

Diseño y suministro del sistema de potencia y control para unidad recuperadora de vapores (URV) para el campo petrolero Costayaco en el municipio de Villa Garzón,
Putumayo

Andres Julian Figueredo Caicedo

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Facultad Seccional Duitama

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Duitama

2022

Diseño y suministro del sistema de potencia y control para unidad recuperadora de vapores (URV) para el campo petrolero Costayaco en el municipio de Villa Garzón,
Putumayo

Andres Julian Figueredo Caicedo

Trabajo para optar por el título profesional de
Ingeniero Electromecánico

Director:

MSc. Michell Josep Quintero Durán

Ingeniero Eléctrico

Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia

Facultad Seccional Duitama

Escuela de Ingeniería Electromecánica

Duitama

2022

Nota de aceptación:

Firma del Director

Firma del Jurado

Duitama, 11 de diciembre del 2022

CONTENIDO

	Pág.
Lista de tablas	8
Lista de figuras	9
Resumen	12
Agradecimientos.....	13
1. Introducción	14
2. Planteamiento del problema	15
2.1. Antecedentes	15
2.2. Descripción de la planta.....	16
2.3. Descripción geográfica	17
2.4. Descripción del problema.....	18
3. Objetivos.....	19
3.1. Objetivo general	19
3.2. Objetivos específicos	19
4. Marco teórico	20
4.1. Unidad recuperadora de vapores (URV).....	20
4.1.1. Depurador (Scrubber).....	21
4.1.2. Demister	22
4.1.3. Compresor	22
4.1.4. Aero enfriador	22
4.1.5. Motor eléctrico de inducción	23
4.2. Válvula	23
4.2.1. Válvula de control	23
4.3. Instrumentación	24
4.3.1. Transmisor indicador de presión.....	25
4.3.2. Transmisor indicador de temperatura	25
4.3.3. Interruptor de nivel.....	25
4.3.4. Manómetro.....	25
4.3.5. Termómetro	25
4.3.6. Interruptor de vibraciones	25

4.3.7. Transductor.....	25
4.4. Tablero eléctrico de baja tensión	26
4.4.1. Variador de frecuencia.....	27
4.4.2. Arrancador suave	27
4.4.3. Interruptor termomagnético.....	27
4.4.4. Transformadores	27
4.4.5. Relé térmico.....	28
4.4.6. Contactor	28
4.4.7. Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias (DPS).....	28
4.4.8. Acometida.....	28
4.4.9. Medidor de parámetros.....	28
4.4.10. Tierra.....	28
4.4.11. Fase	29
4.4.12. Neutro	29
4.4.13. PLC (Controlador lógico programable).....	29
4.4.14. HMI (Interfaz humano maquina).....	29
4.4.15. Fuente DC.....	29
4.4.16. Switches.....	29
4.5. Normativa Legal.....	30
4.5.1. RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas)	30
4.5.2. Código eléctrico colombiano – NTC 2050	30
4.5.3. NFPA 70 (National Fire Protection Association)	30
4.5.4. IEC 61439 (Comisión electrotécnica internacional)	30
4.5.5. ISA 5.1	30
5. Diseño de la unidad recuperadora de vapores	31
6. Selección de equipos rotativos	32
6.1. Compresor	33
6.2. Aero enfriador	34
6.3. Bomba de drenaje.....	35
6.4. Bomba de refrigeración.....	37
6.5. Motores eléctricos.....	38

6.5.1. Motor del compresor.....	38
6.5.2. Motor del aero enfriador	40
6.5.3. Motor de bomba de drenaje.....	41
6.5.4. Motor de bomba de refrigeración.....	42
7. Selección de equipos de instrumentación y control.....	43
7.1. Transmisor indicador de presión (PIT-101 / PIT-201 / PIT-501)	43
7.2. Transmisor ciego de temperatura (TT-201 / TT-301).....	44
7.3. Termocupla tipo k (TT-201 / TT-301)	45
7.4. Interruptor de nivel (LS-101 / LS-102 / LS-103 / LS-301 / LS-302)	46
7.5. Interruptor de no flujo (NFS -201)	47
7.6. Interruptor de vibraciones (VS-201)	48
7.7. Manómetro (PG-301 / PG-302).....	49
7.8. Termómetro (TG-201 / TG-301).....	49
7.9. Visor de nivel (LG-101 / LG-201 / LG-202 / LG-301)	50
8. Selección de válvulas de control	50
8.1. Válvulas on / off	50
8.2. Válvulas reguladoras	53
9. Diseño cuadro de cargas.....	54
10. Diseño diagrama unifilar del tablero de potencia.....	57
10.1. Totalizador	57
10.2. Barraje	57
10.3. Interruptores y guardamotores.....	58
10.4. Variador de frecuencia y arrancador suave	59
10.5. Contactores y relés térmicos.....	60
10.6. Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias (DPS).....	61
10.7. Fuente AC - DC	62
10.8. Conductores.....	63
11. Diseño de distribución mecánica del tablero de potencia	64
12. Listado de señales del sistema de control	65
12.1. Entradas digitales	66
Salidas digitales	67

12.2. Entradas análogas	68
12.3. Salidas análogas.....	68
13. Arquitectura del sistema de control.....	69
14. Diseño de distribución mecánica del tablero de control.....	72
15. Diagrama de conexiones del tablero de potencia.....	73
16. Diagrama de conexiones del tablero de control.....	76
17. Ruteo eléctrico de la unidad recuperadora de vapor	82
18. Ensamble final	86
Conclusiones	87
Bibliografía	88
Lista de anexos	91

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Cromatografía del gas de proceso	31
Tabla 2. Condiciones iniciales del gas de proceso.....	32
Tabla 3. Fragmento del cuadro de cargas.....	56
Tabla 4. Listado de entradas digitales del PLC	67
Tabla 5. Lista de salidas digitales del PLC.....	68
Tabla 6. Lista de entradas análogas del PLC.....	68
Tabla 7. Lista de salidas análogas del PLC	69
Tabla 8. Capacidad de llenado de la tubería Conduit IMC	84
Tabla 9. Cálculo de llenado de Conduit.....	84

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Exportaciones de Colombia 2021-2022	15
Figura 2. TEA en caso de falla en planta	16
Figura 3. Gun Barrels	17
Figura 4. Localización geográfica municipio de Villagarzón	18
Figura 5. Unidad recuperadora de vapores	20
Figura 6. Diagrama de proceso general de una URV	21
Figura 7. Scrubber	21
Figura 8. Compresor de tornillo	22
Figura 9. Aero enfriador	23
Figura 10. Válvula de control	24
Figura 11. Instrumentación industrial	24
Figura 12. Tablero CCM de baja tensión	26
Figura 13. P&ID de unidad recuperadora de vapores campo Costayaco	32
Figura 14. Selección de compresor RO-FLO	33
Figura 15. Compresor RO-FLO SD8DE	34
Figura 16. Aero enfriador de dos secciones	35
Figura 17. Datos de rendimiento bombas de paletas Blackmer	35
Figura 18. Curvas de las bombas Blackmer	36
Figura 19. Bomba Blackmer LGF1E	36
Figura 20. Curva de selección de bomba Grundfos	37
Figura 21. Bomba Grundfos CR3-3 A-FGJ-A-E-HQQE	38
Figura 22. Motor WEG W21X NEMA Premium de 60 HP	39
Figura 23. Datos de motor WEG W21X NEMA Premium de 60 HP	39
Figura 24. Motor SIEMENS modelo SD 100	40
Figura 25. Datos de motor SIEMENS modelo SD 100 de 7.5 HP	40
Figura 26. Motor WEG W21X NEMA Premium de 1 HP	41
Figura 27. Datos de motor WEG W21X NEMA Premium de 1 HP	41
Figura 28. Motor WEG 56C de 1/2 HP	42
Figura 29. Datos de motor WEG 56C de 1/2 HP	42
Figura 30. Transmisor indicador de presión EJX530A de YOKOGAWA	43
Figura 31. Transmisor indicador de presión ROSEMOUNT modelo 3051	44
Figura 32. Transmisor ciego de temperatura PYROMATION serie 642	45
Figura 33. Termocupla tipo k con cabezal explosion proof maca PYROMATION	46
Figura 34. Interruptor de nivel electrónico LS200 de FW MURPHY	46
Figura 35. Interruptor de nivel neumático LS200NDVOR de FW MURPHY	47
Figura 36. Interruptor de no flujo DNFT-PRG de WHITLOCK INSTRUMENT	48
Figura 37. Interruptor de vibraciones VS2EX de FW MURPHY	48
Figura 38. Manómetro DAMPX	49
Figura 39. Termómetro RITHERM	49

Figura 40. Visor de nivel.....	50
Figura 41. Válvula de bola F15 de BRAY	51
Figura 42. Actuador neumático serie 93 de BRAY	51
Figura 43. Solenoide serie 63 de BRAY	52
Figura 44. Posicionador serie 5C de BRAY.....	52
Figura 45. Válvula electroneumática on / off de BRAY	53
Figura 46. Transductor I/P i2P-100 de Fisher.....	53
Figura 47. Válvula reguladora Fisher	54
Figura 48. Interruptor de caja moldeada NOARK.....	57
Figura 49. Capacidad de corriente de pletinas de cobre	58
Figura 50. Protecciones marca WEG	58
Figura 51. Variador de frecuencia CFW11 de WEG.....	59
Figura 52. Arrancador suave SSW07 de WEG	60
Figura 53. Contactor CWB9 y relé térmico RW27 de WEG	61
Figura 54. DPS TIPO 2 de Schneider Electric.....	62
Figura 55. Fuente DC 42 V de Phoenix Contact	62
Figura 56. Fragmento de la tabla 310.15 (B) (16) de la NTC 2050	63
Figura 57. Diagrama unifilar del tablero de potencia	64
Figura 58. Plano de disposición mecánica del tablero de potencia	65
Figura 59. PLC micro 850 de Allen Bradley con módulos de expansión	69
Figura 60. HMI Panel View 800 de Allen Bradley.....	70
Figura 61. Gateway de comunicación CAN / RS-485 de variador de frecuencia WEG ..	71
Figura 62. Switch no administrable 1005N de Phoenix Contact.....	71
Figura 63. Arquitectura de control	72
Figura 64. Diseño de distribución mecánica del tablero de control	73
Figura 65. Diagrama trifilar del tablero de potencia.....	74
Figura 66. Diagrama de conexiones de servicios auxiliares y pilotos del tablero de potencia.....	74
Figura 67. Diagrama de conexión de las señales de control del tablero de potencia.....	75
Figura 68. Diagrama de conexiones entre los tableros de potencia y control	75
Figura 69. Tablero de potencia de unidad recuperadora de vapores	76
Figura 70. Diagrama de conexiones de entradas digitales al PLC en el tablero de control	77
Figura 71. Diagrama de conexiones de las entradas digitales del módulo de expansión del PLC	78
Figura 72. Diagrama de conexión de las salidas digitales del PLC	78
Figura 73. Diagrama de conexión de las entradas análogas en el módulo de expansión del PLC	79
Figura 74. Diagrama de conexiones de las salidas análogas del módulo de expansión del PLC	80
Figura 75. Diagrama de conexiones de alimentación de equipos del tablero de control	80

Figura 76. Diagrama de conexión de HMI, SWITCH y módulo de comunicación.....	81
Figura 77. Tablero de control de la unidad recuperadora de vapores	81
Figura 78. Señalización de ruteo eléctrico	82
Figura 79. Caja GUAT NEMA 7.....	83
Figura 80. Sello corta fuego con sellante	83
Figura 81. Ruteo eléctrico general de unidad recuperadora de vapores.....	85
Figura 82. Ensamblaje final unidad recuperadora de vapores (URV)	86

RESUMEN

Este proyecto busca mostrar los parámetros e indicaciones principales a tener en cuenta para realizar el diseño del sistema eléctrico y de control de una unidad recuperadora de vapores. Estos parámetros abarcarán la selección de equipos principales como compresores, aero enfriadores, bombas y motores eléctricos. También se establecerán criterios de selección de equipos de instrumentación y otros equipos a tener en cuenta para el control y comunicación dentro de una unidad recuperadora de vapores.

Adicionalmente en base a las normativas vigentes RETIE, NTC 2050 e IEC 61439, se establecen las pautas a tomar en cuenta para el diseño eléctrico de la unidad recuperador de vapores abarcando desde el diseño de tableros de potencia, tableros de control y ruteo eléctrico sobre la unidad, tomando en cuenta las exigencias de estas normas para trabajo en áreas clasificadas.

PALABRAS CLAVE: UNIDAD RECUPERADORA DE VAPORES, RETIE, NTC 2050, INSTRUMENTACIÓN, TABLERO DE POTENCIA, TABLERO DE CONTROL.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se lo agradezco principalmente a mis padres y hermanos que me han apoyado de diferentes formas en la medida de sus capacidades a lo largo de toda la carrera para lograr mis objetivos, que al final son de ellos también.

A la universidad y los diferentes docentes de la escuela de ingeniería electromecánica que formaron parte de mi formación educativa, por haberme brindado los espacios y el conocimiento necesario para iniciar mi recorrido como profesional en la ingeniería y por generar en mí el gusto y el deseo de buscar nuevas metas, priorizando a las personas sobre cualquier cosa.

Finalmente agradezco a la empresa STROTECH por darme la oportunidad de realizar mi práctica empresarial con su gran equipo de profesionales, y por todo el conocimiento que pude adquirir en la empresa.

1. INTRODUCCIÓN

La exploración y explotación de hidrocarburos a cualquier escala genera una serie de residuos y contaminantes nocivos tanto para las personas como para el medio ambiente, los cuales a pesar del desarrollo de nuevas normativas ambientales y del mejoramiento de los procesos por parte de las empresas extractoras de hidrocarburos, en muchas ocasiones dichos contaminantes simplemente son liberados al ecosistema por medio de una línea de Tea (quemador en antorcha de gas natural) generando problemas a la capa de ozono.[1]

En busca del mejoramiento continuo de los procesos de extracción de crudo empresas como Gran Tierra Energy, enfocada en la exploración y producción terrestre de petróleo en Colombia y Ecuador, estructuran planes de reducción de emisiones a la atmosfera e incluso llegar a dar una utilidad a estos gases por medio una unidad recuperadora de vapores (URV), la cual se encarga de purificar estos gases, filtrándolos y depurando sustancias que pueden llegar a generar ambientes explosivos o mejor conocidos como áreas clasificadas.

El objetivo principal de estas unidades de recuperación de vapores es eliminar los gases pesados resultantes de la extracción de crudo como lo son el n-hexano, CO₂, N₂, n-heptano, n-octano, n-nonano, n-decano, etc., los cuales aparte de ser perjudiciales para el medio ambiente, generan áreas explosivas de alto riesgo[2]; estas URV están compuestas por una serie de equipos como lo son bombas, compresores, motores eléctricos, aro enfriadores, instrumentación, etc., los cuales deben contar con garantías de confiabilidad tanto para el proceso como para la seguridad del ambiente y los operarios.[3] La selección de estos equipos, así como de sus protecciones tanto eléctricas como mecánicas se hace primordial en el funcionamiento de la unidad y aún más tomando en cuenta los requerimientos de área clasificada que exigen diversas normas como el RETIE y la NTC 2050.

Para esta práctica empresarial se realizará el diseño y suministro de una unidad recuperadora de vapores, apoyada en cálculos y criterios de diseño para la selección y adquisición de los diferentes equipos que se requieren para el ensamblaje de un tablero de potencia, un tablero de control, instrumentación requerida por el proceso e interconexión de todos los equipos tanto para su energización, como para el control de la unidad.

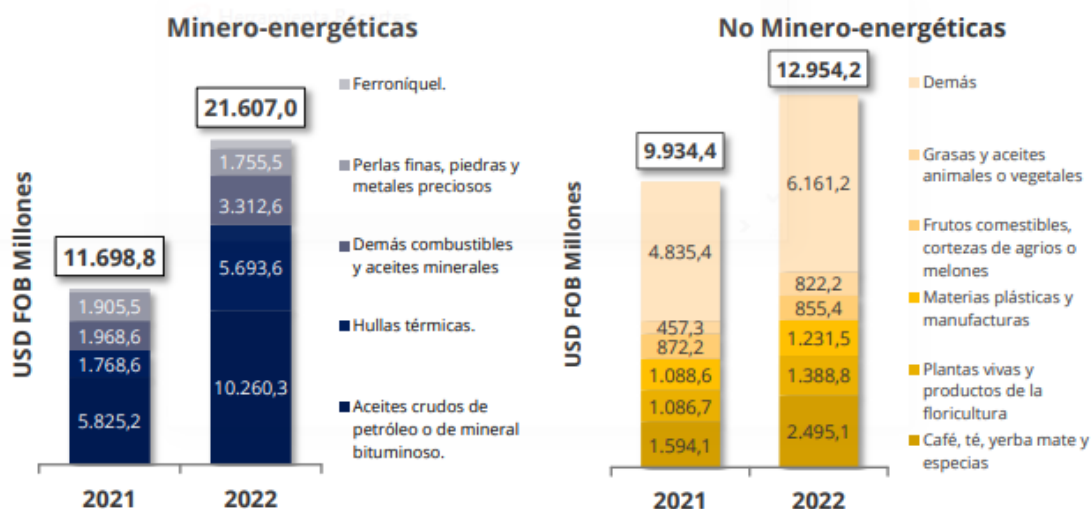
El equipo es diseñado y ensamblado en la ciudad de Bogotá D.C., y posteriormente será entregado en las instalaciones del cliente Gran Tierra Energy, en las inmediaciones del campo petrolero Costayaco en el municipio de Villa Garzón, Putumayo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Antecedentes

La economía colombiana siempre ha tenido como uno de sus principales pilares la explotación y exportación de recursos minero energéticos como lo son el petróleo crudo, el carbón y el gas natural, como se puede observar en datos del DANE[4] (Departamento Administrativo Nacional de Estadística). Sin embargo esta extracción de crudo a lo largo de los años ha llegado a generar altos niveles de contaminación ambiental tanto por accidentes, como por los mismos procedimientos e intervenciones que se realizan sobre el ecosistema para obtener dichos recursos, y quizá uno de los factores más afectados por esta actividad ha sido la calidad del aire, es por esto que el gobierno ha venido trabajando en una política para el mejoramiento de la calidad del aire, basada en la reducción de emisiones de gases de fuentes móviles y fuentes fijas, gases como el dióxido de carbono producto de la combustión de combustibles, o el GLP (gas licuado de petróleo) producto de las actividades de exploración petrolera.[5]

Figura 1. Exportaciones de Colombia 2021-2022



Fuente: ANALDEX (Asociación nacional de comercio exterior), datos del DANE

A día de hoy todas las petroleras cuentan al menos con una TEA (quemador de gas natural), el cual nada más debería ser una contingencia en caso de alguna falla en algún proceso de la planta, ya que la TEA se encarga de quemar todos los gases producto de los diferentes procesos, generando una gran afectación al ambiente. Sin embargo, algunos campos petroleros no tienen un proceso de reutilización, ni purificación de gases, por lo tanto, simplemente se direccionan siempre a TEA.

Figura 2. TEA en caso de falla en planta



Fuente: Autor

2.2. Descripción de la planta

La reducción de contaminantes y la eficiencia de los procesos son indicadores importantes de confiabilidad, responsabilidad y productividad en todas las empresas dedicadas a la extracción o manipulación de hidrocarburos. Por ende, empresas como Gran Tierra Energy se dedican día a día a mejorar sus instalaciones y equipos, con el fin de alcanzar altos estándares en el mercado.[6]

Actualmente, en el campo petrolero Costayaco se cuenta con un sistema de almacenamiento compuesto por diferentes Gun Barrels, en donde se deposita el crudo, y ocurre una primera separación de gases residuales de los procesos de exploración y explotación de crudo, los cuales son enviados posteriormente a un scrubber antes de su destino final en la línea de Tea para ser quemados en el ambiente.

