbus es una representación de las características más importantes de un dispositivo esclavo en una red Modbus, esta información se muestra mediante una lista que indica el tipo de dato que se está leyendo, la ubicación del dato en las tablas con sus respectivas direcciones, el orden del almacenado de los datos. Existen dispositivos que vienen con un mapa Modbus definidos desde fábrica y no pueden configurarse, mientras que otros dispositivos permiten que el usuario programe según sus necesidades un mapeo personalizado de los datos (Schneider Electric, 2021).

HART

Highway Addressable Remote Transducer, (HART), es un protocolo utilizado para la comunicación bidireccional, empleado mediante cables analógicos para el intercambio de información digital. Transporta la información a través de una onda portadora con un rango de corriente de 4 a 20 mA proporcional a la variable del proceso. Sus rangos de trabajo son 2.2 kHz para representar un cero o nivel bajo y los 1.2 kHz para representar un uno o nivel alto. Este protocolo tiene la ventaja de que puede transmitir a una distancia de 3 Km mediante un cable multipar, la comunicación de tipo HART puede transmitir 4 variables de proceso y las configuraciones pueden ser multipunto o simples (Hurtado, 2022).

Maneja 3 tipos de Órdenes:

- Universales: este tipo de órdenes pueden ser manejadas por cualquier dispositivo de comunicación HART.

- Habituales: No son entendibles por todos los dispositivos de comunicación.
- Específicas: Son órdenes específicas para cada dispositivo Hart.

DeviceNet

El protocolo de comunicación DeviceNet creado por Rockwell Automation y actualmente transferido y comercializado por ODVA (Open DeviceNet Vendor Association) se maneja en la capa de aplicación de la pirámide OSI, utilizado en los sistemas de control y automatización de fábricas y plantas industriales, este protocolo presenta la ventaja de compatibilidad con varios dispositivos industriales como: sensores, interfaces, actuadores, variadores, dispositivos de adquisición de datos que se comunican mediante esta red a los equipos de alto nivel como PLC, DCS (Real Time Automation, 2021).

DeviceNet es una combinación del modelo de capa de aplicación, la capa de enlace de datos CAN y el protocolo CIP (Protocolo Industrial Común), se rige bajo el estándar IEC 62026-3 que detalla un sistema de interfaz de trenzado doble y conductores blindados enfocados para el protocolo de comunicación DeviceNet. El protocolo CIP representa los dispositivos que conforman la red mediante una secuencia de objetos o agrupación de datos (IEC, 2008), utiliza el modelo de comunicación CAN que presenta una interfaz física simple y de bajo costo que es mayor fortaleza pero en términos de velocidad y capacidad a diferencia de otros protocolos presenta una velocidad de transmisión de 1 MBd, esta velocidad es relativamente inferior a las velocidades de sus semejantes pero lo hace idóneo para aplicaciones industriales ya que la velocidad promedio para la transmisión de flujo de datos en aplicaciones industriales es de 125 kBd (CIA, 2022).

Estándar ANSI/ISA-101.01-2015

El estándar Interfaces humano-máquina para sistemas de automatización de procesos (ANSI/ISA 101) desarrollado por la Sociedad Internacional de Automatización y publicado por el Instituto Americano de Estándares Nacionales en el año 2015, tiene como objetivo abarcar todo el ciclo de vida y cada una de las fases de desarrollo, implementación y mantenimiento para los sistemas HMI (Interfaces Humano-Máquina) aplicado a procesos de automatización y control.

El estándar define a las interfaces Humano-Máquina como el conjunto de Hardware y Software con el propósito de monitorear y controlar un sistema de control, el usuario principal del HMI se denomina Operador y tiene la capacidad mediante la interfaz de realizar cambios en el proceso (ISA, 2015).

Gestión el Sistema HMI

El estándar plantea un modelo de ciclo de vida del HMI con el fin de gestionar el desarrollo, la base del ciclo de vida consta de varias etapas: diseño, revisión, implementación y operación.

El usuario se define como la persona que va a utilizar el sistema HMI, los usuarios se clasifican de acuerdo al nivel de acceso, capacidades y funciones que cumplen dentro del proceso que se va a emplear la interface. Al momento de diseñar el HMI se debe incluir qué usuarios van a utilizar y qué funciones van a cumplir, los principales usuarios que tiene un HMI son: Operación, Mantenimiento, Ingeniería, Administración, Mantenimiento.

Estándares del Sistema

Los estándares del sistema en base al ciclo de vida se centran en 3 enfoques principales:

- **Filosofía:** Define un conjunto de normas técnicas, funciones de usuario, características de consola y modelos de seguridad que se van a utilizar en el diseño del HMI tomando en cuenta principios como: la experiencia de usuario, requisitos funcionales y consideraciones de ingeniería y factores humanos sin tomar en cuenta los factores de implementación (Navarra, 2022).
- **Guía de Estilo:** Determina la estructura y estilo principales de las pantallas tomando en cuenta parámetros visuales, interacción del usuario con el HMI, cantidad de información (Bautista, 2017).

Existen varios estilos de pantallas que recomienda el estándar los principales son:

- **Lista:** La información es tipo texto o numérica y es representada en filas y columnas.
- **Proceso:** Representaciones gráficas de los equipos, tuberías e instrumentación de procesos.
- **Resumen esquemático:** Vista general informativa de las áreas de control e indicadores funcionales del proceso.
- **Resumen Funcional:** Vista funcional de la relación de datos generalmente utiliza Dashboards.

- Lista de Alarma: Pantalla con un listado o resumen de las alarmas del sistema.

Con el propósito de obtener un sistema HMI estructurado para beneficio de todos los usuarios se establece la jerarquía de pantallas en la Tabla 1.

Tabla 1

Jerarquía de Pantallas ISA 101

Nivel	Descripción	Consideraciones
1	Proporcionan una vista general de los parámetros más importantes del proceso para el intercambio de información	-La información general debe ser visible y estructurada. - Debe mostrar los estados de los equipos, instrumentos y variables claves.
2	Pantallas de proceso de alto nivel, incluyen datos de los sistemas más importantes o subsistemas del proceso.	-Información de alarmas principales de cada subsistema. -Esquema o resumen del proceso del sistema.
3	Pantallas detalladas de cada etapa del proceso, Contiene información para diagnóstico del proceso.	-Incluye lazos de control e indicadores de procesos -Acceso a todas las alarmas del proceso
4	Son pantallas externas o emergentes, se utiliza para acciones específicas como diagnóstico o control.	-Contiene información de permisos de zonas específicas

-Información definida para el diagnóstico o control de una variable o proceso.

Nota: Adaptado de *Estándar ANSI/ISA-101.01-2015, por ISA, 2015*

Estilo de Colores

Los colores deben ser uno de los métodos para diferenciar estados y objetos dentro de las pantallas, uno de los aspectos más importantes que recomienda el estándar en la elección del color es considerar deficiencias visuales que podrían presentar los usuarios como: daltonismo, miopía y fallas de visión por edad. Debido a esto se establece que los colores deben utilizarse para eventos anormales durante el proceso, alarmas o información de relevancia crítica (ISA, 2015).

El color no debe ser la única herramienta para diferenciar estados o acciones en las pantallas se deben utilizar animaciones como parpadeos, movimientos que llamen la atención del operador.

Los colores recomendados deben ser colores neutrales sin saturación como el gris claro para ser utilizados en fondos y elementos no animados, se debe evitar el uso de colores que contrasten principalmente el color Negro, para poder utilizar una gama de colores en escala de grises

- **Kit de Herramientas:** El kit de herramientas está conformado por todos los componentes de diseño utilizados para seguir las consideraciones y normativas establecidas en la filosofía como en la guía de estilo, el kit de herramientas generalmente es suministrado por fábrica o diseñado por terceros dentro del software especializado del sistema de control.

Proceso de Diseño

El diseño del HMI debe tomar en cuenta todos los requisitos y normas establecidos en la fase de estándares (Filosofía, Guía de Estilo, Kit de Herramientas).

- **Diseño de Consola:** Se encuentra normado por el estándar ISO 11064 y establece el entorno del operador donde se va a desenvolver al momento de manipular el sistema HMI. Se deben considerar factores ambientales y todos los equipos que va a utilizar para la operación del proceso industrial dentro del cuarto de Control.

En el diseño de consola es importante analizar todos los factores humanos de ingeniería y ergonomía (HFE), para establecer la cantidad de Hardware, así como su respectiva ubicación en el cuarto de control (ISA, 2015).

- **Diseño del Sistema HMI:** Define la selección de la plataforma del sistema de control con sus respectivas características incluyendo el kit de herramientas tomando en cuenta: Funciones específicas del usuario, Interfaces de terceros, Diseño de red.
- **Análisis de usuarios y funciones:** establece basándose en el diseño del sistema HMI todas las funciones, roles y tareas que van a cumplir los usuarios primarios o secundarios en el proceso. Para determinar los requisitos de las tareas del usuario es importante establecer una jerarquía de usuarios y roles dentro del sistema.
- **Diseño de Pantalla:** Al culminar todo el diseño conceptual del sistema, se debe realizar una revisión con los usuarios o clientes que van a utilizar verificando que sus necesidades y requisitos se cumplan antes de comenzar con el diseño detallado del HMI.

Implementación del HMI

Implementar el HMI es una etapa principal en el ciclo de vida, considera todos los requisitos, factores establecidos en el diseño con el objetivo de integrar el HMI al Software y Hardware a través de procesos como los siguientes: Construcción de pantallas, construcción de consola, pruebas, entrenamiento, comisionado y verificación (ISA, 2015).

Las pruebas se realizan a todas las características de usabilidad y rendimiento, se norman bajo el estándar ANSI/ISA-62381. El comisionado es la verificación final del sistema mediante la puesta en servicio del proceso ya con el sistema funcionado para realizar las verificaciones en campo y la conexión de los datos (ISA, 2015).

DCS Foxboro EVO

Foxboro EVO es el último DCS lanzado por Invensys con un enfoque ideal en las plantas industriales de sectores estratégicos como gas, petróleo y electricidad, el sistema de control se basa en el DCS anterior (Foxboro I/A) aplicado a herramientas avanzadas tanto de hardware como de software como estos: controladores de alta velocidad, redundancia doble y mejoras en términos de ciberseguridad y presenta la integración directa al sistema del software Wonderware. (Schneider Electric, 2013).

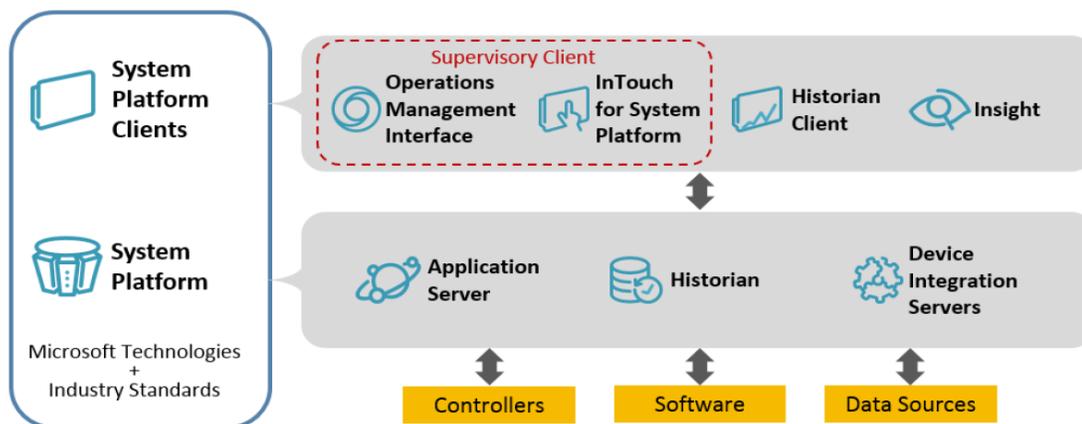
Wonderware System Platform

Es una plataforma que permite realizar la supervisión, monitoreo y control de procesos industriales de gran escala mediante diferentes aplicaciones desarrolladas en ArchestrA. Esta plataforma utiliza diferentes estándares y tecnologías industriales como: SQL Server, Windows y .NET (AVEVA, 2018).

Los elementos que conforman System Platform son aquellos que adquieren los datos de diferentes tipos de fuentes de datos para que los clientes puedan acceder a la información.

Figura 4

Componentes System Platform



Nota: Tomado de *InTouch for System Platform 2017 Update 2*, por AVEVA Group, 2018.

System platform maneja una arquitectura con diferentes componentes y clientes como se observa en la Figura 4 y sus principales son:

- **Application Server:** Este componente se encarga de establecer un marco orientado a objetos para el desarrollo e implementación de los aplicativos en system platform
- **Historian:** Se encarga del historizar los datos, alarmas y eventos en un servidor a través de un protocolo de datos.

- **Device Integration Servers:** Se encarga de la integración de controladores o sistemas externos mediante servidores DA, también se puede integrar esta información como servidores OPC.

Los servicios principales que proporciona System Platform a sus clientes para poder implementar aplicaciones de automatización industrial son:

- Adquisición de datos en tiempo real desde dispositivos de campo
- Escalado, estadísticas y manipulación de datos
- Control de procesos
- Activación, registro, reconocimiento y gestión de alarmas
- Historización, tendencias y análisis de datos de proceso
- Visualización de datos de proceso en tiempo real
- Informes y Reportes

ArchestrA

Es una Arquitectura utilizada en la automatización industrial que maneja un modelo distribuido y orientado a objetos para controlar y supervisar los sistemas, sus servicios principales son:

- Aplicaciones orientadas a objetos mediante la gestión de objetos.
- Modelado de plantas, equipos y fábricas en un marco referencial de objetos.
- Comunicaciones entre procesos para el diagnóstico del sistema y mantenimiento.

Archestra utiliza un software de entorno de desarrollo Integral (IDE) denominado Orchestra IDE para desarrollar e implementar aplicaciones basadas en la arquitectura ArchestrA orientada a objetos, en este software se utiliza el término Galaxia para representar: Objetos, plantillas, gráficos, equipos y plataformas en un mismo entorno de producción (AVEVA, 2018).

El cliente de visualización de un sistema que ocupa system platform y desarrollado en Orchestra IDE es Intouch.

Control HMI

Es una aplicación administrada de Intouch que se implementa mediante Orchestra IDE, y nos permite visualizar e interactuar con todos los datos del sistema que se encuentren alojados en la Galaxia para ser representados en un sistema HMI o SCADA, utiliza todos los elementos Orchestra Graphic Symbol y las librerías predefinidas, para verificar los cambios que se realicen en pantallas y gráficos se puede visualizar antes de ser descargados en la instancia del objeto, este aplicativo existe por cada plataforma que se encuentra desarrollada dentro de la Galaxia (Schneider Electric, 2020).

Las alarmas eventos y navegación en este aplicativo se desarrollan en el Framer que es una herramienta de Intouch.

Foxboro Evo Control Network

Es una Red Fast Ethernet que está conformada por un grupo de switches Ethernet en configuración Mesh o Malla que brinda varias rutas de datos redundantes con el objetivo de eliminar la pérdida de los enlaces de red y conexión, presenta 2 métodos de configuración de red, la configuración estándar que permite varias topologías de red de acuerdo con los requisitos y la configuración de red mejorada que

utiliza topologías específicas (Schneider Electric, 2017). El sistema Foxboro Evo soporta diferentes tipos de topologías en su red de control como son: Lineal, anillo, estrella, árbol invertido, para la implementación de estas topologías es necesario utilizar switches Fast Ethernet con el objetivo de tener una red redundante robusta y eficiente.

Red de Área Local Virtual (VLAN)

Es una división de red virtual donde existen 2 o más redes de dispositivos independientes con diferente segmento de una red de área local, estos equipos tienen conectividad de red como si estuvieran conectadas de manera física a la misma interface (Schneider Electric, 2017).

Equipos e Interfaces

En las plantas industriales como la estación de transferencia Repsol SSFD existen varios equipos e instrumentos que conforman todo el sistema, es importante definir de manera teórica cada uno de los equipos que se utilizaron en el proyecto.

Procesador de Control de Campo

Según Foxboro de Schneider Electric, el módulo controlador que se encuentra montado en campo, es utilizado en sistemas de control distribuido principalmente en el DCS Foxboro Evo (Schneider Electric, 2022), es un controlador de gran confiabilidad que realiza un control regulado, secuencial, de tiempo y lógico que opera sin interrupciones utilizado en aplicaciones industriales exigentes como: Refinerías, petroquímicas, minería, Termoeléctricas.

Estación de Operación

Una estación de operación es un ordenador con un nivel de procesamiento alto y un rendimiento informático superior a las computadoras generalmente utilizado en

plantas industriales, investigaciones científicas y sistemas multiprocesos, posee una tarjeta de red propia que se encarga de conectar a la red del sistema mediante cables ethernet o fibra óptica, las marcas principales son: Apple Inc, Dell Precision, Hewlett Packard, Fujitsu Siemens, Workstation Specialist.

Servidor Industrial

Un servidor es un dispositivo informático que se encarga de proveer servicios a otros equipos dentro de una misma red, almacena información y brinda servicios de base de datos a sus clientes, presenta una gran capacidad de memoria y procesamiento lo que permite que corran diferentes programas y servicios de manera ininterrumpida. En aplicaciones industriales se utiliza como servidor de datos, alarmas y eventos o servidor de ingeniería para procesar la enorme cantidad de información que se maneja en los procesos industriales (Aner Group, 2019).

Firewall Industrial

Es un dispositivo de Ciberseguridad que permite proteger una red privada controlando el tráfico entre redes e impidiendo el acceso no autorizado, la protección se define mediante un conjunto de normas y reglas definidas a nivel de capa 3 al momento de configurar el dispositivo (HP, 2021). Gran parte de las restricciones o permisivos de acceso a la red se realiza mediante la dirección IP o dirección MAC de los equipos que desean ingresar a la red, a nivel industrial se utilizan para proteger servidores, estaciones de operación y controladores lógicos programables. Las marcas más utilizadas de firewalls industriales son: SonicWall, JuniperPros, Moxa, Cisco, Fortinet.

Módulos de comunicación

Es un equipo que se incorpora al chasis o baseplate de un controlador con el objetivo de integrar diferentes dispositivos siguiendo un protocolo definido, proporciona

un control de acceso y un seguimiento del flujo de datos que accede el controlador mediante esta tarjeta. Utiliza la red para el intercambio de mensajes y permite añadir nuevos puertos o características que la CPU del controlador no dispone de manera compacta.

Capítulo III. DISEÑO DE LA INTEGRACIÓN DE SISTEMAS TERCEROS

En este capítulo se encuentran todos los elementos y recursos utilizados para el diseño de la integración de los sistemas terceros (SIS, OCP, E1613C) al DCS Foxboro Evo en la estación de transferencia Repsol SSFD. La ingeniería básica empieza por un análisis de la arquitectura de red y la VLAN de control, donde se hallan todas las estaciones de Repsol que funcionan con el Sistema de control Foxboro Evo y un posterior análisis de la Galaxia REPSOL, donde se encuentran las plataformas de las otras plantas. A continuación, se explican los cambios en la arquitectura de red de la estación, incluyendo todos los equipos necesarios para poder integrar los sistemas al DCS. Luego se empieza con la ingeniería de detalle, que explica cómo se van a emplear los equipos para poder integrar todas las señales, mediante la red de control al sistema. Se realiza los respectivos planos de todos los cambios en los gabinetes de la estación.

Se lleva a cabo un levantamiento de todas las señales de los sistemas terceros que se encontraban en el DCS Experion PKS R311 a través de una máquina virtual proporcionada por el cliente. Luego, se crearon todos los dispositivos y elementos necesarios en la galaxia, así como las configuraciones en los equipos, por último, se desarrollan las respectivas estrategias de control o instancias para cada sistema con el propósito de integrar las señales.

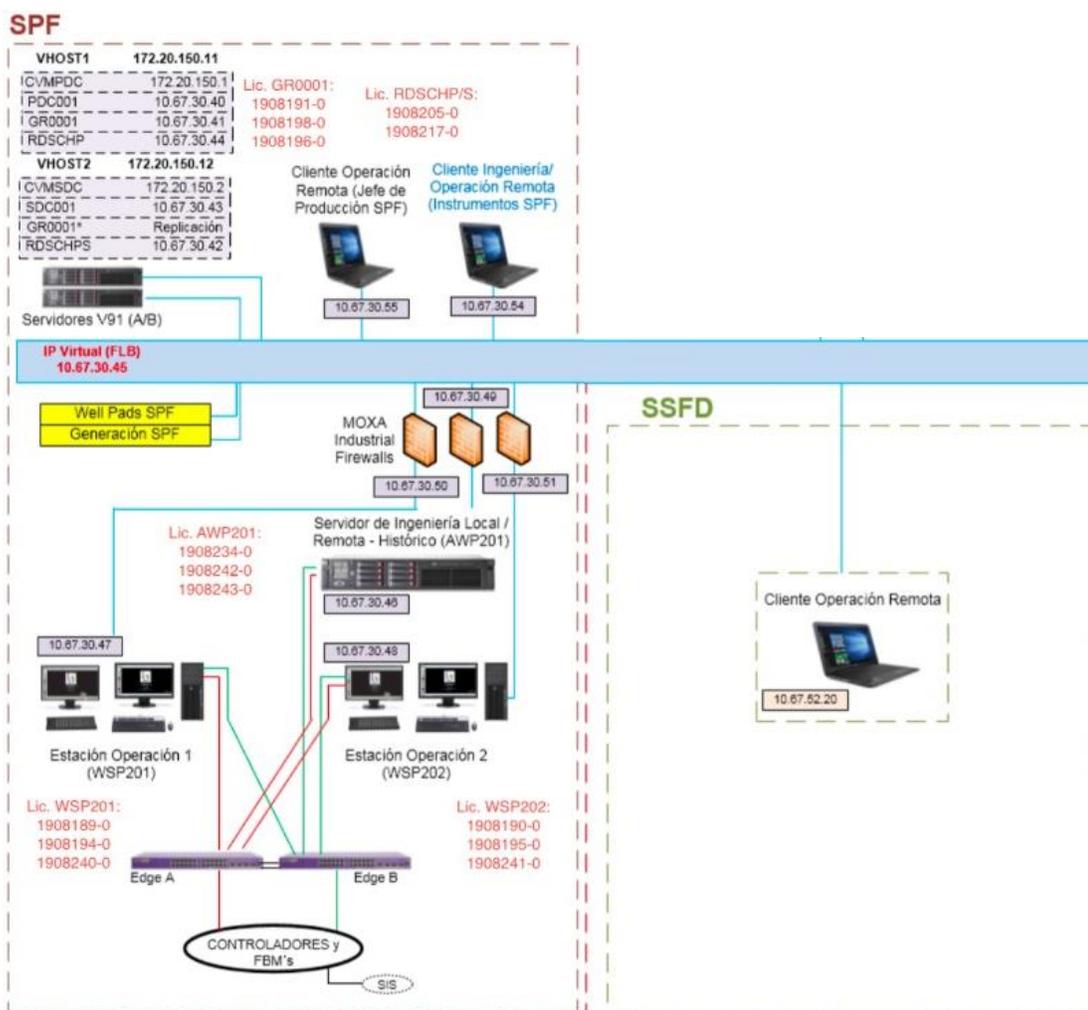
Arquitectura de Red

La empresa Repsol cuenta con varias estaciones de producción, refinación y bombeo de petróleo distribuidas en diferentes bloques y ubicadas la gran mayoría en el Oriente del Ecuador, el Bloque principal es el Bloque 16 se encuentra subdividido en la estación Norte (NPF) y la estación Sur (SPF) (Repsol, 2015). Cada una de estas

estaciones presenta un sistema de control distribuido Foxboro Evo propio, que conforma un solo sistema multiplataforma; cada una de las estaciones se comunican mediante una VLAN de Control denominada Foxboro Control Network.

Figura 5

Arquitectura de Red Repsol 2018



Nota: Adaptado de Actualización Sistema de Control SPF, por Tecniequipos S.A 2018

La arquitectura de la red de todo el sistema Repsol antes de la actualización del sistema de la estación Shushufindi al DCS Foxboro Evo se observa en la Figura 5, donde cada estación cuenta con sus estaciones de operación y servidores de ingeniería

mientras que la estación SSFD únicamente contaba con un cliente de acceso remoto para acceder a la información mediante la red de control, a través de una sesión de escritorio remoto (RDS) hacia una plataforma de la red de las estaciones NPF y SPF.

Virtualización

El sistema Multiplataforma de Foxboro implementado en las estaciones de Repsol maneja un sistema de control por virtualización a través de 2 servidores V91 (VHOST1 Y VHOST2). La virtualización se utiliza con el propósito de disminuir la cantidad de servidores y costos por medio de un servidor de mayor potencia donde se ejecuten varias máquinas virtuales con sus respectivos sistemas operativos y programas (Microsoft , 2022).

Para el sistema de Repsol, los dos servidores de virtualización se encuentran ubicados en la estación SPF en el bloque 16 y conectados a la VLAN de control REPSOL, con el objetivo de que los equipos y estaciones de las otras plantas se comuniquen a estos servidores y sus máquinas virtuales utilizando la red de control. En cada servidor se encuentra ejecutándose 4 máquinas virtuales a través del software Hyper V para virtualización de sistemas.

El sistema de control Foxboro Evo maneja 2 servidores VHOST1 y VHOST2 que ejecutan las mismas máquinas virtuales, debido a que se implementan sistemas redundantes, es decir, en caso de que no haya conexión o falle algún sistema en el VHOST1 van a entrar en funcionamiento las máquinas del servidor VHOST 2.

Tabla 2*Máquinas Virtuales Servidores Virtualización*

Servidor	Máquina	Descripción	Dirección IP
VHOST 1	CVMPDC	Controlador dominio primario Virtualización	172.20.150.1
VHOST 1	PDC001	Controlador de dominio Primario	10.67.30.40
VHOST 1	GR0001	Servidor de Galaxia	10.67.30.41
VHOST 1	RDSCHP	Escritorio remoto primario	10.67.30.44
VHOST 2	CVMSDC	Controlador dominio secundario Virtualización	172.20.150.2
VHOST 2	SDC001	Controlador de dominio Secundario	10.67.30.43
VHOST 2	GR0001*	Réplica del Servidor de Galaxia	Réplica Galaxia
VHOST 2	RDSCHS	Escritorio remoto secundario	10.67.30.42

Nota: Adaptado de *Actualización Sistema de Control SPF*, por Tecniequpos S.A 2018.

En la Tabla 2 se detalla cada una de las máquinas virtuales que se encuentran en los servidores de virtualización con la dirección IP que ocupan dentro de la Red.

El Controlador de dominio primario o secundario es un servidor virtual que almacena toda la información de Autenticación en el dominio de Windows Server mediante el servicio Windows Active Directory (Oily, 2022), valida el inicio de sesión y guarda toda la información de las cuentas de usuario del sistema Foxboro Evo.

El servidor de Galaxia es el encargado de almacenar todos los dispositivos objetos y plantillas de la Galaxia Repsol, en el segundo servidor de Virtualización se encuentra una máquina replica de este servidor.

La Galaxia REPSOL es una colección de plataformas, engines, plantillas e instancias de todas las estaciones que conforman el sistema Foxboro EVO para Repsol, cada estación contiene sus plataformas que representan a las estaciones de operación y servidores de ingeniería.

La Galaxia también se clasifica a través de los Equip Unit de cada planta donde se encuentra declarada la CP del procesador que contiene las áreas, objetos, estrategias de control y devices respectivos de cada estación. A través del programa system Manager se pueden visualizar “a nivel de Hardware” los elementos de la red de cada estación, dentro de la CP se encuentran declaradas cada una de las tarjetas FBMs para la adquisición de datos y comunicación del sistema.

Estación SSFD

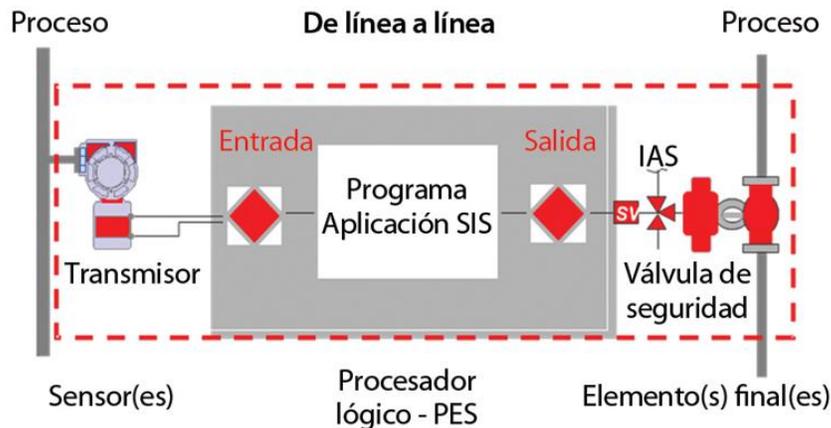
La estación SSFD cuenta con 3 sistemas principales del proceso (SIS, E1613C, OCP) cada sistema tercero contiene su controlador específico de la marca Allen Bradley donde se encuentra la lógica de programación de cada sistema; la información que manejan los controladores se integra al DCS Foxboro Evo con el objetivo de supervisar y controlar todos los datos de la estación en una sola plataforma, para que puedan ser monitoreados y controlados en el sistema HMI de la estación por parte del operador.

El sistema instrumentado de Seguridad (SIS) tiene como propósito realizar todas las funciones de seguridad necesarias para que la planta industrial llegue a un estado estable, no presente ningún riesgo para las personas y no existan daños graves en el proceso en caso de presentarse cualquier anomalía o falla (Ródgriguez, 2014).

Este sistema es el encargado de realizar el Process Shutdown (PSD) o el Emergency Shutdown (ESD) hasta el restablecimiento del proceso a sus condiciones normales para su posterior arranque (Instrumentation Tools, 2019).

Figura 6

Arquitectura Sistema instrumentado de Seguridad



Nota: Tomado de *Sistemas Instrumentados de seguridad*, Roberto Varela, 2021, www.editores_srl.com.ar/autor/roberto_varela/20210628_sistemas_instrumentados_de_seguridad

En la Figura 6 se observa el diagrama de Bloques del sistema instrumentado de seguridad, los dispositivos de entrada miden las variables del proceso. Los dispositivos de control que reciben la señal del PLC se encargan de llevar a la planta a un estado seguro, el actuador principal del SIS es la válvula de Shutdown que se encarga de aislar diferentes etapas del proceso hasta el momento en que tenga condiciones seguras para su reinicio.

E1613C es un sistema de calentador eléctrico, la estación cuenta con dos circuitos de calentamiento del crudo para su transporte: el circuito de aceite térmico y el sistema E1613C, este utiliza un calentador eléctrico de gran potencia y con la ayuda de

los intercambiadores de calor E1613A/B calienta el crudo para su transporte, en este sistema es fundamental el monitoreo de las variables de temperatura tanto a la entrada como a la salida.

El sistema de OCP es el encargado de recibir todo el crudo bombeado por la estación de transferencia hacia la estación de Lago Agrio. El crudo primero es calentado para disminuir la viscosidad y que el bombeo se realice de mejor forma, en este sistema son fundamentales los valores flujo en barriles con respecto al tiempo bombeados por parte de la estación de bombeo hacia OCP. La estación de Lago Agrio tiene una capacidad máxima de transporte de 410.000 barriles por día que se almacenan en 4 tanques (OCP Ecuador, 2022)

Tabla 3

Dirección IP Sistemas Terceros

Sistema Tercero	Dirección IP	PLC
SIS	10.67.52.16	CompactLogix Logix5573
E1613C	10.67.52.4	CompactLogix Logix 5324ER
OCP	10.67.50.20	CompactLogix

Los sistemas se encuentran con controladores lógicos programables de la marca Allen Bradley de la gama CompactLogix, en la Tabla 3 se encuentra un resumen de los sistemas terceros y las direcciones IP que ocupan los PLCs de este sistema.

El PLC del sistema de Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) está ubicado en la estación de Lago Agrio, a más de 45 km de distancia de la estación de transferencia de Shushufindi por lo que se sitúa en un segmento de red con direcciones IP en el rango 10.67.50.XX diferente a los equipos de la estación SSFD, los controladores del

SIS y el calentador E1613C que se ubican en un segmento de red que maneja las direcciones IP en el rango 10.67.52.XX, esto impide que se integre el sistema OCP a través del driver FDSI por lo que se utilizan herramientas disponibles en la Galaxia Repsol para integrar este sistema.

Equipos y Drivers de la Integración de sistemas Terceros

Para la integración de los sistemas al DCS Foxboro Evo se dispone de diferentes equipos, mediante su configuración y programación permiten la supervisión, monitoreo y control de todos los sistemas en un solo controlador y plataforma.

Field Control Processor 280

El controlador distribuido FCP 280 se encarga de realizar la supervisión y el control regulatorio y secuencial de todo el proceso, incluyendo los subsistemas de la estación de transferencia, FCP 280 cuenta con 2 módulos de procesador ubicados en un solo baseplate con el propósito de tener redundancia.

En la Tabla 4 se detallan las características técnicas principales del procesador.

Tabla 4

Especificaciones FCP 280

Característica	Descripción
Procesador de control	Sistema ARM en un chip (SOC) con programas almacenados, utilizando capacidad de comunicación de alta velocidad
Alimentación	Entrada redundante de 24 V DC
Memoria	128 MB SDRAM y 128 MB Flash
I/O Capacidad	Hasta 32 módulos de expansión por FBM de bus amplio.

Velocidad de ejecución de Velocidad de 50 ms por bloque de control.

Bloques de control

Temperatura -20 a 60°C

Nota: Tomado de FCP 280PSS 41H-1FCP280, Schneider Electric, 2020,
<https://www.se.com/ww/en/work/products/industrial-automation-control/foxboro-dcs/controllers-and-network/fcp-280.jsp>

La FCP 280 realiza su trabajo en conjunto con los módulos de bus de campo (FBM) que se comunican mediante sus baseplates, para los sistemas SIS y E1613C se emplea la FBM 232 mediante el protocolo de comunicación Ethernet/IP. En Figura 7 se indica el procesador utilizado en su respectivo Baseplate.

Figura 7

Procesador FCP 280



Nota: Tomado de FCP 280PSS 41H-1FCP280, Schneider Electric, 2020,
<https://www.se.com/ww/en/work/products/industrial-automation-control/foxboro-dcs/controllers-and-network/fcp-280.jsp>

Módulo FBM 232

El módulo FBM232 es un integrador de sistemas (FDSI), se desempeña como interfaz entre las señales provenientes de los equipos de campo desde un controlador a el DCS Foxboro Evo mediante una sola entrada Ethernet.

Este módulo se conecta directamente a la red por un único puerto RJ-45 hacia los switches que maneja la red. En la Tabla 5 se especifica las características técnicas del módulo integrador.

Tabla 5

Especificaciones FBM 232

Características	Descripción
Alimentación	Voltaje redundante 24 V DC
Tasa de transmisión de comunicación	10 o 100 Mbps
Protocolo de comunicación	TCP/IP
Capacidad	Hasta 64 dispositivos por FBM232
Puerto de comunicación	RJ-45 Cobre
Temperatura	-20 a +70°C
Datos Transferidos	Hasta 2000 conexiones de datos de para leer o escribir datos.
Montaje	Mediante Baseplate hacia la FCP
Tiempo de acceso a datos por estación de control	500 ms

Nota: Tomado de FBM232 Field Device System Integrator Module PSS 41H-2S232,

Schneider Electric, 2019, <https://www.se.com/ww/en/work/products/industrial-automation-control/foxboro-dcs/io-comms/standard-io.jsp>

Mediante esta interface de comunicación se integran de manera específica los sistemas E1613C y SIS que se encuentran dentro del segmento de red del procesador FCP 280 a través de una conexión Ethernet y el protocolo de comunicación EthenrNet/IP, que permite comunicar las señales de los controladores Allen Bradley al DCS Foxboro Evo

En la Figura 8 se muestra la interface FBM 232 en su respectivo baseplate con un conector RJ-45

Figura 8

Módulo FBM 232



Nota: Tomado de FBM232 Field Device System Integrator Module PSS 41H-2S232, Schneider Electric, 2019, <https://www.se.com/ww/en/work/products/industrial-automation-control/foxboro-dcs/io-comms/standard-io.jsp>

Driver FDSI-Allen Bradley

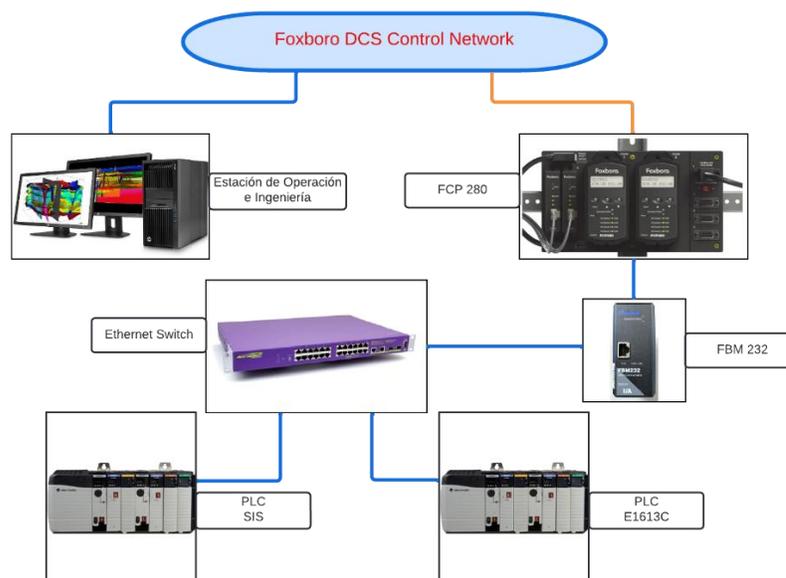
El driver actúa como interfaz entre un controlador lógico programable Allen Bradley Compact Logix y el DCS Foxboro Evo mediante el módulo de comunicación

FBM 232. La comunicación se realiza mediante el protocolo Ethernet/IP utilizando el modo Nativo que realiza la comparación entre nombres de etiqueta para la distinción de las variables entre los procesadores (Schneider Electric, 2019). La interacción entre el controlador Allen Bradley y el DCS Foxboro Evo se realiza mediante la intercomunicación entre el software Control Logix con el software del DCS System Platform y la Galaxia, el FDSI utiliza un mensaje CIP para la adquisición de datos no programados, que se obtienen directamente de la tarjeta del controlador.

La Configuración utilizada para los Sistemas SIS y E1613C se observa en la Figura 9.

