

Ingeniería conceptual de la interconexión de los cabezales de vapor de 600 psig del área de balance y el cabezal de vapor de 400 psig del área de refinería

Trabajo de grado para optar el título de ingeniero de procesos, refinación y petroquímica

Autores

Juan Carlos Riobo Gómez

Jhon Jairo Roa Rueda

Director

Liliana del Pilar Castro Molano

Doctora en Ingeniería Química

Codirector

Ivan Dario Ordoñez Sepulveda

Ingeniero Químico

Universidad industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas

Escuela de Ingeniería Química

Ingeniería de Procesos, Refinación y Petroquímica

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Este objetivo cumplido, se lo dedico a mi esposa PAOLA LEÓN, mis hijos Juan Esteban y Danna Giselle por todo el apoyo, comprensión y sacrificio en el tiempo que dejamos de compartir, en pro de ver mis sueños cumplidos, Ingeniería de Procesos en la UIS.

A mi esposa MARGARETH WETTER RODRÍGUEZ, mis hijos Angie Juliana y Jhonatán Uds. han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado alentándome en los días y noches más difíciles durante mis horas de estudio, quienes con su amor y colaboración han sido mis mejores guías de vida.

Agradecimientos

Agradecemos a Dios, por darnos la oportunidad de cumplir una meta.

A ECOPETROL S.A., por la oportunidad brindada al hacernos parte de este proyecto educativo, el cual para nosotros fue un reto y un sueño cumplido, esperamos retribuir al beneficio de la organización esta inversión en conocimiento y aplicarlos en el crecimiento de nuestra empresa.

A nuestras familias, por su apoyo y acompañamiento.

A la facultad de ingeniería Química, por enseñarnos cada uno de los procesos y asignaturas cursadas.

A todos nuestros amigos y compañeros, por compartir tantos momentos durante esta etapa educativa.

A los docentes Liliana del Pilar Castro Molano, Ivan Dario Ordoñez Sepulveda, por su contribución y asesoría en este proyecto.

Contenido

	Pág.
Introducción	13
1. Objetivos.....	15
1.1 Objetivo General.....	15
1.2 Objetivos Específicos.....	15
1.3 Alcance de los objetivos	15
2. Marco Conceptual.....	16
2.1 Conceptos básicos de termodinámica	16
2.2 Proceso de generación de vapor.....	18
2.2.1 <i>Clasificación de las Calderas</i>	19
2.3 Dimensionamiento de tuberías.....	20
2.3.1 <i>Dimensionado de tuberías según la velocidad del vapor</i>	20
2.3.2 <i>Selección de diámetro de tubería</i>	21
2.4 Dilatación térmica.....	22
2.4.1 <i>Accesorios de dilatación</i>	23
2.5 Estación reductora de presión	24
2.6 Metodología de análisis de riesgos	25
3. Estado del arte.....	25
4. Metodología	27
5. Resultados	29
5.1 Factibilidad técnica y económica de implementar un sistema de interconexión del área de Balance con el área de Refinería.....	29

5.1.1 Factibilidad técnica	29
5.1.1.1 Recolección de información	29
5.1.1.2 Visita a campo.....	34
5.1.1.3 <i>Determinación y dimensionamiento de la tubería y el aislamiento</i>	36
5.1.1.4 <i>Trazado isométrico de la línea</i>	37
5.1.1.5 <i>Simulación de la interconexión de los cabezales Balance-Refinería</i>	38
5.1.2 Factibilidad económica.	41
5.2 Análisis de riesgo para la interconexión del cabezal de vapor del área de Balance con el área de Refinería.....	43
5.3 <i>Alternativas de puntos de interconexión y diámetros de tubería</i>	45
6. Conclusiones	46
Referencias.....	48
Apéndices.....	50

Listado de tablas

	Pág.
Tabla 1. Consecuencias sobre y subdimensionamiento de tuberías.....	20
Tabla 2. Valores estimados para el cálculo de dimensionamiento	21
Tabla 3. Balance de producción de las calderas de Refinería (A)	30
Tabla 4. Balance de producción de las calderas del área Balance (B). 30 de mayo 2022	30
Tabla 5. Valores estimados para realización de cálculos.....	36
Tabla 6. Alternativa 1.....	38
Tabla 7. Alternativa 2.....	39
Tabla 8. Operación normal.....	40
Tabla 9. Beneficios económicos del proyecto	41
Tabla 10. Situaciones que pueden afectar la operación de la línea.....	44
Tabla 11. <i>Dimensiones tuberías de acero.</i>	50
Tabla 12. Flujos Mínimos	67
Tabla 13. Flujos máximos.....	67

Listado de figuras

	Pág.
Figura 1. Tabla de vapor	17
Figura 2. <i>Corte transversal caldera B-2952. Manual de procesos GRB-PIB</i>	19
Figura 3. <i>Curva de dilatación</i>	23
Figura 4. <i>Junta deslizante</i>	24
Figura 5. <i>Estación válvula reductora de presión</i>	24
Figura 6. <i>Diagrama de distribución de vapor del área de Balance.</i>	32
Figura 7. <i>Diagrama de distribución de vapor del área de Refinería (PI&D SIREF).</i>	33
Figura 8. <i>Imágenes geográficas de ubicación de las unidades de puntos de conexión</i>	34
Figura 9. <i>Punto de inicio cabezal de interconexión. Lado norte de la U2650</i>	34
Figura 10. <i>Cuadro de control de degradación. Conexión de la línea de 14", con cabezal de 400 psig.</i>	35
Figura 11. <i>Esquema del trayecto del cabezal de interconexión</i>	35
Figura 12. <i>Conexión a cabezal de 600 psig del área de Balance</i>	37
Figura 13. <i>Simulación alternativa 1. Línea de 14", Schedule 80 a 250 klb/h</i>	39
Figura 14. <i>Simulación alternativa 2. Línea de 16", Schedule 80 a 250 klb/h</i>	39
Figura 15. <i>¿Formato que pasa sí?</i>	43
Figura 16. <i>Debate de las situaciones presentadas en TEAMS</i>	44
Figura 17. <i>Identificación de soportería dentro del banco de tubería de la U2650</i>	51
Figura 18. <i>Salida de la unidad U2650 lado sur</i>	52
Figura 19. <i>Entrada a banco de tubería después de la U2650.</i>	52
Figura 20. <i>Banco de tubería después de la U2650</i>	53
Figura 21. <i>Trazado sobre espacio disponible en banco de tubería y soportería</i>	53

Figura 22. <i>Área Casa Bombas C.</i>	54
Figura 23. <i>Área Casa Bombas C.</i>	54
Figura 24. <i>Área lavado de intercambiadores.</i>	55
Figura 25. <i>Tramo por soportería a nivel y cambio de dirección para entrada a viaducto por espacio disponible</i>	55
Figura 26. <i>Continuación de tramo por soportería a nivel hacia el separador</i>	56
Figura 27. <i>Continuación de tramo por soportería a nivel hacia el separador</i>	56
Figura 28. <i>Interconexión a entrada viaducto</i>	56
Figura 29. <i>Curvatura interconexión sobre banco de tubería</i>	57
Figura 30. <i>Tramo por en salida del viaducto de Patio C</i>	57
Figura 31. <i>Valores de coeficiente Y. ASME B31.3.</i>	58
Figura 32. <i>Selección E ASME B31.3</i>	58
Figura 33. <i>Selección W ASME B31.3</i>	58
Figura 34. <i>Selección S ASME B31.3</i>	59
Figura 35. <i>Matriz de aislamiento.</i>	60
Figura 36. <i>Especificación aislamiento.</i>	60
Figura 37. <i>Conexión cabezal de Balance U2650</i>	61
Figura 38. <i>Trazado banco de tubería del área de tanques de Balance</i>	61
Figura 39. <i>Trazado banco de tubería del área de tanques de Balance</i>	62
Figura 40. <i>Trazado banco de tubería del área de tanques de Balance.</i>	62
Figura 41. <i>Trazado banco de tubería del área del separador SE-3090 de Balance</i>	63
Figura 42. <i>Trazado banco de tubería del área de Contraincendios</i>	63
Figura 43. <i>Trazado banco de tubería del área de la UOP II</i>	64

Figura 44. <i>Trazado Área Central del Norte</i>	64
Figura 45. <i>Simulación alternativa 1. Línea de 14”, Schedule 80 a 290 klb/h</i>	65
Figura 46. <i>Simulación alternativa 1. Línea de 14”, Schedule 80 a 90 klb/h</i>	65
Figura 47. <i>Simulación alternativa 2. Línea de 16”, Schedule 80 a 400 klb/h</i>	66
Figura 48. <i>Simulación alternativa 2. Línea de 16”, Schedule 80 a 90 klb/h</i>	66
Figura 49. <i>Matriz RAM</i>	70
Figura 50. <i>Formato para el registro del análisis de riesgo</i>	71

Apéndices

	Pág.
Apéndice A. Tabla selección diámetro de tubería.....	50
Apéndice B. Trazado del cabezal de interconexión.....	51
Apéndice C. Selección de espesor	58
Apéndice D. Selección de aislamiento.....	60
Apéndice E. Isométricos	61
Apéndice F. Simulaciones.....	65
Apéndice G. Formato factibilidad.....	68
Apéndice H. Matriz RAM Ecopetrol.....	70
Apéndice I. Formato what if.....	71

Resumen

Título: Ingeniería conceptual de la interconexión de los cabezales de vapor de 600 psig del área de balance y el cabezal de vapor de 400 psig del área de refinería*

Autores: Juan Carlos Riobo Gómez, Jhon Jairo Roa Rueda**

Palabras clave: interconexión, confiabilidad, energía.

Descripción: en este trabajo de grado, se realizó una ingeniería conceptual, con base a la propuesta de interconexión de las áreas de producción de vapor que involucran el cabezal de vapor de 400 psig del lado de Refinería y el cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance. Se planteó una alternativa de conexión a través de una línea, que partirá desde el bloque II del área de Balance planta HCM en un hot-tap, direccionado por el banco de tuberías, está construido sobre el área de tanques de balance para llegar y atravesar el viaducto número 57, ubicado en contraincendios. Posteriormente, su trayecto continuará por el banco de tuberías de la UOP II con dirección a la unidad de central del norte, donde se ubicará el cuadro de degradación de presión de vapor de 600 psig a 400 psig. Una vez que el vapor esté en condiciones de presión y temperatura, se integrará al cabezal de 400 psig a través de un hot-tap al cabezal principal de 400 psig, donde se encuentran las conexiones de descarga de producción de vapor del área de refinería o a través de la válvula de admisión de vapor de 400 psig a los turbogeneradores de la U-2400, todo esto con base a la viabilidad demostrada a través de las simulaciones realizadas en el programa Aspen Hysys, versión 10.

Esta ingeniería se desarrolló con el objetivo de asegurar la confiabilidad y disponibilidad en los sistemas de producción de vapor para las plantas usuarias de servicios industriales de la GRB, en virtud del proceso de desmantelamiento de las calderas Distral (B-954/955), como aporte a la reducción de la huella de carbono y emisiones ambientales por parte de la empresa.

*Trabajo de grado

** Facultad de Ingenierías Físicoquímicas. Escuela de Ingeniería Química. Director: Liliana del Pilar Castro Molano. Doctora en Ingeniería Química. Codirector: Iván Darío Ordoñez Sepúlveda. Ingeniero Químico.

Abstract

Title: Conceptual engineering of the interconnection of the 600 psig steam header from the Balance area and 400psig steam header from the Refinery area*

Authors: Juan Carlos Riobo Gómez, Jhon Jairo Roa Rueda**

Key words: Interconnection, Reliability, Energy.

Description: For this undergraduate degree project, conceptual engineering was made based on the interconnection proposal between the steam production areas involving the 400 psig steam header of the Refinery side and the 600 psig steam header of the Balance area.

A connection alternative was proposed through a line, which will start from block II of the HCM plant Balance area in a hot-tap, routed through the pipe bank, which is built over the balance's tank area to reach and cross viaduct number 57, found in the fire-fighting station area. Subsequently, its path will continue through the UOP II pipe bank in the direction of the north central unit, where the steam pressure degradation valve from 600psig to 400psig will be found.

Once the steam is in pressure and temperature conditions, it will be integrated into the 400psig header through a hot-tap to the 400psig main header, where the refinery area steam production discharge connections are found, or through the 400psig steam inlet valve to the U-2400 turbogenerators, all this based on the feasibility proven through the simulations performed in the Aspen Hysys program, version 10.

This engineering was developed to ensure the reliability and availability of the steam production systems for the GRB's industrial services user plants, due to the dismantling process of the Distral boilers (B-954/955), as a contribution to the reduction of the carbon footprint and environmental emissions by the company.

* Degree work

**Faculty of Physicochemical Engineering. School of Chemical Engineering. Director: Liliana del Pilar Castro Molano. Doctora en Ingeniería Química. Codirector: Iván Darío Ordoñez Sepúlveda. Ingeniero Químico.

Introducción

La Refinería de Barrancabermeja es un complejo industrial compuesto de diferentes plantas de proceso, donde ocurre la transformación del crudo en productos valiosos. Estas plantas de proceso requieren para su funcionamiento el suministro de vapor para el calentamiento de sus cargas y para el servicio de sus turbinas. Para tal fin, la Gerencia Refinería de Barrancabermeja (GRB), consta de dos unidades de servicios industriales: Refinería (central del norte y Distral) y Balance.

Las unidades de Servicios Industriales Refinería suministran vapor a las plantas de refinación y petroquímica, tienen una capacidad instalada de 1550 klb/h de vapor, generada a través de dos centrales térmicas, Central del Norte, con una capacidad instalada de 1200 klb/h de vapor a través de 5 calderas B-2401/02/03/04/05 y las calderas Distral, con una capacidad instalada de 350 klb/h con 2 calderas la B-954/955, estas calderas generan vapor a 400 psig.

Servicios Balance, ubicada geográficamente en el lado oriental de la refinería, cinco equipos (calderas B-2951/52/53/54/55) para la producción de vapor de 600 psi, con capacidad instalada de 1500 klb/h, los cuales son para prestar servicio a cinco plantas de proceso del área.