Con el fin de remplazar el scrubber que llevan varios años en operación y, adicionalmente, mejorar el tratamiento de estos residuos, la empresa Gran Tierra Energy desea implementar una URV (unidad recuperadora de vapores), con dos propósitos en específico, el primero es filtrar los gases para así eliminar la presencia de los gases más pesados como lo son el n-hexano, CO₂, N₂, n-heptano, n-octano, n-nonato, n-decano, etc., y con esto poder recuperar estos gases para poder ser usados como combustible de los generadores eléctricos de la planta, y a su vez reduciendo el gasto de combustible

Diesel que se tiene hasta el momento para los generadores. [7] El segundo propósito es poder extraer condensados del gas, también conocidos como NAFTA, aumentando la producción de este derivado el cual será comercializado e incrementara las ganancias de la producción.[8]

Figura 3. Gun Barrels



Fuente: Autor

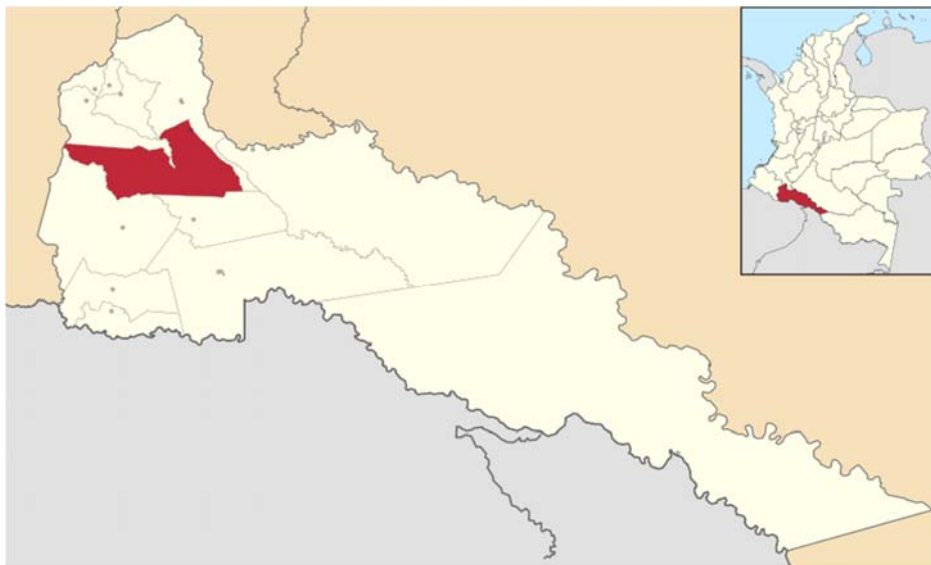
Este proyecto traerá grandes beneficios para la empresa al promover el cuidado del medio ambiente y afrontar su responsabilidad con éste, al ser de cierta forma una empresa contaminante de alto impacto debido a sus operaciones con el petróleo, y demuestra su compromiso con todos los retos a futuro que está enfrentando el sector oil & gas con la emergente transición energética.[9]

2.3. Descripción geográfica

Campo Costayaco se encuentra ubicado en las inmediaciones del municipio de Villagarzón, localizado en la zona meridional de Colombia a 60 Km del límite de frontera con Ecuador en el departamento del Putumayo. Limita al norte con los municipios de Santiago y Mocoa, por el occidente con Orito, por el sur con Orito y Puerto Caicedo, y por el oriente con Mocoa. Cuenta con un área aproximada de 1.380 Km², de los cuales 2.982 hectáreas (ha) están adscritos a territorio de los pueblos indígenas como son los resguardos de Albania, Chaluayaco, Wasipungo, San Miguel de la Castellana y Blasiakú, pertenecientes a la etnia Inga.[10]

La principal actividad económica del municipio es la explotación de minas y canteras, que representó el 83,91% del valor agregado municipal en el 2015. Se destaca en esta actividad la extracción de hidrocarburos, con presencia de empresas como Gran Tierra Energy y Emerald Energy. Otras actividades mineras importantes son la extracción de oro, arcilla y materiales de construcción tipo cantera.[11]

Figura 4. Localización geográfica municipio de Villagarzón



Fuente: Wikipedia

Villagarzón está asentado en una zona intermedia que puede definirse climáticamente como tierra caliente super húmeda, con temperaturas anuales que sobrepasan los 24 °C y con altas precipitaciones la mayor parte del año, especialmente durante los meses de abril a julio con 87% de humedad, siendo estos meses los más húmedos del año.[12]

2.4. Descripción del problema

Una unidad recuperadora de vapores debe cumplir con tres condiciones indispensables para su correcto funcionamiento en campo: garantizar que se cumplan los cambios químicos en el gas, asegurar la integridad mecánica de la unidad y precisar de un buen nivel de control y automatización. Para este último, el cual es el eje central de este trabajo, se ha de tener muy en cuenta que se realizara una instalación eléctrica clasificada como peligrosa para este proyecto, la cual correspondería según la norma NFPA a una área clase I, división II, debido a la presencia de gases, vapores y líquidos inflamables bajo condiciones anormales de funcionamiento, y si se hace la homologación a la norma IEC correspondería a una zona 2, grupo IIA.[13]

Partiendo de esta consideración, para el diseño de un sistema de potencia y control para la unidad se debe partir de la selección de los equipos mayores, en base a los cálculos y análisis realizados por un procesista, o ingeniero químico que garantice que el tratamiento que se dará al gas sea el adecuado, una vez se tengan estos equipos se debe considerar que los equipos eléctricos que integren la unidad deben cumplir con las exigencias del RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas) y la NTC 2050 (Norma técnica colombiana). En base a estas normativas se realiza el diseño y se garantiza que cada equipo, producto o accesorio cobijado por el reglamento vigente cumplirá a cabalidad con su función sin generar algún tipo de riesgo tanto para la integridad de la unidad, como de las personas que puedan estar a cargo de la operabilidad de esta.

Adicionalmente el área de potencia y control debe tomar en cuenta los requerimientos necesarios para controlar el equipo, como lo es la selección propicia de equipos de instrumentación para las condiciones de trabajo. Y finalmente para el diseño de tableros eléctricos se debe tomar en cuenta la vigente norma IEC 61439. Existen otros aspectos mecánicos que se deben tomar en cuenta para la fabricación de una unidad recuperadora de vapores, de los cuales podrá darse mención de algunos en el presente documento, pero no se profundizará mucho en estos al no ser el eje de esta entrega.

La unidad recuperadora de vapores será diseñada y ensamblada por la empresa adjudicada al proyecto, STROTECH SAS (Static and Rotative Technologies SAS), en sus instalaciones en la ciudad de Bogotá D.C. para su posterior envío y puesta en marcha en el campo Costayaco.

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo general

Diseñar un sistema de potencia y control para unidad recuperadora de vapores (URV) para el campo petrolero Costayaco en el municipio de Villa Garzón, Putumayo

3.2. Objetivos específicos

- Seleccionar los equipos rotativos, componentes eléctricos de protección e instrumentación bajo requerimientos de área clasificada previstos para la unidad recuperadora de vapor
- Plantear un tablero de potencia para la alimentación y protección de la URV
- Plantear un tablero de control para el monitoreo y operatividad de la URV
- Apoyar en el comisionamiento del sistema de potencia y de control de la URV

4. MARCO TEORICO

4.1. Unidad recuperadora de vapores (URV)

Las Unidades de Recuperación de Vapores (URV), son el conglomerado de equipos que se encargan de extraer cualquier tipo de materia gaseosa de un flujo, ya sea bifásico (procedente del mismo generador) o de una mezcla gaseosa, con propósitos varios, ya sea para su almacenamiento o recirculación dentro de una planta mediante diferentes tipos de procesos unitarios.[14]

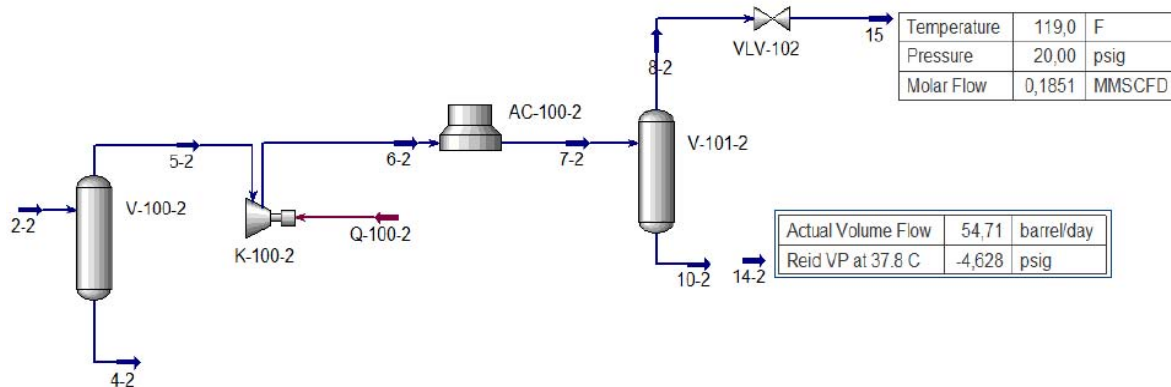
Figura 5. Unidad recuperadora de vapores



Fuente: Static and Rotative Technologies SAS

Las URV pueden diferir según su capacidad de flujo, pero de forma general están compuestas por una primera etapa de separación de condensados, una etapa de compresión para aumentar la temperatura del fluido, seguida de una etapa de enfriamiento para realizar una separación de condensados eficiente, esta etapa puede darse por un intercambiador de calor, o un aro enfriador a elección del diseñador según los requerimientos del equipo, y finalmente hay una última etapa de separación de condensados antes de salir de la unidad. Adicionalmente durante todo el proceso el equipo es acompañado por una serie de equipos de instrumentación como transmisores de presión y temperatura, entre otros, los cuales son seleccionados en base al diseño del proceso.

Figura 6. Diagrama de proceso general de una URV



Fuente: Static and Rotative Technologies SAS

4.1.1. Depurador (Scrubber)

También conocido como lavador de gases húmedos, es utilizado para separar líquidos que son transportados por un gas, por medio de un demister que se encarga de depurar el gas cuando este lo atraviesa, almacenando los condensados en la base del scrubber, para ser drenados por gravedad o de manera forzada. Un dato relevante en este diseño, es que entre más distancia separe la superficie de contacto, más largo es el tiempo de contacto entre el gas y el compuesto líquido aumentado de esta forma los porcentajes de eficiencia.[15]

Figura 7. Scrubber



Fuente: Emerson Electric Co

4.1.2. Demister

Conocido como filtro desnebulizador o separador de gotas, son dispositivos fabricados en malla tejido tricotado, sirven para separar con máximo de eficiencia, las finísimas gotas arrastradas por un gas o vapor, sea en fase de ebullición, evaporación al vacío o barboteo de un líquido. Pueden llegar hasta eficiencias del 99% para partículas mayores a 2μ y bajas pérdidas de presión.[16]

4.1.3. Compresor

Los compresores son máquinas que tienen por finalidad aportar una energía a los fluidos compresibles (gases y vapores) sobre los que operan, para hacerlos fluir aumentando al mismo tiempo su presión. Un compresor admite gas o vapor a una presión P_1 dada, descargándolo a una presión P_2 superior. La energía necesaria para efectuar este trabajo la proporciona un motor eléctrico o una turbina de vapor.[17] Existen diferentes tipos de compresores según su método de compresión, entre ellos resaltamos compresores de tornillo, compresores reciprocantes, compresores de paletas y compresores centrífugos.

Figura 8. Compresor de tornillo



Fuente: ROTORCOMP VERDICHTER

4.1.4. Aero enfriador

Es un equipo empleado para realizar un intercambio de calor a un fluido a elevada temperatura que se desplaza por una serie de tuberías dentro de la carcasa del aero enfriador. El intercambio de calor se realiza gracias a la inyección forzada de aire al exterior de las tuberías, esta inducción la realizan un grupo de hélices que dirección el aire, y son accionadas por un motor eléctrico.

Figura 9. Aero enfriador



Fuente: KELVION

4.1.5. Motor eléctrico de inducción

Una máquina que sólo tiene un conjunto continuo de devanados de amortiguamiento se llama máquina de inducción. Se les llama así porque el voltaje en el rotor (que produce la corriente y el campo magnético del rotor) se induce en los devanados del rotor en lugar de estar físicamente conectados por cables. La característica distintiva de un motor de inducción es que no se necesita de corriente de campo de cd para que la máquina funcione. [18] Hay dos tipos diferentes de rotores de motores de inducción que pueden utilizarse dentro del estator. Uno se llama rotor de jaula de ardilla o rotor de jaula y el otro se conoce como rotor devanado.

4.2. Válvula

Las válvulas son equipos mecánicos de corte con las cuales se puede iniciar, detener o regular el flujo de fluidos mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye en forma parcial uno más conductos.

4.2.1. Válvula de control

La válvula de control manipula un fluido en circulación, como gas, vapor, agua o compuestos químicos para compensar las perturbaciones de carga y mantener la variable de proceso regulada lo más cercana posible al punto de ajuste deseado. El elemento de control final más habitual en las industrias de control de procesos es la válvula de control.[19]

Figura 10. Válvula de control



Fuente: Emerson Electric Co

4.3. Instrumentación

La instrumentación de un equipo se encarga de medir las diferentes variables de un proceso, así como de controlar el equipo. Existen instrumentación encargada exclusivamente de lectura como transmisores de presión, temperatura, caudal, nivel, etc; y también equipos de control como válvulas de control, interruptores de nivel, interruptores de vibración, etc.

Figura 11. Instrumentación industrial



Fuente: ABB

4.3.1. Transmisor indicador de presión

Se encargan de captar la presión de proceso a través del elemento primario y la transmiten a distancia en forma de señal neumática de margen 3 a 15 psi o electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua, o en algunos casos de 0 a 5 VDC.[20] Y adicionalmente cuenta con un display, para visualizar la variable en campo.

4.3.2. Transmisor indicador de Temperatura

Se encargan de tomar lectura de la temperatura de proceso por medio de un sensor de temperatura, la cual puede ser una termocupla o una RTD y la transmiten a distancia en forma de señal electrónica de 4 a 20 mA de corriente continua, o en algunos casos de 0 a 5 VDC. Y adicionalmente cuenta con un display, para visualizar la variable en campo, y deben contar con un termopozo para la conexión al proceso.

4.3.3. Interruptor de nivel

Transmite una señal electrónica a 24 VDC en base al nivel de fluido que este censando, este es un dispositivo que transmite una señal digital en forma de pulso. Existen de varios tipos según su mecanismo de operación.

4.3.4. Manómetro

Este instrumento normalmente es análogo, sin ningún tipo de conexión eléctrica y se emplea para tener una visualización en campo de la presión del equipo. Este equipo al no tener ninguna retribución de la variable medida no puede ser empleado como elemento de control.

4.3.5. Termómetro

Se emplea para tener una visualización en campo de la temperatura del equipo. Este equipo al no tener ninguna retribución de la variable medida no puede ser empleado como elemento de control. Al igual que los transmisores de temperatura requiere un termopozo para la conexión al proceso.

4.3.6. Interruptor de vibraciones

Transmite una señal electrónica a 24 VDC en base a las vibraciones que sienta, este es un dispositivo que transmite una señal digital en forma de pulso. Debe instalarse cerca a los equipos de mayor vibración, como compresores, turbinas, bombas, etc.

4.3.7. Transductor

Los transductores reciben una señal de entrada función de una o más cantidades físicas y la convierten modificada o no a una señal de salida, es decir, convierten la energía de entrada de una forma a energía de salida en otra forma. Son transductores, un relé, un

elemento primario, un transmisor, un convertidor PP/I (presión de proceso a intensidad), un convertidor PP/P (presión de proceso a señal neumática), etc.

4.4. Tablero eléctrico de baja tensión

Un tablero eléctrico es una combinación de varios dispositivos de protección y maniobra, agrupados en una o más cajas adyacentes (columnas). En un cuadro es posible distinguir las siguientes partes: una caja, denominada envoltura conforme a las normas (y cuya función es el soporte y la protección mecánica de los componentes que alberga) y el equipamiento eléctrico, formado por los aparatos, las conexiones internas y los terminales de entrada y salida para la conexión a la instalación. Como su nombre lo indica este tablero tiene capacidad de 0 a 1000 V lo cual se denomina como baja tensión según normativa.

Figura 12. Tablero CCM de baja tensión



Fuente: Static and Rotative Technologies SAS

4.4.1. Variador de frecuencia

Un variador de frecuencia de CA es un dispositivo electrónico que permite regular la velocidad de giro y el par de un motor eléctrico de CA estándar. El motor eléctrico, a su vez, acciona una carga como, por ejemplo, un ventilador, una bomba o una cinta transportadora.[21] El diagrama simplificado del circuito principal del variador consiste en un rectificador convierte la tensión de CA trifásica en tensión de CC, seguido de un banco de condensadores del circuito intermedio estabiliza la tensión de CC, luego un inversor convierte de nuevo la tensión de CC a CA para ser utilizada por el motor de CA. Adicionalmente el chopper de frenado conecta la resistencia de frenado externa al circuito de CC intermedio cuando la tensión del circuito excede su límite máximo.[22]

4.4.2. Arrancador suave

Este equipo utiliza un algoritmo que controla tres pares de SCR (Rectificador controlado de silicio) en antiparalelo para arrancar y detener el motor. La orientación en antiparalelo de los SCR permite controlar el voltaje de CA al cambiar el ángulo de disparo cada medio ciclo. El voltaje se aumenta gradualmente hasta el voltaje pleno o se limita para proporcionar arranques con límite de corriente. Un arrancador suave usa el voltaje para controlar la corriente y el par. El par motor es aproximadamente proporcional al cuadrado del voltaje aplicado. [23]

4.4.3. Interruptor termomagnético

Los interruptores termomagnéticos están diseñados para interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando ésta sobrepasa ciertos valores máximos. El dispositivo consta de dos partes: un electroimán y una lámina bimetálica. Ambas conectadas en serie y por las que circula la corriente que va hacia la carga. [24] Los interruptores termomagnéticos protegen la instalación eléctrica contra sobre corrientes, accionándose la parte térmica en caso de sobrecargas y la magnética en caso de cortocircuitos.

4.4.4. Transformadores

Un transformador es un dispositivo que cambia la potencia eléctrica alterna con un nivel de voltaje a potencia eléctrica alterna con otro nivel de voltaje mediante la acción de un campo magnético. Consta de dos o más bobinas de alambre conductor enrolladas alrededor de un núcleo ferromagnético común. Estas bobinas (normalmente) no están conectadas en forma directa. La única conexión entre las bobinas es el flujo magnético común que se encuentra dentro del núcleo. Uno de los devanados del transformador se conecta a una fuente de energía eléctrica alterna y el segundo (y quizá el tercero) suministra energía eléctrica a las cargas. El devanado del transformador que se conecta a la fuente de potencia se llama devanado primario o devanado de entrada, y el devanado que se conecta a la carga se llama devanado secundario o devanado de salida. Si hay un tercer devanado en el transformador, se llama devanado terciario.[25]

4.4.5. Relé térmico

Los relés térmicos son elementos destinados a la protección de los motores eléctricos contra sobrecargas o pérdida de alguna de las fases y evitar así la degradación o destrucción de los bobinados del motor. En general los relés térmicos se instalan en combinación con contactores industriales. [26]

4.4.6. Contactor

Es un dispositivo eléctrico que cumple la función de apertura y cierre de circuitos eléctricos, mediante la conexión y desconexión de sus contactos a través de una señal externa. Posee la capacidad de soportar la apertura de circuitos en condiciones normales de funcionamiento y además de tolerar grandes valores de corriente en sus contactos principales.[27]

4.4.7. Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias (DPS)

Dispositivo que tiene una alta impedancia cuando no está presente un transitorio, pero que cambia súbitamente su impedancia a un valor bajo en respuesta a un transitorio de tensión. También evita el flujo continuo de la corriente residual mientras conserva la capacidad de repetir estas funciones.[28]

4.4.8. Acometida

Derivación de la red local del servicio respectivo, que llega hasta el registro de corte del inmueble. En edificios de propiedad horizontal o condominios, la acometida llega hasta el registro de corte general. En aquellos casos en que el dispositivo de corte esté aguas arriba del medidor, para los efectos del presente reglamento, se entenderá la acometida como el conjunto de conductores y accesorios entre el punto de conexión eléctrico al sistema de uso general (STN, STR o SDL) y los bornes de salida del equipo de medición.[13]

4.4.9. Medidor de parámetros

Son equipos de medición encargados de medir los parámetros eléctricos como voltaje, corriente, potencia activa, potencia aparente, potencia reactiva, entre otros. Realiza la medición por medio de su conexión a transformadores de corriente para medir la corriente, y por medio de una conexión directa a los barrajes para la medición de voltaje.

4.4.10. Tierra

Para sistemas eléctricos, es una expresión que generaliza todo lo referente a conexiones con tierra. En temas eléctricos se asocia a suelo, terreno, tierra, masa, chasis, carcasa, armazón, estructura o tubería de agua. El término "masa" sólo debe utilizarse para aquellos casos en que no es el suelo, como en los aviones, los barcos y los carros.[13]

4.4.11. Fase

Designación de un conductor, un grupo de conductores, un terminal, un devanado o cualquier otro elemento de un sistema polifásico que va a estar energizado durante el servicio normal.[13]

4.4.12. Neutro

Es el nodo o punto común de un sistema eléctrico polifásico conectado en estrella o el punto medio puesto a tierra de un sistema para cerrar un circuito de corriente.[13]

4.4.13. PLC (Controlador lógico programable)

Instrumento basado en microordenador que realiza funciones de secuencia y enclavamiento de circuitos y, como complemento, funciones de control PID.[20] Los PLC tiene un lenguaje de programación llamado Ladder, el cual llego como remplazo de la lógica cableada, por su versatilidad y fácil implementación. Adicionalmente los PLC cuenta con una variedad de módulos de expansión para poder adaptarse a procesos grandes.

4.4.14. HMI (Interfaz humano maquina)

Es una pantalla programable, la cual brinda a los operarios de un proceso con PLC, una comunicación entra la persona y el equipo, por medio de gráficos, registros, alarmas, etc, de una forma sencilla e intuitiva, permitiendo controlar el proceso sin ingresar directamente a la programación del PLC.

4.4.15. Fuente DC

También conocido como convertidor AC – DC, es un convertidor monofásico con dos tiristores conmutados naturales. El valor promedio del voltaje DC de salida v_0 se puede controlar variando el tiempo de conducción de los tiristores, o el ángulo α de retardo de disparo. La entrada podría ser una fuente monofásica o trifásica. Estos convertidores se llaman también rectificadores controlados.[29]

4.4.16. Switches

Los Switches se utilizan para conectar varios dispositivos a través de la misma red dentro de un edificio u proceso. El switch actuaría de controlador, permitiendo a los diferentes dispositivos compartir información y comunicarse entre sí. Mediante el uso compartido de información y la asignación de recursos, los switches permiten ahorrar dinero y aumentar la productividad.[30]

4.5. Normativa legal

4.5.1. RETIE (Reglamento técnico de instalaciones eléctricas)

Este reglamento establece los requisitos que deben cumplir los materiales, equipos e instalaciones, así como la obligatoriedad de evaluar los riesgos de origen eléctrico y tomar las medidas necesarias para evitar que tales riesgos se materialicen en incidentes o accidentes y conocer y acatar tales requisitos será la mejor opción de aprovechar las ventajas de la electricidad, sin que esta cause daños.[13] Este reglamento es de completa obligatoriedad en todo el territorio Colombiano.

4.5.2. Código eléctrico colombiano - NTC 2050

El Código Eléctrico Colombiano, es la respuesta a las necesidades nacionales, en aspectos de seguridad para las instalaciones eléctricas en las diferentes etapas de diseño, construcción, inspección y puesta en marcha, basada en parámetros aplicados y validados mundialmente, los cuales garantizan el uso seguro y confiable de las instalaciones eléctricas cubiertas en este Código. Los requisitos presentados en este Código propenden por el uso eficiente de la energía, obedeciendo a la necesidad imperiosa de preservar sus fuentes, como uno de los objetivos medioambientales que se deben lograr para evitar su agotamiento.[28]

4.5.3. NFPA 70 (National Fire Protection Association)

Este es el código eléctrico nacional aprobado por el American National Standards Institute (Instituto Nacional Americano de Normas), esta normativa es usado como referencia, y de forma consultiva de forma internacional para implementar en las normativas locales de cada nación.

4.5.4. IEC 61439 (Comisión electrotécnica internacional)

Estas normas son aplicables a todos los cuadros de distribución y control de baja tensión (aquellos en los que la tensión nominal no supera los 1000 V para CA o los 1500 V para CC). En este documento, el término "cuadro" se utiliza para hacer referencia a un conjunto de equipos de protección y maniobra de baja tensión. En lo referido a las normas, se ha producido un cambio con la sustitución de la antigua norma IEC 60439-1 por las normas IEC 61439-1 e IEC 61439-2.[31]

4.5.5. ISA 5.1

Es una de las normas más importantes para designar y representar los instrumentos de medición y control que se emplean en la industria. La ISA (Instrument Society of America) de la Sociedad de Instrumentos de Estados Unidos ponen por objeto establecer sistemas de designación (código y símbolos) de aplicación a las industrias químicas, petroquímicas, aire acondicionado, etc.[20]

5. DISEÑO DE LA UNIDAD RECUPERADORA DE VAPORES

El proceso de diseño de una unidad recuperadora de vapores se inicia con una simulación del proceso en el software de simulación HYSYS para procesos químicos, para realizar dicha simulación se parte de las condiciones de entrada y salida de los fluidos, brindadas por el cliente, así como de la cromatografía del fluido en la línea de entrada, este proceso es realizado por el área de proceso designada al proyecto.