Figura 9

Esquema Integración Sistemas Terceros



Los tipos de datos y bloques de control se definen mediante el tipo de dato manejado por el software System Platform de Wonderware y aplicado al módulo FBM 232 como el driver FDSI se detalla en la

Tabla 6*Tipo de datos FDSI*

Tipo de dato	Lectura o escritura	Bloques
Boolean	Lectura y Escritura	BIN, BOUT, BINR
Integer	Lectura y Escritura	IIN, IOUT
Packed	Lectura y Escritura	PAKIN, PAKOUT
Pulse	Escritura	PLSOUT
Real	Lectura y Escritura	RIN, RINR, ROUT
String	Lectura y Escritura	STRIN, STROUT

Nota: Adaptado de FDSI Driver – Allen-Bradley, Schneider Electric, 2019

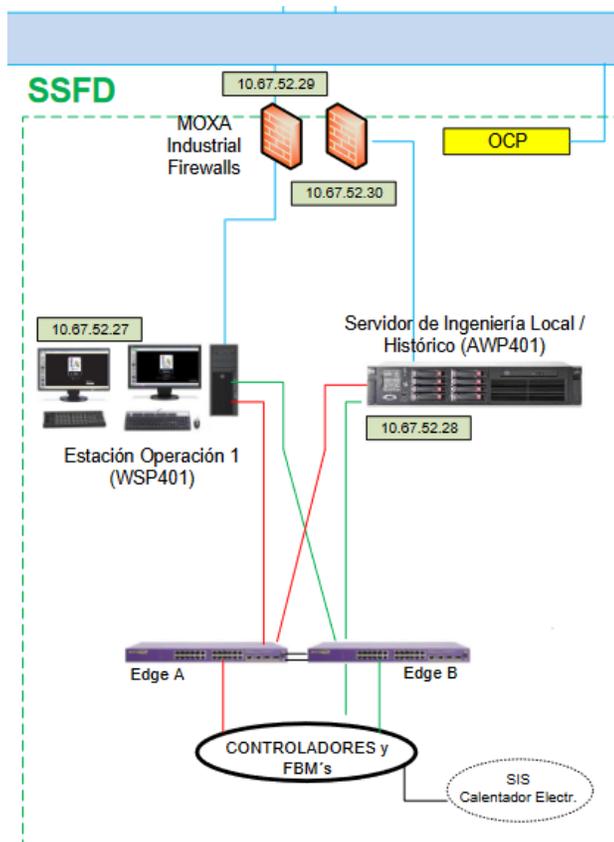
Arquitectura de Red y DCS Foxboro Evo

Con la implementación del DCS Foxboro Evo en la estación de transferencia en SSFD para integrar los sistemas terceros, considerando los equipos detallados en la sección anterior, la arquitectura de red de los equipos Foxboro de Repsol mantiene la base de la arquitectura como se muestra en la Figura 5

Arquitectura de Red Repsol 2018 las plantas Norte (NPF) y la planta Sur (SPF) no se alteran en su arquitectura, mientras que en la Planta Shushufindi (SSFD) se reemplaza el cliente de acceso remoto que disponían por el sistema Foxboro Evo, integrando a la Foxboro Control Network a la estación como se muestra en la Figura 10.

Figura 10

Arquitectura de Red Repsol 2022



Nota: Modificado de Actualización Sistema de Control SPF, por Tecniequipos S.A 2018

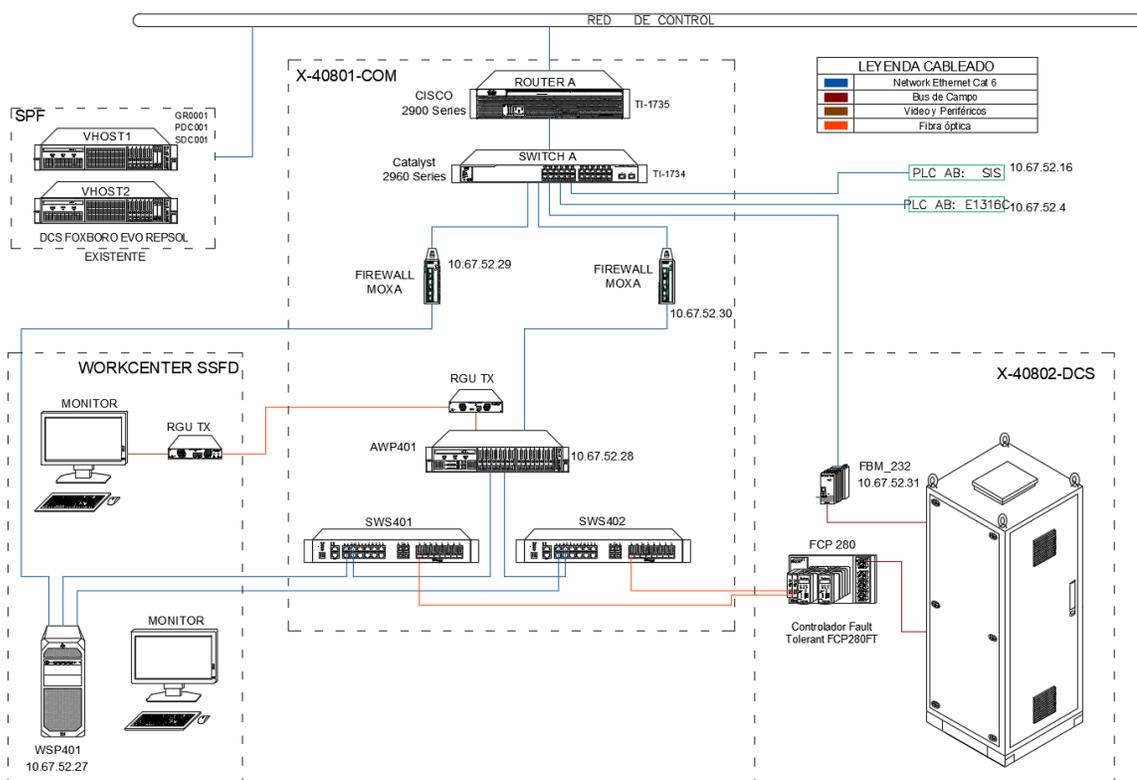
La arquitectura de la red Repsol con el DCS Foxboro Evo “en la estación de transferencia” presenta intercomunicación entre el servidor de ingeniería y la estación de operación, igual que los controladores y FBM's hacia la Foxboro Control Network, esto se realiza mediante los Switches. Los sistemas terceros SIS y Calentador Eléctrico se integran a la Red por medio de la FBM 232 mientras que el sistema OCP se integra directamente a la red a través de la Galaxia

Dentro de la estación de transferencia se encuentra el cuarto de equipos donde están dos gabinetes: el gabinete Foxboro Evo DCS (X-40802-DCS) y el gabinete de

comunicaciones (X-40801-COM). La arquitectura interna de la estación se muestra en la Figura 11.

Figura 11

Arquitectura Red SSFD



La arquitectura de red de la estación de SSFD se encuentra dividida en 4 secciones:

- Los servidores de virtualización (VHOST 1 y VHOST 2) de la red Repsol ubicados en la estación SPF donde se encuentran corriendo las máquinas virtuales detalladas en la Tabla 2.
- El Workcenter ubicado en el Control Room de la planta SSFD donde están la estación de operación (WSP401) y el monitor del servidor de ingeniería (AWP401).

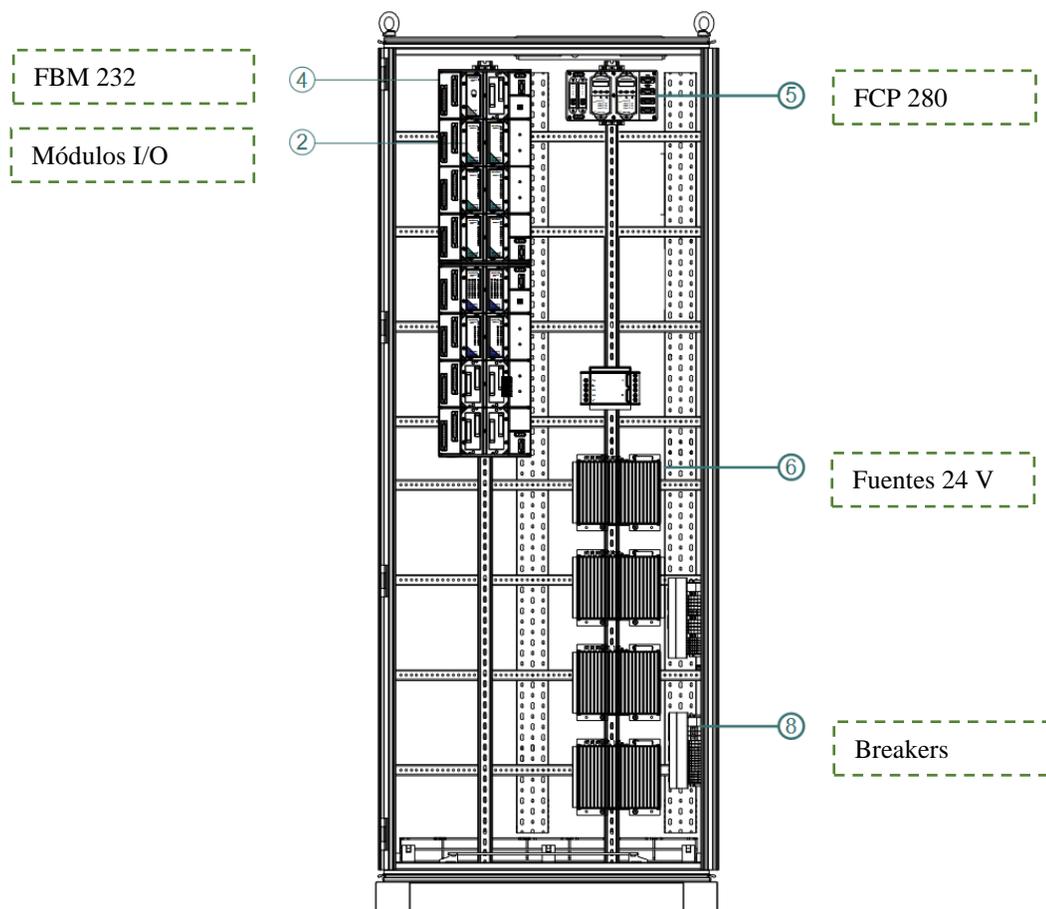
- El gabinete X-40802-DCS donde se ubican los procesadores y módulos FBM del DCS Foxboro Evo.
- El gabinete de comunicaciones X-40801-COM donde se ubica el Router A de Repsol que conecta a toda la estación con la VLAN de control, el Switch A que administra toda la red de Repsol dentro de la planta, incluyendo los sistemas terceros (SIS, E1613C) y la FBM 232, adicional al Switch A se conectan la estación de operación y servidor de ingeniería con sus respectivos Firewalls como medida de ciberseguridad. Los switches SWS401 y SWS402 se encuentran conectados en configuración Mesh para tener varios flujos de datos redundantes con el objetivo de tener una comunicación fiable y asegurar el flujo de la información en la red.

Distribución Gabinete

Con los equipos añadidos a la nueva arquitectura de red de la estación SSFD que se muestra en Figura 11. Se define una nueva distribución dentro de cada uno de los gabinetes, los diagramas de los gabinetes se muestran en los planos en el Apéndice A.

En el gabinete Foxboro X-40802-DCS se localizan 3 baseplates, el primer baseplate contiene los dos módulos del procesador de control, FCP 280, con sus adaptadores de red, en los otros 2 baseplates se encuentran el módulo de comunicación FBM 232 para la integración de los sistemas terceros y los módulos de adquisición de datos FBM 244, 214, 239, 241, adicional se ubican las fuentes redundantes de 24 V DC que alimentan al procesador y a los baseplates.

Cada uno de los gabinetes posee Breakers para proteger los equipos ante cualquier sobrecarga de alimentación. En la Figura 12 se muestra la distribución del gabinete Foxboro X-40802-DCS en su vista frontal.

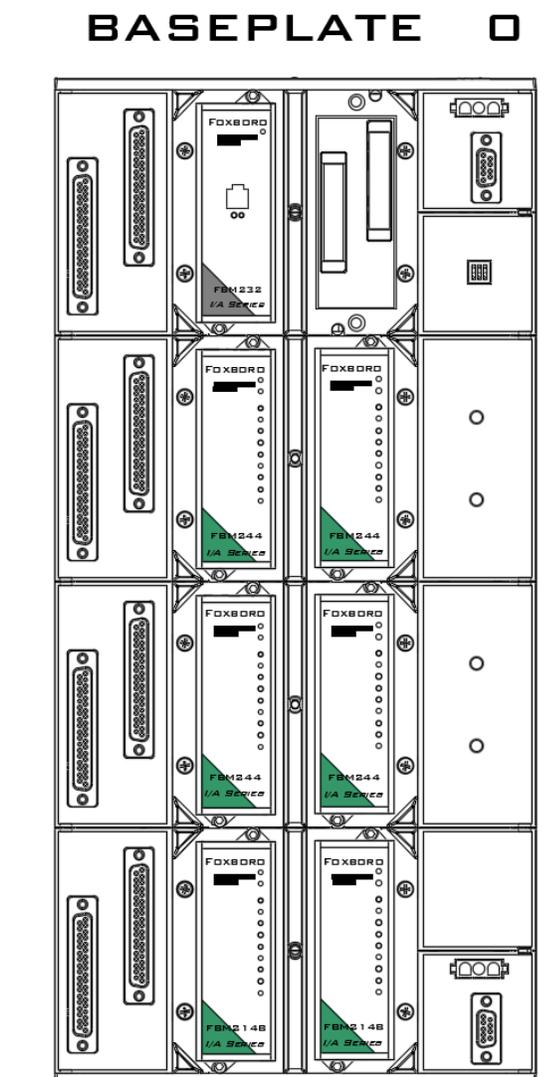
Figura 12*Vista Frontal Gabinete X-40802-DCS*

La distribución de los módulos en los baseplates se define en un orden específico el cual no se puede alterar debido a que esta distribución está configurada en la Galaxia, declarando cada una de las tarjetas con sus especificaciones, la FBM 232 que integra los sistemas terceros se encuentra en la posición inicial del primer baseplate cuyo nombre dentro de la Galaxia será SFD001, el resto de módulos continuarán en orden ascendente la posición en el baseplate y la numeración del nombre en la Galaxia.

La distribución de las FBMs en el baseplate 0 de la FBM 232 se aprecia en la Figura 13.

Figura 13

Distribución FBM Baseplate 0



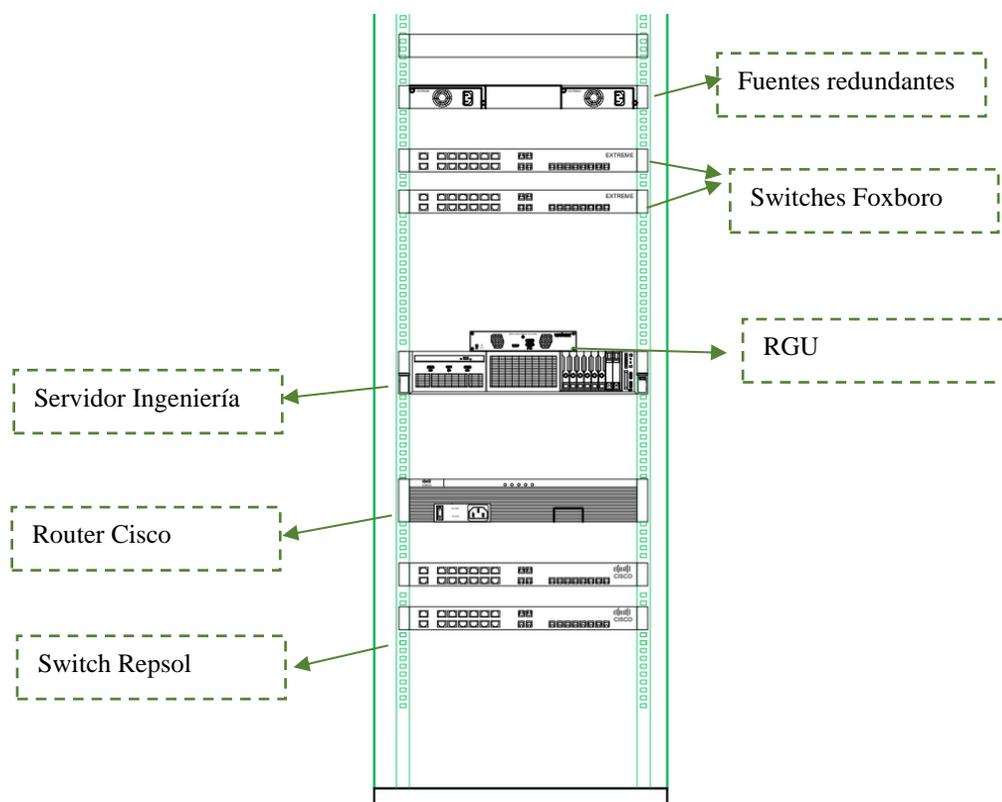
La distribución de las FBMs de la Figura 13, se observa que en el slot 2 no hay una FBM, debido a que el diseño se realizó para que en caso de daño de alguna FBM o de un slot del baseplate, ese espacio pueda ser ocupado por otra FBM sin la necesidad de reemplazar todo el Baseplate. La distribución de todos los Baseplates del gabinete Foxboro se encuentra en el Apéndice B. En el gabinete de comunicaciones se ubican todos los equipos de Repsol que manejan la red, incluyendo los switches SWS401 y SWS402 con sus respectivas fuentes secundarias y el servidor de ingeniería AWP

401 con la unidad remota gráfica que permite que las interfaces de usuario y periféricos se encuentren separados a una distancia considerable del servidor (Matrox Graphics Inc., 2006). Al incluir una unidad gráfica remota (RGU) en el servidor AWP 401 permite que la pantalla, el mouse y el teclado del servidor se ubiquen en el Workcenter del control room de la estación SSFD.

La vista frontal del Gabinete X-40801-COM se muestra en la Figura 14, asimismo el plano con la distribución a detalle del gabinete se encuentra en el Apéndice C.

Figura 14

Vista frontal gabinete X-40801-COM



Las Fuentes redundantes sirven como alimentación secundaria en caso de falla de la alimentación en los switches de la red Foxboro Control Network.

Base de señales Sistemas Terceros

Con el objetivo de obtener la cantidad de señales que conforman cada uno de los sistemas terceros (SIS, E1613C, OCP), se realiza un levantamiento de cada señal con sus respectivas características migradas al DCS Foxboro Evo, las características tomadas en cuenta para el levantamiento de la base de datos de las señales son:

- **Tipo de Dato:** Indica el tipo de dato de la señal, los tipos de datos permitidos se encuentran en la Tabla 6.
- **Dirección de etiqueta en el PLC Allen Bradley:** El nombre de la etiqueta y el bloque de la señal en el controlador, debido a que el driver FDSI adquiere el valor del dato en modo nativo a través de la comparación de etiquetas.
- **Descripción de la señal:** Detalla a que instrumento o variable está asociada la señal.
- **Rango de la señal (Señal análoga):** Indican el valor máximo y mínimo que podría tomar la señal.
- **Constantes de escalamiento (Señal análoga):** Definen las constantes de ganancia y Offset que se aplican a la señal para escalarle al valor del transmisor.
- **Límites de alarmas de la señal:** Define en que valores o cambio de estado se alarma la señal.
- **Unidades de la señal:** Indica las unidades de la variable análoga (Temperatura, Presión, Flujo, Nivel, Tiempo, Viscosidad).

El levantamiento se realiza en una máquina virtual que contiene “todo el sistema Honeywell del DCS anterior” proporcionada por Repsol. Esta máquina tiene todos los programas, softwares y base de datos de los sistemas terceros que se integraran al DCS Foxboro Evo.

El sistema Honeywell maneja diferentes softwares donde se encuentra la configuración e información de las señales. El levantamiento de la base de las señales se realizó tomando en cuenta un listado proporcionado por el cliente que define las señales que se desean integrar en cada uno de los sistemas.

El software Configuration Studio abarca todas las herramientas de configuración y datos del DCS Experion (Honeywell, 2014), mediante la herramienta Quick Builder se puede visualizar todos los parámetros de las señales dentro de la base de datos proporcionada por la máquina virtual.

Figura 15

Base de datos Señales Honeywell

ItemName	ItemDescription	AreaCode	SourceAddressPV
100-PT-6509	P-1611 A/B/C/D/E SUCCT PRESS	A3	PLC-SHUSHU F14:25
100-PT-6513A	100-PT-6513	A3	PLC-SHUSHU F14:27
100-PT-6513-R	OUTPUT PRESS BEFORE LAUNCHER	A3	PLC-SHUSHU P:100-PT-6513A PV
100-PT-6516A	PRESION DEL TRANSMISOR PT-6516	A3	PLC-SHUSHU F14:2
100-PT-6516A-R	OUTPUT PRESS TO LAGO AGRIO	A3	PLC-SHUSHU P:100-PT-6516A PV
100-PXHH6314	PXHH6314 DILU BST	A3	PLC-SHUSHU I1:11/17
100-PXHH6806	PXHH6806 F.G. SPLY	A3	PLC-SHUSHU I1:10/7
100-PXLL6908A	PXLL6908A INST AIR	A3	PLC-SHUSHU I1:10/16
100-PY-6204A	100-PY-6204	A3	PLC-SHUSHU F14:20
100-PY-6503A	100-PY-6509	A3	PLC-SHUSHU N7:6
100-SDV-6209	Estado Valvula SDV-6209	A3	PLC-SHUSHU I1:10
100-SDV-6504	Estado Valvula SDV-6504	A3	PLC-SHUSHU I1:10/2

En la Figura 15 se observa una muestra pequeña de las señales de los sistemas terceros. En la base de datos de la estación SSFD, las señales discretas se encuentran de color rojo, mientras que las señales análogas tienen el indicador de color azul, cada señal posee 3 parámetros principales la descripción de la señal, el tagname y la dirección del Process Value (PV) dentro del PLC al que pertenece el dato.

Para el caso de la señal de la válvula SDV 6209; seleccionada en la Figura 16 los parámetros son los siguientes:

- Tagname: SDV-6209
- Descripción: Estado Válvula SDV 6209
- Dirección: PLC-SHUSHU I1:10

Para el caso del tagname no se toma en cuenta el prefijo 100 debido a que este prefijo en el sistema Honeywell indica que la señal se obtiene por comunicación.

Al seleccionar la señal se accede a todas las características mediante una ventana que permite identificar las características principales: pantalla, alarmas, control, históricos entre las más importantes.

Figura 16

Características Señal SDV-6209

Field	Value
Point ID	100-SDV-6209
Enterprise Model	100-SDV-6209
Item Name	Estado Valvula SDV-6209
Description	Estado Valvula SDV-6209
Parent Asset	A3
PV Source Address	PLC-SHUSHU I1:10
PV Scan Period	2
Number of States	4
PV Algo	NONE
State 7	
State 6	
State 5	
State 4	
State 3	TRAVEL
State 2	OPEN

Como se muestra en la Figura 16, todas las características de la señal se despliegan incluyendo el tag el número de estados y la descripción de cada estado en el caso de las válvulas SDV, los 4 estados que tienen estas válvulas son: Abierto, cerrado, falla y viaje.

Figura 17*Alarmas Válvula SDV 6209*

Enable	Priority	Sub Priority	External Change Alarms
<input type="checkbox"/> State 7 Alarm	Journal	0	<input type="checkbox"/> PV
<input type="checkbox"/> State 6 Alarm	Journal	0	<input type="checkbox"/> OP
<input type="checkbox"/> State 5 Alarm	Journal	0	<input type="checkbox"/> MD
<input type="checkbox"/> State 4 Alarm	Journal	0	
<input type="checkbox"/> TRAVEL Alarm	Urgent	0	
<input type="checkbox"/> OPEN Alarm	Urgent	0	
<input checked="" type="checkbox"/> CLOSE Alarm	Urgent	0	
<input type="checkbox"/> FAULT Alarm	Urgent	0	
Control Fail Alarm	Urgent	0	
Alarm Message Index	0		<input type="checkbox"/> Fire Point (Alarms at highest priority)
Ack Destination Address			<input type="checkbox"/> Re-alarm on state transition
	<input type="checkbox"/> Disable Alarming		

La alarma de la SDV se activa en el momento que la válvula cambia su estado ha cerrado. Otra característica que proporciona el sistema sobre la señal es la prioridad de la alarma dentro del sistema que establece el nivel de impacto de la alarma dentro del proceso para ser atendida, para la válvula SDV 6209 es Urgente.

Las señales análogas en su mayoría se utilizan en la estación SSFD para representar la medición de variables dentro del proceso como: presión, temperatura, flujo y nivel y son representadas con el indicador de color azul en la base de Honeywell, las alarmas se establecen a través de 4 límites:

- High High Alarm
- High Alarm
- Low Alarm

- Low Low Alarm.

En la Figura 18 se observa la información sobre alarmas de la señal del transmisor nivel del tanque 1603 donde se encuentra cada límite de alarma para la señal analógica con su respectiva prioridad

Figura 18

Alarmas Transmisor Nivel 1603

Alarm Type	Priority	Sub Priority	Limit	External Change Alarms
PVLowLow	Urgent	0	12	<input type="checkbox"/> PV
PVLow	Urgent	0	22	<input type="checkbox"/> SP
PVHigh	Urgent	0	48	<input type="checkbox"/> OP
PVHighHigh	Urgent	0	54	<input type="checkbox"/> MD
None	Journal	0	0	<input type="checkbox"/> A1
None	Journal	0	0	<input type="checkbox"/> A2
None	Journal	0	0	<input type="checkbox"/> A3
None	Journal	0	0	<input type="checkbox"/> A4
Unreasonable Value	Urgent	0		
Control Fail Alarm	Urgent	0		
Alarm Message Index	0			
Alarm Deadband (%)	0.500			
<input type="checkbox"/> Disable Alarming				

El “tanque 1603” según su descripción es el encargado de almacenar el Diesel que no es inyectado por la estación de transferencia, el valor de esta señal es muy importante dentro del proceso y se evidencia en las prioridades de la alarma ya que todas las alarmas poseen prioridad Urgente.

Basándose en los criterios detallados antes se realiza el levantamiento de la base de señales de los sistemas terceros, esta información se almacena en tablas elaboradas en el programa Microsoft Excel con el objetivo de crear las estrategias de control en la Galaxia Repsol utilizando scripts generados en Excel.

Sistema Calentador Eléctrico E1613C

El calentador E1613C tiene 10 señales análogas, 2 salidas y 8 entradas y 2 señales discretas, 1 salida y una entrada, las señales del calentador E1613C no poseen alarmas definidas.

En la Tabla 7 se muestran todas las características de

Tabla 7

Listado de descripción y rango señales Calentador E1613C

Tag	Descripción	Rango Min	Rango Max	Unidad	Dirección PLC
Honeywell E1613C- SETPOINT		0	500	°F	Proces_Temperature_SP_Auto
E1613C-TE1A	TERMOPAR UNO CALENTADOR E- 1613C	0	500	°F	TE1A.Scaled_Value
E1613C-TE2A	TERMOPAR DOS CALENTADOR E- 1613C	0	500	°F	TE2A.Scaled_Value
E1613C-TE3A	TERMOPAR TRES CALENTADOR E- 1613C	0	500	°F	TE3A.Scaled_Value
E1613C-TT	TEMP DE CALENTADOR E- 1613C	0	500	°F	Process_Temperature_Transmitter. Scaled_Value
E1613C- HIGHALARM		0	500	°F	High_Sheath_Temp_SP
100- E1613C_IA	E-4613C CURRENT PHASE A	0	1000	A	SSFD_ELEC[12]
100- E1613C_IAV G	E-1613C CURRENT AVG	0	1000	A	SSFD_ELEC[15]
100- E1613C_IB	E-4613C CURRENT PHASE B	0	1000	A	SSFD_ELEC[13]

100- E1613C_IC	E-4613C CURRENT PHASE C	0	1000	A	SSFD_ELEC[14]
---------------------------	-------------------------------	---	------	---	---------------

En la Tabla 8 se muestra las señales discretas del calentador donde se encuentran el indicador de estado del calentador y una señal de salida para resetear el sistema.

Tabla 8

Listado de descripción señales discretas Calentador E1613C

Tag Honeywell	Tipo de señal	Descripción	Dirección PLC
E1613C- RESET	Salida	RESET CALENTADOR	High_Sheath_Limit_Rst_P B
E1613C- STATE	Entrada	ESTADO CALENTADOR	Sheath_Temperature_OK

Sistema Instrumentado de Seguridad

El SIS en la estación SSFD es el sistema con mayor cantidad de señales debido a que se encuentran todas las señales análogas de los transmisores de variables del proceso y las señales discretas donde se hallan los indicadores de estado de los instrumentos y switches de seguridad de la estación. El SIS tiene 47 señales análogas y 101 señales discretas.

En la Tabla 9 se muestra un resumen de 10 señales análogas del sistema SIS donde se encuentra el valor de corrientes de fases y corriente promedio de las bombas de succión P-1611 A/B/C, el valor del transmisor de nivel del tanque de Diluyente T-1603 y del tanque de drenaje T-6618 con sus características de rango, descripción y la dirección que tienen en el controlador lógico programable Compact Logix. El listado completo a detalle de las señales del sistema se muestra en el Apéndice D. Existe un grupo de señales del sistema SIS como totalizadores de flujo y horómetros que no se

encuentran en el PLC del sistema instrumentado de seguridad, por lo que estas señales no se integran por comunicación mediante la FBM 232 si no se crean directamente los bloques de control en el DCS cumpliendo con sus algoritmos respectivos.

Tabla 9

Listado de descripción y rango señales SIS

Tag	Descripción	Rango	Rango	Unidad	Dirección PLC
Honeywell		Min	Max		
100-LIT-6310BA	T-1601B: DILUENT TANK LEVEL	0	41	FT	LIT_6310_B.PV
100-LT-6618	V-1686 OPEN DRAIN LEVEL	0	100	FT	LY_6618.PV
100-P1611A_IA	P- 1611A CURRENT PHASE A	0	1000	A	SSFD_ELEC[0]:S2
100-P1611A_IAVG	P- 1611A CURRENT AVERAGE	0	200	A	SSFD_ELEC[9]:S2
100-P1611A_IB	P- 1611A CURRENT PHASE B	0	1000	A	SSFD_ELEC[1]:S2
100-P1611A_IC	P- 1611A CURRENT PHASE C	0	1000	A	SSFD_ELEC[2]:S2

100-	P- 1611B	0	1000	A	SSFD_ELEC[3]:S2
P1611B_IA	CURRENT				
	PHASE A				
100-	P- 1611B	0	200	A	SSFD_ELEC[10]:S2
P1611B_Iavg	CURRENT				
	AVERAGE				
100-	P- 1611B	0	1000	A	SSFD_ELEC[4]:S2
P1611B_IB	CURRENT				
	PHASE B				
100-	P- 1611B	0	1000	A	SSFD_ELEC[5]:S2
P1611B_IC	CURRENT				
	PHASE C				
100-	P- 1611C	0	1000	A	SSFD_ELEC[6]:S2
P1611C_IA	CURRENT				
	PHASE A				

Debido a la función que cumple el Sistema instrumentado de seguridad gran parte de las señales análogas poseen límites de alarmas y una prioridad definida dentro del proceso. En la Tabla 10 se muestra el listado de alarmas y sus límites de las señales detalladas en la Tabla 9 del sistema SIS, el listado completo de alarmas de la base de señales se encuentra detallado en el Apéndice E.

Tabla 10

Tabla de límites Alarmas Señales Análogas SIS

Tag Señal	High	High	Low	Low	Prioridad (High	Prioridad
	High			Low	High/ Low Low)	(High/Low)
100-AIT-				95	1	
635_NPF						
100-LIT-6310A-	36	35	6	5	1	3
VAREC						
100-LT-6618		135	100	90	1	3
100-P1611A_IA	100	90	75	70	1	3
100-	100	90	75	70	1	3
P1611A_IAVG						
100-P1611A_IB	100	90	75	70	1	3
100-P1611A_IC	100	90	75	70	1	3
100-P1611B_IA	100	90	75	70	1	3
100-	100	90	75	70	1	3
P1611B_IAVG						
100-P1611B_IB	100	90	75	70	1	3
100-P1611B_IC	100	90	75	70	1	3
100-P1611C_IA	100	90	75	70	1	3
100-	100	90	75	70	1	3
P1611C_IAVG						
100-P1611C_IB	100	90	75	70	1	3
100-P1611C_IC	100	90	75	70	1	3
100-PT-6505A	150	140	70	65	1	3
100-PT-6509	85	80	50	40	1	3
100-TE-6529A	1200			300	1	

PT_AIR_SSFD	145	100	98	1	1
--------------------	-----	-----	----	---	---

En la Tabla 10 se puede observar los límites de alarmas de las señales análogas del SIS de la estación SSFD, las prioridades se encuentran definidas de la siguiente forma:

- **Prioridad 1:** Crítica
- **Prioridad 2:** Urgente
- **Prioridad 3:** Alta
- **Prioridad 4:** Baja

Tabla 11

Listado resumen señales Discretas SIS

Tag Honeywell	Descripción	Dirección PLC
100-SDV-6520-A	P:1611A: SDV-6520-A VALVE STAT	SDV_6520_A.STATUS:S 2
100-SDV-6520-B	P-1611B: SDV-6520-B VALVE STAT	SDV_6520_B.STATUS:S 2
100-SDV-6520-C	P-1611C: SDV-6520-C VALVE STAT	SDV_6520_C.STATUS:S 2
100-SDV-6571	Estado Valvula SDV-6571	SDV_6571.STATUS:S2
100-SDY-6504	SOLENOIDE SDY-6504	SDV_6504.CMDOUT
100-SDY-6515	SOLENOIDE SDY-6515	SDV_6515.CMDOUT
100-SDY-6520-A	SOLENOIDE SDY-6520-A	SDV_6520_A.CMDOUT
100-SDY-6520-B	SOLENOIDE SDY-6520-B	SDV_6520_B.CMDOUT

100-SDY-6520-C	SOLENOIDE SDY-6520-C	SDV_6520_C.CMDOUT
100-SDY-6571	SOLENOIDE SDY-6571	SDV_6571.CMDOUT
100-TAH_6529A	TAH 6529AP1611A	TE_6529_A.HALM

En la tabla 11 se muestra el resumen con la descripción y dirección en el PLC de once señales discretas del sistema SIS, donde se encuentran las señales de los indicadores de estado de las válvulas SDV con su respectivo solenoide, también se encuentra un switch de temperatura alta del transmisor 6529.

OCP

El sistema Oleoducto de crudos Pesado tiene 43 señales análogas y 11 señales discretas, el PLC del sistema se encuentra configurado con una dirección IP en un segmento de red diferente al de la estación SSFD, por lo cual para integrar la señales se aprovecha una comunicación existente entre el PLC del sistema OCP con la Galaxia Repsol mediante la estación del Norte (NPF), esta planta se comunica mediante un cliente OPC que se encuentra dentro del área "OCP_Lago_Agrio" que forma parte del Engine de la estación Norte

El cliente OPC apunta al servidor RSLinx OPC Server del PLC del sistema ubicado en Lago Agrio, lo que facilita la integración de las señales al DCS Foxboro Evo sin utilizar la interface FBM 232 y el driver FDSI, cada señal se integra mediante una instancia del cliente apuntando a la dirección especificada en la Base de señales del sistema de Oleoducto de crudos Pesados. En la Tabla 12 se muestra un resumen de 10 señales del listado de la base de señales análogas del sistema OCP, en el caso este sistema a diferencia del sistema SIS y E1613C la dirección del PLC se obtiene de forma directa no por método nativo. La base de señales completa se detalla en el Apéndice F.

Tabla 12

Listado resumen Señales análogas sistema OCP

Tag	Descripción	Rango	Rango	Unidad	Dirección
Honeywell		Min	Max		PLC
OCP- GROSS- VOL-B	OCP GROSS VOLUME METER B	0	100000	BBL	F8:2 IEEEEFP
OCP- DENSITY-A	OCP CRUDE REF DENSITY REL A	0	5	REL D	F8:37 IEEEFP
OCP- DENSITY-B	OCP CRUDE REF DENSITY REL B	0	5	REL D	F8:38 IEEEFP
OCP- DENSITY-C	OCP CRUDE REF DENSITY REL C	0	5	REL D	F8:39 IEEEFP
OCP- DENSITY-D	OCP CRUDE REF DENSITY REL D	0	5	REL D	F8:40 IEEEFP
OCP-BSW- 100	OCP CRUDE % BS&W	0	2	%	P:OCP-BSW PV
OCP- GROSS- VOL-A	OCP GROSS VOLUME METER A	0	100000	BBL	F8:1 IEEEEFP

OCP-	OCP CRUDE	0	100000	Cp	F8:0 IEEEFP
VISCOSITY	VISCOSITY				
OCP-	OCP GROSS	0	100000	BBL	F8:3 IEEEFP
GROSS-	VOLUME				
VOL-C	METER C				

Las señales análogas del sistema OCP no presentan niveles de alarmas para su integración, debido a que el sistema no interviene en el proceso de la estación SSFD de manera directa.

En la Tabla 13 se observa el listado de 11 señales discretas donde se encuentran switches de presión e indicadores de estado de válvulas Mov.

Tabla 13

Listado señales discretas Sistema OCP

Tag Honeywell	Descripción	Dirección PLC
OCP-PSL-7080-A	OCP PRESSURE SWITCH LOW FIRE DETECTION SYSTEM	I1:1
OCP-PSL-7080-B	OCP PRESSURE SWITCH LOW FIRE DETECTION SYSTEM	I1:1/1
OCP-ITK3-17	BYPASS FIRE DETECTION SYSTEM ONLY FOR MAINTENANCE	B3:1/1
OCP-ITK3-19	PSHL-7076 HI LO OIL LINE PRESSURE	B3:2
OCP-SDY-7075	COMAND SOLENOIDE SDY-7075	O0:2

OCP-ZSO-7075	ZSO-7075 INDICATION OPEN VALVE SDV-7075	I1:1/2
OCP-ZSC-7075	ZSC-7075 INDICATION CLOSE VALVE SDV-7075	I1:1/3
OCP-ZSO-7074	ZSO-7074 INDICATION OPEN VALVE MOV-7074	I1:1/4
OCP-ZSC-7074	ZSC-7074 INDICATION CLOSE VALVE MOV-7074	I1:1/5
OCP-ZSO-7073	ZSO-7073 INDICATION OPEN VALVE MOV-7073	I1:1/6
OCP-ZSC-7073	ZSC-7073 INDICATION CLOSE VALVE MOV-7073	I1:1/7

Estrategias de Control

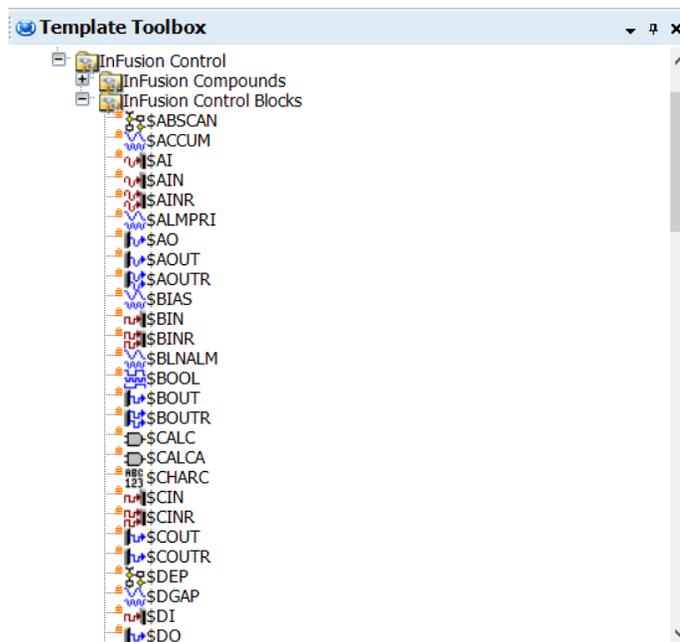
Con la base de señales completa de los sistemas terceros, que se integran (E1613C y SIS) el driver FDSI y la interface FBM232, se definen las estrategias de control y los bloques utilizados para cada tipo de señal considerando los bloques especificados en la Tabla 6.