En la actualidad, debido a diferentes proyectos de modernización de los servicios industriales, se estableció como promesa de valor el desmantelamiento de las calderas B-954 y B-955 debido a su baja confiabilidad operativa y su deterioro estructural. Sin embargo, el proceso de desmantelamiento no se ha llevado a cabo, debido a que el análisis de producción realizado en la modernización de los servicios no contempló el aumento en las cargas térmicas de la refinería con motivo de las cargas de crudos más pesados. En consecuencia, el sistema de vapor de la refinería está operando actualmente con baja confiabilidad y a futuro operará con baja disponibilidad de

vapor. De acuerdo con el panorama descrito anteriormente, este trabajo de grado plantea la siguiente pregunta: ¿Es posible, mediante una ingeniería conceptual, evaluar la viabilidad de balancear la producción y consumo de vapor de la refinería, a través de la interconexión de los cabezales de vapor de alta presión del área de Servicios Refinería y la unidad de Servicios Balance, con el fin de mejorar la confiabilidad y la disponibilidad de vapor para los procesos de la GRB?

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Realizar la ingeniería conceptual para la interconexión del cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance con el cabezal de vapor de 400 psig del área de Refinería de la GRB.

1.2 Objetivos Específicos

- Determinar la factibilidad técnica y económica de implementar un sistema de interconexión entre el cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance, con el cabezal de vapor de 400 psig del área de Refinería, mediante el uso del simulador Hysys y del cálculo económico del factor J.
- Desarrollar un análisis de riesgo con la metodología “que pasa si”, para la interconexión del cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance con el cabezal de vapor de 400 psig del área de Refinería.
- Presentar las alternativas de puntos de interconexión y diámetros de tubería para la interconexión del cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance con el cabezal de vapor de 400 psig del área de Refinería, utilizando la herramienta Aspen Hysys.

1.3 Alcance de los objetivos

La interconexión del cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance con el cabezal de vapor de 400 psig del área de refinería, será un trabajo de grado ante la UIS en el programa de pregrado de Ingeniería de Procesos, Refinación y Petroquímica del convenio UIS-ECOPETROL, y a su vez, será la ingeniería conceptual requerida por Ecopetrol como contribución al convenio UIS-ECOPETROL, la cual es el input necesario para el desarrollo de las siguientes etapas de

ingeniería en el marco de optimización de costos y confiabilidad en el sistema de vapor de la Refinería de Barrancabermeja.

2. Marco Conceptual

2.1 Conceptos básicos de termodinámica

El término termodinámica proviene de las palabras griegas *therme* (calor) y *dynamis* (fuerza), lo cual corresponde a lo más descriptivo de los primeros esfuerzos por convertir el calor en energía. En la actualidad, el concepto se interpreta de manera amplia para incluir los aspectos de energía y sus transformaciones, incluida la generación de potencia, la refrigeración y las relaciones entre las propiedades de la materia.

Su objetivo es evaluar el nivel energético con el que entra la materia prima y el nivel energético con el que sale. El nivel de energía se evalúa mediante las propiedades termodinámicas. A continuación, se describen las propiedades termodinámicas que se deben tener en cuenta para analizar el fluido de trabajo, utilizado en este trabajo de grado:

- **Entalpía:** Medida general de la energía almacenada internamente por unidad de masa de una corriente que fluye.
- **Entropía:** Medida del potencial termodinámico de un sistema en unidades de energía por unidad masa y temperatura absoluta.
- **Volumen específico:** Volumen de una sustancia por unidad de masa.

La tabulación de las propiedades que se usa con más frecuencia son las tablas de vapor de la Sociedad Estadounidense de Ingenieros Mecánicos (ASME).

En la figura 01, se presenta un ejemplo de las tablas de vapor en condición de saturación. Las dos primeras columnas de las tablas, definen la relación única entre la presión y la temperatura denominadas condiciones saturadas, donde las fases líquidas y de vapor del agua pueden coexistir en equilibrio termodinámico. Para una presión determinada, el vapor calentado por encima de la temperatura de saturación se denomina vapor sobrecalentado, mientras que el agua enfriada por debajo de la temperatura de saturación se denomina agua subenfriada o comprimida.

Figura 1.

Tabla de vapor

Note: The following steam tables and Fig. 1 have been abstracted from <i>ASME International Steam Tables for Industrial Use</i> (copyright 2000 by The American Society of Mechanical Engineers), based on the IAPWS industrial formulation 1997 for the Thermodynamic Properties of Water and Steam (IAPWS-IF97).											
Table 1 Properties of Saturated Steam and Saturated Water (Temperature)¹											
Temp F	Press. psia	Specific Volume, ft ³ /lb			Enthalpy, ² Btu/lb			Entropy, Btu/lb F			Temp F
		Water <i>v_f</i>	Evap <i>v_{fg}</i>	Steam <i>v_g</i>	Water <i>H_f</i>	Evap <i>H_{fg}</i>	Steam <i>H_g</i>	Water <i>s_f</i>	Evap <i>s_{fg}</i>	Steam <i>s_g</i>	
32	0.08865	0.01602	3302	3302	-0.02	1075.2	1075.2	-0.00004	2.1869	2.1868	32
35	0.09998	0.01602	2946	2946	3.00	1073.5	1076.5	0.0061	2.1701	2.1762	35
40	0.12173	0.01602	2443	2443	8.03	1070.7	1078.7	0.0162	2.1427	2.1590	40
45	0.14757	0.01602	2035.6	2035.6	13.05	1067.8	1080.9	0.0262	2.1159	2.1421	45
50	0.17813	0.01602	1702.9	1702.9	18.07	1065.0	1083.1	0.0361	2.0896	2.1257	50
60	0.2564	0.01603	1206.0	1206.1	28.08	1059.4	1087.4	0.0555	2.0385	2.0941	60
70	0.3633	0.01605	867.2	867.2	38.08	1053.7	1091.8	0.0746	1.9894	2.0640	70
80	0.5074	0.01607	632.4	632.4	48.07	1048.0	1096.1	0.0933	1.9420	2.0353	80
90	0.6990	0.01610	467.4	467.4	58.05	1042.4	1100.4	0.1116	1.8964	2.0080	90
100	0.9504	0.01613	349.9	349.9	68.04	1036.7	1104.7	0.1296	1.8523	1.9819	100
110	1.2766	0.01617	265.0	265.0	78.02	1031.0	1109.0	0.1473	1.8098	1.9570	110

En condiciones de sobrecalentamiento o sub enfriamiento, las propiedades de los fluidos, como la entalpía, la entropía y el volumen por unidad de masa, son funciones exclusivas de la temperatura y la presión. Sin embargo, en condiciones saturadas donde coexisten mezclas de vapor y agua, la situación es más compleja y requiere un parámetro adicional para su definición. Por

ejemplo, la entalpía de una mezcla de vapor y agua dependerá de las cantidades relativas de vapor y agua presentes. Este parámetro adicional es la calidad de equilibrio termodinámico (x) definida por convención como la fracción de masa del vapor:

$$x = \frac{m_g}{m_g + m_w} \quad \text{Ecu. (1)}$$

Donde, m_g es la masa de vapor y m_w es la masa de agua. La calidad se registra con frecuencia como un porcentaje vapor por peso (% SBW) después de multiplicar por 100%.

En el estado termodinámico donde se establece la mezcla líquido-vapor, las propiedades termodinámicas se definen usando la entidad calidad. En la ecuación 2 se presenta un ejemplo para la entalpía:

$$H = H_f + x (H_g - H_f) \quad \text{Ecu. (2)}$$

Donde, los subíndices f y g se refieren a propiedades en condiciones de líquido saturado y vapor respectivamente. La diferencia en una propiedad entre las condiciones de líquido saturado y vapor se denota frecuentemente con el subíndice fg , por ejemplo: $H_{fg} = H_g - H_f$. Con estas definiciones, si se conoce la presión o la temperatura de una mezcla de vapor y agua, junto con una de las propiedades de la mezcla, se puede calcular la calidad. Por ejemplo, Si se conoce la entalpía de la mezcla, entonces:

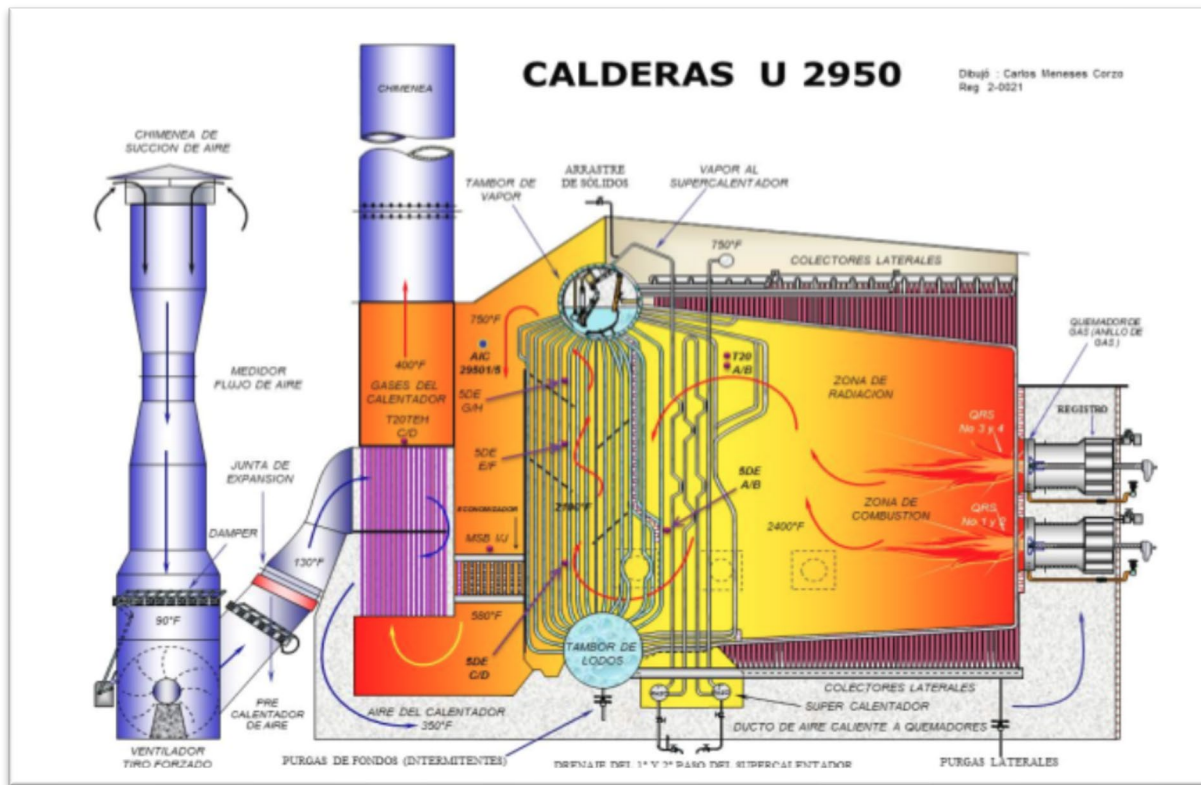
$$X = (H - H_f) / H_{fg} \quad \text{Ecu. (3)}$$

2.2 Proceso de generación de vapor

La generación de vapor es el proceso de convertir agua en vapor por la aplicación de calor. Los equipos utilizados para esto se conocen como calderas o generadores de vapor, los cuales son equipos de transferencia de calor cuyo objetivo es la generación de vapor de agua a condiciones específicas de presión y temperatura.

Figura 2.

Corte transversal caldera B-2952. Manual de procesos GRB-PIB



2.2.1 Clasificación de las Calderas

Las calderas se pueden clasificar según la disposición de los fluidos en: Calderas acuotubulares y pirotubulares.

Calderas acuotubulares: en estas calderas, el agua circula por el interior de los tubos que forman el intercambiador. Los gases calientes generados en la combustión envuelven los tubos, calentando el agua que circula por ellos. Estas calderas se utilizan cuando se requiere una presión de trabajo superior a los 20 bares (290 psi).

Calderas pirotubulares: en este caso, el humo y los gases generados en la combustión son los que circulan por el interior de los tubos que integran el intercambiador, mientras el agua se

encuentra en el exterior, aumentando su temperatura. Estas calderas se utilizan cuando se requiere una baja presión de trabajo, inferior a los 20 bares (290 psi).

2.3 Dimensionamiento de tuberías

Las tuberías se pueden seleccionar basándose en una de las dos características:

- Velocidad del fluido. (25-40 m/s): la velocidad incrementa el nivel de erosión y ruido en las tuberías, debido a la alta velocidad que acompaña a toda caída de presión.
- Caída de presión.

En la tabla 01, se presentan las principales consecuencias de sobredimensionar y/o Subdimensionar las tuberías:

Tabla 1.

Consecuencias sobre y Subdimensionamiento de tuberías.

Sobredimensionamiento Ø	Subdimensionamiento Ø
<ul style="list-style-type: none"> • Se incrementan los costos en las tuberías. • Se formará un mayor volumen de condensado, a causa de las mayores pérdidas de calor. • La calidad de vapor y posterior entrega de calor será más pobre, debido al mayor volumen de condensados que se forma. • Los costes de instalación serán mayores. 	<ul style="list-style-type: none"> • El volumen de vapor será insuficiente en el punto de utilización. • Habrá un mayor riesgo de erosión, golpe de ariete y ruidos, a causa del aumento de velocidad. • La velocidad del vapor y la caída de presión serán mayores, generando una presión inferior a la que se requiere en el punto de utilización.

2.3.1 Dimensionado de tuberías según la velocidad del vapor

Si se dimensiona la tubería en función de la velocidad, entonces los cálculos se basan en el volumen de vapor que se transporta con relación a la sección de la tubería.

Para tuberías de distribución de vapor saturado seco, la experiencia demuestra que son razonables las velocidades entre 25 - 40 m/s, pero deben considerarse como el máximo sobre la cual aparecen el ruido y la erosión, particularmente si el vapor es húmedo.

Incluso, estas velocidades pueden ser altas en cuanto a sus efectos sobre la caída de presión. En líneas de suministro de longitudes considerables, es frecuentemente necesario restringir las velocidades a 15 m/s, si se quieren evitar grandes caídas de presión.

Alternativamente, puede calcularse el tamaño de tubería siguiendo el proceso matemático expuesto a continuación. Para hacerlo, se requiere la siguiente información:

Velocidad del flujo (m/s) C

Volumen específico (m³/kg) v

Caudal másico (kg/s) m

$$\text{Caudal volumétrico (m}^3\text{/s)} \quad V = m(\text{kg/s}) \times v(\text{m}^3\text{/kg}) \quad \text{Ecu.(4)}$$

A partir de esta información, se puede calcular la sección (A) de la tubería:

$$\text{Sección (A)} = \frac{\text{Caudal volumétrico } (\dot{V})}{\text{Velocidad del flujo (C)}} \quad \text{Ecu.(5)}$$

$$\frac{\pi \times D^2}{4} = \frac{\dot{V}}{C} \quad \text{Ecu.(6)}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 \times \dot{V}}{\pi \times C}} \quad \text{Ecu.(7)}$$

A partir de la ecuación 7, se obtiene el diámetro de la tubería.