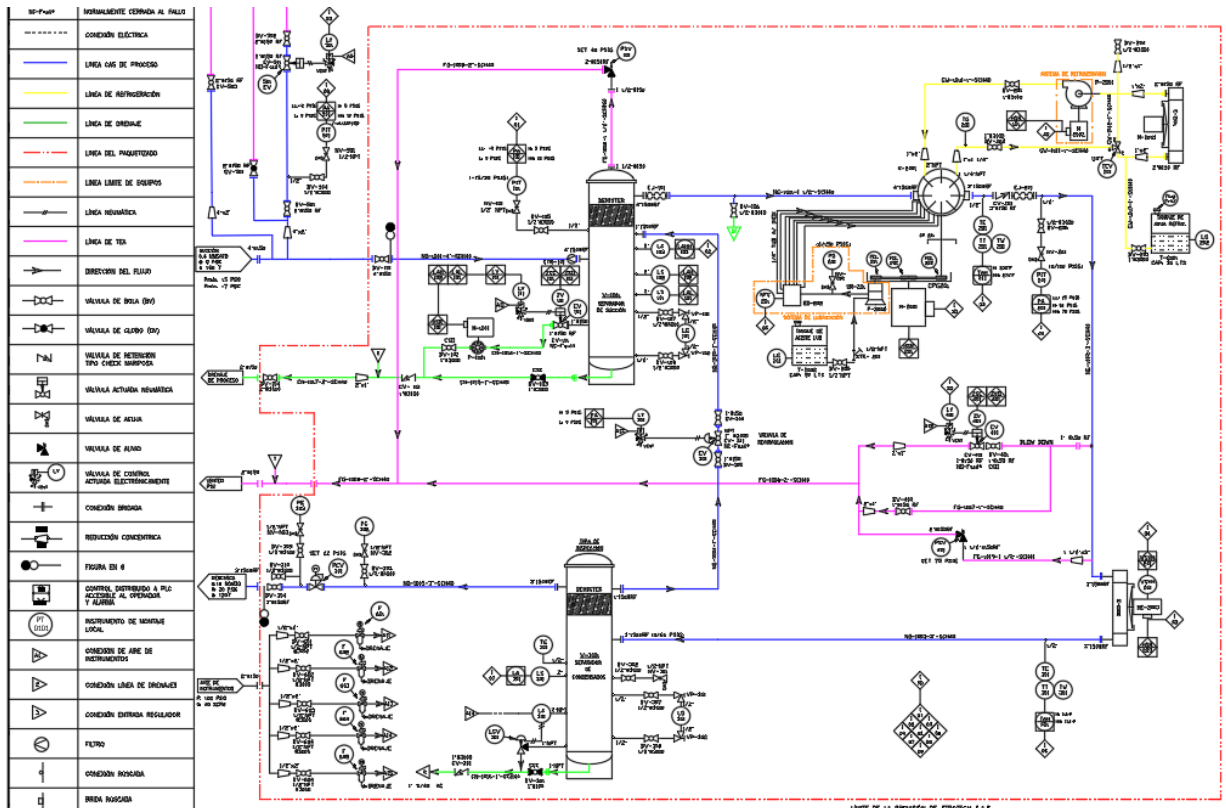
Tabla 1. Cromatografía del gas de proceso

COMPOSICIÓN DEL GAS DE ENTRADA	
COMPONENTE	% VOLUMEN
METANO	5,88
ETANO	6,54
PROPANO	18,97
ISOBUTANO	5,64
N-BUTANO	18,35
ISOPENTANO	8,66
N-PENTANO	9,53
N-HEXANO	9,15
N-HEPTANO	7,78
N- NONANO	0,20
N-OCTANO	2,35
CO2	6,45
N2	0,5
TOTAL	100

Fuente: Static and Rotative Technologies SAS

Una vez realizada la simulación se prosigue a realizar un P&ID (Piping and instrumentation diagram) o diagrama de tuberías e instrumentación de la URV, el cual será la base de todo el proyecto, ya que este nos muestra de forma detallada todos los equipos principales que lleva el proceso como lo son los equipos rotativos, equipos estáticos, instrumentación, válvulas y tuberías; adicionalmente el P&ID brinda conocimiento de las condiciones físicas como presión, temperatura, flujo, de cada fluido que halla en el proceso, en cada entrada y salida del equipo. Adicionalmente también muestra información referente a algunas señales y sets que son prioritarios en el proceso.

Figura 13. P&ID de unidad recuperadora de vapores campo Costayaco



Fuente: Static and Rotative Technologies SAS

6. SELECCIÓN DE EQUIPOS ROTATIVOS

Para la selección de los equipos rotativos se debe partir de las condiciones iniciales del proceso, de las cuales fueron brindadas por el cliente las siguientes:

Tabla 2. Condiciones iniciales del gas de proceso

PROPIEDADES DEL GAS A LA SUCCION			PROPIEDADES DEL GAS A LA DESCARGA		
PRESION (PSI)	TEMPERATURA (°F)	CAUDAL (kscfd)	PRESION (PSI)	TEMPERATURA (°F)	CAUDAL (kscfd)
0.0	150	400	20	119	185

Fuente: Autor

6.1. Compresor

Inicialmente se debe establecer el tipo de compresor a emplear, esto en base a la presión de descarga del, tomando como aproximación empírica las siguientes condiciones de selección según la presión de descarga del compresor deseada:

1. Sopladores para presiones de descarga entre 0 – 20 PSI
2. Compresores de paletas para presiones de descarga entre 20 – 80 PSI
3. Compresores de tornillo para presiones de descarga entre 80 – 240 PSI
4. Compresores recíprocos de baja presión para presiones de descarga entre 240 - 600 PSI
5. Compresores recíprocos de alta presión para presiones de descarga mayores a 600 PSI

Tomando en cuenta que la presión de descarga del compresor deseada es de 55 PSI, se selecciona un compresor de paletas; para la selección específica del modelo se emplean programas de selección de cada proveedor en donde en base a las condiciones parametrizadas hace la selección recomendada de la referencia del compresor. Algunas de las marcas en las cuales se realizó el estudio son ROTORCOMP, RO-FLO y GARDNER DENVER. En base a las opciones propuestas en cada marca y al presupuesto del proyecto, se realiza la selección de un compresor de paletas de RO-FLO referencia SD8DE.

Figura 14. Selección de compresor RO-FLO

The screenshot displays the 'Ro-Flo Performance Software' interface. On the left, there is a 'Limited Liability Agreement' section with a 'Ro-Flo Compressors, LLC' logo and text regarding the software's use. The main window is titled 'Ro-Flo Performance Software - [Performance 2021 URV 2045-]'. It features a menu bar (File, View, Window, Help) and a toolbar with options like Copy, Delete, and Cvt to Multi. The 'Conditions' section is active, showing input fields for 'Gas Description' (GAS COSTAYACO), 'Specific Gravity' (2.07), 'MW' (59.93), 'Cp/Cv' (1.096), and '% Saturation' (0). Inlet conditions include 'Inlet Temperature' (110 F), 'Elevation' (1484.3 Feet), and 'Atm Pressure' (13.92 PSI). Discharge conditions are set to 'Disch Pressure' (55 PSI) and 'Required Flow Rate' (400 MSCFD). The 'Expected Results' section shows 'Achieved Flow Rate' (400 MSCFD), 'Pressure Ratio' (4.07), 'Required Power' (48.2 HP), and 'Operating Torque' (241.6 lbf-ft). A warning at the bottom states: 'Jackshaft must be used if V-belt driven. Refer to the Ro-Flo Installation, Operation, and Maintenance Manual available on the Ro-Flo website.'

Fuente: Static and Rotative Technologies SAS

En el anexo A se puede evidenciar a detalle el informe de selección del compresor, como las curvas de operación de este, brindadas por el fabricante.

Figura 15. Compresor RO-FLO SD8DE



Fuente: RO-FLO Compressors SAS

6.2. Aero enfriador

Para incrementar la separación de condensados del gas se requiere realizar una disminución de la temperatura de este sin variar la presión, para esto se debe emplear un aero enfriador o un chiller para alcanzar el punto de rocío del gas, se selecciona un aero enfriador debido a que la disminución de temperatura es pequeña hasta el punto de rocío el cual se selecciona empíricamente en 10° por encima de la temperatura ambiente, es decir 120 °F aproximadamente.

Teniendo esto como base se realiza la selección en compañía del proveedor del aero enfriador, el cual para este caso específico se adquirió con la empresa norteamericana AXH air-coolers. Partiendo de las características de fluido de entrada al aero enfriador como lo son la temperatura, que será de 170 °F, presión de 55 PSI y flujo de 400 kscfd, los cuales son las condiciones esperadas que entregara el compresor; adicional a esto se requiere la temperatura a la cual se espera enfriar el gas, la que como ya se menciona sería de 120 °F, y finalmente se necesita especificar el número de secciones que tendrá el aero enfriador, con secciones se entiende cada circuito independiente de fluido que este tendrá, para esta unidad recuperadora de vapores se empleara un aero enfriador de dos secciones, una para el gas de proceso a la descarga del compresor, y otra para el refrigerante del compresor, el cual será una mezcla 50% agua y 50% glicol. Con estos datos el proveedor podrá realizar el diseño de las hélices y de los tubos aletados del aero enfriador. En el anexo B se adjuntan los datos de rendimiento del aero enfriador, provistos por el fabricante.

Figura 16. Aero enfriador de dos secciones



Fuente: Autor

6.3. Bomba de drenaje

Debido a la baja presión en el scrubber de succión se requiere instalar una bomba para drenar los condensados almacenados en este, para la selección de esta se busca una bomba de paletas debido al bajo nivel de flujo y por la contrapresión que debe superar del drenaje del scrubber de descarga.

Teniendo como referencia las bombas Blackmer, se selecciona está en base a la presión máxima prevista en la succión que será de 15 PSI, y el flujo de 400 kscfd o 2.07 gpm del condensado a mover. Con estos datos se realiza la selección de la bomba por medio las curvas de la bomba provistas por el proveedor y las tablas de selección.

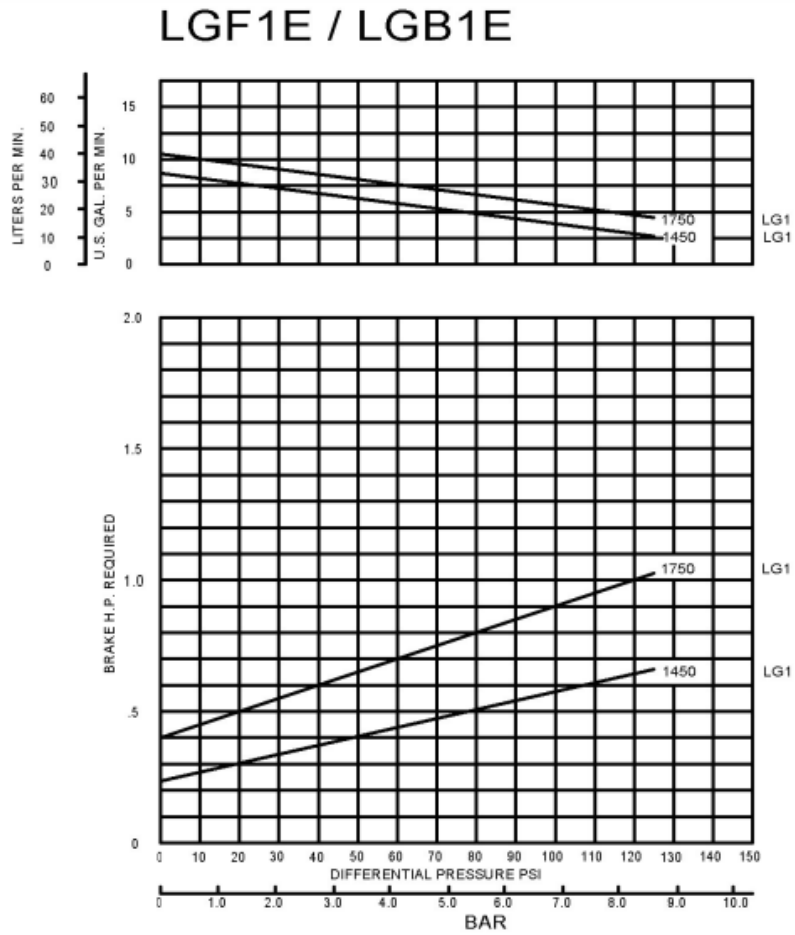
Figura 17. Datos de rendimiento bombas de paletas Blackmer

Performance Data

Assembled Pump Units		Pump and Motor Speed (rpm) ¹	Approx. Delivery of Propane at Diff Pressures and Pump Speeds				Maximum Differential Pressure		Maximum Working Pressure ²		Typical Motor ³	Motor Size for Standard Base ⁴	
			50 psi (3.5 bar)		100 psi (6.9 bar)								
Model	RV Setting		gpm	L/min	gpm	L/min	psi	bar	psi	bar	hp	Minimum Frame	Maximum Frame
LGF1E	105 psi (7.2 bar)	1,750	8.0	30.3	6.0	22.7	125	8.6	350	24.1	1	56C	184C ⁴
LGB1E-DM	105 psi (7.2 bar)	1,750	8.0	30.3	6.0	22.7	125	8.6	350	24.1	1	56	184
LGF1PE	120 psi (8.3 bar)	1,750	13.0	49.2	10.0	37.9	125	8.6	350	24.1	1.5	56C	184C ⁴
LGB1PE-DM	120 psi (8.3 bar)	1,750	13.0	49.2	10.0	37.9	125	8.6	350	24.1	1.5	56	184

Fuente: Blackmer

Figura 18. Curvas de las bombas Blackmer



Fuente: Blackmer

En base a lo anterior se selecciona una bomba de paletas Blackmer de referencia LGF1E debido a que su curva cumple con las condiciones y a que una bomba más grande quedaría sobredimensionada y generaría un gasto innecesario.

Figura 19. Bomba Blackmer LGF1E

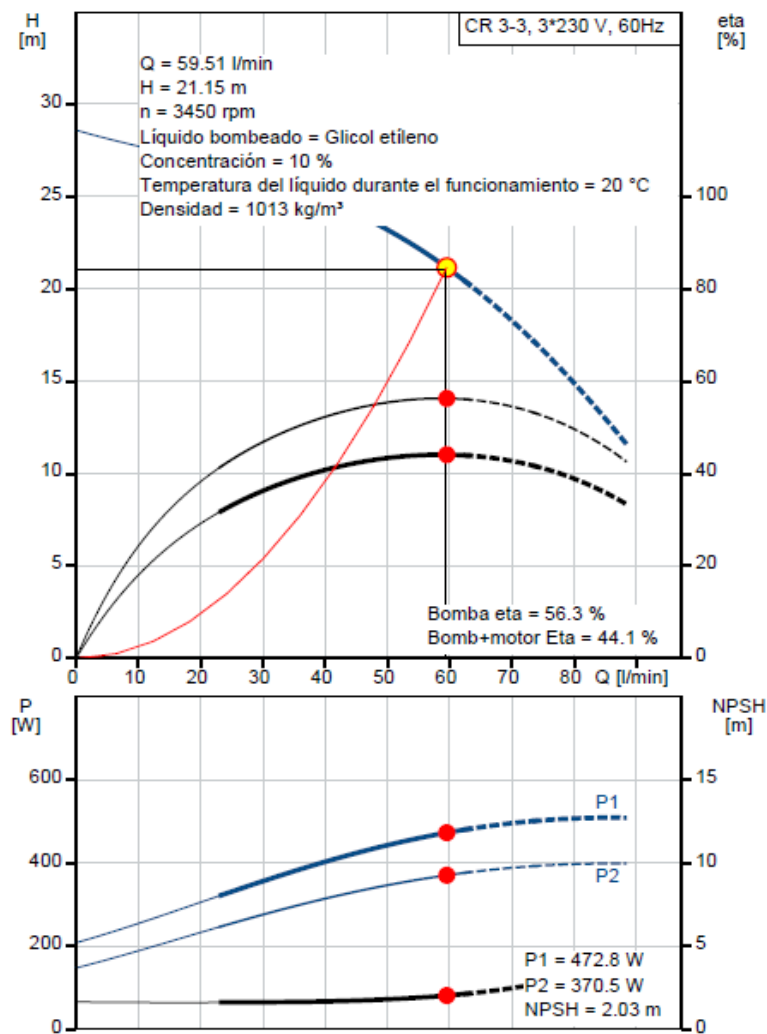


Fuente: Blackmer

6.4. Bomba de refrigeración

Para esta bomba al no tener contrapresión se realiza la selección de una bomba centrífuga cuyo caudal debe alcanzar mínimo los 60 l/min, ya que, por recomendación del fabricante del compresor, este es el caudal mínimo requerido para la correcta refrigeración de este, en base a esto y a una estimación de 20 metros de cabeza de presión se realiza la selección de la bomba con ayuda de las curvas del fabricante. Adicionalmente es realizada una simulación más exacta de la selección por parte del proveedor, gracias a otros datos como las condiciones ambientales y la composición del líquido de refrigeración.

Figura 20. Curva de selección de bomba Grundfos



Fuente: Grundfos

Se selecciona la bomba Grundfos de modelo CR3-3 A-FGJ-A-E-HQQE de 0.5 HP. Se adjunta la simulación brindada por el proveedor como anexo C.

Figura 21. Bomba Grundfos CR3-3 A-FGJ-A-E-HQQE



Fuente: Grundfos

6.5. Motores eléctricos

Como parámetros generales de la selección de cada uno de los 4 motores requeridos para los equipos rotatorios anteriormente seleccionados se tiene:

- Los motores deben ser aptos para trabajar en área explosiva
- Motores TEFC (Totally closed, Fan-cooled)
- Eficiencia eléctrica IE3 o NEMA Premium
- Grado de protección mínimo de IP 55 para su uso en intemperie
- Tensión nominal de 440 V AC
- Frecuencia de operación de 60 Hz

6.5.1. Motor del compresor

En base a la selección del compresor RO-FLO, se requiere un motor de 60 HP a 1800 rpm. Se selecciona un motor WEG W21X NEMA Premium Efficiency, a continuación, se adjuntan algunos datos importantes extraídos de la hoja de datos del producto, para visualizar las curvas referirse al anexo D.

Figura 22. Motor WEG W21X NEMA Premium de 60 HP



Fuente: Autor

Figura 23. Datos de motor WEG W21X NEMA Premium de 60 HP

Línea del producto : NEMA Premium Efficiency Trifásico		Código del producto :		11439789
		Catalog # :		06018XT3E364T
Carcasa	: 364/5T	Tiempo de rotor bloqueado	: 36s (frio) 20s (caliente)	
Potencia	: 60 HP (45 kW)	Elevación de temperatura	: 80 K	
Polos	: 4	Régimen de servicio	: Cont.(S1)	
Frecuencia	: 60 Hz	Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C	
Tensión nominal	: 230/460 V	Altitud	: 1000 m	
Corriente nominal	: 137/68.3 A	Grado de protección	: IP55	
Corriente de arranque	: 956/478 A	Método de refrigeración	: IC411 - TEFC	
Ip/In	: 7.0x(Cód. H)	Forma constructiva	: F-1	
Corriente en vacío	: 44.0/22.0 A	Sentido de giro ¹	: Ambos	
Rotación nominal	: 1780 rpm	Nivel de ruido ²	: 75.0 dB(A)	
Resbalamiento	: 1.11 %	Método de Arranque	: Partida directa	
Torque nominal	: 240 Nm	Masa aproximada ³	: 458 kg	
Torque de arranque	: 250 %			
Torque máximo	: 250 %			
Clase de aislamiento	: F			
Factor de servicio	: 1.15			
Momento de inercia (J)	: 0.8767 kgm ²			
Categoría	: B			
Potencia	25%	50%	75%	100%
Rendimiento (%)	93.5	94.1	94.5	95.0
Cos Φ	0.48	0.72	0.82	0.87
Fuerzas en la fundación				
Tracción máxima : 5597 N				
Compresión máxima : 10094 N				

Fuente: WEG

6.5.2. Motor del aero enfriador

Este motor viene ensamblado por defecto en el aero enfriador por lo cual es suministrado por el proveedor en consideración a los requerimientos de su diseño, pero cumpliendo con las características generales establecidas. El motor suministrado es un SIEMENS de 7.5 HP y 800 rpm modelo SD 100. En el anexo E se encuentra la hoja de datos y curvas del motor.

Figura 24. Motor SIEMENS modelo SD 100



Fuente: SIEMENS

Figura 25. Datos de motor SIEMENS modelo SD 100 de 7.5 HP

Electrical data										Class I Division 2 Gr. A, B, C or D																			
U [V]	Δ/Y	f [Hz]	P [HP]	P [kW]	n [rpm]	I Load [Amps]					Nom. Eff Load [%]			Pwr. Factor Load [%]			Torque												
						4/4	3/4	1/2	0	LRC	4/4	3/4	2/4	4/4	3/4	2/4	[lb-ft]	LRT _[N]	BDT _[N]										
460	Y	60	7.50	5.50	875	13.00	10.90	9.20	7.90	50.0	87.5	88.0	87.0	62.0	55.0	44.0	45.0	164	200										
230	YY	60	7.50	5.50	875	26.00	21.76	18.35	15.80	100.0	87.5	88.0	87.0	62.0	55.0	44.0	45.0	164	200										
Frame Type: 256T		Type of constr.: (A) Foot mounted - End shield				Ins. Cl.: Standard Class F Insulation		Motor Prot.: (A) Without Protection			NEMA Des.: B		S.F.: 1.15																
Mtr. WT: 279						Temp. Rise Cl.: B		Amb. Temp.: + 40 to -20°C @1000 m			kVA: G		I.P.: 55																
Mechanical data																													
Sound level (SPL / SWL) at 60 Hz										dB(A) / 77.0 dB(A)																			
Octave Band Center Frequencies Hertz																													
250		500		1000		2000		4000		8000		Hz																	
SPL@3		50.0		64.0		61.0		57.0		46.0		39.0		dB(A)		Thickener				Polyurea									
Moment of inertia										1.8 Lb-ft ²																			
Ext Load Inertia Capability:										208.0 Lb ft ²																			
Bearings																													
Bearing DE NDE					6309 Z C3 50					6309 Z C3 50					Safe Stall Time Hot					50 s									
Bearing_Type					Ball Bearing					Ball Bearing					Safe Stall Time Cold					100 s									
AFBMA:					45BC03JP30					45BC03JP30					Frame material					cast iron									
Grease																				Color, paint shade					Standard Paint - RAL7030				
Capacity										0.50 oz					0.50 oz					Coating (paint finish)					3 Part Epoxy Paint (Coastal-Offshore High Salt)				
Grease Type:										Exxon Mobile EM										Ventilation Type									
																				Method of cooling					TEFC				
																				Direction of rotation					Bidirectional				
																				Fan Material					Polypropylen ESD				
																				VFD					CT: 4:1 VT: 20:1				
																				Space heaters					without				
																				Brake:					without				

Fuente: SIEMENS

6.5.3. Motor de bomba de drenaje

En base a las recomendaciones de la bomba se selecciona un motor WEG W21X NEMA Premium Efficiency de 1 HP y 1800 rpm, a continuación, se adjuntan algunos datos importantes extraídos de la hoja de datos del producto, para visualizar las curvas referirse al anexo F.