Dentro de la Galaxia en el Equipo Unit de la estación SSFD se establece un compound diferente para los 2 sistemas, en cada compound se crean las respectivas estrategias de control que contienen los bloques de control y adquisición de datos de las señales, para el caso del sistema instrumentado de seguridad se crea una estrategia por instrumento o equipo, que contiene todos los bloques de las señales análogas y discretas del equipo.

En el entorno de desarrollo Archestra IDE existen dos formas de crear y configurar los bloques de control, la primera es el método manual arrastrando el bloque deseado del toolbox Infusion Control Blocks, el segundo método se realiza mediante scripts ejecutados en el software Direct Acces que actualiza crea y vincula la información de los bloques apuntando a sus diferentes parámetros con la información que se desea actualizar dentro de la Galaxia.

Figura 19

Bloques de Control del Toolbox Infusion Control del entorno de desarrollo Archestra IDE



En la Figura 19 se muestran los bloques de control que proporciona el entorno de desarrollo Archestra IDE, el bloque de control se nombra y configura de acuerdo con tipo de señal, el nombre del bloque debe relacionarse directamente con el instrumento y tipo de señal que representa ya que en el sistema HMI se direccionan los objetos a través del bloque de control y el compound donde se encuentra este bloque. Un factor importante a tomar en consideración es que dentro de un compound no pueden existir dos bloques de control con el mismo nombre.

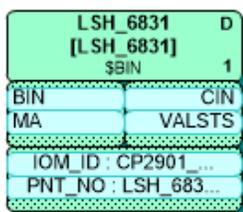
Señales Discretas

Cada Bloque de control posee sus parámetros específicos donde se manejan diferentes datos, señales, modos y habilitadores del bloque.

En la Figura 20 se muestra el Bloque LSH_6831 tipo BIN de la señal discreta del switch alto de nivel 6831 dentro del tanque T-1603.

Figura 20

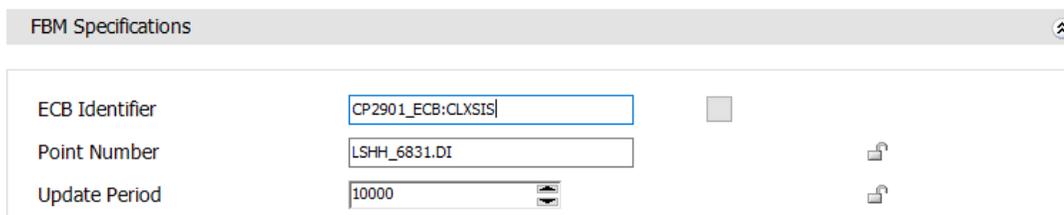
Bloque BIN de la señal LSH-6831



El bloque BIN está compuesto por varios parámetros como el nombre del tag en el DCS Foxboro Evo, la descripción del tag que se obtiene de la base de señales, el tipo de bloque en este caso Booleano de entrada (BIN). Para el direccionamiento del bloque a la señal del PLC Compact Logix existen 2 parámetros fundamentales donde se asocia el bloque hacia una interfaz FBM y a la CP del procesador FCP280.

Figura 21

Configuración Bloque BIN LSH_6831



En la Figura 21 se muestra la configuración de las especificaciones de interface del Bloque BIN para la señal del switch de nivel alto LSH-6831 de forma manual.

- **ECB Identifier (IOMD):** Especifica el path del dispositivo o interface FBM del baseplate conectado al procesador al que apunta el bloque, para el caso de las señales integradas por la FBM 232 al configurar el driver FDSI se declara un equipo por PLC que contiene todas las señales del controlador. El path tiene el siguiente formato: "Compound_del_CP_del_Procesador:EquipoDriverFDSI".
- **Point Number (PNT_NO):** Es la señal a la que apunta el bloque y adquiere el dato dentro del dispositivo declarado en el ECB Identifier.
- **Update Period:** Es el periodo de actualización, configurado con un número entero largo, para la actualización de los datos en una aplicación maestro esclavo, su valor por defecto es 10000ms.

Para el controlador del SIS el equipo creado dentro de la FBM configurado en el Driver FDSI al implementar es CLXSIS, para PLC del calentador eléctrico E1613C el equipo creado es E1613C.

Señales Análogas

Para la integración de las señales análogas, debido al escalamiento y configuración de alarmas y rango de la señal se utilizan 2 tipos de bloques: un bloque RIN en caso de ser una señal Real o un bloque IIN en caso de ser una señal entera para la adquisición del dato por comunicación a través del FDSI, un bloque AIN conectado a la salida de bloque RIN con el propósito de configurar las alarmas y el escalamiento de la señal. Debido a la cantidad de señales que se integran al DCS Foxboro Evo, los bloques de control y sus conexiones son creados mediante Scripts, utilizando las tablas de la base de señales en el programa Microsoft Excel se generan los scripts mediante concatenación de cadenas y celdas tomando en cuenta los parámetros determinados en cada bloque y el contenido de acuerdo a cada señal.

Figura 22

Script para crear y configurar los Bloques de la señal Análoga del Termopar del Calentador E1613C

```
<CreateBlock Template="$IIN_COM" Block="IE1613C_TE1A" Strategy="E1613C"/>
<UpdateBlockAttribute Strategy="E1613C" Block="IE1613C_TE1A" ParmName="PNT_NO" ParmValue="TE1A.Scaled_Value"/>
<UpdateBlockAttribute Strategy="E1613C" Block="IE1613C_TE1A" ParmName="IOM_ID" ParmValue="CP2901_ECB:E1613C"/>

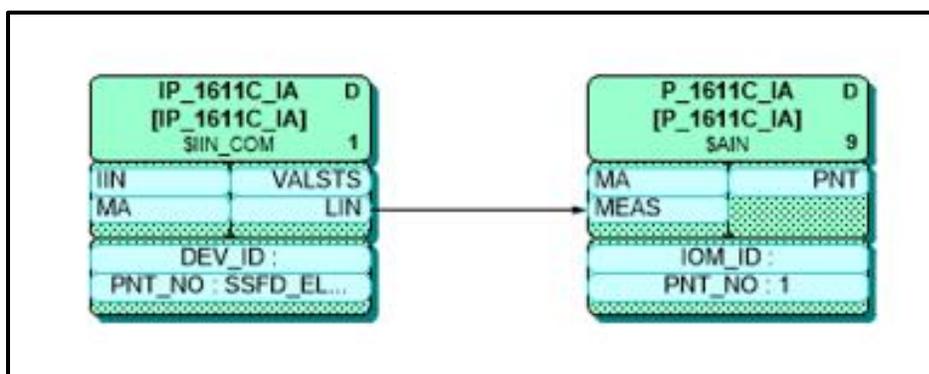
<CreateBlock Template="$AIN" Block="E1613C_TE1A" Strategy="E1613C"/>
<CreateBlockAddressCxn Strategy="E1613C" Sink="E1613C_TE1A" SinkParm="MEAS" SinkValue="IE1613C_TE1A.LIN"/>

<UpdateBlockAttribute Strategy="E1613C" Block="E1613C_TE1A" ParmName="DESCRP" ParmValue="TERMOPAR UNO CALENTADOR E-1613C"/>
<UpdateBlockAttribute Strategy="E1613C" Block="E1613C_TE1A" ParmName="IOMOPT" ParmValue="2"/>
<UpdateBlockAttribute Strategy="E1613C" Block="E1613C_TE1A" ParmName="LSCO1" ParmValue="0"/>
<UpdateBlockAttribute Strategy="E1613C" Block="E1613C_TE1A" ParmName="HSCO1" ParmValue="500"/>
<UpdateBlockAttribute Strategy="E1613C" Block="E1613C_TE1A" ParmName="EO1" ParmValue="F"/>
```

En la Figura 22 se muestra el script utilizado para crear los bloques de control de la señal del sistema E1613C Termopar uno, en el script es fundamental indicar la estrategia en la que se encuentra el bloque de control, las 3 primeras líneas del script se encargan de crear el Bloque entero IIN y configurar las especificaciones de interface FBM, ECB Identifier y Point Number. apuntando a la señal TE1A.Scaled_Value en el PLC mediante el equipo E1613C de la FBM 232 dentro de la CP del procesador CP2901_ECB, la segunda sección del script crea el bloque AIN y su conexión con la salida del Bloque IIN, en la última sección se actualizan los parámetros de los bloques con la información de la señal como rango, unidades y descripción.

Figura 23

Bloques señal Análoga Corriente de Fase A Bomba P-1611C



En la Figura 23 se observa los bloques creados mediante script de la corriente de fase A de la bomba P-1611C del SIS, el Bloque IIN se encarga de obtener el dato del PLC mediante el driver FDSI y el bloque AIN se encarga de configurar el rango y las alarmas de la señal.

Escalamiento de señales

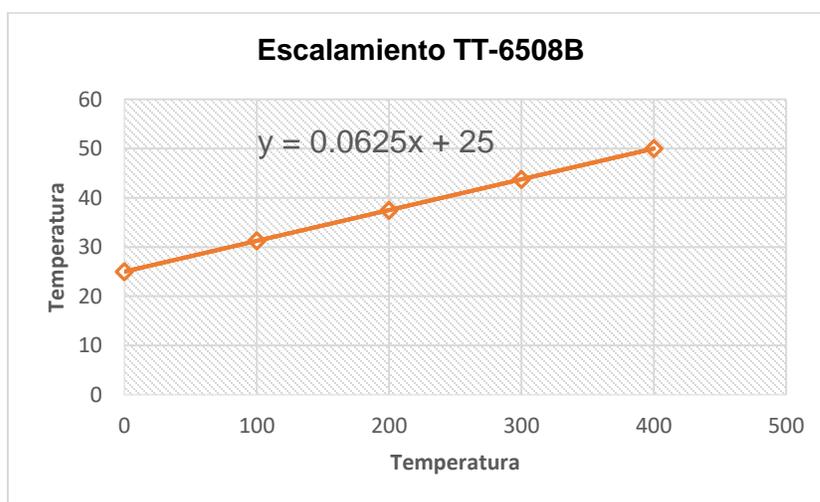
El escalamiento permite cambiar el rango de una señal mediante una ganancia y un offset de acuerdo con la necesidad. En el levantamiento de la base de señales de los sistemas terceros existen señales que presentaban un escalamiento adicional dentro del DCS Honeywell Experion PKS, tomando en cuenta esto se obtienen los parámetros de escalamiento de cada señal que son configurados en los bloques de control AIN del DCS Foxboro EVO.

En la Figura 24 se muestra el escalamiento del transmisor de temperatura TT-6508 B que se escala mediante la siguiente fórmula

$$y = 0.0625x + 25$$

Figura 24

Escalamiento señal transmisor de temperatura TT-6508B



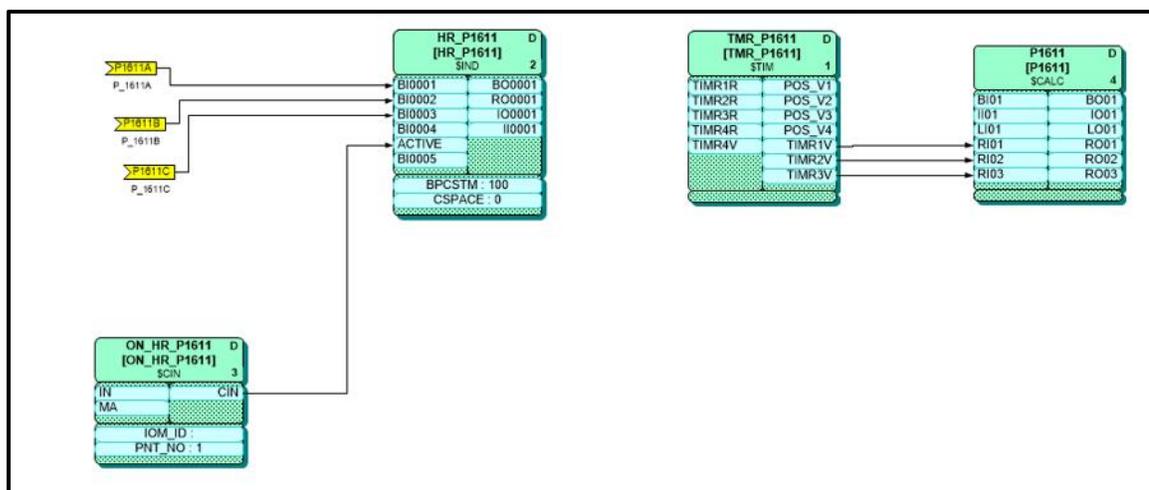
Horómetros

Un horómetro tiene la función de medir la cantidad de horas en las que un dispositivo o equipo se encuentra funcionando, se encera en el momento en que el equipo deja de funcionar y se apaga (Lema, 2016). En la estación SSFD se utilizan 3 horómetros creados en el DCS y representados en el sistema HMI para contabilizar el número de horas de funcionamiento de las bombas P-1611A/B/C.

Dentro del Compound de las señales del SIS se encuentra una estrategia de control denominada horómetros que contiene la lógica presentada en la Figura 25.

Figura 25

Bloques de estrategia de control de Horómetros Bombas P-1611A/B/C



La estrategia de control de los horómetros de las Bombas P-1611A/B/C está compuesta por dos etapas, un bloque IND que tiene como función ejecutar una secuencia de código, tiene como entradas el estatus de las 3 bombas y un habilitador, la segunda etapa se encuentra un temporizador en segundos cuya salida está conectada a un bloque CALC que transforma los segundos en horas.

Figura 26

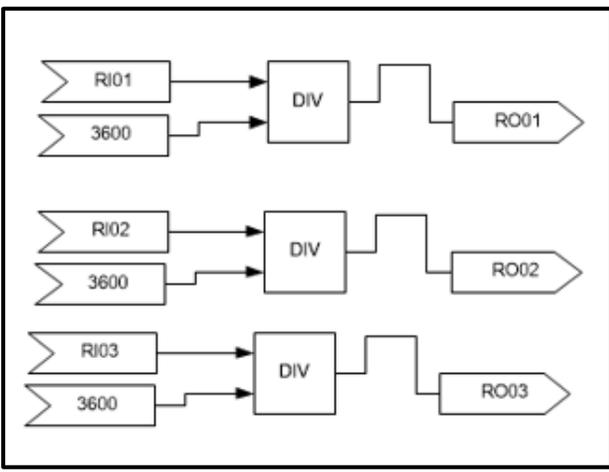
Código secuencia programada Temporizadores Horómetros

```
STATEMENTS {*****  
             * Specify the statements here *  
             *****}  
<<INICIO>>  
IF STATUS_P1 = TRUE THEN  
    START_TIMER (:COM_CLXSYS:TMR_P1611.TIMR1)  
ELSE  
    STOP_TIMER (:COM_CLXSYS:TMR_P1611.TIMR1)  
ENDIF;  
IF STATUS_P2 = TRUE THEN  
    START_TIMER (:COM_CLXSYS:TMR_P1611.TIMR2)  
ELSE  
    STOP_TIMER (:COM_CLXSYS:TMR_P1611.TIMR2)  
ENDIF;  
IF STATUS_P3 = TRUE THEN  
    START_TIMER (:COM_CLXSYS:TMR_P1611.TIMR3)  
ELSE  
    STOP_TIMER (:COM_CLXSYS:TMR_P1611.TIMR3)  
ENDIF;  
GOTO INICIO  
ENDSEQUENCE
```

En la Figura 26 se muestra el código de la secuencia que activa los temporizadores en segundos verificando el estatus de las bombas P-1611A/B/C, en el caso que la bomba se encuentre apagada se detiene el contador y se resetea.

Figura 27

Lógica de transformación de segundos a horas



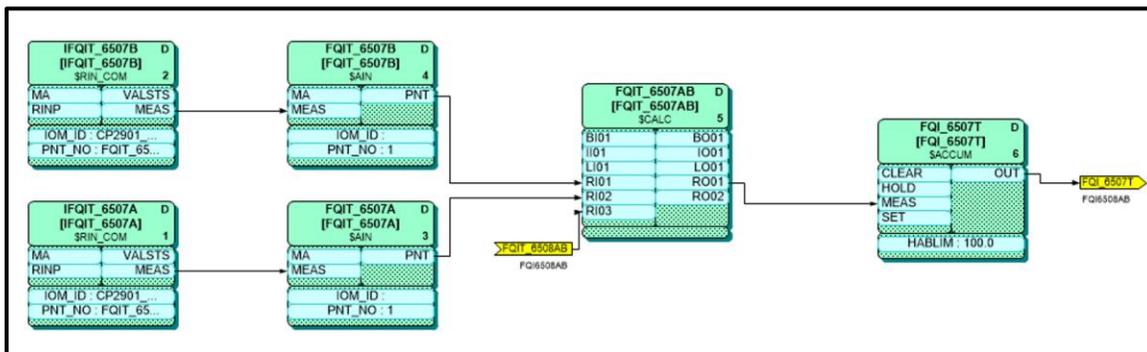
En la Figura 27 se muestra la lógica dentro del bloque CALC para la transformación del valor de los temporizadores de segundos a horas.

Totalizadores

La estación SSFD cuenta con dos vías de flujo, FQT 6507Ay FQT 6507B son los transmisores de flujo que miden la cantidad de barriles por minuto del circuito de inyección de crudo, mientras que los transmisores FQT 6508A y FQT 6508B miden la cantidad de barriles de inyección de diluyente, los totalizadores de cada circuito tienen el objetivo de llevar un conteo de barriles en periodos de tiempo más largo para un posterior análisis de datos.

Figura 28

Bloques de la estrategia de control totalizadores FQIT 6508AB

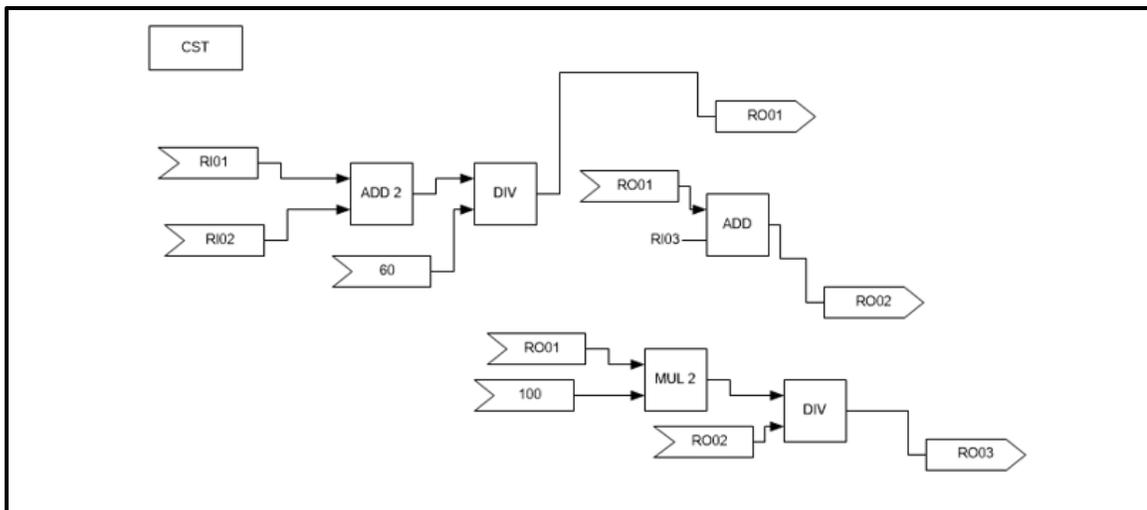


Las señales de los transmisores de flujo de los circuitos de inyección de crudo y diluyente, integradas al DCS Foxboro Evo mediante cálculos definidos en el bloque CALC FQIT_6507AB y el bloque ACCUM, en la estrategia de control establecida en la Figura 28 se generan las señales de los acumuladores y una señal de relación entre los dos circuitos.

Para el circuito de inyección de diluyente FQIT 6508 la estrategia de control es la misma que la que se muestra en la Figura 28.

Figura 29

Lógica de Totalizadores Bloque CALC FQIT_6507AB



En la Figura 29 se muestra la lógica desarrollada en el bloque CALC que permite obtener los totalizadores en Barriles por horas de las 2 vías del circuito de inyección FQIT 6507AB.

Capítulo IV. DESARROLLO DEL SISTEMA HMI

En este capítulo se detallan las diferentes fases de diseño y elaboración de la interfaz Humano máquina de la estación SSFD en el ambiente Foxboro Evo utilizando el entorno de desarrollo Archestra IDE. El sistema HMI se realiza tomando en cuenta los requisitos y recomendaciones que establece el estándar ANSI/ISA-101.01-2015. Este estándar define a un HMI como el conjunto de software y hardware para monitorear y controlar el proceso de forma indirecta, mediante la interacción con el sistema de control (ISA, 2015).

Para el desarrollo del sistema HMI, se empieza por una descripción de las funciones específicas que cumple el HMI Foxboro dentro de la estación SSFD. Luego se detallan las especificaciones técnicas de la estación de ingeniería y estación de operación donde se ejecuta el HMI. Se desarrollan los requisitos y funcionalidades conceptuales del diseño y ciclo de vida del HMI, siguiendo el estándar ISA 101. Después se elabora y programa todas las librerías con sus respectivas animaciones aplicadas en cada una de las pantallas del sistema. A continuación, se construyen los esquemáticos en base a planos P&ID y pantallas del interfaz humano máquina que operaba en el sistema Honeywell Experion. Por último, se direcciona cada uno de los elementos de las pantallas a las respectivas señales, tomando en cuenta todas las señales que se integran por los sistemas terceros (SIS, E1613C, OCP) al sistema de control, en el direccionamiento se utilizan las estrategias de control elaboradas en el Capítulo III.

Funcionalidades del Sistema HMI.

La estación SSFD maneja 4 variables físicas dentro del proceso: Temperatura, Presión, Nivel y Flujo.

Dentro del Control Room de la estación se encuentra un operador que se encarga de mantener el proceso funcionando en condiciones ideales mediante el sistema HMI, que cumple las siguientes funciones:

- Usuarios: Autenticación de usuarios (Ingeniería y Operación) al iniciar el sistema en las estaciones de operación, se restringen los permisos según el nivel de acceso del usuario.
- Proceso: Monitoreo de todos los subsistemas de la planta y sus señales que se encuentran dentro del DCS Foxboro Evo
- Control: Permite controlar los actuadores del sistema de calentamiento de aceite térmico. Control de instrumentos mediante lazos de control en modo manual y automático.
- Alarmas: Gestión de sistema de alarmas mediante historial de alarmas del sistema y alarmas del proceso. Se definen 4 prioridades dentro de las alarmas de acuerdo con su nivel de impacto dentro del proceso.
- Historización: Almacenamiento de datos e históricos de las señales del sistema en el servidor de historización para la visualización de tendencias.
- Navegación multiplataforma entre los sistemas de las estaciones de Repsol que se encuentran dentro de la Red Foxboro Control Network.

Las funciones detalladas permiten que el proceso evite errores y pérdidas, además el Foxboro Evo Control HMI añade el concepto de Situational Awareness en sus pantallas para minimizar todas las distracciones y elementos no importantes y así llamar la atención ante condiciones anormales del proceso que requieren la intervención del operador (Schneider Electric, 2016).

Equipos

El proceso de la estación de transferencia SSFD debe funcionar de manera continua e ininterrumpida las 24 horas del día, por esto es importante utilizar para la estación de ingeniería, operación y sus periféricos equipos que cumplan con las características de funcionamiento y potencia.

Servidor de Ingeniería

El servidor de ingeniería H90 de la marca Hewlett-Packard, además de la ejecución y visualización del sistema HMI mediante el software Foxboro Control HMI, cumple la función de servidor de historización, también permite acceder al entorno de desarrollo IDE para cualquier cambio de ingeniería en la Galaxia.

Tabla 14

Especificaciones Técnicas Servidor de Ingeniería H90

Características	Descripción
Alimentación	Dos entradas de alimentación redundante 100-240 VAC, 50 a 60 Hz,
Procesador	Intel Xeon
Sistema Operativo	Windows Server 2016
Memoria RAM	16gb DDR4 hasta 384 GB sistema RAM
Memoria	Expandible Hasta 8 discos de 600GB rígidos Expandible hasta 6 discos de 400 GB sólidos
Salida de Video	Quad mini-DP 1.4 port PCIe
Resolución Gráficos	Hasta 1920x1080 pixels

Interfaces Ethernet	Cuatro	puertos	Ethernet
	(10/100/1000Base-T)		

Nota: Tomado de Model H90 for Windows Server 2016 Operating System, Schneider Electric, 2019

En la Tabla 14 se muestran las especificaciones técnicas del servidor de ingeniería H90 que posee una gran capacidad de procesamiento debido a las funciones que cumple a nivel de red, ingeniería y servidor de historización.

En la Figura 30 se muestra el servidor de Ingeniería de la marca Hewlett-Packard.

Figura 30

Servidor de Ingeniería H90



Nota: Tomado de Model H90 for Windows Server 2016 Operating System, Schneider Electric, 2019

Estación de Operación

El estándar ANSI/ISA-101.01-2015 define a una estación de operación como la unión de hardware y software ubicados en la sala de control, en el que los usuarios monitorean y controlan el proceso.

En la estación de operación WSP401 mediante el software Foxboro Control HMI visualiza el sistema HMI de la planta que permite un monitoreo y control de todos los circuitos de bombeo y calentamiento de crudo en la estación SSFD, así como una gestión de alarmas y visualización de históricos.

En la Tabla 15 se muestran las especificaciones técnicas de la CPU Z4 de la estación de operación H92 de la marca Hewlett-Packard.

Tabla 15

Especificaciones CPU Z4 estación de operación

Características	Descripción
Alimentación	Dos entradas de alimentación redundante 100-240 VAC, 50 a 60 Hz,
Procesador	Intel Xeon
Sistema Operativo	Windows Server 2016
Memoria RAM	8 GB DDR-4 Expandible a 16 GB
Memoria	1TB disco duro expandible hasta 3 TB
Salida de Video	Quad mini-DP 1.4 port PCIe
Resolución Gráficos	Hasta 1920x1080 pixels
Interfaces Ethernet	Dos puertos Ethernet (10/100/1000Base-T)

Nota: Tomado de Model H92 Workstation for Windows 10 Operating System, Schneider Electric, 2020

La resolución máxima que manejan las dos estaciones es de 1920x1080 y por lo que utilizan monitores NEC que cumplen estas características, también posee sus periféricos respectivos y un anunciador para el sonido de alarmas y navegación entre pantallas para la estación de operación.

La Figura 31 muestra el CPU Z4 de la estación de operación H92.

Figura 31

Estación de Operación H92 HP



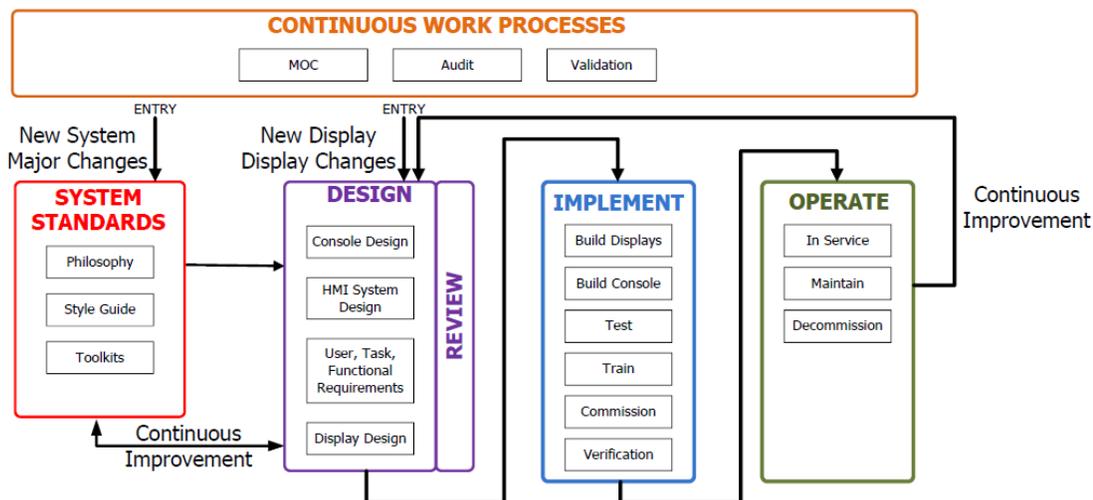
Nota: Tomado de HP Workstations y VR profesional, McPro, 2018,
<https://www.muycomputerpro.com/2018/02/10/workstation-hp>

Estándares del sistema HMI

El ciclo de vida del HMI que establece el estándar ISA 101 se muestra en la Figura 32, mediante el trabajo continuo y los estándares del sistema se establece cada una de las fases de diseño, implementación y operación a lo largo del ciclo de vida del HMI, empezando desde la filosofía del sistema hasta el comisionado y validación de los datos de la interface humano máquina. La mejora continua se realiza de forma constante durante la fase de diseño del HMI, teniendo en cuenta las siguientes entradas: el nuevo sistema a implementar, los nuevos cambios y las nuevas pantallas que se van a diseñar en el sistema HMI.

Figura 32

Ciclo de Vida HMI ISA según estándar 101



Nota: Tomado de Human Machine Interfaces for Process Automation Systems
ANSI/ISA-101.01, ISA, 2015,

Para el sistema implementado en la estación Shushufindi se definen los requisitos conceptuales en los estándares del sistema que se utilizan para el diseño.

Filosofía

Para el diseño del HMI es importante proporcionar todos los fundamentos y principios del Sistema para todos los usuarios con el propósito de obtener una HMI eficaz, un aspecto importante considerado son los usuarios que operan el sistema, así como sus prácticas de trabajo.

Sistema a prueba de errores: El proceso que maneja la estación SSFD de Repsol se encarga del bombeo y transferencia de crudo hacia el oleoducto. Esta planta se encuentra funcionando de manera continua e ininterrumpida debido a la importancia de su proceso, un paro en el proceso y por consecuencia en el bombeo puede causar pérdidas grandes a nivel económico y estratégico. Tomando en cuenta esos aspectos

es importante diseñar un sistema robusto y aprueba de errores con el objetivo de evitar fallas en el momento de la operación, que causen pérdidas y de esta manera aumentar la productividad

Ingeniería de factores humanos y ergonomía

- Para la estación SSFD existe un operador que manipula el HMI durante 12 horas continuas por ello es indispensable que el Control Room sea cómodo y los equipos en el Workcenter se encuentren distribuidos de manera adecuada sin limitaciones del campo visual o auditivo, las sillas y muebles son ergonómicos para disminuir el cansancio en el usuario al momento de operar.
- Debido a que la estación se encuentra ubicada en la región oriental del país el control room cuenta con un aire acondicionado que permite regular la temperatura. La luz dentro del control room es artificial con un espacio iluminado adecuadamente con el propósito de evitar la fatiga visual.
- El DCS Foxboro Evo incluye el concepto de Situational awareness para operadores, que toma en cuenta aspectos como: Tamaño y posición de las pantallas, brillo y contraste de pantallas, eliminación de distracciones visuales o de proceso dentro de las pantallas (Schneider Electric, 2015).
- Los colores que se van a manejar pueden variar en escala de grises para objetos no animados que no presenten información dentro de las pantallas; en caso de anomalías utilizar colores llamativos que enfoquen la atención del operador.
- La distribución de los datos debe ser consistente y adecuada al diseño evitando la sobrecarga de datos que dificulten la operación por parte del operador.

- La navegación debe ser lo más simple y rápida posible por lo que se manejan diferentes formas de navegar entre pantallas mediante barras, framers o el anunciador.
- Los elementos de control dentro del HMI presentan ventanas de confirmación antes de accionamiento del equipo en campo, con el propósito de confirmar en su totalidad la acción en el equipo y evitar posibles errores humanos durante la operación.

Usuarios

Para el diseño del HMI se considera que dentro de la estación SSFD los usuarios que manipulan el sistema HMI como operadores o jefes de planta e ingeniería, son personal con conocimiento total del proceso y los subsistemas de la planta industrial en Shushufindi, con la experiencia y capacitación en el análisis de las variables del proceso ante cualquier variación que presenten los datos.

Los usuarios considerados para el sistema HMI son: Operación, Supervisión, Ingeniería y Mantenimiento cada usuario cumple sus funciones específicas dentro del sistema y contiene diferentes niveles de acceso y credenciales que se configuran dentro del controlador de dominio en los servidores de virtualización.

Guía de Estilo

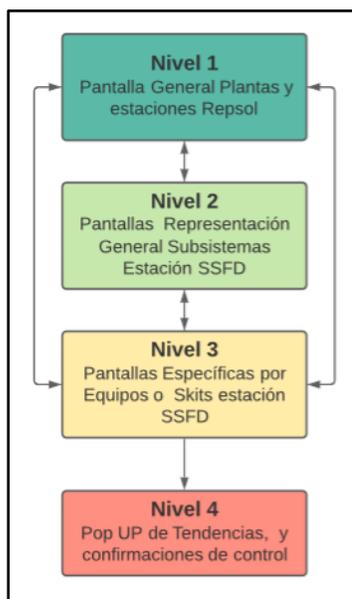
Basándose a las consideraciones detalladas en la filosofía del sistema HMI que se rige al estándar ISA 101 y el concepto de Situational awareness para operadores, se definen todas las especificaciones y principios de estilo para el diseño del sistema HMI. Estableciendo primero el tipo de pantallas y la forma en la que se representa el proceso en las pantallas. El estándar define varios tipos de pantallas, para la estación SSFD se

emplea el tipo de pantalla Proceso que se realiza mediante diagramas P&ID y PFD, también se usan como base las pantallas del sistema HMI del DCS Experion PKS.

Jerarquía de pantallas: La jerarquía de pantallas que se va a utilizar consta de 4 niveles de pantallas que se muestran en la Figura 33, donde se detalla el contenido de las pantallas de cada nivel y la navegación entre niveles que se aprecia mediante las flechas. Las pantallas de nivel 1, nivel 2, nivel 3 se pueden navegar de manera bidireccional, pero a los pop ups de las pantallas con jerarquía nivel 4 se pueden acceder únicamente desde las pantallas de nivel 3 con excepción del banner de alarmas de procesos y sistema

Figura 33

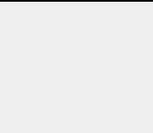
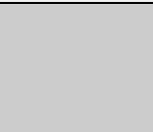
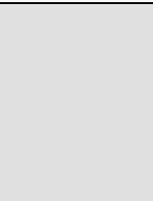
Jerarquía y Navegación de Pantallas del sistema HMI de la Estación SSFD



Estilo de Colores: El estilo de colores y tipo de letras se selecciona basándose en los estándares y conceptos detallados en la filosofía del sistema HMI, y utilizando colores en escalas de grises, evitando los contrastes con colores fuertes y oscuros como el color negro.

Tabla 16

Guía de estilo de colores y codificación RGB para las pantallas del HMI

Elemento	Descripción	Código RGB Color	Color
Fondo Template	Color del fondo principal de las pantallas	239, 239, 239	
Fondo Barra de Navegación	Color del fondo de la Barra de navegación	204, 204, 204	
Letras y Textos	Color de los textos y letras en las pantallas	154, 154, 154	
Elemento Encendido	Color del objeto al momento de cambiar su estado a ON	102, 102, 102	
Elemento Apagado	Color del objeto al momento de cambiar su estado a OFF	255, 255, 255	
Elemento no Animado	Color de objeto al no estar animado en la pantalla	224, 224, 224	
Líneas y tuberías del proceso	Color de líneas y tuberías de proceso en las pantallas	126, 126, 126	

En la Tabla 16 se muestra la guía de estilo y colores con su respectiva numeración Red, Green Blue (RGB) que se utiliza en todo el sistema HMI, el color para indicar el encendido de un instrumento o elemento en las pantallas es el blanco y para

indicar el apagado es el plomo oscuro, pero debido a una solicitud por parte del cliente debido a una capacitación anterior a sus operadores, los colores para indicar los estados utilizan lógica inversa como se muestra en la Tabla 16, es decir el color para encendido es el plomo oscuro y para apagado el blanco.

La guía de estilo para el tipo de letra, color y tamaño de los textos y descripciones en las pantallas se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Guía de estilo de textos y descripciones sistema HMI

Texto	Tipo de Letra	Tamaño	Codificación RGB	Color
Texto Barra de Navegación	Calibri	12	102, 102, 102	
Texto Unidades Variables del proceso	Arial	8	126, 126, 126	
Texto Valor de transmisores de Variables	Arial (Negrita)	13	60, 60, 60	
Títulos Principales Pantallas	Arial (Negrita)	22	102, 102, 102	
Nombre y Descripción de instrumento	Arial	10	126, 126, 126	

Alarmas: Con la implementación de los conceptos y cumpliendo el estándar ISA 101 el DCS Foxboro Evo maneja un sistema de alarmas clasificado en 4 prioridades de acuerdo con el nivel de impacto que tenga en el proceso la alarma, desde la

prioridad 1 que es la más crítica hasta prioridad 4 que es la de menor impacto en el proceso. Cada prioridad maneja 3 formas de identificación mediante la numeración, color y figura. En la Tabla 18 se muestra la Guía de colores para el sistema de alarmas.