Particularmente, para el desarrollo de este trabajo de grado, los cálculos son los siguientes:

2.3.2 Selección de diámetro de tubería

Tabla 2.

Valores estimados para el cálculo de dimensionamiento

Velocidad del flujo [m/s].	C	25	Valor mínimo teórico
Volumen específico [m ³ /kg].	v	0.0689	Valor obtenido por tabla de vapor a 750°F y 600 psig.
Caudal másico [kg/s].	m	31.499	Caudal estimado de operación 250 Klb/h.

Caudal volumétrico [m ³ /s]	v = m*v
Caudal volumétrico [m ³ /s]	v = 31.499 * 0.0689
Caudal volumétrico [m ³ /s]	v = 2.1703

$$D = \sqrt{\frac{4 \times v}{\pi \times c}} = 0.3324 \text{ m} \quad D = \frac{332.4 \text{ mm} \times 1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} = 13.086 \text{ in}$$

Comercialmente, no se tienen tuberías de 13 pulgadas, entonces se tomará como referencia las tuberías de 14 pulgadas para el desarrollo del ejercicio y simulación respectiva. Dicha selección se realizó sobre la tabla 11 (ver apéndice A).

2.4 Dilatación térmica

Las pérdidas térmicas en una red de distribución de vapor son debidas al flujo calorífico que se produce por el hecho de que estas se encuentran a una temperatura superior a la temperatura del ambiente que las rodea. Para el caso de las tuberías de vapor se genera el fenómeno de dilatación térmica por la alta temperatura del fluido interno. Esta expansión afecta especialmente la longitud de las tuberías, generando tensiones en juntas y conexiones de esta, las cuales, podrían romperse eventualmente a causa de este fenómeno.

Una forma de amortiguar la dilatación lineal es realizar cambios de dirección en el tendido, en caso de que esta lo permita o aprovechar los que ya estén presentes, mediante el uso de codos como articulaciones del sistema.

La dilatación puede calcularse mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Dilatación} = L \cdot \Delta T \cdot \alpha \quad \text{Ecu. (8)}$$

L= longitud de tubería entre anclajes (m).

ΔT =Diferencia de temperatura (°C).

α =Coeficiente de dilatación entre (mm/m°C) * 10e⁻³.

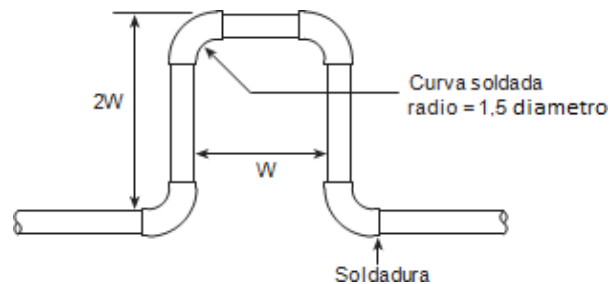
2.4.1 Accesorios de dilatación

Una forma de amortiguar la dilatación lineal es realizar cambios de dirección en el tendido de las tuberías, a continuación, se presentan algunos accesorios utilizados en la industria:

Curvas de dilatación: también, denominados bucles de dilatación, se trata de dar un tramo de tubería en la forma en que sean compatibles con la dilatación.

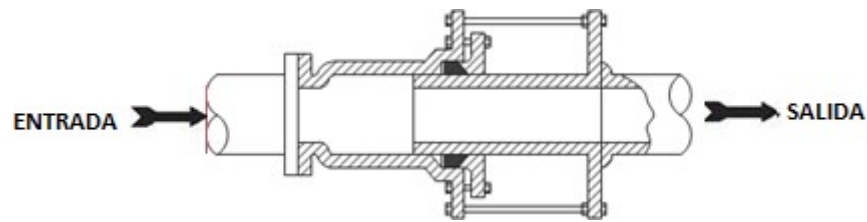
Figura 3.

Curva de dilatación



Fuente: (Sarco, referencia, técnica, calderas y accesorios, 1999).

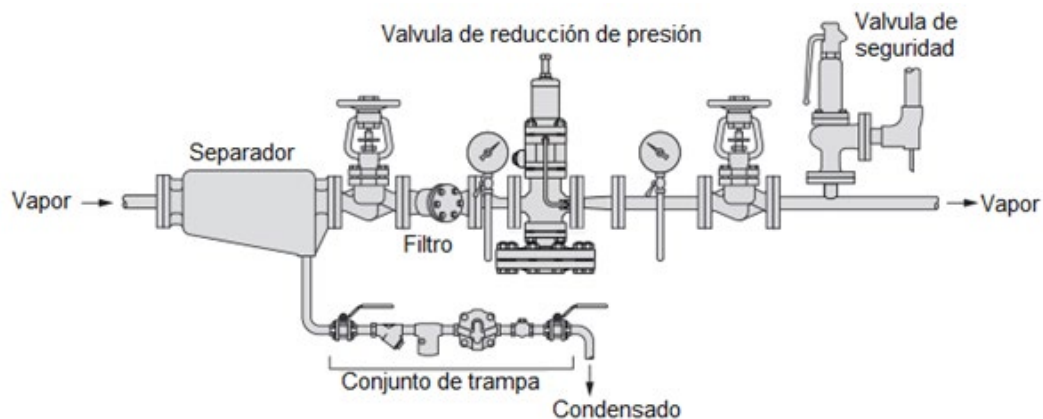
Juntas deslizantes: se usan frecuentemente por el reducido espacio que ocupan, pero es imprescindible que la tubería esté rígidamente anclada y guiada. Si no es así, la presión de vapor que actúa sobre la sección transversal del casquillo de la junta, tiende a provocar un movimiento en oposición a las fuerzas debidas a la expansión de la tubería. Si no está bien alineada, el casquillo se curvará, por lo que también será necesario un mantenimiento regular de la prensa estopas.

Figura 4.*Junta deslizante*

Fuente: (Sarco, referencia, técnica, calderas y accesorios, 1999).

2.5 Estación reductora de presión

Como se mencionó en el planteamiento del problema, el sistema de interconexión entre los cabezales de vapor de 600 psig, proveniente de la unidad de balance y el cabezal de 400 psig en el área de refinería, requerirá una válvula de reducción de presión para controlar las presiones en el cabezal de menor presión.

Figura 5.*Estación válvula reductora de presión*

Fuente: Imagen editada de (TLV, Compañía Especialista en Vapor, 2016).

En la figura 05, se muestra una estación de reducción de presión con cada una de sus partes, como son el separador, encargado de retirar el condensado que se haya generado en el sistema; una válvula de seguridad, que sirve de protección en caso de que la válvula de reducción falle y así evitar un aumento de la presión en la tubería con la que se hará la conexión; la válvula de control de reducción de presión, que será la encargada de realizar los ajustes de forma automática con base en la presión de ajuste del cabezal de vapor de 400 psig. Existen otros componentes de la estación que son necesarios para cerrar el sistema, cuando se ejecute el mantenimiento, además para controlar, medir y ajustar la presión.

2.6 Metodología de análisis de riesgos.

Ecopetrol dentro de sus metodologías de análisis de riesgos para sus procesos y en enfoque para sus ingenierías conceptuales, utiliza la metodología “QUE PASA SI”, metodología de análisis de riesgo que aplica un equipo con experiencia en el proceso, usando por fundamento la lluvia de ideas, generando una serie de preguntas que son pertinentes de todas aquellas cosas que pueden salir mal en un proceso o actividad dada; evaluando las consecuencias potenciales, las salvaguardas existentes y proponiendo una serie de recomendaciones en donde se requiera.

3. Estado del arte

En el Manual de Optimización de Sistemas de Vapor Industrial, emitido en el año 2018 por la Unidad de Planeación Minero – Energética de Colombia (UPME), en asocio con la Organización de las Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI), se contempla un proceso de capacitación que, abarca el funcionamiento de sistemas industriales de vapor industrial

que incluye, entre otros, usos finales del vapor, la recuperación y la cogeneración de energía térmica y eléctrica y donde se describe, además, cada una de las áreas de forma detallada y se identifican los parámetros críticos y de importancia, así como las mediciones y otros elementos que deben tenerse en cuenta para emprender la evaluación energética de los sistemas de vapor de una planta usando un “enfoque de los sistemas” e identifica las oportunidades de mejora del rendimiento para todas las áreas anteriormente mencionadas, a fin de lograr la optimización del sistema de vapor en su conjunto.

De otra parte, Guerrero Salcedo, en el año 2018, en su trabajo de investigación: “Diseño de un sistema de recuperación de condensado de baja presión en la unidad U-110 Hydrocracking en Ecopetrol S.A. Cartagena (BOLIVAR)”, ofrece una alternativa que permite optimizar el sistema de vapor de dicha unidad, realizando un diseño de recuperación de condensado de tipo presurizado, basado en las condiciones operacionales del proceso a fin de contribuir en una disminución del impacto ambiental y generar una estrategia rentable para el aprovechamiento energético de la empresa.

Por otra parte, González Carrillo, en el año 2019, en su investigación titulada: “Diseño de un sistema de interconexión energética de vapor de alta presión entre las áreas de refinería y balance en la GRB”, concluye que el flujo de vapor en el sistema de interconexión cuando este opera con una presión inicial de 600 psig, debe oscilar entre 44100 lb/h y 300000 lb/h; por debajo de este valor, el vapor pierde el sobrecalentamiento y por encima, la presión cae por debajo de 450 psig. Por otro lado, el flujo de vapor en el sistema de interconexión, cuando este opera con una presión inicial de 400 psig, debe oscilar entre, 39550 lb/h y 257000 lb/h, por debajo de este valor el vapor pierde el sobrecalentamiento y por encima, la presión cae por debajo de 200 psig.

4. Metodología

Actividades metodológicas

Actividad 1: Recolección de información.

Se realizó la búsqueda de los PI&D del sistema de vapor de Balance y Refinería para la identificación de datos técnicos del trazado de la línea, así como también se realizó el balance promedio de carga de las diferentes calderas de vapor que tienen en operación en la GRB, datos necesarios para empezar a planear la ejecución de la ingeniería.

Actividad 2: Visita en campo.

Se efectuaron dos visitas en campo siguiendo el trayecto de los cabezales de vapor de 400 psi del área de Refinería y el cabezal de 600 psi del área de Balance, para revisar las alternativas de conexión de la línea nueva a las líneas principales existentes, con el fin de determinar los puntos para realizar los hot- tap o las facilidades existentes para conectarlos, se corroboró la información con los diferentes P&ID de los cabezales de vapor; por otra parte, se realizó el recorrido por los bancos de tuberías existentes, para determinar el trazado que pudiera tener la línea desde la unidad de Balance hasta la central del norte, en el área Refinería.

Actividad 3: Cálculo dimensionamiento de la tubería.

Se llevó a cabo el desarrollo de los cálculos termodinámicos y matemáticos para determinar la selección de tubería (diámetro y espesor), adicional, se seleccionó el tipo de aislante térmico, que serán utilizados para la construcción de la línea que interconectará los cabezales de vapor de 400 psi y de 600 psi de la refinería de Barrancabermeja.

Actividad 4: Levantamiento del isométrico.

En esta fase del desarrollo de la ingeniería conceptual para Ecopetrol, se hizo el isométrico del trazado que tendrá la tubería que hará la interconexión de los cabezales de vapor. El isométrico se usó posteriormente como base de las simulaciones en Aspen Hysys para soportar el desarrollo de la factibilidad técnica.

Actividad 5: Simulaciones

El programa de simulación Aspen Hysys V10, fue la herramienta utilizada para realizar las simulaciones del comportamiento de las variables de presión y temperatura en el trazado de la línea de interconexión de los cabezales de vapor, necesaria para determinar la factibilidad técnica del proyecto.

Actividad 6: Determinación la factibilidad técnica y económica de la interconexión de los cabezales de vapor de 400 psi del área de Refinería y 600 psi del área de Balance de la GRB.

Esta actividad se dividió en dos etapas, análisis técnico y análisis económico:

Análisis técnico: se llevó a cabo tomando como base los resultados obtenidos en las simulaciones con la herramienta Aspen Hysys, los cuales fueron el soporte para documentar el formato de factibilidad establecido por Ecopetrol.

Análisis económico: teniendo en cuenta los resultados de confiabilidad en la operación y en la estabilidad de la producción de vapor, que ofrece la interconexión de los cabezales de vapor, se determinó los costos de mantenimiento de equipos y la ganancia en la confiabilidad del sistema de vapor en la refinería de Barrancabermeja, así como también el factor J, factor de beneficio de ejecutar esta ingeniera.

Actividad 7: Desarrollo de análisis de riesgo.

Esta etapa consistió en la utilización de la metodología “QUE PASA SI”, con el fin de determinar los peligros y los controles necesarios para asegurar la confiabilidad del sistema. Este

análisis se desarrolló en compañía de los ingenieros de soporte para la operación, así como también, del personal administrativo de las áreas de interés, involucrados en el proyecto, para establecer, con base en la experiencia y en lo técnico, una mayor cobertura de la metodología. En el desarrollo de esta sesión se establecieron como base las preguntas sobre las posibles contingencias y riesgos que tendría esta interconexión ya en servicio, así como, los controles existentes en las unidades y los controles adicionales necesarios para llevar el riesgo al valor mínimo posible; también se apoyó en la matriz de riesgo utilizada por Ecopetrol, matriz RAM, para darle valoración a los diferentes riesgos.

5. Resultados

5.1 Factibilidad técnica y económica de implementar un sistema de interconexión del área de Balance con el área de Refinería.

5.1.1 Factibilidad técnica

5.1.1.1 Recolección de información

Inicialmente, se estableció una línea base del proceso que actualmente se lleva a cabo en la refinería, a partir de la programación de la producción en la GRB. Esta información fue obtenida del despacho programado en cada unidad de servicios, cuyos valores se ven reflejados en las unidades DCS de control de cada planta, los cuales se muestran en las tablas 3 y 4.

Tabla 3.*Balance de producción de las calderas de Refinería (A). 30 de mayo 2022.*

GENERACION AREA REFINERIA VAPOR 400 PSIG			
Código calderas	Capacidad de diseño [Klb/h]	Límite máximo de operación [Klb/h]	Producción actual [Klb/h]
B-2401	200	200	140
B-2402	200	200	140
B-2403	200	200	0
B-2404	300	300	200
B-2405	300	300	200
B-954	175	150	120
B-955	175	150	120
TOTAL	1550	1500	920

Fuente: calderas (1999).