Figura 26. Motor WEG W21X NEMA Premium de 1 HP



Fuente: Autor

Figura 27. Datos de motor WEG W21X NEMA Premium de 1 HP

Linea del producto	: NEMA Premium Efficiency Trifásico				Código del producto :	14255321
					Catalog # :	00118XT3E143T
Carcasa	: 143/5T				Tiempo de rotor bloqueado	: 32s (frío) 18s (caliente)
Potencia	: 1 HP (0.75 kW)				Elevación de temperatura	: 80 K
Polos	: 4				Régimen de servicio	: Cont.(S1)
Frecuencia	: 60 Hz				Temperatura ambiente	: -20°C hasta +40°C
Tensión nominal	: 230/460 V				Altitud	: 1000 m
Corriente nominal	: 2.94/1.47 A				Grado de protección	: IP55
Corriente de arranque	: 25.3/12.6 A				Método de refrigeración	: IC411 - TEFC
Ip/In	: 8.6x(Cód. M)				Forma constructiva	: F-1
Corriente en vacío	: 1.88/0.940 A				Sentido de giro ¹	: Ambos
Rotación nominal	: 1755 rpm				Nivel de ruido ²	: 51.0 dB(A)
Resbalamiento	: 2.50 %				Método de Arranque	: Partida directa
Torque nominal	: 4.06 Nm				Masa aproximada ³	: 30.5 kg
Torque de arranque	: 280 %					
Torque máximo	: 360 %					
Clase de aislamiento	: F					
Factor de servicio	: 1.15					
Momento de inercia (J)	: 0.0041 kgm ²					
Categoría	: B					
Potencia	25%	50%	75%	100%	Fuerzas en la fundación	
Rendimiento (%)	77.3	80.0	82.5	85.5	Tracción máxima	: 284 N
Cos Φ	0.32	0.57	0.68	0.75	Compresión máxima	: 584 N

Fuente: WEG

6.5.4. Motor de bomba de refrigeración

Este motor viene ensamblado por defecto con la bomba por lo cual es suministrado por el proveedor en consideración a los requerimientos de su diseño, pero cumpliendo con las características generales establecidas. El motor suministrado es un WEG 56C NEMA Premium de 1/2 HP y 3600 rpm. En el anexo G se encuentra la hoja de datos y curvas del motor.

Figura 28. Motor WEG 56C de 1/2 HP



Fuente: Grundfos

Figura 29. Datos de motor WEG 56C de 1/2 HP

Datos eléctricos:		Protección anti-deflagrante	
Frecuenc.	60 Hz	Tipo de protección	-
Tensión nominal del motor	208-230DD/460D V	Condiciones ambientales:	
Potencia nominal del motor	0.37 kW		
Velocidad nominal del motor	3435 rpm	Temperatura ambiente:	-20°C a 40°C
Par motor nominal del motor	1.0-1.0 Nm	Altitud sobre el nivel del mar	1000 m
Cableado	-	Aprobaciones y especificaciones	IEC 60034, CURUS
Corriente nominal de motor	1,73-1,57/0,78 A	Datos generales:	
Corriente máx. motor	-		
Clase de eficiencia	IE3 / NEMA Premium	Tamaño	WEG
Rendimiento a plena carga %	74 %	Tipo de construcción	Nema assembly W-6 Tamaño de brida 56C
Factor de potencia	0,80	Peso sin accesorios opcionales	9.62 kg
Arranque- / Corriente nominal del motor ^(50/60)	/	Material	-
Desglose- / Par motor nominal ^(50/60)	/ 360-360 %	Grado de protección	IP TEFC
Arranque- / Par motor nominal ^(50/60)	/	Método de refrigeración, TEFC	IC 411
Datos mecánicos:		Clase de vibración	
		Clase de aislamiento	155(F) a 130(B)
Mediciones del ruido ^(50/60)	- 65 dB(A)	Tipo de funcionamiento	-
Momento de inercia	0.0006 kg m ²	Sentido de giro	CW /
Agujeros de drenaje	Si (cerrado)		
Cojinete DE	6203.2Z.C3		
Cojinete NDE	6202.2Z.C3		

Fuente: Grundfos

7. SELECCIÓN EQUIPOS DE INSTRUMENTACION Y CONTROL

Una vez definido el proceso de la URV y diseñado el P&ID se realiza la selección de la instrumentación requerida por la unidad, vale la pena aclarar que la cantidad de instrumentos, así como sus especificaciones no son generales para todas las URV, esta selección debe realizarse de forma independiente para cada equipo, ya que los requerimientos del proceso pueden variar. De forma obligatoria todos los instrumentos instalados sobre la unidad deben cumplir con los requerimientos para área clasificada.

7.1. Transmisores indicadores de presión (PIT-101 / PIT-201 / PIT-501)

Se selecciona el PIT-101 para la succión del equipo, ya que se requiere llevar el control de las revoluciones del compresor con el fin de mantener la presión del gas de proceso lo más estable posible para garantizar una separación de condensados optima, dicho control se realiza por medio de un control PID (proporcional, integral y derivativo) programado en el PLC del equipo, donde en resumen la disminución de la presión en la línea de succión reducirá las revoluciones del compresor, bajando el flujo de gas y por ende aumentando la presión, de forma contraria si se incrementa la presión el compresor acelerara aumentando el flujo y disminuyendo la presión; en ambos casos la variación de velocidad se dará hasta alcanzar el set point de presión deseado. Adicionalmente con la lectura de esta presión el PLC podrá apagar el equipo ante posibles casos de sobrepresiones o presiones negativas que puedan ser perjudiciales para el equipo y que el compresor no alcance a compensar.

Dado a las bajas presiones en la succión se realiza la selección de un PIT con rango de -15 a 30 PSI y con emisión de señal de 4 a 20 mA.

Figura 30. Transmisor indicador de presión EJX530A de YOKOGAWA



Fuente: Autor

La selección del PIT-201 se realiza con el fin de detectar la presión a la descarga del compresor y así poder llevar control de esta variable por medio de una válvula reguladora encargada de dar confiabilidad al sistema. Para este caso se realiza la selección de un PIT con rango de 0 a 100 PSI ya que la presión máxima soportada por el compresor es de 80 PSI con emisión de 4 a 20 mA, en cuyo caso en equipo se apagará gracias a la programación que se le realiza a este transmisor.

Finalmente, el transmisor PIT-501 se selecciona para proteger todo el equipo de una posible sobrepresión generada por otro equipo aguas debajo de la URV. La lectura de presión de este instrumento se encarga de la apertura de una válvula reguladora de desvía el gas de proceso hacia la línea de TEA antes de ingresar al equipo. Este transmisor tendrá las mismas condiciones que el transmisor de la línea de succión, -15 a 30 PSI y con emisión de señal de 4 a 20 mA, ya que estarán a la misma presión.

Los transmisores de presión PIT-101 y PIT-201 son seleccionados de la marca YOKOGAWA de referencia EJX530A, y el transmisor PIT-501 es seleccionado de la marca ROSEMOUNT de referencia 3051 aprobados para área clasificada y calibrados con los rangos establecidos anteriormente.

Figura 31. Transmisor indicador de presión ROSEMOUNT modelo 3051



Fuente: Autor

7.2. Transmisor ciego de temperatura (TT-201 / TT-301)

Se ubica el transmisor de temperatura TT-201 a la descarga del compresor para monitorear la temperatura del compresor ya que según las especificaciones del compresor este no debe sobrepasar los 300 °F, ya que puede afectar a los tornillos, adicionalmente un incremento anormal en este punto genera una alarma sobre el funcionamiento de la refrigeración.

El TT-301 se ubica en la línea de proceso a la salida del aéro enfriador para comprobar el funcionamiento correcto del aéro enfriador y poder detectar fallas en este. Debido a la dificultad de visualizar esta temperatura in situ dado a la disposición de las tuberías, se decide seleccionar transmisores ciegos.

Teniendo en cuenta la temperatura permisible por el compresor, se elige para los dos transmisores un rango de lectura de 0 a 300 °F adicionalmente ambos transmisores deben ser para área clasificada. Con base en esto se seleccionan dos transmisores de marca PYROMATION serie 642 con emisión de 4 a 20 mA.

Figura 32. Transmisor ciego de temperatura PYROMATION serie 642



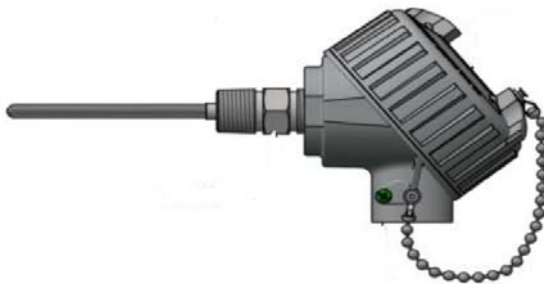
Fuente: Autor

7.3. Termocupla tipo k (TE-201 / TE-301)

Los transmisores de temperatura a diferencia de los de presión no pueden realizar la lectura física de la variable por sí solo, para esto necesita un sensor de temperatura ya sea una RTD o una termocupla para este proyecto se emplearon termocuplas tipo k con un rango de – 200 a 1200 °C, aunque se importó el sensor que se escogió el transmisor tiene la capacidad de leerlos todos variando solo su método de conexión. Vale aclarar que la termocupla al ser un elemento por el cual va circular una corriente también requiere estar aprobado para trabajar en área clasificada, para garantizar esto se emplea un cabezal explosión proof.

Se selecciona la termocupla tipo k de la marca PYROMATION para los dos transmisores. Adicionalmente hay que mencionar que cualquier sensor de temperatura requiere adicionalmente de un termopozo para poder realizar su acople en la tubería de proceso.

Figura 33. Termocupla tipo k con cabezal explosion proof maca PYROMATION



Fuente: PYROMATION

7.4. Interruptor de nivel (LS-101 / LS-102 / LS-103 / LS-301 / LS-302)

Dado a la separación de condensados en los scrubbers se requiere controlar el nivel de líquidos acumulados en estos para evitar que se inunde el equipo y esto conlleve a un daño mayor en el compresor.

En el scrubber de succión se emplean tres interruptores de nivel: primero el LS-103, este es el interruptor de nivel alto alto, este se encarga de apagar el equipo en caso que el nivel de los condensados llegue a un nivel que pueda significar un riesgo para el compresor; segundo el LS-102, se encuentra a un nivel medio del scrubber y se encarga de dar la señal al PLC de abrir la válvula ON/OFF en el drenaje del scrubber y de encender la bomba de drenaje que enviara los condensados afuera de la unidad; finalmente el LS-101 se encarga de apagar nuevamente la bomba de drenaje y cerrar la válvula, permitiendo que se vuelvan a almacenar condensados en el scrubber y evitando que se escape el gas de proceso por el drenaje. Estos tres interruptores se escogieron electrónicos ya que se requiere que cada uno envíe una señal eléctrica de 0 – 24 VDC hacia el PLC para realizar los diferentes lazos de control. Se emplean para los tres interruptores de nivel marca FW MURPHY modelo LS200.

Figura 34. Interruptor de nivel electrónico LS200 de FW MURPHY



Fuente: FW MURPHY

Para el scrubber de descarga se instala el LS-302 al igual que el LS-103 para apagar el equipo en caso que el nivel de los condensados llegue a un nivel que pueda significar un riesgo para la unidad y es un interruptor electrónico. El interruptor LS-301 es un interruptor de nivel neumático ubicado a un nivel medio del scrubber, este no enviara ninguna señal al PLC, sino en cambio controlara el paso de aire hacia una válvula accionada neumáticamente para permitir el paso de los condensados hacia la línea de drenaje, en este scrubber no se requiere bomba para desplazar los líquidos debido a que la presión que inyecta el compresor sobre el fluido es suficiente para drenar el scrubber.

Teniendo en cuenta lo anterior el interruptor LS-302 también es un LS200 de FW MURPHY, y el LS-301 es un interruptor neumático modelo LS200NDVOR de FW MURPHY.

Figura 35. Interruptor de nivel neumático LS200NDVOR de FW MURPHY

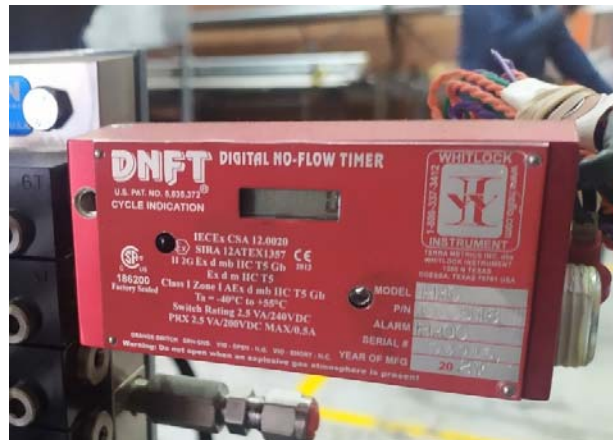


Fuente: FW MURPHY

7.5. Interruptor de no flujo (NFS -201)

Este instrumento es exigido por el fabricante del compresor, ya que se requiere llevar un control sobre la lubricación del compresor. Este interruptor cuenta el número de gotas de aceite lubricante que se envían al compresor, y con esto verifica que el ciclo de lubricación no presente inconvenientes, en caso que el ciclo falle, el interruptor enviara una señal de 0 – 24 VDC al PLC para apagar el equipo, ya que la falta de lubricación en el compresor desencadenaría una falla catastrófica en el compresor. Este instrumento es provisto por el proveedor del compresor, se trata de un DNFT-PRG de WHITLOCK INSTRUMENT.

Figura 36. Interruptor de no flujo DNFT-PRG de WHITLOCK INSTRUMENT



Fuente: Autor

7.6. Interruptor de vibraciones

Se emplea para prevenir un aumento excesivo en las vibraciones del aero enfriador. Este instrumento tiene un eje que se desplaza en relación a las vibraciones que sienta, por lo tanto, se debe instalar de forma perpendicular al eje del equipo a medir, en este caso perpendicular al eje del motor del aero enfriador. Si las vibraciones superan la calibrada, el interruptor enviara una señal de 0 – 24 VDC al PLC para apagar el equipo. Se selecciona un interruptor modelo VS2EX de FW MURPHY, apto para trabajar en áreas clasificadas.

Figura 37. Interruptor de vibraciones VS2EX de FW MURPHY



Fuente: Autor

7.7. Manómetro (PG-301 / PG-302)

Estos instrumentos se emplean para visualizar la presión en un punto específico del proceso, pero donde no se requiere realizar ningún tipo de control de forma electrónica, para esta URV se ubicaron los dos manómetros a la descarga del compresor, uno antes de la válvula estrangulamiento antes de la salida del equipo y otra después de la válvula, esto con el fin de poder regular la presión de salida de forma manual. Para los dos manómetros se manejan rangos de 0 a 100 PSI inundados en glicerina de marca DAMPX.

Figura 38. Manómetro DAMPX



Fuente: Autor

7.8. Termómetro (TG-201 / TG-301)

Se instalan para poder visualizar el valor de la temperatura en puntos específicos del proceso, el TG-201 con rango de 0 a 150 °C ubicado en la línea de refrigeración del compresor, y el TG-301 con rango de 0 a 100 °C ubicado en el scrubber de descarga de la URV, los dos de marca RITHERM. Para estos instrumentos al igual que para los transmisores de temperatura se requiere usar un termopozo para realizar su instalación en la línea de proceso.

Figura 39. Termómetro RITHERM



Fuente: Autor

7.9. Visor de nivel (LG-101 / LG-201 / LG-202 / LG-301)

Es una mirilla instalada en taques, scrubbers o cualquier deposito donde se almacene un líquido con el fin de tener una indicación visual del nivel de líquido. Para esta URV se instaló: el LG-101 en el scrubber de succión, el LG-201 en el tanque de aceite de lubricación, el LG-202 en el tanque de refrigerante y el LG-301 en el scrubber de descarga.

Figura 40. Visor de nivel



Fuente: Autor

8. SELECCIÓN DE VÁLVULAS DE CONTROL

8.1. Válvulas on / off

Se hace referencia a las válvulas que solo tiene dos posiciones de funcionamiento completamente abierta o completamente cerrada, estas válvulas son muy empleadas en los procesos por su funcionamiento sencillo. Para el funcionamiento de esta URV se instalan dos válvulas on / off, una en el drenaje del scrubber de succión para automatizar el drenaje de condensados de este, y otra ubicada en el bypass de la descarga del compresor, esta válvula se abrirá en caso de emergencia, o en cualquier apagado del equipo para liberar cualquier gas en el equipo hacia la línea de TEA, permitiendo realizar una inspección del equipo de forma segura.

Las válvulas a emplear son válvulas marca BRAY, estas son electroneumáticas ya que tiene un accionamiento neumático de la válvula, pero reciben la orden de apertura y cierre de forma eléctrica con una señal de 24 VDC.

De forma específica están compuestas por 4 piezas independientes:

- Una válvula de bola bridada de una pulgada con cuerpo en acero al carbono modelo F15

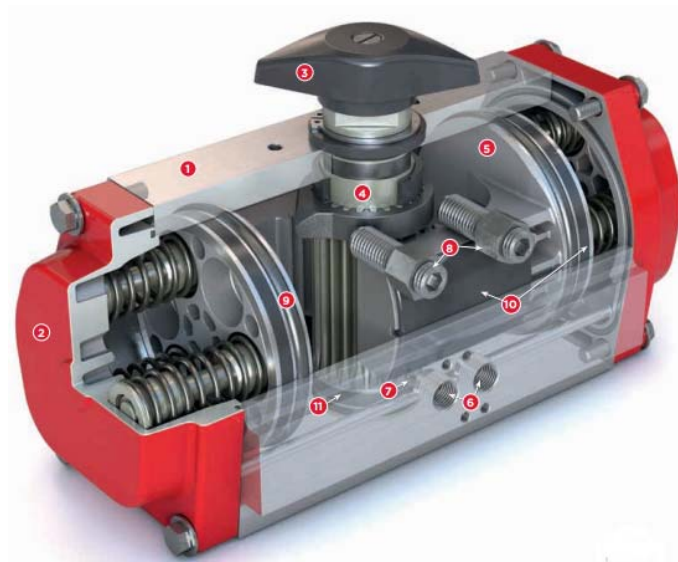
Figura 41. Válvula de bola F15 de BRAY



Fuente: BRAY

- Un actuador neumático el cual se ensambla a la válvula por medio de un vástago que moverá la válvula, pero este movimiento se da por el ingreso de aire a la recámara de resortes que se contraerán o expandirán según la alimentación de aire. El actuador indicado para ensamblar en la válvula F15 es un actuador serie 93.

Figura 42. Actuador neumático serie 93 de BRAY



Fuente: BRAY

- Un solenoide en cual realiza el lazo de control con el PLC. Cuando el PLC detecta que debe abrir la válvula, envía una señal digital de 24 VDC al solenoide por medio de una de sus salidas digitales. El solenoide consiste en una bobina y un vástago, cuando la bobina es energizada con 24 VDC por el PLC, el campo magnético generado en la bobina moverá el vástago permitiendo el paso de aire hacia el actuador neumático, y por ende moviendo la válvula. Basado en la selección del actuador, el solenoide adecuado es una serie 63.

Figura 43. Solenoide serie 63 de BRAY



Fuente: BRAY

- Un posicionador que muestra en sitio cual es la posición de la válvula, y a su vez retribuye al PLC la posición por medio de una señal digital de 24 VDC. Esta pieza también se escoge en base al dimensionamiento del actuador, seleccionando uno de la serie 5C.

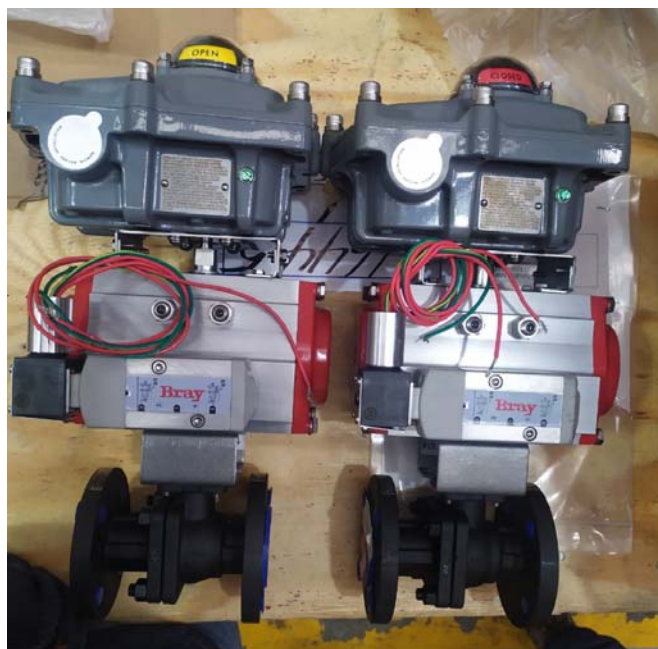
Figura 44. Posicionador serie 5C de BRAY



Fuente: BRAY

A continuación, se muestra el ensamblaje completo de esta válvula on / off.

Figura 45. Válvula electro neumática on / off de BRAY



Fuente: Autor

8.2. Válvulas reguladoras

Estas válvulas regulan su apertura según los requerimientos del sistema, con el fin de llegar al set point de una variable del proceso. Al igual que las válvulas on / off tiene una válvula y un actuador neumático, pero la diferencia radica en que a esta se ensambla un transductor I/P.

