



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERÍA  
ELECTRÓNICA**

**AUTOR: POGO MACAS, EDISON ANDRÉS**

**TEMA: OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EN  
FORMACIÓN PARA EL CAMPO DE EXTRACCIÓN DE CRUDO VILLANO A  
DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR**

**DIRECTOR: ING. ORTIZ, HUGO  
CODIRECTOR: ING. CHACÓN, ALEJANDRO**

**SANGOLQUÍ, ABRIL 2014**

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

CERTIFICADO

Ing. Hugo Ortiz  
Ing. Alejandro Chacón

CERTIFICAN

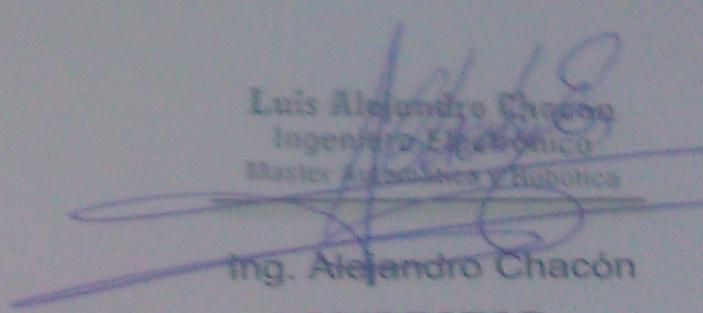
Que el trabajo titulado "OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EN FORMACIÓN PARA EL CAMPO DE EXTRACCIÓN DE CRUDO "VILLANO A" DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR", realizado por el Sr. Edison Andrés Pogo Macas con CI 171920882-7, ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple normas estatutarias establecidas por la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, en el Reglamento de Estudiantes de la Escuela Politécnica del Ejército.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación.

El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de Acrobat (pdf). Autorizan a Edison Andrés Pogo Macas que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de Carrera.

Sangolquí, Abril del 2014

  
Ing. Hugo Ortiz  
DIRECTOR

  
Luis Alejandro Chacón  
Ingeniero Electrónico  
Maestría en Ingeniería y Robótica

Ing. Alejandro Chacón  
CODIRECTOR

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD**

Edison Andrés Pogo Macas

**DECLARO QUE:**

El proyecto de grado titulado “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EN FORMACIÓN PARA EL CAMPO DE EXTRACCIÓN DE CRUDO “VILLANO A” DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR” ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía.

Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

Sangolquí, Abril del 2014.



---

Edison Andrés Pogo Macas

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE  
INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**AUTORIZACIÓN**

Yo, Edison Andrés Pogo Macas.

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución, el proyecto de grado titulado “OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EN FORMACIÓN PARA EL CAMPO DE EXTRACCIÓN DE CRUDO “VILLANO A” DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR”, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, Abril del 2104



Edison Andrés Pogo Macas

## DEDICATORIA

Quiero dedicar este trabajo a mis padres, Aníbal y Melva, quien con su amor incondicional me han acompañado, aconsejado y apoyado en cada etapa de mi vida. A mi hermano, que con su cariño y afecto ha llenado de alegría mi vida.

A mis abuelitos, a mis tíos, a mis tías, a mis primos y primas, en especial a Santiago, David y Cristina, para que sepan que los obstáculos y adversidades son superadas, esperando que sirva como muestra de una carrera profesional, más espero no sea suficiente ni conforme la consecución de los sueños y metas que se planteen, que miren hacia delante, visualicen un futuro y piensen en grande.

Y a los demás miembros de mi familia como muestra de que las metas son alcanzables y se las puede lograr en base a esfuerzo, dedicación, constancia y humildad.

Andrés Pogo

## **AGRADECIMIENTO**

Mi principal agradecimiento a Dios y a mi Madre Dolorosa por todas sus bendiciones. A mi hermano por su apoyo y convivencia diaria. A mis padres por su comprensión. A toda mi familia quien ha sabido apoyarme en cada circunstancia adversa y me han acompañado a lo largo de toda mi vida. A mis queridos amigos, David y Ricardo, que con su alegría y amistad han hecho que cumpla una meta más junto a ellos.

A mi novia Lizeth quien a compartido su amor, apoyo, comprensión y dedicación para que llegué a cumplir esta meta, y a quien debo muchos momentos maravillosos de felicidad.

A la empresa Agip Oil Ecuador, por brindarme su apoyo humano, logístico, económico y de recursos para la consecución del proyecto. Al Ing. Jorge Morales, al Ing. Michael Larenas, al Ing. Klever Navas, y a la Ing. Soraya Vaca por la ayuda, enseñanzas e información que supieron facilitarme para la realización del proyecto. Y en general, al Departamento de Ingeniería y de Producción tanto de Quito, como de CPF que acompañaron todo el proceso.

Por último, y no menos importante, a mis directores de tesis por sus enseñanzas, consejos, constancia y apoyo brindado, quienes han guiado este proyecto y con los cuales se ha podido llegar a la culminación del presente proyecto.

Andrés Pogo

## ÍNDICE

CAPÍTULO I.....	1
1. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EN FORMACIÓN PARA LA PLATAFORMA DE CRUDO VILLANO A DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR.....	1
1.1 ANTECEDENTES .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	2
1.3 OBJETIVOS .....	3
1.3.1 Objetivo General. ....	3
1.3.2 Objetivos Específicos.....	4
1.4 GENERALIDADES DE LA EMPRESA “AGIP OIL ECUADOR” .....	5
1.4.1 AGIP OIL Ecuador. ....	5
1.4.2 Descripción de la Empresa. ....	5
1.4.3 Objetivo. ....	7
1.4.4 Misión.....	8
1.4.5 Filosofías de trabajo, salud y medio ambiente.....	8
1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE AGUA. ....	9
1.6 CONCEPTO DE OPTIMIZACIÓN ENFOCADA A LA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN.....	13
1.7 METODOLOGÍA DEL PROYECTO (BASE CONCEPTUAL, MÉTODO: SEIS-SIGMA).....	14
CAPÍTULO II.....	21
2. INGENIERÍA CONCEPTUAL. ....	21
2.1 ESTUDIO PREVIOS: TÉRMICOS E HIDRÁULICOS.....	21
2.2 PROPUESTAS PLANTEADAS. ....	24
2.3 EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES PRESENTADAS DENTRO DEL ESTUDIO TÉRMICO. ....	25

2.3.1 Matriz de evaluación para la selección de la mejor propuesta dentro del Estudio Térmico.....	28
2.4 EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES PRESENTADAS DENTRO DEL ESTUDIO HIDRAÚLICO.....	34
2.4.1 Matriz de evaluación para la selección de la mejor propuesta dentro del Estudio Hidráulico. ....	39
2.5 CONSIDERACIONES GENERALES OBTENIDAS.....	41
CAPÍTULO III.....	44
3 INGENIERÍA BÁSICA.....	44
3.1 NOMENCLATURA.....	44
3.2 DIAGRAMAS P&ID.....	46
3.2.1 Construcción del Modelo de Proceso. ....	46
3.2.2 Construcción del Modelo Físico.....	49
3.3 DIAGRAMA ELÉCTRICO.....	53
3.4 TIPO Y CALIBRE DE CABLES.....	56
3.4.1 Para Potencia y Control.....	56
3.4.2 Para Instrumentación.....	73
3.5 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE INSTRUMENTACIÓN (Nuevo Aero Enfriador).....	82
3.5.1 Primera Parte (Nuevo Aero Enfriador).....	84
3.5.2 Segunda Parte.....	88
3.6 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE POTENCIA Y CONTROL (Nuevo Aero Enfriador).....	90
3.7 ARQUITECTURA DE RED DE DATOS.....	96
3.7.1 Primera Sección de la Red.....	97
3.7.2 Segunda Sección de la Red.....	101
3.7.3 Tercera y Cuarta Sección de la Red.....	109
CAPÍTULO IV.....	114
4 INGENIERÍA DE DETALLE.....	114

	viii
4.1 CONSIDERACIONES DE LA PLATAFORMA VILLANO A .....	114
4.1.1 Arquitectura de Red. ....	115
4.1.2 Equipos. ....	122
4.1.3 Detalle de Conexiones .....	157
4.1.4 Junction Box WS16-EX1-JB2 .....	192
4.1.5 Hot Tapping (Corte en Caliente). ....	196
4.1.6 Puesta a Tierra.....	199
4.1.7 Cable & Tray Route (Ruta de Cableado) .....	200
4.1.8 Consideraciones adicionales del proceso.....	201
4.2 CARTA CAUSA & EFECTO.....	204
4.3 SEÑALES Y TAGS.....	207
CAPÍTULO V.....	211
5 SIMULACIONES Y RESULTADOS .....	211
5.1 ADQUISICIÓN DE DATOS. ....	212
5.2 CAMBIO DE VARIABLES CRÍTICAS Y RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.....	215
5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS .....	219
CAPÍTULO VI.....	222
6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	222
6.1 CONCLUSIONES.....	222
6.2 RECOMENDACIONES .....	224
BIBLIOGRAFÍA.....	226

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.1 Mapa Petrolero del Ecuador.....	6
Figura.2 Ubicación Geográfica de CPF.....	7
Figura. 3 Esquema del Proceso de Inyección de Agua.....	12
Figura. 4 Esquema del FWKO (Free Water Knock Out o Separador de Agua Libre). ....	13
Figura. 6. Esquema secuencial del desarrollo de un proyecto. ....	20
Figura. 6. Sistema de Enfriamiento plataforma Villano A. ....	26
Figura. 7. Forma de ubicación del panel.....	46
Figura. 8 Primera parte del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa. ....	48
Figura. 9 Segunda y Tercera parte del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.....	49
Figura. 10 Primer lazo de control del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.....	50
Figura. 11 Segundo y tercer lazo de control del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.....	51
Figura. 12 Cuarto lazo de control del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.....	52
Figura. 13. Resumen del modelo de equipos para el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.....	54
Figura. 14 Diagrama P&ID, incluye el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa. ....	55
Figura. 15 Primera parte del esquema eléctrico. Transformación de voltaje de 34,5 KV a 4,16 KV.....	57
Figura. 16 Segunda parte del esquema eléctrico. Transformación de voltaje de 4,16 KV a 0,48 KV y conexión hacia el MCC 002 A y 002C. ....	58
Figura. 17 Cable tipo TC, 600 V, Okonite- FMR Okoseal (70). ....	61
Figura. 18 Tabla de resistencia en ohmios por cada 1000 pies (304,9 metros) para temperaturas de 20 y 25 °C. ....	63
Figura. 19 Factor de corrección para conductores de cobre en base a la resistencia a la temperatura.....	64
Figura. 20 Distancia entre el centro de un conductor y el centro del conductor adyacente dentro de un cable.....	64
Figura. 21 Tabla de las características principales del cable TC escogido.....	65
Figura. 22. Reactancia de conductores a 60 Hertzios. ....	66
Figura. 23. Cable tipo SP-OS o PLTC Instrumentation Cable, 300 V, Okonite, Multiple Shields.....	75

Figura. 24	Tabla de las características principales del cable PLTC escogido.....	77
Figura. 25	Diagrama esquemático de instrumentación, incluye el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa. ....	83
Figura. 26	Primera parte del diagrama esquemático de instrumentación. 26. A. Sistema en conjunto especificando detalles exteriores del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa. 26. B. Nuevo Aero enfriador general de segunda etapa y su instrumentación. ....	84
Figura. 27	Distintos MCC (Centros de control del motor) y la ubicación de sus arrancadores con las conexiones correspondientes.....	88
Figura. 28	Diagrama esquemático de potencia y control, incluye el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.....	91
Figura. 29	Nuevo Aero enfriador de segunda etapa compuesto por dos motores, Space Heater (Calentador) e interruptores manuales de dos y tres posiciones del diagrama esquemático de potencia y control. ....	92
Figura. 30	Infraestructura de Red del PLC WSSG – D. Se encuentra dividido en 4 secciones..	98
Figura. 32	Relación entre el modelo OSI y el modelo para redes industriales utilizado en este proyecto.....	102
Figura. 32.	Infraestructura de Red para la Sección 3 (PLC correspondiente al MCC 002C)....	109
Figura. 33	Infraestructura de Red para la Sección 4 (PLC correspondiente al MCC 002C). ....	110
Figura. 34	Distintos protocolos y su relación a nivel de automatización. ....	111
Figura. 35	Pirámide de los Niveles de Automatización.....	112
Figura. 36	Ventajas y Características del protocolo Ethernet / IP (Industrial Protocol).....	118
Figura. 37	Ventajas y Características del protocolo ControlNet. ....	119
Figura. 38	Ventajas y Características del protocolo ModBus.....	120
Figura. 39	Ventajas y Características del protocolo HART. ....	121
Figura. 40	Conexión del dispositivo PT 355 (Transmisor de Presión 355).....	159
Figura. 41	Conexión del dispositivo PT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A (Transmisor de Presión 355).....	160
Figura. 42	Conexión del dispositivo PT 356 (Transmisor de Presión 356).....	162
Figura. 43	Conexión del dispositivo FIT 355 (Transmisor Indicador de Temperatura 355).....	164
Figura. 44	Conexión del dispositivo TT 355 (Transmisor de Temperatura 355).....	165
Figura. 45	Conexión del dispositivo TT 356 (Transmisor de Temperatura 355).....	167
Figura. 46	Conexión del dispositivo PDT 355 (Presión diferencial de Temperatura 355).....	169
Figura. 47	Conexión del dispositivo VSH 353 A (Interruptor de Vibración Manual 353 A).....	170
Figura. 48.	Conexión del dispositivo VSH 353 B (Interruptor de Vibración Manual 353 B).....	172
Figura. 49	Conexión del Hand Switch (Interruptor Manual de 3 posiciones) HOA (Hand	

(Manual), Off (Apagado), A (Automático)) del Aero enfriador WS16-EX1-002C .....	174
Figura. 50. Conexión del Hand Switch (Interruptor Manual de 3 posiciones) HOA (Hand (Manual), Off (Apagado), A (Automático)) del Aero enfriador WS16-EX1-002D ....	176
Figura. 51 Conexión del Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002C .....	177
Figura. 52 Conexión del calentador del Aero enfriador WS16-EX1-002C .....	178
Figura. 53 Conexión del Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002D .....	179
Figura. 54 Conexión del Calentador del Aero enfriador WS16-EX1-002D .....	180
Figura. 55 Interruptor manual de dos posiciones del Aero enfriador WS16-EX1-002C .....	181
Figura. 56 Interruptor manual de dos posiciones del Aero enfriador WS16-EX1-002D .....	182
Figura. 57 Circuito de Control del Arrancador MCC 002A Secciones 2M y 3 M. ....	183
Figura. 58 Vista frontal del MCC 002A. ....	186
Figura. 59 Conexiones de circuitería interna del PLC MCC 002 A. ....	187
Figura. 60 Slots de Entradas y Salidas Digitales del PLC MCC 002 A. Sección A. Slot 1 A1-I Sección B. Slot 6 A6-O. ....	188
Figura. 61 Entradas digitales (Slot 1) del PLC MCC 002 A. ....	189
Figura. 62 Salidas digitales (Slot 6) del PLC MCC 002 A. ....	190
Figura. 63 Detalle de conexiones internas entre borneras del slot 1 de entradas digitales del PLC MCC 002 A .....	191
Figura. 64 Detalle de conexiones internas entre borneras del slot 6 de salidas digitales del PLC MCC 002 A .....	192
Figura. 65 Equipo para realizar el “Hot Tapping” .....	198
Figura. 66 Malla de Puesta a Tierra para el Aero Enfriador WS16-EX1-002 C/D. ....	199
Figura. 67 Ruta de Cableado desde el Aero Enfriador hacia los distintos PLCs .....	200
Figura. 68 Primera parte de la Carta Causa- Efecto. ....	204
Figura. 69 Segunda parte de la Carta Causa- Efecto. ....	205
Figura. 70 Primera parte de las Señales y Tags del Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D. ....	207
Figura. 71 Segunda parte de las Señales y Tags del Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D. ....	208

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 1 Ventajas y desventajas de la implementación de un Nuevo Aero Enfriador.....	11
Tabla. 2 Cuadro comparativo de temperatura para las propuestas planteadas en el estudio térmico.....	27
Tabla. 3 Cuadro comparativo de la temperatura (°F) vs la presión de vapor de agua (PSI).....	28
Tabla. 4 Calificación y valor respectivo para la evaluación dentro de cada matriz de selección de propuestas.....	32
Tabla. 5 Matriz A. Viabilidad. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Térmico.....	33
Tabla. 6 Matriz B. Consistencia. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Térmico.....	33
Tabla. 7 Matriz C. Desarrollo. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Térmico.....	33
Tabla. 8 Parámetros de simulación para el caso 1.....	35
Tabla. 9 Parámetros de simulación para el caso 2.....	36
Tabla. 10 Parámetros de simulación para el caso 3 y 4.....	37
Tabla. 11 Parámetros de simulación para el caso 5.....	38
Tabla. 12. Matriz A. Viabilidad. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Hidráulico.....	40
Tabla. 13. Matriz B. Consistencia. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Hidráulico.....	40
Tabla. 14. Matriz C. Desarrollo. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Hidráulico.....	40
Tabla. 15 Nomenclatura a utilizar para los diagramas y P&ID's del proceso.....	45
Tabla. 16 Modelo del Proceso de Enfriamiento de Agua de Formación. (Primera Parte).....	47
Tabla. 17 Principales valores obtenidos para el tipo de cable TC utilizado en este proyecto. Cable de Potencia. Motor del Aero Enfriador.....	69
Tabla. 18 Principales valores obtenidos para el tipo de cable TC utilizado en este proyecto. Cable de Potencia. Space Heater Aero Enfriador.....	70
Tabla. 19 Principales valores obtenidos para el tipo de cable TC utilizado en este proyecto. Cable de Potencia. Hand Switch del Aero Enfriador.....	72
Tabla. 20 Principales valores obtenidos para el tipo de cable PLTC utilizado en este proyecto. Cable de Instrumentación. Cable de dos pares.....	81
Tabla. 21 Principales valores obtenidos para el tipo de cable PLTC utilizado en este proyecto. Cable de Instrumentación. Cable de 4 triadas.....	81

Tabla. 22. Número de líneas (tuberías) y su descripción, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso. ....	85
Tabla. 23. Simbología y descripción de los elementos del proceso, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso. ....	85
Tabla. 24 Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso. (Primera Parte) ...	87
Tabla. 25 Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso. (Segunda Parte).....	88
Tabla. 26 Elementos y sus relaciones dentro del PCR #2 Villano A (Centro de control de Poder de Villano A), pertenecientes a la segunda parte del diagrama de instrumentación. ....	89
Tabla. 27. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la segunda parte del diagrama de instrumentación. ....	90
Tabla. 28 Número de líneas (tuberías) y su descripción, que corresponden a la primera parte (nuevo Aero Enfriador) del diagrama esquemático de potencia y control.....	93
Tabla. 29. Simbología, color y descripción de los elementos del proceso, que corresponden a la primera parte del nuevo Aero Enfriador del diagrama esquemático de potencia y control .....	93
Tabla. 30. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la primera parte del nuevo Aero Enfriador del diagrama esquemático de potencia y control. ....	95
Tabla. 31. Simbología, y descripción de los elementos del proceso, que corresponden a la primera sección de la infraestructura de red. ....	99
Tabla. 32. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la primera sección de la infraestructura de Red.....	100
Tabla. 33. Simbología, color y descripción de los elementos del proceso, que corresponden a la segunda sección de la infraestructura de red. ....	105
Tabla. 34. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la segunda sección de la infraestructura de Red.....	106
Tabla. 35 Transmisor de Presión PT 355 y PT 356 a ubicarse para la entrada y la salida de la tubería del proceso. ....	122
Tabla. 36 Transmisor diferencial de Presión PDT 355 a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	124
Tabla. 37 Transmisor de temperatura a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	126
Tabla. 38 Indicador de presión a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.....	128

Tabla. 39 Indicador diferencial de presión a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.	130
Tabla. 40 Transmisor indicador de Flujo a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.....	132
Tabla. 41 RTD PT 100 con termopozo a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	134
Tabla. 42 Switch de vibración VSH 353 A y VSH 353 B a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. (Primera Parte).....	137
Tabla. 43 Fusibles ubicados en el MCC 002 A para el circuito de control de los motores del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.....	140
Tabla. 44 Controlador del PLC Control Logix 5555 ubicados en los PLC FWKO A y FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	142
Tabla. 45 Fuente de alimentación del PLC Control Logix 1756 ubicado en los PLC FWKO A y FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	143
Tabla.46 Módulo para Redundancia del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC WSSG-D (Rack 0 y 1) a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	145
Tabla. 47 Módulo para comunicación por protocolo Ethernet del PLC Control Logix 1756 ubicado en los PLC FWKO A, B y WSSG-D (Rack 0 y 1) a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	147
Tabla. 48 Módulo para comunicación por protocolo ControlNet del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC WSSG-D (Rack 0,1 y 2) y en el PLC MCC 002 A, a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	148
Tabla. 49 Módulo para comunicación por protocolo Data Highway del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC FWKO A y B, a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	149
Tabla. 50 Módulo para comunicación por protocolo ModBus RTU del PLC ControlLogix 1756 ubicado en el PLC WSSG-D (Rack 2), a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	150
Tabla. 51 Módulo de Entradas Análogas del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC FWKO A y FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	151
Tabla. 52 Módulo de Entradas Digitales del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.....	152
Tabla. 53 Módulo de Entradas Digitales del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC MCC 002A a utilizarse para las señales de potencia del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. ....	153
Tabla. 54 Módulo de Salidas Digitales del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC	

MCC 002A a utilizarse para las señales de potencia del Aero Enfriador	
WS-EX1-002 C/D. ....	154
Tabla. 55 Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D a implementarse.....	155
Tabla. 56 Descripción de los componentes del PLC FWKO A.....	157
Tabla. 57 Descripción de los componentes del PLC FWKO B.....	157
Tabla. 58 Conexión desde el dispositivo PT 355 hasta el tablero de conexiones.....	158
Tabla. 59 Conexión del dispositivo PT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A.....	159
Tabla. 60 Conexión desde el dispositivo PT 356 hasta el tablero de conexiones.....	160
Tabla. 61 Conexión del dispositivo PT 356 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A. ....	161
Tabla. 62 Conexión del dispositivo FIT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A. ....	162
Tabla. 63 Conexión del dispositivo FIT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A. ....	163
Tabla. 64 Conexión desde el dispositivo TT 355 hasta el tablero de conexiones.....	164
Tabla. 65 Conexión del dispositivo TT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A. ....	165
Tabla. 66 Conexión desde el dispositivo TT 356 hasta el tablero de conexiones.....	166
Tabla. 67 Conexión desde el dispositivo PDT 355 hasta el tablero de conexiones.....	167
Tabla. 68 Conexión del dispositivo PDT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B. ....	168
Tabla. 69 Conexión desde el dispositivo VSH 353 A hasta el tablero de conexiones.....	169
Tabla. 70. Conexión del dispositivo VSH 353 A desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.....	170
Tabla. 71 Conexión desde el dispositivo VSH 353 B hasta el tablero de conexiones.....	171
Tabla. 72 Conexión del dispositivo VSH 353 B desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.....	171
Tabla. 73 Conexión desde el dispositivo HS 002 C hasta el tablero de conexiones.....	172
Tabla. 74 Conexión del dispositivo HS 002C desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.....	173
Tabla. 75 Conexión desde el dispositivo HS 002D hasta el tablero de conexiones.....	174
Tabla. 76 Conexión del dispositivo HS 002 D desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.....	175
Tabla. 77 Descripción de los componentes del PLC MCC 002 A. ....	176
Tabla. 78 Conexión desde el Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002C hasta el Starter	

	xvi
MCC 002 A Section 2M.....	177
Tabla. 79 Conexión desde el Space Heater del Aero enfriador WS16-EX1-002C hasta el Starter MCC 002 A Section 2M.....	178
Tabla. 80 Conexión desde el Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002D hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.....	179
Tabla. 81 Conexión desde el Space Heater del Aero enfriador WS16-EX1-002D hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.....	180
Tabla. 82 Conexión desde el Hand Switch 100, del Aero enfriador WS16-EX1-002C hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.....	181
Tabla. 83 Conexión desde el Hand Switch 100, del Aero enfriador WS16-EX1-002D hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.....	182
Tabla. 84 Conexión interna del tablero de conexiones desde los distintos dispositivos hacia el slot de entradas análogas del PLC FWKO A. ....	192
Tabla. 85 Conexión interna del tablero de conexiones desde los distintos dispositivos hacia el slot de entradas análogas del PLC FWKO B. ....	193
Tabla. 86 Conexión interna del tablero de conexiones desde los distintos dispositivos hacia el slot de entradas digitales del PLC FWKO B. ....	195
Tabla. 87 Datos de temperatura correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014. ....	213
Tabla. 88 Datos de presión correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014. ....	214
Tabla. 89 Datos de activación de switchs de vibración correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014.....	214
Tabla. 90 Datos por fallas de alimentación correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014. ....	215
Tabla. 91 Tabla de resumen de todos los datos obtenidos del Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B. ....	216
Tabla. 92. Datos de temperatura correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D. ....	217
Tabla. 93 Datos de presión correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D. ....	218
Tabla. 94 Tabla de resumen de todos los datos obtenidos del Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D.....	219
Tabla. 95 Porcentajes de error de la temperatura de salida entre el Aero Enfriador WS16-EX1-002 A/B y WS16-EX1-002 C/D.....	220
Tabla. 96 Porcentajes de error de la presión de salida y la presión diferencial entre el Aero Enfriador WS16-EX1-002 A/B y WS16-EX1-002 C/D.....	221

## RESUMEN

El presente proyecto “Optimización del sistema de enfriamiento de agua en formación para el campo de extracción de crudo “Villano A” de la empresa Agip Oil Ecuador”, está enfocado en el desarrollo de una ingeniería conceptual, básica y de detalle. Satisface los requerimientos en cuanto a reducción de gastos económicos y recursos pedidos por la empresa. Busca reducir la temperatura de ingreso a través de la inclusión de un Aero Enfriador, el cual, es base fundamental del desarrollo del proyecto. A parte de los planos, diagramas, recomendaciones, tablas y demás especificaciones para la implementación del proyecto, se realiza una interfaz HMI que permite el manejo del sistema y se presentan los resultados obtenidos de las simulaciones para que el proyecto pueda implementarse a priori. Para obtener una visión óptima del desarrollo de la ingeniería se ha tomado especial cuidado en separar las diferentes etapas de la misma, planteando bases conceptuales y prácticas que permiten la elección de la mejor opción a implementarse, garantizando ante todo la seguridad de personas, equipos y medio ambiente.

Palabras claves:

- Optimización
- Sistema de Enfriamiento
- Aero Enfriador
- Ingeniería conceptual, básica y de detalle.
- Agip Oil Ecuador

## ABSTRACT

This project " Optimization from system of cooling water formation to field of oil extraction" Villano A " of Agip Oil Ecuador " is focused on the development of a conceptual, basic and detailed engineering. Meets the requirements in terms of reduced economic costs and resources requested by the company. Search temperature reduce income through of one Aero cooler, which is the fundamental basis of project development . A part of the drawings, diagrams, recommendations, tables and other specifications for the implementation of the project, an HMI interface for system management and results of simulations are presented for the project can be implemented. For optimal viewing of engineering development has taken special care to separate the different stages of it, raising conceptual foundations and practices that allow choosing the best option to be implemented, ensuring above all people security, equipment and environment.

### Keywords:

- Optimization
- Cooling System
- Aero Cooler
- Conceptual, Basic and Detailed engineering .
- Agip Oil Ecuador

## **CAPÍTULO I**

### **1. OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE AGUA EN FORMACIÓN PARA LA PLATAFORMA DE CRUDO VILLANO A DE LA EMPRESA AGIP OIL ECUADOR**

#### **1.1 ANTECEDENTES**

Desde la formación se extrae el crudo de los yacimientos, el mismo, que llega mezclado con agua, lodo, sólidos y demás elementos propios del subsuelo en el que se encuentra, después de realizar la separación de primera fase, el agua es enviada a los tanques de almacenamiento para luego su inyección. La inyección de agua en pozos contiguos a los que se extrae se realiza de manera que el agua permita la presión necesaria y a la vez ayude a que el crudo pueda ser extraído de mejor manera. Esto se da debido a que el crudo es más liviano que el agua y por ende tiende a estar por encima de la misma.

En la actualidad el agua que es separada y extraída en este proceso está en temperaturas aproximadas de 211 °F (99,4 °C), el agua por sí misma se evapora en pequeña cantidad de manera que crea un colchón de vapor que dificulta aún más su inyección.

El proceso consta de un flujo aproximado de 142. 000 BPDW (Barriles de agua por día) (Información suministrada por AGIP). El sistema actualmente consta de los siguientes equipos:

- 3 FWKO (Free Water Knock Out).
- 3 Aero enfriadores instalados a la salida de cada FWKO.
- 1 Aero enfriador instalado a continuación de los anteriores.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

La necesidad de la empresa es mantener o mejorar la temperatura de salida del agua para un flujo futuro aproximado de 165.000 BWPD (Barriles de Agua por día).

Un estudio previo consistió en una evaluación térmica y una evaluación hidráulica del sistema, dado para la operación actual y considerada para un flujo futuro destinado por Agip Oil Ecuador. De manera general, el estudio que será ampliado a priori determinó que la mejor opción para el mejoramiento del sistema consistía en la inclusión de un Aero enfriador general correspondiente a la segunda etapa con un “Hot Tap” (proceso que permite la perforación de un tanque sin que se detenga el funcionamiento, para la colocación de una brida y su línea de tubería) en el cabezal de recolección de agua en paralelo al ya

existente el mismo que no perjudica el proceso normal actual pero que contribuye de manera significativa al flujo futuro.

El proyecto resulta necesario ya que mientras más baja es la temperatura del agua resulta más fácil la inyección de ésta y por ende, optimiza la utilización de motores, aereos enfriadores y bombas de inyección. Es importante reducir la velocidad de erosión de las líneas de agua actuales y garantizar un uso óptimo de todos los elementos que intervienen en el proceso.

El proceso en la actualidad enfría un promedio de 19 °F (10,55°C), el aumento de 33.000 BWPD supone un aumento sustancial en la temperatura y por ende un consumo mayor de recursos físicos y económicos, con este proyecto, se busca minimizar al máximo estos costos.

## **1.3 OBJETIVOS**

### **1.3.1 Objetivo General.**

Desarrollar la ingeniería conceptual, básica y de detalle para la inclusión de un Aeroenfriador general en la segunda etapa del sistema de enfriamiento con un "Hot Tap" en el cabezal de recolección de agua para el campo de extracción de crudo Villano A de la empresa Agip Oil Ecuador.

### 1.3.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar los estudios térmicos e hidráulicos desarrollados previamente.
- Desarrollar la ingeniería conceptual del sistema para determinar la factibilidad del sistema a implementar.
- Realizar la ingeniería básica en base a la ingeniería conceptual desarrollada, que permita, conocer especificaciones, en cuanto, a equipos e instrumentación del sistema.
- Realizar la ingeniería de detalle analizando las especificaciones técnicas necesarias, con la cual, se establecerán todos los aspectos de montaje e implementación del proyecto.
- Desarrollar el software, tanto de la lógica de programación en RsLogix 5000 como del HMI en Intouch.
- Simular el sistema de manera que permita obtener una visión del sistema a implementarse posteriormente.

## **1.4 GENERALIDADES DE LA EMPRESA “AGIP OIL ECUADOR”**

### **1.4.1 AGIP OIL Ecuador.**

Agip Oil Ecuador B.V. (A.O.E), es una empresa transnacional petrolera perteneciente al Grupo ENI, mismo que está presente en alrededor de 70 países y con una plantilla de 73.000 empleados, trabaja como compañía de energía integrada, ya que opera con petróleo y gas. Se encuentra presente en el Ecuador desde Febrero del 2000 y su actividad se centra alrededor del Bloque 10 de la Selva Amazónica Ecuatoriana (Ver Figura. 1).

Agip Oil Ecuador entrega al SOTE (Sistema de Oleoducto Transecuatoriano) y al OCP (Oleoducto de Crudo Pesados), a través de la terminal Baeza, la separación y producción de crudo en CPF extraídos desde las plataformas de Villano A y Villano B. La empresa cuenta con sus oficinas principales en Quito, encargadas de los servicios y procesos tanto económicos como de ingeniería.

### **1.4.2 Descripción de la Empresa.**

Agip Oil Ecuador B. V. cuenta con plataformas de exploración denominadas Villano A y Villano B, una central de procesos CPF, una oficina comunitaria en la localidad del Puyo y sus oficinas de ingeniería y negocios en Quito.





#### **1.4.4 Misión.**

Velar por los valores de los accionistas, mientras se facilita las operaciones de exploración y producción en Ecuador, en una manera responsable y segura siempre respetando el medio ambiente y la cultura local. Como parte de un grupo más grande, se tiene que contribuir de una manera positiva a los objetivos de los negocios de ENI.

#### **1.4.5 Filosofías de trabajo, salud y medio ambiente.**

La protección de la vida humana es la más alta prioridad, y las acciones que se tomen en cuanto al proceso y el uso de equipos deben garantizar el respectivo cuidado para el medio ambiente. Además, sus políticas ambientales pueden resumirse en las siguientes:

- Respetar y cumplir, las leyes y regulaciones ambientales ecuatorianas aplicables.
- Desarrollar y mantener planes de respuesta ante emergencias para asegurar acciones oportunas y eficaces para minimizar los impactos ambientales.
- Usar sistemas eficientes de energía y minimizar las descargas de desechos al ambiente de acuerdo con la viabilidad económica y la tecnología apropiada.

- Ejecutar sus actividades de exploración y producción evaluando los impactos ambientales y llevando a cabo prácticas y procedimientos adecuados con las políticas de ENI y de acuerdo a las normas de la industria petrolera.
- Asegurar un ambiente de trabajo seguro y saludable para sus empleados, contratistas y visitantes.

### **1.5 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE INYECCIÓN DE AGUA.**

Al extraer el crudo con bombas electro sumergibles del subsuelo, se extrae junto a este también:

- Agua y
- Gas.

Al material se le inyecta:

- Demulsificante.
- Anticorrosivo y
- Antiescala.

Con la finalidad que actúen en el bombeo posterior desde Villano A y Villano B hacia CPF. Luego se procede a una etapa de separación, el agua separada se la inyecta nuevamente en el subsuelo, para que forme un colchón de agua que permita empujar por desplazamiento de flujos al crudo, debido a que, el agua es más densa que el crudo y tiende a depositarse en la parte inferior del mismo. La base del proceso se lo puede observar en la Figura. 3.

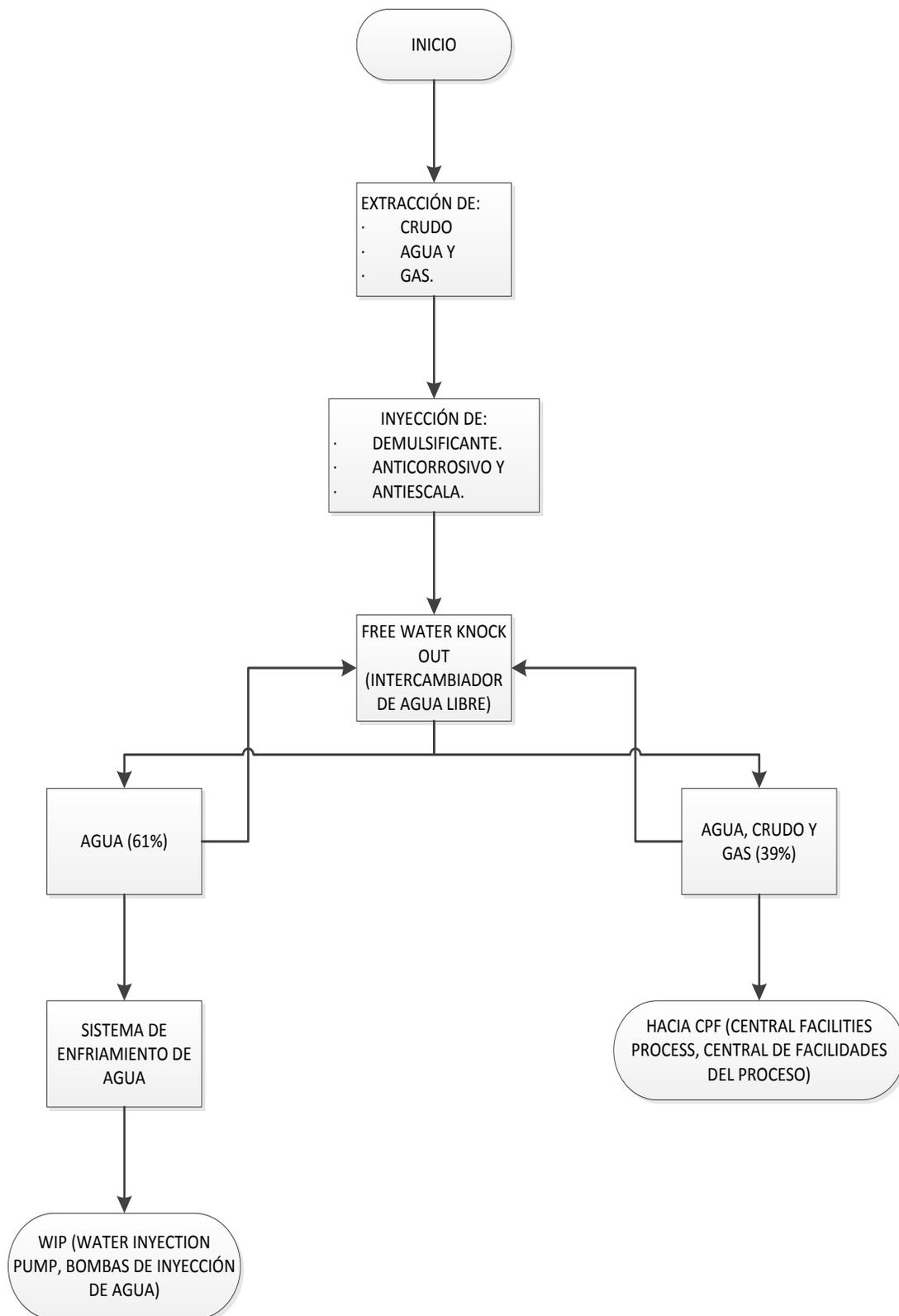
La implementación de un nuevo Aero Enfriador supone algunos cambios dentro del proceso actual de enfriamiento y posterior inyección de agua. En la Tabla. 1 se observan las principales ventajas y desventajas de este nuevo proyecto. En la misma, existen más ventajas que desventajas y además se abre la posibilidad de mejorar la producción ya sea por aumento de flujo de inyección de agua o por consumo de energía.

Luego se procede al proceso de separación que consiste en el ingreso del crudo al FWKO (Free Water Knock Out, Separador de agua libre), en este ingresa el fluido choca contra una barrera metálica se precipita a presión y por la acción de la densidad el agua tiende a depositarse en el fondo desplazando al crudo hacia arriba y el gas sale por la parte superior, el crudo cuando llega al nivel de controles vertido sobre bandejas distribuidas sobre cinco cámaras en las cuales se controla el nivel (Ver Figura. 4) y estas se dirigen por medio de líneas y válvulas hacia los tanques Skimmer, los cuales son tanques de almacenamiento que permiten la separación por reposo, posteriormente el

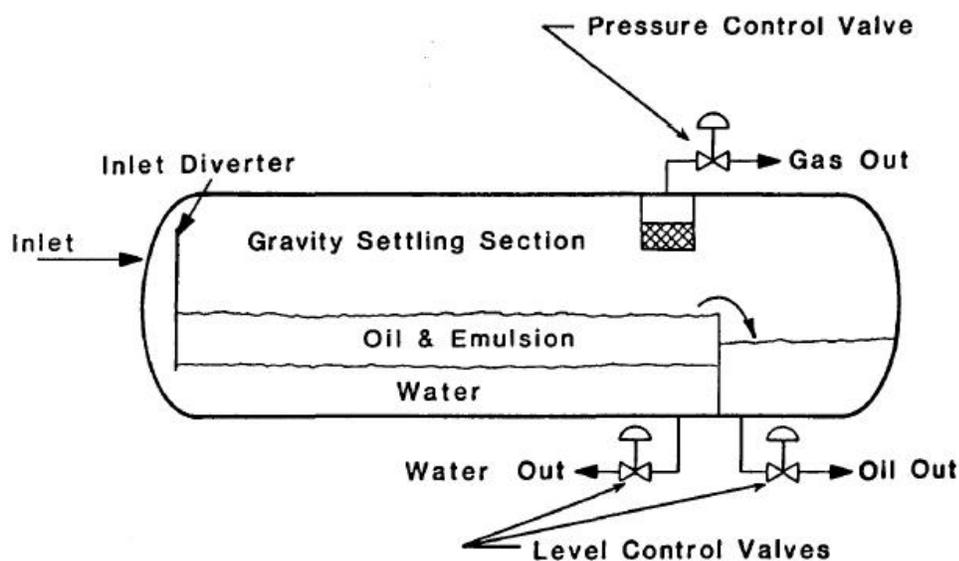
crudo se lo transporta a CPF (Central Process Facilities, Central de Facilidades de Procesos) donde se llega a obtener crudo con menos del 1% de agua, apto para la distribución hacia el SOTE (Sistema de Oleoducto Transecuatoriano).

**Tabla. 1 Ventajas y desventajas de la implementación de un Nuevo Aero Enfriador.**

Ventajas	Desventajas
<p>Facilita el trabajo de bombas de extracción, disminuyendo el consumo de potencia eléctrica y reduciendo a su vez costos en cuanto a perforación.</p>	<p>Costos en cuanto a diseño e implementación. Mantenimiento periódico, limpieza y monitoreo del nuevo Aero Enfriador.</p>
<p>Las bombas WIP (Water Injection Pump, Bombas de Inyección de Agua) consumen alrededor de 600 KW/h, actualmente se cuenta con 9 bombas WIP, al reducir la temperatura se inyectarían alrededor de 10.000 BWPD más, con la utilización de las mismas 9 bombas.</p>	
<p>Si se quiere reducir el consumo de energía se apagaría una de las bombas o hasta dos si fuera el caso, reduciendo 14.400 KW al día por cada bomba.</p>	



**Figura. 3 Esquema del Proceso de Inyección de Agua.**



**Figura. 4 Esquema del FWKO (Free Water Knock Out o Separador de Agua Libre). Fuente: <http://www.oilngasseparator.info/oil-handling-surfacefacilities/oil-and-water-separation/horizontal-three-phase-separator-part-1.html>**

## **1.6 CONCEPTO DE OPTIMIZACIÓN ENFOCADA A LA MEJORA DE PROCESOS DE PRODUCCIÓN**

Optimización es el proceso de realizar mejor alguna actividad, minimizando la utilización de recursos y maximizando las ganancias del producto final. Este proceso consta de varias etapas y consiste en el tratamiento de las distintas opciones de un concepto inicial que por medio de información y datos obtenidos con la presencia o no de un problema, permita el mejoramiento de dicho elemento, minimizando el costo, consumo eléctrico, personal utilizado, entre otros factores que determinan que un proceso pueda ser mejorado o no.

La optimización se da cuando el problema o proceso presenta distintas opciones para su resolución y la selección de la opción más adecuada constituye el primer paso de optimización. El término “mejor solución” implica que hay más de una solución al problema y que cada respuesta constituye valores que no son iguales. También implica que una solución puede ser relativa con respecto a otra si no se toma en cuenta el objetivo final del proceso.

El seleccionar dicha solución se plantea primero ajustar las entradas (parámetros) de este dispositivo o proceso para que el resultado final (salida o costo del producto) sea el que garantice el funcionamiento continuo y cumpla con todos los requerimientos o con la mayoría de estos. Los procesos de ingeniería por si mismos ya proponen un modelo de optimización, debido a que la ingeniería utiliza la optimización para dar solución a problemas reales, factibles de solución e implementación a nivel de usuario.

### **1.7 METODOLOGÍA DEL PROYECTO (BASE CONCEPTUAL, MÉTODO: SEIS-SIGMA)**

Al enfocarse en un método que permita la selección objetiva es pertinente aclarar que la elaboración de los productos en el área industrial involucran principalmente tres etapas: la entrada (personal, material, equipo, políticas, procedimientos, métodos y el medio ambiente), realización del producto o servicio (proceso) y la salida (brindar un servicio y/o elaboración de un producto). Dos de éstas tres etapas serán realizadas la última no está

contemplada dentro de este proyecto, debido a que la implementación no es realizada directamente por Agip Oil Ecuador, esta implementación, estará a cargo de una empresa externa especialista en montaje de proyectos electrónicos, mecánicos y civiles.

Dentro de estas etapas se comenten errores, en cuanto a la utilización de recursos innecesarios vistos desde una mejora continua del proceso pero justificables en la operación actual, debido a que este proceso no resulta ser crítico dentro del objetivo final que es brindar un crudo de calidad al SOTE.

Los defectos que se producen en cada etapa del proceso general son creados generalmente en una etapa anterior, de ahí la importancia de minimizar los errores porque resultan ser acumulativos y casi nunca lineales, llegando a variaciones grandes en el resultado final, esto toma un tiempo adicional para la prueba, análisis y reparación, de dicho problema.

En este proyecto se enfoca la optimización del proceso de inyección de agua en formación, que minimice la cantidad de errores producidos antes del mismo, pero no garantiza la mejora integral de la producción de crudo, mejora una de las actividades complementarias que incluye costos económicos que pueden ser mejor canalizados en otra área que podría resultar crítica, sirviendo para precautelar el ahorro energético, resultado que sería crítico el momento de

llegar a necesitar más energía o si se producen fallas en la red eléctrica de la planta y no se puede contar al cien por ciento con la capacidad energética.

Este tipo de actividades adicionales (inyección de agua) requieren espacio, equipo, materiales y personal. Existen metodologías que ayudan a la prevención de errores en los procesos industriales, siendo una de ellas la Seis-Sigma ( $6\sigma$ ), que es una de las metodologías más utilizada por las empresas pioneras de producción a nivel mundial y que lleva años mejorando la calidad de los productos de cualquier tipo y en cualquier industria del mundo.

La mejora del proceso por medio de la metodología Seis-sigma, se elabora en base a una serie de pasos que se muestran a continuación:

1. Definir el producto y/o servicio.

El servicio está enfocado en enfriar el agua que posteriormente se inyecta a pozos contiguos a los que se extrae el crudo.

2. Identificar los requisitos de los clientes o del proceso.

Los requisitos principales son:

- Mantener o reducir la temperatura de ingreso hacia los tanques Skimmer.

- Mantener o aumentar la cantidad de barriles de agua diarios a inyectarse.
- Mantener la presión, flujo y temperatura dentro de parámetros estables en el proceso.
- No interrumpir el proceso normal de producción, realizando la implementación, pruebas y puesta en marcha del o los equipos sin la necesidad de parar algún dispositivo, elemento, PLC o cualquier sub proceso o proceso adicional crítico o no del campo.
- Controlar el proceso por medio de interfaces de usuario en locaciones remotas o Work Station (puestos de trabajo).

### 3. Comparar los requisitos con los productos obtenidos.

- Actualmente se cuenta con una inyección aproximada de 142.000 BWPD con una temperatura de entrada de 211 °F (99,4 °C) y con una salida aproximada de 192 °F (88,85 °C).
- Para el flujo estimado de 165.000 BWPD con la inclusión de un nuevo Aero Enfriador sea en la primera o segunda etapa del proceso se mantiene o mejora la temperatura aproximada de salida.
- Con la misma cantidad de flujo de 142.000 BWPD, se puede apagar una o dos bombas WIP con un ahorro energético de 14.400 KW al día por cada bomba.

### 4. Describir el proceso.

El sistema actualmente consta de los siguientes equipos:

- 3 FWKO (Free Water Knock Out).
- 3 Aero enfriadores instalados a la salida de cada FWKO.
- 1 Aero enfriador instalado a continuación de los anteriores.