Tabla 4.*Balance de producción de las calderas del área Balance (B). 30 de mayo 2022.*

GENERACION AREA BALANCE VAPOR 600 PSIG			
Código calderas	Capacidad de diseño [Klb/h]	Límite máximo de operación [Klb/h]	Producción actual [Klb/h]
B-2951	300	300	0
B-2952	300	300	0
B-2953	300	300	210
B-2954	300	300	210
B-2955	300	300	250
TOTAL	1500	1500	670

Fuente: calderas (1999).

La tabla 3 ilustra que el consumo de vapor de 400 psig para la operación de las plantas de refinación y petroquímica en el área Refinería requiere una generación de vapor de 920 klb/h, es decir, el 70.8% del vapor producido con la estructura actual y en mantenimiento una caldera; se maneja una disponibilidad de 380 klbh, es decir, 29.2%, aplicando el desmantelamiento de las calderas B-954/955. Esta disponibilidad baja a 80 klb/h, es decir, 8%; lo cual, no garantiza una confiabilidad operacional en la Refinería, en caso de apagada no programada de una caldera del área central del norte, conllevaría a realizar apagada no programada de plantas de proceso.

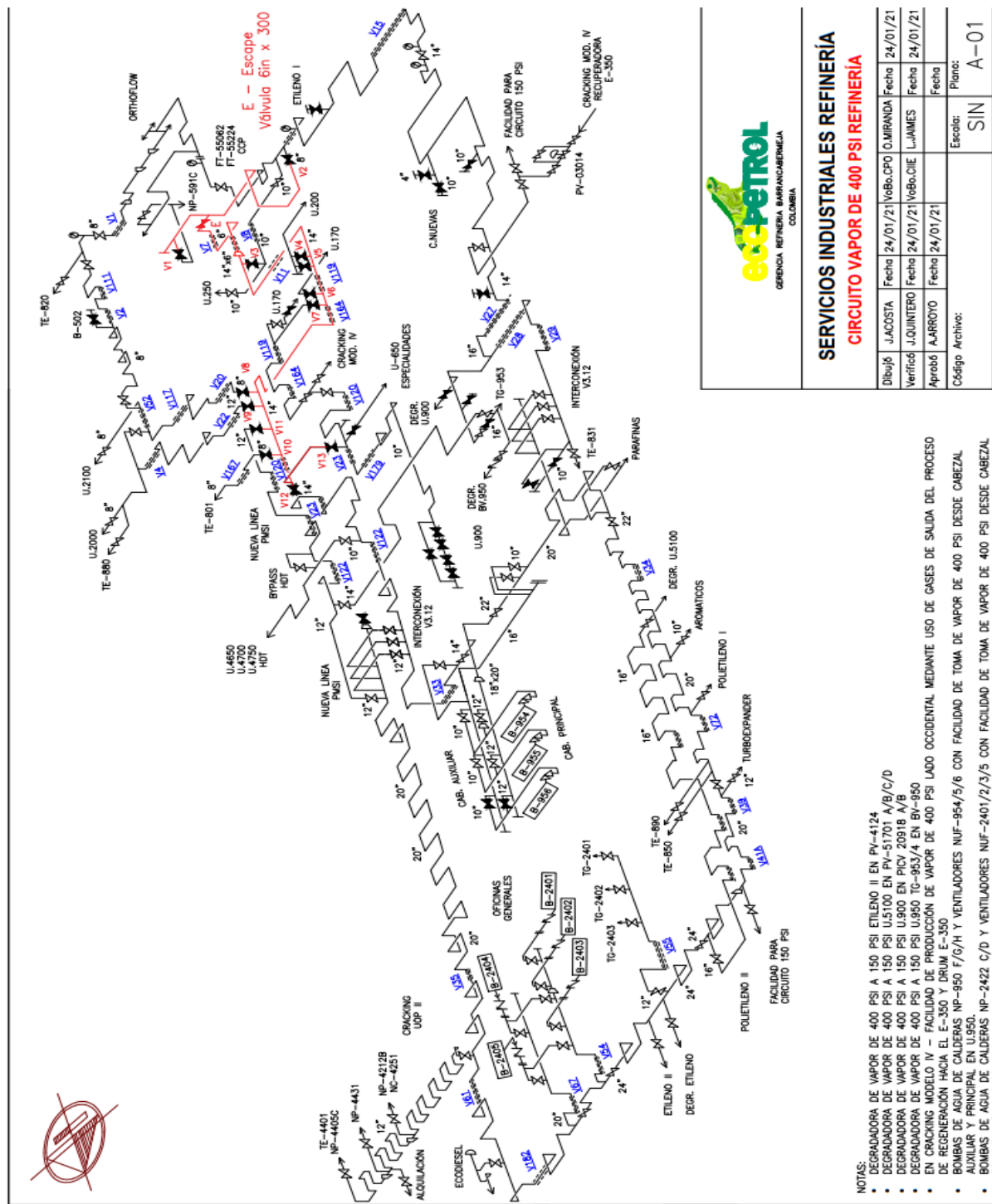
Con la implementación del sistema de interconexión de los cabezales de vapor y con un flujo de 250 klb/h, se mejora la confiabilidad del área refinería, garantizando una disponibilidad de 330 klb/h, es decir, 25.4%, la cual, en caso de parada no programada de una caldera del área central del norte no generaría disturbio operacional en la Refinería.

En servicios Balance, se muestra que la caldera B2951 y B2952, se encuentran sin producción, esto es debido a una mayor capacidad instalada de vapor de 600 psig con respecto a la demanda de vapor del 44.67%, lo que lleva a tener apagadas dos calderas y a operar a menor capacidad las 3 calderas que quedan en servicio, ocasionando bajas eficiencias y altos consumos de gas. Esta situación favorece el proyecto de interconectar los cabezales de vapor con el fin de optimizar la operación de los activos y mejorar la eficiencia de los mismos. Para este proyecto se plantea un flujo máximo en operación normal de 250 Klb/h de vapor, es decir, el 16.67% de la capacidad instalada en la unidad de Balance.

El diagrama de distribución de vapor de 600 psi del área de Balance, figura 10, fue utilizado para ubicar el punto de conexión de la línea que llevara el suministro de vapor al área de Refinería, este punto se ubica de acuerdo con el diámetro y el espacio adecuado para soportar y ejecutar un hot tap para la interconexión. En la figura 11, se observa la distribución de vapor de 400 psi del área de Refinería, información necesaria para establecer los puntos de conexión de la línea de vapor con el área de Balance.

Figura 7.

Diagrama de distribución de vapor del área de Refinería (PI&D SIREF).



SERVICIOS INDUSTRIALES REFINERÍA
CIRCUITO VAPOR DE 400 PSI REFINERÍA

Dibujó	J.ACOSTA	Fecha	24/01/21	Verbo.CFO	O.MIRANDA	Fecha	24/01/21	
Verificó	J.JOINTERO	Fecha	24/01/21	Verbo.CHE	L.JAMIES	Fecha	24/01/21	
Aprobó	A.ARROYO	Fecha	24/01/21			Fecha		
Código Archivo:							Escala:	SIN
							Plano:	A-01

- NOTAS:
- DEGRADADORA DE VAPOR DE 400 PSI A 150 PSI ETILENO II EN PV-4124
 - DEGRADADORA DE VAPOR DE 400 PSI A 150 PSI U-5100 EN PV-51701 A/B/C/D
 - DEGRADADORA DE VAPOR DE 400 PSI A 150 PSI U-900 EN PCV-20918 A/B
 - DEGRADADORA DE VAPOR DE 400 PSI A 150 PSI U-950 TG-953/4 EN BV-950
 - EN CRACKING MODELO IV - FACILIDAD DE PRODUCCIÓN DE VAPOR DE 400 PSI LADO OCCIDENTAL MEDIANTE USO DE GASES DE SALIDA DEL PROCESO
 - DE REGENERACIÓN HACIA EL E-350 Y DRUM E-350
 - BOMBAS DE AGUA DE CALDERAS NP-950 F/G/H Y VENTILADORES NUF-954/5/6 CON FACILIDAD DE TOMA DE VAPOR DE 400 PSI DESDE CABEZAL
 - AUXILIAR Y PRINCIPAL EN U-950.
 - BOMBAS DE AGUA DE CALDERAS NP-2422 C/D Y VENTILADORES NUF-2401/2/3/5 CON FACILIDAD DE TOMA DE VAPOR DE 400 PSI DESDE CABEZAL PRINCIPAL EN U-2400

5.1.1.2 Visita a campo

Se realizó la visita en campo para la evaluación de los puntos más adecuados de conexión, así como también, verificar los espacios disponibles en las diferentes unidades y banco de tubería, por la cual, se realizará el trazado de la línea de conexión de los cabezales de vapor. Este ejercicio empezó identificando, de forma geográfica, las unidades donde se inicia y finaliza el trazado de la línea. A continuación, se muestra de manera geográfica la ubicación de estas unidades.

Figura 8.

Imágenes geográficas de ubicación de las unidades de puntos de conexión



Figura 9.

Punto de inicio cabezal de interconexión. Lado norte de la U2650



Punto de inicio propuesto: se valida el espacio y punto adecuado sobre el cabezal principal de vapor de 600 psi del área de Balance, ubicado sobre el lado sur de la U2650. Esta ubicación se seleccionó por el diámetro de la línea necesario para hacer la conexión (16 in).

Punto final: la figura 10, indica el sitio donde se instalará el cuadro de control de degradación en el área de Central del Norte U-2400.

Figura 10.

Cuadro de control de degradación. Conexión de la línea de 14", con cabezal de 400 psig.



Figura 11.

Esquema del trayecto del cabezal de interconexión



Con la visita a campo se realizó el trazado a mano alzada de la ruta que tendría la línea de interconexión de vapor (línea roja), esto se toma como base para realizar los cálculos respectivos de la línea, así como también, la realización de los isométricos.

En el apéndice B se incluyen fotografías de las visitas efectuadas y el seguimiento al trazado propuesto para el cabezal de interconexión de vapor de 600 psi a 400 psi.

5.1.1.3 Determinación y dimensionamiento de la tubería y el aislamiento

Selección de diámetro de tubería

Tabla 5.

Valores estimados para realización de cálculos.

Velocidad del flujo [m/s].	C	25	Valor mínimo teórico
Volumen específico [m ³ /kg].	v	0.0689	Valor obtenido por tabla de vapor a 750°F y 600 psig
Caudal másico [kg/s].	m	31.499	Caudal estimado de operación 250 Klb/h

Caudal volumétrico [m ³ /s]	v = 31.499 * 0.0689
Caudal volumétrico [m ³ /s]	v = 2.1703

$$D = \sqrt{\frac{4 \times v}{\pi \times c}} = 0.3324 \text{ m} \quad D = \frac{332.4 \text{ mm} \times 1 \text{ in}}{25.4 \text{ mm}} = 13.086 \text{ in}$$

D=14 in

selección de espesor

Presión de diseño **P**: 750 psig.

Diámetro de diseño **D**: 14 in

Corrosión permitida **CA**: 0.125

Acero al carbón **A53B S**: 11400

Tubería sin costura **A-53 tipo S E**: 1

W: 1

Y : 0.4

$$T_{req} = \frac{P \cdot D}{2(SEW + PY)} + CA = 0.58 \text{ in} \quad \text{ecuación 09}$$

Tubería requerida Schedule 80 = 0.75 in (ver tabla 11)

En el apéndice C se encuentran las tablas de donde se obtienen las variables Y, W, E, S, para el cálculo del espesor de la tubería.

Selección de aislamiento

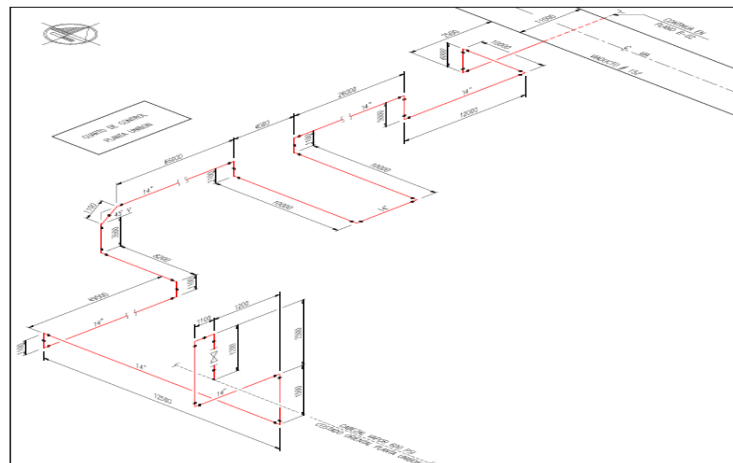
Para realizar este procedimiento de selección se continuó con los lineamientos de Ecopetrol, donde ya está establecido el tipo de aislamiento a utilizar, Aspen Aerogels, ver figura 35, en el apéndice D, la tabla de selección de aislamiento, espesor; y figura 36, especificaciones técnicas del aislamiento.

5.1.1.4 Trazado isométrico de la línea

Se realizó levantamiento de isométricos desde el punto de inicio del cabezal de interconexión en la U-2650 en Balance hasta la Central del norte U-2400, el trazado se identifica con las líneas de color rojo en las figuras 37 a la figura 44, en el apéndice E.

Figura 12.

Conexión a cabezal de 600 psig del área de Balance



En el apéndice E, se podrán detallar todos los isométricos hechos con base en el trazado estipulado en la figura 11.

5.1.1.5 Simulación de la interconexión de los cabezales Balance-Refinería.

Para evaluar la viabilidad técnica de la alternativa propuesta, se efectuó la simulación en Aspen Hysys V10, utilizando como paquete de fluidos ASME STEAM y el listado de compuestos el agua. A continuación en las tablas 6 y 7, se muestran las alternativas implementadas en el simulador. Los datos de entrada suministrados al simulador para el análisis del sistema fueron: temperatura, presión y flujo másico en la corriente vapor PIB (Vapor Balance). Así mismo, para la evaluación de la alternativa 1, se emplea el diámetro de 14" para la tubería; y para la alternativa 2, un diámetro de 16". Se toma como base, dos secciones de tuberías, antes y después de la estación degradadora, cambiando los flujos de vapor viables para una operación dentro de guías de control desde el máximo, mínimo y flujo de operación normal del sistema propuesto.

Tabla 6.

Alternativa 1

Sección 1. Cabezal de vapor de 600 PSIG			Sección 2. Cabezal de vapor de 400 PSIG		
Diámetro (in)	Schedule	Longitud (m)	Diámetro (in)	Schedule	Longitud (m)
14	80	2270	14	80	11

Operación normal a 250 klb/h "caída de presión (psi/100ft)" : 0.97

Figura 13.