Figura 46. Transductor I/P i2P-100 de Fisher



Fuente: Autor

Su apertura y cierre es controlado por el PLC, inicia con la lectura de alguna variable del proceso por medio de un transmisor, de presión para el caso de esta URV, en base a esta lectura el PLC enviara al transductor una señal en un rango entre 4 – 20 mA según el cálculo de un PID programado en el PLC. La señal es enviada por medio de una de las salidas análogas del controlador y finalmente el transductor traducirá la cantidad de corriente recibida en un porcentaje de apertura de la válvula, permitiendo el paso de aire hacia el actuador neumático de la válvula y dando la apertura requerida a esta.

Para esta unidad se emplean dos válvulas reguladoras, las dos de marca Fisher y con actuador neumático de acción directa de la serie 657 ya que son abiertas al fallo, sin embargo, una tiene un transductor I/P de referencia i2P-100 de Fisher, y otro un transductor de I/P de referencia FIELDVUE DVC 6010 de Fisher.

Figura 47. Válvula reguladora Fisher



Fuente: Fisher

9. DISEÑO CUADRO DE CARGAS

En cuadro de cargas es el resumen de las cargas que serán conectadas al tablero en pleno funcionamiento, este cuadro permite identificar tanto los equipos como las características eléctricas más relevantes de cada uno, adicionalmente en este se realiza el cálculo de las protecciones de cada carga.

Para el diseño de URV las cargas más relevantes son los motores eléctricos del compresor, aero enfriador, bomba de drenaje y bomba de refrigeración, anteriormente seleccionados, así como un transformador de baja tensión para servicios auxiliares y control. De cada uno de los equipos listados en el cuadro de cargas se extraen los valores de:

- Voltaje nominal (AC)
- Numero de fases
- Potencia activa (HP y kW)
- Eficiencia
- Potencia aparente (kVA)
- Factor de potencia
- Corriente nominal
- Corriente de protección

La mayoría de la información se encuentran en las hojas de datos de los equipos, a diferencia de las siguientes excepciones: Para las cargas puramente resistivas se asume un factor de potencia de 1, y una eficiencia de 0,95, esto dado que estas cargas usualmente son pequeñas y los proveedores no brindan esta información.

Algunos motores como el del compresor no presenta el valor de la corriente para el voltaje de la acometida, por lo tanto, se realiza el cálculo con la siguiente ecuación de corriente para cargas trifásicas:

$$I_L = \frac{P}{V_L * \eta * f.p. * \sqrt{3}} [A]$$

Donde la potencia (P) está en [W], la eficiencia (η) y el factor de potencia (f.p.) son adimensionales, y el voltaje de línea (V_L) en [V].

La potencia aparente se calcula con la siguiente ecuación:

$$S = \frac{P}{f.p.} [kVA]$$

Para la selección de la protección de cada equipo se multiplica la corriente nominal por un factor de 1,25 según lo establecido en la NTC 2050.

Finalmente, para la selección del transformador de los servicios auxiliares y de control se siguen los siguientes pasos en base al modelo ideal del transformador, el cual es válido para estos transformadores de baja capacidad:

1. Se halla la corriente del devanado secundario con la sumatoria de corrientes de todas las cargas que serán conectados a este devanado. Esta información normalmente se encuentra en las hojas datos, o se pueden calcular tomando en cuenta las consideraciones para cargas resistivas, y la siguiente ecuación de corriente para cargas monofásicas.

$$I = \frac{P}{V * \eta * f.p.} [A]$$

2. Se calcula la potencia aparente necesaria para el transformador.

$$S = V_S * I_S \text{ [kVA]}$$

Con este resultado se selecciona un transformador con una capacidad comercial igual o superior a la obtenida.

- Se calcula el factor de potencia del transformador y la relación de transformación (a).

$$f.p. = \frac{P}{S} \qquad a = \frac{V_P}{V_S}$$

- Se calcula la corriente del primario ya sea con la ecuación de corriente de cargas trifásicas, o con la relación de transformación.

$$I_P = \frac{I_S}{a} \text{ [A]}$$

Tabla 3. Fragmento del cuadro de cargas

ITEM	DESCRIPCIÓN	Voltaje (VAC)	Potencia Entrada (kW)	Corriente Nominal (A AC)	Corriente Protección (A)
	Tablero de potencia				
1	MOTOR 60 HP COMPRESOR // M-2001	460	45,0	68,4	85,52
2	MOTOR 1 HP BOMBA DE DRENAJE BLACKMER // P-1001	460	0,8	1,43	1,79
3	MOTOR 7.5 HP AEROENFRIADOR // M-2003	460	5,6	12,50	15,63
4	MOTOR 1/2 HP BOMBA DE REFRIGERACION // P-2001	460	0,4	0,78	0,98
5	Transformador servicios auxiliares 460/120V	460	1,43	2,36	2,95
	TOTAL		53,14	85,48	106,85
	Transformador de servicios auxiliares				
5,1	Fuente de alimentación 24VDC 10A // Tablero de control	120	0,25	2,19	2,74
5,2	Control o maniobra	120	0,1	0,88	1,10
5,3	Calentador	120	0,15	1,32	1,64
5,4	Ventilación	120	0,1	0,88	1,10
5,5	Tomacorriente	120	0,2	1,75	2,19
5,6	Iluminación	120	0,05	0,44	0,55
5,7	Reserva	120	0,2	1,75	2,19
	TOTAL		1.05	9.21	11.51

Fuente: Autor

En la anterior tabla se observa un pequeño fragmento del cuadro de cargas con los datos más relevantes, para la visualización completa de este dirigirse al anexo H. De estos resultados se observa el valor que tendrá cada protección, incluyendo el totalizador, el cual debe tener una capacidad mayor a 118,36 [A].

10. DISEÑO DEL DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE POTENCIA

10.1. Totalizador

Para el diseño del diagrama unifilar se parte del cuadro de cargas por la selección del totalizador del tablero, para el cual se selecciona un interruptor de caja moldeada regulable de NOARK con una corriente de corte entre 100 – 125 A de referencia Ex9M1S125.

Figura 48. Interruptor de caja moldeada NOARK



Fuente: NOARK

10.2. Barraje

Para la selección del barraje se emplea la tabla de capacidad de corriente de las pletinas de cobre, provista por el proveedor, Cobres de Colombia. En base a esta según la corriente total de la unidad se realiza una selección sobre dimensionada con un factor de 1.7 de pletinas de cobre de 20 mm X 3 mm para cada fase. Para mayor información de las pletinas referirse al anexo I.

Figura 49. Capacidad de corriente de pletinas de cobre

Rango (Amperios)	Dimensione ancho x espesor (milímetros)	NÚMERO DE PLETINAS							
		UNA PLETINA		DOS PLETINAS		TRES PLETINAS		CUATRO PLETINAS	
		Capacidad admisible (Amperios)	Peso unitario (t) (kg/m)	Capacidad admisible (Amperios)	Peso unitario (2t) (kg/m)	Capacidad admisible (Amperios)	Peso unitario (3t) (kg/m)	Capacidad admisible (Amperios)	Peso unitario (4t) (kg/m)
100-200	15x2	128	0,259	-	-	-	-	-	-
	15x3	162	0,383	-	-	-	-	-	-
	20x2	162	0,348	-	-	-	-	-	-
200-300	15x2	-	-	212	0,518	247	0,777	-	-
	15x3	-	-	282	0,766	-	-	-	-
	20x2	-	-	264	0,696	298	1,044	-	-
	20x3	204	0,516	-	-	-	-	-	-
	20x5	274	0,841	-	-	-	-	-	-
	25x3	245	0,65	-	-	-	-	-	-
	30x3	285	0,783	-	-	-	-	-	-

Fuente: Cobres de Colombia

10.3. Interruptores y guardamotores

Para la selección de estas protecciones se multiplica la corriente nominal de cada carga por un factor de 1,25 (esta operación ya se encuentra registrada en el cuadro de cargas) y se selecciona la protección que cumpla con este resultado o la más cercana por encima, adicionalmente se debe tener en cuenta la tensión el número de fases de cada carga para elegir la protección adecuada.

En forma de resumen para el motor del compresor y del DPS se emplearon interruptores de caja moldeada tripolares para 460 VAC, al igual que el totalizador de la marca NOARK; para los motores del aero enfriador, bomba de drenaje, bomba de refrigeración y para la protección aguas arriba del transformador se seleccionan guardamotores de la marca WEG, de igual forma tripolares para 460 VAC; para todas las protecciones aguas abajo del transformador se escogieron mini interruptores de la marca WEG, monopolares y para una tensión de 120 VAC.

Figura 50. Protecciones marca WEG



Fuente: Autor

10.4. Variador de frecuencia y arrancador suave

Para el compresor se selecciona un variador de frecuencia por dos motivos principalmente, el primero es con el fin de proteger el motor de la corriente pico de arranque de este, optimizando el funcionamiento del variador e incrementando la eficiencia de la unidad; el segundo aspecto relevante para su selección es el control del proceso. Como se explicó en la selección del transmisor de presión PIT-101 este va leer la variable de presión en la succión de la unidad y en base a esta lectura la programación del PID del motor del compresor enviara una señal análoga de 4 a 20 mA hacia el variador para que reaccione a los cambios y varíe las revoluciones del motor hasta alcanzar el set point establecido para el equipo. Esta variación de revoluciones sería imposible de realizar sin la implementación de un variador de frecuencia.

Para la selección de un variador se toma como consideración principal la corriente nominal del motor, para el caso esta corriente corresponde a 68,4 A, con este dato se selecciona según el catálogo del proveedor tomando en cuenta la corriente ND (Normal Duty) del variador, ya que la corriente HD (Heavy Duty) se tiene en cuenta para aplicaciones de trabajo pesado. Para el caso del motor escogido se selecciona un variador de frecuencia WEG de la referencia CFW11 0105 T4 SZ.

Figura 51. Variador de frecuencia CFW11 de WEG



Fuente: Autor

Para el aero enfriador se selecciona un arrancador suave para proteger el motor de la corriente pico de arranque, no se emplea un variador debido a que no se requiere controlar otros aspectos del motor. La selección del arrancador también se basa en la corriente nominal del motor. Para esta unidad se selecciona un arrancador suave de referencia SSW07 0017 T5SHAG01Z de la marca WEG.

Figura 52. Arrancador suave SSW07 de WEG



Fuente: Autor

10.5. Contactores y relés térmicos

Para los motores de arranque directo aparte de la protección termomagnética o de un guardamotor, se requiere de un contactor para su accionamiento y de un relé térmico como protección adicional.

Para la selección del contactor se deben tener en cuenta cinco aspectos:

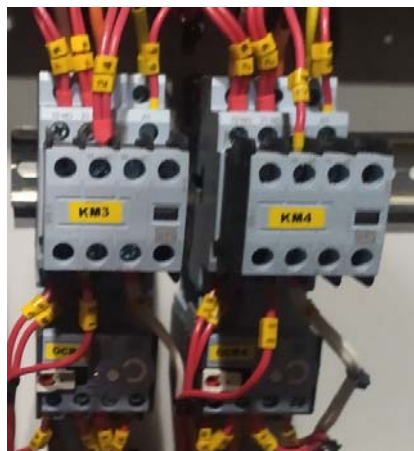
- Numero de polos del contactor
- La categoría de la carga en la cual será empleado el contactor, categoría AC1 para cargas resistivas, y AC3 para cargas inductivas
- La corriente nominal de la carga
- Potencia de la carga
- La tensión de alimentación de la bobina del contactor

Para esta unidad los dos contactores empleados son de 3 polos para las dos bombas de la unidad, de categoría AC3 debido a que los motores eléctricos son cargas inductivas; las dos cargas tienen corriente nominal y potencia bastante parecidas, por lo tal se seleccionan dos contactores iguales para estos, y finalmente la bobina de los contactores

debe ser de 120 V debido a que es el voltaje suministrado por el transformador seleccionado para los servicios auxiliares y control. En base a estas características se seleccionan contactores CWB9-11-30D13 de la marca WEG con una capacidad de 9A para categoría AC3 y tensión de bobina de 110 VAC.

Los relés térmicos se seleccionan a la par con los contactores ya que su ensamblaje viene diseñado para la serie específica del contactor. En base a esto se seleccionan relés térmicos de referencia RW27-2D3-D018 de la marca WEG.

Figura 53. Contactor CWB9 y relé térmico RW27 de WEG



Fuente: Autor

10.6. Dispositivo de protección contra sobretensiones transitorias (DPS)

Para la selección del DPS se toma en cuenta el tipo de protección requerido y la tensión de fase del sistema. Existen tres tipos de DPS:

- TIPO 1: Diseñados para proteger el impacto directo de un rayo, ofreciendo un nivel de protección alto a sobretensiones.
- TIPO 2: Diseñados para proteger el impacto de un rayo sobre la línea de distribución o en las cercanías. Normalmente se emplea en tableros de uso general con una pequeña probabilidad de impacto de rayo.
- TIPO 3: Diseñado para equipos sensibles, ya que su capacidad de protección no es muy alta.

En base a las definiciones anteriores se selecciona un DPS TIPO 2, ya que este es suficiente para la aplicación. Adicionalmente se calcula la corriente de fase como $V_F = \frac{V_L}{\sqrt{3}}$ obteniendo una tensión de 265 V, la cual debe ser la tensión mínima para la selección del DPS. Con base en estos dos criterios se elige un DPS TIPO 2 de referencia A9L40600 de Schneider Electric.

Figura 54. DPS TIPO 2 de Schneider Electric



Fuente: Autor

10.7. Fuente AC – DC

Se requiere dado que el tablero de control requiere alimentación a 24 VDC para todos sus componentes, como lo son el PLC, HMI, switch, y adicionalmente toda la instrumentación seleccionada requiere este voltaje para su energización, así como para algunos relés auxiliares de control en el mismo tablero de potencia.

Para su selección se realiza una sumatoria de las corrientes consumidas por cada equipo alimentado a 24 VDC, esta información se encuentra en las hojas de datos de los equipos, y es de resaltar que normalmente ronda por el rango de los mA.

En forma aproximada la corriente de todos los equipos alcanza el valor de 7,2 A, por lo tanto, se selecciona una fuente de 10 A de referencia TRIO-PS-2G/1AC/24DC/10 de PHOENIX CONTACT.

Figura 55. Fuente DC 42 V de Phoenix Contact



Fuente: Autor

10.8. Conductores

Para la selección de los conductores de se toma en cuenta la corriente nominal que circulara por cada circuito del tablero, y en base a esta corriente multiplicada por un factor de 1.25 como indica la NTC 2050 se selecciona el calibre del conductor en base a la table numero 310.15 (B) (16) de esta norma. Dichos cálculos se evidencian con claridad en el cuadro de cargas.

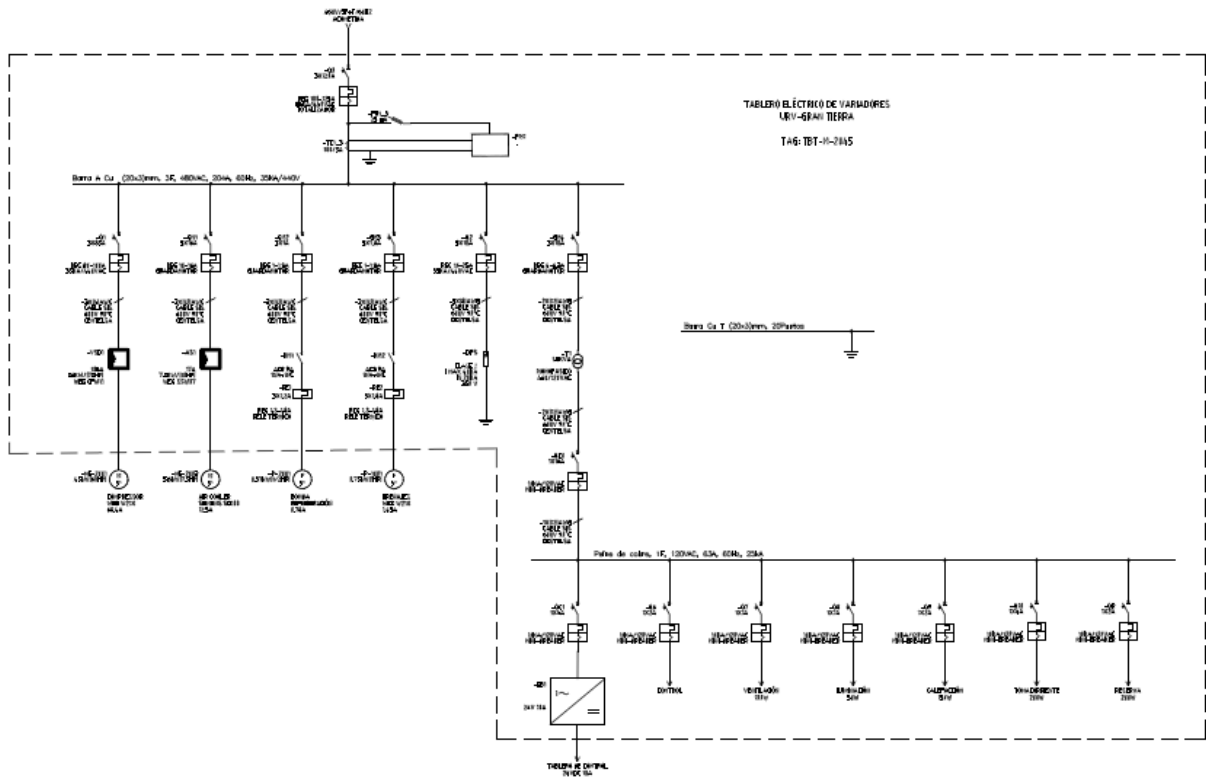
Figura 56. Fragmento de la tabla 310.15 (B) (16) de la NTC 2050

Sección trans.	Temperatura nominal del conductor [Ver Tabla 310.104(A).]						Calibre
	60 °C	75 °C	90 °C	60 °C	75 °C	90 °C	
	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE, ZW	Tipos TBS, SA, SIS, FEP, FEPB, MI, RHH, RHW-2, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	Tipos TW, UF	Tipos RHW, THHW, THW, THWN, XHHW, USE	Tipos TBS, SA, SIS, THHN, THHW, THW-2, THWN-2, RHH, RHW-2, USE-2, XHH, XHHW, XHHW-2, ZW-2	
mm ²	COBRE			ALUMINIO O ALUMINIO RECUBIERTO DE COBRE			AWG kcmil
0,82	—	—	14	—	—	—	18**
1,31	—	—	18	—	—	—	16**
2,08	15	20	25	—	—	—	14**
3,30	20	25	30	15	20	25	12**
5,25	30	35	40	25	30	35	10**
8,36	40	50	55	35	40	45	8
13,29	55	65	75	40	50	55	6
21,14	70	85	95	55	65	75	4
26,66	85	100	115	65	75	85	3
33,62	95	115	130	75	90	100	2
42,2	110	130	145	85	100	115	1
53,5	125	150	170	100	120	135	1/0
67,44	145	175	195	115	135	150	2/0
85,02	165	200	225	130	155	175	3/0
107,21	195	230	260	150	180	205	4/0

Fuente: NTC 2050

En base a los criterios de selección anteriormente expuestos se realiza el diseño del diagrama unifilar de lo unidad recuperadora de vapores siguiendo los lineamientos establecidos por las normativas colombianas vigentes, RETIE y NTC 2050. A continuación, se presenta una visualización del plano terminado, elaborado en el programa AutoCAD, para obtener mayor detalle dirigirse al anexo J.

Figura 57. Diagrama unifilar del tablero de potencia



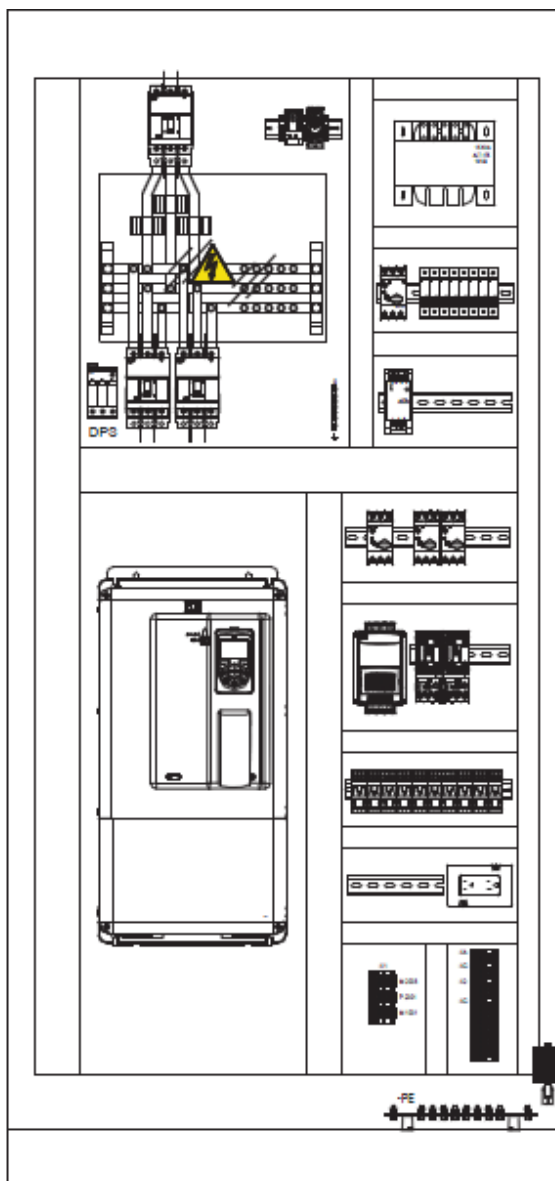
Fuente: Autor

11. DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN MECÁNICA DEL TABLERO DE POTENCIA

Este plano muestra de forma real como se distribuirán todos los equipos del tablero, así como la forma y dimensiones reales del gabinete. Para el montaje de estos equipos se deben tener en cuenta aspectos como el espaciado entre fases del barraje, distancias mínimas requeridas para la correcta disipación de aire del variador, ubicación del sistema de ventilación del tablero, entre otras recomendaciones dadas por los fabricantes y la normativa de tableros IEC 61439.

Debido a que la empresa actualmente no cuenta con la certificación RETIE para la fabricación de tableros eléctricos de potencia, el diseño de distribución mecánica del tablero de potencia, así como el ensamblaje del tablero se realiza en compañía de la empresa tablerista COFRECOL. Para el diseño de esta distribución se toma como base el diagrama unifilar planteado en el ítem anterior. A continuación, se muestra de forma general el plano de distribución mecánica del tablero de potencia y para mayor detalle dirigirse al anexo K.