Tabla 18

Guía de Colores según la prioridad del sistema de Alarmas

Alarma	Codificación RGB	Color
Prioridad 1	204, 0, 0	
Prioridad 2	210, 21, 255	
Prioridad 3	170, 160, 0	
Prioridad 4	0, 153, 255	

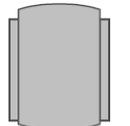
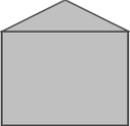
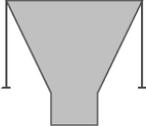
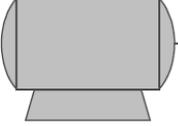
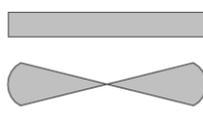
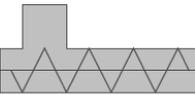
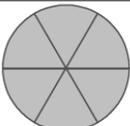
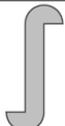
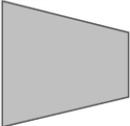
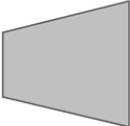
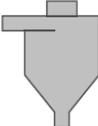
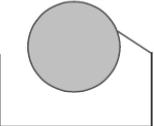
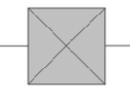
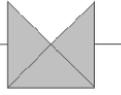
Kit de Herramientas

El entorno de desarrollo Archestra IDE se usa para el desarrollo del Sistema HMI, ya que además a la sección de configuración y control de los equipos y estrategias de control como se muestra en el Capítulo II, posee una sección de cuadro de herramientas gráficas que permite desarrollar objetos y pantallas HMI que después son visualizados mediante la herramienta Control HMI.

Para la representación de los instrumentos y equipos del proceso como válvulas, SDV, compresores, turbinas, Indicadores de estado se utiliza la simbología ISA de la norma ISA S5.1. En la Figura 34 se muestra la simbología que se va a utilizar para instrumentos en las pantallas según el estándar ISA S5.1.

Figura 34

Instrumentos y Equipos de proceso estándar ISA S5.1

Torre de destilación 	Tanque encamisado 	Reactor 	Tanque 
Tanque Atmosferico 	Contenedor (Bin) 	Tolva pesadora 	Horno 
Motor 	Bomba 	Soplador 	Intercambiador de aire 
Horno rotativo 	Transportador 	Tranp. de tornillo 1 	Tranp. De banda 
Tranp. de tornillo 2 	Alimentador rotativo 	Elevador 	Mezclador en línea 
Compresor 	Turbina 	Ciclón Separador 	Separador rotativo 
Válvula 	Válvula con actuador 	Válvula de 4 vías 	Válvula de 3 vías 

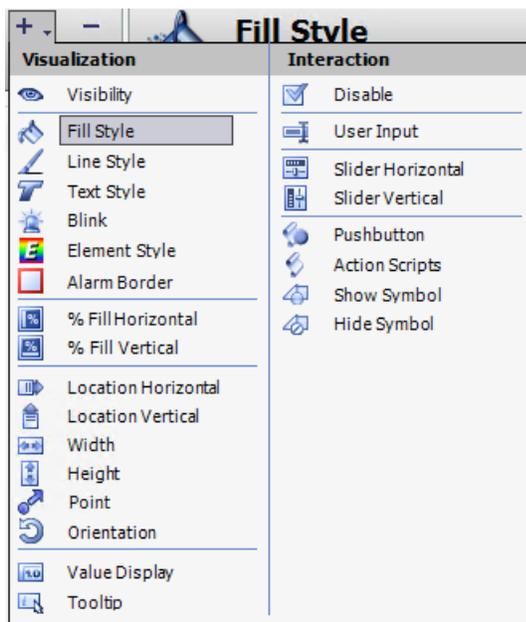
Nota: Adaptado de P&ID Diagramas de Tuberías e Instrumentación, Control Real Español, 2019.

El concepto para el diseño de las pantallas es orientado a objetos donde se realiza un template por cada instrumento u objeto de todo el sistema y al momento de implementar y dibujar las pantallas se llama a una instancia del objeto esto se realiza con el objetivo de que cualquier cambio que tenga que hacerse en las librerías se lo

realiza al template del objeto y automáticamente las instancias adquieren dicho cambio. Para esto es importante crear una librería propia por objeto para el sistema HMI, dentro de la librería se puede configurar la animación, propiedades, color, tamaño y se puede programar en el caso de ser necesario los objetos.

Figura 35

Animaciones de objetos del Graphic Toolbox en el entorno de desarrollo Archestra IDE



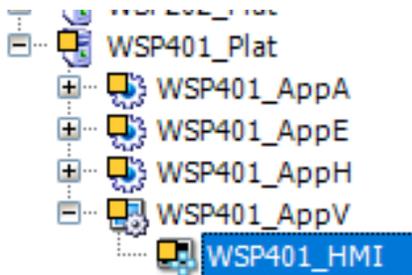
En la Figura 35 se muestra el tipo de animaciones que pueden tener los objetos del sistema HMI tomando en cuenta que la animación debe ser simple y que no cause distracciones al momento de operar el sistema.

Para la visualización del sistema HMI la estación de operación (WSP401) y la estación de ingeniería (AWP401) son representadas mediante una plataforma propia en la Galaxia, que contiene un Appview engine que contiene a la aplicación derivada de Intouch, Control HMI sirve como View Engine para las plantillas y configuración de alarmas y navegación del sistema HMI que va a ser visualizado en la aplicación Control HMI.

En la Figura 36 se puede visualizar la plataforma WSP401 de la estación de operación en la Galaxia Repsol que contiene varios engines por defecto para diferentes comunicaciones, dentro del Appview Engine se encuentra la aplicación derivada de Intouch Control HMI propia de la plataforma, si se realiza algún cambio en los gráficos hay que descargar la aplicación para que se actualice el sistema en la estación de operación.

Figura 36

Aplicación Intouch de la plataforma WSP401



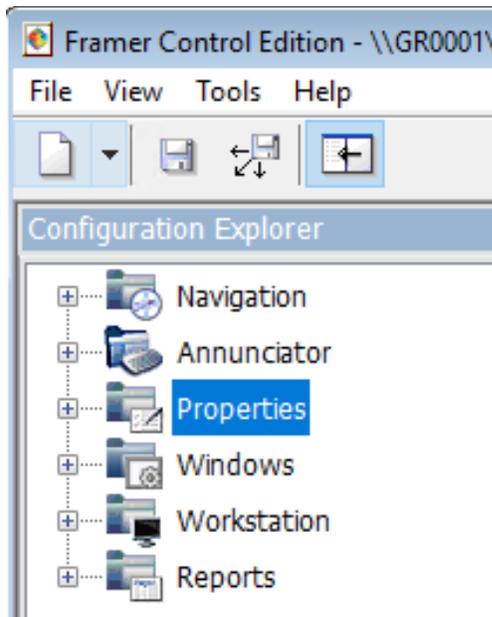
La herramienta Framer Control Edition del Intouch permite configurar diferentes aspectos del sistema HMI como:

- Número de pantallas y su orientación
- Navegación mediante la herramienta Framer
- Configuración del teclado del anunciador.
- Sonidos del anunciador para las alarmas de acuerdo con la prioridad.

En la Figura 37 se muestran las opciones de configuración del Framer control Edition.

Figura 37

Configuraciones del Framer Control Edition



Etapa de diseño

Para el diseño del sistema HMI se realiza basándose en todas las consideraciones y principios que se establecen en los estándares del sistema que norman el diseño del HMI.

Diseño de Consola

Para el diseño de la sala de control existe la norma ISO 11064 sobre el Diseño ergonómico de centros de control que define los conceptos y establece recomendaciones básicas enfocándose en los factores humanos y técnicos al diseñar una sala de control (Instituto Nacional de Seguridad, 2021).

La norma establece 5 fases de diseño de una sala de control: las 2 primeras Fases A y B establecen de manera conceptual el proceso el sistema y sus objetivos que se encuentran ya definidos en los capítulos anteriores (ISO, 2001).

Para la Fase C de equipos y distribución, en el diseño de la sala de control primero se definen todos los equipos y elementos que conforman la consola:

- CPU Z4 Hewlett-Packard Estación de Operación WSP401.
- Periféricos (Teclado, Mouse) Estación de Operación WSP401
- Monitor NEC 23 pulgadas con resolución de 1920x1080 de la estación de Operación WSP 401.
- Anunciador para la estación de Operación WSP 401.
- Receptor de Unidad Gráfica Remota (RGU) para el monitor de la estación de ingeniería AWP 401.
- Monitor NEC 23 pulgadas con resolución de 1920x1080 de la estación de Ingeniería AWP 401.
- Periféricos (Teclado, Mouse) Estación de Ingeniería AWP 401.

Basándose en el listado de elementos de la consola, se escoge un Workcenter (Bahía) que se adapte de forma ideal y ergonómica a las dimensiones del control room (4.1 m x 3.4 m). El Workcenter elegido pertenece a la marca Foxboro Invensys modelo de 48 pulgadas con dos acopladores y una pared de exhibición del panel para los monitores, posee dos closets para almacenar el CPU de la estación de operación.

Figura 38*Medidas Workcenter Estación SSFD*

Nota: Adaptado de Workcenter for I/A Series® Systems, Invensys Foxboro, 2019.

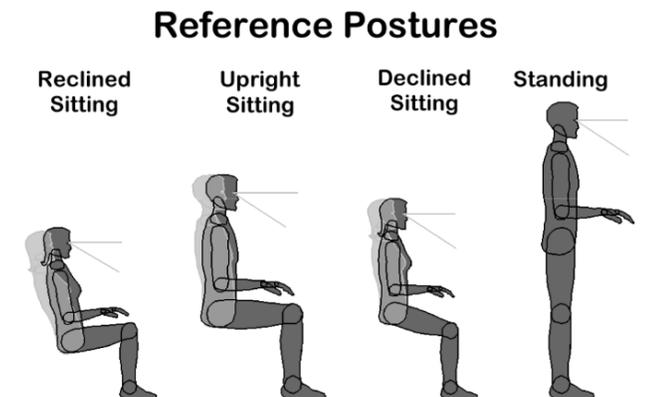
En la Figura 38 se muestran las dimensiones del Workcenter en pulgadas y la vista frontal en tres dimensiones que se implementa en el control room de la estación SSFD, donde cumplen todas las dimensiones estandarizadas para ergonomía de altura y distancia para la operación de equipos en la sala de control que establece la norma ANSI/HFES 100-2007 de Factores Humanos de ingeniería de estaciones.

- Ángulo de los Hombros entre 70 y 135 grados (ANSI, 2007).
- Ángulos de abducción del hombro inferiores a 20 grados (ANSI, 2007).
- Ángulos de flexión de la muñeca de menos de 30 grados (ANSI, 2007).
- Ángulos de torso a muslo iguales o superiores a 90 grados (ANSI, 2007).

Las sillas de la misma forma que el Workcenter deben cumplir normativas estandarizadas de posturas según la norma ANSI. La Figura 39 muestra las posturas ideales para operación.

Figura 39

Posturas de usuarios según la norma ANSI



Nota: Tomado de NSI/HFES 100-2007 Human Factors Engineering of Computer Workstations, ANSI, 2007.

La Fase D se enfoca en el diseño ambiental y condicionamiento de la sala de control para esto se toman en cuenta factores como la temperatura promedio e iluminación (ISO, 2001); en la ciudad de Shushufindi se encuentra entre los 27°C a 34°C por lo que la sala de control tiene que encontrarse en una temperatura ideal para la operación, para ello es indispensable el uso de un aire acondicionado que permita regular el ambiente dentro de la sala de control. Para la iluminación de la sala debido a que no posee ventanas que posibiliten el ingreso de la luz natural; el cuarto de control posee un sistema de luminarias led que facilitan la visión al usuario durante las 24 hora del día.

Para la implantación del Workcenter en la estación hay que tomar como referencia todos los equipos y dimensiones que se encuentran dentro del cuarto de

En la Tabla 19 se muestra la descripción, los roles y funciones que cumple el usuario dentro del Sistema HMI.

Tabla 19

Usuarios y funciones Sistema HMI

Usuario	Descripción	Funciones
Operador	Personal del departamento de operación del cliente encargado del funcionamiento del proceso	<ul style="list-style-type: none"> -Monitore de todas las variables del proceso. -Supervisión de Alarmas y tendencias. -Control de actuadores para el circuito de aceite térmico.
Ingeniería	Personal de ingeniería e instrumentos del cliente. Personal de Tecniequipos.	<ul style="list-style-type: none"> - Supervisión del sistema ante cualquier shutdown o anomalía del proceso. - Cambio en configuración de los bloques de control. - Configuración de constantes de lazo de control. - Mantenimiento y cambios de librerías y animaciones HMI - Acceso al banner de alarmas del sistema y proceso para
Gestión	Supervisores del cliente	<ul style="list-style-type: none"> - Acceso remoto al sistema HMI para visualizar las variables del proceso.

Diseño de Pantallas

El diseño de las pantallas se realiza Basándose en los diagramas P&ID de la estación de todos los equipos y skits donde se encuentran los instrumentos de proceso. De la misma forma en los planos se encuentran delimitados los rangos y alarmas de las

variables del proceso. Antes a la implementación del DCS Foxboro Evo la estación funcionaba con el DCS Experion de Honeywell con su propio sistema HMI de aproximadamente 50 pantallas.

En Figura 41 se muestra una sección del plano P&ID del calentador eléctrico E1613C donde observamos los transmisores de temperatura TE1A, TE2A, TE3A, que representan las señales análogas integradas de temperatura del sistema E1613C en el Capítulo III, de la misma forma podemos observar parte del Skit 1611 donde se encuentra el transmisor PT6510 y PT6509 cuyas señales de estos transmisores se encuentran en el DCS.

Figura 41

Sección Plano P&ID calentador E1613C

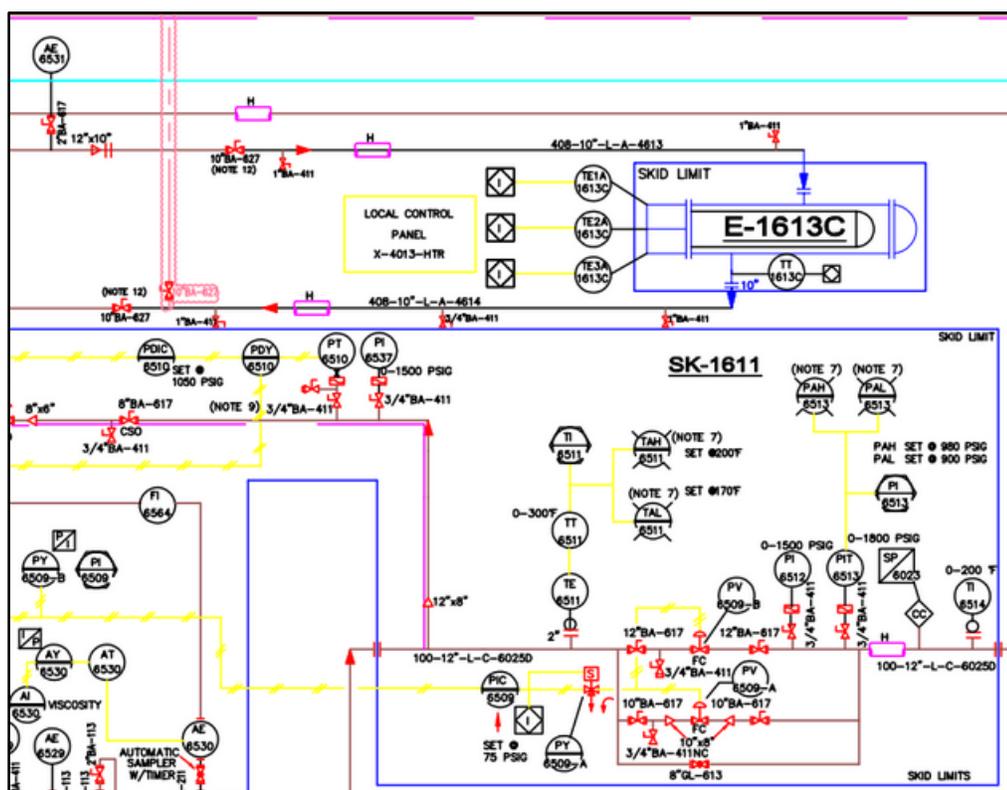


Figura 42

Pantalla bombas de transferencia de crudo sistema HMI Honeywell

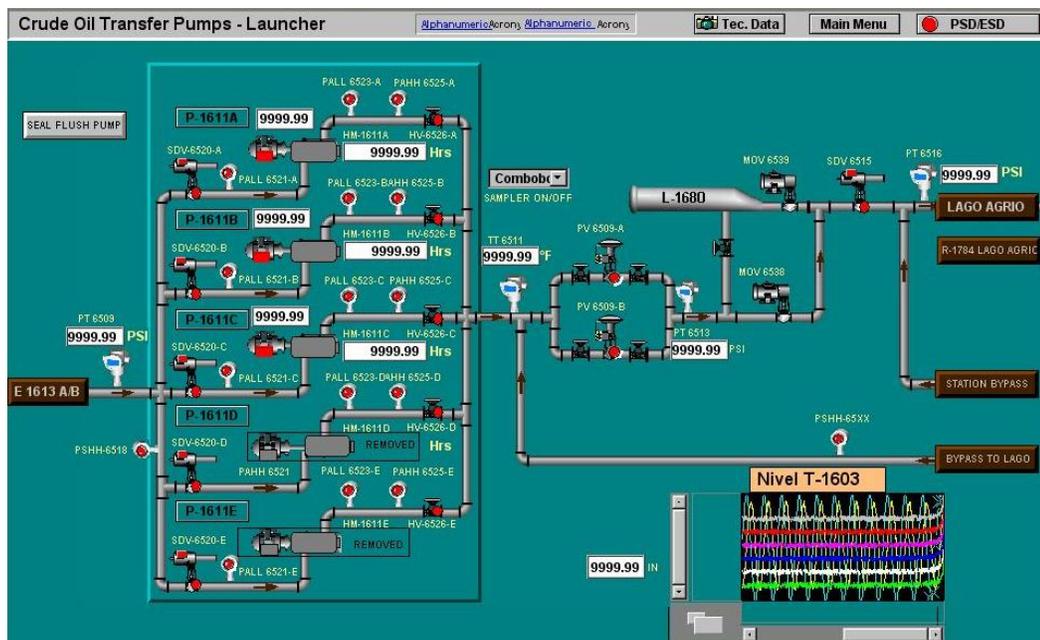


Figura 43

Pantalla Comunicaciones Sistema HMI Honeywell

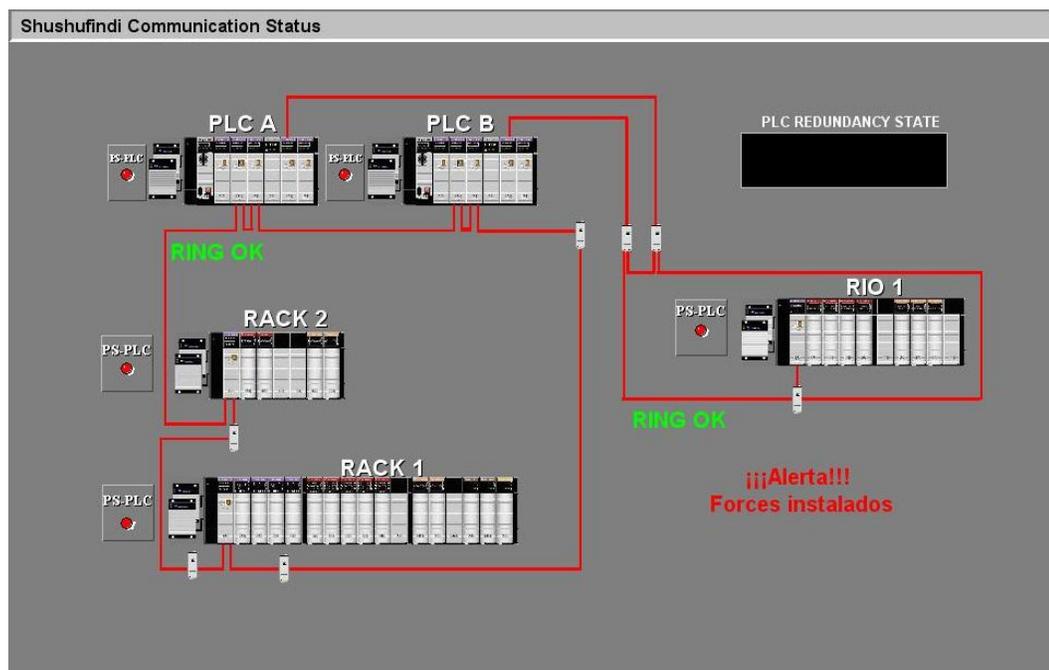
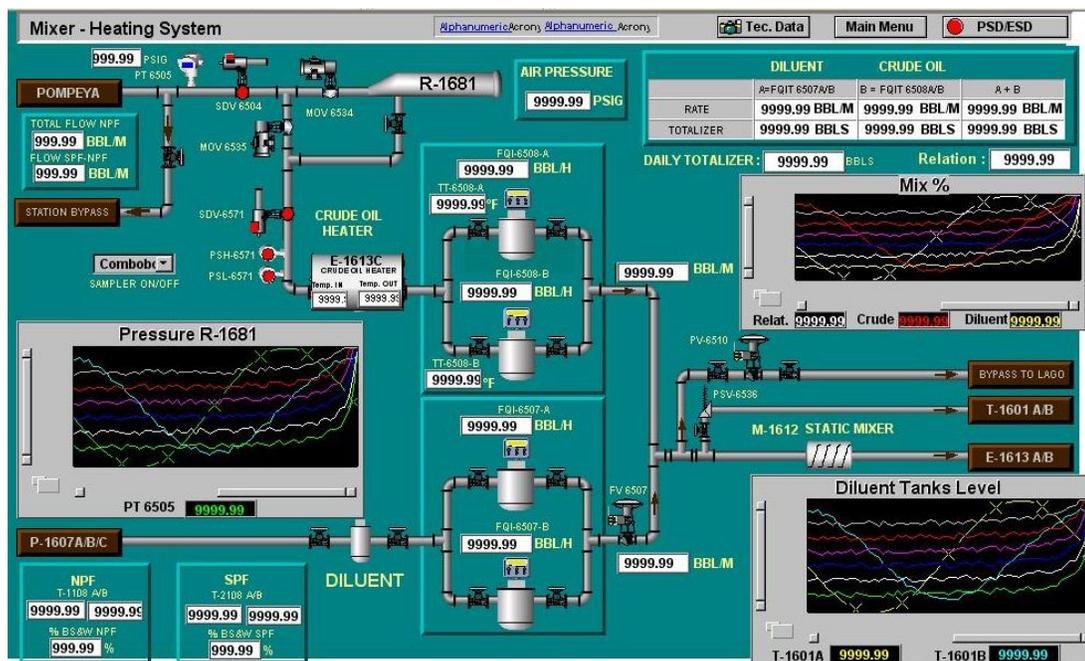


Figura 44

Pantalla Mezclador Sistema HMI Honeywell



Se hizo una selección de las pantallas más importantes con el posterior análisis de las señales disponibles en el DCS al integrar los sistemas terceros. En la Figura 42, Figura 43, Figura 44 se muestran las pantallas principales del sistema Honeywell que se mantienen, pero con un rediseño tomando en cuenta las consideraciones del estándar debido a la enorme carga visual que presentan las pantallas.

Librerías de instrumentos y objetos.

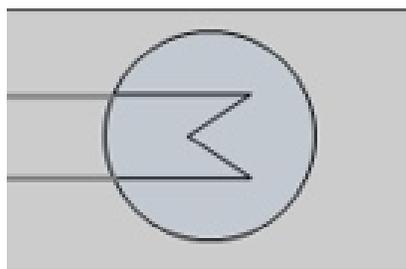
Las librerías de objetos se crean con un concepto orientado a objetos para facilitar los cambios en todas las instancias que se llaman en las pantallas, cada objeto de proceso se dibuja o se modifica de acuerdo con la necesidad en el Archestra Graphic Toolbox siguiendo la simbología ISA definida en el Kit de herramientas, existen 2 tipos de objetos animados y no animados; los objetos no animados no requieren de ninguna

configuración o programación, únicamente se realiza el esquemático contemplando el color definido para objetos no animados.

En la Figura 45 se muestra el objeto intercambiador de calor que no presenta animación debido a que no existe una variable o indicador de estado.

Figura 45

Intercambiador de calor del sistema HMI



En la Figura 45 se muestra el objeto del Tubo Lanzador utilizado como guía para la ubicación de los elementos en el HMI, con el propósito de que sea lo más parecido a la distribución en campo facilitando el trabajo a los operadores.

Figura 46

Tubo Lanzador Sistema HMI



Para los objetos animados como válvulas, bombas, compresores y transmisores es necesario realizar configuraciones que permitan direccionar el objeto en el sistema HMI con la señal del bloque de control que corresponde.

Para apuntar un objeto HMI hacia una señal del proceso se realiza mediante la siguiente dirección separando cada sección con punto:

“Server.Compound.Bloque.Parametro”

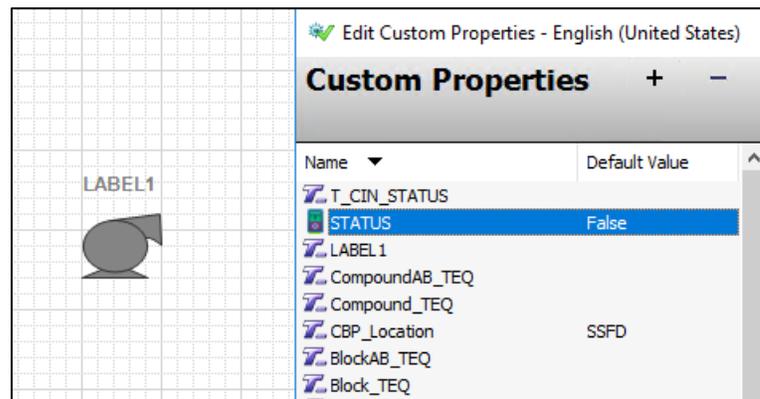
Donde:

- DAserver: Es el engine para la comunicación del procesador con el HMI.
- Compound: Es el contenedor y clasificador de estrategias de control.
- Bloque: Es el bloque de control donde se encuentra la señal que se desea direccionar.
- Parámetro: Es el Parámetro dentro del bloque de control donde se encuentra el valor de la señal deseada.

Para esto en el Archestra IDE en todas las librerías de objetos animados se crea una variable tipo String por cada sección de la dirección de la señal: Compound, Bloque de control y parámetro del bloque. Como es un sistema multiplataforma se crea una variable tipo String donde se indica la localización del procesador para el caso de la estación Shushufindi es SSFD.

Figura 47

Propiedades Librería Bomba Sistema HMI Foxboro



En la Figura 47 se muestran las propiedades configuradas de cada una de las secciones para la librería de bombas donde:

- **Compound_TEQ:** Es una variable tipo String donde va la sección Compound de la dirección de la señal
- **Block_TEQ:** Es una variable tipo String donde va la sección Bloque de la dirección de la señal
- **T_CIN_STATUS:** Es una variable tipo String donde va la sección Parámetro de la dirección de la señal
- **CBP_Location:** Es una variable tipo String donde va la localización del procesador, por defecto se encuentra en SSFD.
- **STATUS:** Es una variable discreta de memoria del HMI que almacena el valor de la señal al direccionarla, se utiliza para animar el objeto HMI
- Las variables CompoundAB_TEQ, BlockAB_TEQ se utilizan para el direccionamiento de la señal que alarma la bomba en el sistema mediante un Alarm border, existen casos en el que las alarmas se encuentran configuradas en otro parámetro del mismo bloque de control donde se encuentra la señal para este caso el direccionamiento sería el mismo.

Para asignar el valor de la señal a la variable STATUS se utiliza el siguiente script dentro de todas las librerías.

En la Figura 48 se muestra el Script realizado para el direccionamiento de todas las librerías.

Figura 48

Script Direccinamiento para Librerías Animadas Sistema HMI Foxboro

```

{Variables}
{Esta Variable PlatformLocation define la locacion de la plataforma en la que va a correr el ArchestrASymbol}
dim Platform_Location as string;
{Esta Variable IADTEQ sera el prefijo para armar la ruta del dato}
dim IADTEQ as string;

{Se define la locacion de la plataforma en la que va a correr el ArchestrASymbol}
{se toma el nombre del IADI local de la maquina mediante el IADAS}
{Para llamar al IADI local usamos IADAS.Tagname}
if StringMid(IADAS.Tagname,4,1) == "1" then
Platform_Location = "NPF";
endif;
if StringMid(IADAS.Tagname,4,1) == "2" then
Platform_Location = "SPF";
endif;
if StringMid(IADAS.Tagname,1,3) == "RDS" then
Platform_Location = "RDS";
endif;
if (StringMid(IADAS.Tagname,4,1) == "4" and StringMid(IADAS.Tagname,6,1) == "1") then
Platform_Location = "SSFD";
endif;

{Se define el prefijo del dato}
if CBP_Location == Platform_Location then {Si el dato corresponde a la misma locacion de la maquina, usa IADAS}
IADTEQ = "IADAS";
elseif CBP_Location == "NPF" then
IADTEQ = "AWP101_IADI";
elseif CBP_Location == "SPF" then
IADTEQ = "AWP201_IADI";
elseif CBP_Location == "SSFD" then
IADTEQ = "AWP401_IADI";
endif;

SetCustomPropertyValue("STATUS", IADTEQ + "." + Compound_TEQ + "." + Block_TEQ + "." + T_CIN_STATUS, false);

{PARAMETROS ALARM BORDER}
SetCustomPropertyValue("AlrmCB1CRIT", IADTEQ + "." + CompoundAB_TEQ + "." + BlockAB_TEQ + ".CRIT", false);
SetCustomPropertyValue("AlrmCB1INHOPT", IADTEQ + "." + CompoundAB_TEQ + "." + BlockAB_TEQ + ".INHOPT", false);
SetCustomPropertyValue("AlrmCB1INHSTA", IADTEQ + "." + CompoundAB_TEQ + "." + BlockAB_TEQ + ".INHSTA#HB", false);
SetCustomPropertyValue("AlrmCB1PRTYPE", IADTEQ + "." + CompoundAB_TEQ + "." + BlockAB_TEQ + ".PRTYPE", false);
SetCustomPropertyValue("AlrmCB1UNACK", IADTEQ + "." + CompoundAB_TEQ + "." + BlockAB_TEQ + ".UNACK", false);

```

En el script de direccionamiento se realiza con el objetivo de poder navegar y visualizar los sistemas HMI de las otras estaciones de Repsol (NPF y SPF) que se encuentran en la Galaxia. El Script primero obtiene la localización de la plataforma donde corre el ArchestrASymbol del sistema HMI, para el caso de la estación Shushufindi es la estación de Ingeniería AWP401, a continuación verifica si la localización de la plataforma es la misma que la ubicación del Procesador definida en la variable CBP_Location al direccionar el objeto; en el caso de ser la misma accede al valor mediante el DAservidor de la estación (IADAS); en el caso de que la localización de la plataforma sea diferente accede mediante el Servidor de historización que es la estación de Ingeniería de cada planta.

Una vez definido el DAserver se procede mediante concatenación de cadenas a crear la dirección correspondiente para acceder al valor de la señal y también a sus parámetros de alarma.

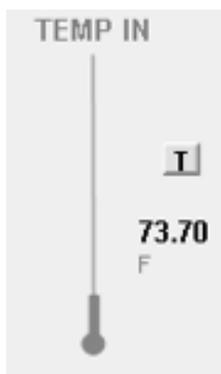
Librerías Señales Análogas

Dentro del sistema HMI existen tres formas para indicar el valor de las señales análogas, la primera es mediante un medidor (Meter), que muestra únicamente el valor numérico de la señal con su respectiva unidad, la segunda forma es a través de la librería de transmisores a la que se le realiza los cambios necesarios para el Alarm border y el direccionamiento detallados antes, esta librería tiene la ventaja de que muestra el valor no solo de forma numérica sino también de manera gráfica, que mediante un indicador tipo barra que el nivel asciende de acuerdo al valor de la señal los límites toman de la configuración del rango de la señal en el respectivo bloque.

La Figura 49 muestra la librería gráfica para transmisores del sistema HMI.

Figura 49

Transmisor de Temperatura sistema HMI

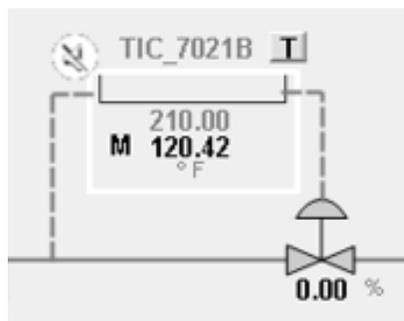


La tercera forma de representar las señales análogas es para los transmisores de los lazos de control que posee una librería que indica el valor medido de entrada del lazo de control, muestra el valor del set point establecido en el lazo y por último

mediante una válvula muestra el valor del porcentaje de salida del lazo de control como se muestra en la Figura 50.

Figura 50

Representación gráfica para los lazos de control en el sistema HMI



Esquemáticos de Pantallas

Tomando en cuenta las consideraciones detalladas en el proceso de diseño, la guía de estilo, Diagramas P&ID y los diagramas esquemáticos del anterior sistema. Se define el sistema HMI con 20 pantallas. En la Tabla 20 se muestra cada una de las pantallas con su jerarquía y nombre.

Tabla 20

Resumen de Pantallas Sistema HMI Foxboro

Nº	Planta	Nivel	Área	Nombre
1	SSFD	1	Proceso	Process
2	SSFD	2	Proceso	Station Diluent
3	SSFD	2	Proceso	Station Heating
4	SSFD	2	Proceso	T1601AB P1607ABC
5	SSFD	3	Proceso	R1681 E1613C
6	SSFD	3	Proceso	E1613C

7	SSFD	3	Proceso	P1611 L1680
8	SSFD	3	Proceso	T1601 P1607
9	SSFD	3	Proceso	PEC
10	SSFD	3	Proceso	T1621 V1620
11	SSFD	3	Proceso	H1614 D1615
12	SSFD	3	Proceso	H1614 E1613
13	SSFD	3	Proceso	V1686
14	SSFD	3	Proceso	OCP
15	SSFD	3	Proceso	R1784
16	SSFD	3	Proceso	T1602 L1682
17	SSFD	3	Proceso	T1603 G1670
18	SSFD	3	Proceso	Com Status
19	SSFD	3	Proceso	PSD ESD
20	SSFD	3	Proceso	Process Variables

En la Figura 51 se muestra la barra de navegación para el sistema HMI de la estación SSFD, la barra de navegación clasifica a las pantallas según su jerarquía como establece el estándar ISA 101, la clasificación se realiza con el objetivo de que la navegación por parte del usuario sea lo más simple.

Figura 51

Barra de Navegación Estación SSFD

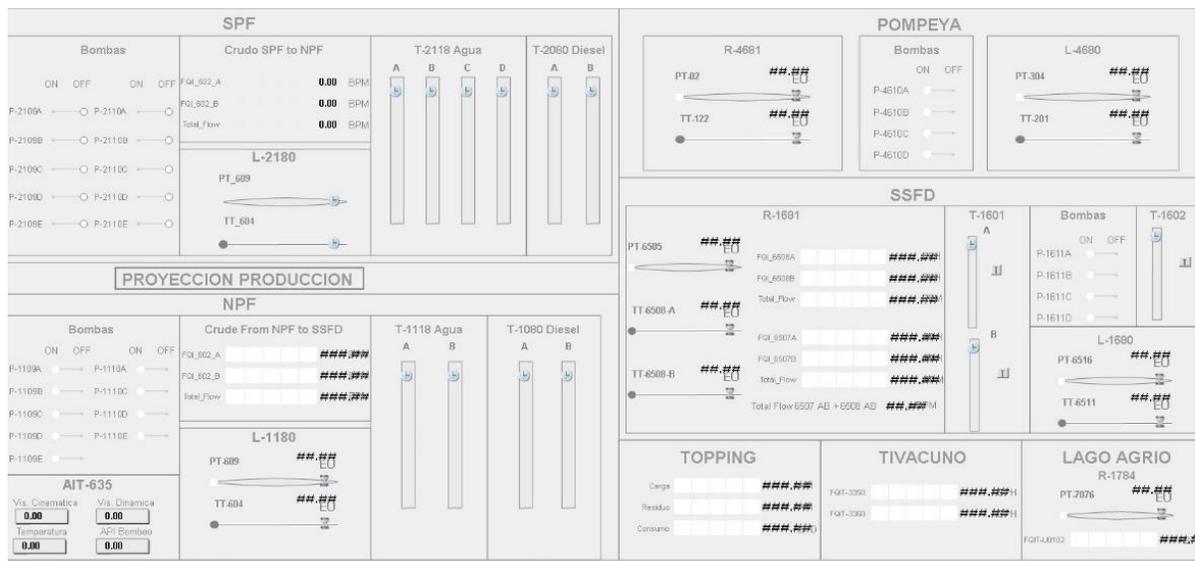


En la pantalla de Nivel 1 se encuentra la información más importante de todas las estaciones de Repsol (SPF, NPF) que se encuentran dentro de la Foxboro Control

Network y también nos permite acceder únicamente para visualización a los sistemas HMI de las estaciones NPF y SPF.

Figura 52

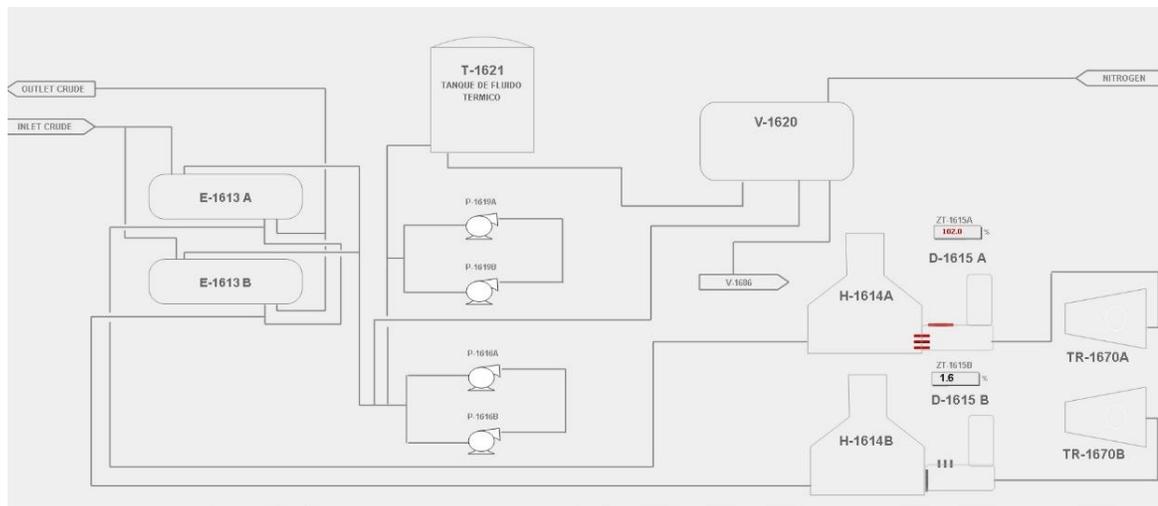
Pantalla Nivel 1



En la Figura 52 se muestra la pantalla nivel 1, antes de la implementación en la estación por lo que no refleja ningún dato en sus valores.