Las opciones a evaluarse plantean, primero, la inclusión de un nuevo Aero Enfriador en la primera etapa del proceso, segundo, la inclusión de un Aero Enfriador general de segunda etapa, tercero, la inclusión de ambos. Las opciones son excluyentes una de otra, por ende, la selección será únicamente de una de ellas.

#### 5. Implementar el proceso.

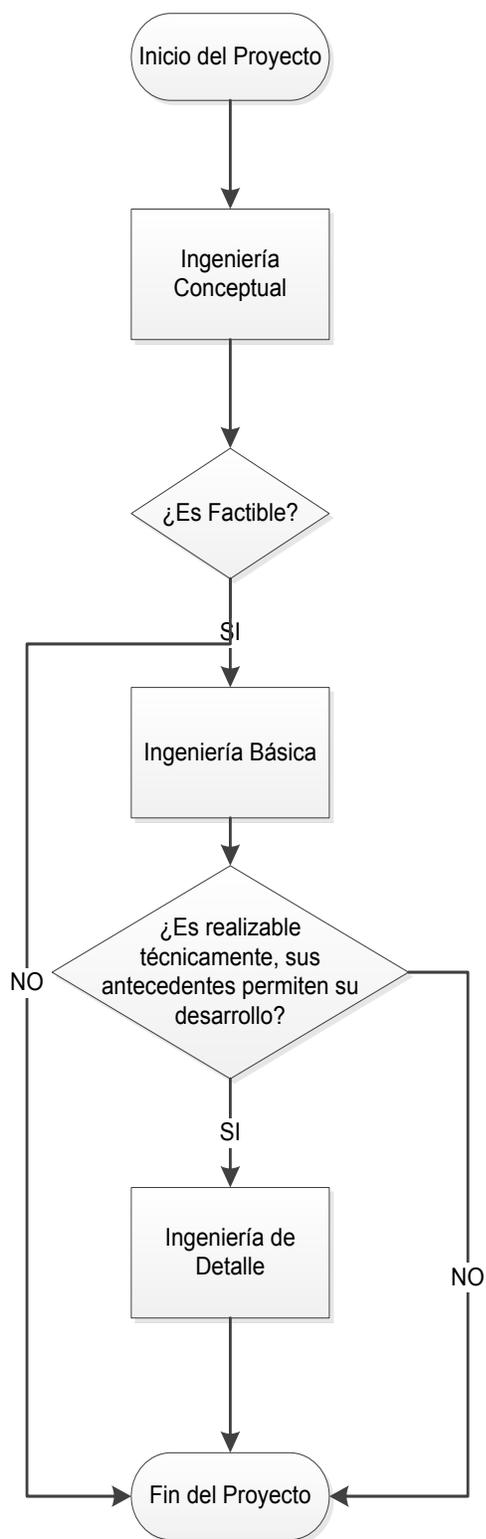
No aplicable físicamente dentro de este proyecto de titulación. Simulado en base a una secuencia de pruebas y resultados que permitirán obtener una visión general del resultado del proceso.

#### 6. Medir la calidad del producto y proponer mejoras del proceso.

La medición no será aplicable físicamente dentro de este proyecto de titulación, pero las recomendaciones y conclusiones expresarán y fundamentarán mejoras futuras para el proceso.

Para el desarrollo de un proyecto es necesario considerar la ingeniería conceptual, básica y de detalle, la Figura. 6 muestra cómo se relacionan éstas dentro del proyecto como tal.

Este proceso junto con el método de Seis- Sigma se relacionan uno con el otro, no resulta en ningún caso la implementación de los mismos, ser excluyente, los fundamentos de optimización se basan en el método Seis-Sigma y la ingeniería de todos los elementos que forman parte del proceso, el seleccionar los mejores materiales, determinar conexiones, opciones de implementación, señales, tags y demás son definidos y separados de manera que sigan el proceso de ingeniería conceptual, básica y de detalle, mismo que es aplicado en la mayoría de empresas que necesiten, implementen o diseñen un proceso dentro del ámbito industrial, este conjunto, resulta muchas veces imperceptible para quienes trabajan a diario con el desarrollo de proyectos sean pequeños o grandes, pero necesario para entender la importancia de mantener una secuencia lógica y coherente permitiendo encontrar errores en el momento de diseño minimizando los posibles errores de implementación, que regularmente generan si no son corregidos en esta etapa, mal funcionamiento del proceso y por ende, un producto final defectuoso.



**Figura. 5. Esquema secuencial del desarrollo de un proyecto.**

## CAPÍTULO II

### 2. INGENIERÍA CONCEPTUAL.

Es la primera etapa luego de que se plantea la necesidad del proyecto, se realiza básicamente un estudio térmico e hidráulico que muestra la posible realización del proyecto para un caso actual o para un caso futuro de agua, con la infraestructura actual y con una posible adaptación y mejoramiento del sistema de enfriamiento, se presentan diversas opciones y como se especificó anteriormente, muestra en detalle ¿Cuál resultaría la mejor opción?, ya sea por viabilidad técnica, económica, problemas con las líneas de tubería, problemas de erosión, espacio físico, entre otras características propias de este proyecto.

Consiste en determinar entre otros aspectos, ¿Si es factible o no el proyecto? La mayoría de los proyectos pueden no ser realizados y pueden venirse abajo en esta etapa. Se puede acotar que se analizó en detalle este estudio previo para la consecución de este proyecto de optimización.

#### 2.1 ESTUDIO PREVIOS: TÉRMICOS E HIDRÁULICOS.

Agip Oil Ecuador recibió el estudio de parte de una empresa externa, el estudio contempla escenarios futuros para varios casos de implementación y

queda a consideración de Agip Oil Ecuador la elección del sistema que mejor se acople a las especificaciones técnicas y económicas de la empresa.

Este informe se entregó el 05 de Febrero del 2013, y contempla escenarios de evaluaciones tanto térmicas como hidráulicas, para un posible aumento de flujo de agua desde 142.000<sup>1</sup> BWPD (Barriles de Agua por día) a 165.000 BWPD<sup>1</sup> pertenecientes al sistema de enfriamiento de la plataforma Villano A. Dado el caso, resulta necesario plantear el escenario actual, el mismo que como se puede observar en la Figura. 6, está funcionando correctamente pero necesita una optimización y mejoramiento tanto de recursos físicos como de energía, ya que el aumento de flujo traería consigo problemas de erosión sobre tuberías y un trabajo excesivo para el Aero enfriador de segunda etapa.

La inyección de agua en pozos contiguos a los que se extrae se realiza de manera que el agua permita la presión necesaria y a la vez ayude a que el crudo pueda ser extraído de mejor manera. Esto se da debido a que el crudo tiene una densidad de entre 0,66 g/ml (gramo sobre mililitro) y 0,95 g/ml siendo menor al agua que tiene 1 g/ml.

El sistema actualmente consta de los siguientes equipos:

- 3 FWKO (Free Water Knock Out).
- 3 Aero enfriadores instalados a la salida de cada FWKO.

---

<sup>1</sup>Información suministrada por el departamento de Producción de Agip Oil Ecuador.

- 1 Aero enfriador instalado a continuación de los anteriores. (Ver Figura. 6)

La salida de este último Aero enfriador llega a los tanques Skimmer (tanques de reserva de agua para decantación y separación de sedimentos) por una línea de Ø 10" (10 pulgadas de diámetro) misma que se podría modificar debido a que el flujo aumentaría de manera significativa.

Es importante reducir la velocidad de erosión de las líneas de agua actuales y garantizar un uso óptimo de todos los elementos que intervienen en el proceso.

Para el caso de estudio se tomaron como consideraciones generales las siguientes:

- El sistema actual maneja un flujo aproximado de 142.000 BWPD, se estima un flujo futuro de 165.000 BWPD.
- Se elaboró un "RATING" (Escala que especifica el rango de valores en base a información conocida), con los Aero enfriadores actuales para extrapolarlos a futuro.
- La velocidad en las líneas no debe exceder la velocidad de erosión de 12.8 ft/ s (pies por segundo).
- Se considera utilizar en lo posible equipos similares a los actuales.

Las opciones que generalmente se plantean en este estudio contemplan:

- La implementación de un nuevo Aero enfriador general en paralelo al Aero enfriador existente en la segunda etapa.
- La implementación de un nuevo Aero enfriador en paralelo a los tres existentes en la primera etapa.
- La implementación de los dos casos expuestos anteriormente.

## **2.2 PROPUESTAS PLANTEADAS.**

Se consideraron dos opciones en el estudio térmico. La primera plantea adicionar un Aero enfriador similar al ya instalado en la segunda etapa, es de consideración, que este enfriador en caso físico, práctico y técnico es mucho más grande que los de la primera etapa. La segunda, plantea la implementación de un Aero enfriador similar a los tres ya instalados en la primera etapa.

Las opción 1 reduce la temperatura en 3 °F (189°F, 87.22°C, a la salida del sistema), y la opción 2 lo hace en 5 °F (187 °F, 86,11°C a la salida del sistema), se evitaría así, problemas de NPSH (Presión de Cabeza) en las Bombas Booster (Bombas de aumento de presión) de agua y problemas posibles de vibración. La mejora de 2 °F obtenidos con la opción 2 no resultaría atractiva debido entre otros aspectos a: costo, espacio, dificultad de implementación, múltiples tie ins(cortes de tubería para realizar nuevas

conexiones) en caliente o también llamado Hot Tapping, equipos, instrumentación y diseño general adicional.

En el estudio hidráulico se propuso 5 casos para su simulación, con una velocidad de erosión de 12,8 ft/s (pies por segundo), se considera un punto crítico con una tubería de  $\varnothing$  10" ubicado a la salida de los tres Aero enfriadores de primera etapa, con velocidades posibles de hasta 20,25 ft/s.

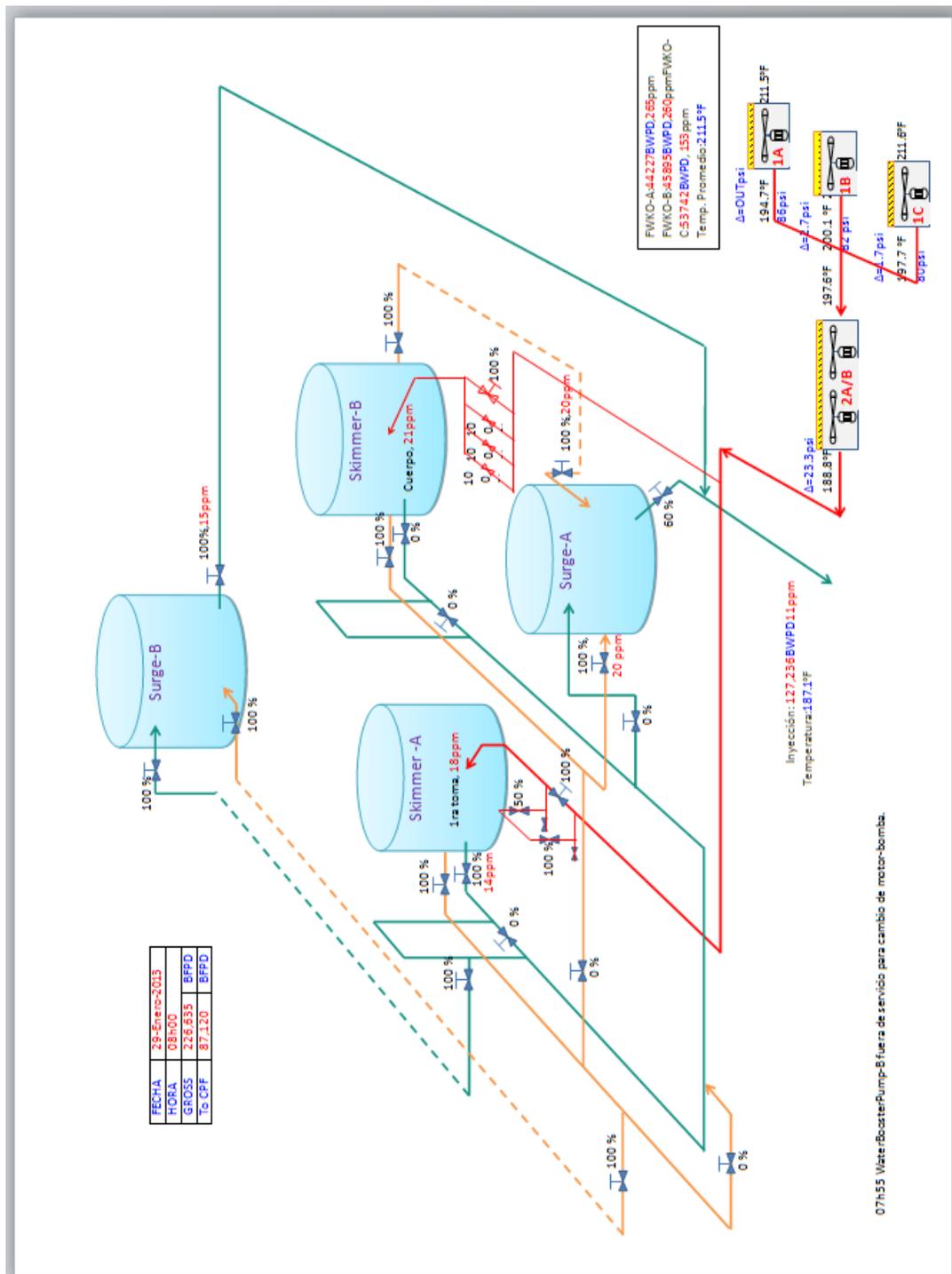
Los casos se conforman de simulaciones del sistema con variaciones de presión y flujo para casos actuales y futuros.

Es importante mencionar que se consideraron líneas independientes de salida de los Aero enfriadores de segunda etapa que se conectan a los tanques Skimmer, ya que como se menciona una tubería de  $\varnothing$  10" resultaría insuficiente para el flujo propuesto.

### **2.3 EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES PRESENTADAS DENTRO DEL ESTUDIO TÉRMICO.**

La Tabla. 2, muestra los cambios posibles de temperatura para un flujo de 165.000 BWPD, como se observar al colocar un Aero enfriador en paralelo a los tres existentes en la primera etapa se llega a una mejora de 2,4°F.

**Figura. 6. Sistema de Enfriamiento plataforma Villano A. Fuente: Información suministrada por el departamento de Producción de Agip Oil Ecuador.**



Pero considerando el costo y además lo difícil de la implementación, debido entre otras causas, al espacio físico actual y la adecuación de un rack adicional para las tuberías de ingreso.

Además por supuesto, de las conexiones eléctricas a colocar, no resultaría adecuado un gasto de recursos económicos y de equipos de esta magnitud.

**Tabla. 2 Cuadro comparativo de temperatura para las propuestas planteadas en el estudio térmico.<sup>2</sup>**

Propuestas Planteadas	Temperatura de entrada al sistema de enfriamiento actual, °F	Temperatura de entrada al enfriador de segunda etapa, °F	Temperatura de entrada al Aero de etapa, de agua entrante a tanques Skimmer, °F
Opción 1. Un nuevo Aero enfriador en paralelo al ya existente en la segunda etapa.	211	202,4	189
Opción 2. El Aero enfriador de la opción 1 y adicional un nuevo Aero enfriador en paralelo a los tres existentes en la primera etapa.	211	200	187

<sup>2</sup>Datos suministrados por Agip Oil Ecuador.

Como se observa en la Tabla. 3, la presión de vapor mejora en 0,39 PSI pero no representa una ventaja, de cualquier forma, las opciones propuestas mejoran el ingreso actual de presión de vapor de agua que es de 9,75 PSI.

**Tabla. 3 Cuadro comparativo de la temperatura (°F) vs la presión de vapor de agua (PSI).<sup>3</sup>**

Propuestas Planteadas	Temperatura de agua entrante a tanques Skimmer, °F	Presión de vapor de agua, PSI
Opción 1. Un nuevo Aero enfriador en paralelo al ya existente en la segunda etapa	189	9,14
Opción 2. El Aero enfriador de la opción 1 y adicional un nuevo Aero enfriador en paralelo a los tres existentes en la primera etapa	187	8,75

### 2.3.1 Matriz de evaluación para la selección de la mejor propuesta dentro del Estudio Térmico.

En el proceso de selección de propuestas existen diversos criterios para escoger una alternativa u otra, las técnicas participativas para la planeación describen diversas matrices que sirven para la selección, entre ellas tenemos:

<sup>3</sup> Datos suministrados por Agip Oil Ecuador.

matriz del rango de actuación, matriz para tamizar ideas, matriz para valorar alternativas, y una matriz sistemática de valoración.

Cada una de éstas se enfocan en determinadas áreas, pero existe un arreglo adicional que resume de manera ordenada tres matrices que determinan la mejor estrategia o propuesta a seguir, los principales aspectos a evaluar se definen como: Viabilidad, Consistencia y Desarrollo, cada una con criterios de valoración diferentes.

Esta alternativa resulta atractiva el momento de contar con varias opciones y se desee valorarlas en base a distintos criterios, resultando ser muy completa. El arreglo de matrices para la evaluación de estrategias inicial fue modificado de manera que se adapte a los requerimientos del proyecto, se maneja el mismo procedimiento de valoración pero los criterios son adaptados de acuerdo al proceso que se realiza, para este caso, tenemos:

- **Matriz A. Viabilidad:** Se refiere a la capacidad de realización. Determina que tan complicado o fácil resulta conseguir la inversión necesaria para su desarrollo. Los criterios a evaluarse son el técnico y el económico. (Ver Tabla. 5 y Tabla. 12)
  - Viabilidad Técnica: Determina la complejidad de la implementación de un equipo, instrumento o elemento electrónico,

mecánico u obra civil. Además se observa que tan bien la propuesta reacciona y se adapta positivamente al ambiente actual de desempeño del sistema.

- Viabilidad Económica: Si con los mínimos costos se obtiene los mejores beneficios, la viabilidad resulta ser óptima. Intenta valorar monetariamente el costo de la opción a elegir.
  
- **Matriz B. Consistencia:** Establece la congruencia con el desarrollo interno de la organización, determina que tan complicado resulta para el personal la adaptación a un nuevo sistema, analizando la estructura y potencialidades que deben o ya tiene desarrollada la empresa. La adaptación rápida pero a la vez precisa del sistema en gran parte depende del grupo humano que lo controle, evaluando el tiempo y capacitación que se necesitará con uno o más elementos a implementarse. Se valoran tres criterios (Ver Tabla. 6 y Tabla. 13):
  - Adaptación: El acomodarse a nuevos instrumentos, la capacidad de aprender o desaprender, el grado de flexibilidad, requiere el rediseño de al menos una actividad, el cambio de realización del mismo proceso puede producir un nuevo procedimiento a tomar en cuenta. Por ende, se debe estimar la velocidad de respuesta del personal y de la empresa para volver a estabilizar el proceso.

- Capacitación: Si el personal con la capacitación existente puede desarrollar el mismo proceso sin necesidad de alguna inducción o explicación adicional, el capacitar de alguna forma adicional al personal incluye tiempo y costo para la empresa, además que no garantiza el desenvolvimiento óptimo a corto plazo sino más bien a mediano o largo plazo dependiendo del tiempo de capacitación.
- Comunicación: Pretende valorar la puesta en marcha de cierta opción, evalúa las dificultades generadas debido a la coordinación y aceptación de criterios en diferentes áreas dentro de la empresa ya sea en ámbitos de un mismo nivel o niveles superiores o inferiores de la organización. Específicamente, para este caso, está enfocada en la comunicación entre el departamento de ingeniería, mantenimiento y producción directamente y otros departamentos que se relacionan indirectamente dentro del proyecto.
- **Matriz C. Desarrollo:** Plantea la valoración en base a que tanto mejora el sistema actual y su proyección hacia el futuro, si es capaz de mantenerse por algunos años, los más posibles para que la propuesta resulte ser la más duradera y no tenga que ser modificada o cambiada a menos que resulte necesario (Ver Tabla. 7 y Tabla. 14).

- Finalidad: La opción que recoja la mayor cantidad de requerimientos en lo posible todos los propuestos por parte de la empresa.
- Autonomía: Plantea evaluar la independencia de un sistema con respecto a otro, la dependencia hacia algunos procesos, limita la capacidad de manipular dicho equipo, ya que se necesita considerar una cantidad mayor de parámetros iniciales.
- Autocontrol: La posibilidad de evitar al mínimo el manipular los parámetros y que el proceso funcione el mayor tiempo posible sin necesidad de la inclusión del recurso humano, sea por operación, mantenimiento o calibración, evalúa cual es la opción más adecuada a implementar.

Los valores están relacionados en base al porcentaje de cumplimiento de cada criterio, siendo el número de mayor valor el que recoge mejor todos los requerimientos de dicho criterio, como lo muestra la Tabla. 4.

**Tabla. 4 Calificación y valor respectivo para la evaluación dentro de cada matriz de selección de propuestas.**

Calificación	Valor
<b>Alto</b>	10
<b>Medio Alto</b>	9
<b>Medio</b>	8
<b>Medio Bajo</b>	7
<b>Bajo</b>	6

<b>A. Viabilidad</b>		
Opciones: Estudio Técnico.		
Criterios	Opción 1	Opción 2
<b>Técnica</b>	10	8
<b>Económica</b>	10	8
<b>Total:</b>	<b>20</b>	<b>16</b>

**Tabla. 5 Matriz A. Viabilidad. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Técnico.**

<b>B. Consistencia</b>		
Opciones: Estudio Técnico.		
Criterios	Opción 1	Opción 2
<b>Adaptación</b>	10	8
<b>Capacitación</b>	9	8
<b>Comunicación</b>	10	8
<b>Total:</b>	<b>29</b>	<b>24</b>

**Tabla. 6 Matriz B. Consistencia. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Técnico.**

<b>C. Desarrollo</b>		
Opciones: Estudio Técnico.		
Criterios	Opción 1	Opción 2
<b>Finalidad</b>	8	10
<b>Autonomía</b>	10	8
<b>Autocontrol</b>	8	10
<b>Total:</b>	<b>26</b>	<b>28</b>

**Tabla. 7 Matriz C. Desarrollo. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Técnico.**

El resultado final fue de 75 para la opción 1 y de 68 para la opción 2.

Siendo la mejor propuesta la: “Instalación de un Aero enfriador adicional en paralelo con el Aero enfriador existente en segunda etapa”.

La propuesta planteada no solo mejora la temperatura de salida de agua sino que también representa un ahorro de energía, garantiza una mayor vida útil del Aero enfriador actual debido a que el flujo manejado por el mismo es de 142. 000 BWPD, al colocar un Aero enfriador más en paralelo el flujo se repartiría equitativamente siendo de 82. 500 BWPD aproximadamente, lo cual, reduce 52. 500 BWPD a la entrada y a la salida del Aero enfriador actual, se ahorra el costo y la frecuencia de mantenimiento, la potencia consumida, dado el caso, el área de generación reduciría su producción de energía debido a que los motores que conforman los generadores funcionan algunos con crudo y otros con diésel, y sabiendo que su consumo se reduciría, se ahorran recursos y dinero para la empresa.

## **2.4 EVALUACIÓN DE LAS OPCIONES PRESENTADAS DENTRO DEL ESTUDIO HIDRÁULICO**

El estudio hidráulico plantea 5 opciones de simulación donde se analizan los casos propuestos para el flujo actual y el flujo futuro tomando en cuenta los datos iniciales proporcionados por AGIP. Los principales parámetros para el Caso 1 se presentan en la Tabla. 8.

Como se puede observar en la Tabla. 8, se considera una variación de presión constante para cada uno de los FWKO de 5 PSI y un flujo constante de 47.333 BWPD. Estos valores se colocan de manera que permitan visualizar un caso hipotético e ideal en el que cada FWKO maneje la misma cantidad de flujo, lo cual, no es real, pero permite una apreciación en cuanto a las variaciones reales del sistema que se encuentra actualmente instalado.

**Tabla. 8 Parámetros de simulación para el caso 1. Fuente: Departamento de Producción de Agip Oil Ecuador, 28 de Enero del 2013**

FWKO (Free Water Knock Out)	Temperatura de salida del FWKO (°F)	Aero enfriador (Air Cooler)	Temperatura de salida del Aero enfriador (°F)	Variación de presión ( $\Delta P$ en PSI )	Flujo en BWPD
<b>WS16- VE1- 001A</b>	211,3	WS16-EX1- 001A	203,6	5	47.333
<b>WS16- VE1- 001B</b>	211,2	WS16-EX1- 001B	200,1	5	47.333
<b>WS16- VE1- 001C</b>	211,2	WS16-EX1- 001C	197	5	47.333
-	-	WS16-EX1- 002	192	26	142.000

Para el segundo caso se consideran parámetros más reales, que van de acuerdo con las condiciones que se manejan en el ambiente laboral, el campo que se encuentra en Villano A presenta características de temperatura y humedad que pueden afectar el flujo ideal planteado en el primer caso. Con esta acotación, los parámetros de simulación para el caso 2 se presentan en la Tabla. 9.

**Tabla. 9 Parámetros de simulación para el caso 2. Fuente: Departamento de Producción de Agip Oil Ecuador, 28 de Enero del 2013.**

FWKO (Free Water Knock Out)	Temperatura de salida del FWKO (°F)	Aero enfriador (Air Cooler)	Temperatura de salida del Aero enfriador (°F)	Variación de presión ( $\Delta P$ en PSI )	Flujo en BWPD
<b>WS16- VE1- 001A</b>	211,3	WS16-EX1- 001 A	203,6	6,3	63.900
<b>WS16- VE1- 001B</b>	211,2	WS16-EX1- 001B	200,1	3,2	45.860
<b>WS16- VE1- 001C</b>	211,2	WS16-EX1- 001C	197	1,53	31.800
-	-	WS16-EX1- 002	192	26	142.000

El flujo total considerado es el mismo para el primer caso (142.000 BWPD) y los flujos de cada equipo están en base a la variación de presión de cada uno de estos.

Para el caso 3, se plantea un flujo de 165.000 BWPD, por consiguiente la variación de presión y a su vez el flujo se verán alterados, además se plantea la inclusión de una “T” en la línea WS-16-C10-10-328-1”PP (Línea de entrada al Aero Enfriador de segunda etapa) misma que permite una caída de presión de 8 PSI además se toma en cuenta que esta “T” estaría ubicada a 65,21 ft (20 metros) de este nuevo Aero enfriador, además reemplazaría a un codo de 90° que era utilizado en esta línea de tubería. Los parámetros utilizados se muestran en la Tabla. 10.

**Tabla. 10 Parámetros de simulación para el caso 3 y 4. Fuente: Departamento de Producción de Agip Oil Ecuador, 28 de Enero del 2013.**

FWKO (Free Water Knock Out)	Temperatura de salida del FWKO (°F)	Aero enfriador (Air Cooler)	Temperatura de salida del Aero enfriador (°F)	Variación de presión ( $\Delta P$ en PSI )	Flujo en BWPD
<b>WS16- VE1-001A</b>	211,3	WS16-EX1- 001 A	203,6	6,3	74.250
<b>WS16- VE1-001B</b>	211,2	WS16-EX1- 001B	200,1	3,2	53.295
<b>WS16- VE1-001C</b>	211,2	WS16-EX1- 001C	197	1,53	36.960
-	-	WS16-EX1- 002	189	8	82.500
-	-	WS16-EX1- 002B (nuevo)	189	8	82.500

El caso 4, plantea la inclusión de un Aero enfriador en paralelo al ya existente en la segunda etapa con un arreglo por medio de válvulas globo y un “hot tap” realizado sobre la línea WS-16-C10-10-328-1”PP (línea de entrada al Aero Enfriador de Segunda Etapa), al igual que el caso anterior se analiza para un flujo de 165.000 BWPD. El valor de los parámetros no cambia significativamente y se ven reflejados de forma casi idéntica por la Tabla. 10

**Tabla. 11 Parámetros de simulación para el caso 5. Fuente: Departamento de Producción de Agip Oil Ecuador, 28 de Enero del 2013.**

FWKO (Free Water Knock Out)	Temperatura de salida del FWKO (°F)	Aero enfriador (Air Cooler)	Temperatura de salida del Aero enfriador (°F)	Variación de presión ( $\Delta P$ en PSI )	Flujo en BWPD
<b>WS16-VE1-001A</b>	211,3	WS16-EX1-001 A	203,6	5	49.631
<b>WS16-VE1-001B</b>	211,2	WS16-EX1-001B	200,1	5	36.367
<b>WS16-VE1-001C</b>	211,2	WS16-EX1-001C	197	5	28.306
-	-	WS16-EX1-001D (nuevo)	200	5	50.178
-	-	WS16-EX1-002	189	8	82.500
-	-	WS16-EX1-002B (nuevo)	189	8	82.500

Para el último caso, se plantea la implementación de dos equipos, el primero será instalado en la primera etapa con características similares a los tres establecidos, y el segundo será colocado como se muestra en el caso 3 o en el caso 4, el primero supondría un manejo de flujo y velocidades menores en el tramo de convergencia de los Aero enfriadores A, B y C (WS16-EX1-001A/B/C) donde se alcanzan velocidades de hasta 20,25 ft/s, dadas las circunstancias el Aero enfriador WS16-EX1-001D (nuevo) será alimentado por un tercio del flujo de los FWKO (WS16-VE1-001A/B/C), esto se da a fin de equilibrar el flujo manejado por los cuatro Aero enfriadores, los parámetros utilizados se detallan en la Tabla. 11.

#### **2.4.1 Matriz de evaluación para la selección de la mejor propuesta dentro del Estudio Hidráulico.**

De igual manera por medio de las matrices de evaluación para selección, ocupadas dentro del Estudio Térmico (Ver Tópico 2.3.1.), se utiliza el mismo método de evaluación y con los mismos criterios se escoge la mejor opción.

Para las opciones 1 y 2 se obtuvo un valor de 56, para la opción 3: 67, para la opción 4: 70 y la opción 5: 56. Por ende, la mejor propuesta es la opción 4: “Aero enfriador en paralelo en segunda etapa con un “Hot Tap” en el cabezal de recolección general de agua”.

**Tabla. 12. Matriz A. Viabilidad. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Hidráulico.**

A. Consistencia Criterios	Opciones: Estudio Hidráulico.				
	Opción	Opción	Opción 3	Opción 4	Opción 5
	1	2			
<b>Adaptación</b>	7	7	8	9	6
<b>Capacitación</b>	7	7	8	9	6
<b>Comunicación</b>	7	7	8	9	6
<b>Total:</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>24</b>	<b>27</b>	<b>18</b>

**Tabla. 13. Matriz B. Consistencia. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Hidráulico.**

B. Viabilidad Criterios	Opciones: Estudio Hidráulico.				
	Opción	Opción	Opción	Opción	Opción
	1	2	3	4	5
<b>Técnica</b>	7	7	8	8	10
<b>Económica</b>	7	7	9	8	6
<b>Total:</b>	<b>14</b>	<b>14</b>	<b>17</b>	<b>16</b>	<b>16</b>

**Tabla. 14. Matriz C. Desarrollo. Matriz para la selección de la mejor opción a implementarse. Estudio Hidráulico.**

C. Desarrollo Criterios	Opciones: Estudio Hidráulico.				
	Opción	Opción 2	Opción	Opción	Opción
	1		3	4	5
<b>Finalidad</b>	7	7	8	9	10
<b>Autonomía</b>	7	7	9	9	6
<b>Autocontrol</b>	7	7	9	9	6
<b>Total:</b>	<b>21</b>	<b>21</b>	<b>26</b>	<b>27</b>	<b>22</b>

La mejor propuesta es la propuesta perteneciente al caso 4, es la que mejor recoge las especificaciones de la empresa, en los valores no se observa una mejora significativa ya que para el caso 3 y 4 se muestran los mismos parámetros, pero garantiza la operación continua de la planta y del proceso, no es necesario con el proceso de “Hot Tap” parar el flujo que se traslada a través de la línea WS-16-C10-10-328-1”PP (línea de entrada al Aero enfriador de segunda etapa), y por ende, no existe perjuicio económico alguno, ya que en una empresa de servicios petrolíferos como esta, cada minuto cuenta, y continuamente se trabaja con grandes cantidades de flujo de crudo.

## **2.5 CONSIDERACIONES GENERALES OBTENIDAS**

El estudio tanto térmico como hidráulico plantea casos preferenciales para la elección del proceso a implementar sin embargo se plantean alternativas y recomendaciones generales, ya sea para las mejores propuestas como para sus adicionales.

- En los FWKO B y C (WS16-VE1-001B/ C) se manejan flujos menores, en relación al FWKO A (WS16-VE1-001A), de cualquier manera las velocidades se encuentran dentro de los límites adecuados para la producción de la planta.
- En los casos 2, 3 y 4 del estudio hidráulico, después de la salida del FWKO A hacia el Aero enfriador A (WS16-EX1-001A) instalado después del mismo y a partir de este hacia la convergencia de los

Aero enfriadores A, B y C (WS16-EX1-001A) las velocidades son superiores a la velocidad de erosión de 12,8 ft/s.

- El mayor problema en cuanto a las velocidades de la líneas se presentan en el tramo al cual convergen los flujos de los Aero enfriadores A, B y C de primera etapa, estas velocidades con un flujo de 142.000 BWPD y un flujo de 165.000 BWPD son de 17,47 ft/s y 20,25 ft/s, muy superiores a la velocidad de erosión, lo cual, supondría un serio problema y desgaste sobre la tubería de Ø 10", es preferible cambiar la tubería debido a que está no tendría la capacidad suficiente para manejar dicha cantidad de flujo.
- Para el caso 3, se necesitará instalar una válvula globo aguas abajo de la "T" propuesta, si no sucediera así, el Aero enfriador de segunda etapa manejaría un flujo mayor al Aero enfriador a instalar, lo cual, no es recomendable debió a que su tiempo de vida útil se vería reducido.
- Se debe instalar un sistema compuesto por 2 válvulas globo para el caso 4, ya que si no se lo hace, el nuevo Aero enfriador a instalar en la segunda etapa, tendría que manejar un flujo superior al Aero enfriador existente.
- Con el caso 5, se analizó la posibilidad de instalar un Aero enfriador en la primera etapa, lo cual, supondría reducir la velocidad en la zona de convergencia de los FWKO A, B y C, donde existe el mayor problema de velocidad de erosión, pero ese no fue el caso, ya que

así se instaló este nuevo Aero enfriador se seguirán teniendo los mismos problemas.

- Es recomendable adecuar líneas de forma independiente para los Aero enfriadores de segunda etapa (Instalado y a instalar) hasta el punto más cercano a la distribución de los tanques Skimmer, ya que esto permitiría reducir velocidades elevadas de erosión en tramos grandes de tubería.

Luego de observar todos los detalles tanto térmicos como hidráulicos y considerando que este proceso es importante para la reducción de recursos, el proyecto resulta factible y se decide aprobar el proyecto por parte de Agip Oil Ecuador el mismo que consta en implementar un **Aero enfriador general en la segunda etapa, en lo posible similar al ya instalado, en paralelo a este último y con un “Hot Tap”** para evitar que el sistema de enfriamiento paralice su operación.

## **CAPÍTULO III**

### **3 INGENIERÍA BÁSICA**

Luego de la ingeniería conceptual y determinando la factibilidad del proyecto, es necesario pasar al siguiente paso.

La ingeniería básica, es la profundización, de la ingeniería conceptual, por ende, se detallarán los tópicos y diagramas a implementarse con el nuevo Aero Enfriador:

- Nomenclatura.
- P & ID (Piping and Instrumentation Diagram).
- Tipo y calibre de cables.
- Diagrama esquemático de Potencia y Control.
- Diagrama esquemático de Instrumentación.
- Arquitectura de Red.

#### **3.1 NOMENCLATURA.**

Para los diagramas esquemáticos de potencia, control, instrumentación, P&ID's e infraestructura de la red se especificará ciertos parámetros para evitar confusiones y mejorar la organización del sistema. (Ver Tabla. 15)

**Tabla. 15 Nomenclatura a utilizar para los diagramas y P&ID's del proceso.**

Elemento / Línea /Conexión	Nomenclatura* (Numeración Utilizada) *
Línea o Tubería de Agua, Crudo o Gas.	A - X.1.Y.
Instrumentación (Sensores, transmisores, indicadores y demás).	A - X.2.Y
Cables para conexiones.	A- X.3.Y
Elementos propios del sistema (Free Water Knock Out, Heater- Treater, Tanques Skimmer, Switchs, Routers, Aero enfriadores y demás).	A- X.4.Y

\* La nomenclatura es A - X. #. Y, donde A simboliza la letra que identifica el tipo de diagrama siendo: I, instrumentación, C, potencia y control, P para P&ID y R para la infraestructura de red. X es el número que identifica la parte y sección en la que se divide al diagrama. # es el número asignado para diferenciar los distintos dispositivos y elementos del proceso. Y, número asignado en forma ascendente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo que permite la ubicación y visualización de cada elemento. Todos los diagramas y planos están basados en las normas ISA-S51.1 y el ISA-S75.

Por otro lado, la ubicación de tableros dentro del MCC (Motor Control Center, Centro de control de motor) ubicado en el PCR 2 (Power Control Room, Cuarto de Control de Poder) identifica, la posición exacta de dicho tablero. La Figura. 7 muestra en detalle la forma de ubicación.

	1	2	3	4	5	6	7	8	.....
A									
B									
C									
.									
.									
.									
F								8F	
G									
H									
.									
.									
.									
M									

Letra de la Fila

**Figura. 7. Forma de ubicación del panel, en este caso 8F, para el MCC 001B (Centro de control del motor, número 001)**

### 3.2 DIAGRAMAS P&ID.

#### 3.2.1 Construcción del Modelo de Proceso.

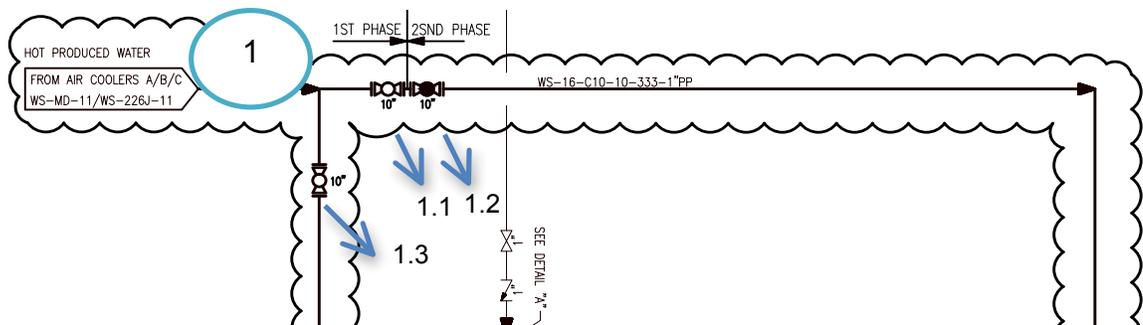
El P&ID del proceso se lo realizó en base a la norma ISA S88.01, el primer paso es construir el modelo del proceso, el cual, parte en base a un conocimiento general del proceso descritos por la Tabla. 16.

**Tabla. 16 Modelo del Proceso de Enfriamiento de Agua de Formación.  
(Primera Parte)**

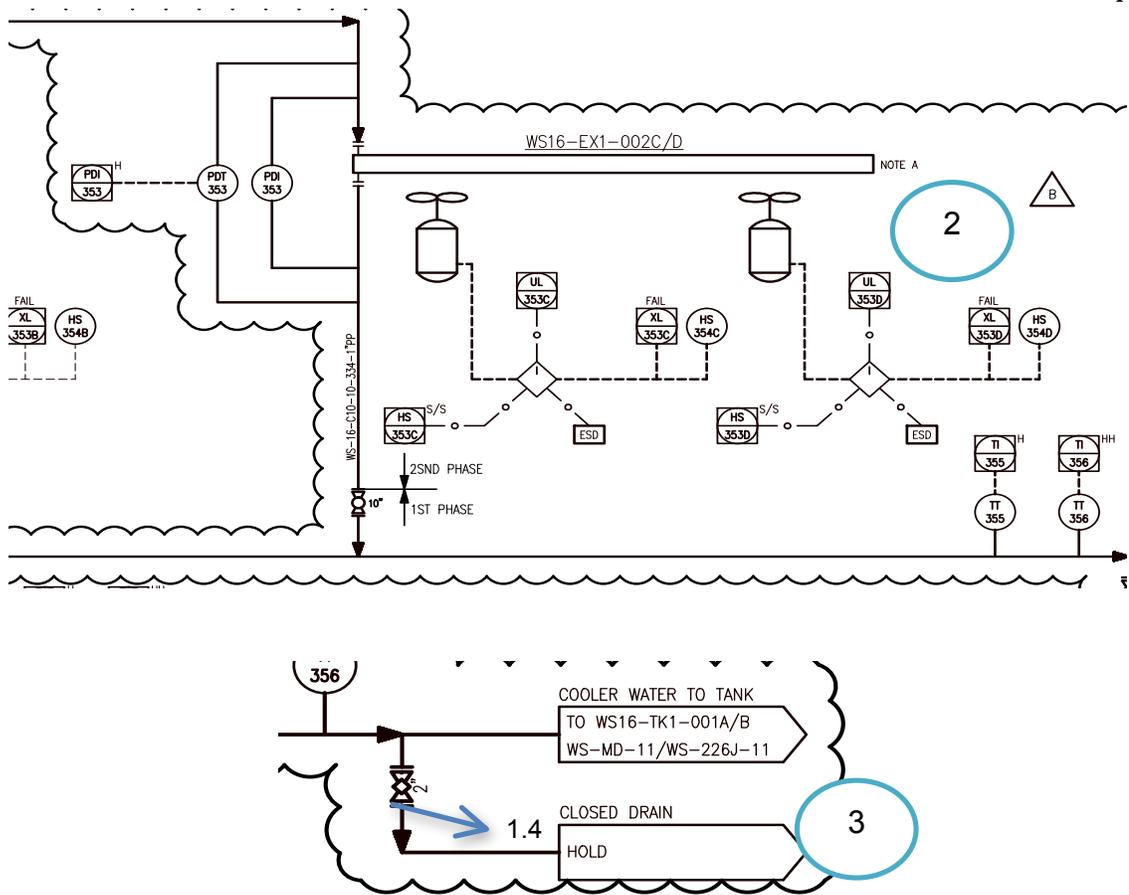
Proceso	Etapa del proceso	Operación del proceso (Actividad Principal)	Acción del proceso (Actividad Secundaria)
<b>Enfriamiento de Agua de Formación</b>	Salida de Agua desde los FWKO A/B/C hacia el Aero Enfriador. (Ver Figura. 8)	Entrada principal de agua hacia el Aero Enfriador	Mediante el arreglo entre el Elemento 1.1 y el Elemento 1.2, válvulas globos, se controla el ingreso de agua que generalmente contempla un flujo aproximado de 65.000 BWPD
	Bypass	El Elemento 1.3 permite que el flujo pueda ser desviado, bien sea para aumentar o disminuir la cantidad de agua que iría directamente a los tanques Skimmer o permitiendo el mantenimiento periódico o el paro del equipo debido a fallas.	

**Continúa→**

<b>Enfriamiento de Agua de Formación</b>	Enfriamiento dentro del equipo (Aero Enfriador) (Ver Figura. 9)	Utilización del aire del ambiente.	Arreglo de tuberías permitiendo el ingreso de agua que por medio de ventiladores se enfria.
			Control de temperatura, presión, vibración y flujo.
	Salida de Agua desde el Aero Enfriador hacia los tanques Skimmer. (Ver Figura. 9)	Salida principal de agua hacia los tanques Skimmer.	La salida de flujo está determinada para una temperatura aproximada de 198 °F.
	Drenaje		El elemento 1.4 permite que el flujo pueda ser drenado si fuera el caso.



**Figura. 8** Primera parte del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.



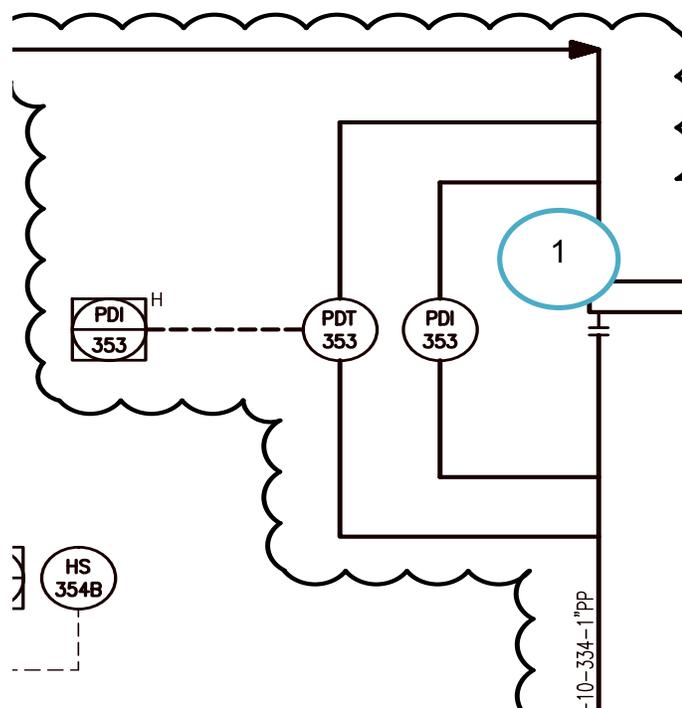
**Figura. 9 Segunda y Tercera parte del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.**

### 3.2.2 Construcción del Modelo Físico.

#### 3.2.2.1 Identificación de módulos de equipo y módulos de control.

El módulo de equipo, es aquel equipo o conjunto de equipos que cumplen una determinada función dentro de un proceso. Los módulos de control, identifican los elementos de control que se encuentran dentro de un mismo lazo de control.

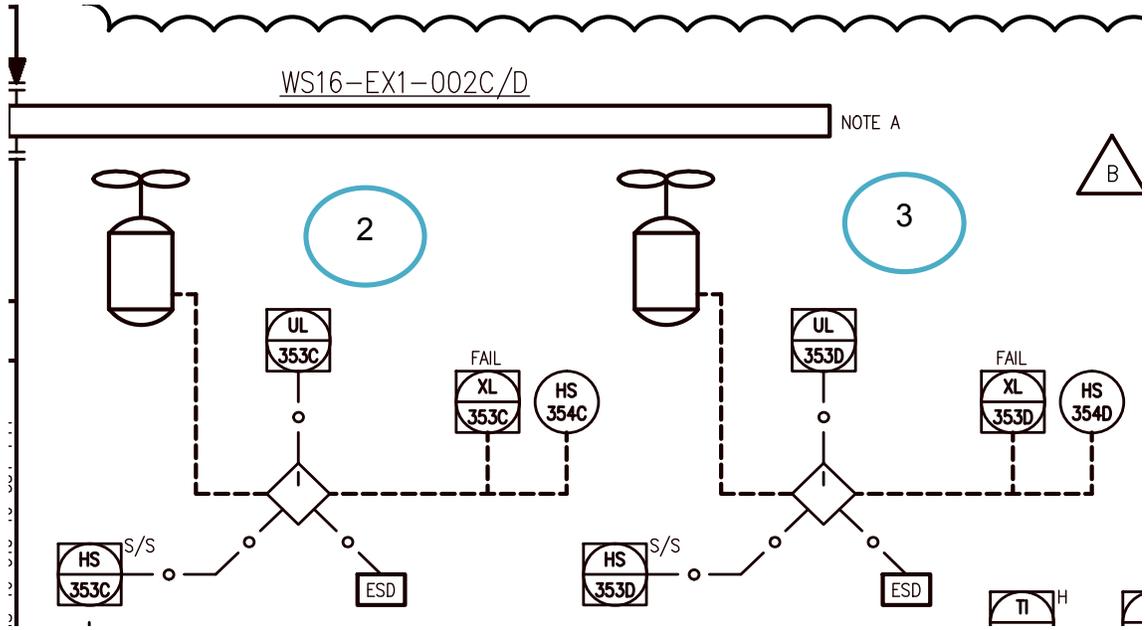
Los módulos de equipo y de control son los mismos dentro de este proyecto debido a que el equipo principal es el Aero Enfriador (Módulo de Equipo) y los módulos de control se dividen en: sensores, transmisores y válvulas. Los PLC's cumplirían ambas funciones siendo módulos de equipo y control al mismo tiempo, los PLC's FWKO A y FWKO B pertenecen directamente al proceso pero no son específicos de este proyecto, porque también controlan otros procesos. Los lazos de control se detallan a continuación:



**Figura. 10 Primer lazo de control del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.**

1

En la Figura. 10 se observa: el elemento PDI 353, indicador de presión diferencial y el PDT 353, transmisor de presión diferencial, observado en campo (físicamente) como en el Control Room (HMI), y se conecta al PLC FWKO B. El lazo de control de presión se compone de: PDT 353 y PDI 353.