Figura 58. Plano de disposición mecánica del tablero de potencia



Fuente: Cofrecol

12. LISTADO DE SEÑALES DEL SISTEMA DE CONTROL

El equipo más importante para el control y automatización de la unidad recuperadora de vapores es el PLC, este se encargará de recibir todas las señales de la instrumentación y del correcto funcionamiento de los equipos, adicionalmente por medio de sus salidas enviará órdenes a los equipos para la puesta en marcha y control del sistema. En base a esto se requiere hacer una correcta selección del PLC que tenga la capacidad de recibir y enviar el número de señales necesarias, para esto se realiza un listado de señales

adicionando un 30% extra de entradas y salidas, para prever posibles actualizaciones del equipo. En base a esto se da una pequeña explicación de las señales requeridas para el sistema. En la tabla de la lista de señales se observa el tag de la señal, el tag del equipo que emite la señal, una pequeña descripción de la señal, el tipo de señal, el modelo del PLC o modulo en la que está conectada la señal, el slot y canal que ocupara la señal en el PLC o modulo, y el voltaje de la señal.

12.1. Entradas digitales

Son las señales que recibe el PLC en forma de pulso, con dos posibles valores 0 o 24 VDC. De este tipo de señal se tienen contempladas 21 señales para esta URV:

- Una para la parada de emergencia del equipo, esta se acciona por medio de cualquiera de los pulsadores de emergencia, ya sea del tablero de potencia o del tablero de control. Se establece una sola señal para los dos, ya que serán conectados en serie.
- Una segunda parada de emergencia que será administrada desde el cuarto de control de la planta o el SCADA.
- Una orden de apagado bajo condiciones normales también para disposición desde el SCADA.
- Cuatro confirmaciones de arranque de los equipos, una por cada motor, esta señal tendrá origen en el variador de frecuencia, arrancador suave o contactor según corresponda a cada equipo, y será enviada al PLC por medio de un relé auxiliar de 110 VAC ubicado en el tablero de potencia.
- Cuatro señales de fallo de los equipos, una por cada motor, esta señal será transmitida por el variador de frecuencia, arrancador suave o relé térmico según corresponda a cada equipo, y por medio de un relé auxiliar de 110 VAC ubicado en el tablero de potencia hasta el PLC.
- Dos señales de apertura y dos señales de cierre, una de cada una por cada válvula on / off de la URV, esta señal es enviada al PLC por el posicionador ubicado en la parte superior de cada actuador neumático.
- Una señal del interruptor de vibraciones del aero enfriador para cuando detecte un incremento excesivo en las vibraciones.
- Cuatro señales de los interruptores de nivel, uno por cada interruptor, cuyas funciones están descritas en el ítem de selección de instrumentación.
- Una para el interruptor de no flujo de aceite del compresor, para detectar deficiencias en la lubricación.

Tabla 4. Listado de entradas digitales del PLC

ITEM	TAG EQUIPO	TAG SEÑAL	DESCRIPCION	TIPO DE SEÑAL	TIPO I/O	TAG I/O	MÓDULO	SLOT	CHANNEL	SEÑAL
1	PE-001	ESD-001	Parada de emergencia del compresor	Digital	DI	DI1 [0]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 0	24 VDC
2	-	YOF-101	Parada de emergencia remoto desde el DCS	Digital	DI	DI1 [1]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 1	24 VDC
3	RF1	ESD-REM	Orden de apagado remoto	Digital	DI	DI1 [2]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 2	24 VDC
4	KA1	XSR-M-2001	Confirmación de arranque motor M-2001 compresor	Digital	DI	DI1 [3]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 3	24 VDC
5	KA3	XSR-M-2003	Confirmación de arranque motor M-2003 aerocentrifador	Digital	DI	DI1 [4]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 4	24 VDC
6	KM1	XSR-P-2001	Confirmación de arranque bomba P-2001 refrigeración	Digital	DI	DI1 [5]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 5	24 VDC
7	KM2	XSR-P-1001	Confirmación de arranque bomba P-1001 drenajes	Digital	DI	DI1 [6]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 6	24 VDC
8	KA2	XSF-M-2001	Fallo motor M-2001 compresor	Digital	DI	DI1 [7]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 7	24 VDC
9	KA4	XSF-M-2003	Fallo motor M-2003 aerocentrifador	Digital	DI	DI1 [8]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 8	24 VDC
10	KA7	XSF-P-2001	Fallo bomba P-2001 refrigeración	Digital	DI	DI1 [9]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 9	24 VDC
11	KAB	XSF-P-1001	Fallo bomba P-1001 drenajes	Digital	DI	DI1 [10]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 10	24 VDC
12	ZV-101	ZSQ-LY-101	Estado posición abierta válvula LY-101	Digital	DI	DI1 [11]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 11	24 VDC
13	ZV-401	ZSQ-LY-401	Estado posición abierta válvula LY-201	Digital	DI	DI1 [12]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 12	24 VDC
14	ZV-101	ZSC-LY-101	Estado posición cerrada válvula LY-101	Digital	DI	DI1 [13]	PLC-X0W 2080 LC50-24Q(BB)	TB1	IN 13	24 VDC
15	ZV-401	ZSC-LY-401	Estado posición cerrada válvula LY-201	Digital	DI	DI2 [0]	MOD V 2085-IQ16	TB1	IN 14	24 VDC
16	VSHH-201	VSHH-201	Interruptor de vibración del aerocentrifador M-2003	Digital	DI	DI2 [1]	MOD V 2085-IQ16	TB1	IN 15	24 VDC
17	LS-103	LSHH-102	Interruptor de nivel alto del separador de succión V-1001	Digital	DI	DI2 [2]	MOD V 2085-IQ16	TB1	IN 16	24 VDC
18	LS-102	LSH-101	Interruptor de nivel alto del separador de succión V-1001	Digital	DI	DI2 [3]	MOD V 2085-IQ16	TB1	IN 17	24 VDC
19	LS-101	LSL-101	Interruptor de nivel bajo del separador de succión V-1001	Digital	DI	DI2 [4]	MOD V 2085-IQ16	TB1	IN 18	24 VDC
20	LS-302	LSH-302	Interruptor de nivel alto del separador de condensados V-3001	Digital	DI	DI2 [5]	MOD V 2085-IQ16	TB1	IN 19	24 VDC
21	NFS-201	FSD-201	Interruptor de señal de no flujo en la bomba de lubricación	Digital	DI	DI2 [6]	MOD V 2085-IQ16	TB1	IN 20	24 VDC

Fuente: Autor

12.2. Salidas digitales

Son señales que emite el PLC en forma de pulso, con dos posibles valores 0 o 24 VDC, según la orden que deba dar. Hay que aclarar que para cada salida digital del PLC se emplea un relé auxiliar a la salida de PLC con el fin de protegerle. De este tipo de señal se tienen contempladas 7 señales para esta URV:

- Cuatro como ordenes de arranque y parada de cada motor, estas serán dirigidas hacia el variador de frecuencia, arrancador suave o bobina del contactor según corresponda para cada equipo.
- Dos órdenes de apertura y cierre, una por cada válvula on / off del equipo, estas señales van dirigidas hacia el solenoide de las válvulas, para abrir o cerrar según se requiera.
- Una señal de falla enviada hacia la sala de control o el SCADA en caso de cualquier falla del equipo.

Tabla 5. Lista de salidas digitales del PLC

ÍTEM	TAG EQUIPO	TAG SENAL	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SENAL	TIPO I/O	TAG I/O	MÓDULO	SLOT	CHANNEL	SEÑAL
31	PLC 101	HSR M 2001	Arranque y parada motor compresor ME 2001	Digital	DO	DOI [0]	PLC 101/ 2080 L C50 24QBB	TB2	OUT 0	24 VDC
32	PLC 101	HSR M 2003	Arranque y parada motor aerorefrigerador M 2003	Digital	DO	DOI [1]	PLC 101/ 2080 L C50 24QBB	TB2	OUT 1	24 VDC
33	PLC 101	HSR P 2001	Arranque y parada motor bomba P 2001 refrigeración	Digital	DO	DOI [2]	PLC 101/ 2080 L C50 24QBB	TB2	OUT 2	24 VDC
34	PLC 101	HSR P 1001	Arranque y parada motor bomba P 1001 drenajes	Digital	DO	DOI [3]	PLC 101/ 2080 L C50 24QBB	TB2	OUT 3	24 VDC
35	PLC 101	XSV LY 101	Orden de apertura y cierre válvula LY 101	Digital	DO	DOI [4]	PLC 101/ 2080 L C50 24QBB	TB2	OUT 4	24 VDC
36	PLC 101	XSV LY 401	Orden de apertura y cierre válvula LY 401	Digital	DO	DOI [5]	PLC 101/ 2080 L C50 24QBB	TB2	OUT 5	24 VDC
37	PLC 101	XA 101	Señal de falla en el sistema de compresión al DCS	Digital	DO	DOI [6]	PLC 101/ 2080 L C50 24QBB	TB2	OUT 6	24 VDC

Fuente: Autor

12.3. Entradas análogas

Son las señales que recibe el PLC en forma variable dentro del rango de 4 – 20 mA, en relación a la lectura que haga el instrumento. De este tipo de señal se tienen contempladas 5 señales para esta URV:

- Tres para los transmisores de presión instalados en la succión y descarga del compresor.
- Dos para los transmisores de temperatura instalados a la descarga del compresor y del aero enfriador.

Tabla 6. Lista de entradas análogas del PLC

ÍTEM	TAG EQUIPO	TAG SENAL	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SENAL	TIPO I/O	TAG I/O	MÓDULO	SLOT	CHANNEL	SEÑAL
41	PIT 101	PIT 101	Transmisor de presión en el scrubber de succión V 1001	Análogica	AI	AI1 [0]	MOD 2/ 2085 IFB	TB1	1 IN 0+	4 20 mA
42	PIT 201	PIT 201	Transmisor de presión en la descarga del compresor	Análogica	AI	AI1 [1]	MOD 2/ 2085 IFB	TB1	1 IN 1+	4 20 mA
43	TT 201	TT 201	Transmisor de temperatura en la descarga del compresor	Análogica	AI	AI1 [2]	MOD 2/ 2085 IFB	TB1	1 IN 2+	4 20 mA
44	TT 301	TT 301	Transmisor de temperatura en la descarga del aerorefrigerador E 2002	Análogica	AI	AI1 [3]	MOD 2/ 2085 IFB	TB1	1 IN 3+	4 20 mA
45	PIT 501	PIT 501	Transmisor de presión en la succión	Análogica	AI	AI1 [4]	MOD 2/ 2085 IFB	TB2	1 IN 4+	4 20 mA

Fuente: Autor

12.4. Salidas análogas

Son las señales que emite el PLC en forma variable dentro del rango de 4 – 20 mA, en relación al control que requiera el equipo. De este tipo de señal se tienen contempladas 3 señales para esta URV:

- Dos para controlar el porcentaje de apertura y cierre de las válvulas reguladoras ubicadas en la succión y recirculación del proceso. Esta señal es recibida por el transductor I/P de cada válvula, para convertir esta señal eléctrica en una señal neumática que mueva la válvula.

- Una señal para controlar las revoluciones del motor del compresor en base a las variaciones de presión que presente el equipo en la succión. Esta señal será recibida por una entrada análoga del variador de frecuencial, el cual se encargará de ajustar la velocidad.

Tabla 7. Lista de salidas análogas del PLC

ÍTEM	TAG EQUIPO	TAG SEÑAL	DESCRIPCIÓN	TIPO DE SEÑAL	TIPO I/O	TAG I/O	MÓDULO	SLOT	CHANNEL	SEÑAL
49	LY-50I	II-LY-50I	Actuador proporcional I/P de apertura/cierre de válvula LY-50I	Análogica	AO	AO1 [0]	MOD 3/ 2085-OF4	TB1	I OUT 0+	4-20 mA
50	LY-30I	II-LY-30I	Actuador proporcional I/P de apertura/cierre de válvula LY-30I	Análogica	AO	AO1 [1]	MOD 3/ 2085-OF4	TB1	I OUT 1+	4-20 mA
51	PLC-10I	SI-ME-200I	Referencia de velocidad motor compresor ME-200I	Análogica	AO	AO1 [2]	MOD 3/ 2085-OF4	TB1	I OUT 2+	4-20 mA

Fuente: Autor

Finalmente, en base a este listado de señales se realizó la selección de un PLC de la marca ALLEN BRADLEY de referencia 2080 – LC50 – 24QBB, con una capacidad de 14 entradas digitales a 24 VDC y 10 salidas digitales a 24 VDC. Dado a la evidente falta de disponibilidad de entradas y salidas en el PLC se adicionan también un módulo de referencia 2085 – IQ16 con capacidad para 16 entradas digitales, un módulo de referencia 2085 – IF8 con capacidad para 8 entradas análogas y un módulo de referencia 2085 – OF4 con capacidad de 4 salidas análogas. A continuación, se muestra el PLC junto a los módulos seleccionados, y se adjunta la lista de señales completa como anexo L.

Figura 59. PLC micro 850 de Allen Bradley con módulos de expansión



Fuente: Autor

13. ARQUITECTURA DEL SISTEMA DE CONTROL

La arquitectura de control da una representación gráfica de los equipos encargados de recibir y emitir señales en la unidad, así como las conexiones de comunicación que se realizan entre los equipos como el PLC, HMI, variador de frecuencia, etc. Este plano sirve

como referencia del tipo de señales y de equipos a la hora de realizar la programación de la unidad.

En la arquitectura planteada para esta unidad recuperadora de vapores adicionalmente a los equipos de instrumentación y de control como relés, contactores, variador de frecuencia, arrancador suave y variador de frecuencia, se pueden evidenciar cuatro elementos de los que no se ha hablado.

El primero y más relevante es la pantalla HMI (interfaz maquina humano), esta es la encargada de dar libertad al operario de manipular el equipo sin tener que intervenir en el código de programación del PLC. Para seleccionar esta HMI se deben tener en cuenta aspectos como el tamaño del display, la capacidad de memoria y el método de comunicación. Para esta unidad se selecciona una pantalla de ALLEN BRADLEY Panel View 800 de 10.4" de referencia 2711P-T10C21D8S dado a su compatibilidad con el PLC ya seleccionado.

Figura 60. HMI Panel View 800 de Allen Bradley



Fuente: Autor

El segundo elemento es el módulo de comunicación tipo plug-in 2080 – SERIOLISOL, como se evidencia en la figura 59, para la comunicación entre el variador de frecuencia y el PLC, ya que este último solo cuenta con un puerto para interfaz RS - 485 con conector RJ – 45, por lo tanto, este módulo permite conectar otro equipo por interfaz RS – 485. Sin embargo, este no es suficiente para realizar la conexión entre el variador y el PLC, debido a que el protocolo de comunicación por defecto del variador seleccionado el CAN OPEN, y nuestro sistema debe trabajar con comunicación MODBUS RTU, por lo tanto, se instala un Gateway en el variador para convertir este protocolo de comunicación y permitir la conexión por medio de un cable de interfaz RS – 485 al módulo 2080 – SERIOLISOL del PLC.

Figura 61. Gateway de comunicación CAN / RS-485 de variador de frecuencia WEG



Fuente: Autor

Finalmente, el último elemento requerido para la correcta comunicación de la unidad recuperadora de vapores es un switch que permita la conexión de varios equipos, dado que el PLC no tiene puertos suficientes. Para este caso se selecciona un switch no administrable de PHOENIX CONTACT de referencia FL SWITCH 1005N el cual tiene capacidad de 5 puertos para conector RJ – 45, de los cuales se emplean dos para el PLC y el HMI, dejando tres libres para conectar al SCADA de la planta, para un PC directamente, o incluso como una reserva para futuras ampliaciones del sistema.

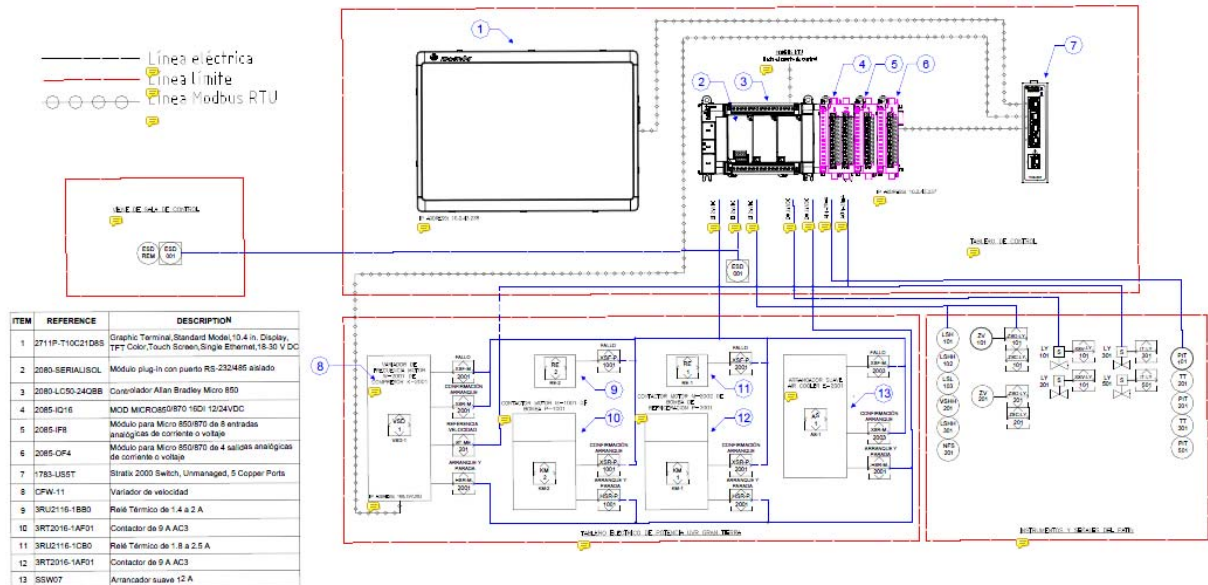
Figura 62. Switch no administrable 1005N de Phoenix Contact



Fuente: Autor

A continuación, se muestra el plano de la arquitectura de control, para más detalle referirse al anexo M.

Figura 63. Arquitectura de control



Fuente: Autor

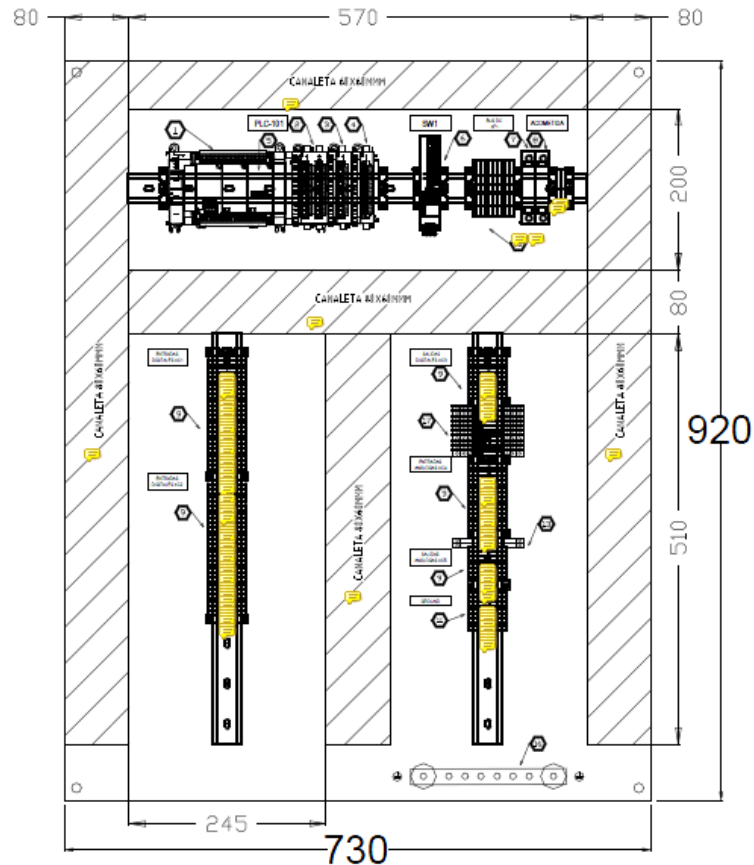
14. DISEÑO DE DISTRIBUCIÓN MECÁNICA DEL TABLERO DE CONTROL

Para la distribución del tablero de control no hay ningún tipo de restricción especial para los equipos, ya que está compuesto básicamente por el PLC, el HMI, el SWITCH y bornas, por lo tanto, la distribución se realiza a consideración del diseñador, recomendando posicionar el PLC y la entrada de tensión de 24 VDC en la parte superior del tablero. Este tablero al igual que el de potencia debe estar correctamente aterrizado al patín, e igualmente debe tener una platina de tierra dentro del tablero para el aterrizaje de los cables, el PLC, HMI y switch.

Es de destacar que este tablero es instalado sobre la unidad recuperadora de vapores, por lo tanto, debe ser apropiado para trabajar en área clasificada e intemperie, por lo cual, debe ser en acero inoxidable y cuenta con un sistema de presurización cuyo objetivo es el intercambio constante de aire entre el interior del tablero y el ambiente, evitando que se acumulen gases explosivos dentro del gabinete. Por otro lado, se aclara que el tablero de potencia estará ubicado fuera del área clasificada y estará sobre un shelter, por lo tanto, basta con hacerlo en lamina cold rolled y sin sistema de presurización.

A continuación, se observa el diseño de la bandeja del tablero, y para observar el diseño completo del encerramiento dirigirse al anexo N.

Figura 64. Diseño de distribución mecánica del tablero de control



Fuente: Autor

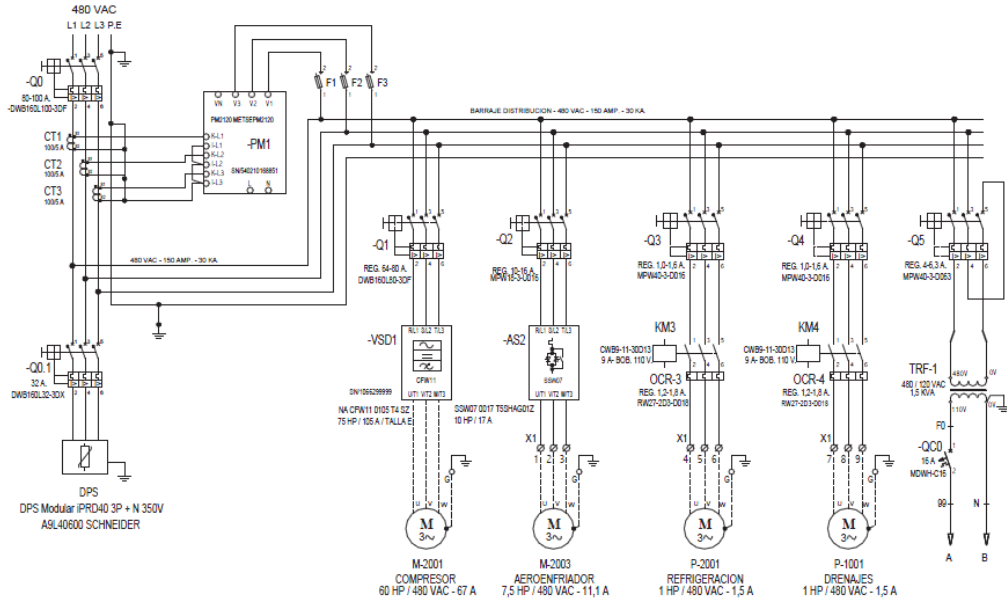
15. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL TABLERO DE POTENCIA

Este diagrama es la representación literal de cómo son todas las conexiones que se deben realizar entre los diferentes equipos del tablero, este plano es crucial para la interconexión del tablero ya que brinda los lineamientos para el realizar el cableado y marquillado correspondiente.