Simulación alternativa 1. Línea de 14", Schedule 80 a 250 klb/h

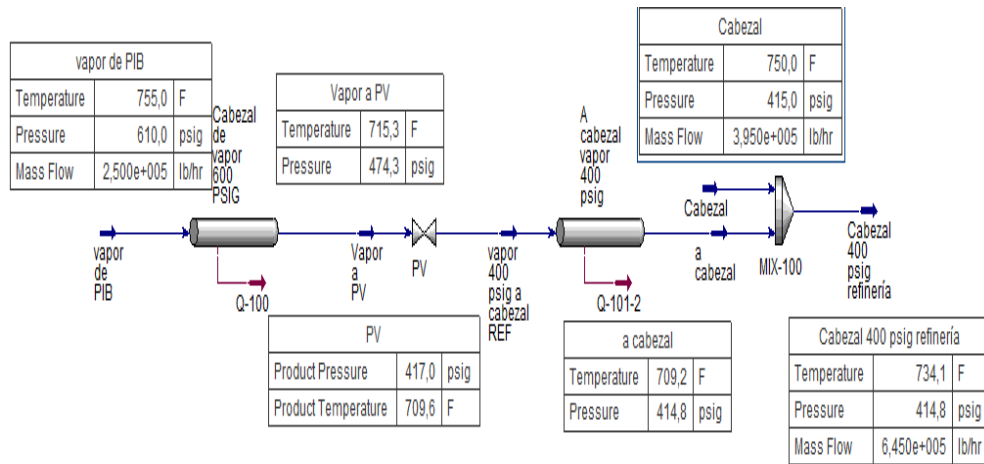


Tabla 7.

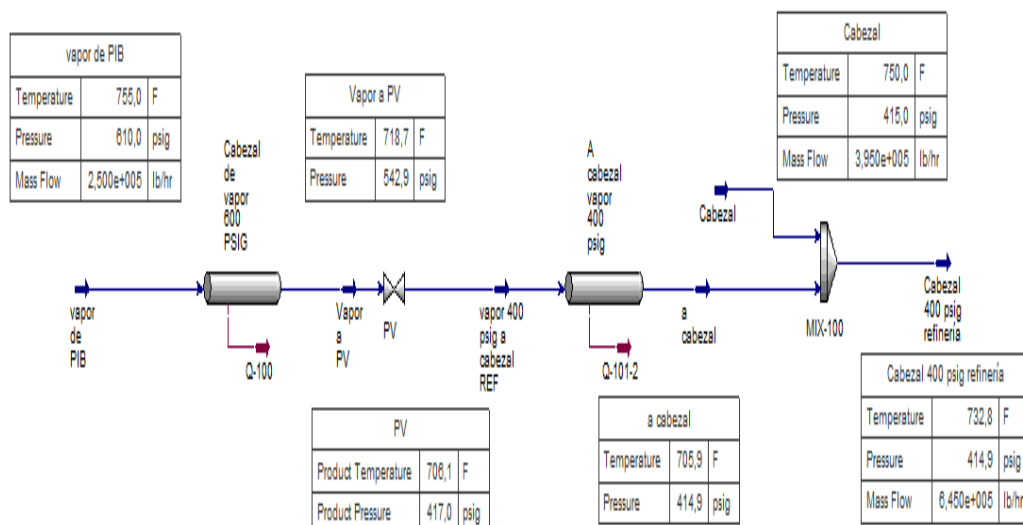
Alternativa 2

Sección 1. Cabezal de vapor de 600 PSIG			Sección 2. Cabezal de vapor de 400 PSIG		
Diámetro (in)	Schedule	Longitud (m)	Diámetro (in)	Schedule	Longitud (m)
16	80	2270	16	80	11

Operación normal a 250 klb/h "Caída de presión (psi/100ft)" : 0.53

Figura 14.

Simulación alternativa 2. Línea de 16", Schedule 80 a 250 klb/h



En el apéndice F, se presentan las figuras con los resultados de las simulaciones realizadas para las alternativas 1 y 2 al mínimo y máximo flujo operativo. A continuación, se hizo la comparación de las simulaciones ejecutadas en Hysys sobre la base de los flujos de vapor en operación normal 250 klb/h para las alternativas 1 y 2.

Tabla 8.

Operación normal

Diámetro [In]	Vapor de Balance			Vapor a Cabezal 400 psig			Vapor a Cabezal Refinería		
	Temp. [°f]	Presión [psig]	Flujo [klbh]	Temp. [°F]	Presión [psig]	Flujo [klbh]	Temp. [°f]	Presión [psig]	Flujo [klbh]
Alternativa 1 14	755	610	250	709	414,8	250	734,1	414,8	645
Alternativa 2 16	755	610	250	705,9	414,9	250	732,8	414,9	645

Dentro de las consideraciones para la selección de la alternativa a implementar, se tuvieron en cuenta aspectos técnicos, económicos y ambientales. Debido al poco espacio disponible en algunos viaductos, se considera que los tramos de tuberías que los atraviesan no deben ser mayores a 14” de diámetro, adicional, el costo de la tubería, aislamiento térmico, aislante zinc es mayor en la tubería de 16” de diámetro, ocasionando un CAPEX mayor que una tubería de 14”, y analizando la tabla 08, flujo operativo se puede observar que las diferencias no son significativas en cuanto a las variables críticas, temperatura y presión del cabezal de vapor de 400 psig.

Analizando la tabla 08, el resultado indica que ambas opciones son viables desde el punto de vista técnico y energético. Durante la presentación de resultados a los tutores técnicos de Ecopetrol, los cuales son miembros de la gerencia técnica de la empresa, se seleccionó la alternativa N.º1 cabezal de vapor de 14” para la continuidad de las siguientes etapas de ingeniería y el desarrollo total del proyecto. Por otra parte, si se tiene en cuenta la tabla 01, se puede

considerar los efectos que genera en el sistema el sobredimensionamiento de la tubería de vapor de interconexión si se sobredimensiona el cabezal.

5.1.2 Factibilidad económica.

Para realizar el análisis de factibilidad económica, se desarrollan los pasos 5 y 7, del formato HSE-F-119 “Formato para Análisis de Factibilidad para Administración de Cambios en Activos Industriales”, de Ecopetrol S.A, el cual se encuentra en el apéndice G, el formato implican estimar la siguiente información.

Paso 5. Beneficios esperados.

Qué se espera ganar al ejecutar este cambio (generación de valor para la organización, reducción del riesgo.)

- Ahorro por desincorporación de las calderas B954, B955.
- Ahorro en operación y mantenimiento por la desincorporación de las calderas B954, B955.
- Aumento en la eficiencia operacional de las calderas de la Unidad de Balance.

Tabla 9.

Beneficios económicos del proyecto

	Item	Costos fijos us/año
BENEFICIOS	Desincorporación de calderas	676000
	Mantenimiento Mayor	540541
	Mantenimiento preventivo	54054
	Lavados	40541
	Operación	205405
	Eficiencia	2445807
	TOTAL	3962348

Paso 7. Criterios de aceptación.

Paso 7.1 Valoración RAM (Impacto de no realizar el cambio). Economía: **2*E= M**

El resultado del paso 7.1 se obtuvo de valorar en la matriz RAM de Ecopetrol (ver apéndice H.) el impacto de no realizar este proyecto, como situación más común de disparo de una caldera en Balance y/o salida de una caldera en Refinería, afectando la disponibilidad y operación de usuarios que utilizan vapor para sus procesos, dando como resultado la mayor calificación en la categoría de economía, con gravedad 2 y probabilidad E, este cruce de resultado da una valoración M.

Paso 7.2 Cálculo del factor J.

Este paso se efectuó realizando una relación de valoraciones, en las cuales se relaciona el valor de no efectuar el cambio, el valor después del cambio y el valor de la inversión, esta relación se muestra en la siguiente ecuación, donde el resultado debe ser mayor a 1, para determinar que el proyecto es viable económicamente.

$$J = \frac{\text{Valor riesgo antes} - \text{Valor riesgo después}}{\text{Costo de la inversión}}$$

$$\frac{3.962.348 - 1.545.622}{1.565.000} = 1,5$$

ESTIMADO DE COSTOS US	
Costo de materiales	860.000
Montaje	370.000
Ingeniería, estudios	135.000
Otros	200.000
Total, de costos	1.565.000

Después de ejecutar los procedimientos establecidos fijados por Ecopetrol, la factibilidad económica fue favorable, con un factor J a 1.5. Procedimiento completo del formato de factibilidad, ver en apéndice G.

5.2 Análisis de riesgo para la interconexión del cabezal de vapor del área de Balance con el área de Refinería.

Para el desarrollo de este análisis de riesgo se invitó a una reunión virtual, que tuvo como herramienta de encuentro la plataforma TEAMS, plataforma adquirida por Ecopetrol, para reuniones y gestión operativa a partir de la pandemia por covid-19. A esta reunión fueron invitados personal de tablero de control de las unidades de Servicios Refinería, Servicios Balance, Ingenieros de Soporte de la GRB (Ingenieros de procesos, electrónicos, estático y civil).

La metodología desarrollada en este taller fue “WHAT IF”, metodología utilizada por Ecopetrol para la evaluación de riesgos en diferentes campos, siendo proyectos uno de ellos. Para dar comienzo al desarrollo de este taller se planteó por parte de Juan Carlos Riobo y Jhon Jairo Roa unas situaciones iniciales, basados en la experiencia de la operación de los diferentes sistemas de vapor en las unidades de Balance y Refinería, las cuales se muestran a continuación con el formato ECP-CNE-O-PRO-F-006, ya establecido por Ecopetrol:

Figura 15.

¿Formato que pasa sí?

¿QUE PASA SI?	CONSECUENCIA	MEDIDAS DE SEGURIDAD EXISTENTES (Salvaguardas)	Riesgo Actual			RECOMENDACIÓN	Riesgo residual			Fecha de Cierre	RESPONSABLE	Observaciones
			C	P	VR		C	P	VR			
Se presenta disparo de una caldera en la UBAL	Baja presión del cabezal de vapor de 600 psig, por salida no programada de la caldera y baja presión en el cabezal de vapor de 400 psig, por disminución de flujo de vapor a degradación	Alarma por baja presión de vapor de 600 psig PAL 295xx Alarma por baja presión de vapor de 400 psig PAL 24xx	2	E	M	Instalar y configurar alarma en DCS de Central del norte por baja presión del cabezal de vapor de 600 psig en UBAL, con el fin de aumentar carga en las calderas de central del norte y sostener la presión en el cabezal de vapor de 400 psig. Asegurar disponibilidad de vapor de 400 psig en el área refinería, para operar en un escenario n-2. (mínimo 250 Kb/h) Diseñar sistema de control por over ride sobre el cabezal de vapor de 600 psig para limitar el flujo y la presión del cabezal de 600 psig a través de la interconexión en caso de caída de presión en la UBAI	1	E	L		Especialista Instrumentos/Procesos	

Las situaciones se relacionan en la siguiente tabla:

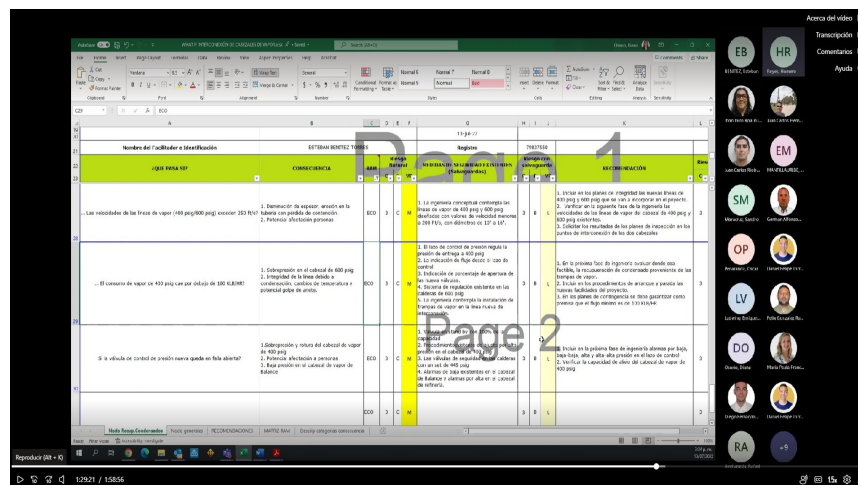
Tabla 10.

Situaciones que pueden afectar la operación de la línea

¿QUE PASA SI?
Una caldera del cabezal de Balance (600 psi), sale de operación por falla o mantenimiento programado?
Una caldera del cabezal de Refinería (400 psi), sale de operación por falla o mantenimiento programado?
El consumo de vapor de 400 psi se requiere más de 250 klb/h?
El consumo de vapor de 400 psi cae por debajo de 100 klb/h?
Las velocidades de la línea de vapor (400 psi / 600psi), exceden los 250ft/s?
Si la válvula de control de presión falla en abierta?
Caída de temperatura en la línea por lluvias?

Figura 16.

Debate de las situaciones presentadas en TEAMS



Luego de presentadas las situaciones, se procede una por una a evaluar las consecuencias, se realiza una valoración del riesgo sin controles, utilizando la matriz RAM de Ecopetrol, se procede a discutir los controles necesarios para que la valoración anterior sea llevada al nivel más bajo posible luego de la aplicación de estos controles. Se establecen unas recomendaciones y se fija la especialidad responsable de la misma, (procesos, electrónico, estático, civil, eléctrico, rotativo), encargada de implementar estos controles, todo esto con el fin de disminuir el riesgo en la operación de la línea de interconexión y darle confiabilidad a la operación de los sistemas de vapor.

Para ver el desarrollo de todo el ejercicio y el resultado documental, ver apéndice I.

5.3 Alternativas de puntos de interconexión y diámetros de tubería

Durante las visitas de campo realizadas para la selección del punto de interconexión, se eligió realizar el TIE IN en el cabezal de vapor de 600 psi exactamente en el lado sur de la U-2650, este cabezal es de 16" y actualmente no tiene facilidad para bloquearlo sin sacar de servicio la unidad de Balance. Por esta razón, se hace necesario ejecutar un Hot tap para lograr la conexión entre el cabezal nuevo de interconexión y el existente.

El proyecto toma como referencia el recorrido y direccionamiento de la línea de interconexión con base en los isométricos (fig. 37 a fig.44), es decir, desde la U-2650 hasta la Central del norte U- 2400, en donde se instalará un sistema de degradación compuesto por dos válvulas de control, una operando, y la otra en stand by.

En el área de la central del norte, se tienen dos alternativas para conectar el cabezal de interconexión con el cabezal de vapor del área de Refinería, una opción es a través de la antigua alimentación a los TG-2400, la cual está deshabilitada y tiene instalada una válvula de 12" de diámetro con su respectiva brida ciega.