**Figura. 11 Segundo y tercer lazo de control del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.**

En la Figura. 11 se observa como elemento central al PLC 

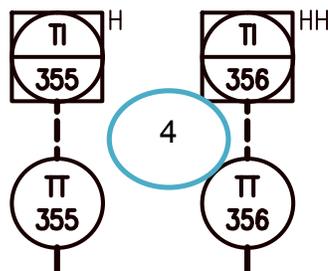
2

 conectado por medio de cable ethernet con protocolos HART, ControlNet y Ethernet IP (Ver Figura. 34). El lazo de control se compone del elemento UL 353C, que es un conjunto de señales de nivel tanto de entrada como de salida, dos switches manuales HS 353C y HS 354C. El elemento HS 354 C, es un switch de dos posiciones que permite parar o encender el Aero

Enfriador, HS 353 C, es un switch de tres posiciones que permite colocar el equipo en modo automático, manual o apagarlo.

Los dos se encuentran en campo pero la señal del modo de funcionamiento se conecta hacia el PLC FWKO A (que viene del elemento HS 353C). Existe además una señal de emergencia (ESD, Emergency Shut Down), que permite apagar el Aero Enfriador en caso de alguna anomalía, este elemento se encuentra en forma de botón de tipo capuchón (grande y de color rojo) cerca del equipo, pero esta señal también se conecta directo al PLC siendo de entrada y salida. El último elemento es, XL 353 C, que funciona como señal de respaldo y solo se habilita en caso de fallar algún elemento o se detenga o apague el equipo por alguna anomalía.

3 El lazo de Control para la segunda parte se compone de: UL 353C, XL 353C, HS 353 C, HS 354 C y ESD. De igual manera sucede con la parte 3, siendo el lazo de control: UL 353D, XL 353D, HS 353 D, HS 354 D y ESD. (Ver Figura. 11)



**Figura. 12 Cuarto lazo de control del proceso del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.**

4

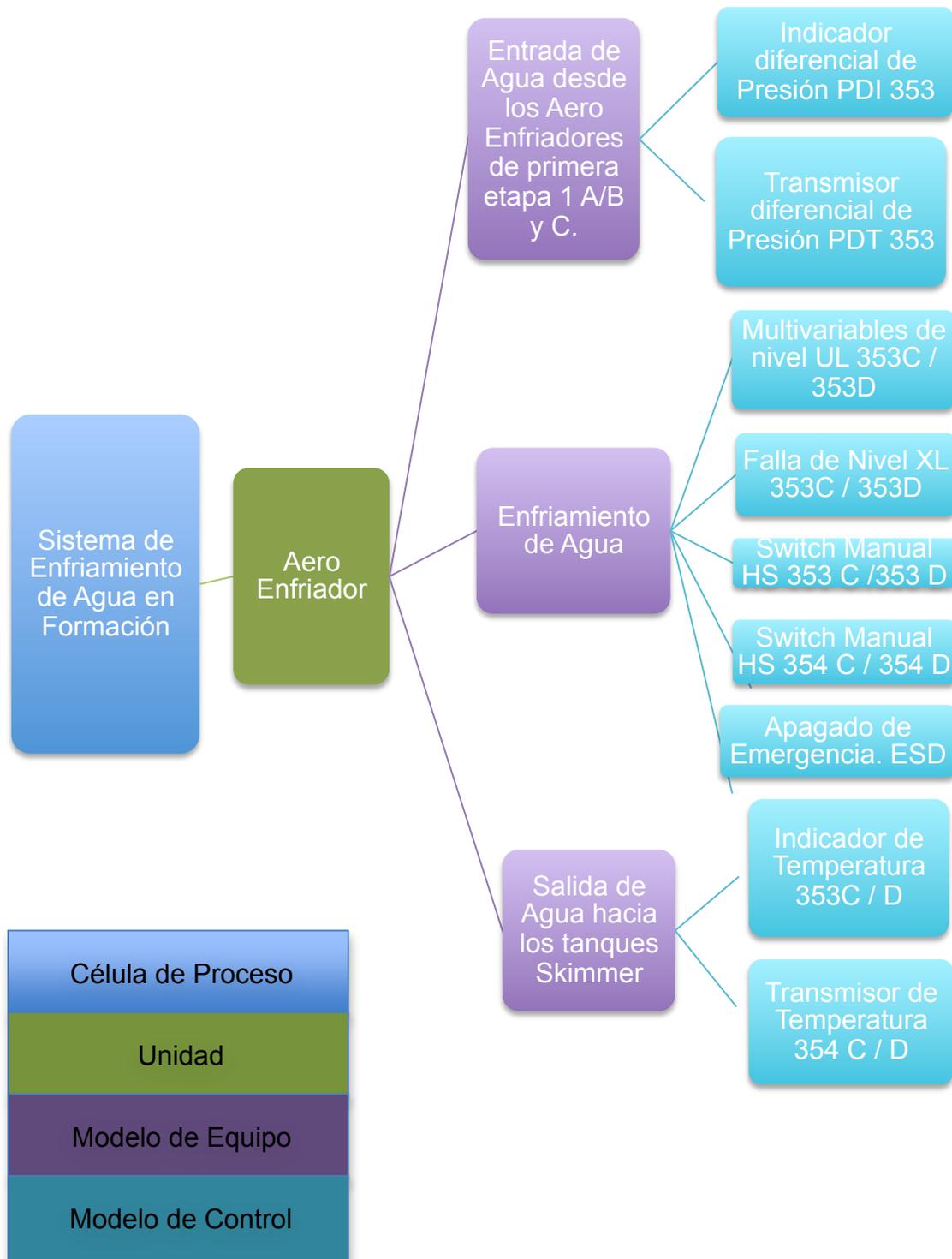
La Figura. 12 se compone de: TT 355 (Transmisor de temperatura) y TI 355 (Indicador de Temperatura) para la temperatura de entrada y TT 356 y TI 356 para la temperatura de salida. Siendo el lazo de control compuesto por: TT 355, TT 356, TI 355 y TI 356.

El resumen de modelos de equipos se observa en la Figura. 13, y el resultado final del diagrama P&ID se lo observa en la Figura. 14, cabe recalcar que existen consideraciones adicionales para la implementación física del sistema, las mismas que se describirán en el capítulo siguiente.

### **3.3 DIAGRAMA ELÉCTRICO.**

Desde el PCR 1 (Power Control Room 1, Cuarto de control de Poder 1) ubicado en CPF se tiende una red que atraviesa aproximadamente 44.7 km con un voltaje de 34.5 KV.

Después llega a los transformadores TR10 y TR11 que son de 5 MVA y reducen el voltaje a 4.16 KV. A continuación, se conecta el transformador TR 13 de 1.2 MVA que reduce la cantidad de voltaje a 480 V para poder utilizarlo a través de un Switch del tipo cuchilla (con protecciones eléctricas por medio de botas y capuchones para cables), que sirve para el arranque y alimentación de bombas, motores, servicios de campamento en general y demás equipos dentro de Villano A.



**Figura. 13. Resumen del modelo de equipos para el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.**

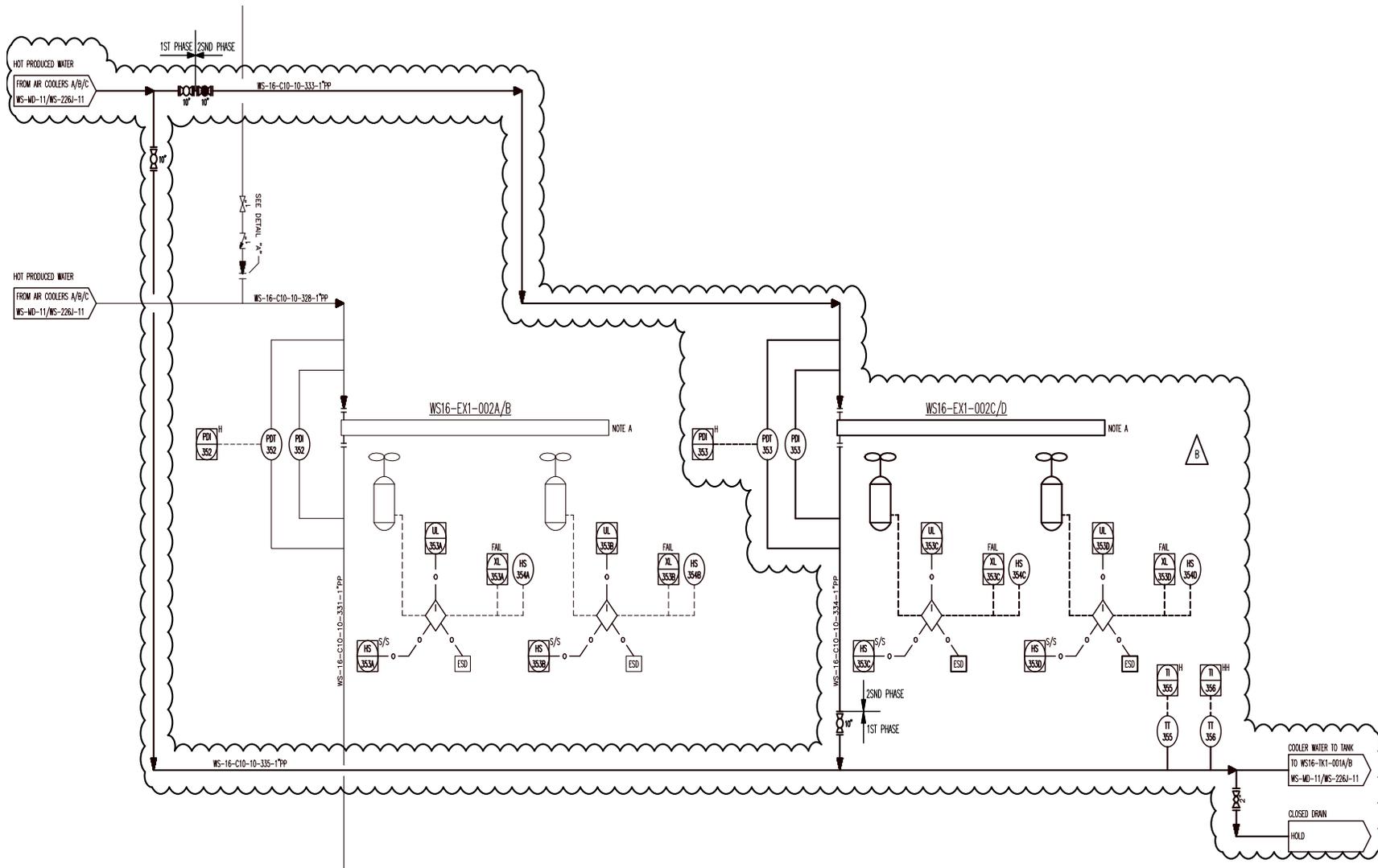


Figura. 14 Diagrama P&ID, incluye el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.

Del transformador TR 13 se obtiene la alimentación para el MCC (Motor Control Room, Cuarto de Control del Motor) 2 A y 2 C, el uno descrito para cargas esenciales y el otro descrito para cargas no esenciales, al final del apartado 3.5 se explicará en detalle este tópico.

En la Figura. 15, se observa la red eléctrica y transformación de 34.5 KV a 4.16 KV. En la Figura. 16, de 4.16 KV a 0.480 KV, y se encuentra la conexión entre la alimentación de voltaje y los MCC 002 A y 002 C.

### **3.4 TIPO Y CALIBRE DE CABLES.**

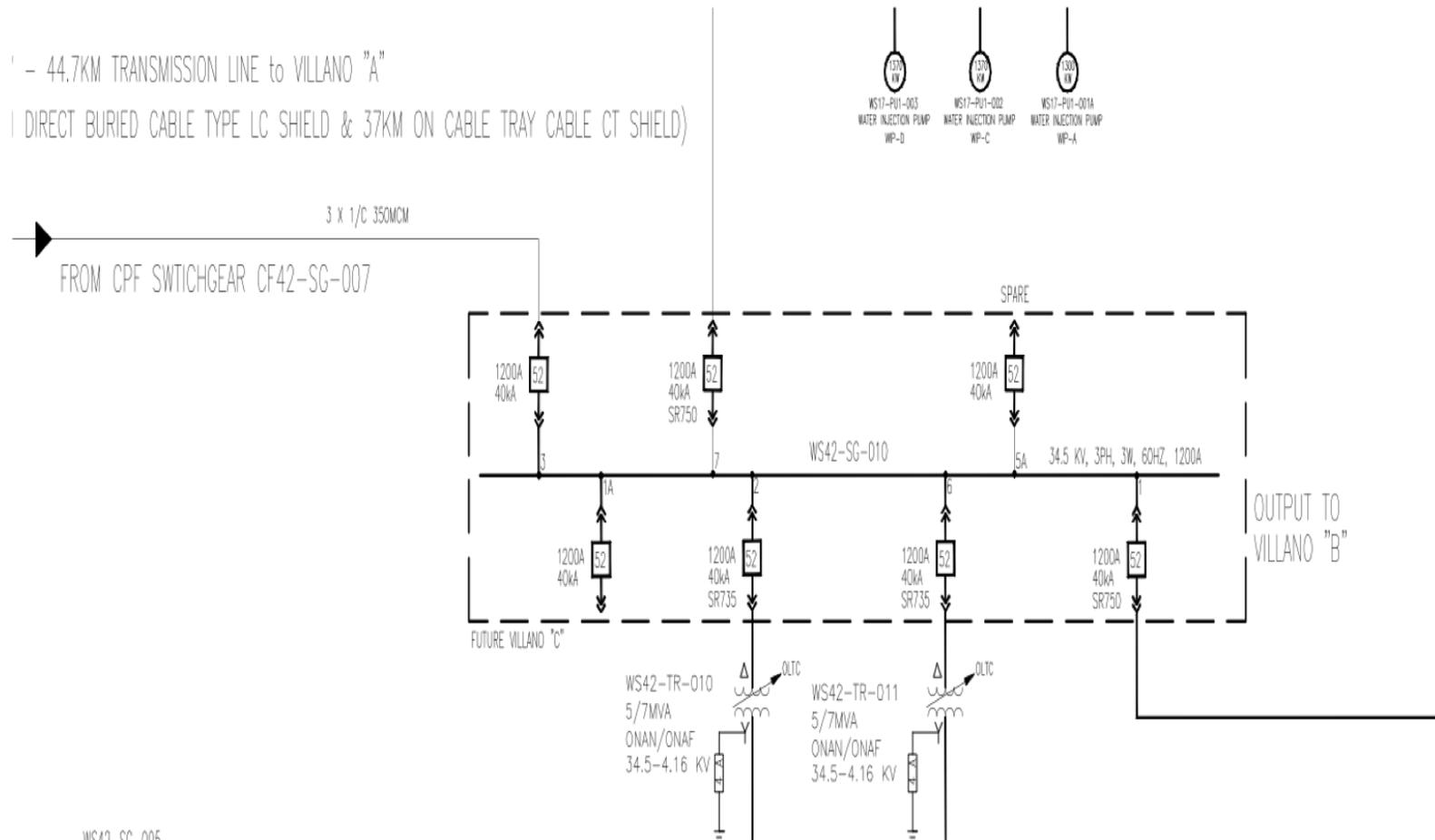
Una vez especificadas las necesidades en cuanto a potencia, voltaje y amperaje del proyecto, se realizan los cálculos para determinar el tipo y calibre de los cables a utilizar en cada elemento del proceso. Además, se separan de acuerdo al tipo de conexión sea para potencia y control o instrumentación.

#### **3.4.1 Para Potencia y Control.**

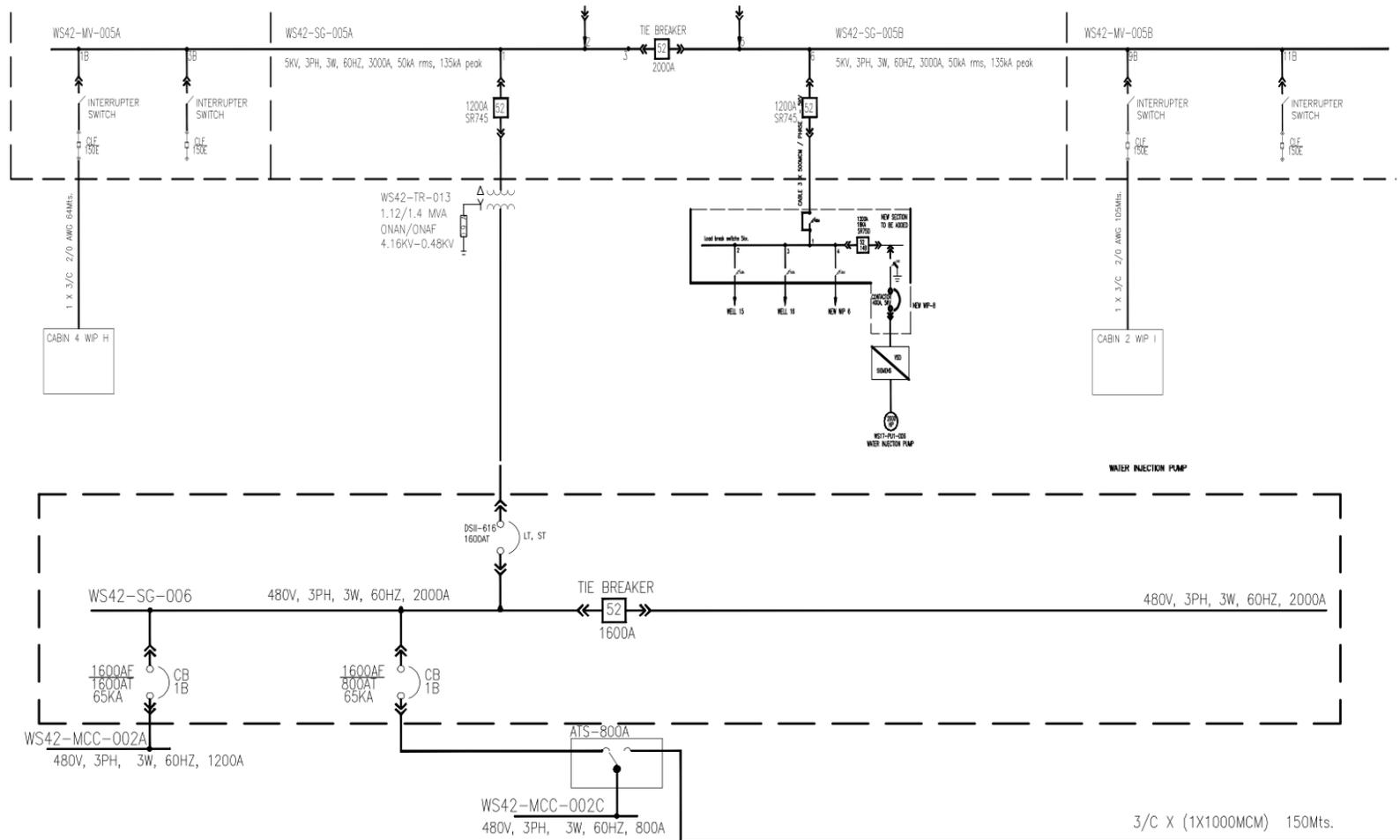
##### **3.4.1.1 Motor del Aero Enfriador.**

Se debe considerar los siguientes datos:

- $P = 40$  [HP]
- $V_f = 480$  [V], conexión tipo Y o estrella.
- Cable de tres conductores y con conexión a Tierra (3/C + GND)



**Figura. 15 Primera parte del esquema eléctrico. Transformación de voltaje de 34,5 KV a 4,16 KV. Fuente: Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.**



**Figura. 16** Segunda parte del esquema eléctrico. Transformación de voltaje de 4,16 KV a 0,48 KV y conexión hacia el MCC 002 A y 002C. Fuente: Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador

Partiendo de la Ecuación 3. 1:

Ecuación (1)

$$P = \sqrt{3} * V * I * \cos \phi$$

Siendo:

- $P$  = Potencia [W, vatios]
- $V$  = Voltaje [V, voltios]
- $I$  = Intensidad de corriente [A, amperios]
- $\cos \phi$  = Factor de Potencia

Si despejamos la corriente [I], tenemos:

Ecuación (2)

$$I = P / (\cos \phi * V)$$

$$I_n = \frac{40 \text{ HP} * \left(\frac{746 \text{ W}}{1 \text{ HP}}\right)}{0.8 * (\sqrt{3}) * 480 \text{ [V]}}$$

$$I_n = 44,86 \text{ [A]}$$

Teniendo en cuenta, un porcentaje de seguridad y margen de error se utilizará un 25 % adicional a la  $I_n$  actual, la corriente nominal por tanto, es  $I_n = 56,08 \text{ [A]}$ .

El entorno en el que se encuentra el sistema, la cantidad de voltaje, corriente, potencia, humedad y temperatura que necesita soportar, además de su robustez para estar al aire libre permitió escoger el cable Tipo TC, las especificaciones del cable se muestran en la Figura. 17.

El porcentaje de caída de voltaje [ $e$  (%)] recomendable para una instalación como ésta, se ubica entre el 3 y el 5 %.

Se utilizará un  $V = 480 [V]$ , una corriente de  $I_n = 44,86 [A]$ , y una  $L = 330 [m]$ , el cable debe ser robusto para soportar dichos parámetros, se procedió por aquello a evaluar cuatro posibilidades.

Los casos a evaluarse serán para cables del calibre 8, 6, 4 y 2 AWG tipo TC, en ese orden debido a que mientras más se reduce el número del calibre del cable mayor es el diámetro del mismo, y por ende, soporta mayor cantidad de voltaje y corriente.

#### **3.4.1.2 Para un cable de calibre 8 AWG, se tiene:**

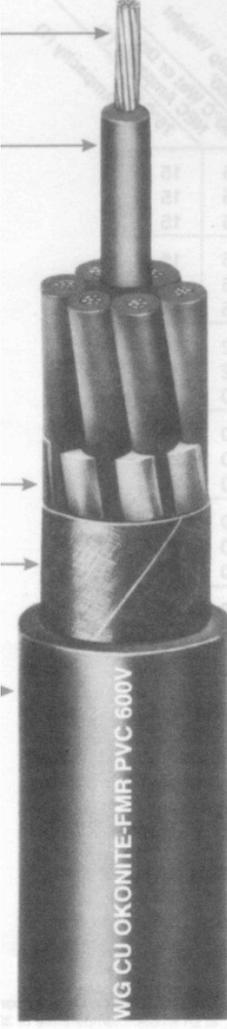
Los valores de resistividad están dados para cada 1000 ft (pies) o 304,9 metros, para el sistema se cuenta con una distancia aproximada de  $L = 330 [m]$  o 1082,4 [ft], por ende, es necesario aproximar los valores tanto de resistencia como de reactancia que se obtuvieron de las tablas, se utilizan para aquello las Ecuaciones 1 y 2.

## Okonite-FMR® Okoseal® (70) Type TC Cable



### 600V Power and Control Tray Cable

Multiple Copper Conductors with or Without  
Grounding Conductor/90°C Wet or Dry  
**For Cable Tray Use - Sunlight Resistant - For Direct Burial**



**Insulation**  
Okonite-FMR is Okonite's trade name for its heat, moisture, flame and chemical resistant, mechanically rugged ethylene-propylene insulating compound.  
The properties of Okonite-FMR insulation substantially enhance the well known features of ethylene-propylene rubber insulations.

**Overall Jacket**  
The Okoseal (PVC) jacket is mechanically rugged and has excellent resistance to most chemicals.

**Applications**  
Okonite-FMR Okoseal Type TC tray cable is permitted for use on power, lighting, control, and signal circuits; indoors or outdoors; in cable trays, raceways, direct burial in the ground, or where supported in outdoor locations by a messenger wire; for Class 1 circuits as permitted in Article 725 of the NEC; and in cable trays in Class I, Division 2 hazardous locations in industrial establishments where the conditions of maintenance and supervision assure that only qualified persons will service the installation.

**Specifications**  
**Conductors:** Tin coated copper per ASTM B-33, Class B stranded per ASTM B-8.  
**Insulation:** Okonite-FMR meets or exceeds requirements of UL 1581 and ICEA S-68-516 Type II insulation.  
**Color Coding:** Base colors and tracers as shown on reverse of Data Sheet and for sizes #8 AWG and larger black conductors with surface printing of numbers per ICEA S-73-532 Method 4.  
**Grounding Conductor:** Where indicated, bare stranded copper per ASTM B-8, Class B & NEC Table 250-95.  
**Assembly:** Conductors cabled in accordance with UL 1277 using fillers, as necessary, with a cable tape overall.  
**Overall Jacket:** Complies with UL 1277. The Okoseal compound meets or exceeds the requirements of UL 1581.  
UL Listed as Type TC cable with a sunlight resistant jacket and for direct burial.

**Product Features**

- For cable tray use.
- For direct burial.
- Sunlight resistant.
- Insulated conductors are UL rated V
- Flame Retardant - passes the vertical flame test requirements of IEEE 383 & UL 1277. Sizes 250 kcmil and larger also meet ICEA T-29-520 (210,000 BT
- 90°C continuous rating in wet or dry 130°C emergency overload rating 250°C short circuit rating.
- Okonite-FMR Okoseal Type TC cables are quality control inspected to meet or exceed applicable industry standards.
- Resistant to moisture and most chemical atmospheres.
- Thermal stability at elevated temperatures.
- Flexible, easy to install and terminate.
- Mechanically rugged.
- High dielectric strength.
- Small diameter, lightweight.

A Tin Coated Stranded Conductors  
B Okonite-FMR Insulation  
C Fillers, as necessary  
D Binder Tape  
F Okoseal Jacket — Black

**Figura. 17 Cable tipo TC, 600 V, Okonite- FMR Okoseal (70). Fuente: Manual “Power Control and Instrumentation Cables” (Manual de cables de control e instrumentación). Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.**

$$\text{Ecuaciones (1,2)} \quad R = \frac{R1}{1000 \text{ ft}} * 1082,4 \text{ ft}; \quad X = \frac{X1}{1000 \text{ ft}} * 1082,4 \text{ ft}$$

Siendo:

- $R$ = Resistencia aproximada para 1082,4 ft (pies) o 330 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].
- $R1$ = Resistencia por cada 1000 ft (pies) o 304.9 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].
- $X$ = Reactancia aproximada para 1082,4 ft (pies) o 330 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].
- $X1$ = Reactancia por cada 1000 ft (pies) o 304.9 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].

La resistencia se toma de la tabla de la Figura.18 y luego se la multiplica por un valor de corrección, debido a que la tabla de la Figura. 19 está dada para una temperatura máxima de 25°C y en el campo Villano A se cuenta con una temperatura de hasta 30 °C.

El valor inicial se lo multiplica por el valor de corrección correspondiente a la tabla de la Figura. 19. Este factor de corrección es de **1,054 para una temperatura de 30 °C.**

Resistance in Ohms per 1000 feet per conductor at 20°C and 25°C of solid wire and class B concentric strands copper and aluminum conductor													
Conductor Size, AWG or kcmil	ANNEALED UNCOATED COPPER ANNEALED ALUMINUM								ANNEALED COATED COPPER				
	Solid				Stranded Class B				Solid		Stranded Class B		
	20°C		25°C*		20°C		25°C*		20°C	25°C*	20°C	25°C*	
	CU	AL	CU	AL	CU	AL	CU	AL	CU	CU	CU	CU	
24	25.7000	—	26.2000	—	—	—	—	—	—	26.8000	27.3000	—	—
22	16.2000	—	16.5000	—	—	—	—	—	—	16.9000	17.2000	—	—
20	10.1000	—	10.3000	—	10.30000	—	10.50000	—	—	10.5000	10.7000	11.00000	11.20000
19	8.0500	—	8.2100	—	—	—	—	—	—	8.3700	8.5300	—	—
18	6.3900	—	6.5100	—	6.51000	—	6.64000	—	—	6.6400	6.7700	6.92000	7.05000
16	4.0200	—	4.1000	—	4.10000	—	4.18000	—	—	4.1800	4.2600	4.35000	4.44000
14	2.5200	4.1400	2.5700	4.220	2.57000	—	2.62000	—	—	2.6200	2.6800	2.68000	2.73000
12	1.5900	2.6000	1.6200	2.660	1.62000	2.65000	1.65000	2.70000	1.6200	1.6800	1.68000	1.72000	—
10	0.9990	1.6400	1.0200	1.670	1.02000	1.67000	1.04000	1.70000	1.0400	1.0600	1.06000	1.08000	—
9	0.7920	1.3000	0.8080	1.320	0.80800	1.33000	0.82400	1.35000	0.8160	0.8310	0.84000	0.85700	—
8	0.6280	1.0300	0.6410	1.050	0.64100	1.05000	0.65400	1.07000	0.6460	0.6590	0.66600	0.67900	—
7	0.4980	.8170	0.5080	.833	0.51800	.83300	0.51800	0.85000	0.5130	0.5230	0.52800	0.53900	—
6	0.3950	.6480	0.4030	.661	0.40300	.66100	0.41000	0.67400	0.4070	0.4150	0.41900	0.42700	—
5	0.3130	.5140	0.3190	.524	0.32000	.52400	0.32600	0.53500	0.3230	0.3290	0.33300	0.33900	—
4	0.2480	.4070	0.2530	.415	0.25300	.41600	0.25900	0.42400	0.2560	0.2610	0.26400	0.26900	—

**Figura. 18** Tabla de resistencia en ohmios por cada 1000 pies (304,9 metros) para temperaturas de 20 y 25 °C. Fuente: Manual “Engineering Data for Copper and Aluminum Conductor Electrical Cables” (Manual de datos para ingeniería de cables de conductores eléctricos de Cobre y Aluminio). Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.

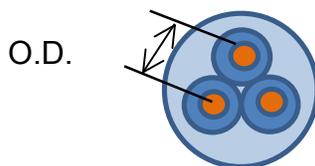
Se tiene,  $R = 0,679 * 1,054 = 0,716$  [ $\Omega$ ]. El valor de la reactancia se obtiene en base al O.D. (Distancia entre el centro de un conductor y el centro del conductor adyacente, ver Figura. 20) que se observa en la tabla de la Figura. 21.

O.D.= 0,67 [in, pulgadas] este valor se interpola por medio de una línea recta entre el O. D. y el calibre AWG (American Wire Gauge, Calibre de cable

Americano) o kcmil (abreviación para milésimas de pulgada circular),  
obteniendo  $X = 0,052[\Omega]$  (Ver Figura. 22)

Resistance temperature correction factors Copper Conductors										
Temp. C	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	.904	.908	.911	.915	.919	.923	.927	.931	.934	.938
10	.942	.946	.950	.954	.958	.961	.965	.969	.973	.977
20	.981	.985	.988	.992	.996	1.000	1.004	1.008	1.012	1.015
30	1.019	1.023	1.027	1.031	1.035	1.039	1.042	1.046	1.050	1.054
40	1.058	1.062	1.066	1.069	1.073	1.077	1.081	1.085	1.089	1.092
50	1.096	1.100	1.104	1.108	1.111	1.115	1.119	1.123	1.127	1.131
60	1.135	1.139	1.143	1.146	1.150	1.154	1.158	1.162	1.166	1.170
70	1.173	1.177	1.181	1.185	1.189	1.193	1.197	1.200	1.204	1.208
80	1.212	1.216	1.220	1.224	1.227	1.231	1.235	1.239	1.243	1.247
90	1.250	1.254	1.258	1.262	1.266	1.270	1.274	1.277	1.281	1.285
100	1.289	1.293	1.297	1.300	1.304	1.308	1.312	1.316	1.320	1.324
110	1.328	1.331	1.335	1.339	1.343	1.347	1.351	1.354	1.358	1.362
120	1.366	1.370	1.374	1.378	1.381	1.385	1.389	1.393	1.397	1.400
130	1.405	1.408	1.412	1.416	1.420	1.424	1.428	1.432	1.435	1.439
140	1.443	1.447	1.451	1.455	1.459	1.462	1.466	1.470	1.474	1.478
150	1.482	1.480	1.489	1.493	1.497	1.500	1.505	1.509	1.513	1.516

**Figura. 19** Factor de corrección para conductores de cobre en base a la resistencia a la temperatura. Tomado del Manual “Engineering Data for Copper and Aluminum Conductor Electrical Cables” (Manual de datos para ingeniería de cables de conductores eléctricos de Cobre y Aluminio). Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador



**Figura. 20** Distancia entre el centro de un conductor y el centro del conductor adyacente dentro de un cable

Luego aplicando las Ecuaciones 1 y 2 respectivamente los valores resultan:

$$R = 0,775 [\Omega] \text{ y } X = 0,056 [\Omega]$$

Number	Conductor Size (AWG/kcmil)	Number of Conductors	Insulation Thickness (mils)	Grounding Conductor AWG	Jacket Thickness - mils	Jacket Thickness - mm	Approx. O.D. - Inches	Approx. O.D. - mm	Cross-Sectional Area (sq in)	Approx. Area (sq mm)
8(7X)	3	45	—	60	1.52	0.64	16.3	0.34	282	
	3		10	60	1.52	0.67	17.0	0.34	332	
	4		—	60	1.52	0.73	18.5	0.41	374	
	4		10	60	1.52	0.75	19.1	0.41	427	
6(7X)	3	45	—	60	1.52	0.75	19.1	0.43	416	
	3		8	60	1.52	0.77	19.6	0.43	482	
	4		—	60	1.52	0.82	20.1	0.52	533	
	4		8	60	1.52	0.85	21.6	0.52	593	
4(7X)	3	45	—	60	1.52	0.85	21.6	0.55	610	
	3		6	60	1.52	0.89*	22.6	0.55	703	
	4		—	80	2.03	0.97	24.6	0.73	810	
	4		6	80	2.03	1.04	26.4	0.73	928	
2(7X)	3	45	—	80	2.03	1.02	25.9	0.80	924	
	3		6	80	2.03	1.02*	25.9	0.80	997	
	4		—	80	2.03	1.12	28.4	0.97	1179	
	4		6	80	2.03	1.16	29.5	0.97	1291	

**Figura. 21** Tabla de las características principales del cable TC escogido Tomado del Manual “Power Control and Instrumentation Cables” (Manual de cables de control e instrumentación). Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.

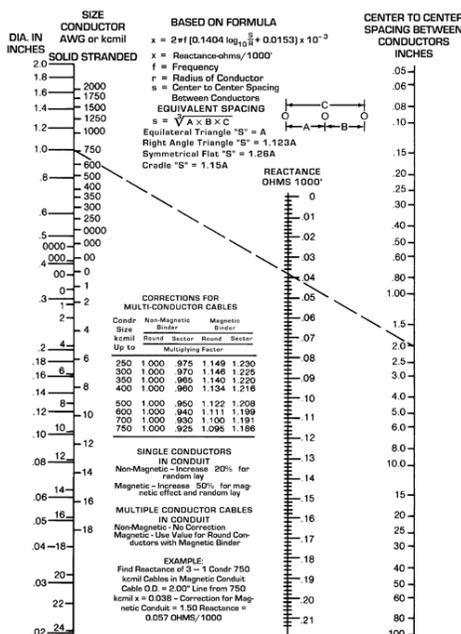
Con estos valores y partiendo de la Ecuación 3:

Ecuación (3)

$$V_f = R * I * \cos \theta + X * I * \sin \theta$$

Siendo:

- $V_f$  = Voltaje de fase, voltaje entre una de las líneas y neutro [V, voltios].
- $I$  = Intensidad de corriente [A, amperios].
- $\sin(\theta^*)$  = Función seno de  $40,97^\circ$ .
- $R$  = Resistencia por cada 1000 ft (pies) o 304,9 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].
- $X$  = Reactancia por cada 1000 ft (pies) o 304,9 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].
- El ángulo  $\theta = \arccos(\text{factor de potencia})$ ,  $\theta = \arccos(0,8) = 40,97^\circ$ .



**Figura. 22. Reactancia de conductores a 60 Hertzios. Fuente: Manual "Engineering Data for Copper and Aluminum Conductor Electrical Cables" (Manual de datos para ingeniería de cables de conductores eléctricos de Cobre y Aluminio). Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.**

$$V_f = R * I * \cos \theta + X * I \sin \theta$$

$$V_f = 0,775 * 56,08 * 0,8 + 0,056 * 56,08 * 0,6$$

$$V_f = 36,654 [V]$$

El valor que se debe calcular es el voltaje de línea debido a que este es el valor que debe soportar el cable en condiciones normales, es el voltaje entre línea (o fase) y tierra.

*Ecuación (4)* 
$$V_L = V_f * \sqrt{3} [V]$$

$$V_L = 36,654 * \sqrt{3} = 63,49 [V]$$

Se tiene que el voltaje de salida o voltaje a través de la carga, es el voltaje que debe soportar como mínimo el cable y es:

$$V_s = 480 - 63,49 = 416,51 [V].$$

Tomando en cuenta el voltaje de salida, el voltaje de fase y aplicando la Ecuación 5, tenemos:

*Ecuación (5)*

$$e(\%) = \frac{(V_{in} - V_s)}{V_s} * 100$$

En donde:

- $e$  (%)= Porcentaje de la caída de voltaje [V, voltios].
- $V_{in}$  = Voltaje de entrada [V, voltios].
- $V_s$  = Voltaje de salida, voltaje a través de la carga [V, voltios].

Por tanto:

$$e(\%) = \frac{(480 - 416,51)}{416,51} * 100$$

$e(\%) = 15,24\%$
-------------------

Como se observa, esta caída de voltaje está muy por encima de la necesaria que debe estar en un rango del 3% al 5 %. En la Tabla. 17 se resumen los valores obtenidos para cables de calibre 6, 4 y 2 AWG respectivamente, los cálculos se los realiza de la misma forma explicada para el calibre 8 AWG ubicados en el apartado 3.4.1.2. de este capítulo.

Como se observa en la Tabla. 17, los valores obtenidos para el cable de calibre 2 AWG, muestran que esta caída de voltaje está dentro del rango especificado de entre el 3% y el 5% de caída de voltaje por lo que resulta conveniente la inclusión de este tipo de cable dentro del proyecto.

El cable escogido es Tipo TC, calibre 2 AWG, Okonite- FMR, 600 V, y como se especificó anteriormente debe ser de 3 conductores con conexión a tierra, 3/C + GND.

**Tabla. 17 Principales valores obtenidos para el tipo de cable TC utilizado en este proyecto. Cable de Potencia. Motor del Aero Enfriador.**

Calibre (AWG)	Tipo	Voltaje de Entrada Vin	Factor de Potencia (COS $\Theta$ )	Potencia (HP)	Potencia (W)	Corriente nominal (In)
8	TC	480	0,8	40	29840	44,87
6	TC	480	0,8	40	29840	44,87
4	TC	480	0,8	40	29840	44,87
2	<b>TC</b>	<b>480</b>	<b>0,8</b>	<b>40</b>	<b>29840</b>	<b>44,87</b>

Corriente nominal + 25%	Longitud (m)	Longitud (in)	Resistencia	Resistencia corregida	O.D. (in)	Reactancia
56,08	330	1082,4	0,68	0,77	0,67	0,052
56,08	330	1082,4	0,43	0,49	0,77	0,058
56,08	330	1082,4	0,27	0,31	0,89	0,057
56,08	<b>330</b>	<b>1082,4</b>	<b>0,17</b>	<b>0,19</b>	<b>1,02</b>	<b>0,05</b>

Reactancia Corregida	Voltaje de fase (Vf)	Voltaje de línea (Vl)	Voltaje de Salida (Vs)	Porcentaje de caída de voltaje	Caída de voltaje
0,056	36,65	63,48	416,53	15,24%	Incorrecta
0,063	23,97	41,51	438,49	9,47%	Incorrecta
0,054	15,59	27,01	452,99	5,96%	Incorrecta
0,054	<b>10,47</b>	<b>18,14</b>	<b>461,86</b>	<b>3,93%</b>	<b>Correcta</b>

### 3.4.1.3 Space Heater (Calentador).

- P (Potencia)= 200 [W]

- $V_f$  (Voltaje de fase)= 120 [V].
- Cable de cuatro conductores. Dos conductores para los estados: Prendido y Apagado. Y, dos de respaldo, en caso de que el cable sufra algún daño, se rompa o se queme.

**Tabla. 18 Principales valores obtenidos para el tipo de cable TC utilizado en este proyecto. Cable de Potencia. Space Heater Aero Enfriador.**

Calibre (AWG)	Tipo	Voltaje de Entrada $V_{in}$	Factor de Potencia ( $\cos \theta$ )	Potencia (HP)	Potencia (W)	Corriente nominal (In)
<b>14</b>	TC	120	0,8	0,27	200	1,21
<b>12</b>	<b>TC</b>	<b>120</b>	<b>0,8</b>	<b>0,27</b>	<b>200</b>	<b>1,21</b>
<b>10</b>	TC	120	0,8	0,27	200	1,21

Corriente nominal + 25%	Longitud (m)	Longitud (in)	Resistencia	Resistencia corregida	O.D. (in)	Reactancia
<b>1,50</b>	330	1082,4	2,73	3,11	0,44	0,06
<b>1,50</b>	<b>330</b>	<b>1082,4</b>	<b>1,72</b>	<b>1,96</b>	<b>0,48</b>	<b>0,054</b>
<b>1,50</b>	330	1082,4	1,08	1,23	0,57	0,052

Reactancia Corregida	Voltaje de fase ( $V_f$ )	Voltaje de línea ( $V_L$ )	Voltaje de Salida ( $V_s$ )	Porcentaje de caída de voltaje	Caída de voltaje
<b>0,064</b>	3,80	6,59	113,41	5,81%	<b>Incorrecto</b>
<b>0,058</b>	<b>2,41</b>	<b>4,18</b>	<b>115,82</b>	<b>3,61%</b>	<b>Correcto</b>
<b>0,056</b>	1,53	2,65	117,34	2,26%	<b>Incorrecto</b>

Para la elección del cable aparte de los cálculos mostrados en la Tabla. 18, se toma en cuenta, la O. D. (Distancia desde el centro de un conductor hasta el centro del conductor más cercano o adyacente), para un cable de calibre 12 AWG se tiene un O. D. = 0,48 (in, pulgadas) y para un cable de calibre 10 AWG

se tiene un O.D. = 0,57 (in, pulgadas), éste último ocuparía más espacio, y aparte, su caída de voltaje resulta insuficiente, dado el caso, se procede a escoger el cable Tipo TC, calibre 12 AWG, Okonite- FMR, 600 V, y como se especificó anteriormente debe ser de 4 conductores.

#### 3.4.1.4 Hand Switch (Run/Stop), Interruptor Manual.

- P (Potencia)= 20 [W]
- Vf(Voltaje de fase)= 120 [V].
- Cable de cuatro conductores. Dos conductores para los estados: Run o Stop (Corriendo o Parado). Y, dos de respaldo, en caso de que el cable sufra algún daño, se rompa o se queme.

Los casos a evaluarse serán para cables de calibre 14, 12 y 10 AWG tipo TC, en ese orden debido a que mientras más se reduce el calibre del cable mayor es el diámetro del mismo, y por ende, soporta mayor cantidad de voltaje y corriente.

Para la elección del cable aparte de los cálculos mostrados en la Tabla. 19, se toma en cuenta, la O. D. (Distancia desde el centro de un conductor hasta el centro del conductor más cercano o adyacente), para un cable de calibre de 14 AWG se tiene un O.D. = 0,44 (in, pulgadas) para uno de 12 AWG se tiene un O. D. = 0,48 (in, pulgadas) y para un cable de calibre 10 AWG se tiene un O.D. = 0,57 (in, pulgadas), éste último ocuparía más espacio y en lo referente a la

caída de voltaje se observa que todas son muy bajas, en cualquier caso, no existe problema en la inclusión de uno u otro cable.

**El cable escogido debido a su calibre y costo menor a los otros fue el tipo TC, 14 AWG, Okonite- FMR, 600 V, y de 4 conductores.**

**Tabla. 19 Principales valores obtenidos para el tipo de cable TC utilizado en este proyecto. Cable de Potencia. Hand Switch del Aero Enfriador.**

Calibre (AWG)	Tipo	Voltaje de Entrada Vin	Factor de Potencia (COS $\theta$ )	Potencia (HP)	Potencia (W)	Corriente nominal (In)
<b>14</b>	<b>TC</b>	<b>120</b>	<b>0,8</b>	<b>0,027</b>	<b>20</b>	<b>0,12</b>
<b>12</b>	TC	120	0,8	0,027	20	0,12
<b>10</b>	TC	120	0,8	0,027	20	0,12

Corriente nominal + 25%	Longitud (m)	Longitud (in)	Resistencia	Resistencia corregida	O.D. (in)	Reactancia
<b>0,15</b>	<b>330</b>	<b>1082,4</b>	<b>2,73</b>	<b>3,11</b>	<b>0,44</b>	<b>0,06</b>
<b>0,15</b>	330	1082,4	1,72	1,96	0,48	0,054
<b>0,15</b>	330	1082,4	1,08	1,23	0,57	0,052

Reactancia Corregida	Voltaje de fase (Vf)	Voltaje de línea (Vl)	Voltaje de Salida (Vs)	Porcentaje de caída de voltaje	Caída de voltaje
<b>0,065</b>	<b>0,38</b>	<b>0,66</b>	<b>119,34</b>	<b>0,55%</b>	<b>Correcto</b>
<b>0,058</b>	0,24	0,42	119,58	0,35%	Incorrecto
<b>0,056</b>	0,15	0,27	119,73	0,22%	Incorrecto

### 3.4.2 Para Instrumentación.

La potencia para cada uno de los elementos es máximo de 5 [W], ya sean: transmisores, sensores, transmisores diferenciales, indicadores diferenciales entre otros.

Se ocuparán 2 tipos de cables: de pares y de triadas. Los cables de 2 pares como su nombre lo indica, vienen con 2 conductores por cada par y sirven principalmente para la transmisión y recepción de señales, estas señales tienen un rango que va de 4 a 20 [mA], los cables del tipo triada, son cables que vienen con tres conductores recubiertos, utilizados para la conexión desde y hacia los RTD's, ya que estos sensores cuentan con 3 conexiones, el cable escogido es el tipo PLTC, cuenta con múltiples Shields (capas protectoras), que hacen que el ruido desaparezca, ayudan a que la señal llegue de manera confiable, y su uso es para entornos expuestos al medio ambiente, con humedad y resistentes a temperaturas altas, entre diversas características, mayores especificaciones en la Figura. 23.

Se procede a calcular la intensidad de corriente (I), partiendo de la Ecuación 6:

Ecuación (6)

$$P = V * I$$

Siendo:

- $P$  = Potencia [W, vatios]
- $V$  = Voltaje [V, voltios]
- $I$  = Intensidad de corriente [A, amperios]
- Si se despeja la corriente [I], se tiene:

Ecuación (7)

$$I = P/V$$

$$I_n = \frac{5 [W]}{24 [V]}$$

$$I_n = 208,3 [mA]$$

Teniendo en cuenta, un porcentaje de seguridad y margen de error se utilizará un 25 % adicional a la  $I_n$  actual, la corriente nominal por tanto, es  **$I_n = 260,41 [mA]$** .

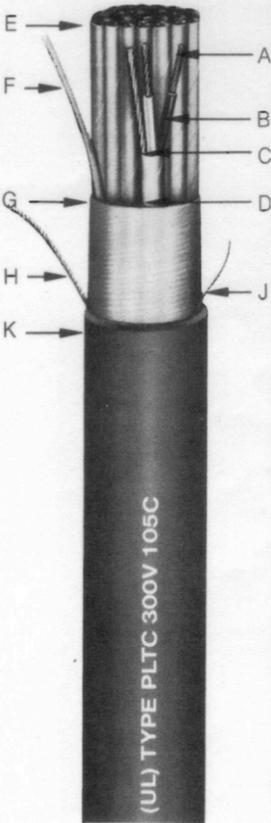
El porcentaje de caída de voltaje [ $e$  (%)] recomendable para una instalación como ésta plantea la utilización del mínimo posible. A continuación, se procederá a realizar algunas pruebas con las que se pueda cumplir los requerimientos tanto de voltaje como de corriente.