Los lineamientos para la conexión de cada equipo se toman de los manuales y catálogos de los equipos, así como del diseño de maniobras y de control que considere el diseñador. Este diagrama se realiza en acompañamiento de la empresa Cofrecol encargada de la fabricación del tablero.

De forma general este plano inicia con el diagrama unifilar del tablero iniciando con el totalizador, y cada circuito de protección de los motores, la conexión del DPS, medidor de parámetros y hasta llegar al transformador de 480 / 120 VAC.

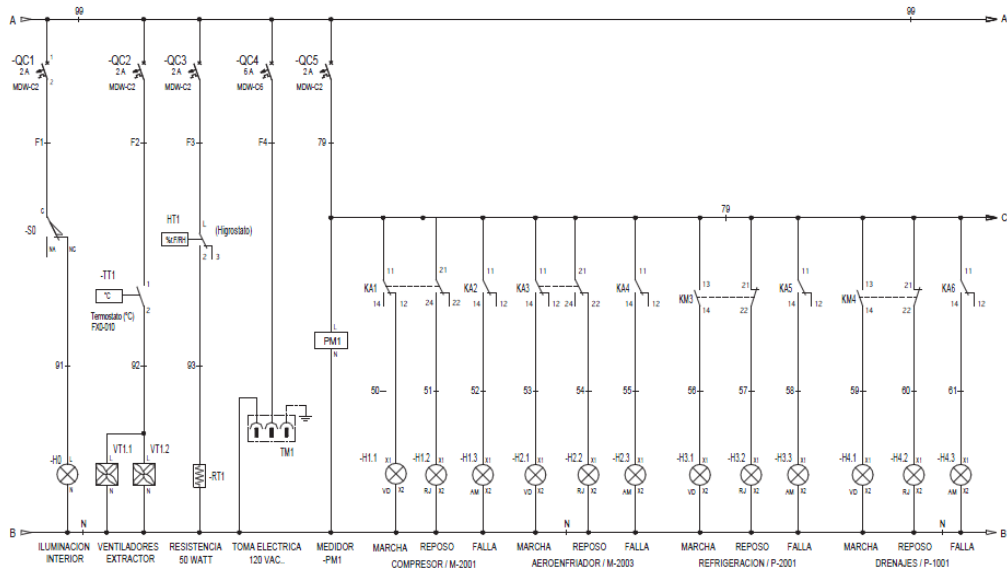
Figura 65. Diagrama trifilar del tablero de potencia



Fuente: Cofrecol

A la salida del transformador se encuentran las protecciones de 120 VAC y los circuitos de iluminación interior del tablero, ventilación, calefacción, toma corriente y todos los pilotos instalados en la puerta del tablero para verificación de estado de los motores.

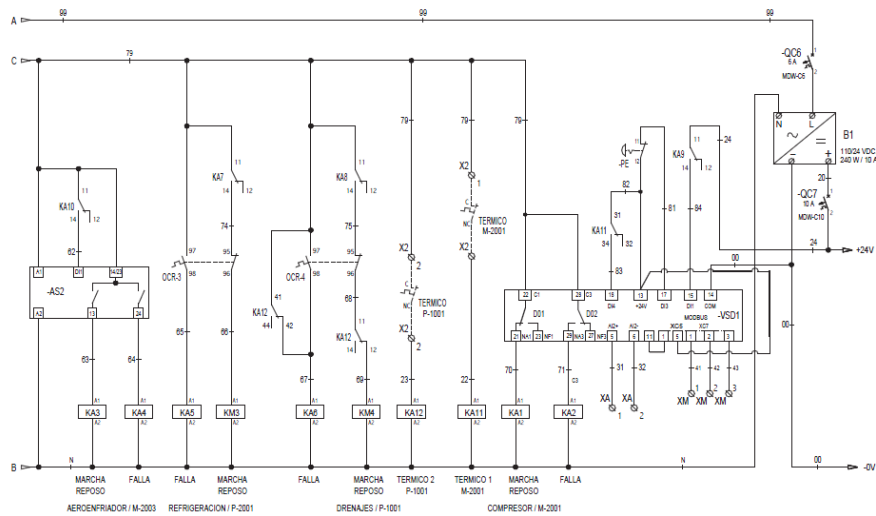
Figura 66. Diagrama de conexiones de servicios auxiliares y pilotos del tablero de potencia



Fuente: Cofrecol

La continuación del sistema de control del tablero de potencia y puede que la más importante es la conexión de las señales de arranque y parada, confirmación de arranque y falla de cada motor, los cuales varía según los equipos instalados para cada motor, como lo es el variador de frecuencia, arrancador suave, contactores y relés térmicos. En paralelo a esto se encuentra la conexión de la fuente AC – DC de 24 VDC la cual suministrara la tensión requerida al tablero de control.

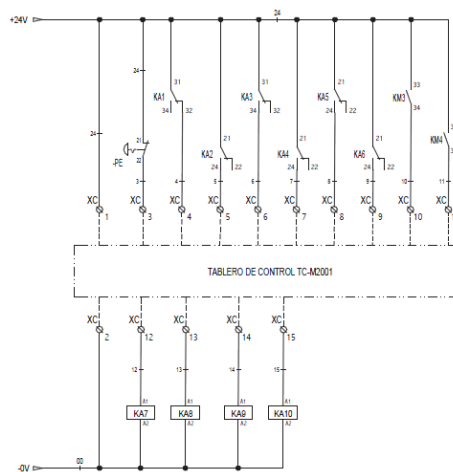
Figura 67. Diagrama de conexión de las señales de control del tablero de potencia



Fuente: Cofrecol

Finalmente, el diagrama concluye con las conexiones que deben llevarse y traerse del tablero de control para el correcto funcionamiento de la unidad recuperadora de vapores.

Figura 68. Diagrama de conexiones entre los tableros de potencia y control



Fuente: Cofrecol

Para una visualización más clara de los diagramas de conexiones del tablero de potencia referirse al anexo O. Estos diagramas deben ser amarillados luego de la fabricación del tablero, con el fin de comprobar el correcto conexionado del tablero eléctrico. A continuación, se observa el tablero de potencia finalizado.

Figura 69. Tablero de potencia de unidad recuperadora de vapores



Fuente: Autor

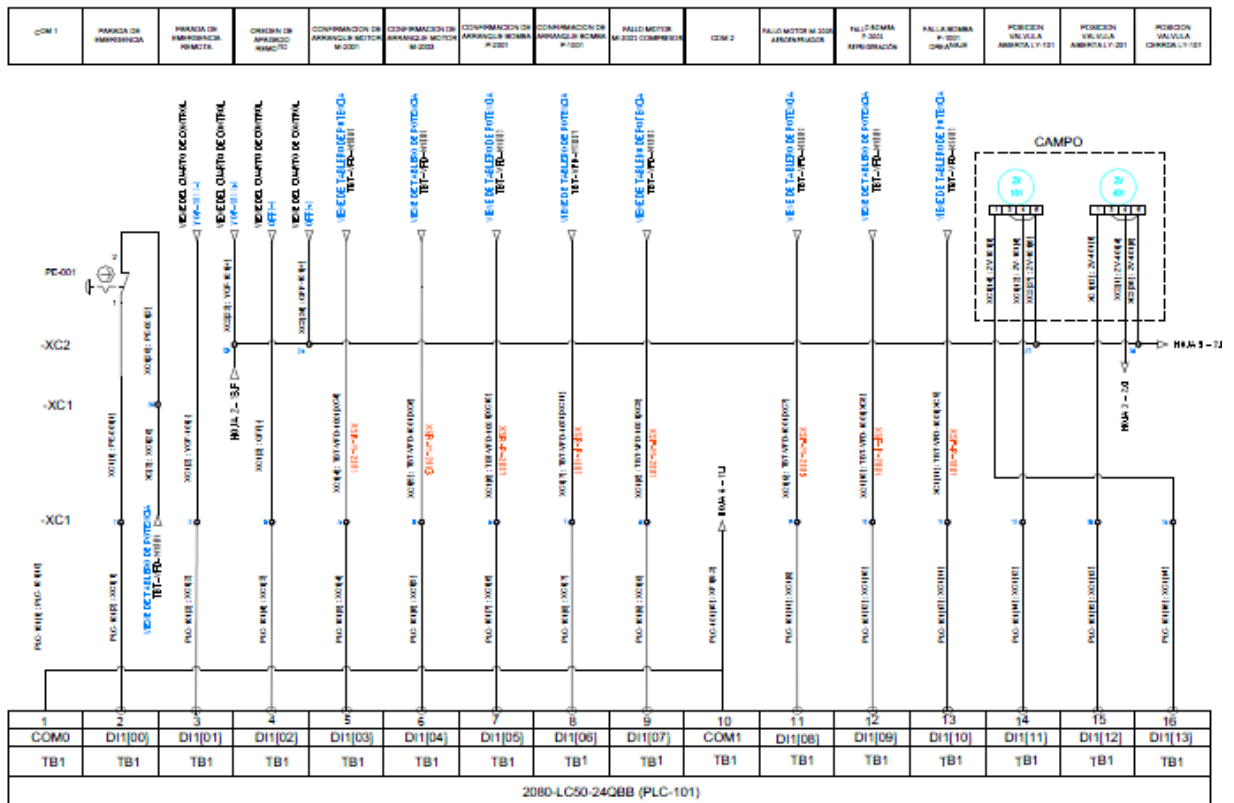
16. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL TABLERO DE CONTROL

Este plano representara de forma literal todas las conexiones realizadas en el tablero de control, donde de forma general se realizan las conexiones de todas las entradas y salidas del PLC, especificando el terminal al cual se conectará cada una. También incluye todas las bornas, relés e incluso el marquillado que llevara cada cable a la hora de fabricar el tablero.

Se organizan los planos en base al orden presentado en la lista de señales de la unidad recuperadora de vapores, iniciando con el listado de entradas digitas conectadas directamente al PLC, las cuales son las señales de parada de emergencia, las confirmaciones de arranque y fallas de los motores y los posicionadores de las válvulas

on / off. La conexión de estas señales proviene o de relés auxiliares del tablero de potencia como se observa en el diagrama de conexiones del tablero de potencia, o del posicionador según corresponda. Hay que aclarar que la conexión de cada instrumento se basa en los diagramas de conexión entregados por los fabricantes de cada instrumento o del PLC.

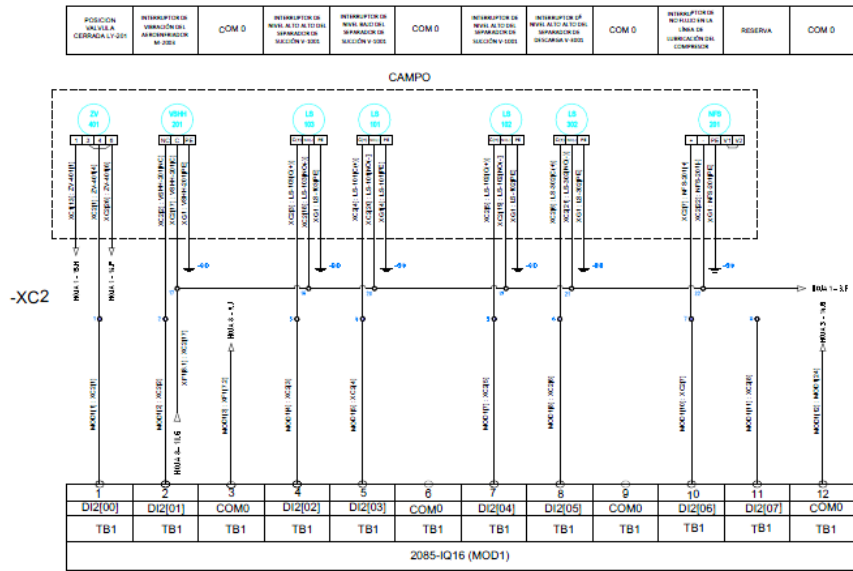
Figura 70. Diagrama de conexiones de entradas digitales al PLC en el tablero de control



Fuente: Autor

Se continua con las conexiones de las entradas digitales que están conectadas en el módulo de expansión de entradas digitales, en donde se encuentran conectados todos los interruptores de instrumentación instalados en la URV, los de nivel, vibraciones y no flujo.

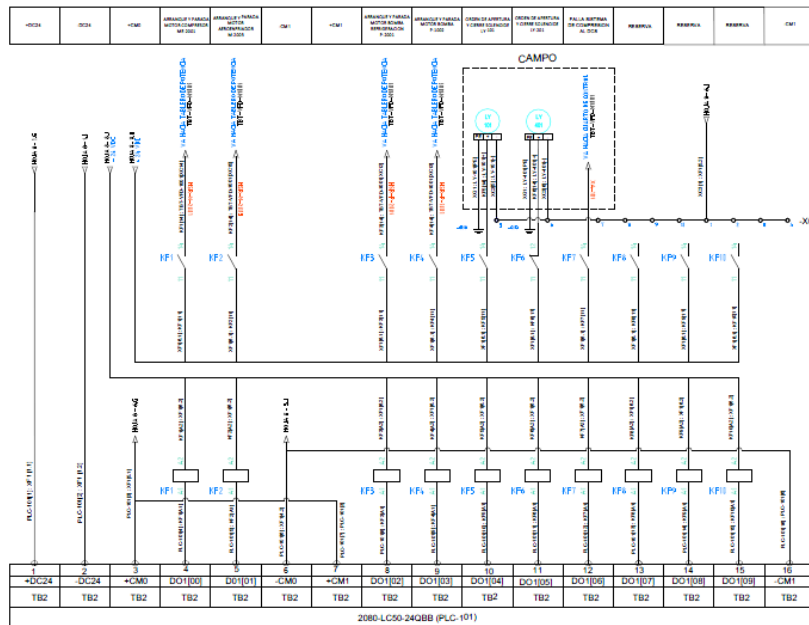
Figura 71. Diagrama de conexiones de las entradas digitales del módulo de expansión del PLC



Fuente: Autor

El conexionado de las salidas digitales no se realiza directamente entre el PLC y los equipos receptores, sino se realizan entre el PLC y relés auxiliares de 24 VDC, con el fin de proteger el PLC, y el relé se encargará de enviar la orden a el receptor.

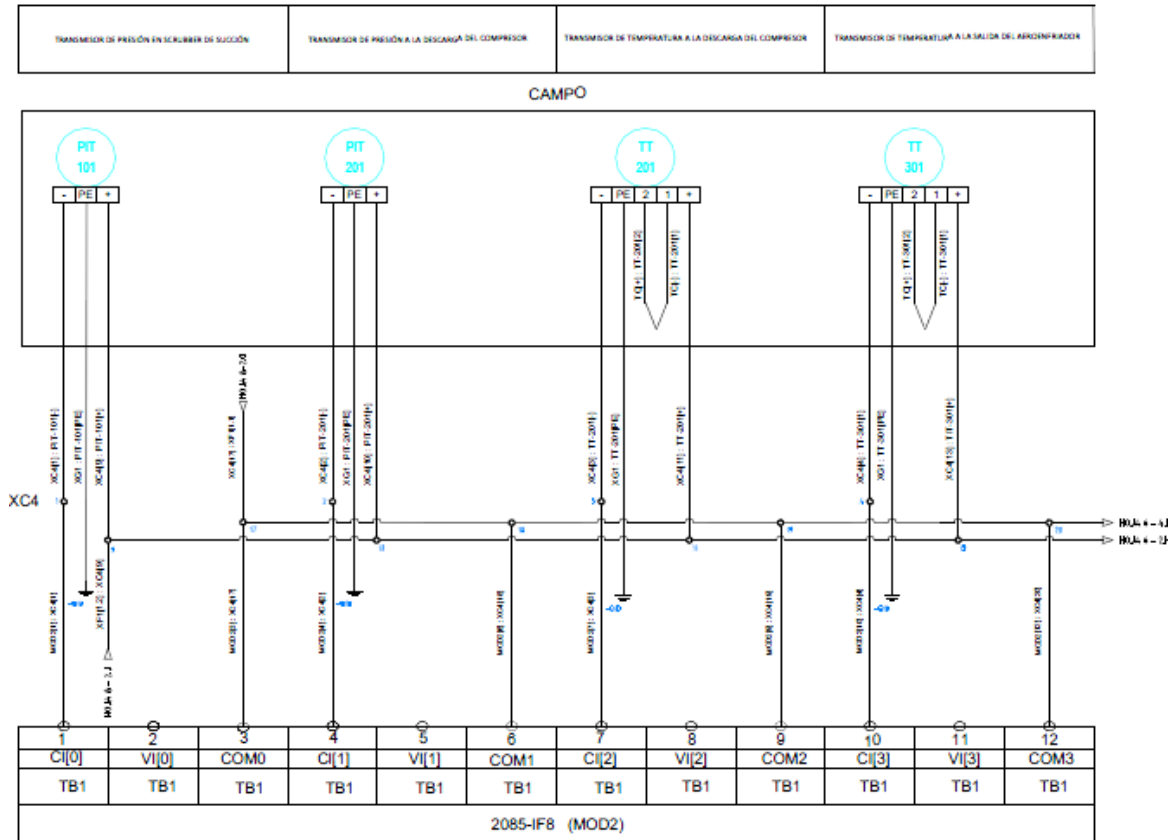
Figura 72. Diagrama de conexión de las salidas digitales del PLC



Fuente: Autor

En las entradas análogas se muestra la conexión de todos los transmisores de la unidad recuperadora de vapores, para este caso todos son de 4 - 20 mA y su conexión se realiza al módulo de entradas análogas. Hay que destacar que en los transmisores de temperatura también se evidencia la conexión en campo de la termocupla que censura la temperatura.

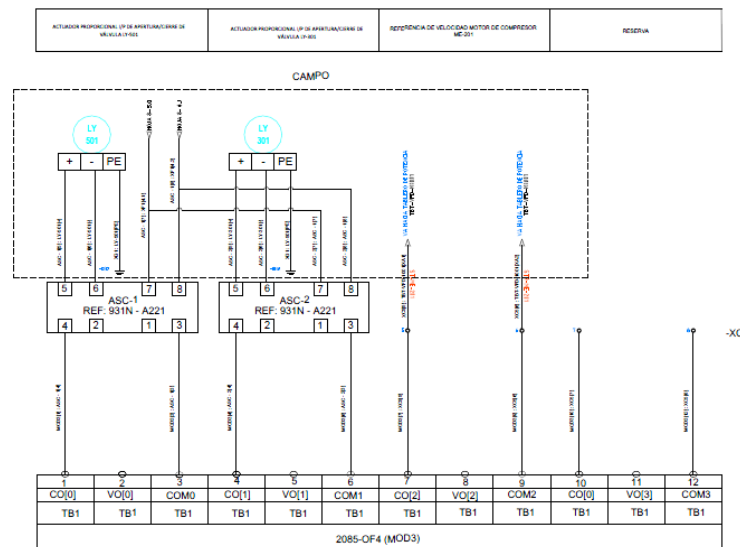
Figura 73. Diagrama de conexión de las entradas análogas en el módulo de expansión del PLC



Fuente: Autor

Para las salidas análogas a las válvulas reguladoras se instala un amplificador de señal, el cual tomara la señal emitida por el PLC y la replicara hacia las válvulas, pero con un incremento de tensión, ya que debido a la alta impedancia de estas una conexión directa entre el PLC y la válvula podría reducir la tensión y no alcanzar a mover la válvula. Para la conexión al variador de frecuencia se realiza de forma sencilla a través de un relé auxiliar.

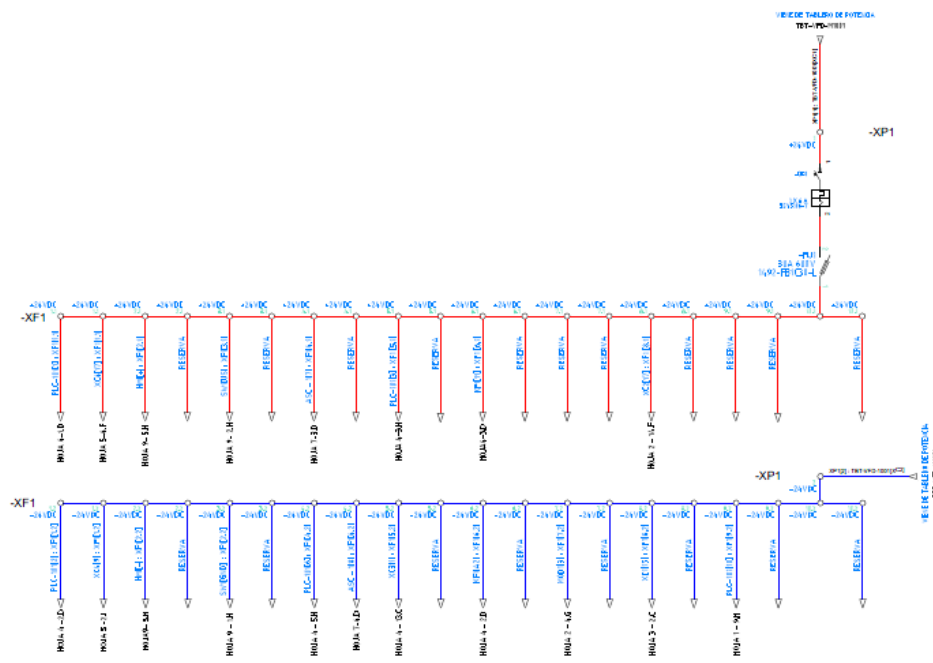
Figura 74. Diagrama de conexiones de las salidas analógicas del módulo de expansión del PLC



Fuente: Autor

En los diagramas de conexión también se representan las conexiones de la alimentación extraída del tablero de potencia a 24 VDC, para todos los equipos que lo requieran, como se observa a continuación.