Figura 53

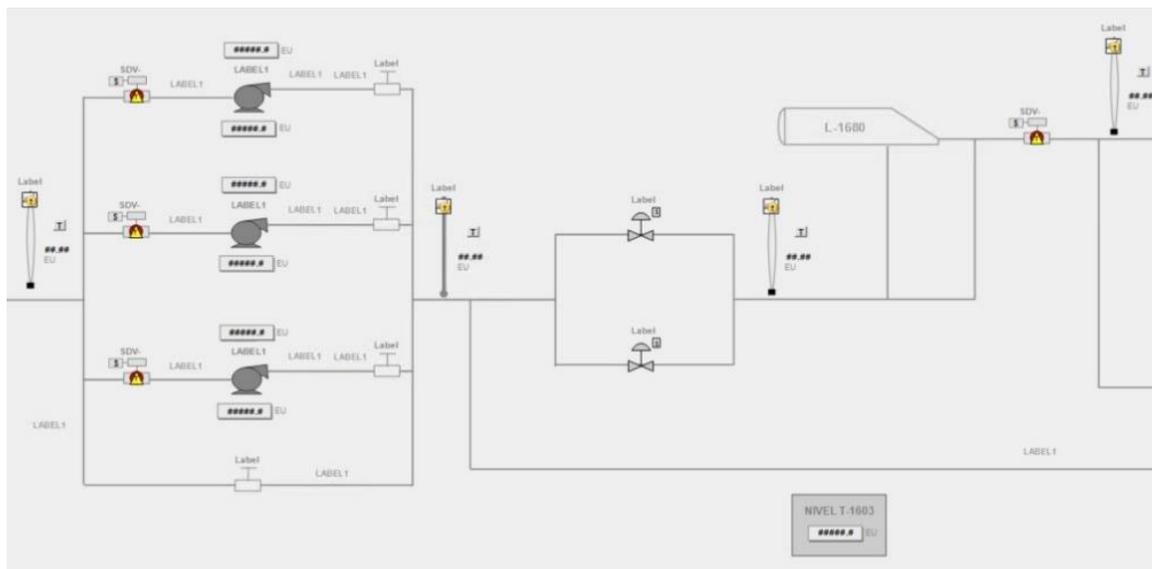
Pantalla Station Heating Circuito de Aceite Térmico Sistema HMI Foxboro Evo



En la Figura 53 se observa la pantalla de nivel 2 para el circuito de aceite térmico.

Figura 54

Pantalla Bombas P1611A/B/C Sistema HMI Foxboro Evo



En la Figura 54 se muestra la pantalla de las bombas de succión P-1611A/B/C con salida en el lanzador L-1680,

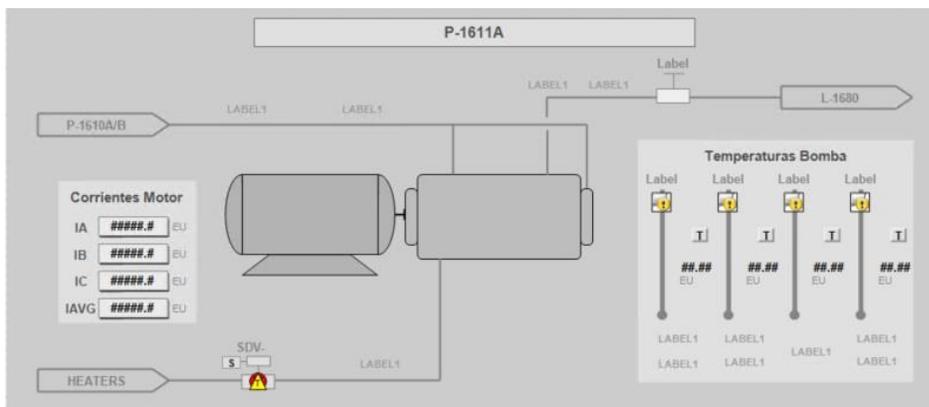
Pop Ups

Dentro del sistema HMI se crearon diferentes tipos de Pop Ups o ventanas emergentes con diferentes funciones.

- Pop Up de información a detalle Bombas P1611 A/B/C.

Figura 55

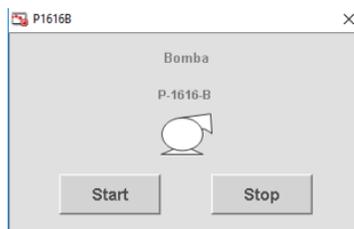
Pop Up Información detallada de la Bomba P-1611A



- Pop Up confirmación de control de las bombas del circuito de aceite térmico.

Figura 56

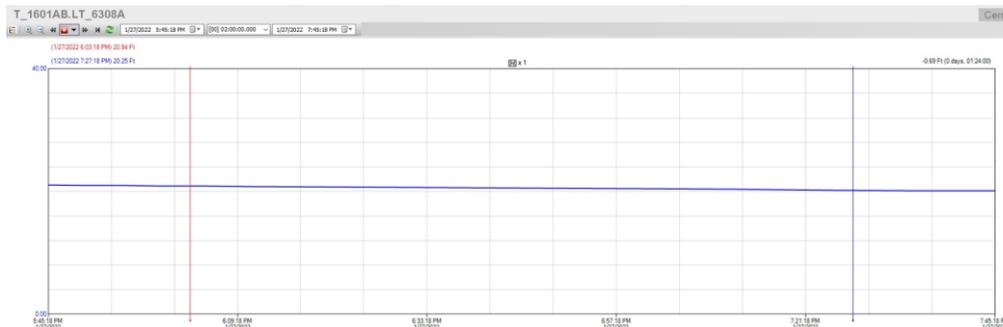
Pop Up Control de Bombas P-1616B



- Pop Up de históricos y tendencias mediante la aplicación Trend del sistema Control HMI.

Figura 57

PopUp Tendencias

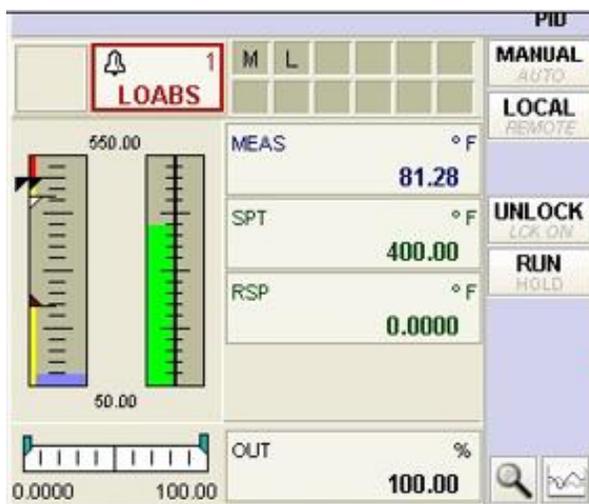


- Pop Up del Banner de Alarmas del proceso y sistema del software Control HMI.
- Pop Up de información y control para los lazos de control.

El DCS Foxboro Evo presenta un bloque de control que proporciona toda la información del lazo direccionado, en este Pop Up podemos monitorear el valor de entrada del lazo de control, permite modificar el modo de funcionamiento del lazo, también permite modificar el setpoint, en caso que el lazo se encuentre en modo manual permite establecer el porcentaje de salida del lazo. En la Figura 58 se observa el Pop up para el control de los lazos de control.

Figura 58

Pop Up Variables del lazo de control



El documento con todas las pantallas y PopUps a detalle del sistema HMI se encuentra en el Apéndice G.

Direccionamiento de objetos.

Con las variables tipo String de cada una de las secciones de la dirección para apuntar a las señales de los bloques de control como se explica en la sección de librerías, se realiza una base de señales en el cual existe una tabla por pantalla donde

se encuentra la dirección en formato: Compound, Bloque, Parámetro de cada uno de los elementos animados de las pantallas.

Tabla 21

Direccionamiento Pantalla T1601_P1607

Pantalla T1601_P1607			
	Compound	Bloque	Parámetros
Meters			
M_TANKA	COM_CLXESD	LIT_6310A	AIN
M_TANKB	COM_CLXESD	LIT_6310B	AIN
M_PT63	COM_CLXESD	PT_6513A	AIN
Leds			
LAHH_A	COM_CLXESD	LSHH_6306A	BIN
LALL_A	COM_CLXESD	LSSL_6305A	BIN
LAHH_B	COM_CLXESD	LSHH_6306B	BIN
LALL_B	COM_CLXESD	LSSL_6305B	BIN
PAHH	COM_CLXESD	PSHH_6314	BIN
Válvula			
LV63	COM_CLXESD	LY_6304	BIN
HV18B	COM_CLXESD	HV_6318B	BIN
HV08B	COM_CLXESD	HV_6303B	BIN
Bombas			
B_16A	COM_CLXESD	P_1607A_XS	BIN
B_16B	COM_CLXESD	P_1607B_XS	BIN
B_16C	COM_CLXESD	P_1607C_XS	BIN

En la Tabla 21 se muestra el direccionamiento de cada uno de los elementos e instrumentos que conforman la pantalla T1601_P1607. Con estos datos se direcciona en cada una de las propiedades que se generan en la instancia de cada elemento declarada en la pantalla.

Capítulo V. IMPLEMENTACIÓN

La implementación del proyecto se realiza en la estación de transferencia SSFD, ubicada en la provincia de Sucumbíos en la ciudad de Shushufindi. Antes de realizar la implementación en campo primero se debe exportar todos los objetos, pantallas, bloques y estrategias de control de la Galaxia que se crearon en los capítulos de diseño y desarrollo, con el propósito de importar todos los elementos creados a la Galaxia REPSOL que se encuentra en los servidores de virtualización (VHOST 1 y VHOST 2). La implementación empieza con el montaje y configuración de todos los equipos, de acuerdo con las distribuciones detalladas en los planos. Con los equipos montados se verifica la comunicación hacia la galaxia y las otras estaciones de la Foxboro Control Network para realizar la conciliación de los objetos exportados. Luego se realiza la configuración de los equipos como el anunciador, la estación de ingeniería y los firewalls para la protección de las estaciones. Con los equipos configurados se establece la comunicación entre el DCS Foxboro Evo y los controladores de los sistemas terceros (SIS y E1613C). Se integra el sistema OCP creando las instancias dentro del Cliente OPC que se encuentra en la Galaxia. Con los sistemas terceros integrados se realiza la configuración e implementación del Sistema HMI. Por último, se realiza una capacitación a los usuarios que van hacer uso del sistema.

El requisito para el ingreso a la estación es la aprobación del curso de seguridad Industrial proporcionado por Repsol, este curso consta de 10 principios básicos a seguir en las instalaciones de la estación de transferencia, al momento de aprobar el Curso de SMA se entrega el certificado junto con el pase temporal para los trabajos que se muestran en el Apéndice H.

Montaje de los equipos

Se realiza el montaje de todos los equipos, detallados en los capítulos de diseño y desarrollo, siguiendo como guía las distribuciones de los planos que se encuentran en Apéndices. Los equipos se van a montar en el cuarto de comunicaciones y el Control Room. Todo el tendido de cables, para la alimentación y comunicación entre los equipos, fue realizado por personal de apoyo en la planta.

Figura 59

Gabinetes dentro del cuarto de comunicaciones



Gabinete X-40801-COM

El gabinete contiene todos los dispositivos de red de la estación de transferencia que administran la red y los servidores del DCS Honeywell Experion PKS que fueron retirados del Gabinete, los nuevos equipos Foxboro que se añaden a la

arquitectura de red que se observa en la Figura 11. En la Figura 60 se muestra el gabinete X-40801-COM antes del montaje de los equipos Foxboro.

Figura 60

Gabinete X-40801-COM antes de la implementación del sistema Foxboro Evo



En base al plano del Apéndice C se realiza el montaje de los siguientes equipos en el gabinete de comunicaciones como se muestra en la parte superior del gabinete, donde se encuentran los equipos Foxboro en la Figura 61.

Figura 61

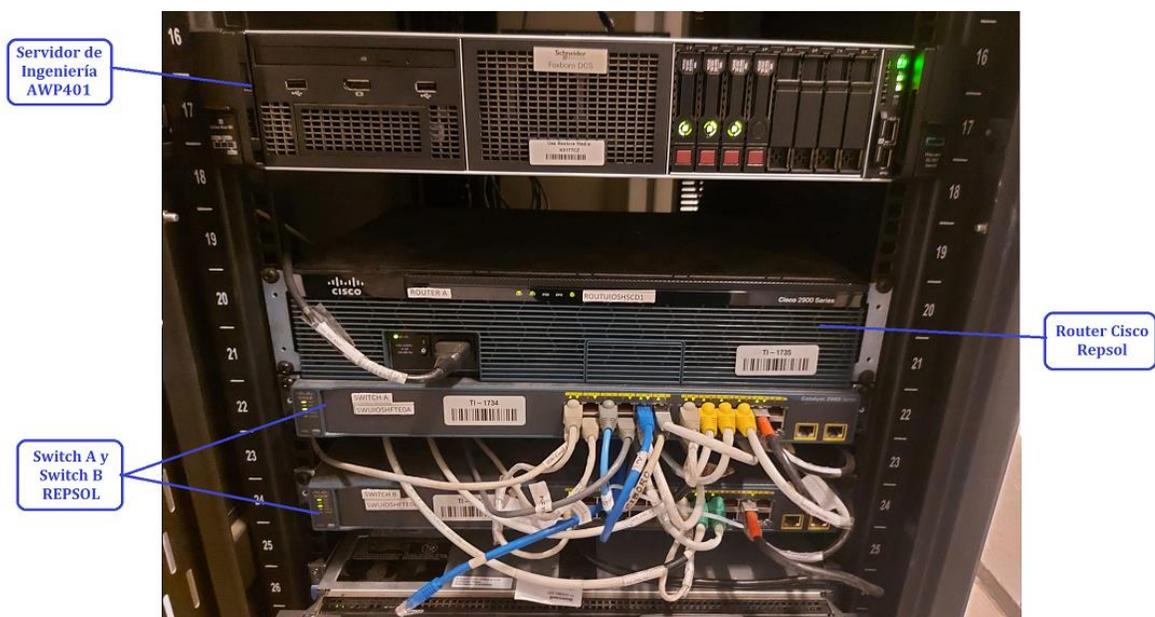
Equipos Parte Superior Gabinete X-40801-COM



La Figura 62 muestra el servidor de ingeniería, el switch A y switch B que administran la red de la estación y el router.

Figura 62

Parte inferior Gabinete X-40801-COM



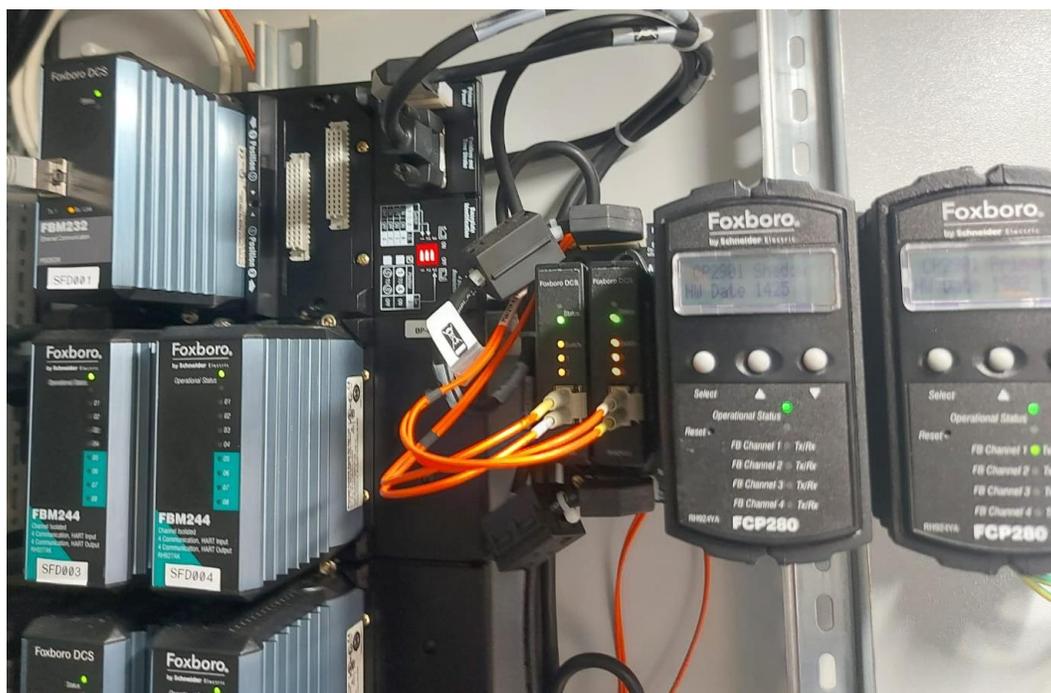
Gabinete x-40802-DCS

En el gabinete se encuentra el controlador FCP 280 con sus tarjetas FBM, distribuidas en los baseplates de acuerdo con los planos en detalle de los Apéndices A y B, se realiza el tendido del cable Ethernet para comunicar la FBM 232 con el Switch A de Repsol que se encuentra en el gabinete X-40801-COM. De la misma forma se realiza el tendido de la fibra óptica, que conecta los switches Foxboro SWS 401 y SWS 402 con los módulos redundantes del controlador FCP 280.

En la Figura 63 se muestra el montaje del FCP 280 en su baseplate, dentro del Gabinete X-40802-DCS.

Figura 63

Montaje FCP 280 dentro del gabinete DCS Foxboro X-40802-DCS



En la Figura 64 se muestra la ubicación de las FBMs dentro del Gabinete del DCS X-40802-DCS.

Figura 64

Montaje de tarjetas FBM en el Baseplate A del Gabinete X-40802-DCS

**Sala de control.**

La sala de control de la estación SSFD contaba con la estación de operación del sistema Honeywell, además de 2 monitores de 42 pulgadas, empotrados en la pared de los cuales se retira 1 monitor de 42 pulgadas por exceso de hardware y se mantiene una computadora en la sección de reportes para realizar informes.

El montaje del Workcenter dentro de la planta, se realiza siguiendo los esquemas detallados en la fase de diseño de la consola y los factores de ergonomía que establecen la norma ISO 11064. La implantación del Workcenter se realiza con la ayuda de personal auxiliar. En la Figura 65 se muestra el montaje de los monitores en la pared display del Workcenter.

Figura 65

Montaje soporte de los monitores NEC en la pared display del Workcenter



En el Workcenter se encuentra también la estación de operación y sus periféricos. Además, se instala el receptor de la unidad gráfica remota para el monitor y los periféricos del servidor de ingeniería que se encuentra en la sala de Comunicaciones.

Figura 66

Parte posterior del Workcenter donde se encuentra la alimentación redundante para los equipos



El Workcenter, como todos los gabinetes posee una alimentación redundante independiente en caso de apagones, con sus respectivas protecciones como se observa en la Figura 66.

Con todos los equipos montados en sus gabinetes y estaciones se realiza el marquillado de todos los cables con la estructura: "Puerto_Equipo1-Puerto_Equipo2" como se observa en la Figura 67.

Figura 67

Marquilla Cable de red de la estación de Ingeniería hacia el Switch Foxboro



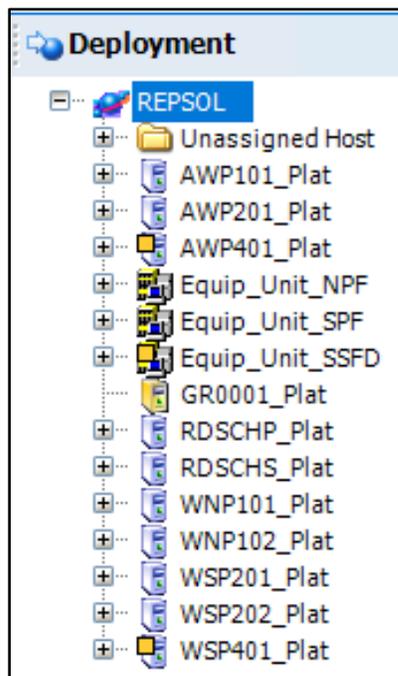
El plano de conexión de todos los equipos Foxboro y sus marquillas está en el Apéndice G.

Conciliación de la Galaxia

Con todos los equipos montados, dentro de la estación es fundamental verificar la comunicación dentro de la Foxboro Control Network de la estación SSFD hacia los servidores de las otras estaciones, que se encuentran dentro de la VLAN de control Foxboro. La comunicación se verifica al realizar Ping entre la estación de ingeniería AWP 401 y las estaciones de Ingeniería de la planta NPF y SPF (AWP 201 y AWP101). Con la comunicación establecida se abre la Galaxia Repsol dentro de la estación de ingeniería, se crea el Equip Unit SSFD y las plataformas de la estación de transferencia, donde se van a importar todos los objetos desarrollados en las fases de diseño. Debido a que en los servidores de virtualización se encuentra ejecutándose la máquina virtual de la Galaxia, es importante verificar el tráfico de red y la tiempo de Ping al momento de importar.

Figura 68

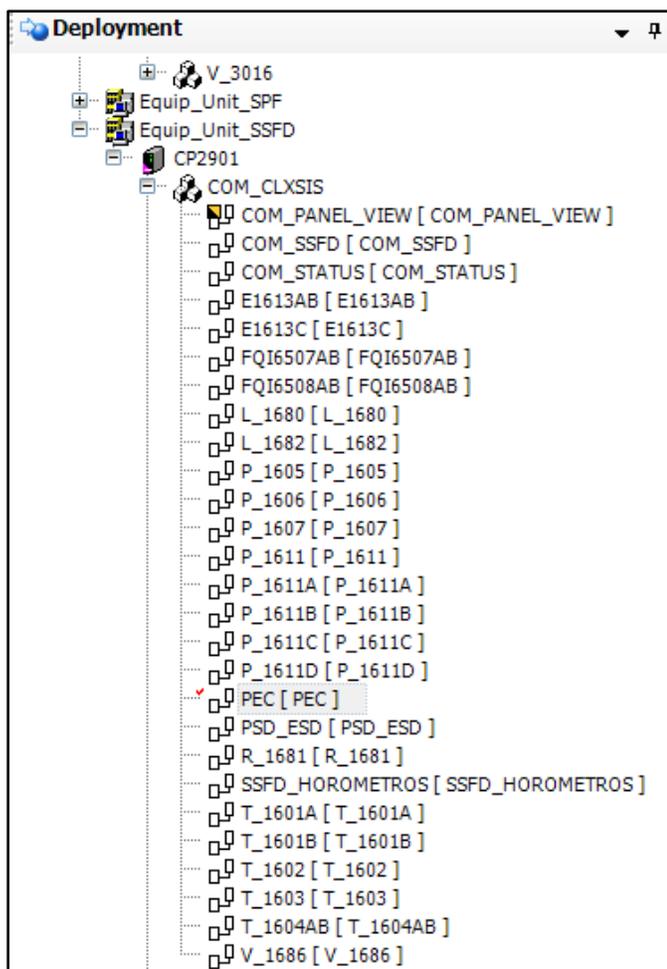
Plataformas de la Galaxia Repsol



Dentro del Equip Unit SSFD se crea el Device del controlador FCP 280 (FCP 2901) donde se van a importar los compound COM_CLXSIS y COM_E1613C en los que se encuentran las estrategias de control de la integración de los sistemas terceros, como se observa en la Figura 69.

Figura 69

Estrategias de control del compound COM_CLXSIS



De la misma forma se importan los objetos y pantallas dentro del Graphic Toolbox del Archestra IDE.

Configuración de equipos

Firewall Moxa

Los Firewalls Moxa cumplen la función de proteger la estación de operación y de ingeniería como medida de ciberseguridad. La configuración se realizó en base al manual del modelo EDR-G903 Series (MOXA, 2018).

Figura 70

Configuración de la Dirección IP del Firewall de la estación AWP401

Serial NO.	TBAFB1162435	Firmware	V5.6 build 20092212
WAN2 MAC	00-90-e8-99-95-cb	LAN MAC	00-90-e8-99-95-ca
WAN2 IP	0.0.0.0	LAN IP	192.168.127.254

Mode Configuration

Network Mode

Router Mode (Router, Firewall, VPN, NAT)
 Bridge Mode (Bridge Mode Firewall)

Address Information for Bridge Mode

IP Address Subnet Mask Gateway

En la Figura 70 se muestra la configuración de la dirección IP que va a ocupar el firewall dentro de la red, siguiendo las direcciones IP establecidas en la arquitectura de red como se definió en el Capítulo III. El Gateway por defecto ocupa el primer espacio de red 10.67.52.1. Establecida la dirección IP del firewall, se establece un nuevo usuario administrador con sus respectivas credenciales.

Por último, como los firewalls Moxa son dispositivos de seguridad de la red, que actúan a nivel de capa 3, por lo que se establece un conjunto de reglas Layer 3, cada regla especifica el acceso o bloqueo del rango de direcciones MAC o IP para las estaciones AWP 401 y WSP 401. Las reglas se configuran para permitir el acceso a todos los dispositivos de red de las 3 estaciones de Repsol y se define una regla para

bloquear el resto de direcciones. En la Figura 71 se muestra la configuración de las reglas de capa 3 para el Firewall Moxa.

Figura 71

Configuración Reglas para los Firewalls Moxa

Layer 3 Policy

Global Setting

Firewall Event Log:

Malformed Packets: Severity: Flash: Syslog: SNMP Trap:

Policy Setting

Name:

Enable:

Severity: Flash: Syslog: SNMP Trap:

Interface From: To:

Automation Profile:

Filter Mode:

Action:

Source IP:

Source IP-MAC Binding:

Source Port:

Destination IP:

Destination Port:

Add **Modify** **Delete** **Move** **Apply** **Policy Check**

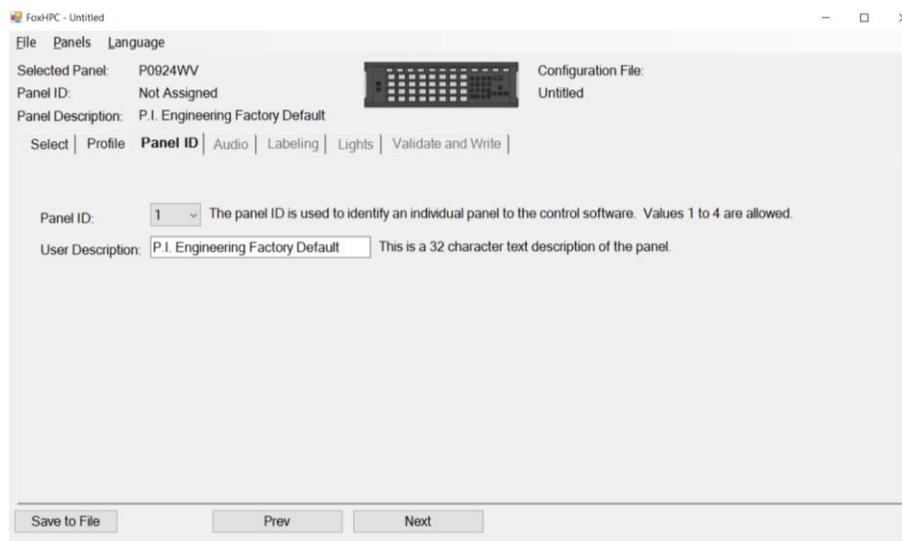
Con el firewall configurado se procede a energizarlo y montarlo dentro del gabinete de comunicaciones.

Anunciador Foxboro

El Anunciador Foxboro cumple la función de alertar mediante sonidos las alarmas que se encuentran dentro del sistema HMI, también permite una navegación del sistema utilizando su teclado que viene incorporado. Su configuración se realiza mediante el software FoxHPC, donde se selecciona el Identificador del anunciador y el tipo de anunciador. Como se observa en la Figura 72 el anunciador para la estación WSP 401 es el modelo P0924WV.

Figura 72

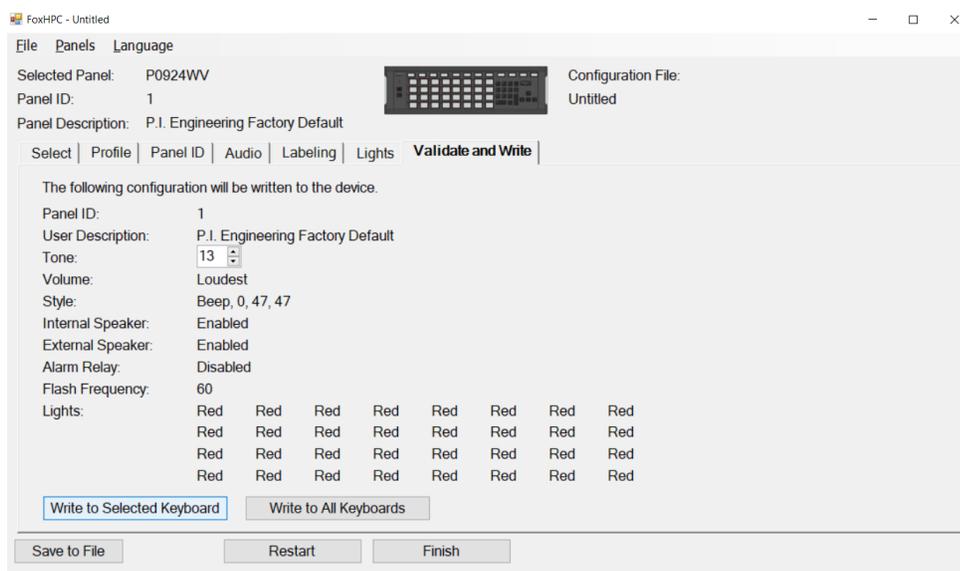
Configuración ID Anunciador P0924WV



Después del ID se configuran las luces y audio con el propósito de inicializar el anunciador con esta configuración para que pueda ser reconocido en la Galaxia por parte del Framer. En la Figura 73 se muestra la configuración del anunciador Foxboro.

Figura 73

Configuración para inicializar el Anunciador



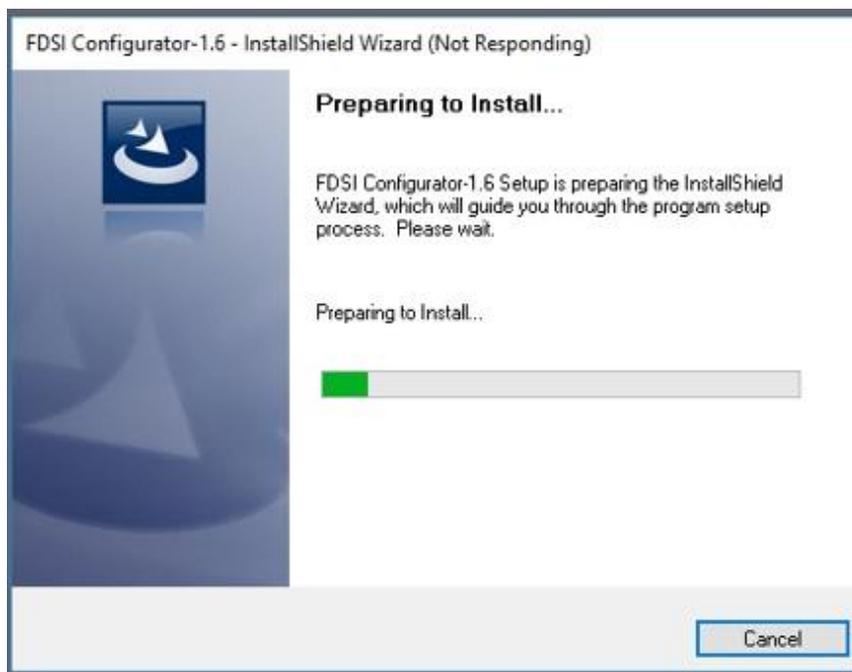
La navegación del Anunciador y las alarmas se configuran dentro del Framer al implementar el sistema HMI.

Estación de Ingeniería

Se debe instalar el Configurador del Driver FDSI dentro de la estación de operación, este driver nos permitirá crear los respectivos devices para cada sistema tercero que se va a integrar por la interface FBM 232, montada en el Baseplate A del Gabinete X-40802-DCS. Como se muestra en la Figura la instalación del Configurador FDSI V1.6

Figura 74

Instalador Configurador FDSI 1.6



Además, para el cliente de acceso remoto se instalan las licencias de Windows respectivas dentro de la estación de Ingeniería.

Integración Sistemas Terceros

Para la integración de los sistemas terceros se debe verificar que exista comunicación de la estación de ingeniería hacia los controladores. Se verifica en campo que la IP sea correcta en el PLC mediante su panel. En la Figura 75 se muestra el Gabinete de control del sistema Calentador E1613C.

Figura 75

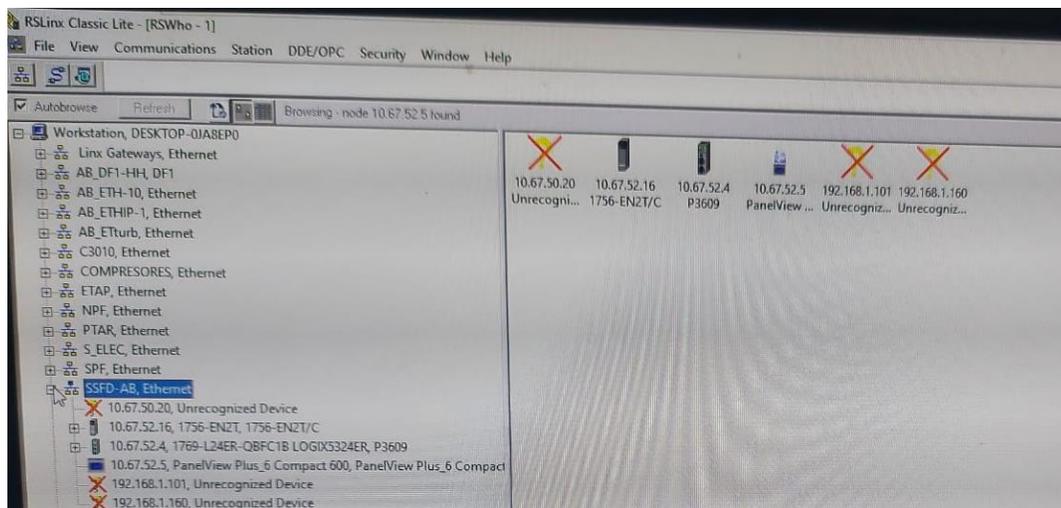
Gabinete Controlador Calentador E1613C



Se verifica que la comunicación está habilitada dentro de la red mediante el Software RSLinx que permite visualizar la conexión de los PLC Allen Bradley. En la Figura 76 se muestra la comunicación y las direcciones IP de los PLC en el software RSLinx.

Figura 76

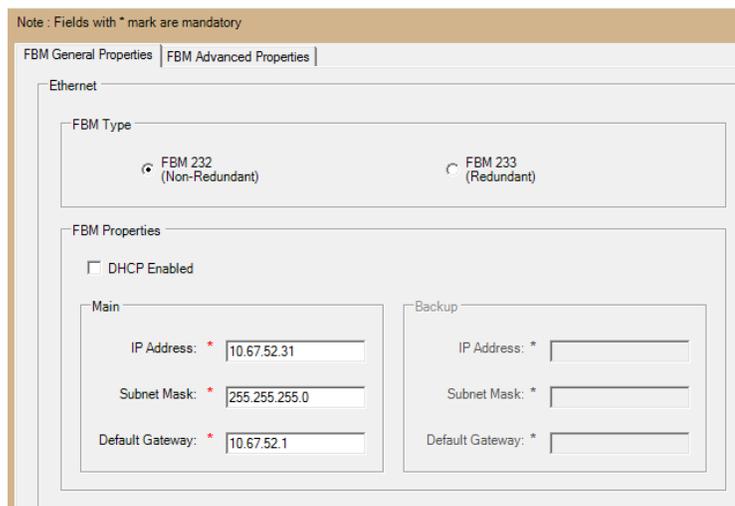
Comunicación PLCs SIS y E1613C en el software RSLinx



A continuación, se debe configurar el Driver FDSI, donde se selecciona la interface que se utiliza y las características de red de la FBM 232, en base a la Arquitectura de red de la Figura 11. En la Figura 77 se muestra la configuración de red de la FBM 232.

Figura 77

Configuración Interface FBM232 para sistemas Terceros

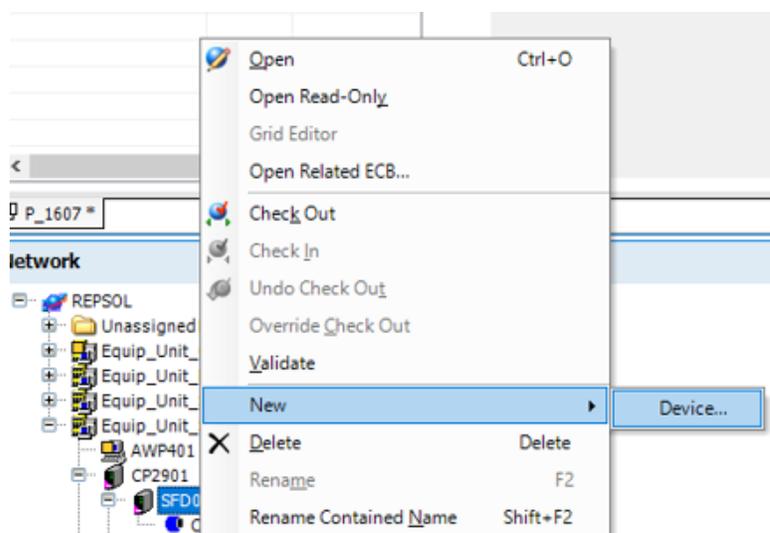


Con la Interface configurada se procede a crear los devices dentro de la FBM 232, que se utilizan para integrar los controladores de los sistemas SIS y E1613C, se agrega 1 device por PLC. El device se crea en el entorno de desarrollo Archestra IDE seleccionando dentro del Equip Unit la CP2901, donde se encuentra la FBM 232 cuyo nombre dentro de la Galaxia es SFD001 y se crea el Device que está configurado en el Driver FDSI con la IP del controlador.

En la Figura 78 se muestra el procedimiento para crear el Device dentro de la Galaxia.