## Type SP-OS

### Type PLTC Instrumentation Cable

Multiple Shielded Pairs or Traids - Overall Shield  
300 Volts - 105C Rating  
For Cable Tray Use





**Specifications**

**Conductors:** Bare soft annealed copper, Class B, 7-strand concentric per ASTM B-8.

**Insulation:** Flame-retardant Okoseal (PVC) per UL Subject 13, 15 mils nominal thickness, 105C temperature rating.

**Conductor Identification:** Pigmented black and white in pairs, black, red and white in triads; white conductor numerically printed for group identification.

**Group Shield:** 1.35 mil red double faced aluminum/synthetic polymer backed tape overlapped to provide 100% coverage, and a 7-strand tinned copper drain wire, two sizes smaller than the conductor. All group shields are completely isolated from each other.

**Communications Wire:** 22 AWG, 7-strand, bare copper conductor, 15 mils nominal flame-retardant Okoseal insulation, 105C temperature rating.

**Assembly:** Pairs or triads assembled with a 1 1/2" - 2 1/2" left-hand lay. Flame-retardant, non-wicking fillers included where required to provide a round cable.

**Cable Shield:** 2.35 mil blue double faced aluminum/synthetic polymer backed tape overlapped to provide 100% coverage, and a 7-strand tinned copper drain wire, same size as conductor.

**Jacket:** Black, flame-retardant Okoseal per UL Subject 13. A rip cord is laid longitudinally under the jacket to facilitate removal.

UL Listed as Type PLTC (Power-Limited Tray Cable and Power-Limited circuit Cable for use in Class II or III circuits in accordance with Article 725 of the National Electrical Code.

**Applications**

Okonite Type SP-OS (Shielded Pairs/triads - Overall Shield) instrumentation cables are designed for use as instrumentation, process control and computer cables. They are suitable for installation in wet or dry locations with conductor operating temperature up to 105C. They may be installed in cable tray, in any raceway, as open runs of cable. UL Type PLTC is authorized for use above grade in Class I, Division 2 hazardous locations.

The isolated individual shields over each pair, when properly grounded, prevent crosstalk or capacitive coupling between adjacent pairs which occurs with ac signals, particularly the pulse type.

The overall shield eliminates most of the static interference from the electrical field radiated by power cables and other electrical equipment.

For dc service in wet locations X-Olene insulation having an aluminum C-L-X armor construction is recommended. These cables comply with UL Requirements for Types CL2 and CL3.

**Product Features**

- Passes flame test for use in cable tray.
- Sunlight resistant.
- Oil resistant.
- Individual pairs or triads are numbered and color coded for simplified hook-up.
- Individual pairs or triads are completely isolated.
- Maximum noise rejection.
- Excellent weathering characteristics.
- 100% shield coverage for reduced electrostatic noise.
- Flexible, easy to handle, splice and terminate.
- Twisted to reduce electromagnetic pick-up.
- Communication wire included in each cable for voice communication during installation or instrument calibration.
- OSHA Acceptable.

**Additional Information**

Sizes, Weights and Dimensions are contained on the reverse of this sheet. Additional metal shields are available on special order. For additional information contact your local Okonite representative or Customer Service Center Manager.

A Bare Stranded Copper Conductor  
 B Okoseal Insulation  
 C Tinned Stranded Copper Group Drain Wire  
 D Double Faced Aluminum/Synthetic Polymer Backed Tape  
 E Twisted, Shielded Pairs/Traids  
 F Communication Wire  
 G Double Faced Aluminum/Synthetic Polymer Backed Tape  
 H Tinned Stranded Copper Drain Wire  
 J Rip Cord  
 K Black Okoseal Jacket

**Figura. 23. Cable tipo SP-OS o PLTC Instrumentation Cable, 300 V, Okonite, Multiple Shields. Fuente: Manual "Power Control and Instrumentation Cables" (Manual de cables de control e instrumentación). Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.**

Con un  $V = 24 [V]$  en DC , una corriente  $I_n = 260,41 [mA]$  , y una  $L = 330 [m]$ . Se evalúan tres posibilidades, cables de calibre 16, 18 y 20 AWG tipo PLTC, en la tabla de la Figura. 3. 23 se observan que los cables más pequeños cuentan con 2 pares y con 4 triadas respectivamente, ya que el requerimiento no es de muchos elementos para una sola conexión se escogió este cable que dispone de la menor cantidad de conductores.

- Para un cable de calibre 16 AWG, de 2 pares, se tiene:

Los valores de resistividad están dados para cada 1000 ft (pies) o 304,9 metros, para el sistema se cuenta con una distancia aproximada de  $L = 330 [m]$  o 1082,4 [ft], se aproximan los valores tanto de resistencia como de reactancia utilizando la Ecuación 1 y la Ecuación 2.

La resistencia se toma de la tabla de la Figura. 18 y luego se le multiplica por un valor de corrección. Este factor de corrección es de **1,054 para una temperatura de 30 °C.** (Ver Figura. 19)

Number	Strand Size (AWG)	Insulation Thickness (mils)	No. of Pairs	No. of Triads	Jacket Thickness (mils)	Cable O.D. (in)	Cross- Area
20(7×)	15	2	40	0.38	0.11		
		4	50	0.44	0.15		
		6	50	0.52	0.21		
		8	50	0.56	0.25		
		10	60	0.67	0.36		
		12	60	0.70	0.38		
		16	60	0.77	0.46		
		20	60	0.85	0.57		
		24	70	0.96	0.73		
		36	70	1.09	0.94		
		50	80	1.31	1.34		
		4	50	0.49	0.19		
		8	50	0.62	0.31		
		12	60	0.77	0.47		
		16	60	0.85	0.58		
		24	70	1.07	0.90		
		36	70	1.22	1.18		

**Figura. 24** Tabla de las características principales del cable PLTC escogido. Fuente: Manual “Power Control and Instrumentation Cables” (Manual de cables de control e instrumentación). Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.

Con  $R = 4,44 \text{ } [\Omega]$  multiplicándola por el factor de corrección de temperatura y utilizando la Ecuación 1 se tiene  $R = 5,06 \text{ } [\Omega]$ .

El valor de la reactancia se obtiene en base al O.D. Con O.D.= 0,49 [in, pulgadas] (Ver Figura. 24) se interpola por medio de una línea recta entre el O.D. y el calibre AWG o kcmil, obteniendo  $X = 0,068 \text{ } [\Omega]$ , y aplicando la Ecuación 2 el valor es:

$$X = 0,074 \text{ } [\Omega]$$

Con estos valores y partiendo de la Ecuación 8:

Ecuación (8)

$$V_1 = R * I + X * I$$

Siendo:

- $V_1$  = Voltaje de caída en el conductor, voltaje que debe soportar el conductor. [V, voltios].
- $I$  = Intensidad de corriente [A, amperios].
- $R$  = Resistencia por cada 1000 ft (pies) o 304.9 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].
- $X$  = Reactancia por cada 1000 ft (pies) o 304.9 metros de cable [ohmios,  $\Omega$ ].

$$V_1 = R * I + X * I$$

$$V_1 = 5,06 * 0,260 + 0,074 * 0,260$$

$$V_1 = 1,338 [V]$$

El voltaje de salida o voltaje a través de la carga, es el voltaje que debe soportar como mínimo el cable.  $V_s = 24 - 1,338 = 22,662 [V]$ .

Tomando en cuenta el voltaje de salida y aplicando la Ecuación 9, se tiene:

Ecuación (9)

$$e(\%) = \frac{(V_{in} - V_s)}{V_s} * 100$$

$$e(\%) = \frac{(24 - 22,662)}{20,662} * 100$$

$$e(\%) = 5,91\%$$

Para los calibres 18 AWG y 20 AWG los valores obtenidos fueron de 9,66 % y 16,21 %. La mejor opción es el **Cable tipo PLTC de 2 pares, calibre 16 AWG, Instrumentation Cable (Cable de Instrumentación), 300 V.**

#### 3.4.2.1 Para un cable de calibre 16 AWG, de 4 triadas, se tiene:

Con  $R = 4,44 \text{ } [\Omega]$  multiplicándola por el factor de corrección de temperatura que en este caso es de 1,054 y utilizando la Ecuación 1 se tiene  $R = 5,06 \text{ } [\Omega]$ .

Con O.D.= 0,6 [in, pulgadas] e interpolando entre el O. D. y el calibre AWG o kcmil, se obtiene  $X = 0,076 \text{ } [\Omega]$ , y aplicando la Ecuación 2, se obtiene,  $X = 0,082 \text{ } [\Omega]$ .

Con estos valores y partiendo de la Ecuación 8:

$$V_1 = R * I + X * I$$

$$V_1 = 5,06 * 0,260 + 0,082 * 0,260$$

$$V_1 = 1,34 [V]$$

El voltaje de salida o voltaje a través de la cargaes,  $V_s = 24 - 1,34 = 22,659 [V]$ .

Tomando en cuenta el voltaje de salida y aplicando la Ecuación 9, se tiene:

$$e(\%) = \frac{(24 - 22,659)}{20,659} * 100$$

$$e(\%) = 5,92\%$$

Para los calibres 18 AWG y 20 AWG los valores obtenidos fueron de 9,67 % y 16,23 %. La mejor opción es el **Cable tipo PLTC de 4 triadas, calibre 16 AWG, Instrumentation Cable (Cable de Instrumentación), 300 V**. En la Tabla. 20 y en la Tabla. 21 se observan con mayor detalle los resultados obtenidos.

**Tabla. 20 Principales valores obtenidos para el tipo de cable PLTC utilizado en este proyecto. Cable de Instrumentación. Cable de dos pares**

Calibre (AWG)	Tipo	Voltaje de Entrada Vin	Factor de Potencia (COS $\theta$ )	Potencia (HP)	Potencia (W)	Corriente nominal (In)
20	2 pares	24	---	0,0067	5	0,208
18	2 pares	24	---	0,0067	5	0,208
16	2 pares	24	---	<b>0,0067</b>	<b>5</b>	<b>0,208</b>

Corriente nominal + 25%	Longitud (m)	Longitud (in)	Resistencia	Resistencia corregida	O.D. (in)	Reactancia
0,260	330	1082,4	11,2	12,77	0,38	0,072
0,260	330	1082,4	7,05	8,04	0,44	0,07
0,260	330	<b>1082,4</b>	<b>4,44</b>	<b>5,06</b>	<b>0,49</b>	<b>0,068</b>

Reactancia Corregida	Voltaje de fase (Vf)	Voltaje de línea (Vl)	Voltaje de Salida (Vs)	Porcentaje de caída de voltaje	Caída de voltaje
0,077	3,35	----	20,65	16,21%	Incorrecto
0,075	2,11	----	21,89	9,66%	Incorrecto
0,074	1,34	----	<b>22,66</b>	<b>5,91%</b>	<b>Correcto</b>

**Tabla. 21 Principales valores obtenidos para el tipo de cable PLTC utilizado en este proyecto. Cable de Instrumentación. Cable de 4 triadas.**

Calibre (AWG)	Tipo	Voltaje de Entrada Vin	Factor de Potencia (COS $\theta$ )	Potencia (HP)	Potencia (W)	Corriente nominal (In)
20	4 triadas	24	---	0,0067	5	0,208
18	4 triadas	24	---	0,0067	5	0,208
16	4 triadas	24	---	<b>0,0067</b>	<b>5</b>	<b>0,208</b>

Continúa →

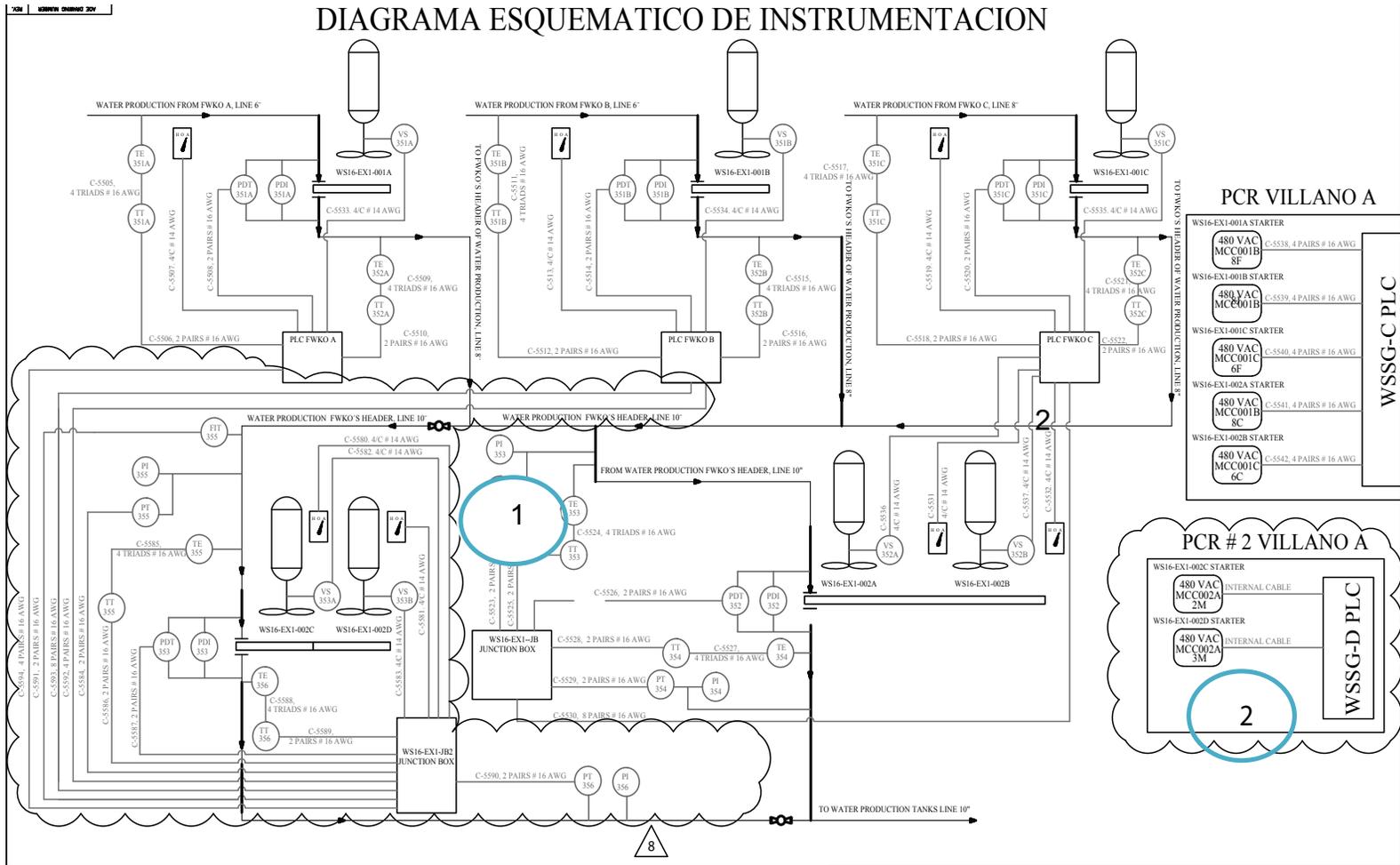
Corriente nominal + 25%	Longitud (m)	Longitud (in)	Resistencia	Resistencia corregida	O.D. (in)	Reactancia
0,260	330	1082,4	11,2	12,77	0,49	0,086
0,260	330	1082,4	7,05	8,04	0,54	0,078
0,260	330	1082,4	4,44	5,06	0,6	0,076

Reactancia Corregida	Voltaje de fase (Vf)	Voltaje de línea (Vl)	Voltaje de Salida (Vs)	Porcentaje de caída de voltaje	Caída de voltaje
0,093	3,35	----	20,65	16,23%	Incorrecto
0,084	2,12	----	21,88	9,67%	Incorrecto
0,082	1,34	----	22,66	5,92%	Correcto

### 3.5 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE INSTRUMENTACIÓN (Nuevo Aero Enfriador)

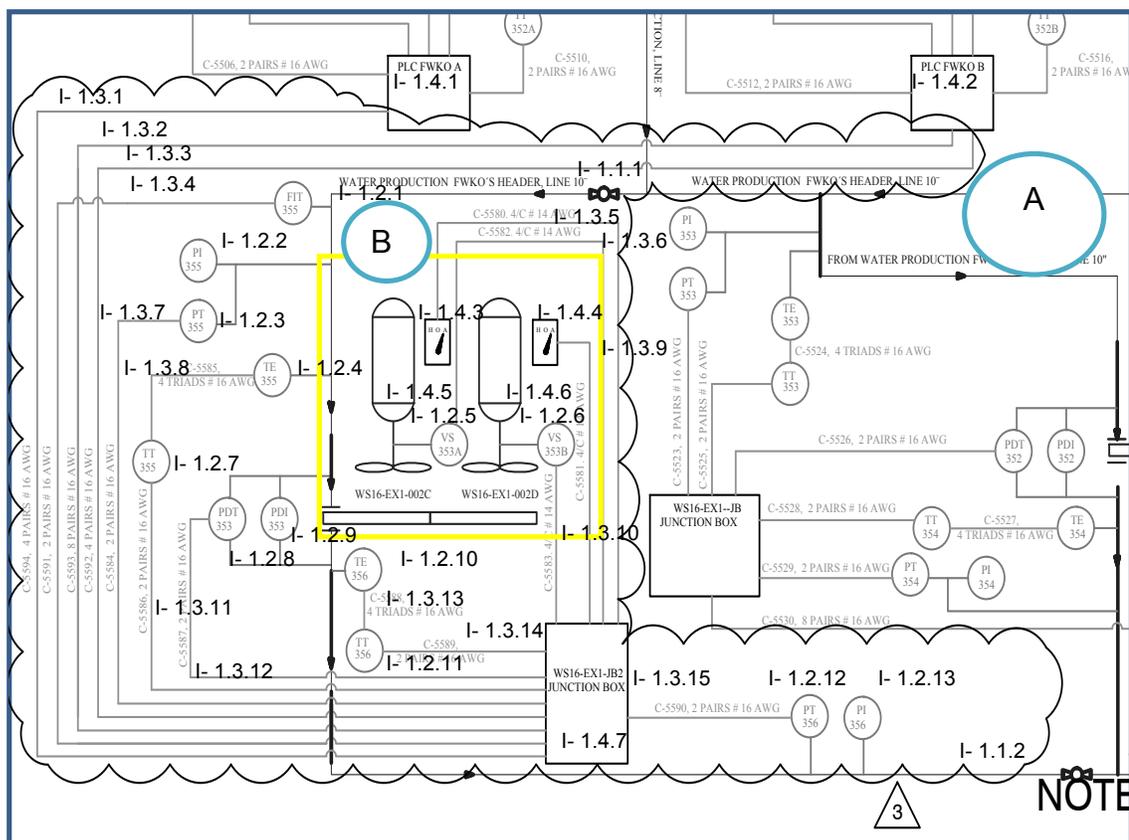
Considerando todos los aspectos tanto: climáticos, de proceso, grosor y tipo de cable, se plantea el plano final de esquematización del proyecto. Este diagrama, puede sufrir cambios en la implementación, ya sea por espacio físico o por disponibilidad de materiales, el diagrama que se muestra en la Figura. 25, es el que debe ser implementado salvo las excepciones planteadas. Se encuentra dividido en dos partes.

La Figura. 26, indica la primera parte, correspondiente a la segunda etapa del proceso, esta se compone de un Aero enfriador general, aquí llegan los flujos de los Aero enfriadores A/B/C de la primera etapa. Este nuevo Aero enfriador se encuentra en paralelo al WS16-EX1-002 A/B (Aero enfriador existente de segunda etapa). Está dividido en dos secciones.



**Figura. 25 Diagrama esquemático de instrumentación, incluye el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.**

### 3.5.1 Primera Parte (Nuevo Aero Enfriador)



**Figura. 26 Primera parte del diagrama esquemático de instrumentación. 26. A. Sistema en conjunto especificando detalles exteriores del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa. 26. B. Nuevo Aero enfriador general de segunda etapa y su instrumentación.**

**A** Señala el proceso de enfriamiento correspondiente a la segunda etapa, se incluyen las líneas de tubería, el Aero enfriador, los sensores y conexiones al PLC. La líneas son de tubería de  $\varnothing 10''$  (10 pulgadas de diámetro) que transporta el Agua hasta llegar al Aero enfriador, luego, el agua se dirige hacia los tanques Skimmer finalizando el proceso.



Señala la parte que corresponde al Aero enfriador general de segunda etapa WS16-EX1-002 C/D, y sus dispositivos directamente asociados, se compone de la numeración I- 4.4.3 y I- 4.4.4, la simbología es de dos motores separados el uno del otro con dos aspas cada uno que se ubican sobre un rectángulo que simboliza el espacio donde circula el agua. Los nombres y los tipos de tubería se observan en la Tabla. 22. Los nombres y la simbología de los dispositivos se ubican en la Tabla. 23. Las conexiones entre los distintos elementos se resumen en la Tabla. 24 y en la Tabla. 25.

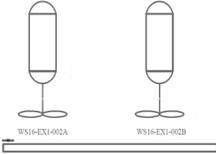
**Tabla. 22. Número de líneas (tuberías) y su descripción, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso.**

Numeración	Nombre del elemento	Tipo del elemento y/o descripción
I - 1.1.1	N/A	Agua de producción desde la unión de los flujos provenientes de los Aero enfriadores A,B y C de primera etapa, hacia la entrada del Aero enfriador general de segunda etapa, línea de 10 pulgadas de diámetro
I - 1.1.2	N/A	Agua de producción de salida después de pasar por el Aero enfriador general de segunda etapa, línea de 10 pulgadas de diámetro

**Tabla. 23. Simbología y descripción de los elementos del proceso, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso.**

Numeración	Nombre del elemento	Tipo del elemento y/o descripción	Símbolo
I - 4.2.1	FIT 355	Transmisor Indicador de Presión.	
I - 4.2.2	PI 355	Indicador de presión.	
I - 4.2.3	PT 355	Transmisor de presión	

**Continúa →**

I – 4.2.4	TE 355	Sensor de Temperatura.	
I – 4.2.5	VS 353 A	Interruptor de Vibración.	
I – 4.2.6	VS 353 B	Interruptor de Vibración.	
I – 4.2.7	TT 355	Transmisor de Temperatura.	
I – 4.2.8	PDT 353	Transmisor diferencial de Presión	
I – 4.2.9	PDI 353	Indicador diferencial de Presión	
I – 4.2.10	TE 356	Sensor de Temperatura.	
I – 4.2.11	TT 356	Transmisor de Temperatura.	
I – 4.2.12	PT 356	Transmisor de Presión	
I – 4.2.13	PI 356	Indicador de Presión	
I – 4.4.3	WS16 - EX1 –	<b>Nuevo</b> Aero enfriador general de segunda etapa.	
I – 4.4.4	002 C. WS16 - EX1 – 002 D.		
I – 4.4.5 (Asociado al dispositivo I – 4.4.3)	Hand Switch (Interruptor Manual)	Interruptor de 3 posiciones, A (Automático), O (Off, apagado), H (Hand, manual)	
I – 4.4.6 (Asociado al dispositivo I – 4.4.4)			
I – 4.4.7	WS16- EX1- JB2	Junction Box (Caja o Tablero de Conexiones)	

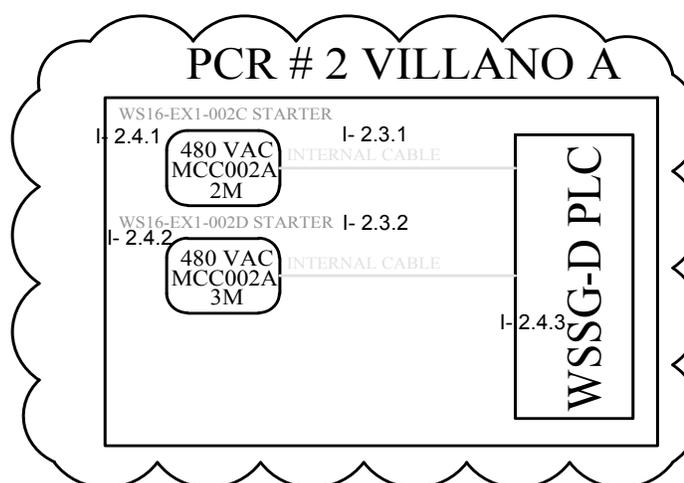
**Tabla. 24 Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso. (Primera Parte)**

Numeración	Nombre de la conexión	Tipo del elemento y/o descripción	Dispositivos asociados
I – 1.3.1	C- 5536	PLTC de 4 conductores y # 14 AWG	VS 352 A, PLC FWKO C
I – 1.3.2	C- 5531	PLTC de 4 conductores y # 14 AWG	Hand Switch (Interruptor de tres posiciones), PLC FWKO C
I – 1.3.3	C- 5537	PLTC de 4 conductores y # 14 AWG	VS 352 B, PLC FWKO C
I – 1.3.4	C- 5532	PLTC de 4 conductores y # 14 AWG	Hand Switch (Interruptor de tres posiciones), PLC FWKO C
I – 1.3.5	C- 5530	PLTC de 8 pares y # 16 AWG	WS16-EX1-JB (Tablero de Conexiones) , PLC FWKO B
I – 1.3.6	C- 5523	PLTC de 2 pares y # 16 AWG	WS16-EX1-JB (Tablero de Conexiones) , PT 353
I – 1.3.7	C- 5524	PLTC de 4 triadas y # 16 AWG	TE 353, TT 353.
I – 1.3.8	C- 5525	PLTC de 2 pares y # 16 AWG	WS16-EX1-JB (Tablero de Conexiones), TT 353.

**Tabla. 25 Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, que corresponden a la nueva parte de la segunda etapa del proceso. (Segunda Parte)**

I – 1.3.9	C- 5526	PLTC de 2 pares y # 16 AWG	WS16-EX1-JB (Tablero de Conexiones), PDT 352.
I – 1.3.10	C-5528	PLTC de 2 pares y # 16 AWG	WS16-EX1-JB (Tablero de Conexiones), TT 354.
I – 1.3.11	C-5527	PLTC de 4 triadas y # 16 AWG	TT 354, TE 354.
I – 1.3.12	C-5529	PLTC de 2 pares y # 16 AWG	PT 354, PI 354.

### 3.5.2 Segunda Parte



**Figura. 27 Distintos MCC (Centros de control del motor) y la ubicación de sus arrancadores con las conexiones correspondientes.**

PCR # 2 Villano A, significa cuarto de control de poder # 2, o por sus siglas en inglés Power Control Room, del campo Villano A, el dispositivo I-2.4.1 es un MCC, que trabaja con 480 V en AC. MCC, significa centro de control del motor, o Motor Control Center, 2M, sirve para su ubicación, siendo 2 el número de columna y M la letra de la Fila, nombrados de forma ascendente de izquierda a derecha y de arriba hacia abajo. La Figura. 7, se muestra la ubicación dentro del centro de control del motor MCC 002A- 2M. En la Tabla. 26, se observan detalles de los dispositivos o elementos. En la Tabla. 27, se indica las conexiones de los distintos dispositivos.

**Tabla. 26 Elementos y sus relaciones dentro del PCR #2 Villano A (Centro de control de Poder de Villano A), pertenecientes a la segunda parte del diagrama de instrumentación.**

Numeración	Nombre del elemento	Tipo del elemento y/o descripción.	Ubicación
I-2.4.1	WS16-EX1-002 C STARTER	Arrancador perteneciente a la primera parte (primer motor) del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.	MCC002A- 2M
I-2.4.2	WS16-EX1-002 D STARTER	Arrancador perteneciente a la segunda parte (segundo motor) del nuevo Aero enfriador general de segunda etapa.	MCC002A- 3M
I-2.4.3	WSSG- D PLC	PLC Control Logix 1756 Allen Bradley funciona como Switch Gear (Controla los Interruptores de Potencia) dentro del PCR #2 Villano A	PCR #2 Villano A

**Continúa→**

**Tabla. 27. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la segunda parte del diagrama de instrumentación.**

Numeración	Nombre de la conexión	Tipo del elemento y/o descripción	Dispositivos asociados
I – 2.3.1	C-5541.	Cable multifilar # 14 AWG	WS16-EX1-002 C STARTER, WSSG- D PLC.
I – 2.3.2	C-5542.	Cable multifilar # 14AWG	WS16-EX1-002 DSTARTER, WSSG- D PLC.

### **3.6 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DE POTENCIA Y CONTROL (Nuevo Aero Enfriador)**

Considerando todos los aspectos tanto: climáticos, de proceso, grosor y tipo de cable, se plantea el plano final de potencia y control del proyecto. Este diagrama, puede sufrir cambios en la implementación, ya sea por espacio físico o disponibilidad de materiales, el diagrama que se muestra en la Figura. 28 muestra el diagrama de todo el sistema. En la Figura. 29 se muestra la parte correspondiente al nuevo Aero Enfriador, que debe ser implementado salvo las excepciones planteadas.

Los nombres y los tipos de tubería se observan en la Tabla. 28. Los nombres y la simbología de los dispositivos se ubican en la Tabla. 29. Las conexiones entre los distintos elementos se resumen en la Tabla. 30.

DIAGRAMA ESQUEMATICO DE POTENCIA Y CONTROL

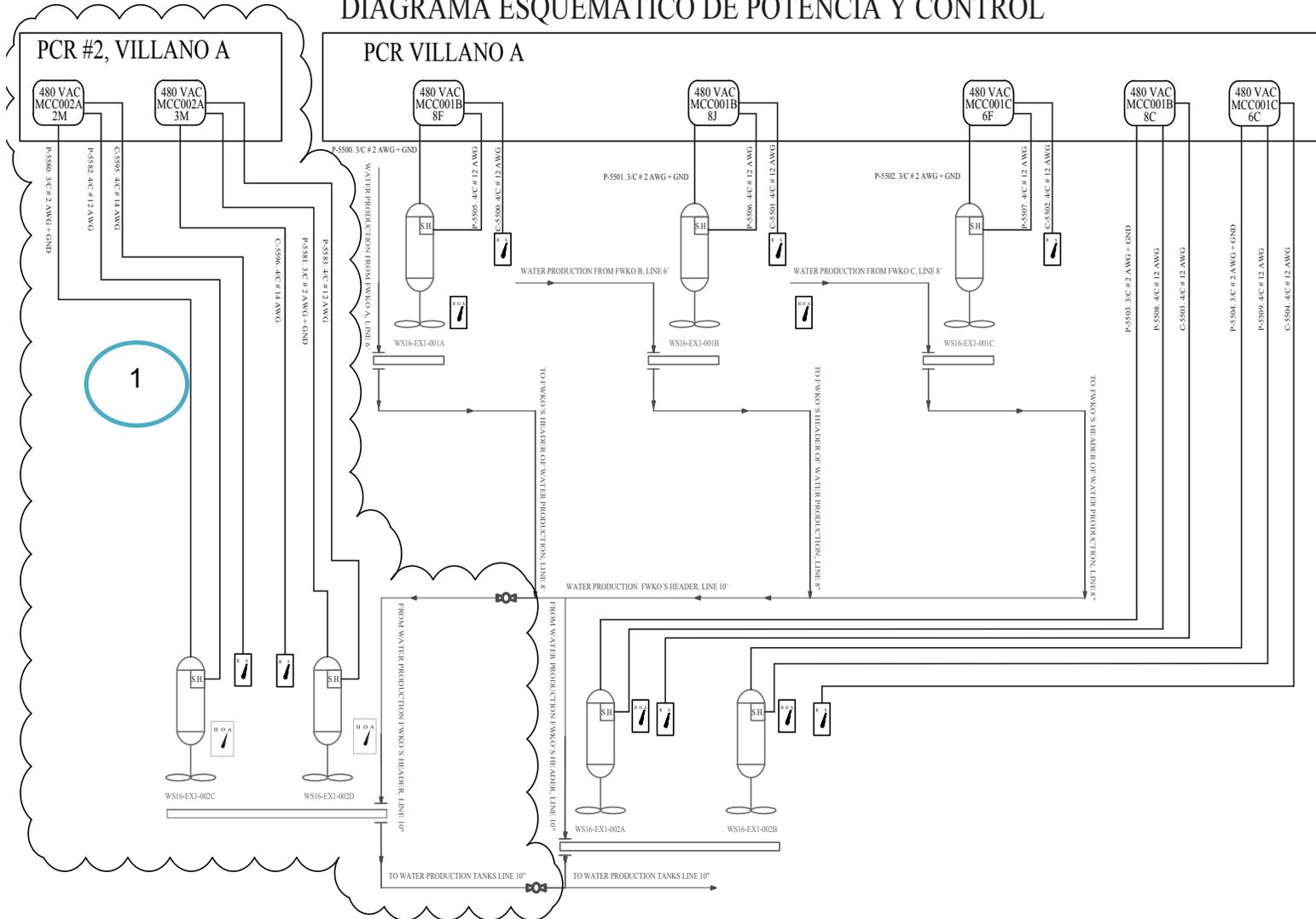
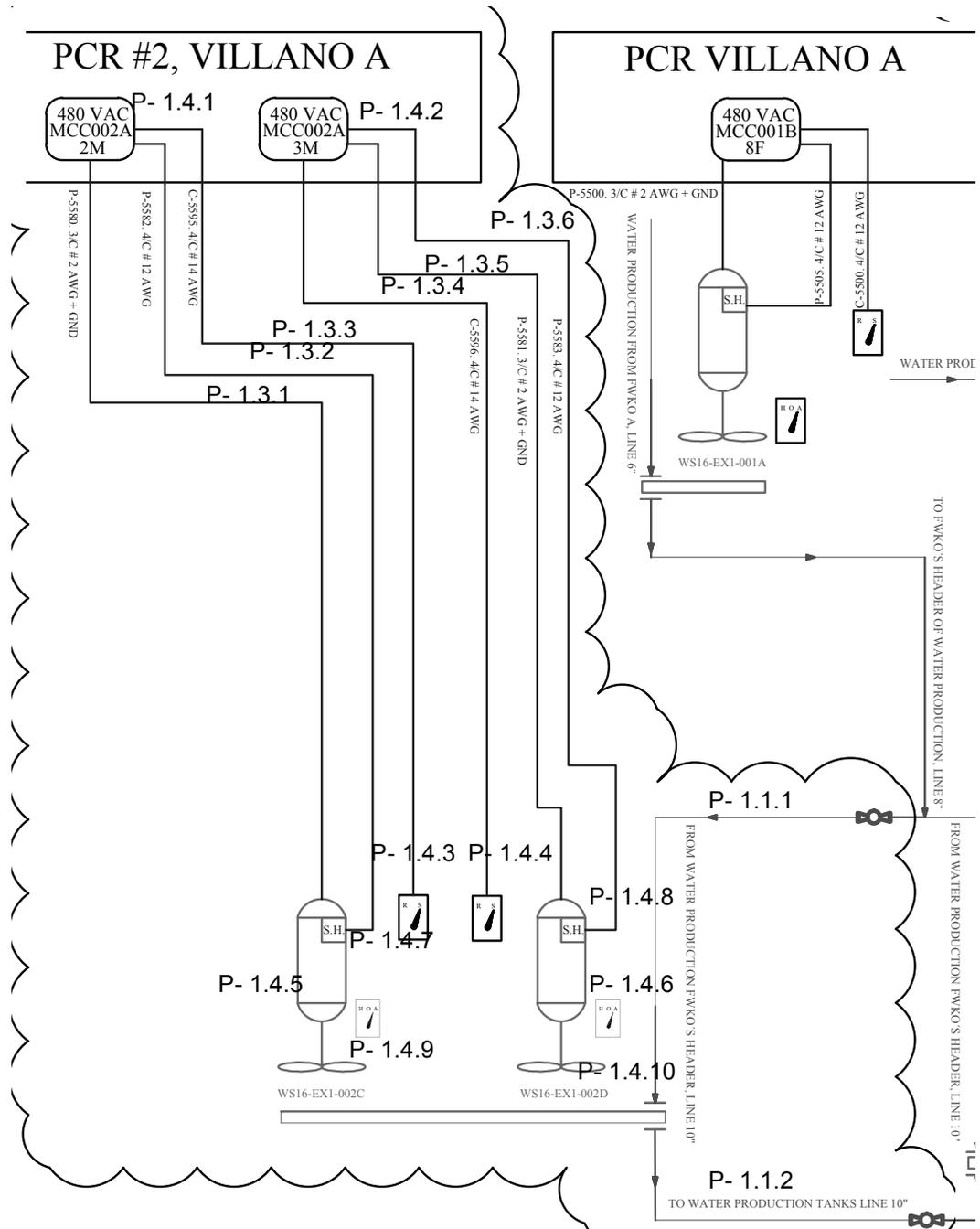


Figura. 28 Diagrama esquemático de potencia y control, incluye el nuevo Aero enfriador general de segunda etapa

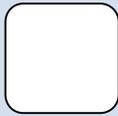
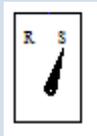


**Figura. 29** Nuevo Aero enfriador de segunda etapa compuesto por dos motores, Space Heater (Calentador) e interruptores manuales de dos y tres posiciones del diagrama esquemático de potencia y control.

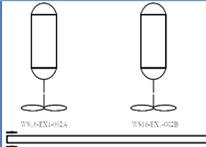
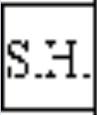
**Tabla. 28 Número de líneas (tuberías) y su descripción, que corresponden a la primera parte (nuevo Aero Enfriador) del diagrama esquemático de potencia y control.**

Numeración	Nombre del elemento	Tipo del elemento y/o descripción
P- 1.1.1	N/A	Agua de producción desde los Aero enfriadores A/B/C hacia la entrada del <b>nuevo</b> Aero enfriador general de segunda etapa, línea de 10 pulgadas de diámetro
P- 1.1.2	N/A	Agua de producción de salida después de pasar por el <b>nuevo</b> Aero enfriador general de segunda etapa, línea de 10 pulgadas de diámetro

**Tabla. 29. Simbología, color y descripción de los elementos del proceso, que corresponden a la primera parte del nuevo Aero Enfriador del diagrama esquemático de potencia y control**

Numeración	Nombre del elemento	Tipo del elemento y/o descripción	Símbolo
P- 1.4.1	MCC002A- 2 M	Centro de control del motor, Motor Center Control, Columna 2 Fila M.	
P- 1.4.2	MCC002A- 3 M	Centro de control del motor, Motor Center Control, Columna 3 Fila M.	
P- 1.4.3 (Asociado al dispositivo P – 1.4.5) P- 1.4.4 (Asociado al dispositivo P – 1.4.6)	Hand Switch (Interruptor Manual)	Interruptor de 2 posiciones con R (Run, Corriendo/ Encendido) y S (Stop, Parada/ Apagado),	

Continúa→

<b>WS16 - EX1</b>			
<b>P – 1.4.5</b>	<b>– 002 C.</b>	<b>Nuevo Aero enfriador</b>	
<b>P– 1.4.6</b>	<b>WS16 - EX1</b>	<b>general de segunda etapa.</b>	
	<b>– 002 D.</b>		
<b>P- 1.4.7</b>			
<b>(Asociado</b>			
<b>al</b>	SH,	Calentador que forma parte	
<b>dispositivo</b>	Calentador,	del <b>nuevo</b> Aero enfriador.	
<b>P – 1.4.5)</b>	Space		
<b>P- 1.4.8</b>	Heater.		
<b>(Asociado</b>			
<b>al</b>			
<b>dispositivo</b>			
<b>P – 1.4.6)</b>			
<b>P– 1.4.9</b>			
<b>(Asociado</b>			
<b>al</b>	Hand Switch	Interruptor de 3 posiciones,	
<b>dispositivo</b>	(Interruptor	A (Automático), O (Off,	
<b>P – 1.4.5)</b>	Manual)	apagado), H (Hand, manual)	
<b>P – 1.4.10</b>			
<b>(Asociado</b>			
<b>al</b>			
<b>dispositivo</b>			
<b>P – 1.4.6)</b>			

**Tabla. 30. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la primera parte del nuevo Aero Enfriador del diagrama esquemático de potencia y control.**

Numeración	Nombre del cable	Tipo del elemento y/o descripción	Dispositivos asociados
P- 1.3.1	P- 5580	TC de 3 conductores más Tierra y de calibre # 2 AWG (Cable de Potencia)	MCC002A-2M, WS16-EX1-002C <b>(Nuevo)</b>
P- 1.3.2	P- 5582	TC de 4 conductores y # 12 AWG (Cable de Potencia)	MCC002A- 2M, SH
P- 1.3.3	C- 5595	TC de 4 conductores y # 14 AWG (Cable de Control)	MCC002A-2M, Interruptor de dos posiciones (Run y Stop).
P- 1.3.4	C- 5596	TC de 4 conductores y # 14 AWG (Cables de Control)	MCC002A-3M, Interruptor de dos posiciones (Run y Stop).
P- 1.3.5	P- 5581	TC de 3 conductores más Tierra y de calibre # 2 AWG (Cable de Potencia)	MCC002A-3M, WS16-EX1- 002 D <b>(Nuevo)</b>
P- 1.3.6	P-5583	TC de 4 conductores y # 12 AWG (Cable de Potencia)	MCC002A- 3M, SH

### 3.7 ARQUITECTURA DE RED DE DATOS.

La arquitectura está basada en una red de tipo Anillo compuesta de redes LAN's (Local Area Network, Redes de Área Local), las comunicaciones se dan con tecnología basada en fibra óptica, UTP o par trenzado y cable coaxial. Con protocolos de comunicación: ModBus, Ethernet/IP (Industrial Protocol), ControlNet y radio frecuencia.

Cada área de acuerdo a sus especificaciones, equipos y necesidades utiliza un determinado protocolo y tecnología para su comunicación. Cabe destacar que la mayor parte de la infraestructura se ha mudado a fibra óptica del tipo Monomodo y Multimodo. Además, se utilizan equipos CISCO tanto para Routers como para Switchs.

Cabe señalar que el estudio se basará en lo que compete al PLC WSSG- D, es el PLC que recibirá las señales de potencia del nuevo Aero enfriador y funciona como Switch Gear (Controla los interruptores de Potencia) de este y otros procesos. También se identifica a los PLC's FWKO A y FWKO B, a los cuales se conectarán las señales de instrumentación del Proceso.

Tanto el PLC WSSG-D como los PLC's FWKO A y FWKO B se conectan a la red por medio de fibra óptica multimodo a los Swtichs y Routers de la Red,

luego se interconecta esta red con la Red LAN de Villano A que consta de un Scada Terminal, es el terminal del sistema de adquisición de datos, y del Engineering Workstation, Estación de Trabajo de Ingeniería, que se encuentra en el Control Room, Cuarto de Control, para que lo puedan manipular los operadores del Departamento de Producción. También se conecta por medio de un Router Cisco hacia Villano B y hacia CPF. Interconectando así a todos los campos.

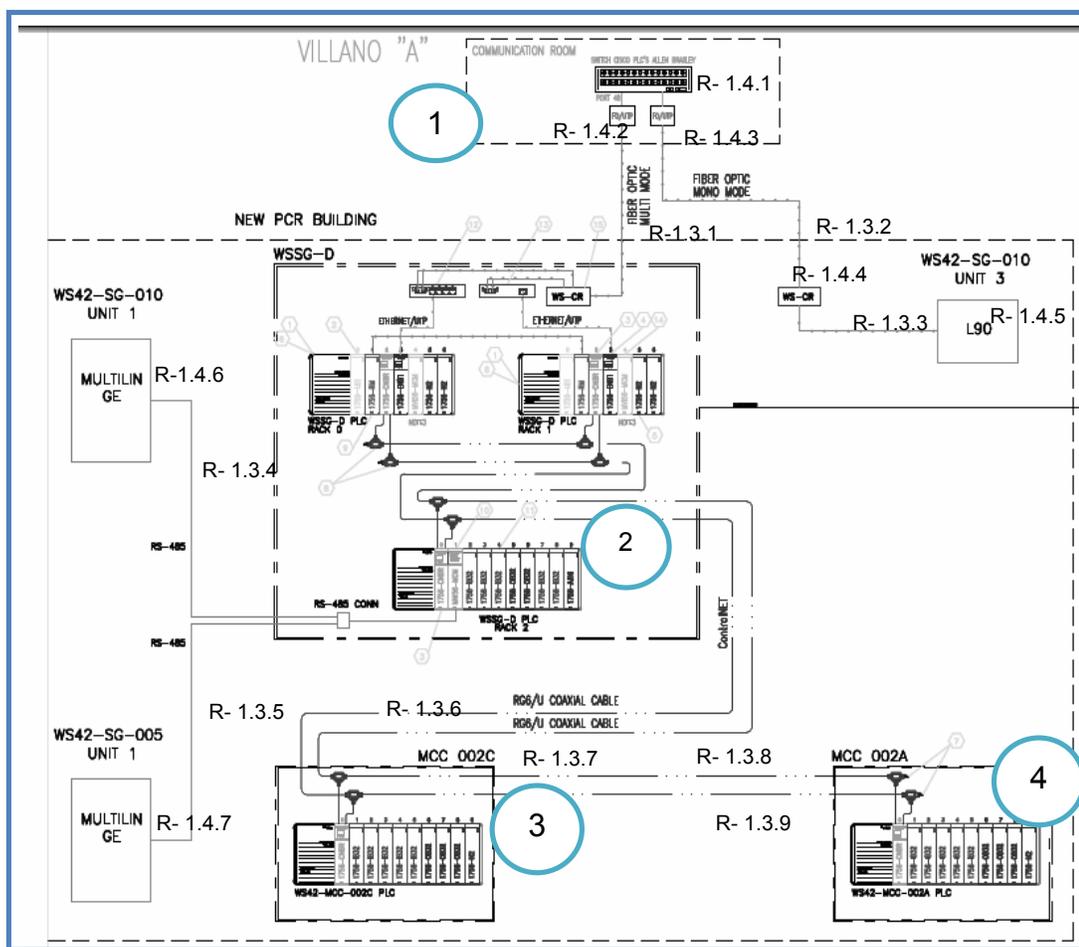
Las conexiones del proceso de enfriamiento se dan debido a la disponibilidad de espacio físico de los PLC's nombrados, no intervienen características en cuanto a distancia o facilidad de manipulación, sin embargo, se destaca que para la elección de los mismos se siguen criterios en base a la facilidad de implementación, como es el caso, de no construir o instalar, más paneles para PLC's o realizar más perforaciones en los paneles ya existentes, que se necesitarían si se incluye un nuevo ducto de cables (ducto de conexiones).

### **3.7.1 Primera Sección de la Red**

1

Esta sección engloba todo lo externo al PLC WSSG- D y sus racks (rejillas o estantes). Los Switchs Cisco Allen Bradley, están conectados a los dispositivos conversores de UTP a Fibra óptica o viceversa. Cada empalme está ubicado dentro de la Fiber Optic Box, caja de empalme de

fibra óptica, las conexiones en cuanto a fibra son del tipo: Monomodo y Multimodo según la funcionalidad. Existen, además, dispositivos que funcionan como relés diferenciales: Multilin L90 y Multiling LG. Existe cable de par trenzado para comunicación por protocolo RS – 485 y para Ethernet. (Ver Figura. 30)

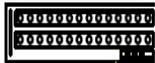
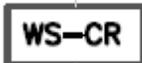


**Figura. 30 Infraestructura de Red del PLC WSSG – D. Se encuentra dividido en 4 secciones. Fuente: Departamento de Ingeniería de Agip Oil Ecuador.**

La sección 2 contiene cables de tipo RG6/U Coaxial Cable, cable coaxial de 75  $\Omega$  [ohmios] para transmisión de banda ancha y de calibre 18 AWG por medio del protocolo de comunicación ControlNet.

Por último la Sección 3 (MCC 002 A) se enlaza a la Sección 4 (MCC 002 C) por medio de cables de tipo RG6/U Coaxial Cable, cable coaxial de 75  $\Omega$  [ohmios] para transmisión de banda ancha y de calibre 18 AWG por medio del protocolo de comunicación ControlNet. Los detalles acerca de los protocolos de comunicación se conocerán en cada una de las Secciones en las cuales se utilicen. Los nombres y la simbología de los dispositivos se ubican en la Tabla. 31 y las conexiones entre los distintos elementos se resumen en la Tabla. 32.