La otra opción es a través de un hot tap conectando el cabezal de vapor de 400 psig, lado oriental del área de Refinería, a la salida de las calderas B-2401/2/3/4/5, con el cabezal nuevo de interconexión.

Analizando las opciones para interconectar la línea en Central del Norte se valida la opción del hot tap, ya que, a pesar del costo inmediato de realizar la actividad, es más rentable a largo plazo, debido a que la longitud del cabezal saliendo de la estación degradadora es menor, lo cual conlleva a menos pérdidas por caída de presión y temperatura y el mantenimiento propio de la

línea hasta la válvula de 12" antigua alimentación a los generadores.

6. Conclusiones

1. Se determinó la factibilidad técnica y económica para implementar el sistema de interconexión entre el cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance, con el cabezal de vapor de 400 psig del área de Refinería. Los resultados demostraron que a través de simulaciones en ASPEN Hysys las condiciones termodinámicas del vapor del área de Balance, presión a 410 psi y temperatura a 709 °F a un diámetro de 14" son adecuadas para la interconexión con Refinería. Con respecto al análisis económico, se utilizó la metodología J (usada por ECOPETROL), en la cual se obtuvo un factor $J=1.5$, lo que demuestra favorabilidad económica para implementar el sistema de interconexión referido.

2. Se realizó un análisis de riesgo para el sistema de interconexión entre el cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance, con el cabezal de vapor de 400 psig del área de Refinería, en el cual se determinó que los riesgos de mayor ponderación fueron (Falla por parada no programada de una caldera en unidad de balance y en refinería y cambios en las propiedades termodinámicas del flujo de vapor a transportar. Basado en estos resultados, se establecieron los controles necesarios y probabilidad de ocurrencia operativa para la línea de interconexión, los responsables de implementar estos controles y las recomendaciones operacionales para mantener la confiabilidad operativa de la interconexión de vapor.

3. Se realizó la simulación del sistema de interconexión entre el cabezal de vapor de 600 psig del área de Balance, con el cabezal de vapor de 400 psig del área de Refinería, demostrando que la mejor alternativa para la interconexión en el área de Balance es en lado norte de la U2650 por

su diámetro de 16” para la realización de un hot tap de 14”, en el área de Refinería se determinó que la mejor opción s sobre el cabezal principal de 400 psi a través de un hot tap, porque tiene un menor recorrido después del cuadro de degradación, lo que significa menos perdidas en las condiciones termodinámicas del vapor (presión y temperatura), aumentando la viabilidad de la interconexión.

Referencias

- 1) Diseño de un sistema de recuperación de condensado de baja presión en la unidad U-110 Hydrocracking en Ecopetrol S.A Cartagena (BOLIVAR)Fabian Guerrero Salcedo...Universidad San Buenaventura seccional Cartagena, facultad ing. Química año 2018
- 2) “Diseño de un sistema de interconexión energética de vapor de alta presión entre las áreas de refinería y balance en la GRB”, Omar Libardo González Carrillo, UIS. Facultad ing. Química. año 2019
- 3) Software Aspen hysys V10. Año 2017
- 4) ECOPETROL, Refinería Barrancabermeja, Manual de descripción de procesos de la unidad MDPU Servicios Industriales Refinería.
- 5) ECOPETROL, Refinería Barrancabermeja, Manual de descripción de procesos de la unidad MDPU Servicios Industriales Balance.
- 6) Termodinámica Yunes A Cengel 7 edición, pag 29
- 7) The babcock & Wilcox Company..Capitulo 2 pag2-1
- 8) Termodinámica Cengel 7 edi
- 9) Guía de referencia técnica Distribución del vapor Spirax Sarco. pág.4
- 10) Guía de referencia técnica Distribución del vapor Spirax Sarco. Pág 6
- 11) Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor. Eficiencia energética en redes de vapor. Junta de castilla y Leon
- 12) Guia de referencia técnica Distribución del vapor Spirax Sarco. pág.9

13) Manual técnico diseño y cálculo de redes de vapor. Eficiencia energética en redes de vapor.

Junta de castilla y Leon

14) Guía de referencia técnica Distribución del vapor Spirax Sarco. pág.37

15) Manual de Optimización de Sistemas de Vapor Industrial, emitido en el año 2018 por la

Unidad de Planeación Minero – Energética de Colombia (UPME).

16) ASME Boiler and pressure Vessel code VIII. Division 1 2010.

17) Tubería de procesos código ASME para tuberías a presión, B31.

18) Manual de ingeniería de diseño. Volumen 13-111. Calculo hidráulico de tuberías. PDVSA.

19) Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. CRANE. Mcgraw-Hill.

20) Ingeniería química. Simulación de procesos aplicado a la industria usando ASPEN Hysys

V8.0. Edgar Jamanca Antonio.

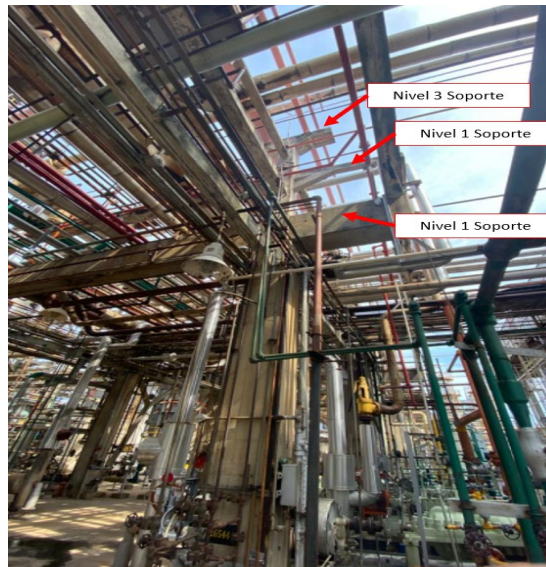
Apéndice B. Trazado del cabezal de interconexión

A continuación, se muestra desde la figura 17 hasta la figura 30, el recorrido que realizara la línea de interconexión de los cabezales de vapor, donde se identificaran de manera visual el espacio de ubicación de esta tubería. Esta primera sección del recorrido se muestra el punto de conexión de la línea en la U2650 y su cruce por la unidad hasta llegar al banco principal de tubería del área de tanques.

Se lleva a cabo el conteo de soportes, en algunos se deberá realizar extensión para brindar mayor factor de seguridad al nuevo trazado.

Figura 17.

Identificación de soportería dentro del banco de tubería de la U2650



Los soportes disponibles al interior de la planta U-2650, son tipo T de tres niveles.

Figura 18.

Salida de la unidad U2650 lado sur



Propuesta de descenso de cabezal para cruce por viaducto en salida de la planta de hidrogeno U-2650.

Figura 19.

Entrada a banco de tubería después de la U2650.



Figura 20.

Banco de tubería después de la U2650



Tramo de cabezal en salida del viaducto de la U-2650 a ubicarse en última posición del banco por disponibilidad de espacio en soportería existente, en caso requerido mover tubería anexa o realizar extensión de la serie de soportes.

A continuación, se presentan las imágenes sobre el banco de tubería del área de tanques del área de Balance, donde se identifica los espacios adecuados donde pasara la línea de interconexión de los cabezales de vapor.

Figura 21.

Trazado sobre espacio disponible en banco de tubería y soportería



Figura 22.*Área Casa Bombas B.***Figura 23.***Área Casa Bombas C*

Continuación de tramo por soportería a nivel y cambio de dirección para entrada a viaducto por espacio disponible.

Figura 24.

Área lavado de intercambiadores.



Continuación de tramo por soportería a nivel y cambio de dirección para entrada a viaducto por espacio disponible.

Figura 25.

Tramo por soportería a nivel y cambio de dirección para entrada a viaducto por espacio disponible



Continuación de tramo por soportería a nivel y cambio de dirección para entrada a viaducto por espacio disponible.

Figura 26.

Continuación de tramo por soportería a nivel hacia el separador

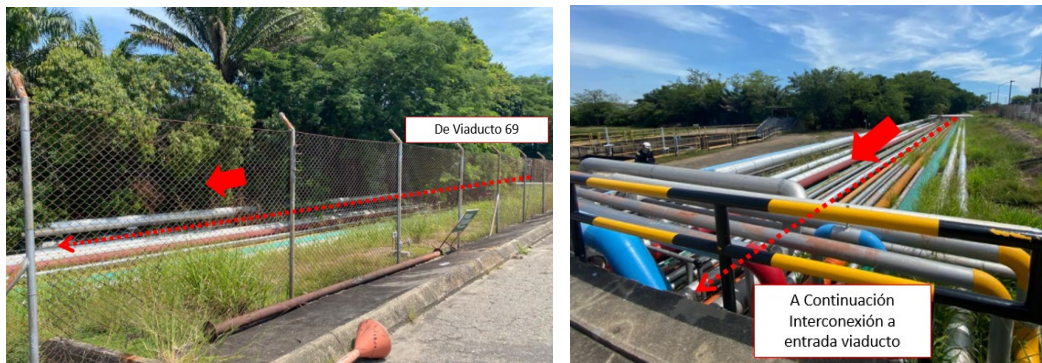


Figura 27.

Continuación de tramo por soportería a nivel hacia el separador.



Figura 28.

Interconexión a entrada viaducto



Figura 29.

Curvatura interconexión sobre banco de tubería



Continuación de tramo por soportería existente en perímetro del banco de tubería 17 y cruce a viaducto en dirección de Contraincendios.

Figura 30.

Tramo por en salida del viaducto



Continuación de tramo por en salida del viaducto, hacia el Viaducto 57, para cruce a terreno de la UOP-II y compartir derecho de vía con Banco de tuberías existente.

Apéndice C. Selección de espesor

Figura 31.

Valores de coeficiente *Y*. ASME B31.3.

Materiales	Temperatura, °C (°F)					
	≤ 482 (900 y menores)	510 (950)	538 (1.000)	566 (1.050)	593 (1.100)	≤ 621 (1.150 y mayores)
Aceros Ferríticos	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7	0,7
Aceros Austeníticos	0,4	0,4	0,4	0,4	0,5	0,7
Otros metales ductiles	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Hierro Fundido	0,0

Figura 32.

Selección *E* ASME B31.3

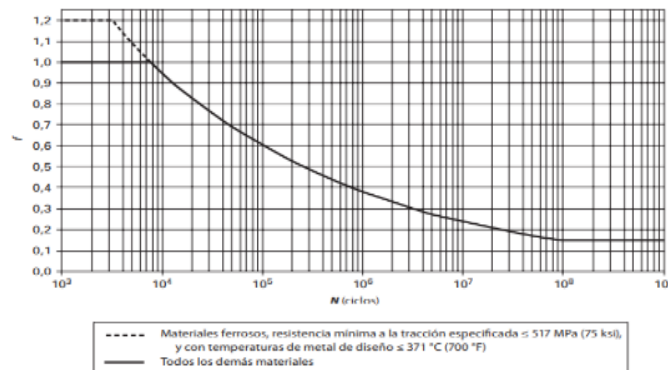
Tabla A-1B factores de calidad básicos para juntas longitudinales soldadas en tuberías, tubos y accesorios, *E_j*. Estos factores de calidad son determinados de acuerdo con el párrafo 302.3.4(a), vea también párrafo 302.3.4(b) y Tabla 302.3.4 para factores de calidad incrementados aplicables a casos especiales. Las especificaciones, excepto API, son ASTM.

No. espec.	Clase (o tipo)	Descripción	<i>E_j</i> (2)	Notas. Apéndice A
Acero carbono				
API SL	...	Tubería sin costura	1.00	...
		Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
		Tubería soldada por fusión eléctrica, doble tope, cordón recto o en espiral	0.95	...
		Soldada a tope en horno	0.60	...
A 53	Tipo S	Tubería sin costura	1.00	...
	Tipo E	Tubería soldada por resistencia eléctrica	0.85	...
	Tipo F	Soldada a tope en horno	0.60	...

Figura 33.

Selección *W* ASME B31.3

Fig. 302.3.5 Factor del intervalo de esfuerzos, *f*



Apéndice D. Selección de aislamiento

Figura 35.

Matriz de aislamiento.

ECOPETROL / Barrancabermeja
Aspen Aerogels Thickness tables
Date: Jul-18

Control	Valor	Descripción	Control	Valor	Unidad	Descripción
Unidades	Metric	Sistema de unidades	T. amb	26,7	°C	Temperatura promedio anual
Aerogel	Pyrogel XTE/HPS	Tipo de Aerogel	V. viento	0,7	m/s	Velocidad de viento promedio anual

Key: Pyrogel XTE Pyrogel HPS

Esesor Pyrogel XTE y Pyrogel HPS (mm) para conservación de calor y protección personal

NPS (in)	Temperatura Proceso (°F/°C)											
	XTE 300	XTE 300	XTE 400	XTE 500	XTE 600	XTE 700	HPS 750	HPS 800	HPS 900	HPS 1000	HPS 1100	HPS 1200
1/2	5	10	10	10	15	15	20	20	20	20	20	30
1	5	10	10	15	15	15	20	20	20	20	30	30
2	10	10	10	15	15	15	20	20	20	30	30	40
3	10	10	10	15	15	20	20	20	30	30	30	40
4	10	10	15	15	20	20	20	20	30	30	40	40
6	10	10	20	20	20	20	20	30	30	30	40	50
8	10	10	20	20	20	20	20	30	30	40	40	50
10	10	10	20	20	20	20	30	30	30	40	40	50
12	10	10	20	20	20	20	30	30	30	40	40	50
14	10	10	20	20	20	20	30	30	30	40	40	50
16	10	10	20	20	20	20	30	30	30	40	40	50
18	10	10	20	20	20	30	30	30	30	40	40	50
20	10	10	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50
24	10	10	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50
30	10	10	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50
36	10	10	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50
42	10	10	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50
48	10	10	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50
Flat	10	10	20	20	20	30	30	30	40	40	40	50
°C	10°C	148	204	260	316	371	399	427	493	538	566	611

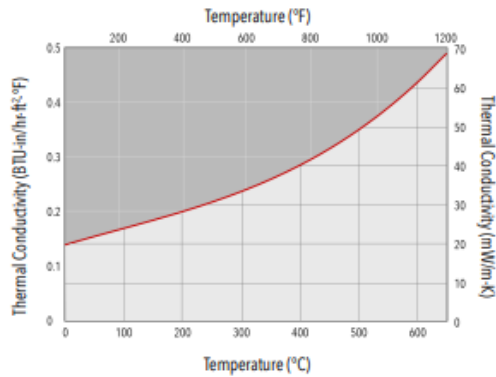
Figura 36.

Especificación aislamiento.