Figura 78

Creación Device dentro de la FBM 232 del calentador E1613C



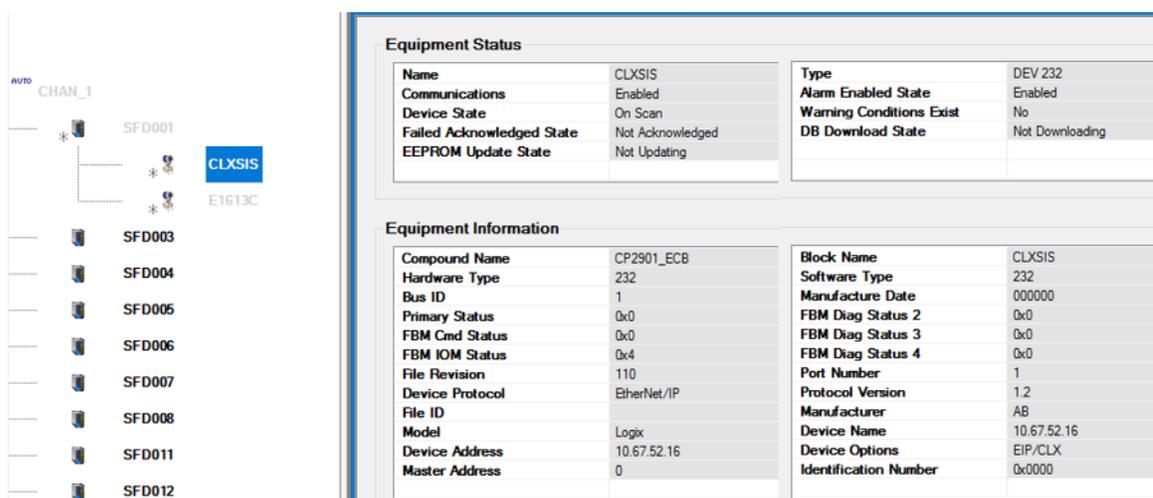
Con los Devices creados se revisa que la nomenclatura del equipo sea la correcta dentro del FDSI driver, debido a que los bloques de control ya se encuentran direccionados con el nombre del device. Para verificar la comunicación con los Devices creados entre el DCS Foxboro Evo y los controladores de los sistemas terceros, se utiliza el software System Manager, que muestra el estado de conexión de todos los dispositivos del sistema de control.

Para verificar la comunicación dentro del Device en el System Manager se verifica que la información siguiente sea correcta:

- Dirección IP del Controlador.
- Modelo Del controlador.
- Protocolo de Comunicación.
- Estado de la comunicación.

Figura 79

Comunicación Controlador CLXSIS en el DCS Foxboro Evo



En la Figura 79 se encuentra el estado del controlador del sistema SIS en el DCS Foxboro Evo donde se verifica que la comunicación está habilitada y no se encuentra en falla el Device. De la misma forma se verifica el estado de comunicación del PLC del sistema E1613C como se muestra en la Figura 80.

Figura 80

Comunicación Controlador CLX SIS en el DCS Foxboro Evo

The screenshot displays the Foxboro Evo DCS interface. On the left, a tree view under 'CHAN_1' shows a hierarchy of control blocks: SFD001, CLX SIS, E1613C, SFD003, SFD004, SFD005, SFD006, SFD007, SFD008, SFD011, and SFD012. The 'E1613C' block is highlighted in blue. On the right, two tables provide detailed information about the selected equipment.

Equipment Status			
Name	E1613C	Type	DEV 232
Communications	Enabled	Alarm Enabled State	Enabled
Device State	On Scan	Warning Conditions Exist	No
Failed Acknowledged State	Not Acknowledged	DB Download State	Not Downloading
EEPROM Update State	Not Updating		

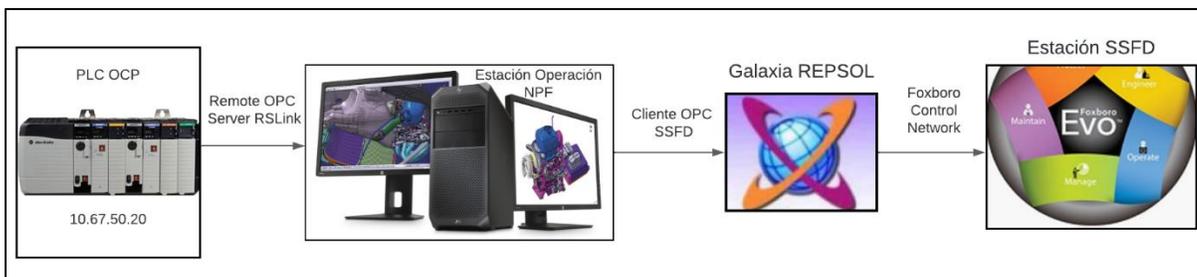
Equipment Information			
Compound Name	CP2901_ECB	Block Name	E1613C
Hardware Type	232	Software Type	232
Bus ID	0	Manufacture Date	000000
Primary Status	0x0	FBM Diag Status 2	0x0
FBM Cmd Status	0x0	FBM Diag Status 3	0x0
FBM IOM Status	0x4	FBM Diag Status 4	0x0
File Revision	110	Port Number	1
Device Protocol	EtherNet/IP	Protocol Version	1.2
File ID		Manufacturer	AB
Model	Logix	Device Name	10.67.52.4
Device Address	10.67.52.4	Device Options	EIP/CLX
Master Address	0	Identification Number	0x0000

Con la comunicación habilitada de los dos controladores de los sistemas terceros y los bloques de control direccionados, configurados y apuntados a la FBM 232 y el Device dentro de la FBM, quedan integrados los sistemas SIS y E1613C para las respectivas pruebas y comisionado de las señales.

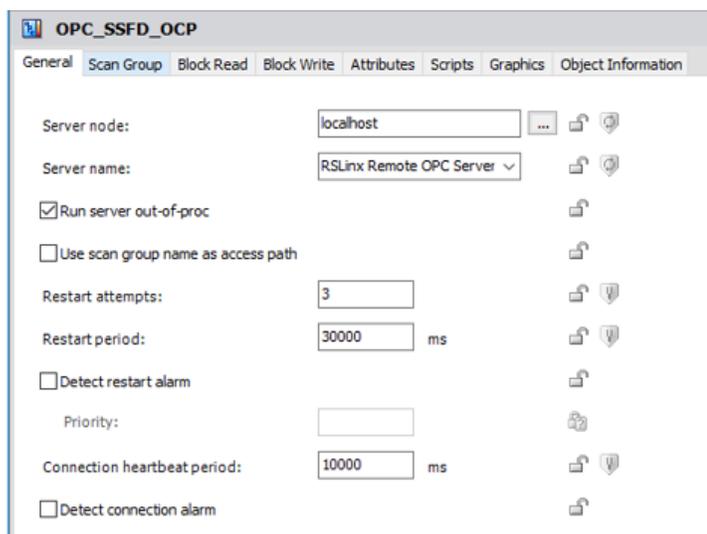
OCP

Para la integración del controlador del sistema OCP se utiliza una comunicación existente del sistema de Oleoducto de Crudos Pesados hacia la estación Norte NPF y la Galaxia Repsol. Esta comunicación se realiza mediante las estaciones de operación de la planta Norte NPF, donde se encuentra instalado el software RSLinx y mediante el servidor remoto OPC del RSLinx se configura la IP del PLC del sistema OCP. Por lo tanto, en la Galaxia se encuentra un cliente OPC que apunta el servidor Remoto RSLinx para obtener cada una de las señales.

En la Figura 81 se muestra la arquitectura para la integración del Sistema OCP por la Galaxia.

Figura 81*Arquitectura Integración Sistema OCP*

En la Figura 82 se muestra la configuración del Cliente OPC en la Galaxia Repsol, este cliente OPC se encuentra definido dentro de un área de la Galaxia denominada Lago Agrio.

Figura 82*Configuración Cliente OPC del controlador del sistema de OCP*

Se verifica que las señales que se encuentran dentro del cliente OPC de la Galaxia tengan la misma dirección del PLC obtenida en el levantamiento realizado en el Capítulo III. En la Figura 83 se observa un grupo de señales del sistema OCP dentro del cliente OPC, en la columna item reference se encuentra la dirección del PLC OCP (LAGO SIS) de la señal.

Figura 83

Nombre del Atributo y dirección Señales OCP en el cliente OPC

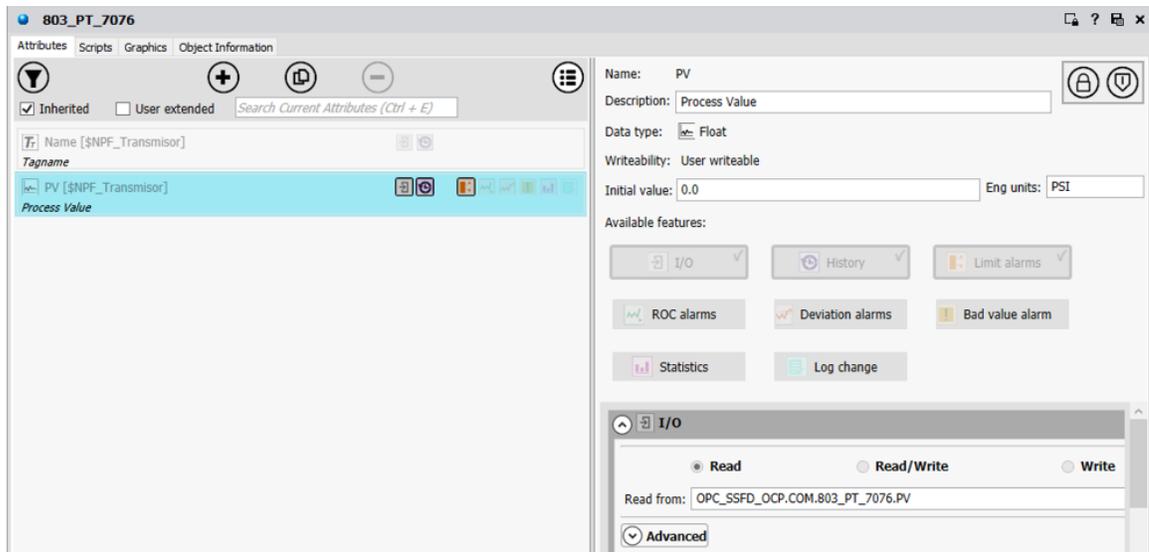
Attribute	Item Reference
803_OCP_VISCOSITY.PV	[LAGO_SIS]F8:0
803_OCP_BSW.PV	[LAGO_SIS]F8:36
803_OCP_DENSITY_A.PV	[LAGO_SIS]F8:37
803_OCP_DENSITY_B.PV	[LAGO_SIS]F8:38
803_OCP_DENSITY_C.PV	[LAGO_SIS]F8:39
803_OCP_DENSITY_D.PV	[LAGO_SIS]F8:40
803_OCP_FLOW_RATE_A.PV	[LAGO_SIS]F8:19
803_OCP_FLOW_RATE_B.PV	[LAGO_SIS]F8:20
803_OCP_FLOW_RATE_C.PV	[LAGO_SIS]F8:21
803_OCP_FLOW_RATE_D.PV	[LAGO_SIS]F8:22
803_OCP_GROSS_TOTAL.PV	[LAGO_SIS]F8:5
803_OCP_GROSS_VOL_A.PV	[LAGO_SIS]F8:1
803_OCP_GROSS_VOL_B.PV	[LAGO_SIS]F8:2
803_OCP_GROSS_VOL_C.PV	[LAGO_SIS]F8:3
803_OCP_GROSS_VOL_D.PV	[LAGO_SIS]F8:4
803_OCP_GSTD_TOTAL.PV	[LAGO_SIS]F8:11
803_OCP_GSTD_VOL_A.PV	[LAGO_SIS]F8:7
803_OCP_GSTD_VOL_B.PV	[LAGO_SIS]F8:8
803_OCP_GSTD_VOL_C.PV	[LAGO_SIS]F8:9
803_OCP_GSTD_VOL_D.PV	[LAGO_SIS]F8:10
803_OCP_MASS_TON_A.PV	[LAGO_SIS]F8:13
803_OCP_MASS_TON_B.PV	[LAGO_SIS]F8:14
803_OCP_MASS_TON_C.PV	[LAGO_SIS]F8:15
803_OCP_MASS_TON_D.PV	[LAGO_SIS]F8:16
803_OCP_MASS_TOTAL.PV	[LAGO_SIS]F8:17
803_OCP_PRESS_A.PV	[LAGO_SIS]F8:31
803_OCP_PRESS_B.PV	[LAGO_SIS]F8:32
803_OCP_PRESS_C.PV	[LAGO_SIS]F8:33
803_OCP_PRESS_D.PV	[LAGO_SIS]F8:34
803_OCP_PRESS_ACT.PV	[LAGO_SIS]F8:35

Para la integración al DCS Foxboro Evo se utilizan instancias que apunten al atributo de la señal respectiva del cliente OPC, cada instancia representa una señal en la Galaxia, por términos de diseño la instancia va a tener el mismo nombre que el atributo dentro del cliente.

Dentro de cada instancia se crea un parámetro PV el cual va a ser direccionado al dato del atributo dentro del cliente OPC (OPC_SSFD_OCP), así con cada una de las señales que se integran al DCS Foxboro Evo.

Figura 84

Configuración parámetro PV Instancia 803_PT_7076



En la Figura 83 se observa la configuración y direccionamiento de la instancia para el transmisor PT-7076, donde dentro del parámetro PV se habilita la lectura y escritura, y la historización de los datos.

Para apuntar al atributo del cliente OPC se realiza con la siguiente dirección:

“OPC_SSFD_OCP.COM.803_PT_7076.PV”

Donde

OPC_SSFD_OCP.COM: es el cliente OPC de la galaxia

803_PT_7076.PV es el atributo dentro del cliente donde se obtiene el valor de la señal.

Para verificar la conexión de cada una de las instancias se lanza un visualizador OPC Object Viewer que permite ver el valor del dato, el estado de la conexión y todos los parámetros del cliente OPC.

Figura 85

Object Viewer de la instancia 803_MOV_7073

Attribute Name	Value	Timestamp	Quality	Status	Security...	Category	Locked	Type
AlarmCntsBySeverity	0,0,0,0	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Integer
AlarmCntsBySeverityEnableShe...	0,0,0,0	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Integer
AlarmInhibit	false		C0:Good	Ok	FreeAccess	Write...	UnLoc...	Boolean
AlarmMode	Enable		C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	CustomEnum
AlarmModeCmd	Enable		C0:Good	Ok	FreeAccess	Write...	UnLoc...	CustomEnum
AlarmMostUrgentAcked	true	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Boolean
AlarmMostUrgentInAlarm	false	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Boolean
AlarmMostUrgentMode	Enable	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	CustomEnum
AlarmMostUrgentSeverity	0	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Integer
AlarmMostUrgentShelved	false	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Boolean
Area	OCF_Lago_Agr...		C0:Good	Ok	ReadOnly	System...	UnLoc...	ReferenceType
ConfigVersion	2		C0:Good	Ok	ReadOnly	Write...	UnLoc...	Integer
ContainedName			C0:Good	Ok	ReadOnly	System...	UnLoc...	String
Container			C0:Good	Ok	ReadOnly	System...	UnLoc...	ReferenceType
ExecutionRelatedObject			C0:Good	Ok	ReadOnly	Write...	UnLoc...	ReferenceType
ExecutionRelativeOrder	None		C0:Good	Ok	ReadOnly	Write...	UnLoc...	CustomEnum
HierarchicalName	803_MOV_7073		C0:Good	Ok	ReadOnly	System...	UnLoc...	String
Host	OCF_Lago_Agr...		C0:Good	Ok	ReadOnly	System...	UnLoc...	ReferenceType
InAlarm	false		C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Boolean
PV	false	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Boolean
PV.Description	Enter attribute ...	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	String
PV.EnableSwingingDoor	false		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Boolean
PV.EngUnits			C0:Good	Ok	ReadOnly	Write...	UnLoc...	InternationalSt...
PV.ForceStoragePeriod	0		C0:Good	Ok	Configure	Write...	UnLoc...	Integer
PV.Hist.DescAttrName	me.PV.Descrip...		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	String
PV.InputSource	OPC_SSFD_OC...		C0:Good	Ok	Configure	Write...	UnLoc...	ReferenceType
PV.InterpolationType	SystemDefault		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	CustomEnum
PV.InvertValue	false	1/25/2022 5:06:...	C0:Good	Ok	ReadOnly	Write...	UnLoc...	Boolean
PV.RateDeadBand	0.0		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Float
PV.ReadStatus			C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	StatusType
PV.RolloverValue	0.0		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Float
PV.SampleCount	0		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Integer
PV.TrendHi	10.0		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Float
PV.TrendLo	0.0		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Float
PV.ValueDeadBand	0.0		C0:Good	Ok	Configure	Write...	UnLoc...	Float
ScanState	true		C0:Good	Ok	ReadOnly	Calcula...	UnLoc...	Boolean
ScanStateCmd	true		C0:Good	Ok	Operate	Write...	UnLoc...	Boolean
SecurityGroup	Default		C0:Good	Ok	ReadOnly	Write...	UnLoc...	String
ShortDesc			C0:Good	Ok	ReadOnly	Write...	UnLoc...	InternationalSt...
TagName	803_MOV_7073		C0:Good	Ok	ReadOnly	System...	UnLoc...	String

Con la verificación del valor y la conectividad de las instancias de las señales del sistema OCP quedan integrando los 3 controladores al DCS Foxboro Evo.

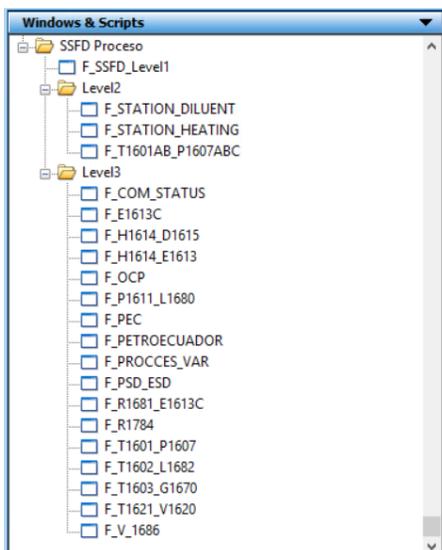
Sistema HMI

Configuración de Pantallas y Framer

Para la implementación del sistema HMI, con las estaciones de ingeniería y operación ya montadas en el Workcenter, y los objetos gráficos importados en el Archestra Graphic Toolbox, se crean las pantallas principales de 1920 x 1080, que se van a visualizar dentro del software Control HMI, importando cada uno de los esquemáticos de las pantallas elaborados en la fase de desarrollo del sistema en el Capítulo IV. La organización de las pantallas se realizó de acuerdo a su jerarquía como establece el estándar ISA 101.

Figura 86

Pantallas Estación SSFD en el software Control HMI



En la Figura 86 se muestra la organización de las pantallas principales creadas en el Software Control HMI utilizan el prefijo F para identificarlas del resto de pantallas que posee la Galaxia Repsol.

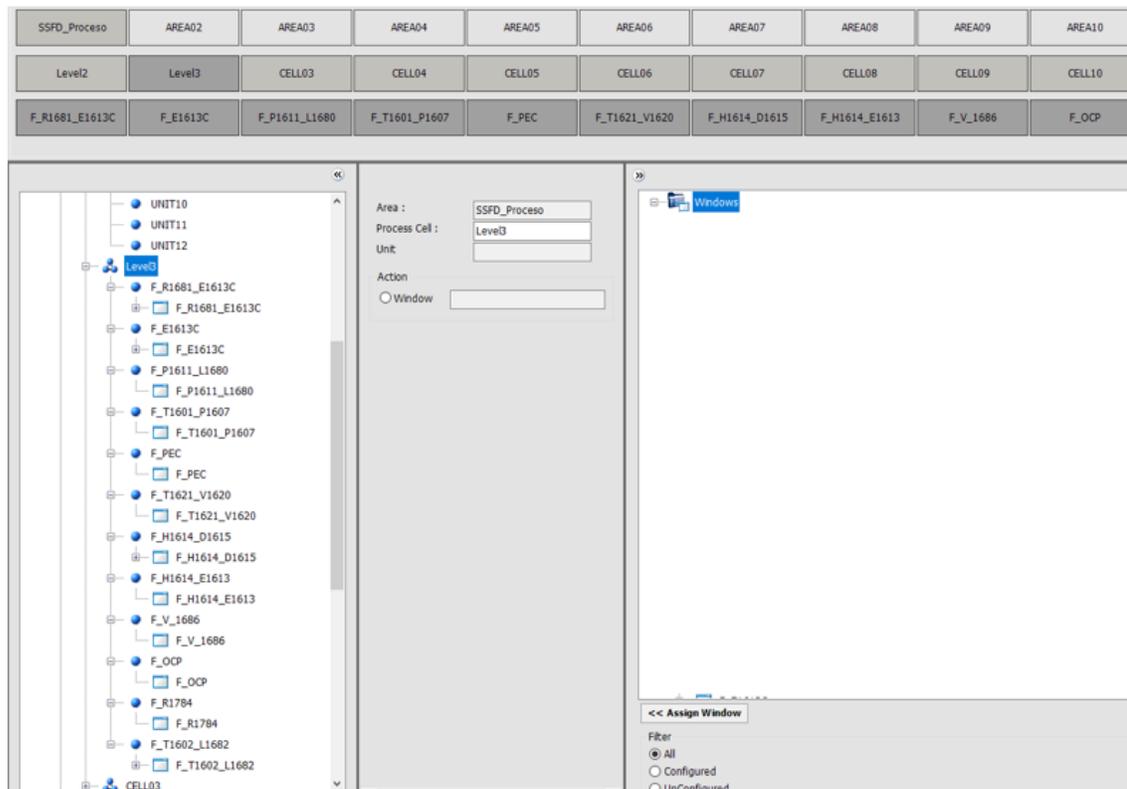
Framer Control Edition

La herramienta Framer Control Edition dentro del sistema HMI permite configurar varios aspectos del sistema como:

- **Navegación:** El software Control HMI posee un marco para navegación emergente, adicional a la navegación proporcionada por las pantallas y por el anunciador, esta navegación se configura asignando una pantalla a cada sección del marco como se observa en la Figura 87.

Figura 87

Configuración de la navegación del marco dentro del Framer Control Edition



- Anunciador: en el anunciador se asigna cada pantalla a una tecla del anunciador, con esto las alarmas de la pantalla asignada encienden la luz de la tecla en el anunciador, además al pulsar la tecla va permitir navegar a la pantalla, el orden de asignación del teclado se realizó de acuerdo al orden de la barra de navegación, como se observa en la Figura 88 .

En la Figura 89 se observa la configuración establecida dentro del Framer control Edition para la asignación de las pantallas en cada tecla del anunciador Foxboro.

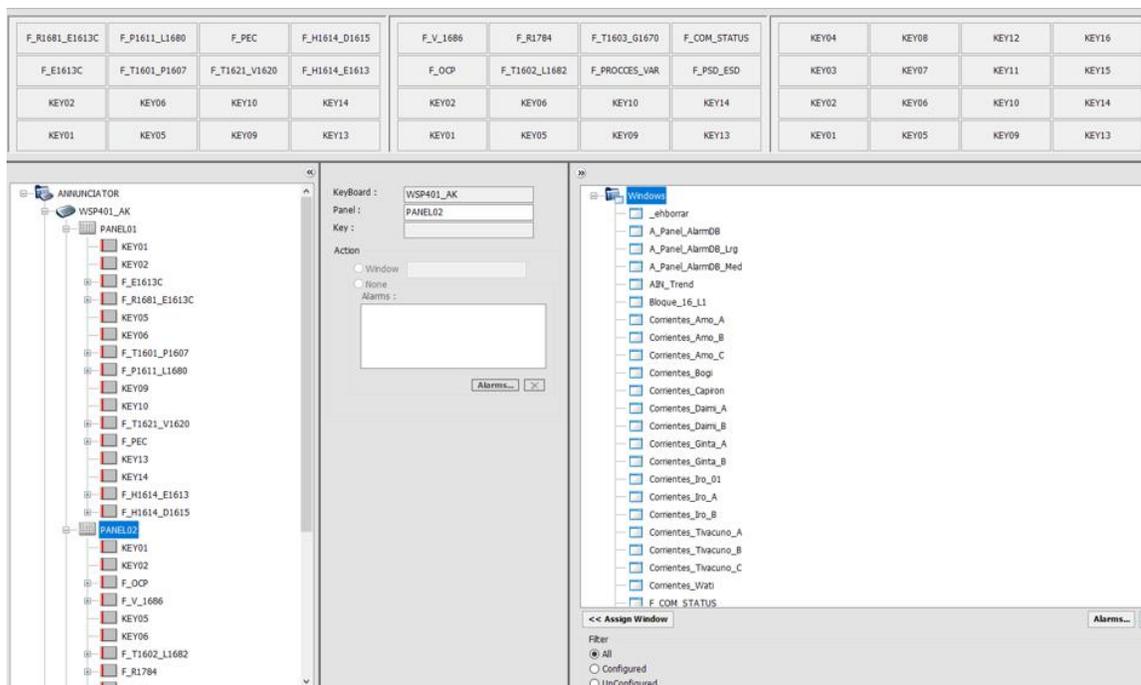
Figura 88

Anunciador Foxboro Implementado



Figura 89

Configuración Anunciador Foxboro Framer Control Edition



- Alarmas: para la configuración de las alarmas primero se establece el color siguiendo la guía de estilo de colores definido en la Tabla 18, donde se configura el color de acuerdo a la prioridad de la alarma como se muestra en la Figura 90.

Figura 90

Configuración del color de alarmas según su prioridad

Alarm Priority Settings						
IA-InFusionColorMappn...	AlarmProvider	AlarmProvider	AlarmProvider	AlarmProvider	AlarmProvider	ColorMapValue refers to AlarmProvider co...
IA-InFusionAlarmPanelC...	2	2	2	2	2	Priority for start of Priority 2 Color
IA-InFusionAlarmPanelC...	3	3	3	3	3	Priority for start of Priority 3 Color
IA-InFusionAlarmPanelC...	5	5	5	5	5	Priority for start of Priority 4 Color
FaceplateAlarmPriority	I/A Priority	Use either the I/A priority or the mapp...				
Alarm Priority Facepl...						
IA-AlarmColorIndexPri1	Red	Red	Red	Red	Red	Faceplate color of I/A priority 1 alarms
IA-AlarmColorIndexPri2	Magenta	Magenta	Magenta	Magenta	Magenta	Faceplate color of I/A priority 1 alarms
IA-AlarmColorIndexPri3	Dk Green	Faceplate color of I/A priority 1 alarms				
IA-AlarmColorIndexPri4	Blue	Blue	Blue	Blue	Blue	Faceplate color of I/A priority 1 alarms
IA-AlarmColorIndexPri5	Gray	Gray	Gray	Gray	Gray	Faceplate color of I/A priority 1 alarms
InTouch-AlarmColorInd...	Red	Red	Red	Red	Red	Faceplate color of InTouch priority range...
InTouch-AlarmColorInd...	Magenta	Magenta	Magenta	Magenta	Magenta	Faceplate color of InTouch priority range...
InTouch-AlarmColorInd...	Dk Green	Faceplate color of InTouch priority range...				
InTouch-AlarmColorInd...	Gray	Gray	Gray	Gray	Gray	Faceplate color of InTouch priority range...
Process Alarm Bar Se...						
ProcessBarUnAckCl1						Unack'd Priority Range 1 Text Color in Pr...
ProcessBarUnAckCl2						Unack'd Priority Range 2 Text Color in Pr...
ProcessBarUnAckCl3						Unack'd Priority Range 3 Text Color in Pr...
ProcessBarUnAckCl4						Unack'd Priority Range 4 Text Color in Pr...
ProcessBarAckCl1						Ack'd Priority Range 1 Text Color in Proc...
ProcessBarAckCl2						Ack'd Priority Range 2 Text Color in Proc...
ProcessBarAckCl3						Ack'd Priority Range 3 Text Color in Proc...
ProcessBarAckCl4						Ack'd Priority Range 4 Text Color in Proc...

Dentro del Framer se configura el proveedor de alarmas para las alarmas del proceso y del sistema, como la estación de ingeniería es el servidor de historización se ejecuta el Alarm DB Logger en la estación de Ingeniería para que empiece el historial de alarmas. El path del proveedor de alarmas del sistema configurado es **“VASeries!\$System”** y para las alarmas del proceso es **“VASeries!\$IASMGT”**.

- Monitores: se declara cada monitor dentro del Framer, los dos monitores de la estación de Operación y el monitor de la estación de Ingeniería, donde se configura la orientación la pantalla inicial y la confirmación de visibilidad de las barras de proceso, menú, sistema.

En la Figura 91 se muestra la configuración SSFD Single que es el monitor de la estación de Ingeniería donde la pantalla inicial, cuando corra el sistema es la del receptor R1681. Las pantallas SSFD Doble son los dos monitores de la estación de operación donde se configura la orientación Horizontal y la pantalla del circuito de aceite térmico como pantalla inicial del primer monitor y la pantalla de las bombas P-1611 como la inicial del segundo monitor.

Figura 91

Configuración Monitores Framer Control Edition

SSFDSingle	SSFDDoble
Single	Horz2
ZIA_View_Title	ZIA_View_Title
✓	✓
ZIA_View_StatusBar	ZIA_View_StatusBar
✓	✓
ZIA_View_Alarms_Proc...	ZIA_View_Alarms_Proc...
✓	✓
ZIA_View_Alarms_Syst...	ZIA_View_Alarms_Syst...
ZIA_View_Menu	ZIA_View_Menu
✓	✓
ZIA_View_Menu_TAGS	ZIA_View_Menu_TAGS
F_R1681_E1613C	F_H1614_E1613
	top2
	ZIA_View_Menu_Mon2
	ZIA_View_StatusBar2
	F_P1611_L1680

Usuarios en el Controlador de Dominio

Con todas las configuraciones realizadas del sistema HMI, se crean los respectivos usuarios dentro del controlador de dominio, estas máquinas virtuales se ejecutan en los servidores de virtualización, por esto se accede mediante escritorio remoto mediante la red para crear los usuarios dentro de los controladores de dominio (PDC y SDC).

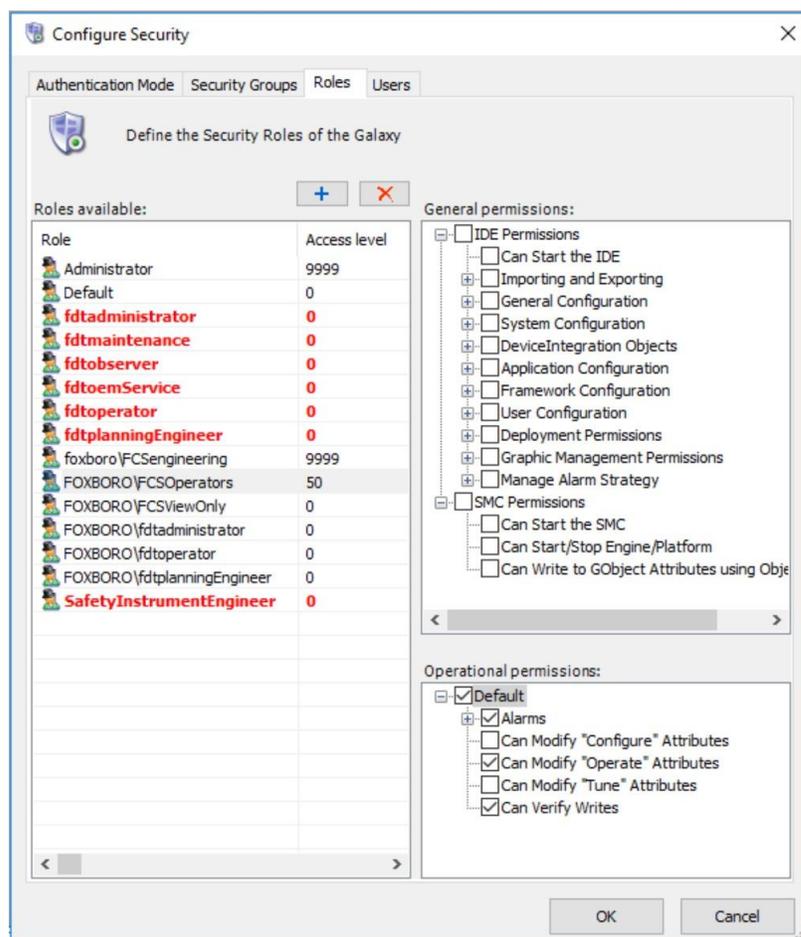
Dentro del servicio de Windows Server Active directory se crean los usuarios de Windows, debido a que el controlador de dominio ya fue utilizado para los usuarios de las otras estaciones de Repsol posee los usuarios de Ingeniería de las estaciones Norte y Sur como el usuario de Supervisión para la visualización mediante escritorio Remoto.

El Dominio del sistema Repsol que maneja el controlador de dominio (PDC) es foxboro.local, las estaciones ingresan dentro del controlador de dominio al instalar los programas del DCS Foxboro Evo.

En la sección de Seguridad de la Galaxia se configuran los Roles y permisos de los usuarios para definir el nivel de acceso. También se establece que se utilizan los usuarios del sistema Operativo con el propósito de que sean los mismos usuarios que se definen dentro del Controlador de Dominio.

Figura 92

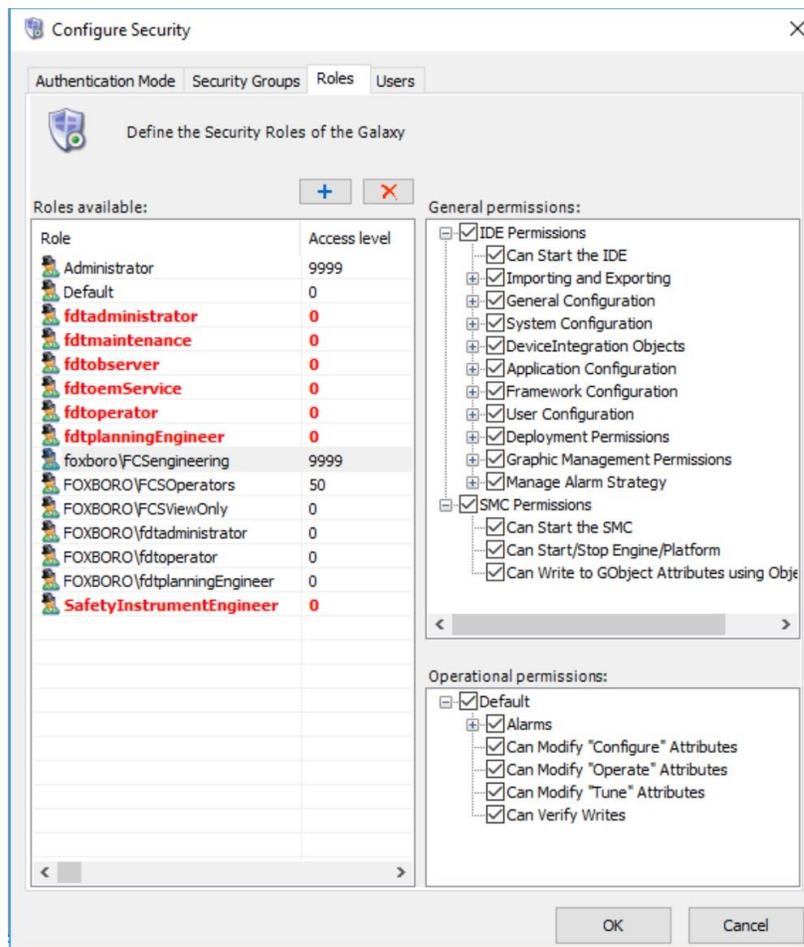
Roles del Usuario Operador en el Archestra IDE



En la Figura 92 se muestra los Roles de los operadores, que no poseen ningún permiso en el entorno de desarrollo Archestra IDE.

Figura 93

Roles de usuario para Ingeniería



En la Figura 93 se muestra los roles de usuario para ingeniería que tiene el nivel de acceso superior tanto para operación como para desarrollo en la Galaxia

Pantallas Implementadas

Se realizan los cambios dentro de las pantallas que se solicitaron durante las pruebas FAT del sistema en la ciudad de Quito, estas pruebas se encuentran detalladas en el Capítulo VI.

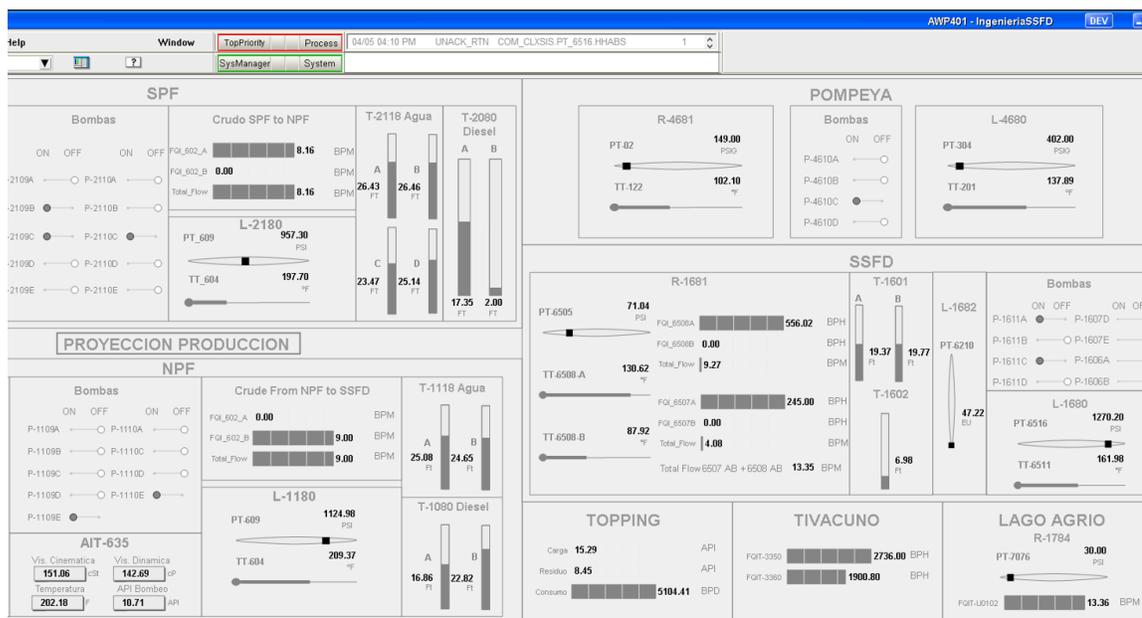
Se procede a realizar el deploy de todas las estrategias y bloques de control de los sistemas terceros, y por último se realiza el deploy de cada aplicación Control HMI

propia de cada estación con los cambios finales, permitiendo visualizar el sistema HMI completo en las estaciones de operación e ingeniería.