**Tabla. 31. Simbología, y descripción de los elementos del proceso, que corresponden a la primera sección de la infraestructura de red.**

Numeración	Nombre del elemento	Tipo del elemento y/o descripción	Símbolo
R- 1.4.1	N/A	Switch Cisco Allen Bradley.	
R- 1.4.2 y R- 1.4.3	FO / UTP	Convertidor de cable de fibra óptica a par trenzado.	
R- 1.4.4	WS- CR	FiberOptic Box, Caja de empalme de fibra óptica.	

Continúa→

<b>R- 1.4.5</b>	WS42- SG- 010 ( L90 )	Dispositivo de protecciones Multilin L90 (Multilin L90, nombre del dispositivo perteneciente a General Electric).	L90
<b>R- 1.4.6</b>	WS42 – SG – 010 UNIT 1 (MULTILIN GE)	Dispositivo de protecciones Multilin GE (Multilin GE, nombre del dispositivo perteneciente a General Electric).	MULTILIN GE
<b>R- 1.4.7</b>	WS42 – SG – 005 UNIT 1 (MULTILIN GE)	Dispositivo de Protecciones Multilin GE.	

**Tabla. 32. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la primera sección de la infraestructura de Red.**

Numeración	Nombre del cable	Tipo del elemento y/o descripción	Dispositivos asociados
<b>R- 1.3.1</b>	N/A	Fiber Optic Multimode, Fibra Óptica del tipo Multimodo.	R- 1.4.2 (FO/UTP) y R- 2.4.3 (Sección 2)
<b>R- 1.3.2 y R- 1.3.3</b>	N/A	Fiber Optic Mono mode, Fibra Óptica del tipo Monomodo.	R- 1.4.3 (FO/UTP) y WS-CR
<b>R- 1.3.4 y R- 1.3.5</b>	N/A	Cable UTP, par trenzado con protocolo de comunicación RS- 485	WS42 – SG – 010 UNIT 1 (MULTILIN GE) junto al WS42 – SG – 005 UNIT 1 (MULTILIN GE) asociados con el R-2.4.8 (Sección 2)

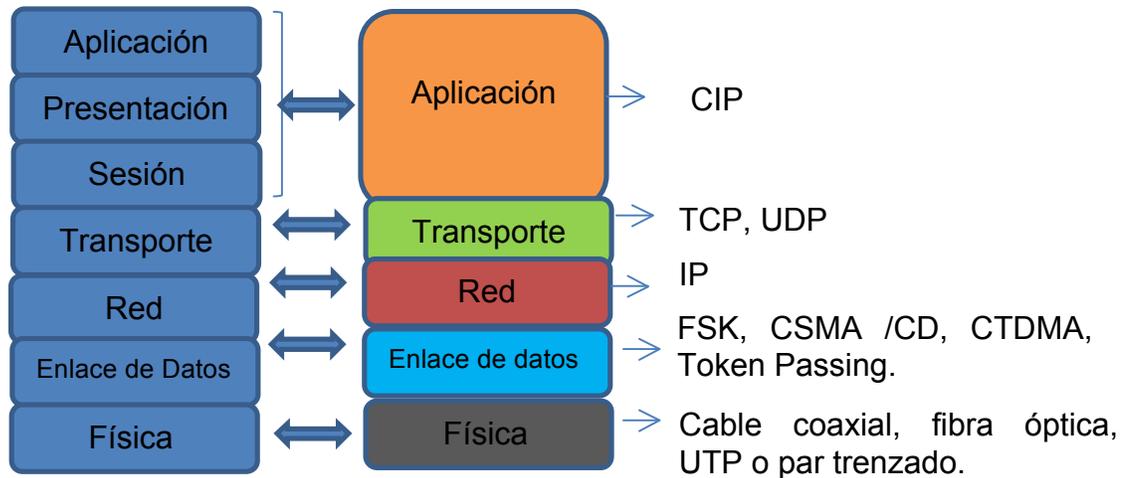
**Continúa→**

<b>R- 1.3.6 y R- 1.3.7</b>	RG6 / U Coaxial Cable, Control NET	Cable coaxial tipo RG6 /U, 75 $\Omega$ [ohmios] con calibre 18 AWG. Protocolo de Comunicación ControlINET	R-2.4.6 (Sección 2) R- 3.4.1 y R-3.4.2 (Sección 3)
<b>R- 1.3.8 y R- 1.3.9</b>	N/A	Cable coaxial tipo RG6 /U, 75 $\Omega$ [ohmios] con calibre 18 AWG. Protocolo de Comunicación ControlINET	R-3.4.1, R-3.4.2 (Sección 3), R-4.4.1, R-4.4.2 (Sección 4)

### 3.7.2 Segunda Sección de la Red

Se utiliza el protocolo TCP/IP (Transmission Control Protocol /Internet Protocol o Protocolo de Control de Transmisión/ Protocolo de Internet) para enviar mensajes explícitos. En TCP/IP cada paquete no solo tiene datos de aplicación, sino que incluye el significado de los datos y el servicio a realizar sobre los datos. Con mensajes explícitos, estos contienen la información de dirección y de servicio que lleva al dispositivo receptor a realizar cierta acción en una parte específica de un dispositivo, los nodos tienen que interpretar cada mensaje, ejecutar la tarea requerida y generar respuestas.

Este tipo de mensajes se usan para configurar dispositivos y para realizar diagnósticos, son muy variables en tamaño y frecuencia.



**Figura. 31 Relación entre el modelo OSI y el modelo para redes industriales utilizado en este proyecto**

También se utiliza el servicio de transporte estándar User Datagram Protocol / Internet Protocol (UDP/IP, parte del conjunto TCP/IP), que proporciona funcionalidad de mensajería multicast en tiempo real, conocida como mensajería implícita. Con mensajes implícitos, el campo de datos de aplicación contiene únicamente datos de entradas y salidas en tiempo real. Cabe señalar que el protocolo Ethernet / IP está basado a nivel de aplicación en el protocolo CIP (Common Industrial Protocol o Protocolo Común Industrial), que es el mismo protocolo utilizado por DeviceNet y ControlNet que ofrece la configuración de dispositivos, recolección de datos, enclavamiento entre dispositivos similares y control de estados de entrada y salida en tiempo real.

Funciona de forma que: los mensajes CIP de la capa de aplicación se “empaquetan” mediante encapsulación en las tramas TCP/IP con UDP/IP

proporcionando el servicio de mensajería implícita, en el cual, se proporcionan trayectorias de comunicación dedicadas de propósito especial entre una aplicación productora y una o más aplicaciones consumidoras. Los datos de entrada y salida específicos de aplicación se mueven a través de estos puertos, proceso llamado frecuentemente de Mensajería Implícita (debido a que se sobre entiende que son datos de entrada y salida). Estos mensajes son típicamente multicast. De este modo, una aplicación puede enviar sus datos a otra aplicación a través de Ethernet, haciendo analogía a introducir una carta en un sobre. (Ver Figura. 31)

Este mensaje “empaquetado” se envía a través de Ethernet hasta el dispositivo de destino en el que una vez recibido el protocolo TCP / IP lo vuelve a enviar al protocolo de encapsulación para “desempaquetar” el mensaje original CIP (abrir el sobre y sacarlo) y volver a enviarlo, a través del protocolo CIP, hasta la aplicación receptora.

Cabe señalar dos detalles; primero, el modelo de comunicación es de tipo Productor / Consumidor y es la forma en la que son compartidos los mensajes. En este modelo, el dispositivo “productor” coloca un mensaje sobre la red para el consumo por uno o varios consumidores. Generalmente, el mensaje producido no se dirige a un consumidor específico. Por otra parte, el “consumidor” es un dispositivo que recoge (consume) un mensaje puesto en la

red por un dispositivo productor. Y segundo, Multicast, es el envío de información desde un dispositivo emisor, es un consumidor que envía un mensaje de solicitud de información hacia varios dispositivos receptores determinados, que para el caso resultarían ser varios productores.

En consecuencia, Ethernet/IP combina el protocolo TCP/IP y los telegramas de datos UDP/IP para el transporte de paquetes de mensajes explícitos e implícitos, lo que significa que, en este caso, tanto los datos de entrada y salida en tiempo real para las tareas de control prioritarias (UDP) como los datos de información (TCP) de una red pueden utilizarse en paralelo.

Por consiguiente, Ethernet/IP resulta ideal para las tareas de control de entrada y salida, configuración, diagnóstico, y adquisición de datos, especialmente si se tiene en cuenta la interoperabilidad, flexibilidad, manejo y distribución de las cantidades de información necesarias dentro de un entorno industrial que benefician a la correcta utilización de recursos y reduce el tiempo de respuesta por parte del recurso humano.

ControlNet está basado a nivel de aplicación en CIP y a nivel de enlace de datos en acceso al medio con CTDMA (Concurrent Time Domain Multiple Access, Acceso Múltiple de dominios con tiempo concurrente), es un método de acceso a la red patentado por Allen-Bradley, divide el ancho de banda en dos



R- 2.4.6	N/A	“T” para el empalme de cable coaxial tipo RG6 /U, 75 $\Omega$ [ohmios] con calibre 18 AWG, con protocolo de comunicación ControlNet.	
R- 2.4.8	RS- 485 CONN	Transceiver (convertidor), convierte cable UTP par trenzado Ethernet a par trenzado RS-485.	

**Tabla. 34. Nombre, descripción y elementos asociados a las distintas conexiones, pertenecientes a la segunda sección de la infraestructura de Red.**

Numeración	Nombre del cable	Tipo del elemento y/o descripción	Dispositivos asociados
R- 2.3.1	N/A	Fiber Optic Multimode, Fibra Óptica del tipo Multimodo.	R- 1.4.2 (FO/UTP) (Sección 1) y R- 2.4.3
R- 2.3.2			R- 2.4.3 (WS-CR), R- 2.4.1 (Router)
R- 2.3.3			R- 2.4.3 (WS-CR), R- 2.4.2 (Router)
R- 2.3.4	N/A	Cable UTP, par trenzado con protocolo de comunicación Ethernet.	R- 2.4.1 y el Slot 3 del Rack 0 del PLC WSSG-D (R- 2.4.4)
R- 2.3.5			R- 2.4.1 y el Slot 3 del Rack 1 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5)
R- 2.3.6	N/A	Fiber Mono mode, Fibra Óptica del tipo Monomodo.	Slot 1 del Rack 0 del PLC WSSG-D (R- 2.4.4), Slot 1 del Rack 1 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5)

Continúa→

<b>R- 2.3.7 y R-2.3.9</b>	N/A	Cable coaxial tipo	Slot 3 del Rack 0 del PLC WSSG-D (R- 2.4.4), Slot 3 del Rack 1 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5)
<b>R- 2.3.8 y R-2.3.10</b>	N/A	RG6 /U, 75 Ω [ohmios] con calibre 18 AWG. Protocolo de	Slot 3 del Rack 1 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5), Slot 0 del Rack 2 del PLC WSSG-D (R- 2.4.7)
<b>R- 2.3.11 y R-2.3.12</b>	N/A	Comunicación ControlNet	Slot 0 del Rack 2 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5), WS42-MCC-002C PLC (R-3.4.2 Sección 3)
<b>R-2.3.13</b>	N/A	Cable UTP, par trenzado con protocolo de comunicación Ethernet.	Slot 1 del Rack 2 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5) y R- 2.4.8.
<b>R-2.3.14</b>	N/A	Cable UTP, par trenzado con protocolo de	Slot 1 del Rack 2 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5) y R- 1.4.6 (Sección 1).
<b>R-2.3.15</b>		comunicación RS- 485.	Slot 1 del Rack 2 del PLC WSSG-D (R- 2.4.5) y R- 1.4.7 (Sección 1).

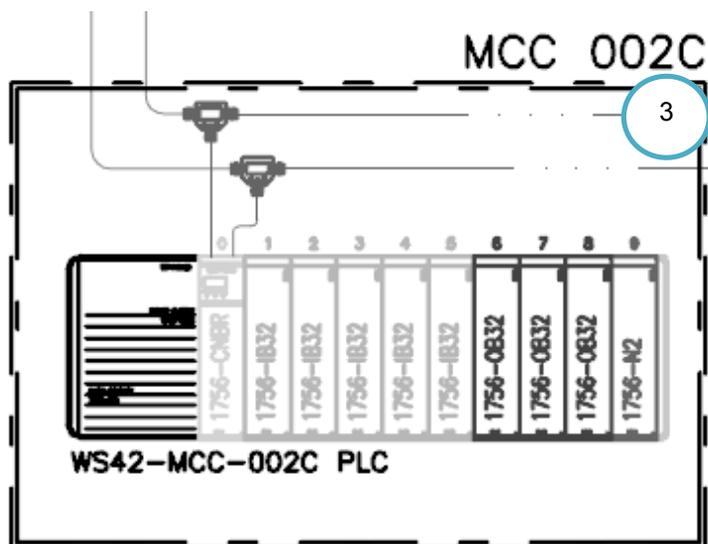
Los nombres y la simbología de los dispositivos se ubican en la Tabla. 33 y las conexiones entre los distintos elementos se resumen en la Tabla. 34.

ModBus es un protocolo estándar con comunicación tipo cliente/servidor o maestro/esclavo para distintos equipos conectados físicamente. Es muy utilizado debido a la sencillez del protocolo, versatilidad, y sus especificaciones son de acceso libre y gratuito. ModBus es de tipo Petición/Respuesta, por lo que en una transacción de datos se puede identificar al dispositivo que realiza una petición como el cliente o maestro, y al que devuelve la respuesta como el servidor o esclavo de la comunicación. Cada esclavo de la red se identifica con una dirección única de dispositivo.

Un maestro puede hacer dos tipos de peticiones a un esclavo: para enviar datos a un esclavo y esperar su respuesta de confirmación, o para pedir datos a un esclavo y esperar su respuesta con los datos. Las peticiones de lectura y escritura que envía un maestro llevan asociado un código de función que el esclavo debe ejecutar. Según ese código, el esclavo interpretará los datos recibidos del maestro y decidirá qué datos debe devolver. Los códigos de función dependen de los dispositivos y de las tareas que estos pueden realizar. El protocolo ModBus también utiliza para el control de acceso al medio el método token passing, que es el turno de envío o recepción de señales y que por medio de este turno se garantiza el tiempo de comunicación. Haciendo que los datos lleguen de manera confiable y no se pierdan o retrasen. ModBus RTU es un tipo de ModBus, que permite la supervisión y cambio de datos en los dispositivos RTU (Unit Terminal Remote, Unidad terminal remota), los RTU para

este caso son los Multilin L90 y GE, que son dispositivos de protecciones, están ubicados en la red de 35 KV y 4,16 KV y funcionan como relés diferenciales, se comunican con el MCC (Motor Control Room) por medio del módulo Prosoft (Módulo para comunicación ModBus) del PLC WSSG- D permitiendo la lectura y modificación de variables.

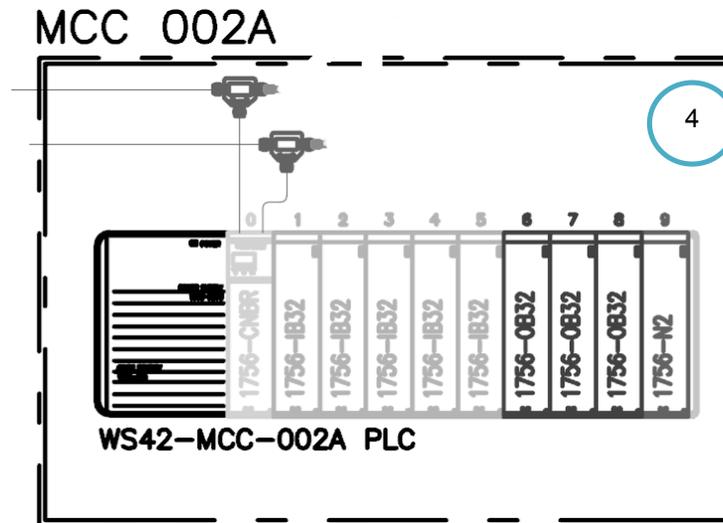
### 3.7.3 Tercera y Cuarta Sección de la Red



**Figura. 32. Infraestructura de Red para la Sección 3 (PLC correspondiente al MCC 002C).**

Las conexiones están realizadas con un cable coaxial tipo RG6 /U, 75  $\Omega$  [ohmios] con calibre 18 AWG y con protocolo de Comunicación ControlNet, que se conecta por medio de una "T" que permite empalmar cable coaxial para la distribución hacia distintos dispositivos. El PLC WS42-MCC-002C, es un PLC

Allen Bradley que se encuentra dentro del MCC-002C (Motor Control Center, Centro del Control del Motor 002C) del PCR Villano A. (Ver Figura. 32)



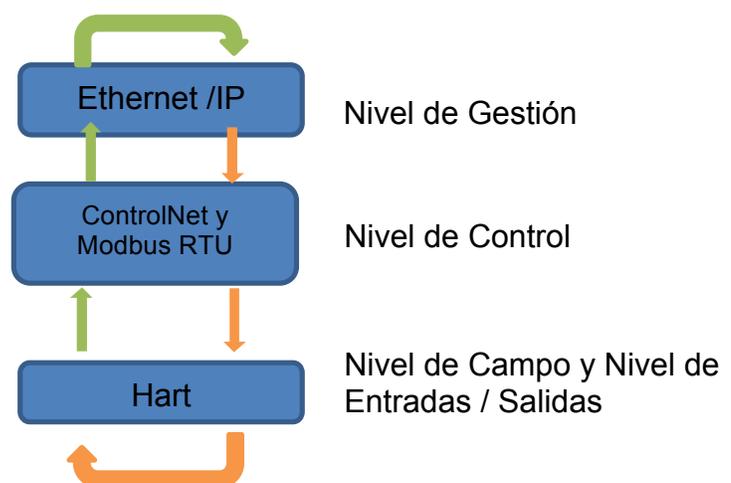
**Figura. 33 Infraestructura de Red para la Sección 4 (PLC correspondiente al MCC 002C).**

La Sección 3 y la Sección 4 se enlazan por cables coaxiales tipo RG6 /U, 75  $\Omega$  [ohmios] con calibre 18 AWG y con protocolo de Comunicación ControlNet. (Ver Figura. 33)

Básicamente se utiliza a nivel de campo (Ver Figura. 34), para la recolección de datos e interconexión de sensores, transmisores y demás elementos el protocolo Hart (Ver Figura. 35), a nivel de control para dispositivos principalmente PLC's el protocolo ControlNet y ModBus RTU, y a nivel de

administración o gestión para enviar grandes cantidades de información el protocolo Ethernet/IP (Industrial Protocol).

El protocolo HART (Transductor Remoto Direccional en Red) sirve para enviar y recibir información digital a través de cables analógicos entre dispositivos inteligentes y el sistema de control o de monitoreo. HART es un protocolo bidireccional de comunicación que suministra acceso de datos entre instrumentos inteligentes de campo (RTU) y sistemas de control de información de planta (Workstation, PLC's). Se comunica a 1200 bps sin interrumpir la señal de 4 a 20 mA y permite a la aplicación central (maestra) obtener dos o más actualizaciones digitales por segundo de un dispositivo inteligente de campo. Ya que la señal digital FSK (Frequency Shift Keying, Modulación por desplazamiento de Frecuencia) es de fase continua no hay interferencia con la señal de 4 a 20 mA.



**Figura. 34 Distintos protocolos y su relación a nivel de automatización.**

La Tecnología HART es un protocolo maestro/servidor, significa que un dispositivo inteligente de campo (servidor) sólo habla cuando le habla un maestro. La comunicación HART se produce entre dos dispositivos habilitados con HART, típicamente un dispositivo de campo inteligente y un sistema de control o monitoreo. El protocolo HART proporciona dos canales de comunicación simultáneos: la señal analógica de 4 a 20 mA o de 0 a 10 V en DC, y una señal digital que contiene la información del dispositivo incluyendo el estado del dispositivo, diagnóstico, valores medidos o calculados adicionales, etc. La señal de 4 a 20 mA comunica el valor primario medido (en el caso de un instrumento de campo) con el circuito de corriente, el dispositivo se comunica mediante una señal digital que se superpone a la señal analógica. Juntos, los dos canales de comunicación proporcionan una solución completa de comunicación de campo muy robusta a bajo costo que es fácil de usar y configurar.

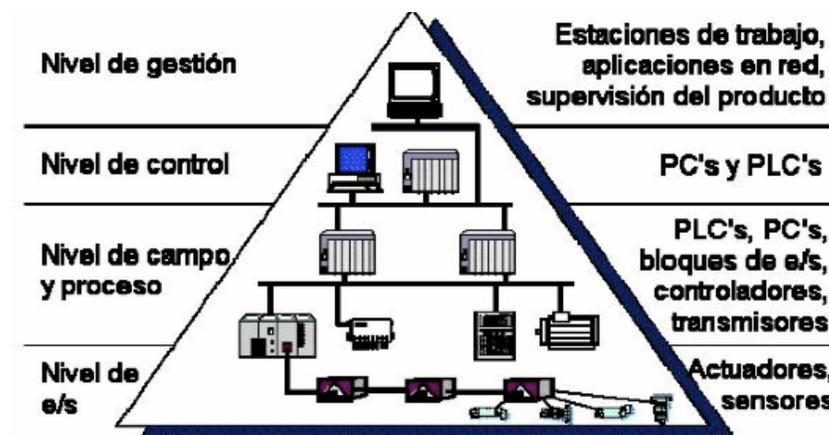


Figura. 35 Pirámide de los Niveles de Automatización. Tomado de: (<http://www.blogincytde.energynewsmagazine.com/?p=541>)

Se recalca que las conexiones se realizarán hacia el **PLC MCC-002 A** debido a que el PLC MCC-002C que también está disponible se encuentra descrito para **cargas esenciales**, estas son cargas conectadas a procesos que se consideran importantes y que están enlazadas a un generador de emergencia, estos procesos se relacionan directamente con la producción de crudo, al ser este un proceso de inyección de agua se considera **no esencial**, ya que la parada del mismo puede solucionarse en un tiempo considerable no mayor a un día, mientras que los procesos esenciales no pueden pararse más de unas cuantas horas debido a las pérdidas económicas que representarían.

## **CAPÍTULO IV**

### **4 INGENIERÍA DE DETALLE**

Compete el montaje, instalación y las pruebas de funcionamiento del proyecto en el sitio, cabe señalar que parte de la implementación del proyecto estará a cargo de una empresa ajena a Agip Oil Ecuador, sin embargo, AOE se encargará de la supervisión, asesoría y desarrollo de ciertas actividades que se detallarán en este capítulo:

- Consideraciones de la Plataforma Villano A (Revisión de la Ingeniería Básica).
- Carta Causa-Efecto.
- Señales y Tags.

#### **4.1 CONSIDERACIONES DE LA PLATAFORMA VILLANO A**

Se presenta, los diferentes aspectos a considerar, a mantener o cambiar dentro de la Plataforma Villano A para el desarrollo y la implementación del Aero Enfriador WS16-EX1-002 C/D correspondiente a la segunda etapa del proceso de enfriamiento de agua en formación.

Se destacarán aspectos como:

- Arquitectura de Red.
- Detalle de Conexiones: Hacia y desde los distintos dispositivos sean transmisores, sensores, switch, PLCs y demás.
- Puesta a Tierra del Aero Enfriador.
- Ruta y ubicación de las bandejas para cables.
- Hot Tapping.
- Consideraciones adicionales.

#### **4.1.1 Arquitectura de Red.**

En cuanto a la arquitectura de red, es recomendable continuar con la topología de tipo anillo, ya que toda la instalación, equipos, dispositivos y demás instrumentos utilizan esta topología. También resulta fácil la ubicación de fallas porque los segmentos interconectados están distribuidos por tramos bien definidos y cuentan con background (redes o dispositivos de respaldo) que son utilizados según sea el caso.

En la topología tipo anillo la información es pasada de dispositivo a dispositivo, no hay un control central en el anillo, en vez de esto, cada dispositivo asume el rol de controlador dentro de intervalos estrictamente definidos. Teóricamente no existe límite para el número de dispositivos permitidos. La falla de un dispositivo es normalmente suficiente para interrumpir

el anillo y detener todas las comunicaciones pero para evitar esto, se incorporan interruptores de bypass (derivación) que automáticamente se conmutan cuando un dispositivo falla. Esto también permite a los dispositivos ser añadidos o removidos sin interrumpir la operación normal, siendo muy importante para que el proceso o la producción continúe. Una variación de la estructura en anillo es la conocida como token ring (topología tipo anillo con paso de testigo), es la utilización de un método token passing (paso de testigo) dentro de una topología tipo anillo. El método token passing, es el turno de envío o recepción de señales y garantiza el tiempo de comunicación, es útil en un entorno industrial ya que no se pueden retrasar o peor aún perder las señales, muchas de las lecturas resultan ser necesarias para un proceso y pueden ocasionar graves accidentes o pérdidas económicas si no se garantiza la confiabilidad de los datos y un tiempo crítico (tiempo no mayor a pocos segundos que varía de acuerdo a la distancia de las comunicaciones) para la transmisión de datos.

Actualmente la topología física recomendada para este tipo de instalaciones es la topología anillo. La utilización de una topología anillo ha permitido limitar las interrupciones en la red causadas por problemas de cableado. Y los problemas de cableado, que engloban, el daño, deterioro, incineración, desgaste y demás son las causales accidentales más vistas dentro de una instalación que se encuentra al medio ambiente, a 30°C, con humedad,

lluvia la mayor parte del año, gases corrosivos, temperaturas de fluidos y de proceso superiores a 100 °C.

Además una topología tipo anillo simplifica la administración de la red y la resolución de problemas ya que cada tramo de cable conecta solo dos dispositivos, uno a cada extremo del cable. Si un dispositivo no puede comunicarse exitosamente con la red, puede ser movido físicamente a otra ubicación o se procede a un bypass para establecer si la falla reside en el cableado o en el dispositivo.

Los medios físicos utilizados son: fibra óptica monomodo y multimodo, cable utp (par trenzado) y cable coaxial, con las características propias y adicionales de protección y durabilidad para este proceso resultan **ser óptimos** por sus velocidades de transmisión, medio en el que se encuentran y más que nada por los dispositivos que se utilizan, como por ejemplo, módulos para ControlNet, módulos Prosoft para Modbus, módulos para Ethernet/IP, todos estos ubicados dentro de los PLC's ControlLogix 1756 de Allen Bradley y otros dispositivos.

Los protocolos: Ethernet/IP, ControlNet, Modbus y Hart, son confiables y fiables. A continuación en las Figuras 36, 37, 38 y 39 se mostrarán algunas ventajas en cuanto a estos protocolos y al seguir utilizando los mismos ya que

prácticamente resultaría muy complicado cambiarlos ya que el proceso que se incluye es mínimo en comparación a la infraestructura física y de procesos del campo Villano A. Además que los protocolos nombrados mantienen velocidades suficientes para garantizar un uso óptimo de recursos.

Grandes distancias	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hasta 1,5 km con medios de transmisión eléctricos (par trenzado)</li> <li>•Hasta 4,3 Km con medios de transmisión óptica (fibra óptica)</li> </ul>
Número elevado de dispositivos conectados.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Hasta un máximo de 1024 dispositivos.</li> </ul>
Velocidad de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Desde 10 hasta 100 Mbits por segundo</li> </ul>
Múltiples tipos de dispositivos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Comunicación entre elementos de ingeniería, ordenadores y dispositivos de control.</li> </ul>
Múltiples tipos de topologías	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Bus, árbol, estrella, anillo, anillo redundante.</li> </ul>
Red apta para fábrica de gran potencia	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Altas prestaciones aún en el caso de existir muchos participantes y grandes distancias.</li> </ul>
Transferencia de datos segura	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Aún en el caso de la existencia de perturbaciones electromagnéticas.</li> </ul>
Líder universal dentro de las redes industriales.	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Se usa en múltiples industrias a nivel mundial por su confiabilidad y bajo costo.</li> </ul>
Medios de Transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Cable triaxial, utp par trenzado y fibra óptica.</li> </ul>

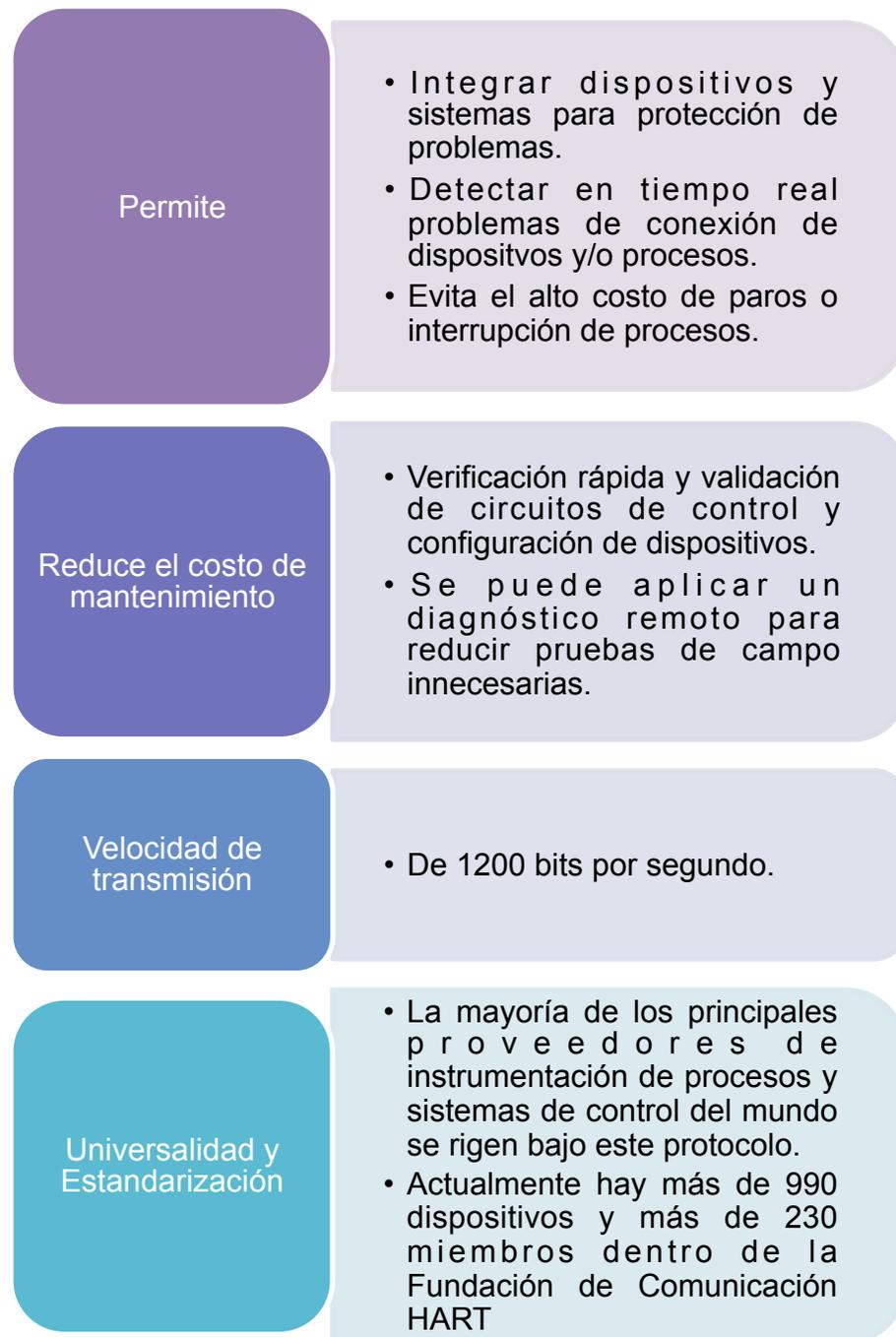
**Figura. 36 Ventajas y Características del protocolo Ethernet / IP (Industrial Protocol).**

Comunicación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Ofrece opciones seguras y una alta velocidad en la transmisión de datos.</li></ul>
Número elevado de dispositivos conectados.	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hasta un máximo de 99 dispositivos o nodos sin distancia mínima entre ellos y máxima de 1000 metros.</li></ul>
Medios de transmisión	<ul style="list-style-type: none"><li>• Cable Coaxial.</li></ul>
Velocidad de transmisión	<ul style="list-style-type: none"><li>• Hasta 10 Mbits por segundo dependiendo del tipo de cable coaxial.</li></ul>
Permite	<ul style="list-style-type: none"><li>• La selección del tiempo de actualización del PLC y de las Entradas y Salidas.</li><li>• La comunicación con múltiples dispositivos en una misma conexión</li></ul>
Determinismo	<ul style="list-style-type: none"><li>• Exacta determinación del tiempo de actualización, se pueden determinar tiempos de actualización específicos, para entradas o salidas digitales o análogas.</li></ul>
Repetibilidad y Programación	<ul style="list-style-type: none"><li>• Garantía del mantenimiento de los tiempos de actualización en todos los casos posibles.</li><li>• Programación desde cualquier dispositivo.</li></ul>

**Figura. 37 Ventajas y Características del protocolo ControlNet.**

Facilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>•El dispositivo tiene solo un propósito simple, solo implementa uno o dos tipos de mensaje.</li> </ul>
Flexibilidad	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Es simple para administrar y expandir. No se necesita herramientas complejas cuando se da un cambio de dispositivos.</li> </ul>
Software y Hardware	<ul style="list-style-type: none"> <li>•No se necesita equipos o software especializados ya que al ser libre la mayor parte del mercado utiliza este protocolo.</li> </ul>
Velocidad de transmisión	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Es independiente del medio físico. Puede ser por Modbus Plus con RS-485 o Modbus/TCP con Ethernet.</li> </ul>
Transporte de Datos	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Las transacciones de datos son altamente resistentes a rupturas debido a ruido.</li> <li>•Require mínima información de recuperación para que se mantenga la transacción en cualquiera de los dos terminales .</li> </ul>
Comunicación confiable	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Orientada a la conexión, es decir, las máquinas de origen y de destino establecen un canal de comunicaciones antes de transferir datos, lo cual, garantiza el envío y recepción de datos.</li> </ul>
Versiones	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Modbus RTU.</li> <li>•Modbus ASCII.</li> <li>•Modbus PLUS.</li> <li>•Modbus/TCP.</li> </ul>

**Figura. 38 Ventajas y Características del protocolo ModBus.**



**Figura. 39 Ventajas y Características del protocolo HART.**

## 4.1.2 Equipos.

### 4.1.2.1 PT 355 y PT 356 (Transmisores de Presión)

**Tabla. 35 Transmisor de Presión PT 355 y PT 356 a ubicarse para la entrada y la salida de la tubería del proceso.**

Pressure Transmitter Tipo: PMP 71	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Transmisor de Presión con sensor tipo diafragma, con medición piezo resistiva y soldadura metálica que aísla el sensor del transmisor. Serie: CERABAR S Tipo: PMP 71	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	13,1 cm desde el diafragma hasta su punto más alto. 8,4 cm desde el centro del transmisor y su salida para conexión al PLC. 15,8 cm desde el punto de implementación la base más alejada del diafragma, diámetro de diafragma aproximado de 5,2 cm.
FIJACIÓN	7 cm de separación entre pernos, pernos de 12 mm. 5.2 cm de altura del soporte metálico y 14 cm entre el centro del transmisor y su punto de conexión.
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Voltaje de alimentación (DC)	10.5- 30 (V)
Corriente de salida (DC)	4- 20mA
Rango de Medida	1.5 psi - 10.500 psi
Rango máximo que soporta	15750 psi
Temperaturas del proceso	Desde -104 a 257 °F (-40 a 125 °C)
Temperatura del ambiente	Desde -68 a 158 °F (-20 a 70 °C)

**Continúa→**

Protocolos	HART, Profibus PA, Foundation Fieldbus
Características adicionales	Conexiones para fluidos con un mínimo de aceite o crudo. Hermético al gas.
Brand (Marca del producto)	del ENDRESS+HAUSER
<b>DIMENSIONES (mm)</b>	
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO.</b>	
<p>El siguiente gráfico es del elemento conectado en campo, corresponde al WS16-EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa elemento PT 353)</p>	

#### 4.1.2.2 PDT355 (Transmisor diferencial de presión)

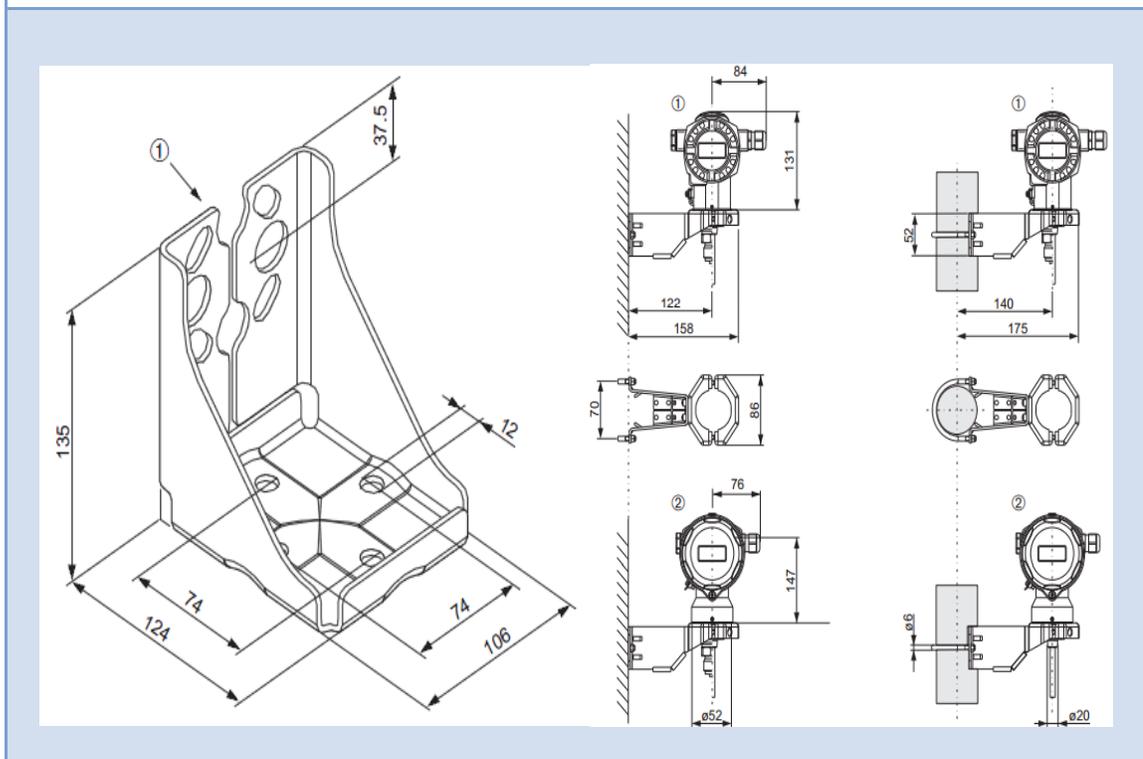
**Tabla. 36 Transmisor diferencial de Presión PDT 355 a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Diferential Pressure Transmitter PMD 75	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Transmisor diferencial de Presión con sensor tipo diafragma, con medición piezo resistiva y soldadura metálica que aísla el sensor del transmisor. Con dos entradas la de alta (Entrada de la tubería) y la de baja (Salida de la Tubería). Serie: DELTABAR S Tipo: PMD 75	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	13,1 cm desde el diafragma hasta su punto más alto. 8,4 cm desde el centro del transmisor y su salida para conexión al PLC. 15,8 cm desde el punto de implementación a la base más alejada del diafragma, diámetro de diafragma aproximado de 5,2 cm. Cuenta con base adicional para montaje.
FIJACIÓN	7 cm de separación entre pernos, pernos de 12 mm. 5.2 cm de altura del soporte metálico y 14 cm entre el centro del transmisor y su punto de conexión.
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Voltaje de alimentación (DC)	10.5- 30 (V)
Corriente de salida (DC)	4- 20mA
Rango de Medida	0.15 psi - 600 psi (Para medidas positivas y negativas)
Rango máximo que soporta	Una entrada: 6300 psi Dos entradas juntas: 9450 psi
Temperaturas del proceso	Desde -40 a 185 °F (-4.5 a 85 °C)

**Continúa→**

Temperatura del ambiente	Desde -40 a 185 °F (-4.5 a 85 °C)
Protocolos	HART, Profibus PA, Foundation Fieldbus
Características adicionales	Resistente a la abrasión y corrosión. Para comunicación con temperaturas altas de proceso. Aislamiento de Tantalio entre el sensor (diafragma) y el transmisor. Módulo de memoria incluido.
Brand (Marca del producto)	ENDRESS+HAUSER

### DIMENSIONES (mm). Elemento y base adicional.



Continúa →

### GRÁFICO DEL ELEMENTO.

El siguiente gráfico es del elemento conectado en campo correspondiente al WS-EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)



#### 4.1.2.3 TT355 Y TT 356 (Transmisor de Temperatura)

Tabla. 37 Transmisor de temperatura a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.

Temperature Transmitter TMT 142	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Transmisor universal de medición de temperatura, ajustable mediante protocolo HART. Con dos entradas la de alta (Entrada de la tubería) y la de baja (Salida de la Tubería). Serie: iTEM S Tipo: TMT 142	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	13,5 cm desde su base hasta su punto más alto. 13.2 cm de ancho incluido orificios para conexión. 16,6 cm de ancho entre los extremos de entrada y 10,6 cm de grosor.

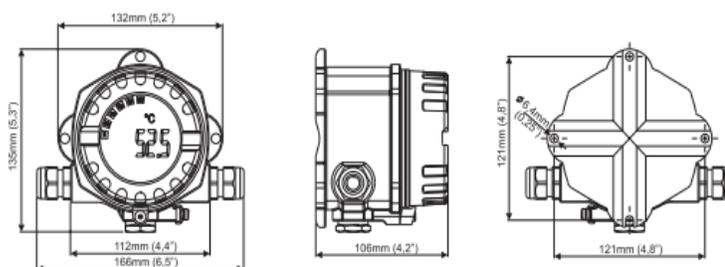
Continúa →

**FIJACIÓN**

7 cm de separación entre pernos, pernos de 12 mm. 5.2 cm de altura del soporte metálico y 14 cm entre el centro del transmisor y su punto de conexión.

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Voltaje de alimentación (DC)	11- 40 (V)
Corriente de salida (DC)	4- 20 mA
Rango de Medida	-328 a 2012 °F (-200 a 1100 °C) aproximadamente, depende del tipo de RTD u otro sensor como por ejemplo un termopar.
Temperaturas de almacenamiento	Desde -40 a 185 °F (-4.5 a 85 °C)
Temperatura del ambiente	Desde -40 a 158 °F (-4.5 a 70 °C)
Protocolos	HART, Profibus PA, Foundation Fieldbus
Características adicionales	Indicador Luminoso giratorio. Alta presión para todo el rango de temperaturas de funcionamiento. Cabezal de acero inoxidable.
Brand (Marca del producto)	ENDRESS+HAUSER

**DIMENSIONES (mm).**

**Continúa →**

### GRÁFICO DEL ELEMENTO.

El siguiente gráfico es del elemento conectado en campo correspondiente al WS-EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)



#### 4.1.2.4 PI 355 y PI 356 (Indicador de Presión)

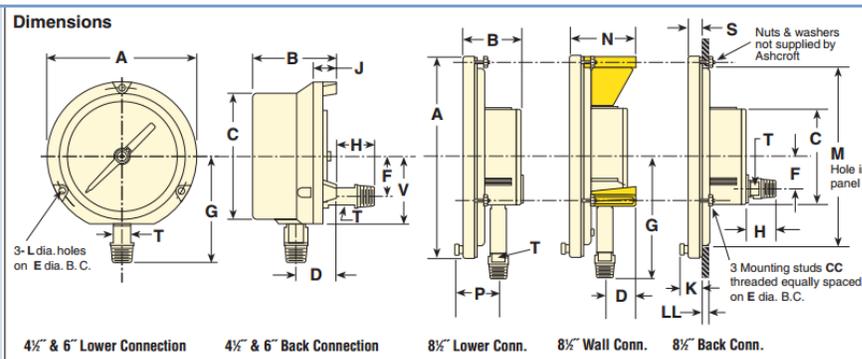
**Tabla. 38 Indicador de presión a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Pressure Gauge 1379	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Indicador de Presión. Serie: Duragauge Tipo: 1379. Indicador gradual fondo blanco escala de presión en negro. Dial (Pantalla) de 4 ½ pulgadas (11,43 cm).	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	12,4 cm desde su base hasta su punto más alto. 14,8 cm de ancho. 8,6 cm de grosor.
FIJACIÓN	Directo sobre la tubería para medición de presión

Continúa →

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	
Rango de Medida	Desde 0 hasta 100.000 psi, dependiendo el rango se observa la cantidad de divisiones.
Temperaturas de almacenamiento	Desde -40 a 150 °F (-4.5 a 66 °C)
Temperatura del ambiente	Desde -40 a 150 °F (-4.5 a 66 °C)
Temperatura del proceso	Desde -40 a 200 °F (-4.5 a 93 °C)
Material	Carcaza de aluminio y ventana de vidrio.
Características adicionales	Herméticamente sellado. Con recubrimiento epóxico.
Brand (Marca del producto)	Ashcroft

**DIMENSIONES (mm).**



Dial Size Inches	A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	P	S	T	V	CC	LL	Wgt (lbs)
4 1/2	5 1/16 (148)	3 1/16 (86)	4 7/8 (124)	1 5/8 (41)	5 3/8 (137)	1 1/2 (42)	3 1/16 (100)	7/8 (20)	1 1/16 (27)	—	.218 (6)	—	2 1/8 (54)	—	5/8 (16)	2 5/8 (67)	—	—	2 1/2
6	7 3/16 (192)	3 1/2 (89)	6 5/8 (162)	1 5/8 (41)	7 (178)	1 1/2 (42)	4 1/2 (114)	7/8 (20)	1 1/16 (27)	—	.218 (6)	—	2 1/8 (54)	—	5/8 (16)	2 5/8 (67)	—	1/8-1/2	3 3/8
8 1/2	10 1/16 (256)	2 7/8 (73)	4 3/4 (121)	1 1/8 (27)	9 5/8 (244)	1 5/8 (41)	6 (152)	1 3/8 (35)	—	1 1/16 (27)	—	9 (228)	—	1 1/16 (17)	—	—	#10-24	(3)(13)	4 1/2

Continúa →

### GRÁFICO DEL ELEMENTO.

El siguiente gráfico es del elemento conectado en campo correspondiente al WS-EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)



#### 4.1.2.5 PDI 355 y PDI 356 (Indicador diferencial de Presión)

**Tabla. 39 Indicador diferencial de presión a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

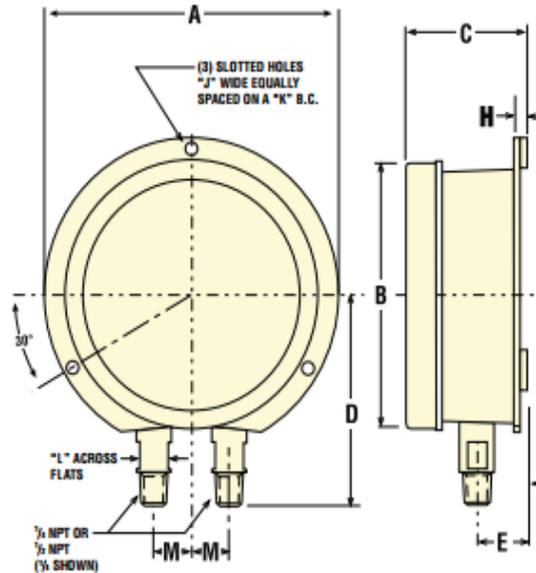
Differential Pressure Gauge 1127	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Indicador de Presión. Tipo: 1127 Shown. Indicador gradual fondo blanco escala de presión en negro. Dial (Pantalla) de 4 ½ pulgadas (11,43 cm).	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	12,6 cm de altura. 14,9 cm de ancho. 6,2 cm de grosor.
FIJACIÓN	Directo sobre la tubería para medición de presión o sobre cualquier superficie plana

**Continúa →**

CARACTERISTICAS TÉCNICAS	
Rango de Medida	Desde 30 hasta 1000 psi, dependiendo el rango se observa la cantidad de divisiones.
Material	Carcasa de aluminio y ventana de vidrio.
Características adicionales	Herméticamente sellado. Con recubrimiento epóxico.
Brand (Marca del producto)	Ashcroft

**DIMENSIONES (mm).**

**DIMENSIONS**



Dial Size Inches	A	B	C	D		E	H	J	K	L		M
				1/4 NPT	1/2 NPT					1/4 NPT	1/2 NPT	
4 1/2	5 7/8 (149)	4 3 1/32 (126)	2 7/16 (62)	3 15/16 (100)	4 1/16 (103)	1 (25)	5/16 (8)	7/32 (6)	2 1 1/16 (68)	9/16 (14)	1 1/16 (17)	3/4 (19)
6	7 5/8 (194)	6 7/16 (164)	2 1/2 (64)	4 15/16 (125)	4 15/16 (125)	1 1/16 (27)	5/16 (8)	9/32 (7)	3 9/16 (90)	9/16 (14)	1 1/16 (17)	3/4 (19)

( ) are millimeters

Continúa →

### GRÁFICO DEL ELEMENTO.

El siguiente gráfico es del elemento conectado en campo correspondiente al WS-EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)



#### 4.1.2.6 FIT 355 (Transmisor Indicador de Flujo)

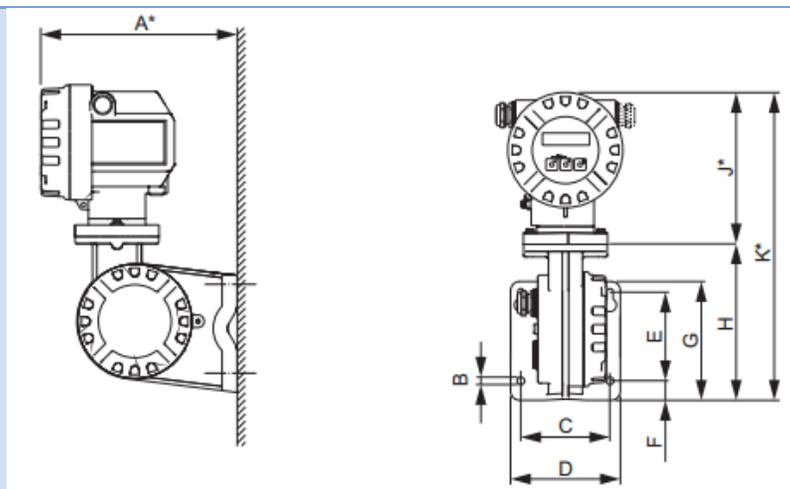
**Tabla. 40 Transmisor indicador de Flujo a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D**

Proline Prosonic Flow 92 F	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Transmisor indicador de Flujo. Serie: Proline Prosonic Tipo: 92 F. Con sensor ultrasónico para medición de sistemas de conducción de grandes cantidades de fluidos.	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	17 cm de altura del transmisor, 17 cm de base de del sensor, 12,3 cm de ancho.
FIJACIÓN	Directo sobre la tubería para medición de flujo.