THERMAL CONDUCTIVITY*
Tested in accordance with ASTM C177

Mean Temp. °F / °C	k BTU-in/hr-ft ² -°F / mW/m-K
32 / 0	0.14 / 20
212 / 100	0.17 / 24
392 / 200	0.20 / 28
572 / 300	0.23 / 33
752 / 400	0.28 / 40
932 / 500	0.34 / 49
1112 / 600	0.43 / 62
1202 / 650	0.48 / 69

*Thermal conductivity typically measured at a compressive load of 2 psi.



Apéndice E. Isométricos

Figura 37.

Conexión cabezal de Balance U2650

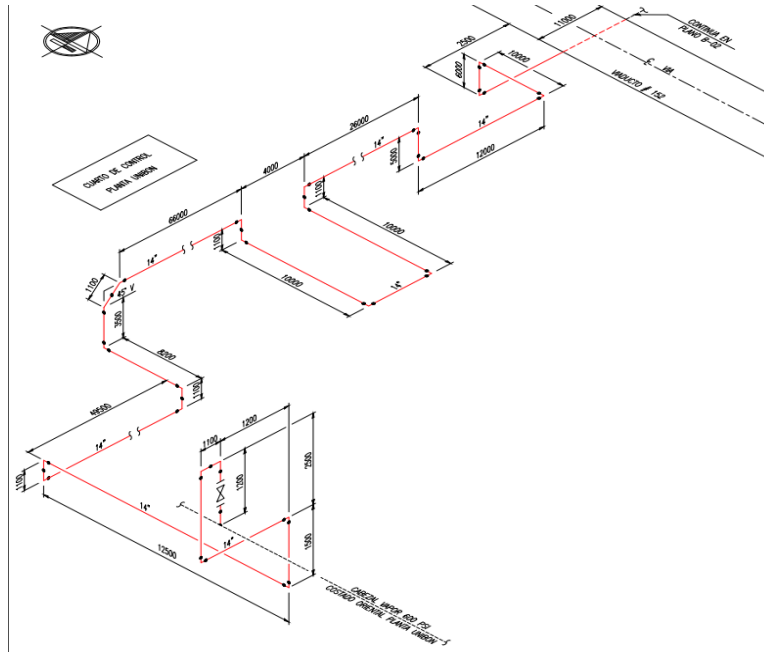


Figura 38.

Trazado banco de tubería del área de tanques de Balance

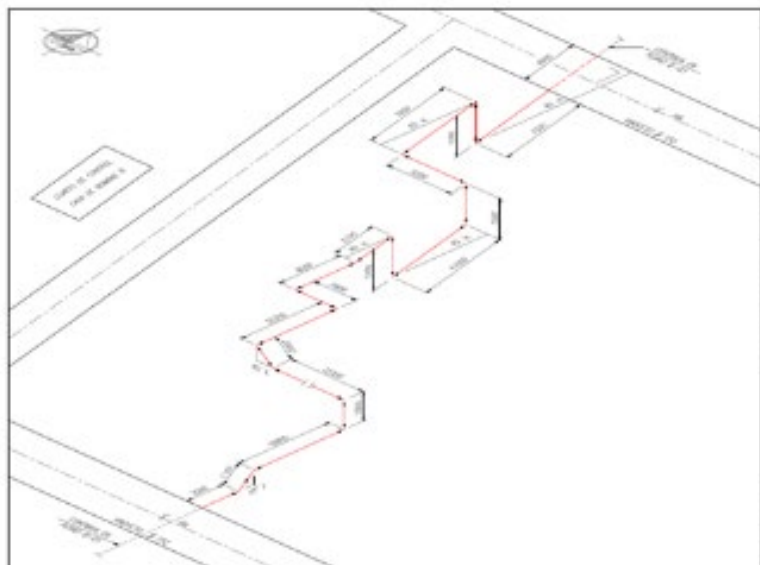
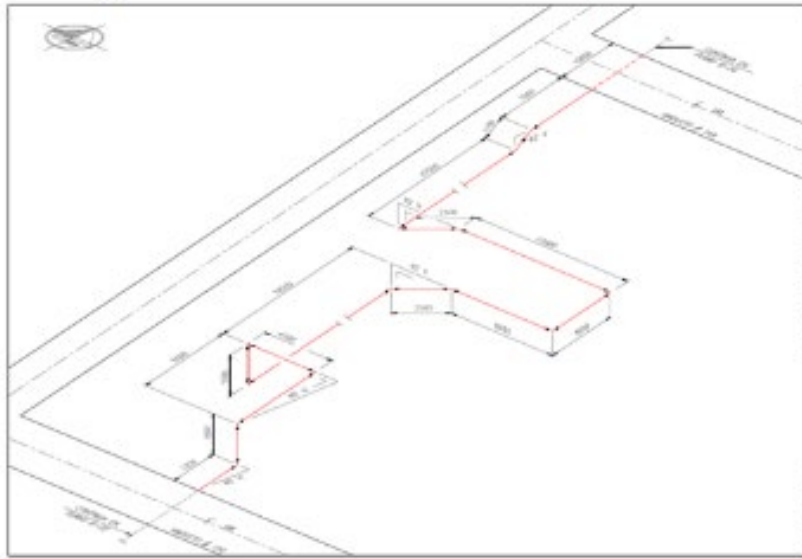


Figura 39.

Trazado banco de tubería del área de tanques de Balance.

**Figura 40.**

Trazado banco de tubería del área de tanques de Balance.

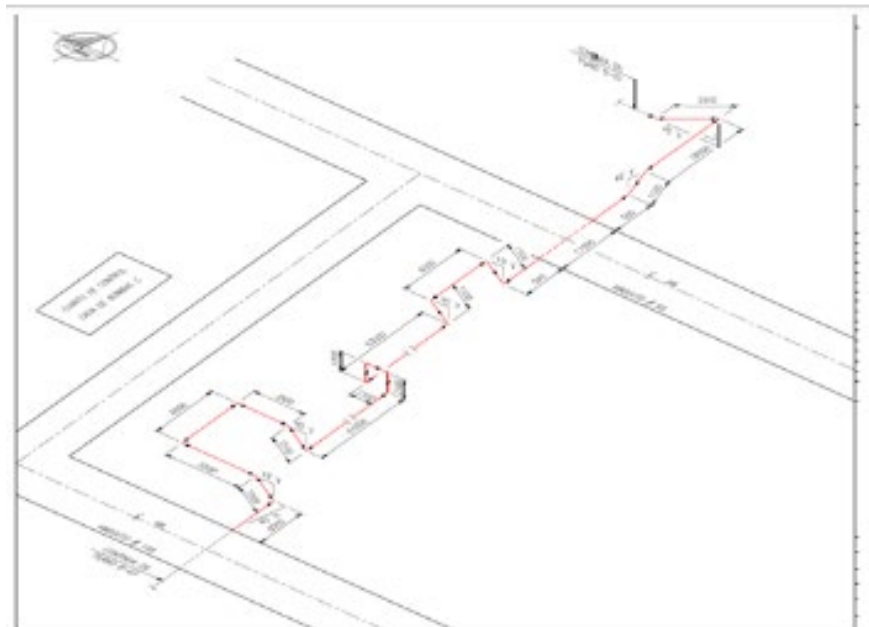
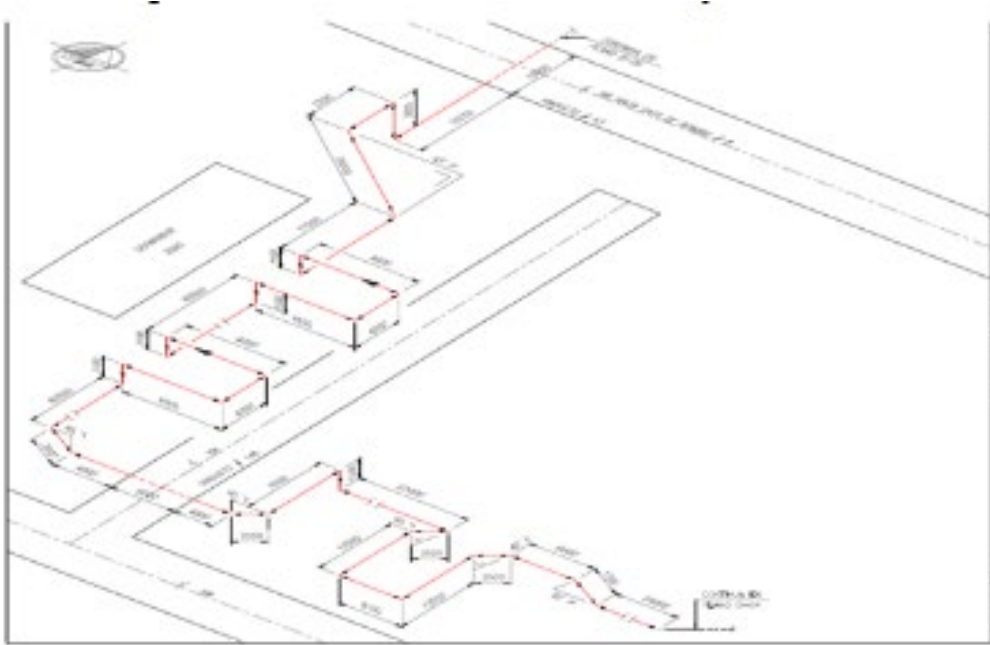


Figura 41.

Trazado banco de tubería del área del separador SE-3090 de Balance.

**Figura 42.**

Trazado banco de tubería del área de Contraincendios.

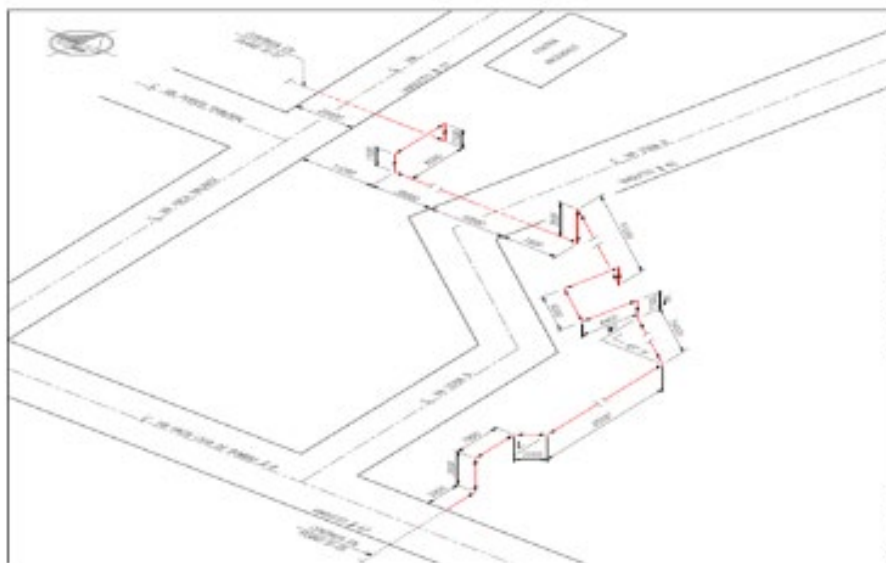


Figura 43.

Trazado banco de tubería del área de la UOP II.

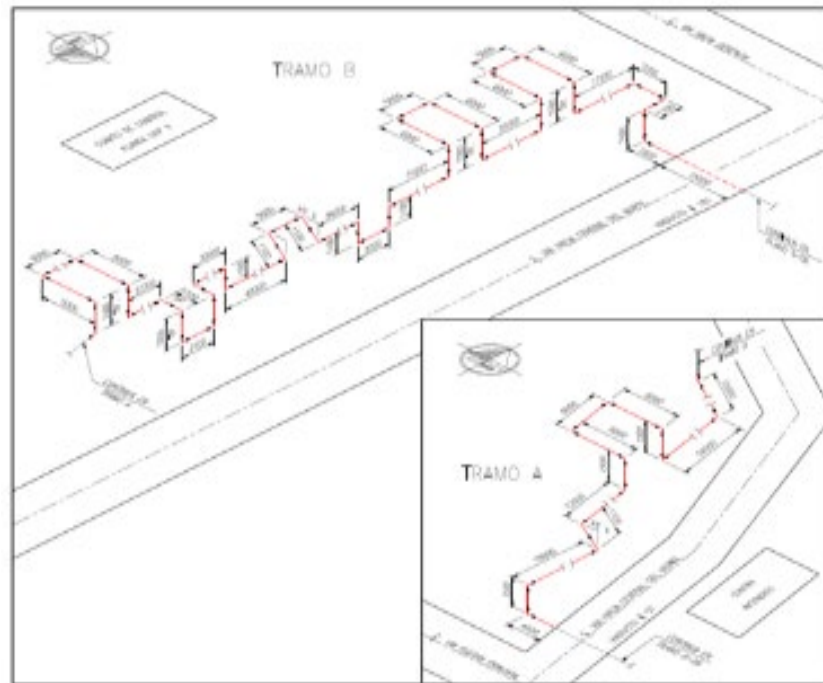
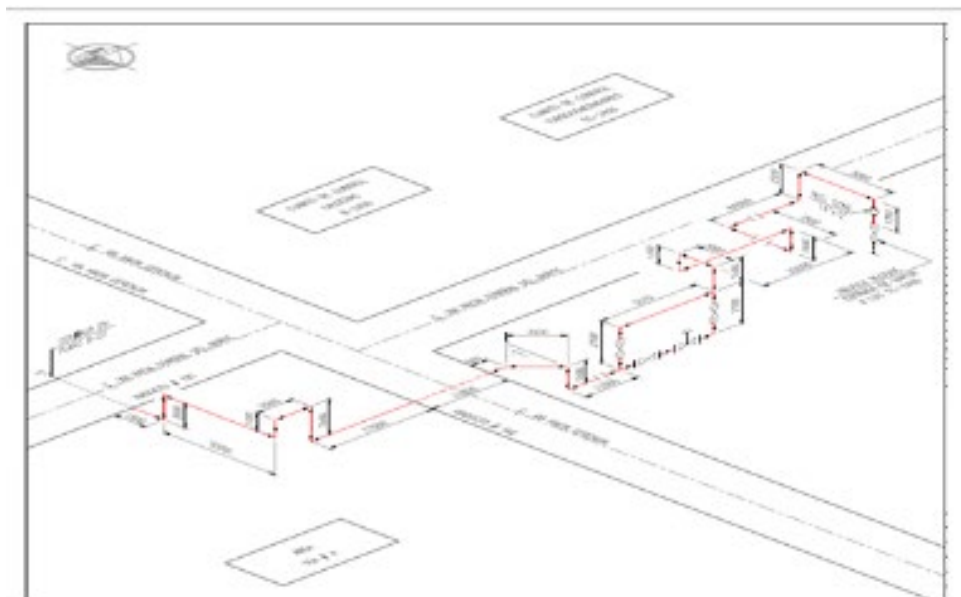


Figura 44.