En la Figura 94 se muestra la Pantalla de Nivel 1 con datos ya implementada y funcionando dentro de la estación de transferencia SSFD, esta pantalla contiene los valores más importantes de todas las estaciones del Sistema Repsol general, además cuenta con pequeñas plantas o pozos que se encuentran comunicadas a las estaciones del Norte y Sur como Pompeya y a Planta Topping, la pantalla Nivel 1 es utilizada generalmente por el usuario de supervisión para analizar la producción general de todas las plantas.

Figura 94

Pantalla Nivel 1 con datos implementada en la estación SSFD



En la Figura 95 se muestra la pantalla de nivel dos del circuito de inyección que contiene las bombas Booster y el intercambiador de calor E-1613A.

Figura 95

Pantalla Nivel 2 Tanques 1601 y Bombas Booster

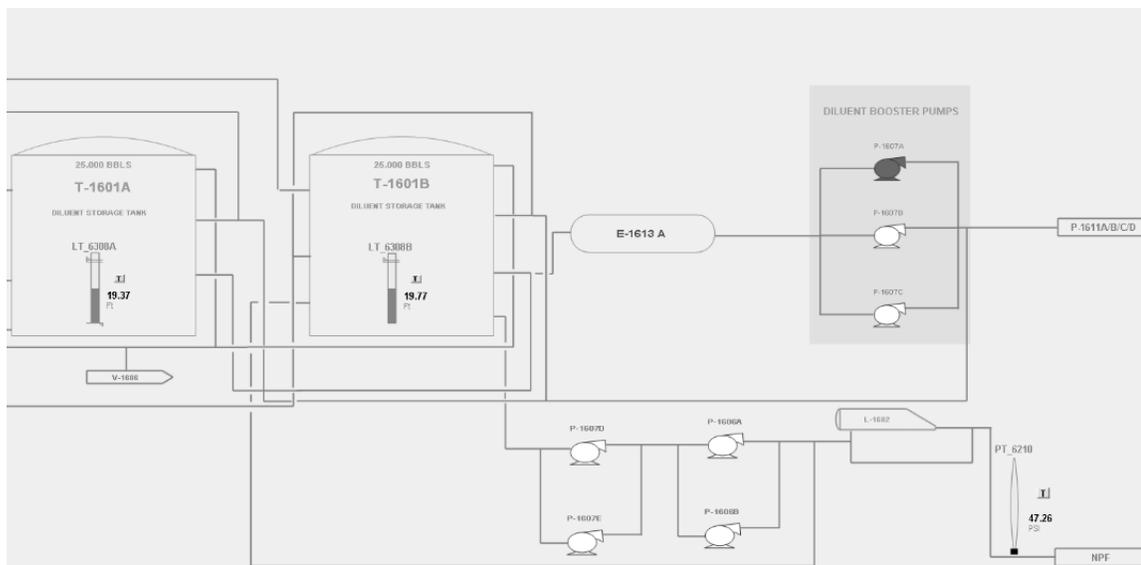
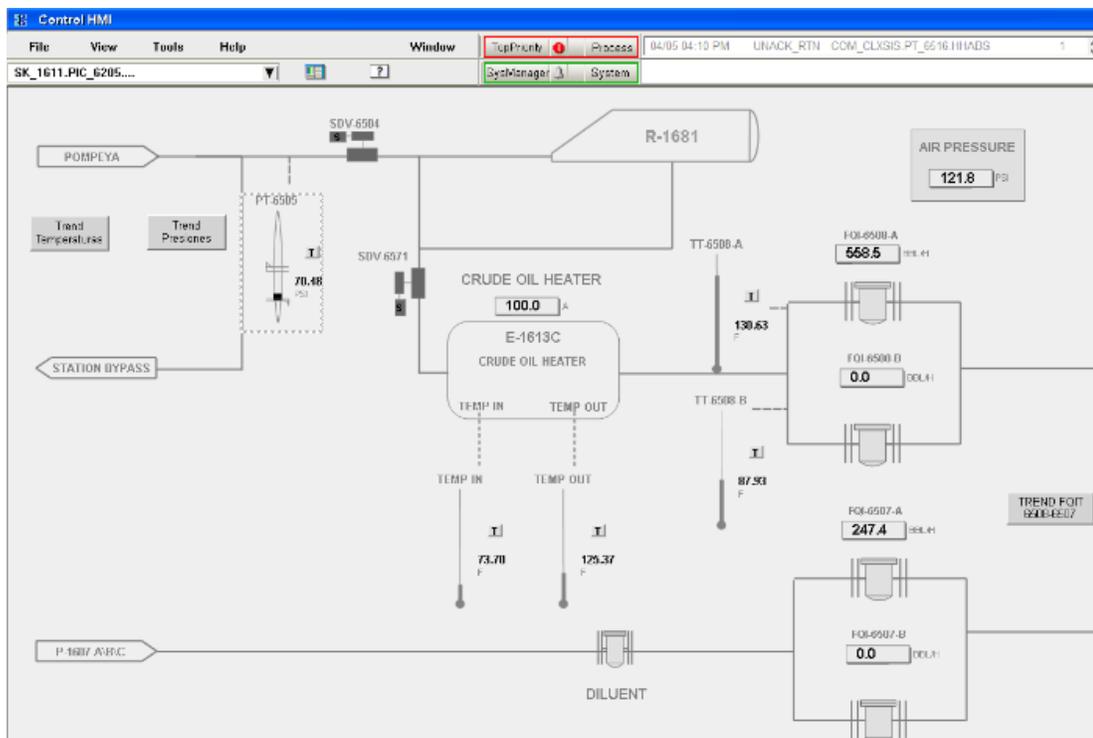


Figura 96

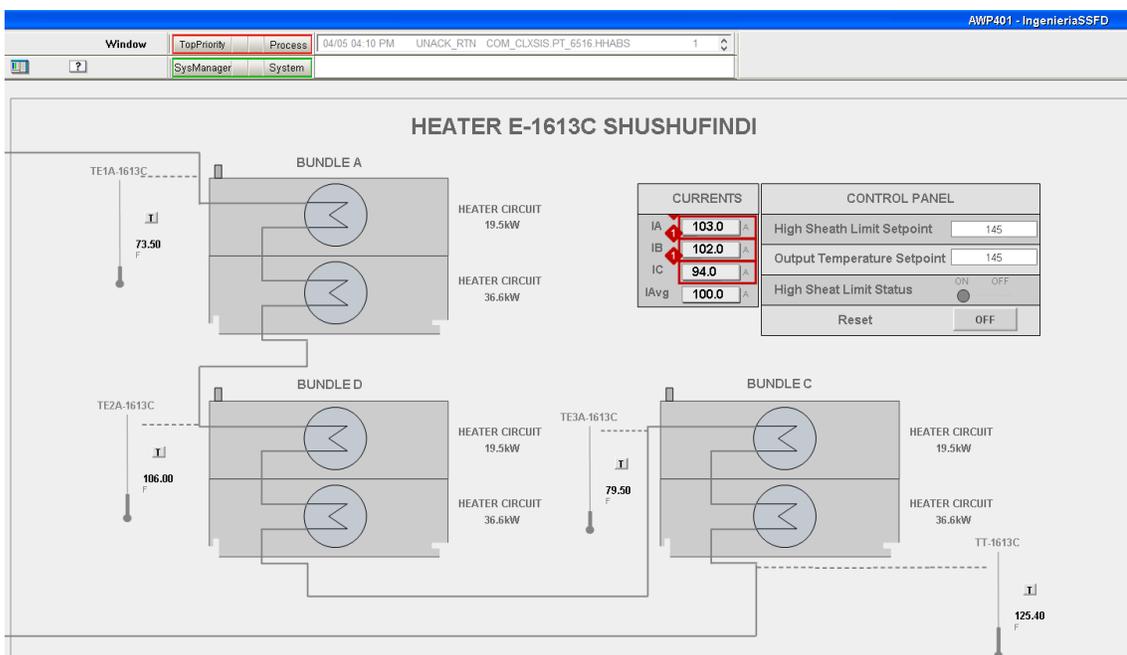
Pantalla Nivel 3 Recibidor R1681 y calentador Eléctrico E1613C



En la Figura 96 se muestra la pantalla de nivel tres del recibidor R1681 que lleva el crudo hacia el calentador eléctrico E1613C para su posterior bombeo, inyección o mezcla del crudo, esta es una de las pantallas más importantes de la estación y es las más utilizadas por el personal de operación de la estación de transferencia, como se puede observar en la pantalla, no presenta ningún elemento alarmado y ningún switch animado, ya que los switches se encuentran programados para que sean visibles únicamente en el momento de que aparezca alguna anomalía y se alarme con el Alarm Border de acuerdo a la prioridad.

Figura 97

Pantalla Nivel 3 Calentador E1613C



En la Figura 97 se muestra la pantalla del calentador E-1613C, que muestra las temperaturas de entrada y salida de cada uno de los bundles. Además, se muestran las corrientes de fase y promedio del motor que están alarmadas con el respectivo Alarm Border ya que superan el valor del límite Alto configurado en el Bloque.

Figura 98

Pantalla Nivel 3 Bombas de succión P1611A/B/C

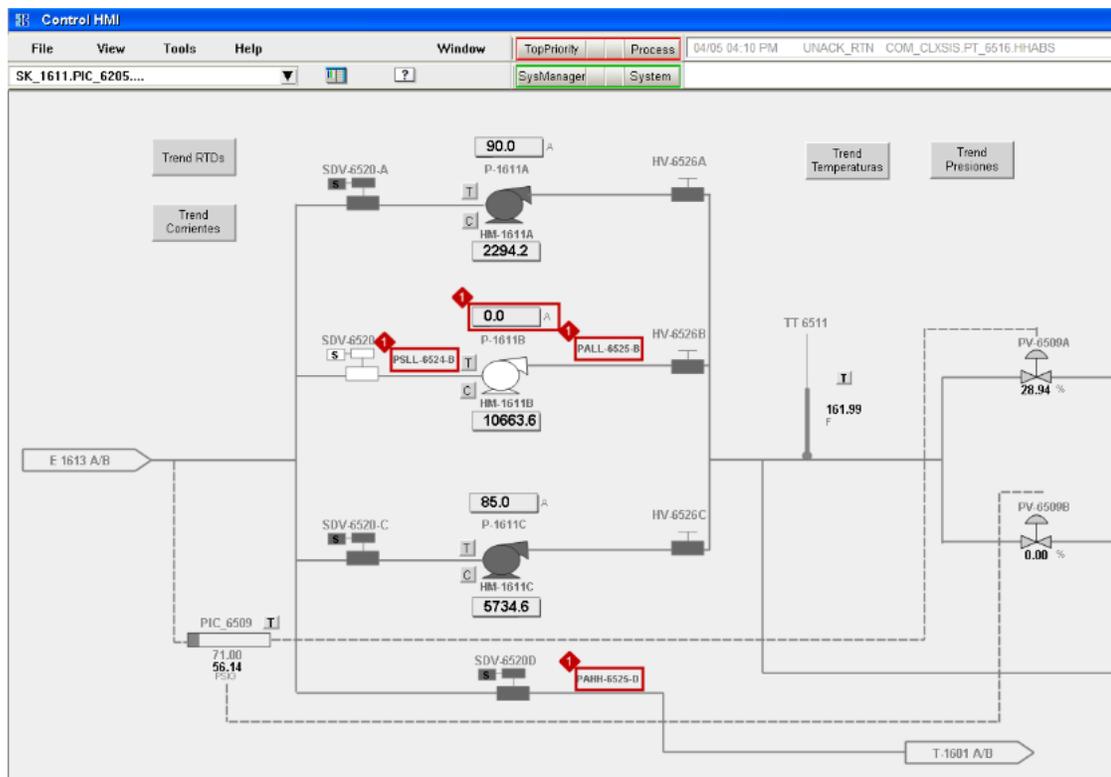


Figura 99

Ventana Pop Up información de la bomba P1611B

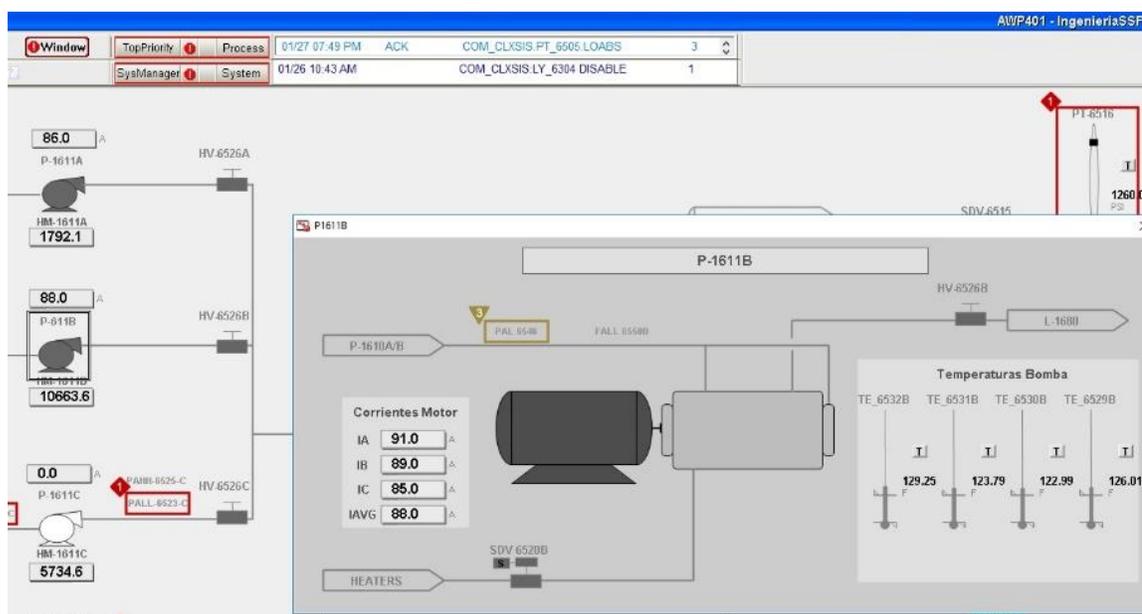


Figura 100

Pantalla de Nivel 3 Circuito de Aceite térmico e intercambiadores E1613A/B

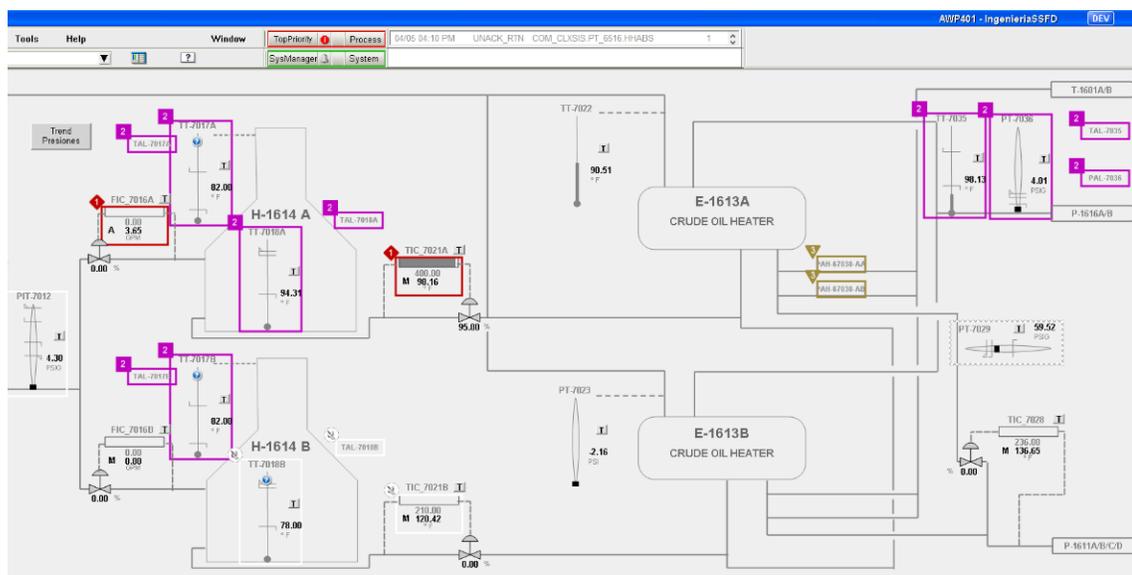


Figura 101

Pantalla de Datos del sistema OCP

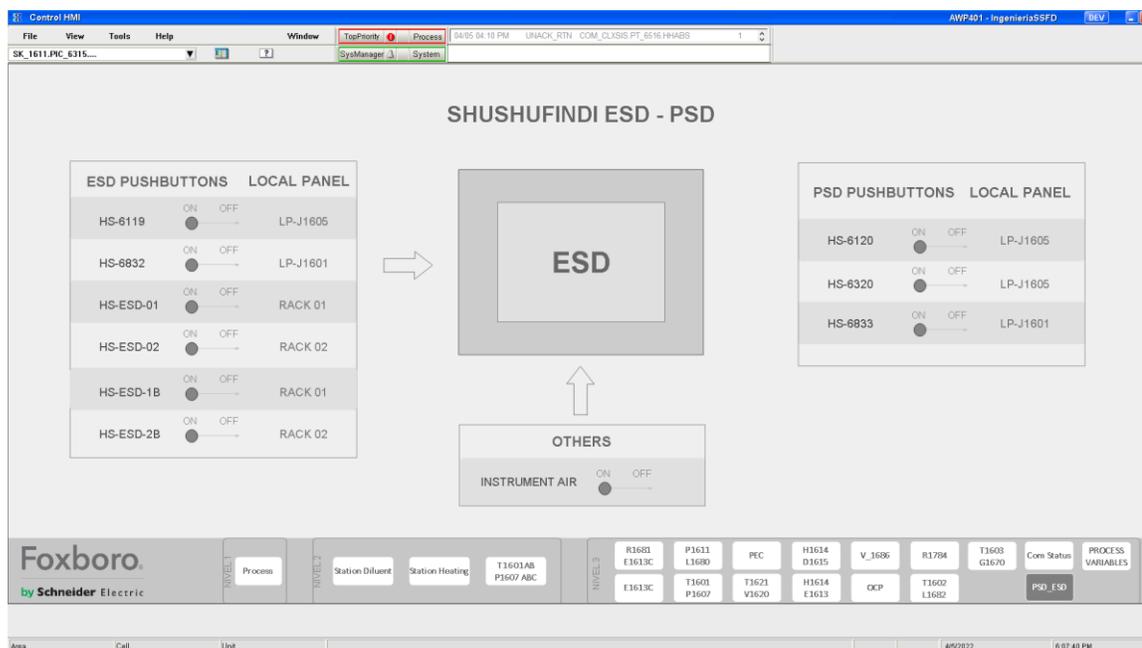
Meter ID	Gross Volume BBL	GTSD Volume BBL	Mass Tonnes	Flow Rate BBL/H	Temp. Press.	Press. PSIG	Ref. Density
Meter Run A	0.01	0.01	1.00	0.00	87.31	24.64	0.9518
Meter Run B	9206.12	9115.84	3088228.00	809.42	87.09	20.01	0.9530
Meter Run C	0.00	0.00	0.00	0.00	88.56	-0.38	0.9552
Meter Run D	0.00	0.00	0.00	0.00	89.04	5.60	0.9551
U-0102	9205.37	9115.85	30882.29	809.80	87.19	17.11	

Viscosity: 13084.26 cP Product BS&W: 0.0030 %

En la Figura 101 se muestra la pantalla de datos de producción del sistema OCP.

Figura 102

Pantalla del sistema de seguridad y ESD



En la Figura 102 se muestra la pantalla del sistema ESD- PSD de la estación Shushufindi que indica el estado de los botones PSD y ESD en campo adicional el recuadro ESD presenta una animación roja en caso de que el proceso se caiga y entre en Emergency Shutdown.

Existen 3 tipos de Pop Ups de alarmas dentro del sistema HMI que se encuentran en la barra superior de la pantalla, en los recuadros de process y system, al dar click en cada recuadro se abrirán las ventanas de historial de alarmas del proceso y del sistema respectivamente. Estas alarmas poseen su descripción y se pueden reconocer las alarmas desde este PopUp, también se puede filtrar y ordenar por fecha como se observa en la Figura 103 el panel de alarmas del process. Además, el software control HMI posee el Alarm DB Panel que permite visualizar todas las alarmas de la estación en orden cronológico como se observa en la Figura 104.

Figura 103

Alarm Panel Process Ventana Nivel 4

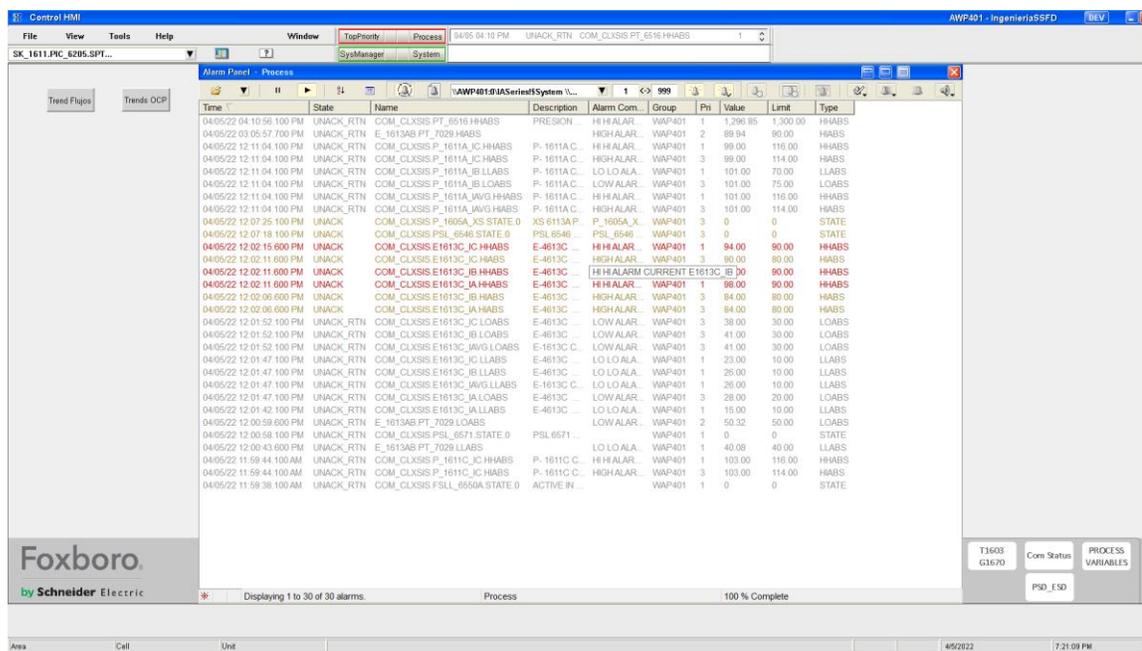
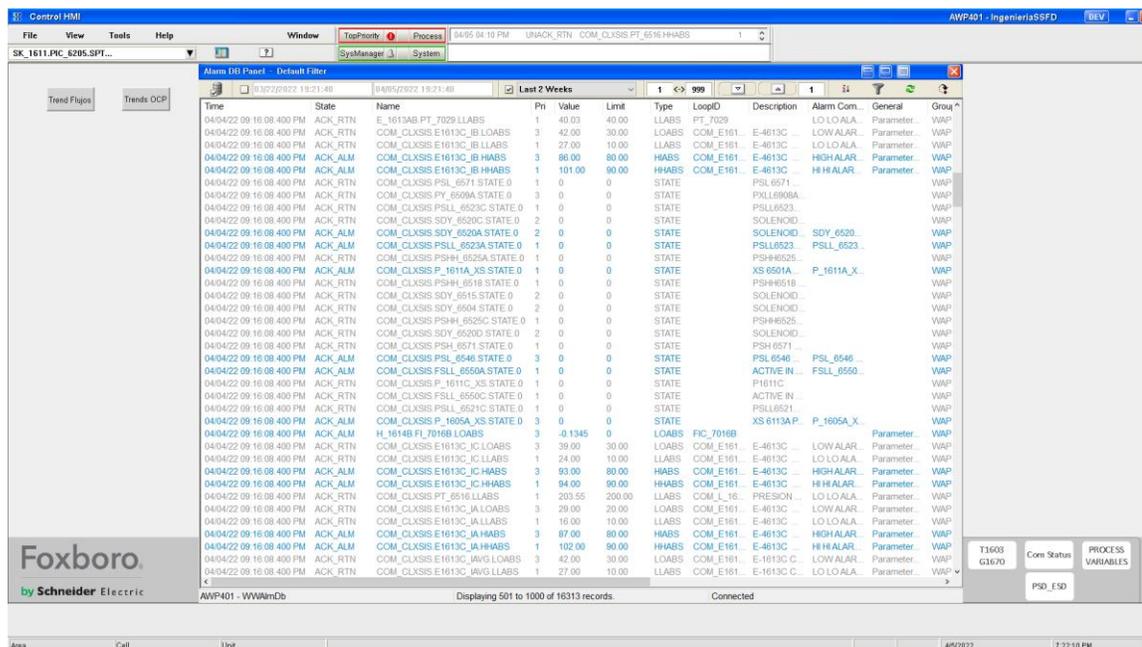


Figura 104

Alarm DB Panel del sistema HMI



Los Históricos y tendencias de las señales análogas se pueden visualizar como pantallas de nivel 4 en el sistema HMI, la librería permite acceder al histórico, si es la librería transmisor posee un Botón con la letra “T” que abre la tendencia de dicha señal, si es la librería del indicador análogo al dar click encima del indicador abre el pop up de la tendencia como se observa en la Figura 105.

Figura 105

Tendencia señal del sistema SIS de la presión de aire

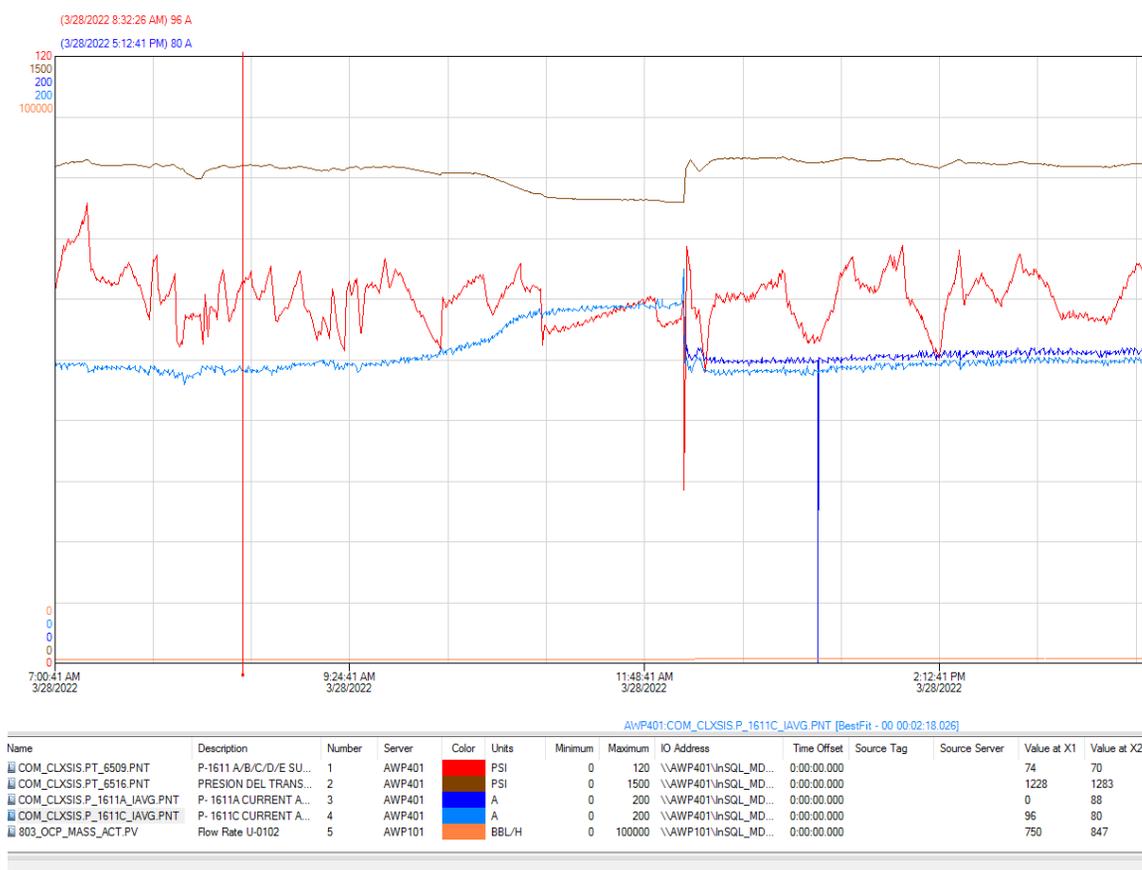


Adicional en la estación de operación existe instalado el acceso directo de la aplicación Trend que es la que visualiza las tendencias en el Software HMI, al acceder de manera directa a la aplicación se encuentra el servidor de historización AWP401 donde están todas las señales de la estación SSFD y se pueden visualizar las tendencias de las señales a la elección del usuario

Como se observa en la Figura 106 se puede incluir varias señales en un mismo plano y visualizarlas, configurar los rangos, tiempos y escalas

Figura 106

Visualización de tendencias aplicación Trend



Capacitación usuarios

Con todo el sistema HMI funcionando y las señales integradas de los sistemas terceros se realiza una capacitación a todos los usuarios del sistema HMI tomando encuentra los siguientes aspectos:

- Manejo del sistema HMI
- Manejo de tendencias y la aplicación Trend.

- Acceso y monitoreo del Historial de alarmas
- Guía de estilo y colores de estados en el sistema.
- Control del proceso mediante lazos de control.

También se les entregó un manual de usuario del sistema HMI que se encuentra adjunto en el Apéndice I.

En la Figura 107 se observa al personal de Repsol recibiendo la capacitación del sistema HMI.

Figura 107

Capacitación sistema HMI Personal de Repsol



Capítulo VI. PRUEBAS Y RESULTADOS

En este capítulo se realizan las pruebas y comisionado respectivos, para verificar, en términos de Hardware y Software, el funcionamiento de la estación de transferencia con la integración de los controladores al DCS Foxboro Evo y el nuevo sistema HMI implementado bajo el estándar ANSI/ISA-101.01-2015.

Protocolos de pruebas

Un aspecto importante de este capítulo es la verificación del estado y funcionamiento de los equipos antes de la implementación y después con el sistema ya funcionando, para ello se establecen dos tipos de pruebas de equipos o sistemas (Rodríguez, 2021).

Pruebas FAT

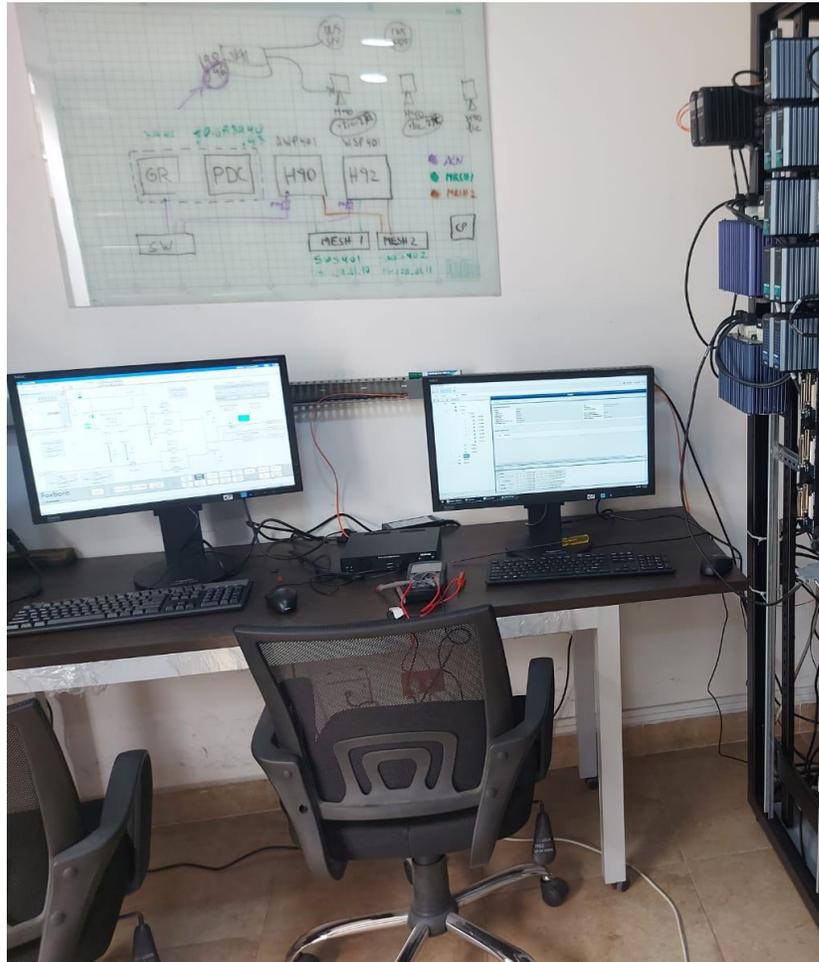
Las pruebas FAT (Factory Acceptance Test), son la primera fase de aceptación de un equipo o sistema y se realizan en las instalaciones del fabricante del equipo o proveedor, antes de la implementación, para verificar que funciona correctamente cada equipo. Las pruebas se realizaron a cada uno de los equipos detallados en los Capítulos III y IV, estos equipos son de la marca Foxboro de Schneider Electric, cuyo representante de fábrica en el país, es la empresa Tecniequipos S.A. Por lo tanto, las pruebas FAT de los equipos se realizan en las instalaciones de la empresa en la ciudad de Quito, en conjunto con personal del cliente para la aprobación y verificación de las pruebas.

Las pruebas FAT se realizan en las instalaciones de la empresa, donde se hace un montaje de los equipos en un gabinete.

En la Figura 108 se aprecia el montaje de los equipos para las pruebas FAT en las instalaciones de la empresa Tecniequipos.

Figura 108

Montaje Equipos para las pruebas FAT



Con los equipos montados se realizan las siguientes pruebas para establecer la aceptación del equipo por parte del cliente:

- **Verificación de número serial:** El número serial de la etiqueta debe corresponder al mismo número serial de la orden de compra.

- **Inspección física del Equipo:** Inspección del equipo de manera física para constatar que no tenga ningún tipo de rayón o golpe en su estructura.
- **Encendido del equipo:** Se energizan todos los equipos y se verifica que arranquen de manera correcta, sin ninguna falla, mediante el software System Manager.
- **Redundancia de alimentación:** Con los equipos que poseen una alimentación de energía redundante, se realiza un corte de cada una de las fuentes de alimentación y se verifica que el equipo se mantenga encendido con una sola fuente.
- **Corte de energía:** Se corta la energía de todos los equipos simulando un apagón, y después se restablece la energía y se verifica que todos los equipos vuelvan a arrancar de manera correcta y no existan daños por cortes de energía.

En la Tabla 22 se evidencia el resumen de las pruebas FAT realizadas a cada uno de los equipos del DCS Foxboro Evo.

Tabla 22

Resumen de pruebas FAT equipos Foxboro

Equipo	Inspección Física	Encendido	Redundancia Alimentación	Corte de Energía
Servidor de Ingeniería AWP401	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
CPU Estación de Operación WSP401	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Monitores	Aceptado	Aceptado	No posee	Aceptado

Switches Foxboro	Aceptado	Aceptado	Fuente de	Aceptado
SWS401 SWS402	(ligero rayón SWS 401)		alimentación Secundaria fallo	
FCP 280	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
FBM 232	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Anunciador	Aceptado	Aceptado	No posee	Aceptado
Unidad Gráfica Remota (RGU)	Aceptado	Aceptado	No posee	Aceptado
Firewall	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

En el resumen de las pruebas FAT se encuentran dos novedades en el Switch SWS 401: existe un pequeño rayón de unos 2 cm que no afecta en gran parte la estructura del Switch por lo que el cliente da por aceptado el equipo. Mientras que, en la Fuente de alimentación secundaria del switch SWS402, al momento de probar la redundancia, el equipo se apagó por lo que se procedió a realizar el cambio de la fuente secundaria del switch y a ejecutar la misma prueba de redundancia, a fin de obtener el resultado deseado y aceptado el ítem por parte de las pruebas FAT.

Sistema HMI

Un ítem adicional en las pruebas FAT fue la revisión acompañada y una pequeña explicación del nuevo sistema HMI con el personal de operación en las oficinas de la empresa. Tras la revisión del personal de operación de cada uno de los esquemáticos de las pantallas, se realizó corrección Red Lines en diferentes aspectos como ubicación de equipos nuevos dentro de las pantallas y nomenclatura de Tagnames que han sido modificados en la estación. En la Figura 109 se observa la

revisión del sistema HMI por parte del personal de operación en las instalaciones de la empresa Tecniequipos S.A.

Figura 109

Revisión Sistema HMI Prueba FAT



El documento con las modificaciones solicitadas en las pantallas por el personal de operación se encuentra en el Apéndice J.

Pruebas SAT

Las pruebas SAT se realizaron en la estación SSFD con todos los equipos ya montados dentro de los gabinetes X-40802-DCS, X-40801-COM y el Workcenter, los ítems a verificar fueron los mismo establecidos en las Pruebas SAT con el propósito de verificar que no exista ningún daño al momento del traslado de los equipos hacia la estación en Shushufindi. En la Tabla 23 se muestra el resumen de las pruebas SAT realizadas en la estación, en la que se evidencia la aceptación por parte del cliente de todos los equipos.