Continúa →

**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS**

Temperatura de flujo máxima	392 °F (200 °C)
Temperatura máxima del ambiente	Sensor: -40 a 176 °F (-4.5 a 80°C) Transmisor: -40 a 140 °F (-4.5 a 60°C)
Características adicionales	Herméticamente sellado. Con recubrimiento epóxico.
Protocolos	Hart, Profibus PA, Foundation FieldBus.
Brand (Marca del producto)	Ashcroft

**DIMENSIONES (mm).**

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K
[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
[inch]	[inch]	[inch]	[inch]	[inch]	[inch]	[inch]	[inch]	[inch]	[inch]
232	∅ 8.6 (M8)	100	123	100	23	144	170	170	340
9.13	0.3	3.9	4.8	3.9	0.9	5,7	6.7	6.7	13.4

**GRÁFICO DEL ELEMENTO.**

El siguiente gráfico muestra al elemento, pero este no se encuentra presente en los Aero enfriadores actuales.

Continúa →



#### 4.1.2.7 RTD type PT100 with Thermowell (Sensor RTD tipo PT100 con Termopozo)

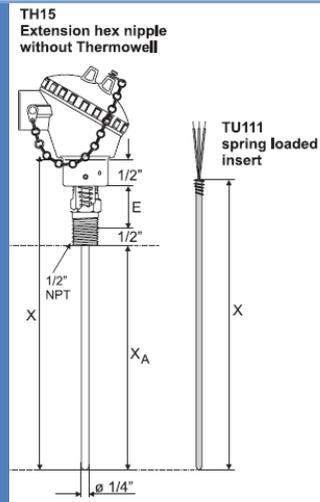
**Tabla. 41 RTD PT 100 con termopozo a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

RTD with Thermowell	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Sensor de Temperatura RTD PT100. Clase: RTD TH15. Tipo: J. Diseñado para uso en todo tipo de Industria, también para procesos Petroquímicos y Refinería.	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	8,20 cm de tamaño de la tapa. 8,89 cm de ancho. 6,50 cm desde la base hasta la salida de conexión al PLC. 10,49 cm desde la entrada de conexión del RTD hasta su punto más alto. RTD de 11,43 cm de largo.

**Continúa →**

<b>FIJACIÓN</b>	Directo sobre la tubería para medición de presión. La tubería tiene la entrada respectiva para ajuste del termopozo.
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Rango de Medida.	De -58 a 392°F (-14.5 a 200 °C)
Salida análoga	De 4 a 20 (mA)
Temperatura del Ambiente	-40 a 185 °F (-4.5 a 85 °C)
Diámetro del RTD	¼ de pulgada (0,635 cm)
Distancia sumergible	4 ½ pulgadas (11,43 cm)
Altura del RTD	6 pulgadas (15,24 cm)
Material	Carcaza de aluminio fundido a presión.
Características adicionales	Herméticamente sellado. Para comunicación con protocolo HART
Brand (Marca del producto)	ENDRESS+HAUSER
<b>DIMENSIONES (mm).</b>	

Continúa →



E= 1 pulgada (2,54 cm)

X= 6,5 pulgadas (16,51 cm)

$X_A$  = 4,5 pulgadas (11,43 cm)

#### GRÁFICO DEL ELEMENTO.

El siguiente gráfico es del elemento conectado en campo correspondiente al WS-EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)

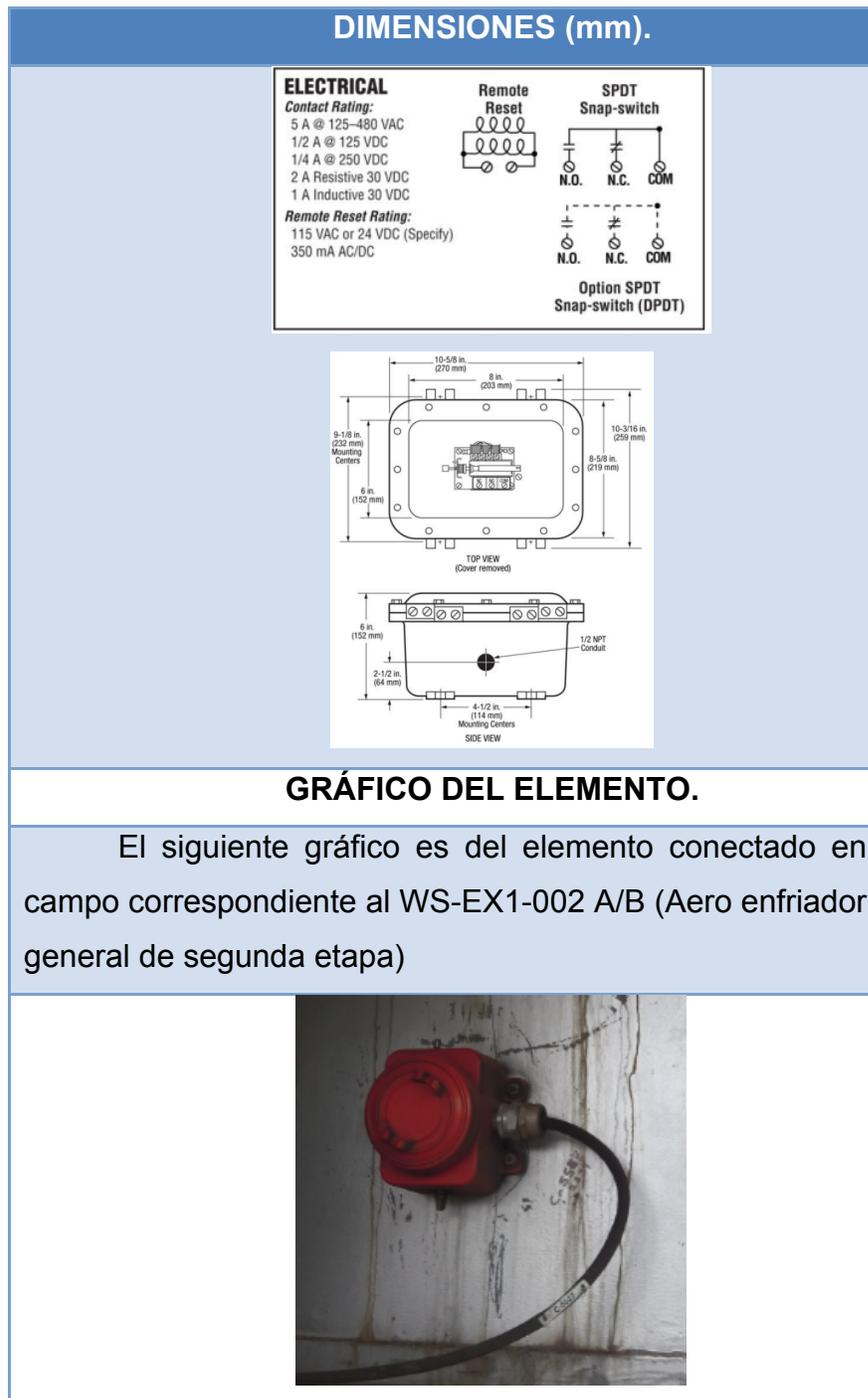


#### 4.1.2.8 Vibration Switch with base mount, VSH 353 A y VSH 353 B (Interruptor de Vibración con base para montaje)

**Tabla. 42 Switch de vibración VSH 353 A y VSH 353 B a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. (Primera Parte)**

Vibration Switch with base mount	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Sensor de Vibración VS2 EXRB, ideal para bombas, compresores e intercambiadores de calor, para protección por daño a golpes o vibración excesiva en el equipo. Para usarlo como parada de emergencia del equipo.	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	12 pulgadas de alto, 12 pulgadas de ancho y 10 pulgadas de espesor o grosor. (30,5 x 30,5 x 25,4 cm)
FIJACIÓN	Directo sobre el equipo, conectado con pernos sobre la superficie a utilizar.
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Salida	De 5 A para 480 VAC
Peso aproximado	17 lb y 8 oz (7,9 Kg)
Reseteo Remoto	115 VAC o 24 VDC
Material	Carcaza de aluminio resistente a explosión para áreas peligrosas.
Características adicionales	Herméticamente sellado. 1 Contacto normalmente cerrado. 1 Contacto normalmente abierto. Con un interruptor adicional, con un contacto normalmente cerrado y un contacto normalmente abierto Con posibilidad de reseteo remoto.
Brand (Marca del producto)	Murphy

**Tabla. 43 Switch de vibración VSH 353 A y VSH 353 B a ubicarse en el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D. (Segunda Parte)**



#### 4.1.2.9 General Purpose Relay KRPA (Relé de Propósito General)

**Tabla. 44 Relé de propósito general ubicado en el MCC 002 A para el Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

General Purpose Relay KRPA	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Relé de propósito general de 5 a 10 Amperios Serie: KRPA. Instalación base de tipo octal para colocación rápida.	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	12 pulgadas de alto, 12 pulgadas de ancho y 10 pulgadas de espesor o grosor. (30,5x30,5x 25,4 cm)
FIJACIÓN	Plug octal para conexión rápida.
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Corriente a 24 VDC	51 mA
Número de Polos	3
Voltaje de entrada	120 VAC o 24 VDC
Temperatura ambiente	AC: -45 °C a 55 °C DC: -45 °C a 70 °C
Material	Carcasa de policarbonato transparente resistente a explosión para áreas peligrosas.
Peso Aproximado	3 oz (85 gramos)
Brand (Marca del producto)	del Tyco Electronics.
<b>DIMENSIONES (mm).</b>	

Continúa →

### GRÁFICO DEL ELEMENTO.

El siguiente gráfico es del elemento ubicado en el MCC 002 A (Conectado dentro del circuito que permite el arranque de los motores del Aero Enfriador)

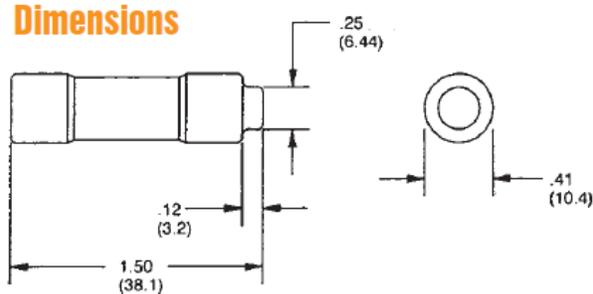


#### 4.1.2.10 Fuse ATMR (Fusible para circuitos generales ATMR)

**Tabla. 43 Fusibles ubicados en el MCC 002 A para el circuito de control de los motores del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Fuse ATMR 2 A	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Fusible pequeño pero de gran protección para voltajes de 600 VAC/DC. Es económico y resulta perfecto para circuitos de control con gran cantidad de voltaje y corriente.	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
DIMENSIONES	38.1 mm de largo, 10,4 mm de ancho y 6,44 mm de grosor
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Rangos de Corriente	0,1 a 30 A
Voltaje máximo	Hasta 600 VAC /DC

Continúa →

Brand (Marca del producto)	Ferraz Shawmut
Características Adicionales	<p>Previene reemplazos erróneos cuando es usado adecuadamente.</p> <p>Provee versatilidad de uso por su diseño individual para circuitos de protección</p>
<b>DIMENSIONES (mm).</b>	
	
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO.</b>	
<p>El siguiente gráfico es del elemento ubicado en el MCC 002 A (Conectado dentro del circuito que permite el arranque de los motores del Aero Enfriador)</p>	
	

#### 4.1.2.11 ControlLogix 1756 (Controlador para PLC Control Logix 1756)

**Tabla. 44 Controlador del PLC Control Logix 5555 ubicados en los PLC FWKO A y FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Controllers 1756	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Controlador del PLC Control Logix 5000 Serie: 1756. Capaz de controlar una gran cantidad de entradas y salidas. Se puede colocar en cualquier ranura de un chasis de E/S ControlLogix y múltiples controladores pueden ser instalados en el mismo chasis.	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
Memoria disponible	2 MB
Opciones de comunicación	Ethernet / IP; ControlNet; DeviceNet; Profibus entre otras.
Peso	0,25 Kg (0,55 lb)
Memoria flash (opcional)	1 GB (1784-SD1) 2 GB (1784-SD2)
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Máximas Entradas y Salidas Digitales	128.000
Máximas Entradas y Salidas Análogas	4000
Máximas Entradas y Salidas Totales	128.000
Potencia de disipación	2.5 W
Disipación térmica.	8.5 BTU/hr
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>	
El siguiente gráfico es del PLC FWKO A que controla las señales de control WS- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)	

**Continúa →**

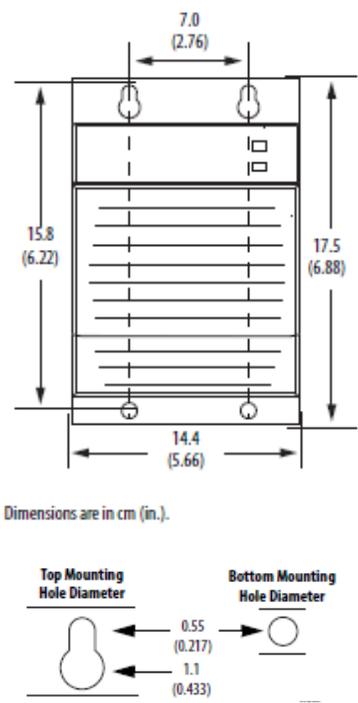
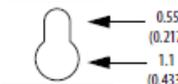


#### 4.1.2.12 1756 Control Logix Power Supplies (Fuente de Alimentación para PLC Control Logix 1756)

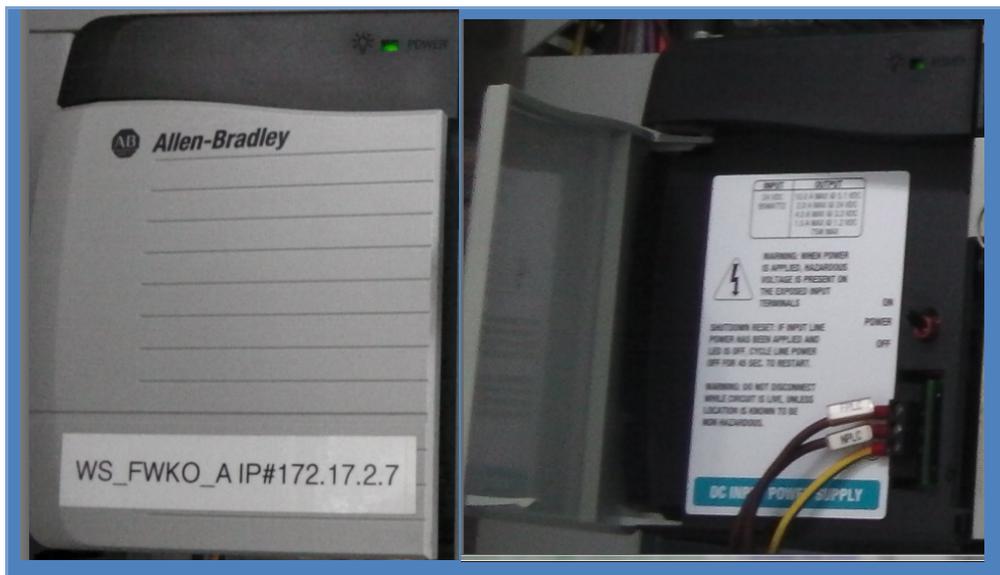
**Tabla. 45 Fuente de alimentación del PLC Control Logix 1756 ubicado en los PLC FWKO A y FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Standard Power Supplies 1756 Control Logix	
DESCRIPCIÓN	
Fuentes de alimentación para proporcionar 1.2V, 3.3V, 5V y 24V DC directamente al chasis. Estas fuentes de alimentación están disponibles en modelos para entornos estándar, redundantes y de condiciones extremas. 1756 Control Logix-PBXT es la fuente específica utilizada en este proyecto.	
CARACTERÍSTICAS GENERALES	
Dimensiones	14 x 11,2 x 14,5 cm ( 5,51x 4,41x 5,71 in)
Peso	0.95 kg (2,10 lb)

**Continúa →**

<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Rango de tensión de entrada	18-32V DC
Potencia de disipación	12 W
Corriente de entrada máxima	30 A
Disipación térmica	40,9 BTU/hr
<b>DIMENSIONES (cm)</b>	
 <p style="text-align: center;">Dimensions are in cm (in.).</p> <p style="text-align: center;"> <b>Top Mounting Hole Diameter</b>      <b>Bottom Mounting Hole Diameter</b>    </p>	
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>	
<p>El siguiente gráfico es del PLC FWKO Aque controla las señales de control del WS- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)</p>	

**Continúa →**



#### 4.1.2.13 1756- RMXT Redundancy Modules (Módulos para Redundancia)

**Tabla.46 Módulo para Redundancia del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC WSSG-D (Rack 0 y 1) a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Redundancy Modules 1756	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Para dar redundancia entre PLC. Se debe tener: Chasis con slots disponibles, módulos compatibles, firmware actualizado entre los slots, 2 módulos ControlNet adicionales si se fuera a utilizar comunicación por medio del protocolo ControlNet.	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
Peso	0.29 kg (0,64 lb)

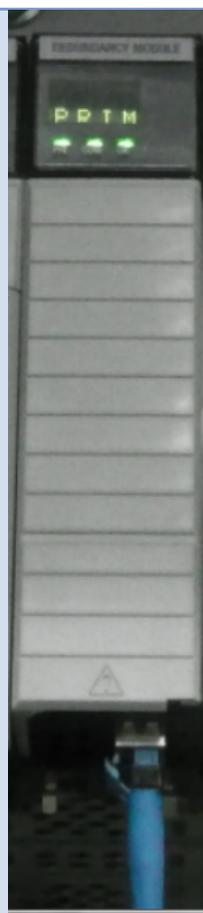
Continúa →

### CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Consumo de Corriente a 24 V	120 mA
DC	
Potencia	9 W
Disipación térmica	31BTU/hr
Ancho del slot	1 slot
Localización del módulo	Base del chasis, cualquier slot.

### GRÁFICO DEL ELEMENTO

El siguiente gráfico es del PLC WSSG-D que controla las señales de potencia del WS16- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)



#### 4.1.2.14 1756- Ethernet Modules (Módulos para comunicación vía Ethernet)

**Tabla. 47 Módulo para comunicación por protocolo Ethernet del PLC Control Logix 1756 ubicado en los PLC FWKO A, B y WSSG-D (Rack 0 y 1) a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

1756- ENBT	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Módulos para interfaz de comunicación independientes disponibles para diferentes redes Ethernet. Es utilizado para configurar una puerta de entrada o un puente de control de ruta y de datos de información entre diferentes redes.	
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Velocidad de Transmisión	10 a 100 Mbps
Consumo de Corriente a 24 V DC	3 mA
Potencia	3.7 W
Disipación térmica	126 BTU/hr
Ancho del slot	1 slot
Localización del módulo	Base del chasis, cualquier slot.
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>	
El siguiente gráfico es del PLC WSSG-D que controla las señales de potencia del WS16- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)	
	



#### 4.1.2.16 1756- DHRIO Module (Módulo para comunicación vía Data Highway Plus)

**Tabla. 49 Módulo para comunicación por protocolo Data Highway del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC FWKO A y B, a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

<b>1756- DHRIO</b>	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
La red Data Highway Plus soporta mensajería entre dispositivos. El módulo actúa como un escáner para la transferencia de datos digitales y la transferencia en bloque hacia y desde los dispositivos de entradas y salidas remotas.	
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Velocidad de Transmisión	230,4 Kbps
Consumo de Corriente a 24 V DC	5 mA
Potencia	2,5 W
Disipación térmica	8,5 BTU/hr
Ancho del slot	1 slot
Localización del módulo	Base del chasis, cualquier slot.
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>	
El siguiente gráfico es del PLC FWKO A que controla las señales de control del WS16- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)	
	

#### 4.1.2.17 MVI56- MCM Communication Module (Módulo para comunicación vía protocolo ModBus RTU)

**Tabla. 50 Módulo para comunicación por protocolo ModBus RTU del PLC ControlLogix 1756 ubicado en el PLC WSSG-D (Rack 2), a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

MVI56-MCM	
<b>DESCRIPCIÓN</b>	
Permite interactuar con dispositivos compatibles con el protocolo ModBus. El módulo actúa de manera que permite la interacción y comunicación entre los datos de entrada y salida de los dispositivos conectados.	
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Temperatura de operación	De 32 a 140 °F (0 a 60 °C)
Temperatura de almacenamiento	De -40 a 185 °F (-40 a 85 °C)
Ancho del slot	1 slot
Localización del módulo	Base del chasis, cualquier slot.
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>	
El siguiente gráfico es del PLC FWKO A que controla las señales de control del WS16- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)	
	

#### 4.1.2.18 Módulo de Entradas Análogas para el PLC FWKO A y FWKO B

**Tabla. 51 Módulo de Entradas Análogas del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC FWKO A y FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Módulo de entrada 1756 – IF16	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
Fabricante	Allen Bradley
Módulo	1756-IF16
Tipo	Entradas Análogas
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Número de I/O	16
Consumo de corriente a 24 V DC	65 mA
Disipación de Potencia	2,3 W
Disipación Térmica	7,84 BTU/hr
Temperatura Ambiente de Operación	32-140 °F (0-60°C)
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>	
El siguiente gráfico es del PLC FWKO A que controla las señales de control del WS- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)	
	

#### 4.1.2.19 Módulo de Entradas Digitales para el PLC FWKO B

**Tabla. 52 Módulo de Entradas Digitales del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC FWKO B a utilizarse para el control del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Módulo de entrada 1756 – IB16			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
Fabricante	Allen Bradley		
Módulo	1756-IB16		
Tipo	Entradas Digitales		
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
Numero de I/O	16		
Consumo de corriente a 24 V DC	2 mA		
Disipación de Potencia	5,1 W		
Disipación Térmica	17,39 BTU/hr		
Temperatura Ambiente de Operación	32-140 °F (0-60°C)		
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>			
El siguiente gráfico es del PLC FWKO B que controla las señales de control del WS- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)			
			

#### 4.1.2.20 Módulo de Entradas Digitales para el PLC MCC 002A

**Tabla. 53 Módulo de Entradas Digitales del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC MCC 002A a utilizarse para las señales de potencia del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

<b>Módulo de entrada 1756 – IB32</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
Fabricante	Allen Bradley
Módulo	1756-IB32
Tipo	Entradas Digitales
<b>CARACTERISTICAS TÉCNICAS</b>	
Numero de I/O	32
Consumo de corriente a 24 V DC	2 mA
Disipación de Potencia	6,2 W
Disipación Térmica	21,1 BTU/hr
Temperatura Ambiente de Operación	32-140 °F (0-60°C)
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>	
El siguiente gráfico es del PLC MCC 002A que controla las señales de potencia del WS- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)	
	

#### 4.1.2.21 Módulo de Salidas Digitales para el PLC MCC 002A

**Tabla. 54 Módulo de Salidas Digitales del PLC Control Logix 1756 ubicado en el PLC MCC 002A a utilizarse para las señales de potencia del Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D.**

Módulo de entrada 1756 – OB32			
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>			
Fabricante		Allen Bradley	
Módulo		1756-OB32	
Tipo		Salidas Digitales	
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>			
Numero de I/O		32	
Consumo de corriente a 24 V		2 mA	
DC	Disipación de Potencia		4,8 W
	Disipación Térmica		16,37 BTU/hr
	Temperatura Ambiente de Operación	32-140 °F (0-60°C)	
<b>GRÁFICO DEL ELEMENTO</b>			
El siguiente gráfico es del PLC MCC 002A que controla las señales de potencia del WS- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)			
			

#### 4.1.2.22 Aero Enfriador General de Segunda Etapa (WS16-EX1-002C/D)

Tabla. 55 Aero Enfriador WS-EX1-002 C/D a implementarse.

<b>Aero Enfriador para enfriamiento de Agua</b>	
<b>CARACTERÍSTICAS GENERALES</b>	
Fabricante	INDURADIA S.A.
Localización	Villano A
Cliente	Agip Oil Ecuador
Servicio	Enfriador de Agua de Producción
Equipo	WS16-EX1-002C/D
<b>CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS</b>	
Dimensiones (Diámetro externo en ft) (Largo por ancho)	15,12 x 24,76 ( 4,60 x 7,54 m )
Altura total	12,14 ft (3,7 metros)
Presión de diseño	150 PSI
Máxima presión	195 PSI
Temperatura de Diseño	230 °F (110 °C)
Temperatura de Ingreso del Proceso	202,4 ° F Aprox. (94,7 °C)
Temperatura de Salida del Proceso	189 ° F Aprox.(87,2 °C)
Número de Tubos por cada sección	6
Número de Secciones	2
Área de cada tubo	2,281 in <sup>2</sup> (14,70 cm <sup>2</sup> )
Escaleras, pasajes, pasamanos y plataformas	SI
Cantidad de Motores	2
Voltaje de cada motor	460 V

Continúa →

RPM (Revoluciones por minuto)	1790
-------------------------------	------

Peso total aproximado	47.750 lb (21.705kg)
-----------------------	----------------------

### GRÁFICO DEL ELEMENTO

El siguiente gráfico es del WS- EX1-002 A/B (Aero enfriador general de segunda etapa)



### 4.1.3 Detalle de Conexiones

Las conexiones se realizan en cuanto a potencia al PLC MCC-002 A y en cuanto a instrumentación a los PLC FWKO A y PLC FWKO B. Se detallaran por tanto, las entradas y salidas análogas y digitales. El PLC FWKO B es el que maneja la lógica de control.

#### 4.1.3.1 Instrumentación.

##### 4.1.3.1.1 PLC FWKO A

**Tabla. 56 Descripción de los componentes del PLC FWKO A**

Tipo de entrada o salida	Nombre del dispositivo	Ubicación
Entradas Análogas	Analog Input AB #1756-IF16	Rack 0, Slot 9

##### 4.1.3.1.2 PLC FWKO B

**Tabla. 57 Descripción de los componentes del PLC FWKO B**

Tipo de entrada o salida	Nombre del dispositivo	Ubicación
<b>Entradas Análogas</b>	Analog Input AB #1756-IF16	Rack 0, Slot 9
<b>Entradas Digitales</b>	Discrete Input AB #1756-IB16	Rack 0, Slot 8

En cuanto al PLC MCC-002A se dispone de:

- Conexiones de Run- Stop (Arranque- Parada).
- Las señales y sus conexiones hacia los Slots (Signals and Slots Connections).
- Señales de Control (Signals control)
- Conexiones hacia los motores del Aero enfriador (Power Connection Air Cooler).

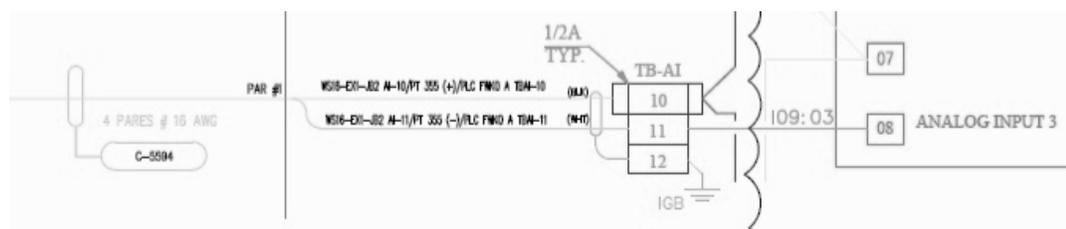
Las conexiones se basan en el tipo de dispositivo, sea: sensor, transmisor, indicador diferencial entre otros y los slots del PLC al que correspondan .

#### 4.1.3.1.3 Entradas Análogas del PLC FWKO A

##### 4.1.3.1.3.1 Transmisor de Presión PT 355

**Tabla. 58 Conexión desde el dispositivo PT 355 hasta el tablero de conexiones.**

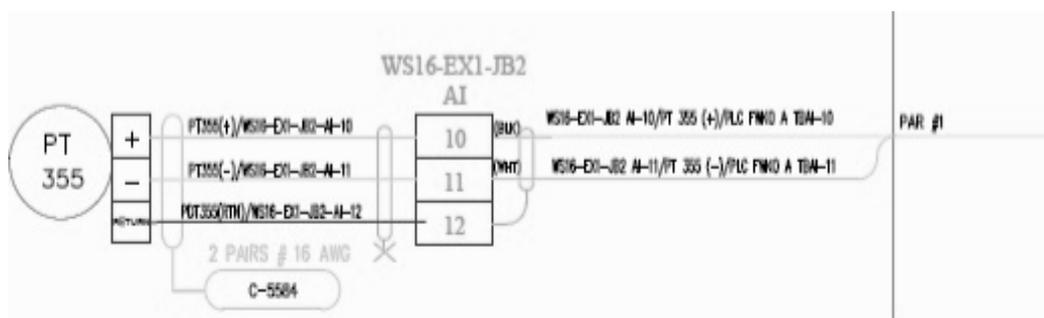
Desde la salida.	Hacia la Caja de Conexiones(Junction Box 2 AI)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Positiva</b>	Número de Bornera 10 Color de cable Negro	C-5584. Tipo PLTC de 2 pares y calibre #16. Par #1
<b>Negativa</b>	Número de Bornera 11 Color de cable Blanco	
<b>Retorno</b>	Número de Bornera 12 No tiene color de cable.	



**Figura. 40 Conexión del dispositivo PT 355 (Transmisor de Presión 355)**

**Tabla. 59 Conexión del dispositivo PT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Hacia las Borneras de Entrada del PLC FWKO A	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.	Nombre y número de Entrada al Slot 9 del Rack 0 del PLC FWKO-A
<p><b>Par Utilizado #1, Cables Negro y Blanco.</b></p>	<p>Número de Bornera 10. Color de cable Negro. Conectado al positivo de la fuente de 24 V en DC</p>	<p>C-5594. Tipo PLTC de 4 pares y calibre #16.</p>	<p>N/A</p>
	<p>Número de Bornera 11. Color de Cable Blanco.</p>	<p>1 Par utilizado</p>	<p>Analog Input 3 (Entrada Análoga 3), Número 08</p>
	<p>Conecta dos los anteriores a Tierra por medio de la Bornera 12.</p>		<p>N/A</p>



**Figura. 41** Conexión del dispositivo PT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A (Transmisor de Presión 355)

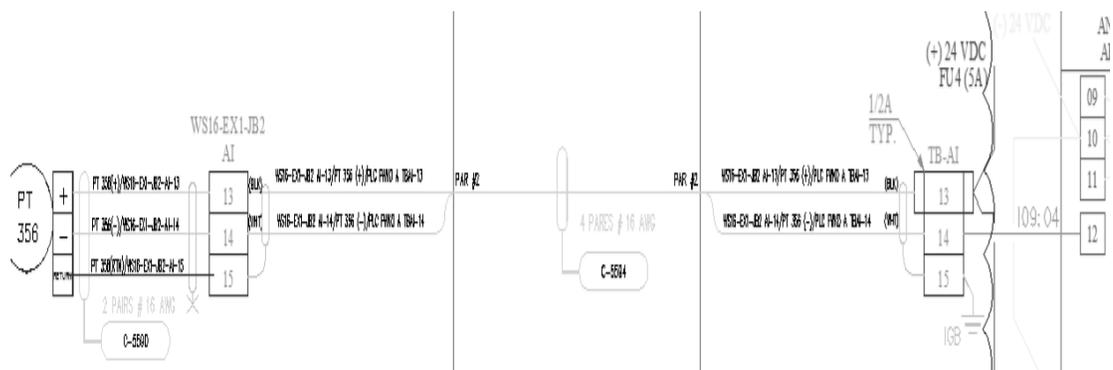
#### 4.1.3.1.3.2 Transmisor de Presión PT 356

**Tabla. 60** Conexión desde el dispositivo PT 356 hasta el tablero de conexiones.

Desde la salida.	Hacia la Caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Positiva</b>	Número de Bornera 13 Color de cable Negro	C-5590.
<b>Negativa</b>	Número de Bornera 14 Color de cable Blanco	Tipo PLTC de 2 pares y calibre #16.
<b>Retorno</b>	Número de Bornera 15 No tiene color de cable.	Par #2

**Tabla. 61 Conexión del dispositivo PT 356 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 A)	Hacia las Borneras de Entrada del PLC FWKO A	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.	Nombre y número de Entrada al Slot 9 del Rack 0 del PLC FWKO-A
<b>Par Utilizado #2, Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 13. Color de cable Negro. Conectado al positivo de 24 V en DC	C-5594. Tipo PLTC de 4 pares y calibre #16.1 Par utilizado	N/A
	Número de Bornera 14. Color de Cable Blanco.		Analog Input 4 (Entrada Análoga 4), Número 12
	Conecta dos los anteriores a Tierra por medio de la Bornera 15.		N/A



**Figura. 42 Conexión del dispositivo PT 356 (Transmisor de Presión 356)**

Los PI 355 y PI 356 no se detallan las conexiones debido a que son instalados directamente en campo sobre la tubería del proceso y no envían ninguna señal al PLC, cabe señalar que los PT cuentan con sensores propios.

#### 4.1.3.1.3.3 Transmisor indicador de Flujo FIT 355

**Tabla. 62 Conexión del dispositivo FIT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A.**

Desde salida.	Hacia la Caja de Conexiones la (Junction Box 2 AI)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Positiva</b>	Número de Bornera 16 Color de cable Negro	C-5591. Tipo PLTC de 2 pares y calibre #16. Par #3

**Continúa →**

<b>Negativa</b>	<b>Número de Bornera 17</b> <b>Color de cable Blanco</b>
<b>Retorno</b>	<b>Número de Bornera 18</b> <b>No tiene color de cable.</b>

**Tabla. 63 Conexión del dispositivo FIT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Hacia las Borneras de Entrada del PLC FWKO A	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.	Nombre y número de Entrada al Slot 9 del Rack 0 del PLC FWKO-A
<b>Par Utilizado #3, Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 16. Color de cable Negro. Conectado al positivo de 24 V en DC	C-5594. Tipo PLTC de 4 pares y calibre #16.	N/A
	Número de Bornera 17. Color de Cable Blanco.	1 Par utilizado	Analog Input 5 (Entrada Análoga 5), Número 16
	Conectados los anteriores a Tierra por medio de la Bornera 18.		N/A





#### 4.1.3.1.4.2 Transmisor de Temperatura TT 356

**Tabla. 66 Conexión desde el dispositivo TT 356 hasta el tablero de conexiones.**

Desde salida.	Hacia la Caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Positiva</b>	Número de Bornera 4 Color de cable Negro	C-5589.
<b>Negativa</b>	Número de Bornera 5 Color de cable Blanco	Tipo PLTC de 2 pares y calibre #16. Par #2
<b>Retorno</b>	Número de Bornera 6 No tiene color de cable.	

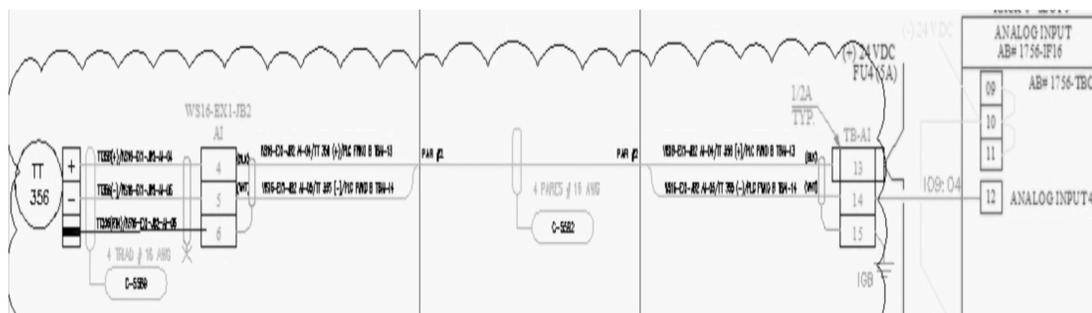
**Tabla. 69 Conexión del dispositivo TT 356 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO A.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Hacia las Borneras de Entrada del PLC FWKO B	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.	Nombre y número de Entrada al Slot 9 del Rack 0 del PLC FWKO-B
	Número de Bornera 13. Color de cable Negro.		N/A
<b>Par Utilizado #2, Cables Negro y Blanco.</b>	Conectado al positivo de 24 V en DC	C-5592. Tipo PLTC de 4 pares y calibre #16.	
	Número de Bornera 14. Color de Cable Blanco.	1 Par utilizado	Analog Input 4 (Entrada Análoga 4), Número 12

**Continúa →**

Conectado  
s los anteriores a  
Tierra por medio  
de la Bornera 15.

N/A



**Figura. 45 Conexión del dispositivo TT 356 (Transmisor de Temperatura 355)**

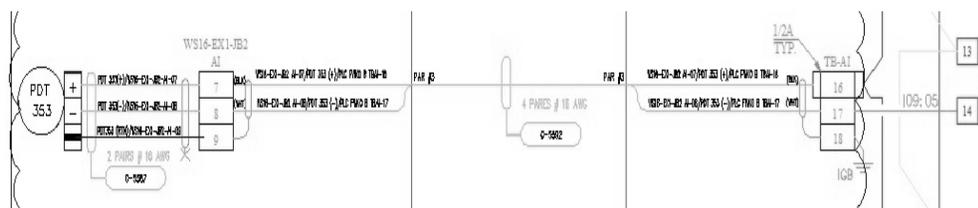
#### 4.1.3.1.4.3 Transmisor Diferencial de Presión PDT 353

**Tabla. 67 Conexión desde el dispositivo PDT 355 hasta el tablero de conexiones.**

Desde la salida.	Hacia la Conexiones (Junction Box 2 AI)	la Caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	de Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Positiva</b>	Número de Bornera 7	Color de cable Negro	C-5587. Tipo PLTC de 2 pares y calibre
<b>Negativa</b>	Número de Bornera 8	Color de cable Blanco	#16. Par #3
<b>Retorno</b>	Número de Bornera 9	No tiene color de cable.	

**Tabla. 68 Conexión del dispositivo PDT 355 desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 A1)	Hacia las Borneras de Entrada PLC FWKO B	Nombre, Tipo y/o Descripción de pares utilizados.	Nombre y número de Entrada al Slot 9 del Rack 0 del PLC FWKO-B
	Número de Bornera 16. Color de cable Negro.	C-5592. Tipo PLTC de 4 pares y calibre #16. 1 Par utilizado	N/A
<b>Par Utilizado #3, Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 17. Color de Cable Blanco.		Analog Input 5 (Entrada Análoga 5), Número 14
	Conectados los anteriores a Tierra por medio de la Bornera 18.		N/A



**Figura. 46 Conexión del dispositivo PDT 355 (Presión diferencial de Temperatura 355)**

El Slot 9 de entradas análogas AB # 1756-IF16 perteneciente al Rack 0 del PLC FWKO B tiene sus entradas: 07, 08, 09, 10, 11, 13, 15 y 17 conectadas entre sí (Punteadas) al negativo de la fuente de 24 V en DC de tal manera que cierra el circuito de conexión.

#### 4.1.3.1.5 Entradas Digitales del PLC FWKO B

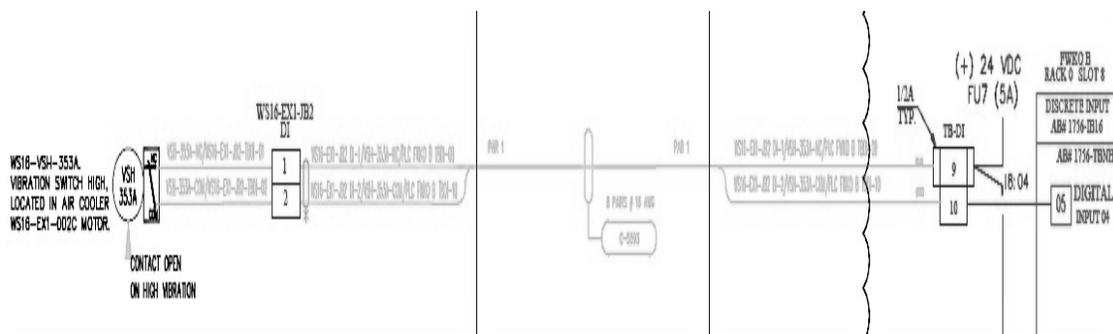
##### 4.1.3.1.5.1 Switch de Vibración en Alto VSH 353 A

**Tabla. 69 Conexión desde el dispositivo VSH 353 A hasta el tablero de conexiones.**

Desde la salida	Hacia la Caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Normalmente</b>	Número de Bornera 1	C-5582.
<b>Cerrada</b>		Tipo PLTC de 4 conductores
<b>Común</b>	Número de Bornera 2	y calibre #14 AWG.

**Tabla. 70. Conexión del dispositivo VSH 353 A desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Hacia Borneras Entrada PLC FWKO B	las de del Descripción de pares utilizados.	Nombre, Tipo y/o Descripción y pares utilizados.	Nombre y número de Entrada al Slot 9 del Rack 0 del PLC FWKO-B
	Número de Bornera 9.	de Color de Cable Negro.	Nombre de Tipo PLTC de 8 pares y calibre #16.	N/A
<b>Cables Negro y Blanco.</b>	Conectado al positivo de 24 V en DC	1 Par utilizado		Digital Input 04 (Entrada Digital 04), Número 05
	Número de Bornera 10.	de Color de Cable Blanco.		