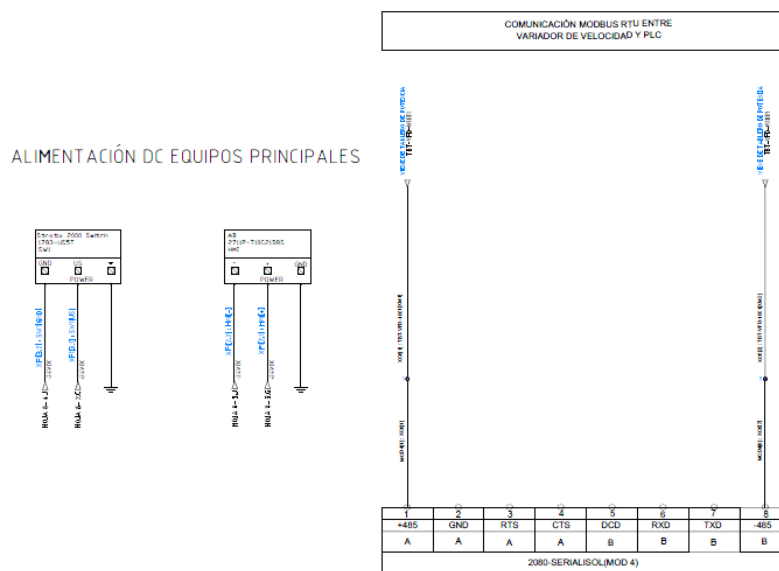
Figura 75. Diagrama de conexiones de alimentación de equipos del tablero de control



Fuente: Autor

Finalmente se presenta la conexión eléctrica al HMI, switch no administrable y al módulo de comunicación SERIOLISOL hacia el variador de frecuencia.

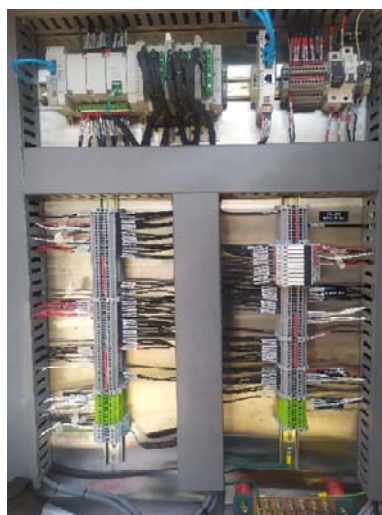
Figura 76. Diagrama de conexión de HMI, SWITCH y módulo de comunicación



Fuente: Autor

Para una visualización más clara de los diagramas de conexiones del tablero de control referirse al anexo P. Estos diagramas deben ser amarillados luego de la fabricación del tablero, con el fin de comprobar el correcto conexionado del tablero eléctrico. A continuación, se observa el tablero de potencia finalizado.

Figura 77. Tablero de control de la unidad recuperadora de vapores



Fuente: Autor

17. RUTEO ELECTRICO DE LA UNIDAD RECUPERADORA DE VAPOR

Para el ruteo eléctrico se deben tomar en cuenta tres consideraciones principales, la primera consiste en utilizar tuberías diferentes para transportar cableado de potencia y cableado de control e instrumentación. Por cableado de potencia para esta URV entiéndase como los conductores energizados a 480 VAC para los motores, y como control e instrumentación entiéndase como el cableado de todos los conductores que transporten las diferentes señales desde cualquier punto de la unidad recuperadora de vapores hacia el tablero de control, e incluso las señales que se transportan entre el tablero de potencia y el tablero de control. La segunda consideración es el área clasificada que representa la URV por lo tanto todo el ruteo debe ser considerado con materiales aprobados para esto. La tercera consideración es respetar la capacidad de ocupación máxima del 40 % del área de sección transversal de la tubería, es decir, el área total de todos los conductores que pasen a través de una tubería no puede superar el 40 % del área transversal de la tubería, esto tomando en cuenta el recubrimiento de los cables.

Para tomar en cuenta la primera consideración se separan las tuberías de cableado de potencia y del cableado de control e instrumentación, adicionalmente se respeta una separación mínima de 15 cm entre tuberías de los dos tipos que queden paralelas. Finalmente, para su distinción se marcan con una señalización naranja los ductos de potencia, y con una señalización azul los ductos de control, estas señalizaciones se realizan cada metro a lo largo de cada tubería.

Figura 78. Señalización de ruteo eléctrico



Fuente: Autor

Tomando en cuenta la clasificación de área se emplea tubería IMC marca colmena con certificado RETIE, para ramificaciones de la tubería se emplean cajas GUA NEMA 7 certificadas para área clasificada de marca SOLDEXEL. Adicionalmente se emplean accesorios roscados como codos, nipples, uniones universales, bushing y acoples flexibles NEMA 7 certificados para uso en área clasificadas

Figura 79.Caja GUAT NEMA 7



Fuente: SOLDEXEL

Finalmente, para garantizar mayor seguridad en la instalación se utilizan sellos corta fuego junto a cada instrumento conectado al ruteo e incluso en la entrada de los tableros para aislar posibles chispas que puedan ocurrir en el sistema. Para garantizar esto cada sello es relleno con un compuesto sellante a base de butilo.

Figura 80. Sello corta fuego con sellante



Fuente: Autor

Finalmente tomando en cuenta la capacidad de llenado de la tubería eléctrica se establecen 3 rutas eléctricas, una para la potencia de los motores del aero enfriador, bomba de lubricación y bomba de refrigeración para los cuales se emplea un cable CENTEFLEX PLUX 3X14 AWG de CENTELSA, para cada motor; la segunda ruta se lleva el cableado de 9 instrumentos para los cuales se emplea un cable para instrumentación PLTC & ITC-OS con dos conductores 16 AWG de CENTELSA, para cada instrumento; y

la tercera ruta se lleva el cableado de 7 instrumentos para los cuales se emplea un cable para instrumentación PLTC & ITC-OS con dos conductores 16 AWG de CENTELSA, para cada instrumento.

Tabla 8. Capacidad de llenado de la tubería Conduit IMC

Tamaño comercial		Artículo 342 — Tubo (conduit) metálico intermedio (IMC)					
		Más de 2 hilos 40 %	60 %	Un hilo cable 53 %	Dos hilos 31 %	Diámetro interno nominal	Sección total 100 %
mm	Pulgadas	mm ²	mm ²	mm ²	mm ²	mm	mm ²
12	3/8	—	—	—	—	—	—
16	1/2	89	133	117	69	16,8	222
21	3/4	151	226	200	117	21,9	377
27	1	248	372	329	192	28,1	620
35	1 1/4	425	638	564	330	36,8	1 064
41	1 1/2	573	859	759	444	42,7	1 432
53	2	937	1 405	1 241	726	54,6	2 341
63	2 1/2	1 323	1 985	1 753	1 026	64,9	3 308
78	3	2 046	3 069	2 711	1 586	80,7	5 115
91	3 1/2	2 729	4 093	3 616	2 115	93,2	6 822
103	4	3 490	5 235	4 624	2 705	105,4	8 725

Fuente: NTC 2050

Teniendo en cuenta la anterior tabla de la NTC 2050, se muestra un pequeño resumen del cálculo de llenado por las rutas planteadas anteriormente, en base a las especificaciones de área de los conductores brindadas por las hojas de datos del fabricante.

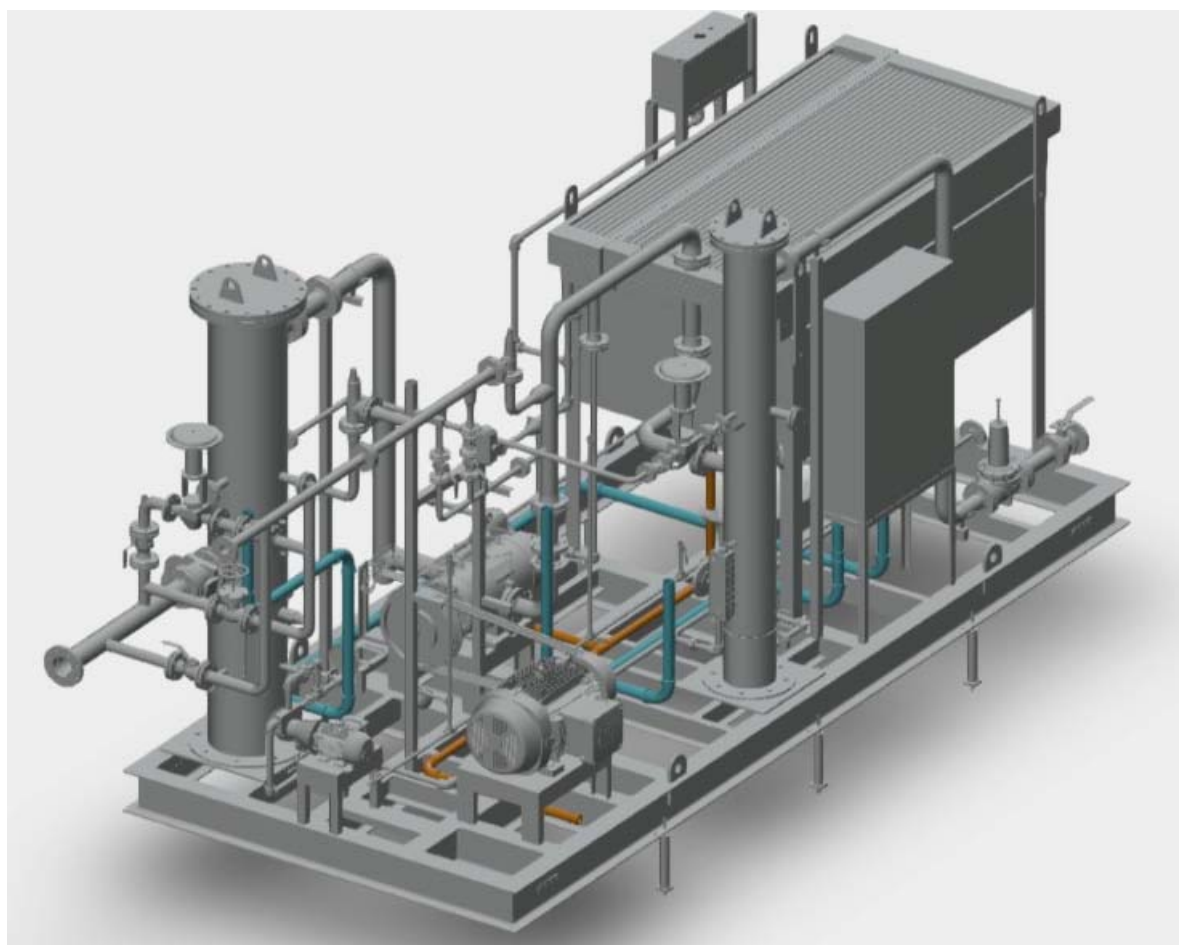
Tabla 9. Cálculo de llenado de Conduit

NUMERO DE RUTA	TIPO DE CABLE	DIAMETRO DEL CABLE (mm)	AREA DE SECCION TRANSVERSAL DEL CABLE (mm ²)	NUMERO DE CABLES POR RUTA	AREA TOTAL POR RUTA (mm ²)	TUBERIA SELECCIONADA
RUTA 1	Centeflex Plus 3X14 AWG	8.97	63.05	3	189.05	1 1/2 "
RUTA 2	PLTC & ITC-OS	6.63	34.52	9	310.71	2"
RUTA 3	PLTC & ITC-OS	6.63	34.52	7	241.64	2"

Fuente: Autor

Vale aclarar que para la conexión de cada instrumento individualmente hasta su conexión al ruteo principal se emplea acoples flexibles de ½ " y de no más de 1 metro de longitud. Tomando en cuenta las consideraciones anteriores se adjunta una imagen general del ruteo planteado, donde el ruteo naranja es el de potencia y las azules las de instrumentación y control. Para un detalle más específico referirse al anexo Q.

Figura 81. Ruteo eléctrico general de unidad recuperadora de vapores



Fuente: Autor

18. ENSAMBLE FINAL

Para finalizar este trabajo se observa en la siguiente imagen la construcción finalizada de la unidad recuperadora de vapores para el campo Costayaco en Villagarzón, Putumayo.

Figura 82. Ensamblaje final unidad recuperadora de vapores (URV)



Fuente: Autor

CONCLUSIONES

De este proyecto se puede concluir que el diseño de una unidad recuperadora de vapores conlleva una gran colaboración de diferentes especialidades de la ingeniería, principalmente la mecánica, la eléctrica y la química. Este conglomerado de conocimientos se vuelve indispensables para la correcta ejecución de un proyecto como este, adicionalmente el conocimiento en fabricación y ensamblaje toma gran relevancia en cualquier proyecto, para tomar en cuenta aspectos de la vida real que muchas veces no se tiene en cuenta o no se estima el alcance real que esto tendrá, desde una etapa de ingeniería.

Entrando en más profundidad en el tema eléctrico se concluye que la selección de los equipos principales y protecciones es primordial tanto por los parámetros exigidos por las normativas vigentes, como para el correcto funcionamiento de una unidad recuperadora de vapores, ya que la consideración de factores ambientales como de proceso, llegan a significar la diferencia entre escoger un motor u otro, o incluso alguna protección adicional o con características especiales. Adicionalmente por el lado de la red eléctrica siempre hay que apegarse o tomar muy en cuenta las condiciones del suministro energético que esté al alcance del equipo, ya que esto implicara directamente en el diseño de todo el sistema eléctrico de la unidad.

En cuanto a las áreas clasificadas se concluye que toman gran relevancia en todo el tema eléctrico, desde un nivel de tensión aparentemente segura como 24 VDC, hasta niveles de tensión en acometida como 480 VAC, ya que la confiabilidad de los equipos y la seguridad del personal de trabajo debe ser la prioridad de cualquier proyecto de ingeniería, y en ambientes explosivos como las unidades de recuperación de vapores del sector oil & gas la menor chispa eléctrica en el sistema puede significar un accidente de gran escala. Por ende, la selección de instrumentación, diseño de tableros eléctricos, selección de motores, y demás equipos expuestos a una posible explosión no debe tomarse a la ligera y se debe trabajar exclusivamente con equipos certificados para trabajar en este tipo de áreas.

también se concluye que la comunicación entre equipos y la correcta selección de estos es importante desde una primera etapa de ingeniería para evitar reprocesos debido a incompatibilidades entre equipos, como lo puede ser un instrumento con señal de voltaje, pero con un PLC con entradas de corriente, o un variador con un protocolo de comunicación diferente al del PLC, entre muchos otros casos que se pueden presentar por una incompatibilidad entre los equipos.

Finalmente se concluye que en general para cualquier aspecto de diseño de una unidad recuperadora de vapores se debe tomar con completa seriedad el uso de las normativas vigentes ya que estas brindan las herramientas necesarias para el diseño de un equipo seguro y confiable.

BIBLIOGRAFIA

- [1] C. Garzón and D. Amézquita, “Marco técnico como base para la reglamentación ambiental de las emisiones atmosféricas en la operación de las Teas en el sector de hidrocarburos (Pasantía realizada para optar al título de Ingeniero Ambiental y Sanitario),” p. 138, 2013, [Online]. Available: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1589&context=ing_ambiental_sanitaria.
- [2] H. O. Benavides, “Información técnica sobre Gases de Efecto Invernadero y el cambio climático.,” *Ideam*, pp. 1–102, 2007, doi: IDEAM–METEO/008-2007.
- [3] V. R. Samillan Olivos, *Sistema de recuperación de vapores en los tanques de almacenamiento de gasolina para disminuir la contaminación del medio ambiente en planta - Eten*. 2020.
- [4] E. De and D. Usd, “Informe mensual de exportaciones colombianas Julio de 2022,” 2022.
- [5] Gobierno de Colombia, “POLÍTICA PARA EL MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD DEL AIRE,” *Cons. Nac. Polit. Econ. y Soc. - Repub. Colomb.*, no. ESTRATEGIA PARA LA ATENCIÓN DE LA MIGRACIÓN DESDE VENEZUELA, p. 115, 2018, [Online]. Available: <https://www.cancilleria.gov.co/documento-conpes-estrategia-atencion-migracion-venezuela>.
- [6] A. : Rommel, A. Torres, and R. Gallegos Orta, “PETROLERO DEL ORIENTE ECUATORIANO PARA SU UTILIZACION COMO COMBUSTIBLE PARA LA GENERACION DE ENERGIA ELECTRICA.”
- [7] J. L. Vargas Ramos, “Análisis , diseño e implementación de un sistema recuperador de gas H₂S en tanques de almacenamiento de NASH en planta de hidrocarburos,” UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS, 2014.
- [8] L. A. P. Quiriquire- and P. D. E. R. Ypf, “Evaluación y propuesta de mejoramiento en la operatividad de la Unidad Recuperadora de Vapores de la Planta Quiriquire-2, propiedad de Repsol YPF,” 2006.
- [9] N. M. ABDALÁ PERALTA and Á. M. PARIS JARAMILLO, “EVALUACIÓN TÉCNICO-FINANCIERA DEL USO DEL GAS ASOCIADO A LA PRODUCCIÓN DE PETRÓLEO, FUEL OIL N o 4 Y GLP COMO ALTERNATIVAS ENERGÉTICAS PARA LA GENERACIÓN ELÉCTRICA EN EL CAMPO TUA NADIA MANIRA ABDALÁ PERALTA ÁNGELA MARIA PARIS JARAMILLO,” FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, 2016.
- [10] C. M. Villagarzón, “Plan de Desarrollo Municipal, Villagarzón,” <https://Medium.Com/>, vol. 007, 2016, [Online]. Available: <https://medium.com/@arifwicaksanaa/pengertian-use-case-a7e576e1b6bf>.
- [11] FINDETER, “RUTA DE DESARROLLO SOSTENIBLE, VILLAGARZÓN,” 2019.

- [12] MOSQUERA, “El Paisaje Amazónico: Determinante Ambiental Para El Desarrollo Urbano Del Municipio De Villagarzón,” *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 53, no. 9, pp. 1689–1699, 2018.
- [13] RETIE, “RETIE resolución 9 0708 de agosto 30 de 2013 con sus ajustes,” *Resoluc. 90708*, p. 211, 2013.
- [14] E. M. Lopez Vera, “Estudio de factibilidad de un sistema recuperador de vapores COVs para terminales y estaciones de servicio Guayaquil,” *Univ. CATÓLICA SANTIAGO GUAYAQUIL*, pp. 1–125, 2019.
- [15] D. Male, J. Brostoff, david B. Roth, and I. Roitt, “DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL Y VISUALIZACIÓN DEL PROCESO DE UN LAVADOR VENTURI (VENTURI SCRUBBER),” p. 140, 2006.
- [16] TECH-FILTERS, “DEMISTERS,” vol. 668, no. 4, p. 1.
- [17] P. Fernández, “Compresores. Universidad de Cantabria. Departamento De Ingenieria Eléctrica Y Energética,” pp. 1–127, 2014, [Online]. Available: es.pfernandezdiez.es/libro/?id=9.
- [18] S. J. Chapman, *MÁQUINAS ELÉCTRICAS*, 5 Ed. Mc Graw Hill, 2012.
- [19] E. A. Solutions, “GUÍA DE VÁLVULAS DE CONTROL,” *2020 IEEE Int. Conf. Informatics, IoT, Enabling Technol. ICIoT 2020*, vol. 5 Ed., p. 319, 2019, doi: 10.1109/ICIoT48696.2020.9089577.
- [20] A. Creus, *INSTRUMENTACIÓN INDUSTRIAL*, 8 Ed. México, 2010.
- [21] A. D. E. Energ, “Convertidores / Variadores de Frecuencia | ABB,” 2021, [Online]. Available: <https://new.abb.com/drives/es>.
- [22] ABB, “Manual del usuario Lista de manuales relacionados,” vol. 150.
- [23] A. Bradley, “Cuándo utilizar un arrancador suave o un variador de velocidad variable de CA,” *Doc. Tec.*, pp. 1–21, 2014, [Online]. Available: <http://www.rockwellautomation.com/literature/>.
- [24] IUSA, “Interruptor termomagnético 1, 2,” pp. 3–4, 2018.
- [25] S. J. Chapman, *MÁQUINAS ELÉCTRICAS 5ta Edición*, vol. 5. 2012.
- [26] S. Nr, S. Nre, and S. Brt, “Relés térmicos.”
- [27] M. F. P. Deorsola and P. Morcelle del Valle, “Circuitos eléctricos,” *Circuitos eléctricos*, 2020, doi: 10.35537/10915/61804.
- [28] S. Actualización, *Código Eléctrico NTC 2050*. 2020.
- [29] M. H. Rashid Circuitos and D. Y. Aplicaciones, *Electrónica De Potencia Rashid Electrónica De Potencia*. 2004.

- [30] Cisco, “Lo que usted necesita saber sobre routers y switches.,” *Cisco*, p. 5, 2012, [Online]. Available: https://www.cisco.com/c/dam/global/es_mx/assets/ofertas/desconectadosanonimos/routing/pdfs/brochure_redes.pdf.
- [31] ABB Corporation, “Cuaderno de aplicaciones técnicas n.º 9 Guía para la construcción de un cuadro eléctrico de baja tensión conforme a las normas IEC 61439, Parte 1 y Parte 2,” *ABB Corporation*, pp. 1–81, 2015.

LISTA DE ANEXOS

- ANEXO A. PERFORMANCE DATA DESIGN- SD8DE
- ANEXO B. PERFORMANCE DATA AEROENFRIADOR
- ANEXO C. SELECCION BOMBA CR_33_AFGJAEHQQE
- ANEXO D. HOJA DE DATOS MOTOR WEG DE 60 HP
- ANEXO E. HOJA DE DATOS MOTOR SIEMENS DE 7.5 HP
- ANEXO F. HOJA DE DATOS MOTOR WEG DE 1 HP
- ANEXO G. HOJA DE DATOS MOTOR WEG DE 0.5 HP
- ANEXO H. CUADRO DE CARGAS
- ANEXO I. CAPACIDAD DE CORRIENTE DE PLETINAS DE COBRE
- ANEXO J. DIAGRAMA UNIFILAR DEL TABLERO DE POTENCIA
- ANEXO K. DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN MECÁNICA DEL TABLERO DE POTENCIA
- ANEXO L. LISTADO DE SEÑALES
- ANEXO M. ARQUITECTURA DE CONTROL
- ANEXO N. DIAGRAMA DE DISTRIBUCIÓN MECÁNICA DEL TABLERO DE CONTROL
- ANEXO O. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL TABLERO DE POTENCIA
- ANEXO P. DIAGRAMA DE CONEXIONES DEL TABLERO DE CONTROL
- ANEXO Q. RUTEO ELÉCTRICO URV