Tabla 23*Resumen Pruebas SAT Equipos Foxboro*

Equipo	Inspección	Encendido	Redundancia	Corte de
	Física		Alimentación	Energía
Servidor de Ingeniería AWP401	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
CPU Estación de Operación WSP401	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Monitores	Aceptado	Aceptado	No posee	Aceptado
Switches Foxboro SWS401 SWS402	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
FCP 280	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
FBM 232	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado
Anunciador	Aceptado	Aceptado	No posee	Aceptado
Unidad Gráfica Remota (RGU)	Aceptado	Aceptado	No posee	Aceptado
Firewall	Aceptado	Aceptado	Aceptado	Aceptado

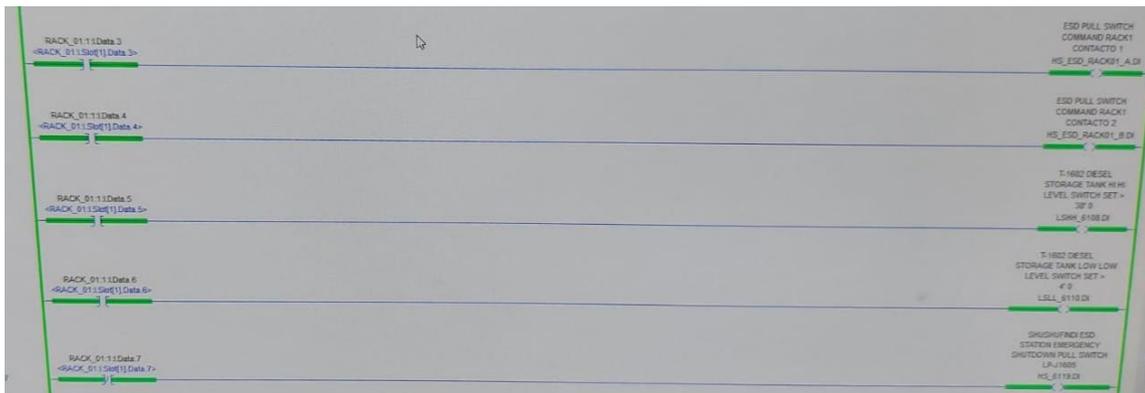
Precomisionado de señales sistemas Terceros

Se realiza el precomisionado de cada una de las señales que ingresan al DCS por comunicación Ethernet IP, mediante la interface FBM 232. El precomisionado se hace con el propósito de verificar la comunicación entre el PLC y el DCS Foxboro Evo. Además de comprobar que la adquisición de datos de las señales de los sistemas terceros por parte del DCS sea correcta. El valor de las señales del PLC Allen Bradley se visualiza en el programa Logix Designer y se lleva a cabo la verificación del valor que

la señal en el sistema HMI del DCS Foxboro Evo. Para las señales discretas se verifica que el estado (1 o 0) sea el mismo en los dos sistemas.

Figura 110

Señales discretas ESD



En la Figura 110 se muestra el software Logix Designer las señales del sistema ESD que se reflejan en la Pantalla del sistema Foxboro Evo con el mismo estado verificando la comunicación entre el PLC y el DCS.

Comisionado de las señales

El comisionado de las señales se lleva a cabo en conjunto con el personal de Repsol para comparar el valor de la señal en el instrumento o transmisor en campo, con la señal que se refleja en el sistema HMI.

El comisionado se empieza por el sistema tercero SIS que posee la mayor cantidad de señales, luego se realiza el comisionado de las señales del sistema E1613C y por último el del sistema OCP.

Debido a que la planta del sistema de Oleoducto de Crudos Pesados se encuentra en Lago Agrio. El comisionado se realiza únicamente viendo el valor de la señal mediante la red y el sistema HMI de la estación SSFD.

La verificación en campo la realiza el cliente mientras que la comprobación en el sistema HMI, Tecniequipos S.A.

En la Figura 111 se muestra el comisionado en el control Room de la estación SSFD.

Figura 111

Comisionado de señales Control Room SSFD



La comprobación se realiza en campo debido a que con esto se asegura que el valor reflejado en el sistema HMI sea el mismo que se encuentra dentro del proceso.

Figura 112

Comisionado de transmisor en campo



En la Figura 112 se muestra el valor del transmisor en campo, el momento de realizar el comisionado.

Pruebas del sistema HMI

La verificación de conectividad y adquisición de datos es un aspecto importante en el sistema HMI, este aspecto fue verificado en el precomisionado y comisionado final del sistema para dar validez a los datos de las señales en la interfaz Humano Máquina. Luego de la comprobación de la adquisición de datos es importante evaluar en el sistema HMI la usabilidad y la experiencia del usuario en relación con la interacción entre la interface y el Operador.

La Norma ISO 9241-210 define a la usabilidad como el grado por parte del usuario en el que puede ser usado un sistema con el propósito de cumplir los objetivos deseadas con eficacia, eficiencia y satisfacción (ISO, 2019).

Una definición simple de experiencia de usuario establece la norma ISO 9241-210 que define como las percepciones y respuestas de un usuario como resultado del uso o anticipación de un sistema (ISO, 2019). Para poder evaluar los términos de eficiencia, eficacia, satisfacción y percepción de los usuarios del HMI se plantea una encuesta a cada uno de los usuarios y posibles usuarios del sistema, esta encuesta se enfoca en los siguientes aspectos:

- Navegación del sistema HMI
- Manejo e Identificación de Alarmas
- Históricos y tendencias
- Color y Fatiga Visual
- Monitoreo del Proceso
- Control del proceso

Resultados

De las Pruebas FAT se puede obtener la aceptación del cliente de los equipos antes de la implementación en la estación fue del 100% una vez que se ha corregido la observación de la fuente del Switch SWS 402. Teniendo todos los equipos en funcionamiento y condiciones óptimas para la implementación. En el Apéndice K se encuentra el reporte de aceptación de los equipos por parte del cliente.

Precomisionado y Comisionado

Con el precomisionado de las señales del PLC de los sistemas terceros y el comisionado en los transmisores en campo, se logró que del sistema SIS que este compuesto por 47 señales análogas y 101 señales discretas; se integró el 96 % de las

señales del sistema debido a que 6 señales del total de 148 se encontraban en falla como se observa en la Figura 113.

Figura 113

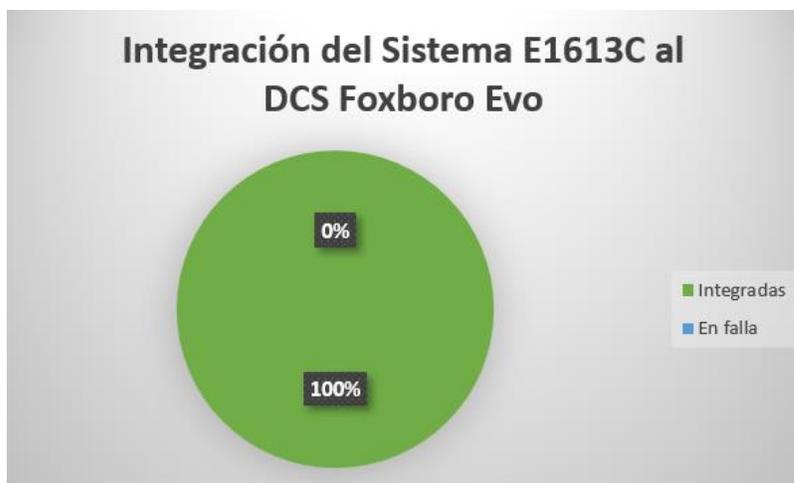
Resultados Integración del Sistema SIS



Las 6 señales en falla corresponden a señales discretas de la pantalla de anillo de comunicación de la estación; se revisó el direccionamiento tanto en el bloque como en el PLC donde se encontró que dichas señales no poseían un valor en la programación del PLC, por lo que no se pudieron integrar al DCS Foxboro Evo.

Figura 114

Resultados Integración del Sistema E1613C



Para el sistema del calentador Eléctrico E1613C que está formado por 10 señales análogas y 2 señales discretas, comprobando que el valor y estado de la señal sea el mismo en el PLC y el DCS, se integró el 100 % de sus señales como se observa en la Figura 114.

Para el sistema OCP todo el precomisionado y comisionado se realizó en el PLC debido a que la estación se encuentra en Lago Agrio. Este sistema está compuesto por 43 señales análogas y 11 señales discretas.

En la Figura 115 se muestra el resultado de la integración de las señales del sistema OCP.

Figura 115

Resultados Integración Sistema OCP



De los resultados individuales obtenidos de los sistemas, se puede establecer que se integraron al DCS Foxboro Evo 208 señales de un total de 214, debido a las 6 señales en falla dentro del PLC del sistema SIS, las señales en falla corresponden al 2.8 % de las señales mientras que el 97.20% de las señales fueron integradas correctamente, dando paso a la puesta en marcha del proceso con el sistema. En la

Figura 116 se muestra el Workcenter con el nuevo sistema HMI implementado y puesto en marcha en la estación SSFD.

Figura 116

Puesta en marcha del proceso con el nuevo sistema



Encuesta de usabilidad y Experiencia de Usuario

La operación de la estación se realiza por parte de un operador, contando el total de 6 usuarios que utilizan el Sistema HMI. Luego de un mes de la implementación del sistema HMI se realiza una prueba de experiencia de usuario y usabilidad para poder evaluar el sistema diseñado bajo el estándar ISA 101.

Figura 117

Gráfico de respuestas pregunta monitoreo del proceso

¿El nuevo sistema HMI le permitió realizar el monitoreo de todo el proceso en la estación de transferencia SSFD?

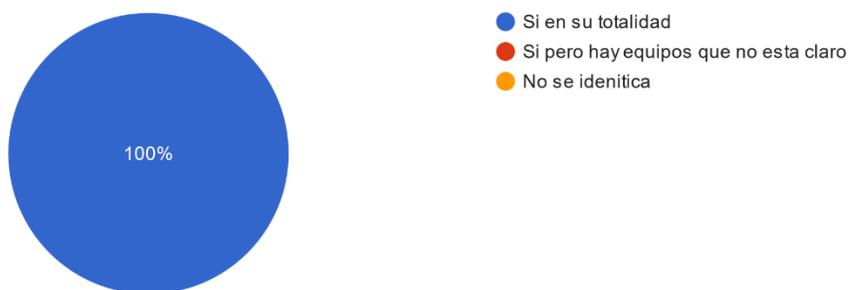
6 respuestas

**Figura 118**

Gráfico de respuestas pregunta estilo de colores ISA 101

¿ El estilo de colores en escala de grises bajo el estándar ISA 101 utilizado en el sistema HMI le permitió identificar el estado de los equipos, instrumentos y anomalías?

6 respuestas



En la Figura 117 y la Figura 118 se muestra que el 100% de los usuarios HMI considera que el sistema HMI ha sido diseñado correctamente en términos de monitoreo del proceso, es decir que permite conocer al operador acerca de lo que está sucediendo en el proceso únicamente visualizando las pantallas y las variables del

proceso. Además, el estilo de colores escogido según el estándar ISA 101 en términos de escala de grises y el concepto de situational awareness presenta una aceptación del 100% por parte de los usuarios; esto quiere decir que se identifican totalmente en qué estado o condición se encuentra cada equipo dentro del HMI.

Figura 119

Gráfico de respuestas pregunta Navegación

¿En qué grado considera que la navegación entre pantallas del nuevos sistema HMI ha mejorado la operación en comparación con el anterior sistema HMI?

6 respuestas

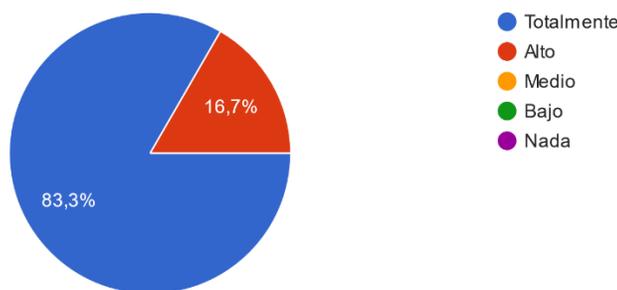
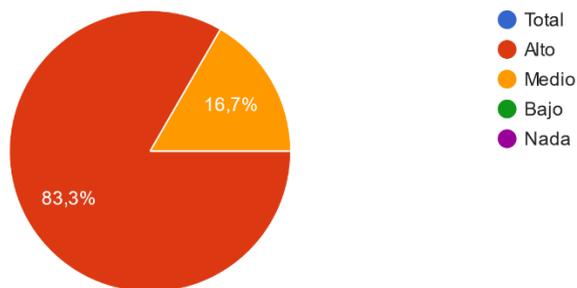


Figura 120

Gráfico de respuestas pregunta Jerarquía entre pantallas

¿En qué grado considera que ha mejorado el monitoreo del proceso la jerarquía de pantallas definida en el nuevo sistema HMI?

6 respuestas



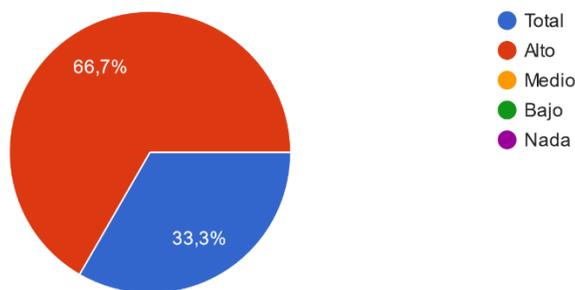
En la Figura 119 se observa que la navegación del sistema HMI ha mejorado la operación en un grado alto o en su totalidad, ya que no posee una única forma de navegación entre pantallas, mediante las flechas de los esquemáticos, sino también posee otras 3 formas para facilidad del operador. En la Figura 120 se aprecia que existe un grado alto de mejoría en el monitoreo para el 83.3 % de los usuarios y únicamente para el 16.7% el grado de mejoría es medio; esto se comprueba con la pregunta de la Figura 117 donde se estableció que las pantallas permiten el monitoreo del proceso en su totalidad.

Figura 121

Gráfico de respuestas pregunta manejo de alarmas del proceso

¿En qué grado considera que permite el nuevo sistema HMI el manejo, identificación y reconocimiento de alarmas del proceso ?

6 respuestas



En la Figura 121 se observa que el 66.7% de los usuarios considera un grado alto de identificación y manejo de alarmas mientras que el 33.3 % estima un grado de total identificación y reconocimiento. La principal causa para este resultado es la implementación del anunciador que alerta con sonido y luces sobre las alarmas dentro del proceso. Por otro lado, en la Figura 122 se muestra el tiempo en que demora cargar los datos totalmente al ingresar a una nueva pantalla. Como vemos para todos los usuarios se encuentra en un rango de tiempo menor a 3 segundos, que según

establece el estándar ISA 101 se encuentra dentro del rango de performance ideal de transición de una pantalla.

Figura 122

Gráfico de respuestas pregunta tiempo carga de datos

¿Qué tiempo demora en cargar los datos completamente al navegar a una nueva pantalla en el sistema HMI?

6 respuestas

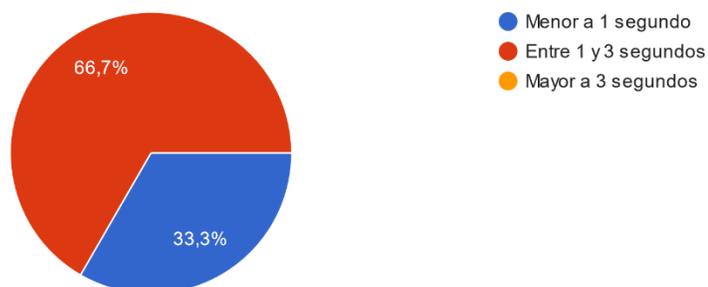
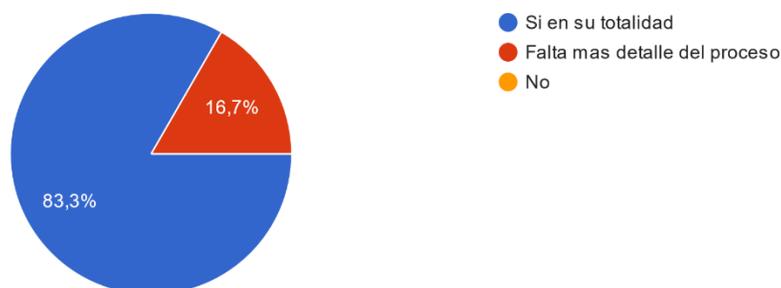


Figura 123

Gráfico de respuestas pregunta Distribución de elementos

¿La distribución de los equipos e instrumentos en las pantallas refleja semejanza a la ubicación de los equipos en campo y planos P&ID?

6 respuestas



La Figura 123 muestra para el 83.3% de los usuarios, los esquemáticos de las pantallas y la distribución de los equipos posee una semejanza en su totalidad con

respecto a la ubicación y distribución de los instrumentos en campo mientras que para el 16.67% falta más detalle del proceso en las pantallas.

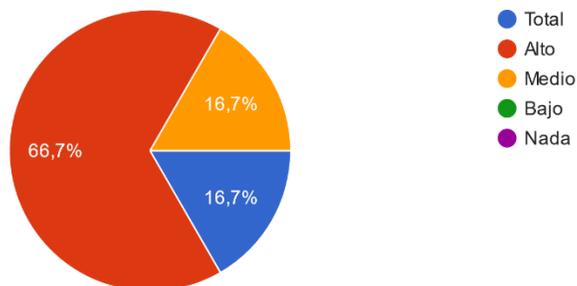
Las librerías de alarmas y Switches poseen una opinión un poco más dispersa para la identificación de anomalías dentro del proceso. Como se muestra en la Figura 124 el 83.4 % de los usuarios considera que la identificación de anomalías dentro del proceso mediante esta librería se realiza en una escala alta o en su totalidad mientras que el 16.7% considera que se lo realiza en una escala media de las alarmas dentro de las pantallas.

Figura 124

Gráfico de respuestas pregunta librerías de alarmas

¿ En qué escala las librerías de switches y alarmas del sistema HMI permiten identificar anomalías o cambios de estado en el proceso?

6 respuestas

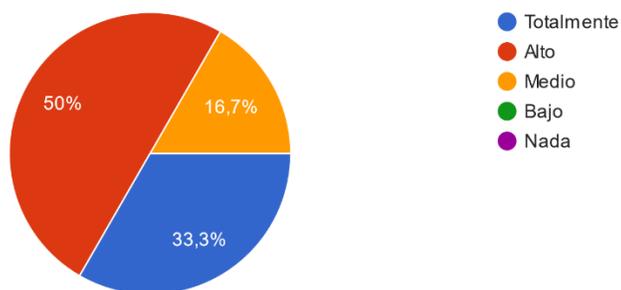


La fatiga visual es un aspecto importante dentro del diseño del sistema HMI debido al estilo de colores recomendado por el estándar 101 y el concepto de situational awareness, que tratan de reducir al máximo la fatiga visual del operador, para el 16.7% de los usuarios la fatiga visual ha disminuido en un nivel medio, mientras que para el resto de ellos ha disminuido en un nivel alto o en su totalidad como se observa en la Figura 125.

Figura 125*Gráfico de respuestas pregunta fatiga visual*

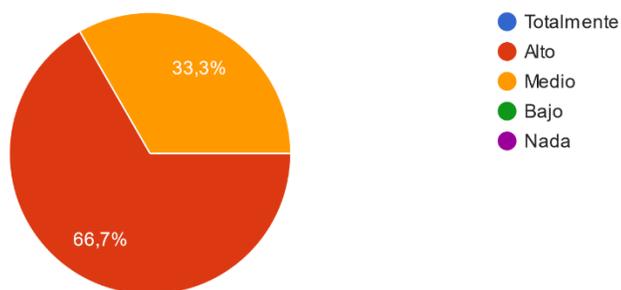
¿En qué grado considera que el nuevo sistema HMI ha disminuido la fatiga visual en comparación con el anterior HMI?

6 respuestas

**Figura 126***Gráfico de respuestas pregunta control del proceso*

¿En qué escala le permitió controlar el sistema HMI mediante botones, Pop Ups y lazos de control al proceso de la estación SSFD?

6 respuestas



El control del proceso como se observa en la Figura 126 no se realiza en su totalidad en el sistema HMI para los usuarios para el 33.3% se realiza en una escala media el control mientras que para el 66.7% se realiza en una escala alta; esto se

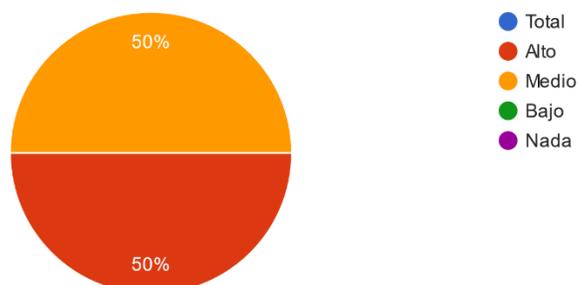
puede justificar debido a la existencia de varias válvulas manuales que el personal de operación debe manipular en campo.

Figura 127

Gráfico de respuestas pregunta Históricos y tendencias

¿En qué grado considera que el sistema HMI le permitió el acceso, identificación y manejo de históricos y tendencias de las señales?

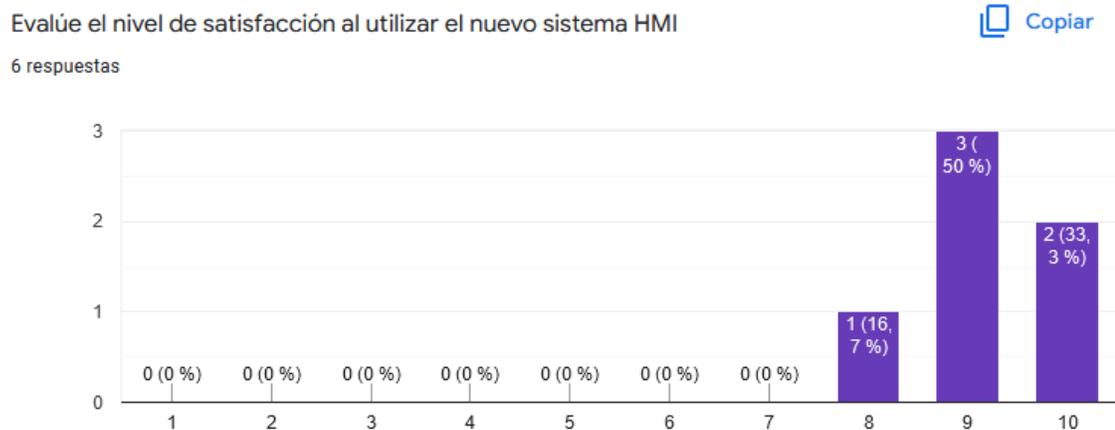
6 respuestas



La identificación y manejo de alarmas es la sección con menor grado de identificación en el sistema HMI, pues para el 50% de los usuarios el manejo de tendencias se realiza en un grado alto, mientras que para la otra mitad se ejecuta en un grado medio. Una de las razones principales de esto es el acceso a variables estadísticas de las tendencias, lo cual por la aplicación trend toma un poco más de tiempo que incomoda un poco la operación.

Figura 128

Gráfico de respuestas satisfacción sistema HMI



Para medir el nivel de satisfacción de una interfaz HMI según Nacho Madrid (Madrid, 2020) establece que la forma más específica de determinar el nivel de satisfacción por parte de un usuario hacia un sistema HMI, es realizando la pregunta directamente. Como se observa en la Figura 128 el nivel de satisfacción se midió en una escala lineal donde 10 es el valor más alto y 1 es el valor más bajo obteniendo como resultado, que el 83.3% de los usuarios tienen un nivel de satisfacción mayor a 9% mientras que para el 16.7% tiene un nivel de 8, con lo que se podría establecer que el nivel de satisfacción por parte de los usuarios al utilizar el sistema HMI y cumplir sus funciones es alto.

Capítulo VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- En el presente proyecto se realizó la integración de los sistemas terceros SIS, E1613C y OCP al sistema de control distribuido Foxboro Evo y la implementación del sistema HMI para el DCS bajo el estándar ANSI/ISA-101.01-2015, lo que permitió actualizar el sistema de control de la estación de transferencia SSFD unificando el sistema a una misma Galaxia. Esto permite la intercomunicación de las estaciones de Repsol mediante la Foxboro Control Network.
- La distribución de los equipos e instrumentos en los esquemáticos de las pantallas tipo Process, como establece el estándar ANSI/ISA-101.01-2015, se realizó verificando la ubicación de cada uno de los instrumentos según los diagramas P&ID y esquemáticos anteriores de la estación. La encuesta de usabilidad muestra que para el 16.67% de los usuarios falta un poco más de detalle en la distribución de los elementos en las pantallas, mientras que para el 83.3% restante, la distribución de los equipos e instrumentos en los esquemáticos del HMI reflejan una semejanza en su totalidad con respecto a campo, lo que facilita el reconocimiento e identificación de cada uno de los instrumentos al momento de operar el sistema.
- Cada uno de los elementos de las pantallas que representan una señal en el sistema, se direccionaron con la información de la base de señales del sistema HMI, lo que permitió visualizar cada una de las señales del proceso de la estación SSFD en las pantallas del sistema, esto se constata ya que para el 100% de los usuarios el nuevo HMI permitió realizar el monitoreo total del

proceso en la estación de transferencia, además para el 66.7% el HMI permite realizar el control del proceso en una escala alta.

- A partir de las pruebas de precomisionado donde se verificó el valor de las señales en el PLC y el HMI, y las pruebas de comisionado, donde se comprobó el valor de la señal en el instrumento en campo y en el sistema HMI se obtuvo, la integración del 96% del sistema SIS y el 100% de los sistemas E1613C y OCP, incorporando en total el 97.2% de las señales de los controladores de los sistemas terceros, el 2.8% restante son 6 señales que corresponden al sistema SIS que se encuentran en falla dentro del PLC por lo que no se pueden integrar.
- La incorporación del sistema de control de la estación SSFD a una única galaxia de todas las estaciones de Repsol permite que se pueda navegar desde el sistema HMI de la estación SSFD hacia las pantallas de las otras estaciones de Repsol, lo que resulta muy favorable para la operación como se evidencia en la encuesta donde el 83.3% considera que la navegación del sistema HMI ha mejorado en un grado alto y el 16.7% restante estima que ha mejorado en su totalidad. Además, en la pregunta de satisfacción, al realizar las funciones específicas del usuario el 100% de los usuarios calificó la satisfacción mayor o igual a 8 donde 10 es el nivel más alto de satisfacción.
- Para los controladores Allen Bradley, que se encontraban dentro del segmento de red de la estación SSFD (SIS y E1613C), la configuración de los equipos y devices en el driver FDSI y la interface FBM 232, permitió integrar estos sistemas al DCS Foxboro Evo mediante el protocolo de comunicación Ethernet IP, que permite manejar un flujo de datos grande entre dos dispositivos de proveedores distintos, obteniendo un sistema 100% interoperable entre los controladores Allen Bradley y los procesadores Foxboro.

- Se empleó el estilo de colores en escala de grises y colores únicamente para anomalías como establece el estándar ANSI/ISA-101.01-2015, además del concepto de Situational Awareness. También se siguieron las consideraciones de ergonomía que establece la norma ISO11064 para el diseño de la consola de operación. Todas estas consideraciones se reflejan en los resultados de la encuesta del sistema HMI donde para el 83.3% de los usuarios disminuyó la fatiga visual en comparación al anterior sistema y para el 100% el sistema HMI permite monitorear el proceso en su totalidad, obteniendo un sistema HMI más eficaz y eficiente en comparación con el sistema HMI anterior.
- El manejo e identificación de alarmas en el sistema HMI mejoró considerablemente con la implementación del anunciador, para identificar las alarmas de manera visual y auditiva, esto se evidencia en los resultados de usabilidad donde el 100% de los usuarios considera que el nuevo sistema HMI, permite identificar y reconocer las alarmas del proceso, adicional el desarrollo de la librería de switches, permite a los usuarios identificar anomalías y cambios de estados en el proceso, como muestra la encuesta, donde el 66.7% considera que las librerías permiten identificar alarmas en un grado alto, mientras que el 16.7% considera que las mencionadas librerías permiten identificar en su totalidad las anomalías del proceso.

Recomendaciones

- Al momento de arrancar el proceso en la planta se debe verificar el estado y comunicación de cada uno de los equipos y devices del DCS Foxboro Evo, esto se realiza mediante el programa System Manager que proporciona toda la información y el estatus de conexión de los dispositivos de red del sistema, con

el propósito de asegurar que ningún dispositivo se encuentre en falla o desconfigurado.

- Ante cualquier anomalía de una variable del proceso, PSD o ESD en el manejo de alarmas, se recomienda verificar primero el Alarm DB Panel donde se encuentran todas las alarmas tanto del sistema como del proceso, luego filtrar por prioridades y tiempo, para identificar de manera exacta cual fue la causa que provoco dicha anomalía.
- Los mantenimientos del sistema de control distribuido Foxboro EVO en la estación SSFD, se deben realizar periódicamente al menos una vez al año y deben ser proporcionados por parte del proveedor y personal especializado, que realice un estudio total del estado del DCS, además es importante tomar en cuenta las fechas de garantía y soporte de fábrica tanto en nivel de software como de hardware.
- Para realizar una nueva implementación de equipos en la estación SSFD, es de suma importancia realizar los protocolos de pruebas FAT y SAT para verificar el funcionamiento y el estado de todos los equipos, tanto en fábrica como en campo asegurándose que no exista ningún fallo o daño que pueda alterar la implementación.

Trabajos Futuros

Como se observa en la encuesta de usabilidad para ningún usuario el sistema HMI permite realizar el control del proceso en su totalidad, esto se debe a que existe un grupo de válvulas manuales, que no se encuentran dentro del DCS y el operador las manipula manualmente. Por esto un trabajo futuro importante en la estación es el

cambio de instrumentación respectivo para poder obtener el control de esa parte del proceso mediante la implementación de lazos de control.

Bibliografía

- Aner Group. (2019). *Onyx Systems. Obtenido de Servidores:*
<https://www.onyxsystems.es/que-es-un-servidor.html>
- ANSI. (2007). *Human Factors Engineering of Computer Workstations. Santa Mónica:*
human Factors and Ergonomics Society.
- AVEVA. (2018). *InTouch for System Platform 2017.*
- Bautista, C. (2017). *REDISEÑO DE LA INTERFAZ DE UN SISTEMA DE PRUEBA DE BLOQUEO DE TUBO, APLICANDO EL ESTANDAR INTERNACIONAL.*
 Bucaramanga: UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA.
- CIA. (2022). *CAN Open. Obtenido de DeviceNet – designed for factory automation:*
<https://www.can-cia.org/can-knowledge/hlp/devicenet/>
- Comisión Electrotécnica Internacional. (2003). *Controlador Programable. IEC.*
- Control Real Español. (17 de 01 de 2019). *Tips y descargas para control de procesos, automatización y PLC. Obtenido de P&ID Diagramas de Tuberías e Instrumentación:* <https://controlreal.com/es/diagramas-de-tuberias-e-instrumentacion-pid/>
- Corrales, L. (2007). *Interfaces de Comunicación Industrial. Quito: Dpto. de Automatización y Control Industria.*
- Energy & Commerce. (12 de 8 de 2020). *Nuevo Sistema de Control Distribuido para las industrias de petróleo y gas. Recuperado el 7 de 9 de 202, de*
<https://energyandcommerce.com.mx/sistema-de-control-distribuido-rockwell/>
- Honeywell. (14 de 01 de 2014). *Process Solutions. Obtenido de Honeywell Scada:*
<https://prod-edam.honeywell.com/content/dam/honeywell-edam/pmt/hps/products/pas/experion-elevate/pmt-hps-experion-scada-pin.pdf?download=false>
- HP. (31 de 08 de 2021). *Hewlett Packard. Obtenido de Firewall de red:*
<https://www.hp.com/cl-es/shop/tech-takes/que-es-un-firewall-de-red-y-como-funciona>
- Hurtado, J. (2022). *Info PLC. Obtenido de Introducción a las Redes de Comunicación Industrial:*
http://www.infoplac.net/files/documentacion/comunicaciones/infoPLC_net_introduccion-a-las-redes-de-comunicacion-industrial.pdf

- IEC. (2008). *Low-voltage switchgear and controlgear – Controller-device interfaces (CDIs)*. Comisión Electrotécnica Internacional.
- InfoPLC. (18 de 11 de 2015). *ISA101 Norma para el diseño HMI*. (Estandars Normativas y Legislación) Recuperado el 7 de 9 de 2021, de <https://www.infoplcn.net/actualidad-industrial/item/102902-isa101-hmi>
- Instituto Nacional de Seguridad. (2021). *Ministerio de Empleo y Seguridad Social*. Obtenido de Normas Y Técnicas sobre el diseño de los centros de control: <https://www.insst.es/documents/94886/518403/Normas+T%C3%A9cnicas+Dise%C3%B1o+Puestos+Trabajo.pdf/d4df07dc-d991-4974-88a2-6bc99c5b9f15?t=1546197163284>
- Instrumentation Tools. (19 de 01 de 2019). *Inst Tools*. Obtenido de *Difference between Process shutdown and Emergency Shutdown*: <https://instrumentationtools.com/process-shutdown-and-emergency-shutdown/>
- InTech México. (12 de 2 de 2019). (Características del Estándar ANSI/ISA-101.01-2015: Interfaces Humano-Máquina para Sistemas de Automatización de Procesos) Recuperado el 7 de 9 de 2021, de <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2019/02/12/caracteristicas-del-estandar-ansi-isa-101-01-2015-interfaces-humano-maquina-para-sistemas-de-automatizacion-de-procesos/>
- Invensys, Foxboro. (2012). *I/A Series System*. En *FDSI Driver Allen-Bradley Ethernet/IP Dirver* (págs. 2-14). Invensys System, Inc.
- ISA. (2015). *Interfaces hombre-máquina para sistemas de automatización de procesos*. Carolina del Norte, Es: ISA. Recuperado el 2022
- ISO. (2001). *Norma ISO 11064-1*.
- ISO. (2019). *ISO 9241-210:2019*. ISO.
- Lema, E. (2016). *Diseño e Implementación de un Horometro para el control “Power On” del torno Dmtg del taller de máquinas herramientas de la empresa Novacero S.A. Planta Lasso*. En *ESPOCH, Diseño e Implementación de un Horometro para el control “Power On” del torno Dmtg del taller de máquinas herramientas de la empresa Novacero S.A. Planta Lasso* (págs. 10-11). Riobamba.
- Madrid, N. (28 de 01 de 2020). *INvestigación y diseño centrado en el Usuario*. Obtenido de Nacho Madrid UX: https://www.nachomadrid.com/2020/01/metricas-de-usabilidad-y-experiencia-de-usuario/#%C2%BFPara_que_medir_la_usabilidad_y_la_experiencia_de_usuario
- Matrox Graphics Inc. (22 de 02 de 2006). *Automation.com*. Obtenido de Matrox Graphics *Introduces Remote Graphics Unit*: <https://www.automation.com/en-us/products/product22/matrox-graphics-introduces-remote-graphics-unit>
- Microsoft . (02 de 04 de 2022). *Microsoft Build*. Obtenido de *Información general sobre la tecnología Hyper-V*: <https://docs.microsoft.com/es-es/windows-server/virtualization/hyper-v/hyper-v-technology-overview>

- Midwest Engineered Systems, Inc. (17 de 03 de 2022). *Midwest Engineered*. Obtenido de *Distributed Control Systems*: <https://www.mwes.com/distributed-control-systems/>
- Modbus Organization. (2005). *Modbus*. Obtenido de *MODBUS PROTOCOL*: <https://modbus.org/specs.php>
- MOXA. (18 de 03 de 2018). *Software and DDocumentation Firewalls*. Obtenido de *EDR-G903 Series*: <https://moxa.com/en/support/product-support/software-and-documentation?psid=48063>
- Navarra, L. (03 de 2022). *Automática e Instrumentación*. Obtenido de *Diseño de HMI y Sistemas de Supervisión Modernos con ISA101*: <https://www.automaticaeinstrumentacion.com/texto-diario/mostrar/2733849/isa-seccion-espanola-organiza-webinar-diseno-hmi-sistemas-supervision-modernos-isa101>
- OCP Ecuador. (2022). *Transporte de Crudo Pesado*. Obtenido de *Estación de bombeo*: <https://www.ocpecuador.com/funcionamiento/transporte-crudo-pesado/como-funciona-una-estacion-de-bombeo/>
- Oily. (2022). *Techinfo*. Obtenido de *Controlador de dominio (dc)*: <https://techinfo.wiki/controlador-de-dominio-dc/>
- Real Time Automation. (2021). *Real Time Automation*. Obtenido de *An Introduction to Device Net*: <https://www.rtautomation.com/technologies/devicenet/>
- Repsol. (2015). *Informe GEI Bloque 16 y Área Tivacuno*.
- Ródgriguez, L. (2014). *Sistema Instrumentado de Seguridad*. En R. O. Leonardo, *Proyecto del sistema Instrumentado de Seguridad de la planta Deshidratadora el centro del campo la Cira-Infantas (págs. 28-31)*. Bogotá: Universidad Piloto de Colombia.
- Rodríguez, G. (2021). *Pruebas FAT/SAT para validación*. 12: 07.
- Schneder Electric. (10 de 9 de 2013). *Automarion*. Obtenido de *nvensys introduces Foxboro Evo Process Automation System*: <https://www.automation.com/en-us/products/product09/invensys-introduces-foxboro-evo-process-automation>
- Schnedier Electric. (2019). *FDSI Driver – Allen-Bradley EtherNet/IP Driver*.
- Schneider Electric. (1 de 6 de 2015). *Situational awareness for operators, Foxboro Evo Control HMI*. . Recuperado el 7 de 9 de 2021, de https://www.se.com/ww/en/download/document/PAS_63680_CPM16075/
- Schneider Electric. (2016). *Foxboro Evo Control HMI*. Obtenido de *Situational awareness for Operators*: https://www.se.com/ww/en/download/document/PAS_63680_CPM16075/
- Schneider Electric. (2017). *The Foxboro Evo Control Network Architecture Guide*. Foxboro.

- Schneider Electric. (05 de 2019). *Schneider Electric Help*. Recuperado el 24 de 04 de 2022, de *Ethernet Industrial*: https://product-help.schneider-electric.com/Machine%20Expert/V1.1/es/m251prg/m251prg/Industrial_Ethernet_Manager/Industrial_Ethernet_Manager-2.htm
- Schneider Electric. (2020). *Control HMI*. SE.
- Schneider Electric. (29 de 9 de 2021). *Search FAQs* . Obtenido de *What is Modbus and How does it work*: <https://www.se.com/us/en/faqs/FA168406/>
- Schneider Electric. (2022). *Schneider Electric Catalog*. Obtenido de *Field Control Processor* : <https://www.se.com/ww/en/work/products/industrial-automation-control/foxboro-dcs/controllers-and-network/fcp-280.jsp>
- SIEMON. (2021). *Siemon Support*. Obtenido de *Protocolo de red en niveles para aplicaciones de automatización industrial*: <https://www.siemon.com/es/home/support/education/white-papers/03-10-13-ethernet-ip>
- Tecniequpos S.A. (2018). *Actualización Sistema de Control SPF*.
- Tecniequpos S.A. (2021). *Actualización Sistema de Control Refinería Shushufindi*. Shushufindi.
- Teknei. (2022). *Teknei*. Recuperado el 21 de 04 de 2022, de *Descubre qué son los sistemas de control y automatización industrial*: <https://www.teknei.com/2020/08/13/sistemas-de-control-y-automatizacion-industrial/>
- Wonderware Spain. (s.f.). *Wonderware. (System Platform)* Recuperado el 7 de 9 de 2021, de <https://www.wonderware.es/HMI-SCADA/System-Platform/>

Apéndices