**Figura. 47 Conexión del dispositivo VSH 353 A (Interruptor de Vibración Manual 353 A)**

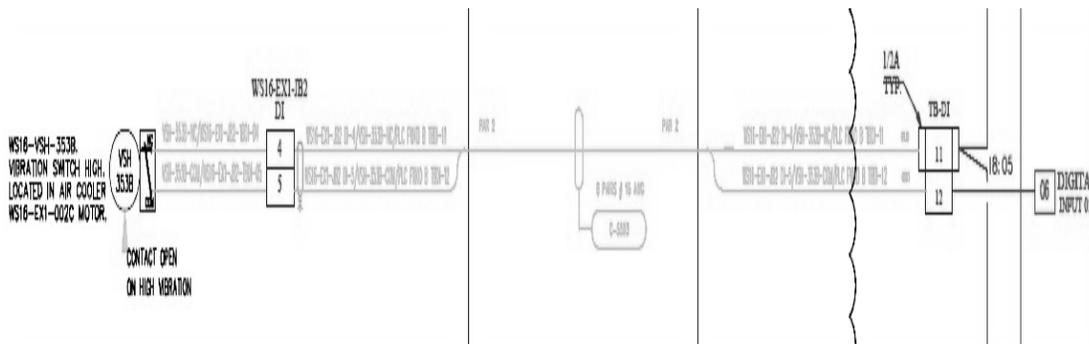
#### 4.1.3.1.5.2 Switch de Vibración en Alto VSH 353 B

**Tabla. 71 Conexión desde el dispositivo VSH 353 B hasta el tablero de conexiones.**

Desde la salida	Hacia la Caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Normalmente</b>	Número de Bornera	C-5583.
<b>Cerrada</b>	4	Tipo PLTC de 4 conductores y calibre #14 AWG.
<b>Común</b>	Número de Bornera 5	

**Tabla. 72 Conexión del dispositivo VSH 353 B desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 AI)	Hacia las Entradas del PLC FWKO B	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.	Nombre y número de Entrada al Slot 9 del Rack 0 del PLC FWKO-B
<b>Cables Negro Blanco.</b>	Número de Bornera 11. Color de cable Negro. Conectado al positivo de 24 V en DC	C-5593. Tipo PLTC de 8 pares y calibre #16. 1 Par utilizado	N/A
	Número de Bornera 12. Color de Cable Blanco.		Digital Input 05 (Entrada Digital 05), Número 06



**Figura. 48. Conexión del dispositivo VSH 353 B (Interrupor de Vibración Manual 353 B)**

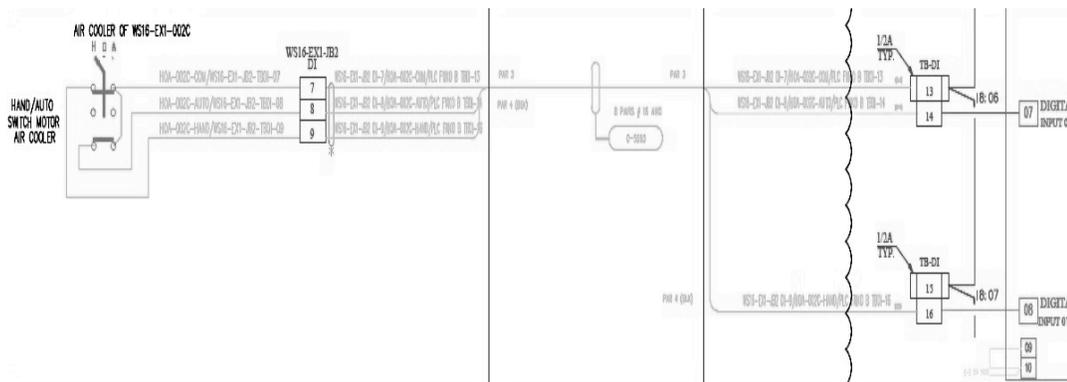
**4.1.3.1.5.3 Hand Switch (Interrupor Manual de 3 posiciones) HOA (Hand (Manual), Off (Apagado), A (Automático)) del Aero enfriador WS-EX1-002C**

**Tabla. 73 Conexión desde el dispositivo HS 002 C hasta el tablero de conexiones.**

Desde la salida.	Hacia la Conexiones (Junction Box 2 AI)	Caja de Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Común</b>	Número de Bornera 7	C-5580.
<b>Manual</b>	Número de Bornera 8	Tipo PLTC de 4 conductores y calibre #14 AWG.
<b>Automática</b>	Número de Bornera 9	

**Tabla. 74 Conexión del dispositivo HS 002C desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 Al)	Hacia las Borneras de Entrada del PLC FWKO B	Nombre, Tipo y/o Descripción y Número de pares utilizados.	Nombre y Entrada al Rack 0 del PLC FWKO-B
	<b>Número de Bornera 15. Conectado a 24 V en DC</b>		N/A
	<b>Número de Bornera 16</b>		Digital Input 07 (Entrada Digital 07), Número 08
<b>Par Utilizado #3, Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 13. Color de cable Negro. Conectado al positivo de 24 V en DC	C-5593. Tipo PLTC de 8 pares y calibre #16. 1 Par utilizado	N/A
	<b>Número de Bornera 14. Color de Cable Blanco.</b>		Digital Input 5 (Entrada Digital 5), Número 06



**Figura. 49 Conexión del Hand Switch (Interrupor Manual de 3 posiciones) HOA (Hand (Manual), Off (Apagado), A (Automático)) del Aero enfriador WS16-EX1-002C**

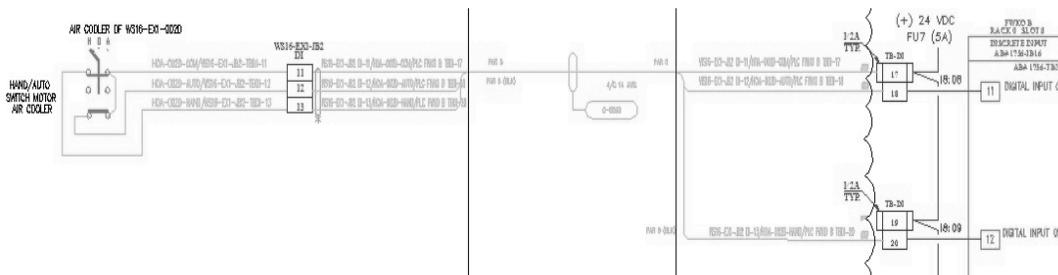
**4.1.3.1.5.4 Hand Switch (Interrupor Manual de 3 posiciones) HOA (Hand (Manual), Off (Apagado), A (Automático)) del Aero enfriador WS-EX1-002D**

**Tabla. 75 Conexión desde el dispositivo HS 002D hasta el tablero de conexiones.**

Desde la salida.	Hacia Conexiones Box 2 AI)	la Caja (Junction)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción y Número de pares utilizados.
<b>Común</b>	Número de Bornera 7		C-5581.
<b>Manual</b>	Número de Bornera 8		Tipo PLTC de 4 conductores y calibre #14 AWG.
<b>Automática</b>	Número de Bornera 9		

**Tabla. 76 Conexión del dispositivo HS 002 D desde el tablero de conexiones hasta el PLC FWKO B.**

Desde la caja de Conexiones (Junction Box 2 Al)	Hacia las Borneras de Entrada del PLC FWKO B	Nombre, Tipo y/o número de pares utilizados.	Nombre de Entrada al Rack 0 del PLC FWKO-B
<b>Par Utilizado #3, Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 13. Color de cable Negro. Conectado al positivo de 24 V en DC	<b>C-5593.</b> Tipo PLTC de 8 pares y calibre #16. 1 Par utilizado	N/A
	Número de Bornera 14. Color de Cable Blanco.		Digital Input 5 (Entrada Digital 5), Número 06
<b>Par Utilizado #4, Cable Negro.</b>	Número de Bornera 15. Conectado a 24 V en DC	<b>C-5593.</b> <b>Tipo PLTC de 8 pares y calibre #16.</b> <b>1 Par utilizado</b>	<b>N/A</b>
	Número de Bornera 16		Digital Input 07 (Entrada Digital 07), Número 08



**Figura. 50. Conexión del Hand Switch (Interruptor Manual de 3 posiciones) HOA (Hand (Manual), Off (Apagado), A (Automático)) del Aero enfriador WS16-EX1-002D**

El Slot 8 de entradas digitales AB # 1756-IB16 perteneciente al Rack 0 del PLC FWKO B tiene sus entradas: 09 y 10 conectadas entre sí (Punteadas) al negativo de la fuente de 24 V en DC de tal manera que cierran el circuito de conexión.

#### 4.1.3.2 Potencia y Control

##### 4.1.3.2.1 PLC MCC 002 A

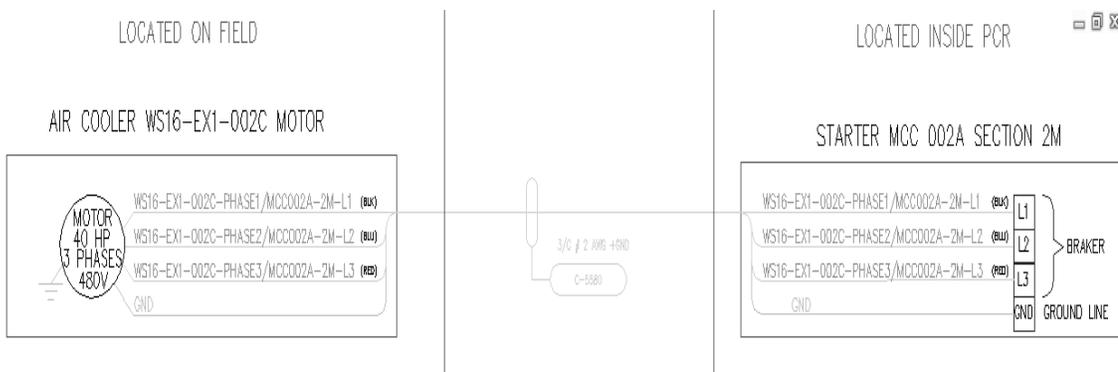
**Tabla. 77 Descripción de los componentes del PLC MCC 002 A.**

Tipo de entrada o salida	Nombre del dispositivo	Ubicación
<b>Entradas Digitales</b>	Discrete Inputs #1756-IB32	AB Slot 1
<b>Salidas Digitales</b>	Discrete Outputs #1756-OB32	AB Slot 6

**4.1.3.2.2 Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002C (Air Cooler  
WS16-EX1-002C Motor**

**Tabla. 78 Conexión desde el Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002C hasta el Starter MCC 002 A Section 2M.**

Desde la salida del Dispositivo localizado en campo.	Hacia el Arrancador del MCC 002 A Sección 2M (Starter localizado en el Cuarto de Control de Poder (PCR)	Nombre, Tipo de cable y/o descripción.
<b>Fase 1 (L1). Cable de color Negro</b>	Interruptor automático L1 (Breaker L1)	C-5580. Tipo PT de 3 conductores + Tierra (3/C+GND) y calibre #2 AWG.
<b>Fase 2 (L2). Cable de color Azul</b>	Interruptor automático L2 (Breaker L2)	
<b>Fase 3 (L3). Cable de color Rojo</b>	Interruptor automático L3 (BreakerL3)	
<b>Tierra (GND). No presenta color.</b>	Línea de Tierra (Ground No Line)	

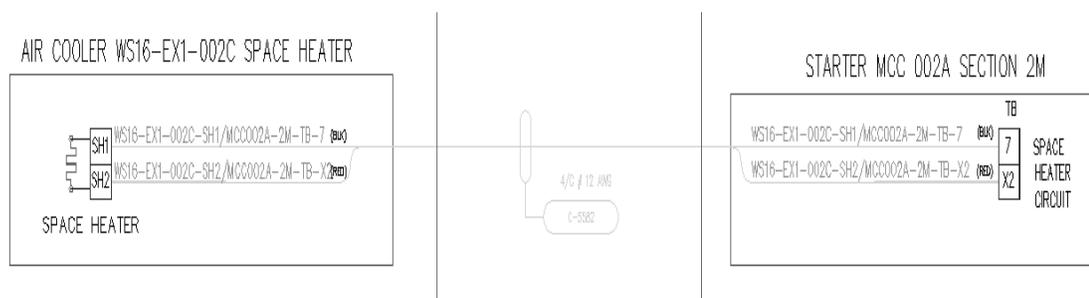


**Figura. 51 Conexión del Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002C**

### 4.1.3.2.3 Calentador del Aero enfriador WS16-EX1-002C (Air Cooler WS16-EX1-002C SpaceHeater)

**Tabla. 79 Conexión desde el Space Heater del Aero enfriador WS16-EX1-002C hasta el Starter MCC 002 A Section 2M.**

Desde la salida del Dispositivo localizado en campo.	Hacia el Arrancador del MCC 002 A Sección 2M (Starter MCC 002 A Section 2M) localizado en el Cuarto de Control de Poder (PCR)	Nombre, Tipo y descripción.
<b>Terminal 1 (SH1).</b>	Circuito del Calentador (Space Heater Circuit). Bornera 7	C-5582.
<b>Cable de color Negro</b>		Tipo PT de 4 conductores (4/C) y calibre #12 AWG.
<b>Terminal 2 (SH2).</b>	Circuito del Calentador (Space Heater Circuit). Bornera X2	
<b>Cable de color Rojo</b>		

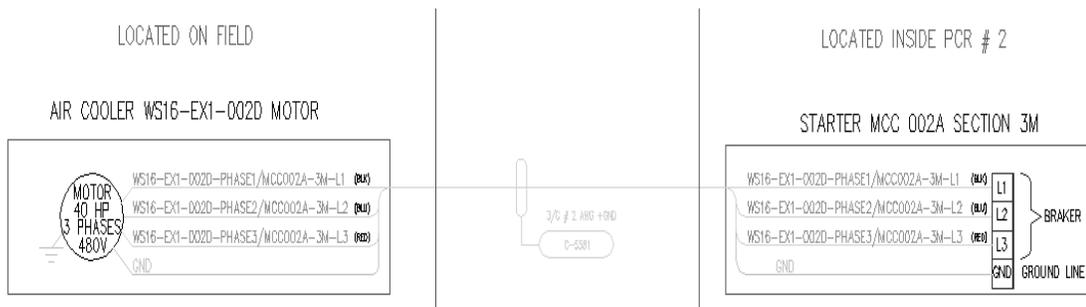


**Figura. 52 Conexión del calentador del Aero enfriador WS16-EX1-002C**

**4.1.3.2.4 Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002D (Air Cooler WS16-EX1-002D Motor)**

**Tabla. 80 Conexión desde el Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002D hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.**

Desde la salida del Dispositivo localizado en campo.	Hacia el Arrancador del MCC 002 A Sección 3M (Starter MCC 002 A Section 3M) localizado en el Cuarto de Control de Poder (PCR)	Nombre, Tipo de cable y/o descripción.
<b>Fase 1 (L1). Cable de color Negro</b>	Interruptor automático L1 (Breaker L1)	C-5581. Tipo PT de 3
<b>Fase 2 (L2). Cable de color Azul</b>	Interruptor automático L2 (Breaker L2)	conductores + Tierra
<b>Fase 3 (L3). Cable de color Rojo</b>	Interruptor automático L3 (Breaker L3)	(3/C+GND) y calibre #2 AWG.
<b>Tierra (GND). No presenta color.</b>	Línea de Tierra (Ground Line)	

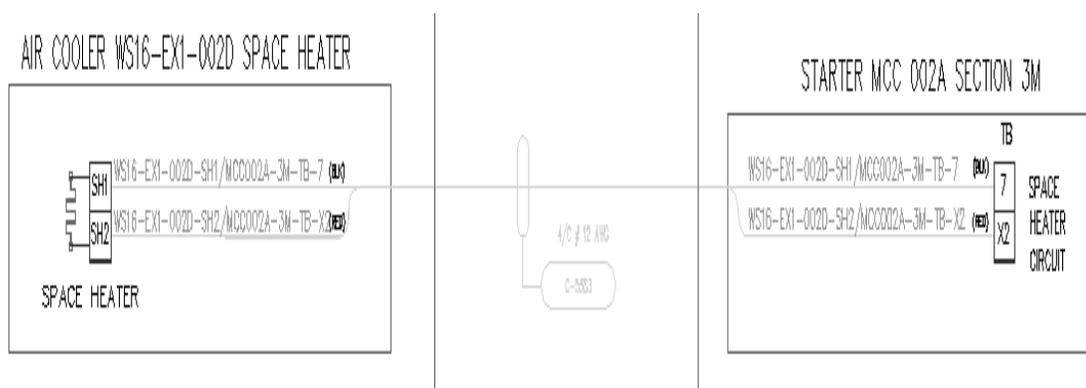


**Figura. 53 Conexión del Motor del Aero enfriador WS16-EX1-002D**

**4.1.3.2.5 Calentador del Aero enfriador WS16-EX1-002D (Air Cooler WS16-EX1-002D Space Heater)**

**Tabla. 81 Conexión desde el Space Heater del Aero enfriador WS16-EX1-002D hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.**

Desde la salida del Dispositivo en campo.	Hacia el Arrancador del MCC 002 A Sección 3M (Starter MCC 002 A Section 3M) localizado en el Cuarto de Control de Poder (PCR)	Nombre, Tipo de cable y/o descripción.	Tipo de y
<b>Terminal 1 (SH1). Cable de color Negro</b>	Circuito del Calentador (Space Heater Circuit). Bornera 7	C-5583.	Tipo PT de 4 conductores (4/C) y
<b>Terminal 2 (SH2). Cable de color Rojo</b>	Circuito del Calentador (Space Heater Circuit). Bornera X2		calibre #12 AWG.

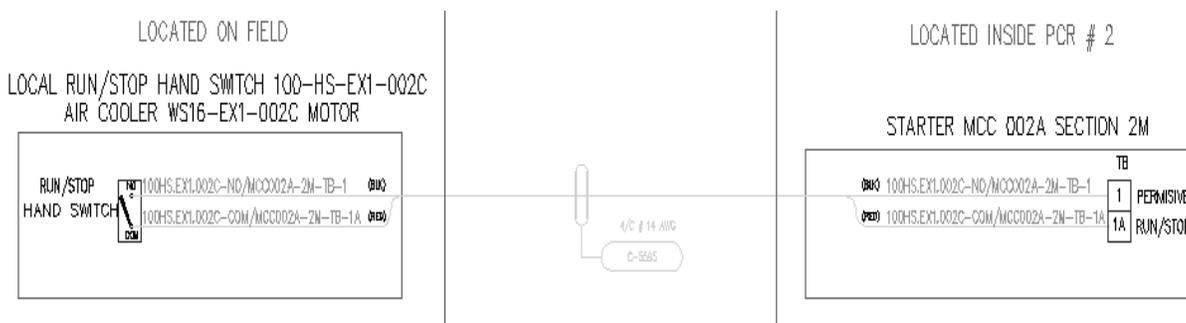


**Figura. 54 Conexión del Calentador del Aero enfriador WS16-EX1-002D**

**4.1.3.2.6 Interruptor manual de dos posiciones del Aero enfriador WS16-EX1-002C (Local Run/Stop Hand Switch 100-HS-EX1-002C Air Cooler WS16-EX1-002CMotor)**

**Tabla. 82 Conexión desde el Hand Switch 100, del Aero enfriador WS16-EX1-002C hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.**

		Hacia el Arrancador del MCC	
Desde la salida del Dispositivo localizado en campo.	002 A Sección 2M (Starter MCC 002 A Section2M) localizado en el Cuarto de Control de Poder (PCR)	Nombre, Tipo de cable y/o descripción.	Tipo y y
<b>Normalmente Abierto (NO). Cable de color Negro</b>	Terminal de Bornera 1, Permisivo de arranque (TB Permisive).	1, C-5595.	
<b>Común (COM). Cable de color Rojo</b>	Terminal de Bornera 1A, Corriendo/Parado (TB Run/Stop).	1A,	

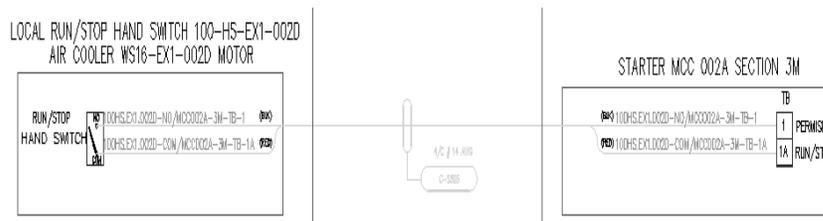


**Figura. 55 Interruptor manual de dos posiciones del Aero enfriador WS16-EX1-002C**

**4.1.3.2.7 Interruptor manual de dos posiciones del Aero enfriador WS16-EX1-002D (Local Run/Stop Hand Switch 100-HS-EX1-002D Air Cooler WS16-EX1-002DMotor)**

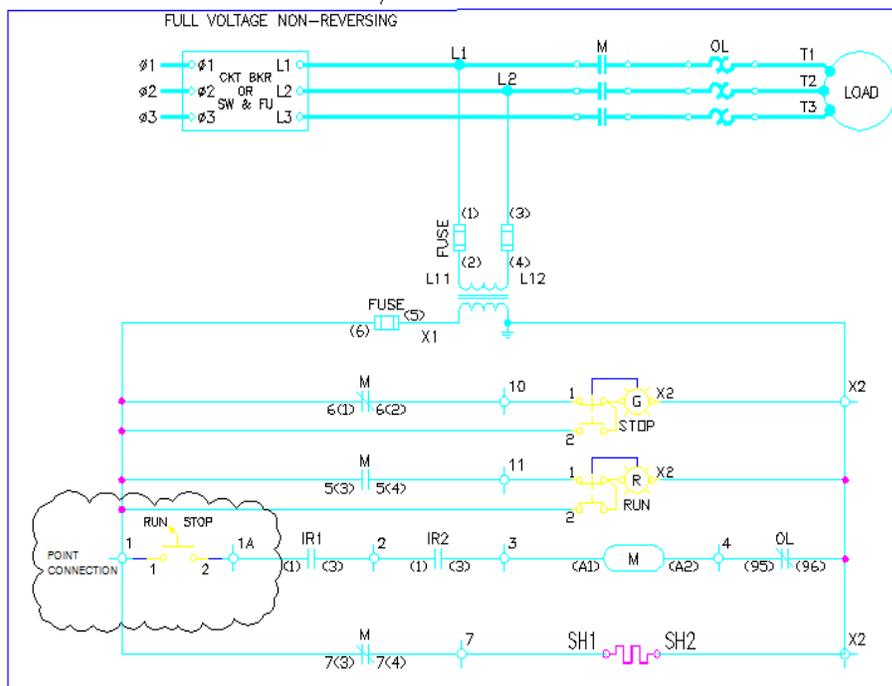
**Tabla. 83 Conexión desde el Hand Switch 100, del Aero enfriador WS16-EX1-002D hasta el Starter MCC 002 A Section 3M.**

Desde la salida del Dispositivo localizado en campo.	Hacia el Arrancador del MCC 002 A Sección 3M (Starter MCC 002 A Section3M) localizado en el Cuarto de Control de Poder (PCR)	Nombre, Tipo de cable y/o descripción.
<b>Normalmente Abierto (NO). Cable de color Negro</b>	Terminal de Bornera 1, Permisivo de arranque (TB Permisive).	C-5596. Tipo PT de 4 conductores (4/C) y calibre #14
<b>Común (COM). Cable de color Rojo</b>	Terminal de Bornera 1A, Corriendo/Parado (TB Run/Stop).	AWG.



**Figura. 56 Interruptor manual de dos posiciones del Aero enfriador WS16-EX1-002D**

## STARTER MCC 002A SECTION 2M/3M



**Figura. 57 Circuito de Control del Arrancador MCC 002A Secciones 2M y 3 M.**

La Figura. 57 muestra el circuito que se compone desde arriba con una caja de breakers (interruptores automáticos) que se activan por seguridad cuando se supera el voltaje normal de funcionamiento. De ahí se toma para el circuito de control un voltaje entre fases que es de 480 (V) en AC, luego al pasar por los fusibles con terminales (1), (2), (3) y (4) se conecta a un transformador que reduce el voltaje a 120 (V) en AC y se enlaza él un extremo al fusible con terminales (5) y (6) y el otro extremo a tierra.

Si se observa el contacto normalmente cerrado del motor, visto con terminales 6(1) y 6(2), que simbolizan el contacto #6 del Motor y que por nomenclatura general establece números de una cifra 1, 2, 5 y 6 para contactos normalmente cerrados y 3,4,7 y 8 para contactos normalmente abiertos. Este contactor está conectado hacia los terminales 10 y X2 de las borneras del panel dentro del MCC 002 A, a su vez se conecta a la luz indicadora G Stop que es la luz indicadora vista en el panel y es de color Verde (Green).

Lo mismo sucede con los contactos normalmente abiertos 5(3) y 5(4) que se conectan con la luz indicadora R (Run) de color Rojo (Red) y ubicada en el panel de control.

Por otra parte, encerrado en la nube de la Figura. 57, se presenta la parte más importante de este circuito la misma que permite el control del encendido del motor. Comienza con un interruptor de dos posiciones (Hand Switch, Run/ Stop) que se encuentra en el campo, en la ubicación física del Aero enfriador, luego viene el dispositivo IR1, que es un relé que permite el arranque del motor, el dispositivo IR2, se encuentra presente en el circuito pero no será utilizado, permanecerá siempre conectado (puenteado) debido a que este dispositivo es un relé con las mismas características de IR1, pero sirve para detener el proceso por medio de una alarma ESD (Emergency Shut Down) que para este caso no aplicaría, el hecho de su activación provoca una parada

de todo el campo y este proceso de enfriamiento es un proceso no esencial y por ende, no debe interrumpir procesos esenciales que están ligados a la producción y refinamiento de crudo.

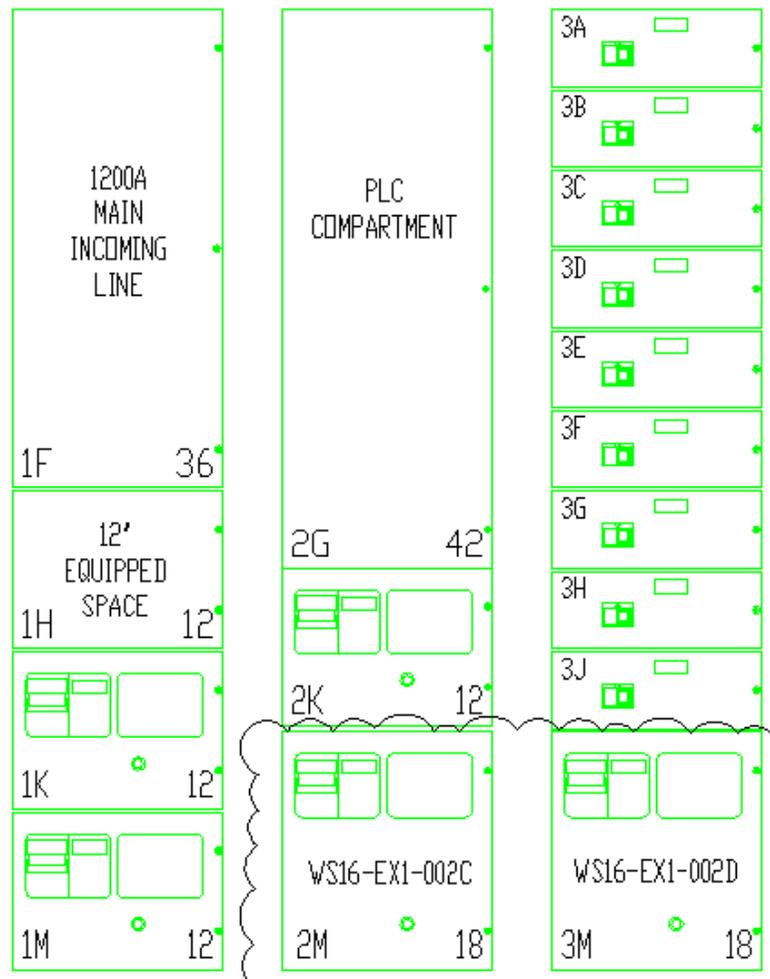
Luego de esto, se observa la bobina del motor con terminales A1 y A2 y posterior a este el Over Load (OL), éste es un banco de relés de protección térmica, un dispositivo de seguridad adicional debido al sobrecalentamiento que pudiese haber por mal funcionamiento en alguno de los motores del Aero enfriador.

Finalmente, con el contactor # 7 con terminales 3 y 4, contactos normalmente abiertos del motor se activan los Calentadores (Space Heater) de cada motor. La lógica de control se explicará posteriormente en lo concerniente a la programación del sistema.

Como se observa en la Figura. 58 se muestra la ubicación de los paneles en la parte inferior están encerrados en la nube y corresponden al WSSG- D del PCR # 2 de Villano A.

En la Figura. 59 la señal de estatus del motor, se conecta hacia las entradas 8 y 9 del PLC ubicado en el MCC 002 A tanto para la sección 2M como para la sección 3M, se identifican estas conexiones como 8(3) y 8(4) dentro del Motor

del Aero enfriador y sirven como información para el operador, se sabe así, si el Motor se encuentra prendido o apagado, lo cual, no forzaría ninguna acción.



**Figura. 58 Vista frontal del MCC 002A.**

Las entradas 16 y 17 del PLC, identificadas como (7) y (2) del dispositivo IR1, que es un relé que permite el arranque del motor, se conectan con la señal de Start/ Stop (Encendido/Apagado) del motor, esta señal viene como orden del operador, mismo que tomando en cuenta todos los permisos necesarios y

sabiendo de ante mano la acción a realizar, enciende o apaga el motor del Aero enfriador. (Ver Figura. 59)

En la parte izquierda se observa el circuito de potencia del motor, en la parte superior central se ubica la conexión de los relés IR1 e IR2 y en la parte inferior la conexión del transformador CPT, (Current Potencial Transformer, Transformador de Corriente de Potencia), este transformador permite un cambio desde la entrada de 480 [V] a 110 [V] y por último en la parte derecha la conexión hacia la regleta de borneras ubicadas dentro de la puerta del panel del MCC 002 A. (Ver Figura. 59)

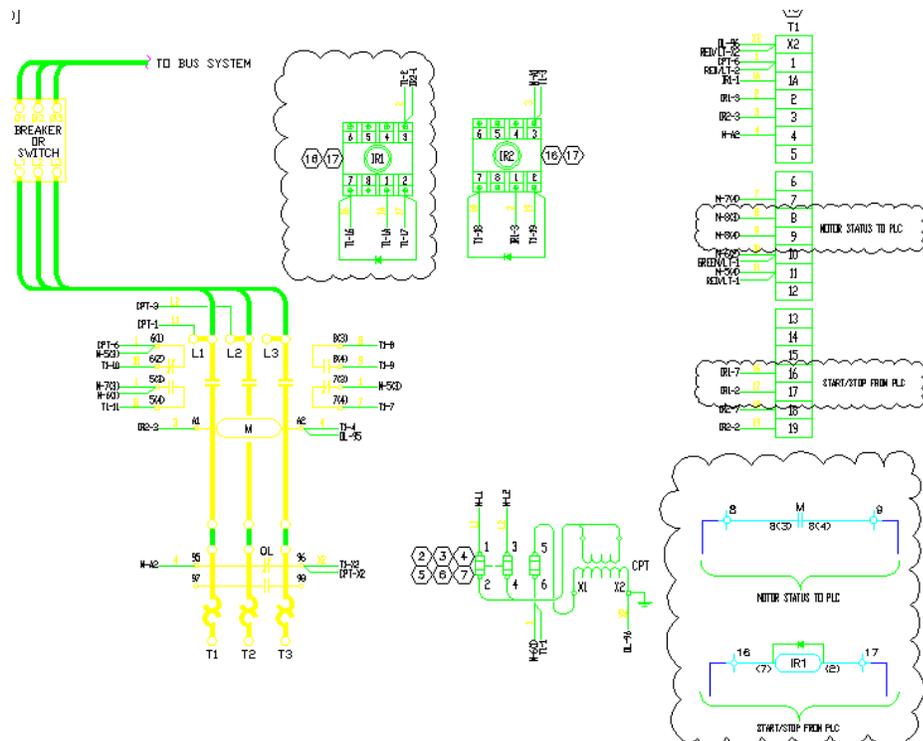
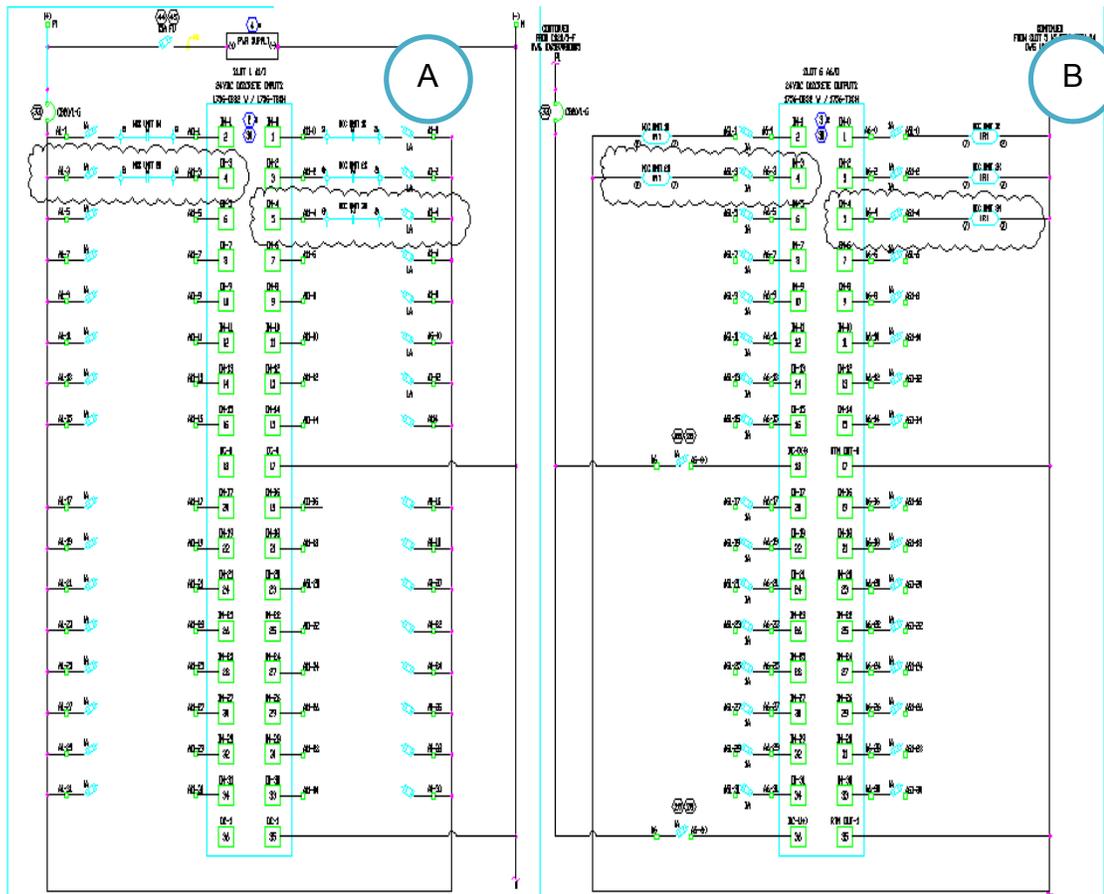


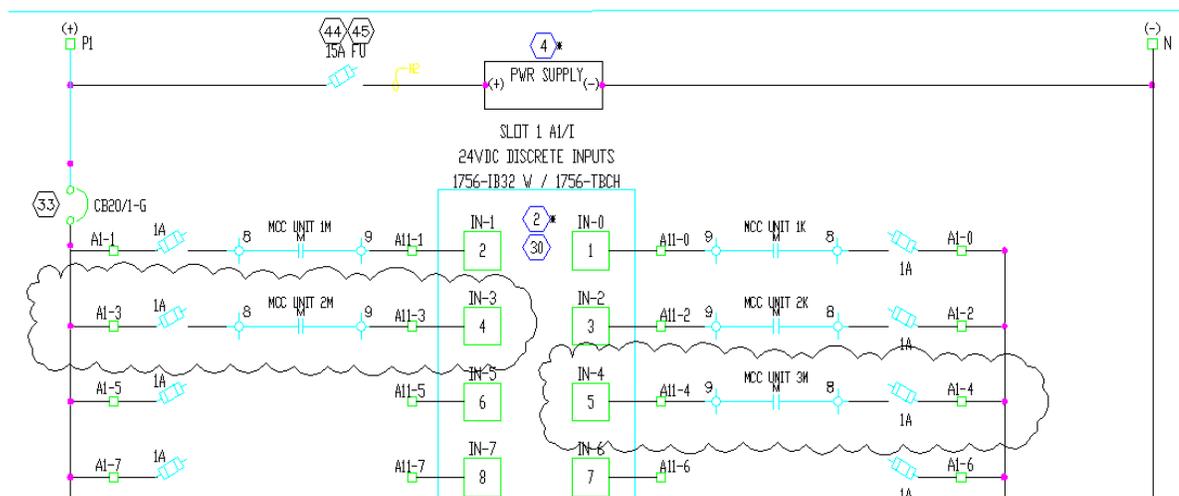
Figura. 59 Conexiones de circuitería interna del PLC MCC 002 A.



**Figura. 60 Slots de Entradas y Salidas Digitales del PLC MCC 002 A. Sección A. Slot 1 A1-I Sección B. Slot 6 A6-O.**

**A** Esta sección corresponde al slot de entradas digitales, Discrete Inputs AB #1756-IB32, con 32 entradas que se conectan en un extremo a 24 V en DC y el otro extremo a neutro, de manera que toda las entradas se encuentran alimentadas con 24 V pero solo ingresan a la tarjeta como señales cuando los contactos se activan o se desactiven según sea el caso y la lógica de control, por ende, se observan los contactos (8) y (9) correspondientes al diagrama de potencia del MCC 002 A sirviendo como señales de estatus de los

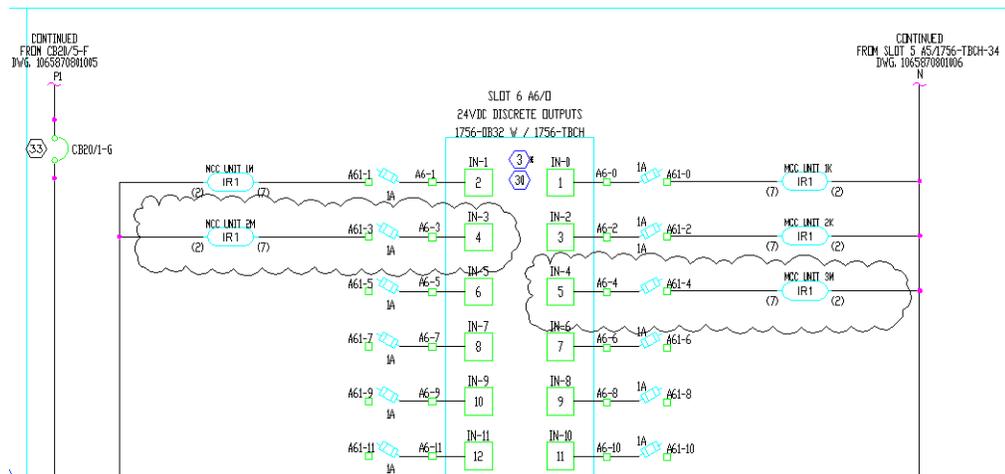
motores e indicando si el Aero enfriador se encuentra prendido o apagado (1 para Encendido, 0 para Apagado). Cabe señalar que la tarjeta se encuentra energizada (polarizada) cerrando su circuito por medio de la entrada # 17 (Ver Figura. 60). Las nubes que encierran la Figura. 61 permiten apreciar con mayor detalle las conexiones de acuerdo a los terminales de los motores del Aero enfriador.



**Figura. 61 Entradas digitales (Slot 1) del PLC MCC 002 A.**

**B** Muestra el slot de salidas digitales, Discrete Outputs AB #1756-OB32, con 32 salidas que se conectan en un extremo a la tarjeta y al otro extremo a neutro para cerrar el circuito, y la señal que sale es de 24 V en DC y se da cuando los contactos se activan o se desactiven según sea el caso de la lógica de control, por ende, se observan los contactos (2) y (7) correspondientes al diagrama de potencia del IR1 que es el relé que enciende

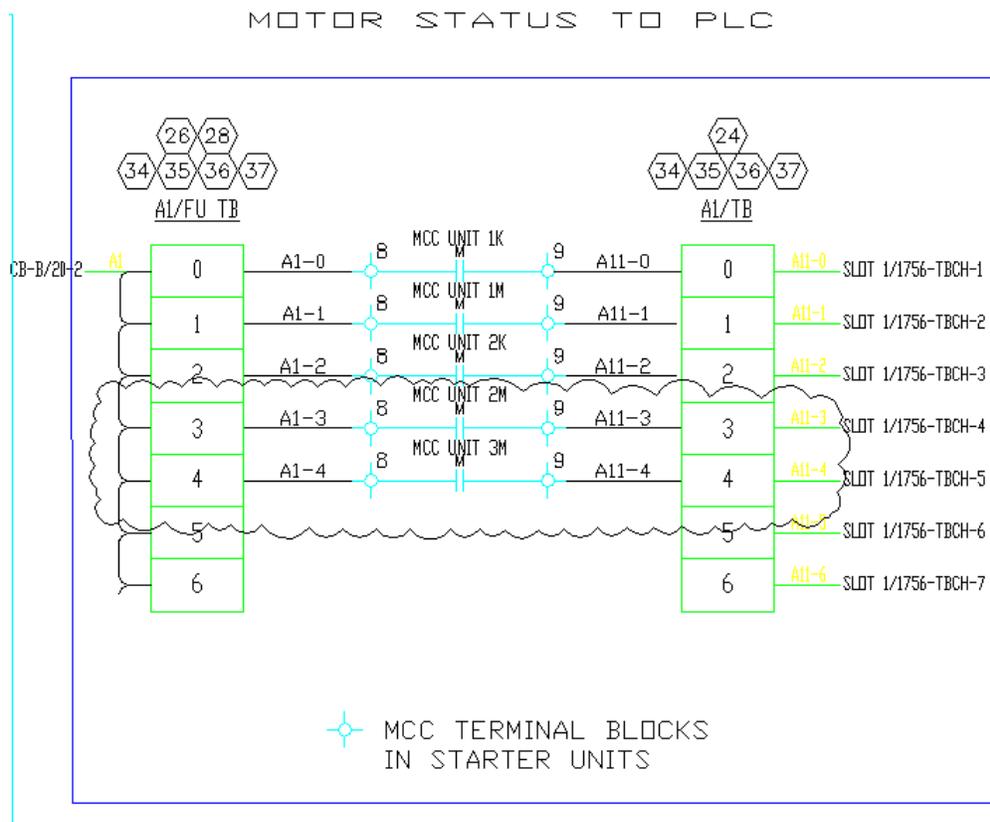
los motores del Aero enfriador. Cabe señalar que la tarjeta se encuentra energizada (polarizada) por medio de la entrada # 16 que recibe la señal de un PLC o tarjeta anterior conectada a otro proceso indiferente al actual. La Figura. 62 muestra con mayor detalle las conexiones de acuerdo a los terminales del relé IR1 del Aero enfriador.



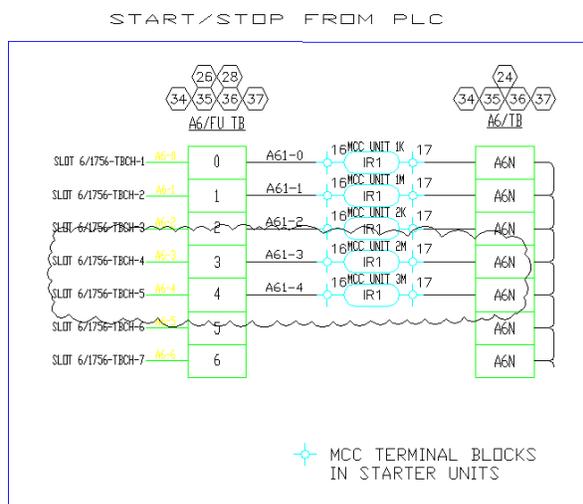
**Figura. 62 Salidas digitales (Slot 6) del PLC MCC 002 A.**

Las Figuras. 63 y 64 señalan como se encuentran conectadas las borneras internamente dentro del panel del MCC 002 A, y se encierran en nubes las nuevas conexiones a realizarse, para el slot de entradas se conectan entre sí las borneras del panel y luego de pasar por el contactor del motor se dirigen a las borneras del Slot 1 de entradas digitales (Ver Figura. 63). Lo mismo sucede con la Figura. 64 la misma que se interconecta desde el Slot 6 correspondiente a las salidas digitales hacia el relé IR1 que enciende el motor y de este se dirige

hacia la interconexión entre las borneras A6N que son borneras enlazadas a neutro, para después que la tarjeta envíe los 24 V en DC se pueda cerrar el circuito y enviar la señal de control.



**Figura. 63 Detalle de conexiones internas entre borneras del slot 1 de entradas digitales del PLC MCC 002 A**



**Figura. 64 Detalle de conexiones internas entre borneras del slot 6 de salidas digitales del PLC MCC 002 A**

#### 4.1.4 Junction Box WS16-EX1-JB2

**Tabla. 84 Conexión interna del tablero de conexiones desde los distintos dispositivos hacia el slot de entradas análogas del PLC FWKO A.**

Desde dispositivo	Hacia TB- Analog (Terminales de Borneras Análogas)	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción. Número de pares utilizados. Sale al PLC WS-FWKO-A
<b>PT 355</b> <b>Cable: C-5586. 2 Pares #16 AWG. 1 Par Utilizado. Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 10. Color de cable Negro. Par 1 Número de Bornera 11. Color de cable Blanco. Par 1 Número de Bornera 12. Conexión a Tierra.	C-5594. Tipo PLTC de 4 pares y calibre #16. Par utilizado #1. Cables Negro y Blanco.
<b>PT 356</b> <b>Cable: C-5589. 2 Pares #16 AWG. 1 Par Utilizado. Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 13. Color de cable Negro. Par 1 Número de Bornera 14. Color de cable Blanco. Par 1 Número de Bornera 15. Conexión a Tierra.	Par utilizado #2. Cables Negro y Blanco.

Continúa →

<b>FIT 355</b>		Número de Bornera 16.	
<b>Cable: 5587.</b>	<b>C-</b>	Color de cable Negro. Par 1	
<b>2 Pares #16 AWG.</b>	<b>#16</b>	Número de Bornera 17. Color de cable Blanco. Par 1	Par utilizado #3. Cables Negro y Blanco.
<b>1 Utilizado.</b>	<b>Par</b>	Número de Bornera 18.	
<b>Cables Negro y Blanco.</b>		Conexión a Tierra.	

**Tabla. 85 Conexión interna del tablero de conexiones desde los distintos dispositivos hacia el slot de entradas análogas del PLC FWKO B.**

Desde el dispositivo	Hacia Analog (Terminales Borneras Análogas)	TB- Descripción.	Nombre, Tipo de cable y/o Descripción. Número de pares utilizados. Sale al PLC WS-FWKO-B
<b>TT 355</b>	Número de Bornera 1.		
<b>Cable: 5586.</b>	<b>C-</b>	Color de cable Negro. Par 1	C-5592.
<b>2 Pares #16 AWG.</b>	<b>#16</b>	Par 1	Tipo PLTC de 4 pares y calibre #16.
<b>1 Utilizado.</b>	<b>Par</b>	Número de Bornera 2. Color de cable Blanco. Par 1	Par utilizado #1. Cables Negro y Blanco.
<b>Cables Negro y Blanco.</b>	<b>y</b>	Número de Bornera 3. Conexión a Tierra.	

Continúa →

<b>TT 356</b> <b>Cable: C-</b> <b>5589. 2 Pares</b> <b>#16 AWG.</b> <b>1 Par</b> <b>Utilizado.</b> <b>Cables</b> <b>Negro</b> <b>Blanco.</b>		Número de Bornera 4. Color de cable Negro. Par 1	<b>Par utilizado #2. Cables Negro y Blanco.</b>
		Número de Bornera 5. Color de cable Blanco. Par 1	
	<b>y</b>	Número de Bornera 6. Conexión a Tierra.	
<b>PDT 355</b> <b>Cable: C-</b> <b>5587. 2 Pares</b> <b>#16 AWG.</b> <b>1 Par</b> <b>Utilizado.</b> <b>Cables</b> <b>Negro</b> <b>Blanco.</b>		Número de Bornera 7. Color de cable Negro. Par 1	<b>Par utilizado #3. Cables Negro y Blanco.</b>
		Número de Bornera 8. Color de cable Blanco. Par 1	
	<b>y</b>	Número de Bornera 9. Conexión a Tierra.	

En la Junction Box WS16-EX1-JB2 se enlazarán las conexiones desde cada uno de los dispositivos hacia los PLC FWKO A y FWKO B, servirá para organizar mejor la distribución de cables, garantizará un mejor seguimiento de las conexiones y permitirá tanto un mantenimiento como una mejor comunicación, ya que el tramo que recorren los cables disminuye. (Ver Tabla. 87, Tabla. 88 y Tabla. 89)

**Tabla. 86 Conexión interna del tablero de conexiones desde los distintos dispositivos hacia el slot de entradas digitales del PLC FWKO B.**

Desde el dispositivo	Hacia (Terminales Digitales)	TB- de Borneras	Digital	Nombre, Descripción.	Tipo de cable y/o Número de pares utilizados. Sale al PLC WS-FWKO-B
<b>VSH 355 A</b> <b>Cable: C-5582.</b> <b>2 Pares #16 AWG.</b> <b>1 Par Utilizado.</b> <b>Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 1. Color de cable Negro. Par 1		1.		C-5593.
	Número de Bornera 1 Color de cable Blanco. Par 1		2.		Tipo PLTC de 8 pares y calibre #16. Par utilizado #1. Cables Negro y Blanco.
	Número de Bornera 3. Conexión a Tierra.		3.		
<b>VSH 353 B</b> <b>Cable: C-5583.</b> <b>2 Pares #16 AWG.</b> <b>1 Par Utilizado.</b> <b>Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 4. Color de cable Negro. Par 1		4.		
	Número de Bornera 5. Color de cable Blanco. Par 1		5.		Par utilizado #2. Cables Negro y Blanco.
	Número de Bornera 6. Conexión a Tierra.		6.		
<b>HOA Motor 1</b> <b>Cable: C-5580.</b> <b>4/C #14 AWG</b> <b>Par Utilizado.</b> <b>Cables Negro y Blanco.</b>	Número de Bornera 7. Color de cable Negro. Par 1		7.		
	Número de Bornera 8. Color de cable Rojo. Par 1		8.		Par utilizado #3. Cables Negro y Rojo.
	Número de Bornera 9. Conexión a Tierra.		9.		
	Número de Bornera 10. Color de cable Blanco. Par 1		10.		Par utilizado #4. Cable Negro.

**Continúa →**

<b>HOA Motor 2</b> <b>Cable: C-</b> <b>5581.</b> <b>4/C #14 AWG</b> <b>Par Utilizado.</b> <b>Cables Negro</b> <b>y Blanco.</b>	Número de	
	Bornera 11. Color	
	de cable Negro.	
	Par 1	Par utilizado #5. Cables Negro y
	Número de	Rojo.
	Bornera 12. Color	
	de cable Rojo. Par	
	1	
	Número de	
	Bornera 13.	
	Conexión a Tierra.	
	Número de	
	Bornera 14. Color	Par utilizado #6. Cable Negro.
	de cable Blanco.	
	Par 1	

#### 4.1.5 Hot Tapping (Corte en Caliente).

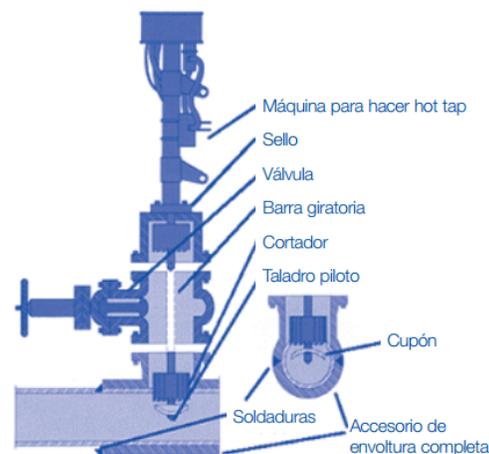
Este procedimiento se enfoca en la interconexión de una tubería adicional sin interrumpir el proceso y flujo normal de crudo, gas, agua u otro fluido y depende de la presión del sistema, para altas presiones se utilizan válvulas con tapones adicionales para evitar la fuga del producto, en bajas presiones el tramo de tubería que se saca de servicio será mucho menor y se podrá prescindir de estas válvulas con tapones adicionales.

Está técnica es una alternativa que permite la conexión de una tubería, por medio de cortes laterales, permitiendo además nuevas derivaciones, la inserción de dispositivos en la corriente de flujo o el mantenimiento de un tramo de la línea (tubería). Recalcando el hecho, de perder el mínimo de fluido que sea transportado por la tubería a la que se le realizaría el Hot Tapping.

El equipo para realizar este procedimiento cuenta básicamente con:

- Una máquina para taladrar. La máquina para taladrar generalmente consiste en una barra giratoria accionada mecánicamente. Esta barra controla una herramienta de cortado que permite la perforación inicial y sirve como guía para poder centrar una sierra que perfora la pared de la tubería (“cupón” o también llamada sección curva de la tubería).
- Accesorio. Con accesorio se refiere al elemento que servirá para realizar la derivación, sea éste una “T”, tubería o cualquier otro equivalente. Lo cual, permite desviar el fluido de manera que no se interrumpa la corriente de flujo del mismo.
- Válvula. La válvula de la conexión para un hottapping puede ser una válvula de bloqueo o una válvula de control, la misma que debe permitir que se pueda retirar la sección de la pared de la tubería

cortada, y debe ser capaz de soportar la presión del proceso. Las válvulas de globo o compuerta son las más recomendadas para estos procesos. La Figura. 65, muestra el equipo con el que se desarrolla el procedimiento.



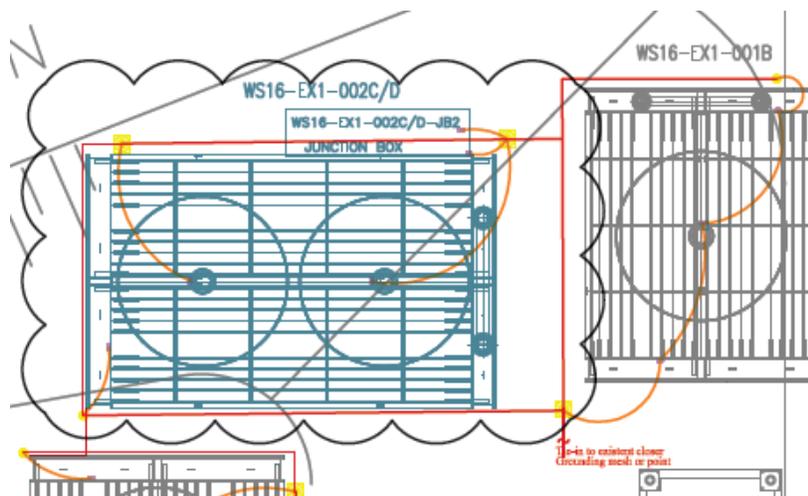
**Figura. 65 Equipo para realizar el “Hot Tapping”. Fuente:**  
[http://www.epa.gov/gasstar/documents/spanish/II\\_hot\\_taps\(sp\).pdf](http://www.epa.gov/gasstar/documents/spanish/II_hot_taps(sp).pdf)

Para el proyecto, es necesario aplicar este proceso pero aparte de realizar un “Hot Tapping” en la tubería de Ø10 in (10 pulgadas de diámetro), por donde circula el flujo proveniente de los Aero enfriadores A, B, C de primera etapa. También se planteaba la opción de un “Hot Tapping” adicional en el tanque Skimmer, al cual, se dirigirá el agua para su almacenamiento y posterior inyección.

El proceso inicialmente debía contener dos “Hot Tapping”, pero analizando el espacio y los ingresos al tanque se observó que existe una

arreglo de válvulas que permite la entrada y la conexión de la línea sin necesidad de realizar un Hot tapping adicional, solo se aplica un **“Hot Tapping”** y por medio de **válvulas globo** se evita la pérdida de material y se logra un manejo óptimo del agua transportada.

#### 4.1.6 Puesta a Tierra

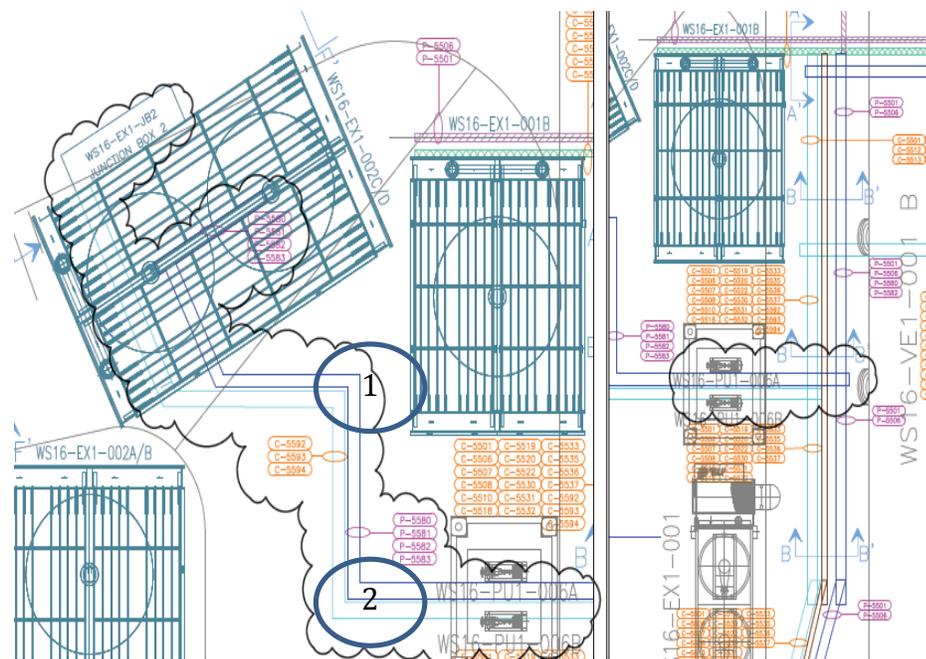


**Figura. 66 Malla de Puesta a Tierra para el Aero Enfriador WS16-EX1-002 C/D.**

Existen dos tipos de malla dentro de este sistema: La malla de potencia rodea el entorno del Aero Enfriador WS16- EX1- 002 C/D están entrelazadas sus cuatro esquinas por medio de cable sólido de calibre # 4/0. La resistividad de esta conexión debe ser menor a  $5 \Omega$  [ohmios]. Cada esquina cuenta con una varilla incrustada en tierra del tipo Copperweld. La malla de control se conecta a los instrumentos, transmisores y switches junto con la caja de conexiones

(junction box), por medio de cable sólido de calibre # 2/0, todos se dirigen a uno de los extremos de la malla de potencia, juntas se enlazan a la malla actual perteneciente al Aero Enfriador WS16-EX1-002 A/B.

#### 4.1.7 Cable & Tray Route (Ruta de Cableado)



**Figura. 67 Ruta de Cableado desde el Aero Enfriador hacia los distintos PLCs**

La ruta 1 corresponde a las conexiones de instrumentación, comienza desde la caja de conexiones WS16-EX1-JB2 junction box (tablero de conexiones 2), ubicado junto al Aero Enfriador dirigiéndose y conectándose hacia las bandejas actuales que se dirigen hacia los distintos PLCs y se juntan con cables de todo tipo de equipos. La ruta 2 corresponde a las conexiones de

potencia y control, de la misma forma que la bandeja de instrumentación está se dirige a una bandeja uniéndose a cables de todo tipo de equipos. Las bandejas tienen un ancho de 6 ft (15,24 cm). El largo del trayecto corresponde a una distancia aproximada de 1000 ft (305 m). Las rutas se encuentran contiguas, van juntas a lo largo de las bandejas están separadas por una distancia que no se especifica, es mínima y no necesita detalles, pero debería ser no mayor a 75 cm.

#### **4.1.8 Consideraciones adicionales del proceso.**

- Es necesario direccionar o reubicar una bandeja de conexiones para que no interfiera con el paso de la tubería de descarga, que es la salida del aero enfriador, línea de Ø10" (10 pulgadas de diámetro) que se dirige a los tanques skimmer.
- La parte interna de la tubería de Ø10" (10 pulgadas de diámetro), de la salida del aero enfriador se ensucia debido a la cantidad de ppm (partes por millón) de crudo que se encuentran en el agua que sale de los aero enfriadores de primera etapa correspondientes a los FWKO A, B y C. Por lo que es necesario limpiarlos cada 14 días aproximadamente, debido a que el desempeño del sistema se ve afectado, pasa de enfriar 22 °F aproximadamente a menos de 10 °F.

- Se incluye una línea de tubería para poder recircular JP1 (tipo de combustible), que sirve para limpiar la tubería. Antes, la limpieza de la tubería se la realizaba manualmente, pero luego de observar que esto no era conveniente debido al tiempo y el desgaste innecesario de recursos se incluyó la limpieza con este combustible haciéndolo recircular de manera que limpie las paredes de la tubería.
- Cada vez que se incluye un indicador o un diferencial de presión se incluye una tubería, en este caso de media pulgada de tubing, tubo galvanizado delgado resistente a presiones altas, él mismo, se conecta a manifolds de 5 vías y 3 estados, con una entrada en alto, una en bajo y una para drenaje o purga, cuando se conecta a la línea existe un remanente de presión, aire o gas, que da una lectura errónea, es necesario, purgar, drenar, eliminar esta presión, esto se hace al cerrar una de las líneas y dejar que el flujo se dirija por la línea de purga que la expulsa al aire libre.
- Para tableros o cajas de conexión se utilizan para la conexión TMC, que son protecciones adicionales en los cables cuando se llega al tablero o caja, el momento que exista un accidente en la línea, la explosión o daño se reduce al instrumento (transmisor de presión, temperatura, flujo, etc) y no sigue la línea o el cable, evita que se

propague y se de una reacción en cadena, asegurando y reduciendo la posibilidad de explosión.

- En la unión hacia las bandejas, las nuevas a incluirse irán en un doble piso, se colocarán en la unión por encima de las bandejas actuales por medio de un soporte metálico, luego se adicionaran a las actuales siguiendo la ruta normal.
- La mayoría de los equipos e instrumentos utilizan tanto para su entrada como para su salida, NPT de  $\frac{1}{4}$  y  $\frac{1}{2}$  de pulgada, NPT es una medida estándar americana para referirse a una rosca cónica para tubería. (NPT = National Pipes Thread). Por ende TMC y NPT deben tener la misma medida.
- La soldadura de las varillas y conexiones de la malla de tierra se realizan con soldadura exotérmica, que es un método para hacer conexiones eléctricas de cobre a cobre o de cobre con acero sin requerir ninguna fuente exterior de calor o de energía. Se realiza este tipo de soldadura según lo recomendado por las regulaciones de la IEEE, que describe que todos los sistemas de conexiones de tierra deberán hacerse con soldadura exotérmica.

4.2 CARTA CAUSA & EFECTO.

USD CAUSE AND EFFECT		EFFECT DEVICE AND DESCRIPTION																												
SERVICE	DEVICE ID	CONTROL DEVICE	SYSTEM DESCRIPTION	SHUTDOWN PANEL SYSTEM	PROCESS CONTROL SYSTEM	ANALOG INPUT	DIGITAL INPUT	ALARM AND HMI TERMINAL FUNCTION	ALARM AND ANNUNCIATE	DISPLAY	LOG TO PRINTER	ANALOG CONTROL	DIGITAL CONTROL	TREND TO HISTORICAL DATA BASE	PROCESS CONTROL LOGIC	AIR COOLERS WS16-EX1-001A STOP	AIR COOLERS WS16-EX1-001A START	AIR COOLERS WS16-EX1-001B STOP	AIR COOLERS WS16-EX1-001B START	AIR COOLERS WS16-EX1-001C STOP	AIR COOLERS WS16-EX1-001C START	AIR COOLERS WS16-EX1-002A STOP	AIR COOLERS WS16-EX1-002A START	AIR COOLERS WS16-EX1-002B STOP	AIR COOLERS WS16-EX1-002B START	AIR COOLERS WS16-EX1-002C STOP	AIR COOLERS WS16-EX1-002C START	AIR COOLERS WS16-EX1-002D STOP	AIR COOLERS WS16-EX1-002D START	
Notes:																														
AIR COOLER SYSTEM PERMISSIVES																														
WATER SURGE TANK B LOW LEVEL	LSLL591	USD 005			X	X		X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	USD-SWP-F
ESD	ESD	ESD			X	X		X	X	X	X				X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	ESD
AIR COOLERS WS16-EX1-002C/D PERMISSIVES																														NOTAS
TEMPERATURE TRANSMITTER OF WATER PRODUCTION LINE FROM FWKO'S HEATER. AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS16-TT-355	WS16_TT_355_HIHI			X	X		L	X	X	X		X												X	X				1
TEMPERATURE TRANSMITTER OF WATER PRODUCTION TANK'S LINE 10". AIR COOLERS WS16-EX1-002C/D	WS16-TT-356	WS16_TT_356_HIHI			X	X		L	X	X	X		X												X	X				1
DIFFERENTIAL PRESSURE TEMPERATURE TRANSMITTER BETWEEN ENTRANCE & OUTSET AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS16-PDT-353	WS16_PDT_353_HIHI			X	X		L	X	X	X														X	X				
DIFFERENTIAL PRESSURE TEMPERATURE TRANSMITTER BETWEEN ENTRANCE & OUTSET AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS16-PDT-353	WS16_PDT_353_HI			X	X		L	X	X	X																			
VIBRATION SWITCH HIGH, LOCATED IN AIR COOLER WS16-EX1-002C MOTOR	WS16-VSH-353C	WS16_VSH_353C			X	X	X	X	X	X	X		X												X	X				2

Figura. 68 Primera parte de la Carta Causa- Efecto.



En la carta causa- efecto se detallan aspectos como (Ver Figura. 68 y Figura. 69):

- Entradas Análogas
- Entradas Digitales
- Alarmas
- Trend to historical database (Gráfico de tendencias históricas en base de datos)
- Control Digital
- Control Análogo
- Valores que necesiten algoritmos dentro de la lógica de programación.
- Señales de status del sistema
- Señales de medición para temperatura y presión.

Se describe todos los aspectos necesarios para realizar la lógica de programación, indicando el funcionamiento del sistema, y el efecto que produce el cambio de alguno de los elementos, muchos de los cuales apagan los aero enfriadores, teniendo claro que se trabaja con una lógica de seguridad, cada instrucción debe tener su redundancia específica para poder realizar bypass, ingresar a otro proceso, o dejar fuera de servicio para mantenimiento.

### 4.3 SEÑALES Y TAGS.

Item	EQUIPMENT	FILE TAG	SOFTWARE TAG	SERVICE	PLC	I/O	RACK	SLOT	CHANNEL	ADDRESS	RANGE	LO	LOLO	HI	HIHI
1	WS16-EX1-002C/D	WS16-PT-355	WS16_PT_355	PRESSURE TRANSMITTER IN THE SUCTION OF AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS FWKO A	AI	0	9	3	19:03	0-150	.....	.....	80	100
2	WS16-EX1-002C/D	WS16-PT-356	WS16_PT_356	PRESSURE TRANSMITTER IN DISCHARGE OF AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS FWKO A	AI	0	9	4	19:04	0-150	.....	.....	70	85
3	WS16-EX1-002C/D	WS16-FIT-353	WS16_FIT_353	TRANSMITTER INDICATOR OF FLOW IN THE SUCTION OF AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS FWKO A	AI	0	9	5	19:05	0-1200	.....	.....	.....	.....
4	WS-EX1-002C/D	WS16-TT-355	WS16_TT_355	TEMPERATURE TRANSMITTER IN THE SUCTION OF AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS FWKO B	AI	0	9	3	19:03	0-300	.....	.....	300	300
5	WS16-EX1-001C/D	WS16-TT-356	WS16_TT_356	TEMPERATURE TRANSMITTER IN DISCHARGE OF AIR COOLER WS16-EX1-002C/D	WS FWKO B	AI	0	9	4	19:04	0-300	.....	.....	300	300
6	WS16-EX1-002C/D	WS16-PDT-353	WS16_PDT_353	PREASSURE DIFERENCIAL TRANSMITTER BETWEEN THE SUCTION AND DISCHARGE OF WS-EX1-002C/D	WS FWKO B	AI	0	9	5	19:05	0-45	.....	.....	32	35
7	WS16-EX1-002C	WS16-VSH-353A	WS16_VSH_353A	VIBRATION SWITCH HIGH, LOCATED IN AIR COOLER, MOTOR WS16-EX1-002C	WS FWKO B	DI	0	8	4	18:04	.....	.....	.....	.....	.....
8	WS16-EX1-002D	WS16-VSH-353B	WS16_VSH_353B	VIBRATION SWITCH HIGH, LOCATED IN AIR COOLER, MOTOR WS16-EX1-002D	WS FWKO B	DI	0	8	5	18:05	.....	.....	.....	.....	.....

**Figura. 70 Primera parte de las Señales y Tags del Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D.**

9	WS16-EX1-002C	WS16-HOA-002C-AUTO	WS16_HOA_002C_AUTO	SELECTOR HAND-OFF-AUTO, AUTO SIGNAL, ELECTRICAL MOTOR, AIR COOLER WS16-EX1-002C	WSFWK0 B	DI	0	8	6	18:06	.....	.....	.....	.....	.....
10	WS16-EX1-002C	WS16-HOA-002C-HAND	WS_HOA_002C_HAND	SELECTOR HAND-OFF-AUTO, HAND SIGNAL, ELECTRICAL MOTOR, AIR COOLER WS16-EX1-002C.	WSFWK0 B	DI	0	8	7	18:07	.....	.....	.....	.....	.....
11	WS16-EX1-002D	WS16-HOA-002D-AUTO	WS16_HOA_002D_AUTO	SELECTOR HAND-OFF-AUTO, AUTO SIGNAL, ELECTRICAL MOTOR, AIR COOLER WS16-EX1-002D	WSFWK0 B	DI	0	8	8	18:08	.....	.....	.....	.....	.....
12	WS16-EX1-002D	WS16-HOA-002C-HAND	WS16_HOA_002D_HAND	SELECTOR HAND-OFF-AUTO, HAND SIGNAL, ELECTRICAL MOTOR, AIR COOLER WS16-EX1-002D	WSFWK0 B	DI	0	8	9	18:09	.....	.....	.....	.....	.....
13	WS16-EX1-002C/D	WS16-EX1-002C-PS	WS16_EX1_002C_PS	PERMISSIVE SIGNAL, STARTER MCC-002-2M, AIR COOLER WS16-EX1-002C	WS3G-D CONTROLINET MCC	DO	0	6	3	06:03	.....	.....	.....	.....	.....
14	WS16-EX1-002C/D	WS16-EX1-002D-PS	WS_EX1_002D_PS	PERMISSIVE SIGNAL, STARTER MCC-002-3M, AIR COOLER WS16-EX1-002D	WS3G-D CONTROLINET MCC	DO	0	6	4	06:04	.....	.....	.....	.....	.....
15	WS16-EX1-002C/D	WS16-EX1-002C-RS	WS16_EX1_002C_RS	RUNNING STATUS, STARTER MCC-002-2M, AIR COOLER WS16-EX1-002C	WS3G-D CONTROLINET MCC	DI	0	1	3	11:03	.....	.....	.....	.....	.....
16	WS16-EX1-002C/D	WS16-EX1-002D-RS	WS16_EX1_002D_RS	RUNNING STATUS, STARTER MCC-002-3M, AIR COOLER WS16-EX1-002D	WS3G-D CONTROLINET MCC	DI	0	1	4	11:04	.....	.....	.....	.....	.....

**Figura. 71 Segunda parte de las Señales y Tags del Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D.**

Logic Operation (L) denota que esas variables no se las utiliza directamente y para las cuales se debe realizar algún algoritmo que permita utilizarlas en el programa, estas variables son entradas análogas que ingresan como unidades crudas, rangos de 0 a 32767, pero que deben transformarse a unidades de ingeniería, se establece un spam específico y se utiliza los valores detallados en el cuadro de PLC's Signals & Assignment (Señales y su asignación al PLC) (Ver Figura. 70 y Figura. 71). Las señales digitales poseen dos estados, 1 o 0, encendido o apagado, corriendo o parado, entre otras dependiendo las especificaciones.

Los "File Tags" serán los nombres ah utilizarse dentro de la lógica de programación del software RS Logix 5000 y los "Software Tags" serán los ah utilizar en la programación correspondiente al HMI del proceso desarrollados en el software Intouch. Se observa en la Figura. 70 y en la Figura. 71 la dirección, el canal, el slot y el nombre del PLC con el que se realiza la conexión, si es entrada o salida, si es digital o análoga y se describe un rango para el valor de señales análogas y sus alarmas, que resultan ser, Hi (Alarma en Alto) y HiHi (Alarma de Alto- Alto), el proceso solo considera este tipo de alarmas, debido a que no se trabaja con bombas, tanques o elementos a dañarse por valores mínimos de presión, temperatura o nivel. Si la temperatura baja significaría una mejora del proceso, un cambio brusco alertaría un daño dentro del sensor o transmisor, el valor bajo de presión representaría el mismo problema.

El FIT 355 es netamente un indicador de flujo para determinar la cantidad de barriles de agua que se enfrían, no interviene en el proceso y solo representa un valor, por ende, no tiene alarmas ni en bajo ni en alto, pero sí posee un rango de valores.

## **CAPÍTULO V**

### **5 SIMULACIONES Y RESULTADOS**

Las simulaciones buscan corroborar una parte del proyecto total. La simulación del proceso no es el objetivo final del proyecto pero sirve para observar la ingeniería conceptual, básica y de detalle funcionando en conjunto a través de la HMI implementada en Wonderwave Intouch.

Las distintas pantallas, en lo posible, buscan no causar confusión a los operadores de la plataforma Villano A o CPF, es por esto, que se diseñan pantallas en base a las ya establecidas para el sistema de enfriamiento de Agua en Formación. Se implementa a estas pantallas el nuevo Aero Enfriador y sus distintos elementos.

Básicamente, para este proceso, se evalúa al sistema por las respuestas ante un determinado problema repetitivo (un cambio de variables). El cambio de variables para simular una determinada acción, es en sí, un trabajo con una cantidad indefinida de resultados, debido a la cantidad de variaciones que podrían darse si no se enfoca bien el objetivo de la simulación.

Por tanto, el enfoque estará fundamentado en los problemas comunes que se han presentado en base al historial del Aero Enfriador WS16-EX1-002A/B que es la única referencia utilizable debido a su parecido en cuanto al funcionamiento bajo las mismas condiciones de uso.

En conclusión, ésta es: una simulación basada en un cambio de variables para poder observar su respuesta a determinados valores, con la finalidad de obtener el resultado que mejor se acople a los requerimientos del sistema antes de la implementación de este nuevo Aero Enfriador. Esta finalidad está basada en la operabilidad y funcionalidad, que no es más que algo práctico y utilitario para entender el proceso y como debería ser operado.

### **5.1 ADQUISICIÓN DE DATOS.**

Los valores son tomados basados en el historial del Aero Enfriador 2A/2B correspondiente al mes de Febrero del año 2014, en este mes se presentaron el mayor número de eventos que apagaron a este Aero Enfriador.

Tomando un dato estadístico de cada día del mes y realizando un promedio se obtienen los valores de temperatura de la Tabla. 87. Igualmente se obtienen los valores de presión de la Tabla. 88 y las activaciones de los switch de vibración y fallas en la alimentación eléctrica se observan en las Tabla. 89 y 90

respectivamente. Los resultados de encendido o apagado del Aero Enfriador depende de la variable evaluada en cada uno de las tablas.

**Tabla. 87 Datos de temperatura correspondientes al Aero Enfriador WS16-EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014.**

Hora	Temperatura de Entrada	Temperatura de Salida	Activación de alarma	Mensaje en Pantalla de Alarmas	WS16_EX1_002CA Encendido	WS16_EX1_002A Apagado	WS16_EX1_002B Encendido	WS16_EX1_002B Apagado
<b>7:00</b>	199,9	189,1			x		x	
<b>11:00</b>	201,4	191,9			x		x	
<b>15:00</b>	202,2	193,1			x		x	
<b>19:00</b>	200,3	189,7			x		x	
<b>23:00</b>	200	189,6			x		x	
<b>3:00</b>	199,3	188,3			x		x	
<b>Prome dio:</b>	200,5 1	190,2 8						
	$\Delta=$	10,23						

El símbolo “x” muestra el cambio de estado de la variable o la presencia de dicha activación (Para todas las tablas de este tópico). Los valores subrayados representan el apagado del Aero Enfriador y por ende, son los datos más importantes a considerar en la simulación.

**Tabla. 88 Datos de presión correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014.**

Hora	Presión de Entrada	Presión de Salida	Presión diferencial	Activación de alarma	Mensaje en Pantalla de Alarmas	WS16_EX1_002A Encendido	WS16_EX1_002A Apagado	WS16_EX1_002B Encendido	WS16_EX1_002B Apagado
7:00	85,7	75,3	10,4			x		x	
11:00	90,9	78,8	12,1			x		x	
15:00	90,2	78,5	11,7			x		x	
19:00	88,5	76,9	11,6			x		x	
23:00	87,7	76,3	11,4			x		x	
3:00	86,5	75,8	10,7			x		x	
Promedio:	88,25	76,93	11,32						

**Tabla. 89 Datos de activación de switches de vibración correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014.**

Hora	Switch de vibración Air Cooler 2C	Switch de vibración Air Cooler 2D	Activación de alarma	Mensaje en Pantalla de Alarmas	WS16_EX1_002A Encendido	WS16_EX1_002A Apagado	WS16_EX1_002B Encendido	WS16_EX1_002B Apagado
7:00					x		x	
11:00	x		x	x			x	
15:00					x*		x	
19:00					x		x	
23:00		x	x	x	x		x	
3:00					x		x*	

\*El Aero Enfriador 2A se enciende a las 13:00

\*El Aero Enfriador 2B se enciende a la 1:30

**Tabla. 90 Datos por fallas de alimentación correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 A/B del mes de Febrero del 2014.**

Hora	Falla de Alimentación Air Cooler 2C	Falla de Alimentación Air Cooler 2D	Activación de alarma	Mensaje en Pantalla de Alarmas	WS16_EX1_002A Encendido	WS16_EX1_002A Apagado	WS16_EX1_002B Encendido	WS16_EX1_002B Apagado
7:00					x		x	
11:00					x		x	
15:00					x		x	
19:00	x		x	x	x*		x	
23:00					x		x	
3:00					x		x	

\*El Aero Enfriador 2A se enciende a las 20:00

## 5.2 CAMBIO DE VARIABLES CRÍTICAS Y RESULTADOS DE LAS SIMULACIONES.

Una variable crítica es aquella que causa el descontrol del sistema y se manifiesta directamente en el apagado del Aero Enfriador.

Por ende, el cambio de variables será solo de las Alarmas de “Alto – Alto (Hi-Hi)” de los elementos: PT 355, PT 356, TT 355 y TT 356. Cambio de estado de desactivado a activado de las variables: VSH 353A y VSH 353B.

Además, un cambio de estado de activado a desactivado de las variables que expresen fallas de alimentación eléctrica, las cuales son: Aero Enfriador 2C



Los datos obtenidos son basados en el estudio térmico e hidráulico explicados en el Capítulo 2 de este proyecto de titulación pero desarrollados en base a algoritmos dentro de los scripts de las pantallas de la HMI. Los valores corresponden a las variables de temperatura y presión para el nuevo Aero Enfriador 2C/2D. (Ver Tablas 92 y 93).

Los valores por fallas de alimentación eléctrica y vibración son los mismos de las Tablas. 89 y 90, éstos últimos valores no se pueden variar ya que parten de un evento fortuito que se da por fallas en los elementos pero que relativamente puede suceder en cualquier momento, por ende, se utilizan los valores del Aero Enfriador actual para llegar a una tabla de resumen (Ver Tabla. 94) que contiene los datos relevantes de esta simulación.

**Tabla. 92. Datos de temperatura correspondientes al Aero Enfriador WS16-EX1-002 C/D.**

Horas del día	Temperatura de Entrada	Temperatura de Salida	Activación de alarma	Mensaje en Pantalla de Alarmas	WS16_EX1_002A Encendido	WS16_EX1_002A Apagado	WS16_EX1_002B Encendido	WS16_EX1_002B Apagado
<b>7:00</b>	199,9	187,8			x		x	
<b>11:00</b>	201,4	189,5			x		x	
<b>15:00</b>	202,2	191,6			x		x	
<b>19:00</b>	200,3	188,3			x		x	
<b>23:00</b>	200	188,7			x		x	
<b>3:00</b>	199,3	187,4			x		x	

Continúa →

<b>Promedio:</b>	200,5	188,9
	$\Delta=$	11,6

**Tabla. 93 Datos de presión correspondientes al Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D.**

Hora	Presión de Entrada	Presión de Salida	Presión diferencial	Activación de alarma	Mensaje en Pantalla de Alarmas	WS16_EX1_002A Encendido	WS16_EX1_002C Apagado	WS16_EX1_002D Encendido	WS16_EX1_002B Apagado
<b>7:00</b>	85,7	74,8	10,9			x		x	
<b>11:00</b>	90,9	77,5	13,4			x		x	
<b>15:00</b>	90,2	77,9	12,3			x		x	
<b>19:00</b>	88,5	75,4	13,1			x		x	
<b>23:00</b>	87,7	75,1	12,6			x		x	
<b>3:00</b>	86,5	75	11,5			x		x	
<b>Promedio:</b>	88,2 5	75,9 5	12,3						

**Tabla. 94 Tabla de resumen de todos los datos obtenidos del Aero Enfriador WS16- EX1-002 C/D.**

Hora	Temperatura de Entrada	Temperatura de Salida	Presión de Entrada	Presión de Salida	Presión diferencial	Switch de vibración Air Cooler 2C	Switch de vibración Air Cooler 2D	Falla de Alimentación Air Cooler 2C	Falla de Alimentación Air Cooler 2D	Activación de alarma	Mensaje en Pantalla de Alarmas	WS16_EX1_002C Encendido	WS16_EX1_002C Apagado	WS16_EX1_002D Encendido	WS16_EX1_002D Apagado
7:00	199,9	187,8	85,7	74,8	10,9							x		x	
11:00	201,4	189,5	90,9	77,5	13,4	x				x	x	x		x	
15:00	202,2	191,6	90,2	77,9	12,3							x		x	
19:00	200,3	188,3	88,5	75,4	13,1			x		x	x	x		x	
23:00	200	188,7	87,7	75,1	12,6	x				x	x	x			x
3:00	199,3	187,4	86,5	75	11,5							x		x	
<b>Promedio:</b>	200,5	188,9	88,2	75,9	12,3										
	$\Delta=$	11,6	5	5											

### 5.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La diferencia entre los porcentajes de variación de temperatura muestran una mejora, la mayor cantidad de porcentaje de error hace que la diferencia entre la temperatura que entra y la que sale sea mayor (Ver Tabla. 95), llegando a un aproximado de 12%, que para este caso resulta mejor, éstos valores son los esperados y son observados a detalle dentro del estudio térmico e hidráulico que señalaba una mejora substancial en la reducción de temperatura.

Hora	Temperatura de Entrada 2 A/B Y 2 C/D	Temperatura de Salida 2A/B	Temperatura de Salida 2 C/D	Porcentaje de Error de la Temperatura de Salida
<b>7:00</b>	199,9	189,1	187,8	0,69
<b>11:00</b>	201,4	191,9	189,7	1,25
<b>15:00</b>	202,2	193,1	191,6	0,78
<b>19:00</b>	200,3	189,7	188,3	0,74
<b>23:00</b>	200	189,6	188,7	0,47
<b>3:00</b>	199,3	188,3	187,4	0,48
<b>Promedio:</b>	200,52	190,28	188,88	0,74
	$\Delta=$	10,23	11,63	<b>12,03</b>

**Tabla. 95 Porcentajes de error de la temperatura de salida entre el Aero Enfriador WS16-EX1-002 A/B y WS16-EX1-002 C/D.**

Mientras que la diferencia entre la presión de entrada y de salida muestra un porcentaje de error menor (Ver Tabla. 96). Siendo apenas 0,3 % el porcentaje de error de la presión de salida y 2,02 % el porcentaje de error del diferencial de presión se comprueba lo propuesto en el estudio térmico e hidráulico que expresó que la presión de vapor de agua para el nuevo Aero Enfriador no cambiaría de manera drástica sino tan solo en una mínima variación.

Los resultados obtenidos fundamentan y demuestran la relación entre la ingeniería conceptual que es la base inicial del proyecto y la ingeniería de

detalle que es su etapa final, demostrado en la simulación por medio del funcionamiento de la HMI y los resultados obtenidos de dicha simulación.

Hora	Presión de Entrada 2 A/B Y 2 C/D	Presión de Salida 2 A/B	Presión diferencial 2 A/B	Presión de Salida 2 C/D	Presión diferencial 2 C/D	Porcentaje de Error de la Presión de Salida	Porcentaje de Error de la Presión diferencial.
<b>7:00</b>	85,7	75,3	10,4	75,1	10,6	0,27	1,89
<b>11:00</b>	90,9	78,8	12,1	78,5	12,4	0,38	2,42
<b>15:00</b>	90,2	78,5	11,7	78,3	11,9	0,25	1,68
<b>19:00</b>	88,5	76,9	11,6	76,6	11,9	0,39	2,52
<b>23:00</b>	87,7	76,3	11,4	76	11,7	0,39	2,56
<b>3:00</b>	86,5	75,8	10,7	75,7	10,8	0,13	0,93
<b>Prom edio:</b>	88,25	76,9 3	11,32	76,7	11,55	<b>0,30</b>	<b>2,02</b>

**Tabla. 96 Porcentajes de error de la presión de salida y la presión diferencial entre el Aero Enfriador WS16-EX1-002 A/B y WS16-EX1-002 C/D.**

Por otro lado, se observa la respuesta dada por el Aero Enfriador frente a fallas de alimentación y vibración. Tanto la Tabla 92 como la Tabla. 93 expresan los mismos cambios de variables, éstas son variables discretas (Vibración y alimentación eléctrica) que al cambiar de estado apagan al Aero Enfriador directamente

## CAPÍTULO VI

### 6 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 6.1 CONCLUSIONES

- El concepto de optimización enfocada a la mejora de procesos de producción y la base metodológica (Seis Sigma) del proyecto permiten enfocar el desarrollo de la ingeniería de manera que se sigan los objetivos planteados y no se cometan errores por un mal direccionamiento en el desarrollo del proyecto, que es muy casual, en la realización de cualquier trabajo de ingeniería.
- La mejor opción a implementarse parte de una arreglo de matrices que evalúan la viabilidad, consistencia y desarrollo del proyecto, siendo la mejor opción la que obtiene la calificación de 75/80 dentro de las opciones térmicas y 70/80 dentro de las opciones hidráulicas. La opción escogida es: implementar un Aero enfriador general en la segunda etapa, en lo posible similar al ya instalado, en paralelo a este último y con un “Hot Tap” para evitar que el sistema de enfriamiento paralice su operación.
- Toda la ingeniería de detalle realizada, es la necesaria para que cualquier empresa que implemente el equipo pueda hacerlo sin ningún inconveniente,

se basa en los componentes eléctricos necesarios, las conexiones, la programación y contiene todos los cálculos respectivos, así como una revisión completa de la ingeniería básica y además se toma consideraciones adicionales para su implementación.

- El desarrollo de las pantallas de la HMI buscan no causar confusión en los operadores del sistema y su programación intenta optimizar las líneas de código, para obtener respuestas más rápidas y confiables dentro del manejo del sistema.
- Las simulaciones y sus resultados corroboran aspectos de operacionalidad y funcionalidad del sistema a través de la HMI, dando como resultado aproximaciones cercanas a los valores esperados en cuanto a: temperatura, presión, encendido, apagado, alarmas de alto-alto, fallas de alimentación y problemas de vibración que son aspectos importantes para el manejo del sistema y que se comparan en base al historial presentado por el Aero Enfriador WS16-EX1-002A/B que es la única fuente de comparación confiable por su parecido en cuanto a funcionamiento dentro del sistema de enfriamiento de agua en formación.
- La diferencia entre los porcentajes de variación de temperatura en las simulaciones, muestran una mejora. La mayor cantidad de porcentaje de error hace que la diferencia entre la temperatura que entra y la que sale sea

mayor, llegando a un aproximado de 12%, que para este caso resulta ser mejor. Mientras que la diferencia entre la presión de entrada y de salida muestra un porcentaje de error mínimo, siendo apenas 0,3 % el porcentaje de error de la presión de salida y 2,02 % el porcentaje de error del diferencial de presión. Se comprueba que estos valores son los esperados y son observados a detalle dentro del estudio térmico e hidráulico que señalaba una mejora substancial en la reducción de la temperatura y que la presión de vapor de agua sufriría un mínimo cambio.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

- El diseño de P&ID's, diagramas esquemáticos de instrumentación, control y de potencia resultan ser la columna vertebral para la implementación del proyecto, estos determinan la cantidad de elementos y su ubicación, indicando además las conexiones a realizarse. Los mismos sólo pueden ser modificados en casos excepcionales debido a que cualquier cambio provocaría una modificación inmediata en los demás elementos del proyecto.
- Se han tomado en cuenta los aspectos necesarios para una implementación óptima pero se debe tener claro que los problemas que se podrían suscitar en la puesta en marcha del Aero Enfriador son cuestiones aleatorias y ajenas a la ingeniería desarrollada, estos problemas se recomienda deben

ser solucionados (de forma preferencial) en base a las características de los elementos y en base a las consideraciones propuestas.

- La parte interna de la tubería de Ø10" (10 pulgadas de diámetro), de la salida del aereo enfriador se ensucia debido a la cantidad de ppm (partes por millón) de crudo que se encuentran en el agua que sale de los aereo enfriadores de primera etapa correspondientes a los FWKO A, B y C. Por lo que se recomienda limpiarlos cada 14 días aproximadamente, debido a que el desempeño del sistema se ve afectado, pasa de enfriar 22 °F aproximadamente a menos de 10 °F.
- Es importante además realizar un mantenimiento periódico; predictivo y preventivo tal y como se lo hace en todos los equipos de la plataforma Villano A, teniendo especial énfasis, en los transmisores de presión y los switch de vibración. Los transmisores de presión pueden variar su medición por problemas de depuración en la tubería o por suciedad dentro de la misma. Y los switch de vibración tienen que ser calibrados periódicamente porque por la misma vibración ejercida tienden a descalibrar los dispositivos y enviar señales erróneas.

## BIBLIOGRAFÍA

Departamento de Producción de Agip Oil Ecuador. (12 de Junio de 2013). Ubicación Geográfica de CPF. Ecuador.

Secretaria de Hidrocarburos. (2013). *Mapa de Bloques petroleros*. Recuperado el 03 de Junio de 2013, de <http://www.hidrocarburos.gob.ec/mapa-de-bloques-petroleros/>

<http://www.blogincytde.energynewsmagazine.com/?p=541>. (s.f.). Recuperado el 24 de Julio de 2013, de <http://www.blogincytde.energynewsmagazine.com/?p=541>.

*Horizontal-three-phase-separator-part-1*. (2006). Recuperado el 12 de Junio de 2013, de <http://www.oilngasseparator.info/oil-handling-surfacefacilities/oil-and-water-separation/horizontal-three-phase-separator-part-1.html>.

Yepes, V. (13 de 10 de 2013). *Mapa conceptual de la metodología Seis Sigma*. Recuperado el 25 de 10 de 2013, de

<http://victoryepes.blogs.upv.es/2013/10/13/seis-sigma-gestion-construccion/>.

Ashcroft. (14 de Marzo de 2013). *Pressure Gauges Differential*. Recuperado el 15 de Agosto de 2013, de Ashcroft.com:

[http://www.ashcroft.com/products/pressure\\_gauges/differential/upload/Ash-IG-1-1127.pdf](http://www.ashcroft.com/products/pressure_gauges/differential/upload/Ash-IG-1-1127.pdf)

Ashcroft. (Febrero de 2013). *Pressure Gauge*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2013, de Ashcroft.com:

[http://www.ashcroft.com/products/pressure\\_gauges/process/upload/AshDU-3-1379-2.pdf](http://www.ashcroft.com/products/pressure_gauges/process/upload/AshDU-3-1379-2.pdf)

Agip Oil Ecuador. (10 de Julio de 2013). Funcionamiento del Aero Enfriador. *Departamento de Producción* . Ecuador.

Agip Oil Ecuador. (28 de Enero de 2013). Datos de producción e Información. *Departamento de Producción* . Ecuador.

Agip Oil Ecuador. (12 de Agosto de 2013). Planos Autocad e Información. *Departamento de Ingeniería* . Ecuador.

Okonite. (2011). *Engineering Data for Cooper and Aluminum Conductor Electrical (Type PLTC Instrumentation Cable)*. Estados Unidos de América.

Okonite. (2011). *Engineering Data for Cooper and Aluminum Conductor Electrical (Voltage, Calculate)*. Estados Unidos de América.

Okonite. (2011). *Power Control and Instrumentation Cables (Okonite- FMR Okoseal (70))*. Estados Unidos de América.

Okonite. (2011). *Power Control and Instrumentation Cables (General Conductor Information)*. Estados Unidos de América.

Endress-Hauser. (13 de Marzo de 2012). *Temperature transmitter for resistance thermometer, Technical Information*. Recuperado el 15 de Octubre de 2013, de Endress-Hauser México:

[https://portal.endress.com/wa001/dla/5000524/7272/000/02/TI00107ren\\_1312.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000524/7272/000/02/TI00107ren_1312.pdf)

Copperweld. (s.f.). *Lightning Prevention Systems*. Recuperado el 25 de Julio de 2013, de Ground Rods: <http://www.lpsnet.com/downloads/catalogs/Grounding-Bonding.pdf>

Endress Hauser. (Agosto de 2013). *Pressure Transmitter*. Recuperado el 14 de Diciembre de 2013, de Endress Hauser Canada:

[https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/7926/000/11/TI00383PEN\\_1813.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/7926/000/11/TI00383PEN_1813.pdf)

Endress Hauser. (12 de Junio de 2013). *Differential Pressure Transmitter*.

Recuperado el 02 de Diciembre de 2013, de Endress Hauser México:

[https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/7176/000/14/TI00382PEN\\_1814.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000557/7176/000/14/TI00382PEN_1814.pdf)

Endress Hauser. (Marzo de 2012). *RTD PT100, TH14, TI110RAE*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2013, de Endress Hauser USA:

[https://portal.endress.com/wa001/dla/5000498/8911/000/00/TI00110ren\\_1312.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000498/8911/000/00/TI00110ren_1312.pdf)

Endress-Hauser. (s.f.). *Proline Prosonic Flow 92F. Ultrasonic Flow Measuring System 2-Wire loop powered inline flowmeter*. Recuperado el 12 de Septiembre de 2013, de Endress-Hauser México:

[https://portal.endress.com/wa001/dla/5000020/3374/000/02/TI00073DEN\\_1310.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000020/3374/000/02/TI00073DEN_1310.pdf)

Ferraz Shawmut. (s.f.). *Fuse ATMR 2 A 600 V*. Recuperado el 21 de Noviembre de 2013, de Ferraz Shawmut Sales:

<http://www.ferrazshawmutsales.com/pdfs/ATMR.pdf>

Murphy. (Septiembre de 2013). *Vibration Switch 96013*. Recuperado el 22 de Octubre de 2013, de FW Murphy:

<http://www.fwmurphy.com/uploaded/documents/pdfs/96013.pdf>

Prosoft. (Febrero de 2007). *Modbus Master/Slave Communication Module MVI56-MCM*. Recuperado el 10 de Diciembre de 2013, de Prosoft Technology:

[http://www.prosoft-technology.com/content/download/764/6784/version/4/file/MVI56\\_MCM\\_Data-sheet.pdf](http://www.prosoft-technology.com/content/download/764/6784/version/4/file/MVI56_MCM_Data-sheet.pdf)

Rockwell Automation. (Octubre de 1999). *Manual de Referencia del Conjunto de Instrucciones, Control Logix 5000*. Recuperado el Octubre de 2013, de Rockwell Automation:

[http://www.rockwellautomation.co.kr/applications/gs/AP/GSKR.nsf/files/1756\\_L1PROGRAMMING.PDF/\\$file/1756\\_L1PROGRAMMING.PDF](http://www.rockwellautomation.co.kr/applications/gs/AP/GSKR.nsf/files/1756_L1PROGRAMMING.PDF/$file/1756_L1PROGRAMMING.PDF)

Rockwell Automation. (Junio de 2011). *User Manual ControlNet Network Configuration*. Recuperado el Diciembre de 2013, de Rockwell Automation, Allen Bradley:

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/cnet-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/cnet-um001_-en-p.pdf)

Rockwell Automation. (Diciembre de 2012). *Redundancia Control Logix*.

Recuperado el 04 de Enero de 2014, de Rockwell Automation, Allen Bradley:

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1756-pp017\\_-es-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/pp/1756-pp017_-es-p.pdf)

Rockwell Automation. (Noviembre de 2012). *1756 Control Logix Specifications, Módulos I/O*. Recuperado el 16 de Noviembre de 2013, de Rockwell Automation, Allen Bradley:

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td002\\_-en-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td002_-en-e.pdf)

Rockwell Automation. (Marzo de 2013). *1756 Power Supplies Specifications*. Recuperado el 28 de Noviembre de 2013, de Rockwell Automation, Allen Bradley:

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td005\\_-en-e.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td005_-en-e.pdf)

Rockwell Automation. (Febrero de 2013). *1756 ControlLogix Communication Modules Specifications*. Recuperado el 28 de Octubre de 2013, de Rockwell Automation, Allen Bradley:

<https://www.elmark.com.pl/uploaded/materialy/rockwell/pdf/1756td.pdf>

Rockwell Automation. (Enero de 2013). *1756 ControlLogix Controllers, Technical Information*. Recuperado el Diciembre de 2013, de Rockwell Automation, Allen Bradley:

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/td/1756-td001_-en-p.pdf)

Rockwell Information. (s.f.). *User Manual EtherNet/IP Network Configuration*. Recuperado el Noviembre de 2013, de Rockwell Information, Allen Bradley:

[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/enet-um001\\_-en-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/enet-um001_-en-p.pdf)

Tyco Electronics. (Septiembre de 2003). *General Purpose Relay KRPA*. Recuperado el 15 de Noviembre de 2013, de Eicom, Tyco Electronics:

[http://ecom.ru/pdf/datasheet/Tyco\\_Electronics\\_P\\_B\\_PDFs/KRP\\_KA\\_KR/KRP\\_KA\\_KR.html](http://ecom.ru/pdf/datasheet/Tyco_Electronics_P_B_PDFs/KRP_KA_KR/KRP_KA_KR.html)

## FECHA DE ENTREGA

El proyecto fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE desde:

Sangolquí: 28 DE ABRIL DE 2014

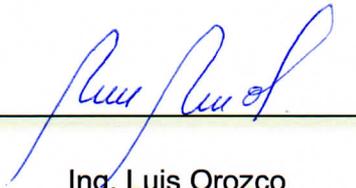
## ELABORADO POR:



Edison Andrés Pogo Macas

CI: 1719208827

## AUTORIDADES:



Ing. Luis Orozco



DIRECTOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,  
AUTOMARIZACIÓN Y CONTROL.