Trazado Área Central del Norte.



Apéndice F. Simulaciones

Figura 45.

Simulación alternativa 1. Línea de 14”, Schedule 80 a 290 klb/h.

Flujo maximo 290 klb/h “caída de presión (psi/100ft)” : 1.31

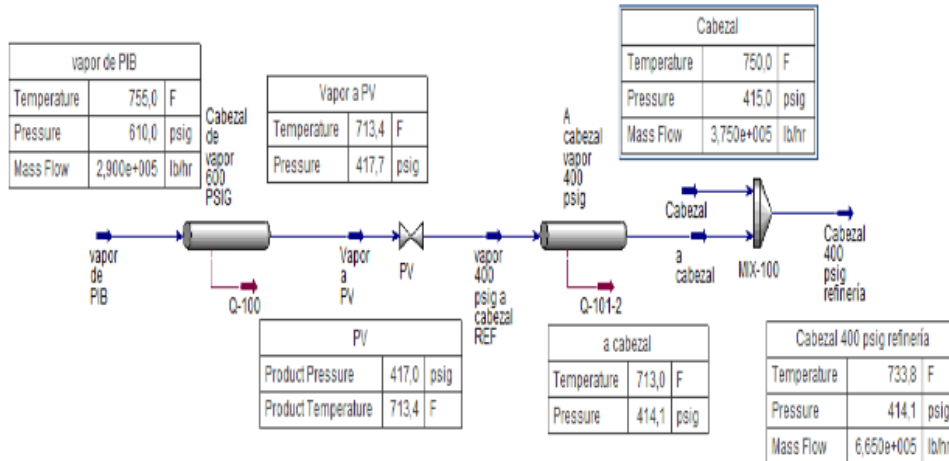


Figura 46.

Simulación alternativa 1. Línea de 14”, Schedule 80 a 90 klb/h.

Flujo minimo 90 klb/h “Caída de presión (psi/100ft)” : 0.16

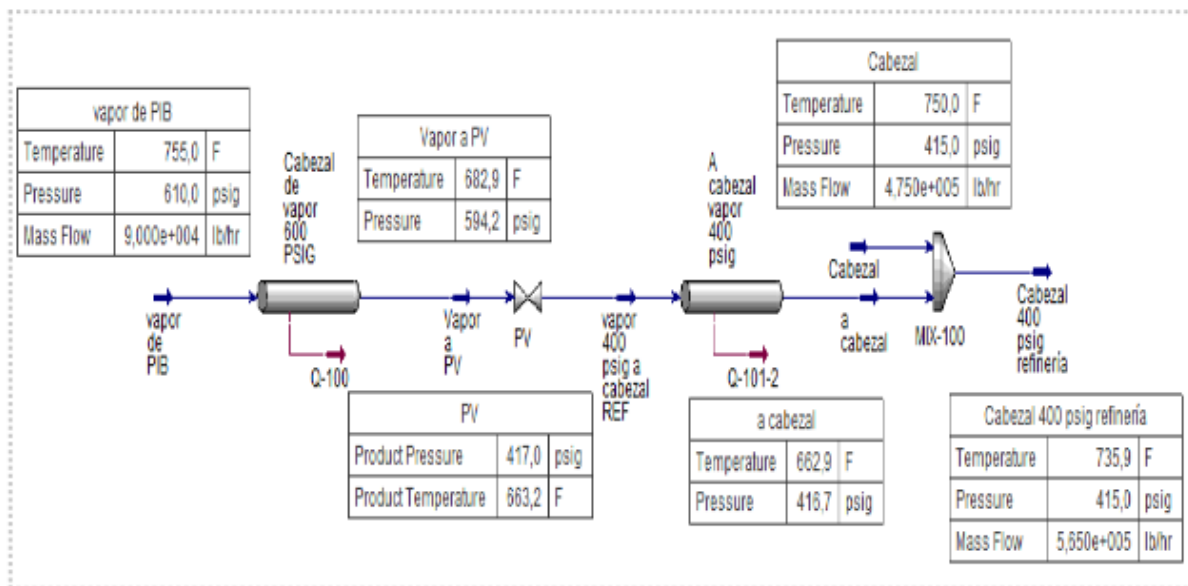


Figura 47.

Simulación alternativa 2. Línea de 16", Schedule 80 a 400 klb/h.

Flujo máximo 400 klb/h "Caída de presión (psi/100ft)" : 1.73

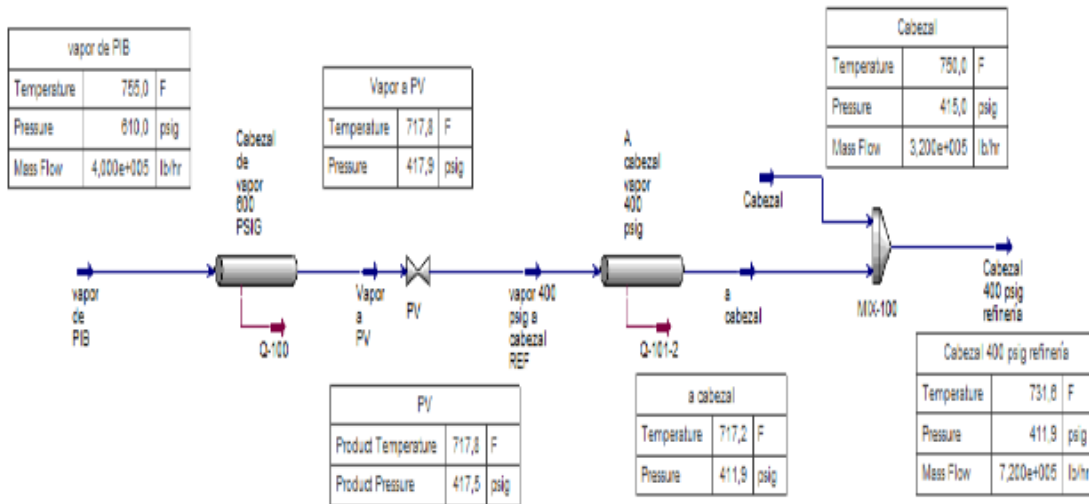


Figura 48.

Simulación alternativa 2. Línea de 16", Schedule 80 a 90 klb/h.

Flujo mínimo 90 klb/h "Caída de presión (psi/100ft)" : 0.0803

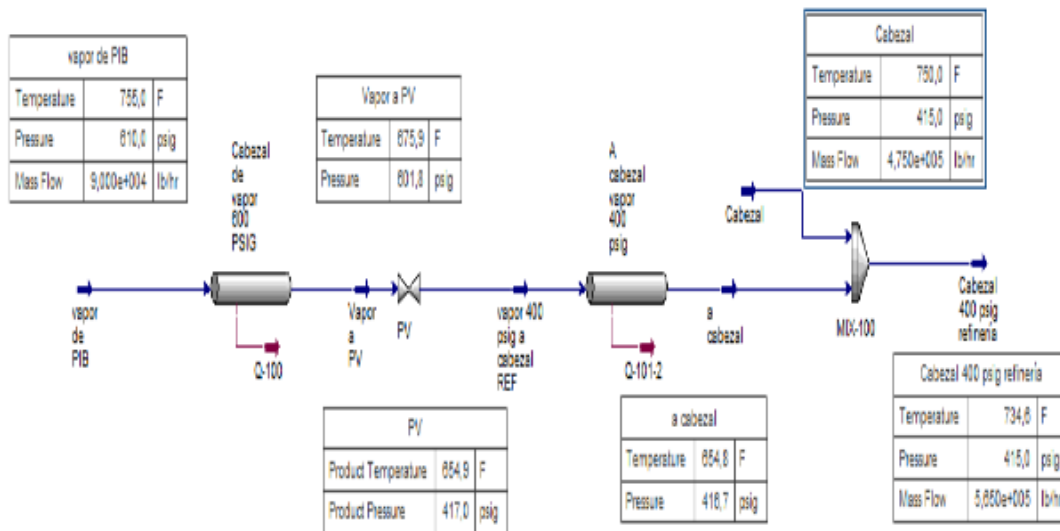


Tabla 12.*Flujos Mínimos*

Diámetro [In]	Vapor de Balance			Vapor a cabezal 400 psig			Vapor a Cabezal Refinería		
	Temp. [°f]	Presión [psig]	Flujo [klbh]	Temp. [°f]	Presión [psig]	Flujo [klbh]	Temp. [°F]	Presión [psig]	Flujo [klbh]
Alternativa 1 14	755	610	90	662,9	416,7	90	735,9	415	565
Alternativa 2 16	755	610	90	654,8	416,7	90	734,6	415	565

Tabla 13.*Flujos máximos*

Diámetro [In]	Vapor de Balance			Vapor a cabezal 400 psig			Vapor a Cabezal Refinería		
	Temp. [°f]	Presión [psig]	Flujo [klbh]	Temp. [°F]	Presión [psig]	Flujo [klbh]	Temp. [°f]	Presión [psig]	Flujo [klbh]
Alternativa 1 14	755	610	290	713	414	290	733,8	414	665
Alternativa 2 16	755	610	400	717,2	411,9	400	731,6	411,9	720

Apéndice G. Formato factibilidad

	Formato para Feasibilidad y Factibilidad para Administraciones de Calentamiento Central de edificios		
	Sistema de Calentamiento Central de Edificios		
	MEDIO AMBIENTE	Edificio de destino	Ubicación del edificio

1. Información general

1.1. UBICACIÓN DEL PROYECTO DE SERVICIO Y DEL EDIFICIO: Edificio de destino: Área: GRB

1.2. PROYECTO: Interconexión de cabezales de vapor de los edificios de destino

1.3. PLAN DE SERVICIO: Cabezal de vapor de edificio de destino y sistema de distribución de calor

1.4. NOMBRE DE LA EMPRESA QUE PRESENTA EL PROYECTO: INTERCONEXIÓN DE CABEZALES DE VAPOR DE LOS EDIFICIOS DE DESTINO DE LA ZONA DE ESTUDIO.

2. Descripción del proceso actual

2.1. Descripción del proceso actual: Descripción del proceso actual, características y datos de operación. Descripción de la capacidad de calor, descripción de los edificios.

2.2. Descripción del proceso futuro: Descripción del proceso futuro, características y datos de operación. Descripción de la capacidad de calor, descripción de los edificios.

3. Datos técnicos del sistema propuesto

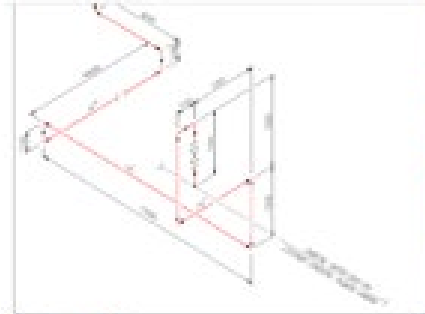
3.1. Descripción del sistema propuesto: Descripción del sistema propuesto, características y datos de operación. Descripción de la capacidad de calor, descripción de los edificios.

3.2. Descripción del sistema de distribución de calor: Descripción del sistema de distribución de calor, características y datos de operación. Descripción de la capacidad de calor, descripción de los edificios.

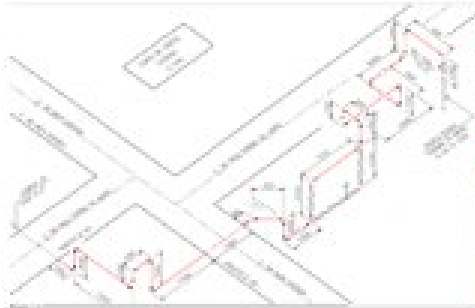
3.3. Descripción del sistema de control: Descripción del sistema de control, características y datos de operación. Descripción de la capacidad de calor, descripción de los edificios.



Ubicación del edificio.



Ubicación del edificio.



4. Descripción del requerimiento

Para qué se hace el cambio

1. Mantener la producción de vapor de la refinera a través de la interconexión del cabezal de vapor de 400 tpa de refinería y el cabezal de vapor de 600 tpa del lado de la línea.
2. Aumentar la disponibilidad del sistema de presión de los vapores de la GRB.
3. Reducir los costos de operación y mantenimiento de las calderas al estar ellas a un nivel de equipo con baja eficiencia.
4. Disminuir la huella de carbono al reducir las emisiones de gases de escape con baja eficiencia.

5. Beneficios esperados

¿Cuál es el sistema para el cual se están evaluando alternativas (¿alternativas de cambio para la organización, construcción del proyecto)?

1. Alterar el gas de escape de la caldera de 600 tpa.
2. Alterar el gas de escape a gas de escape de 400 tpa.
3. Aumentar la eficiencia de las calderas de 600 tpa.

Beneficio	Costo (Euros)	Valor (M€)
La interconexión de Calderas		1.750.000
Modificación de Calderas		2.000.000
Modificación de Calderas		24.000
Operación		40.000
Mantenimiento		200.000
Disminución		2.100.000
		2.100.000

6. Descripción y análisis de alternativas

Descripción y análisis de alternativas para cumplir el objetivo propuesto en el subtema del problema a resolver

Se alternan a más unidades de vapor de la refinera interconectando la refinera con una línea de 14 pulgadas y reduciendo el diámetro del cabezal de vapor de 600 tpa de refinería ubicada en el centro del campo (longitud 2.770 m agua). Cabeza al 64 pulgadas (diámetro del diámetro de la cabeza principal 400 tpa) con capacidad de 1400 tpa, con un flujo de vapor de 400 tpa con un cabezal de refinería de 600 tpa (P&ID 2009) 1.1.1.

7. Criterios de aceptación

8. VALIDACIÓN EAR (¿Responde de No Responde al Cambio?)

Categoría	Grado de validación	Descripción
PERSONAS	BC	No se prevé ninguna alteración.
ECONOMÍA	EE H	Se pasa de una caldera en P&I y/o salida de una caldera en central del norte, afectando la disponibilidad y operación de unidades que utilizan vapor para sus procesos.
AMBIENTE	BC	Ningún riesgo de afectación ambiental.
CLIENTES	EE H	Se pasa de una caldera en P&I y/o salida de una caldera en central del norte, afectando la disponibilidad y operación de unidades que utilizan vapor para sus procesos.
SEGURIDAD	BC	No se prevé ninguna alteración.
RIESGO GLOBAL	EE H	RIESGO GLOBAL: No tiene el más crítico de las 5 categorías anteriores.

9. CÁLCULO FACTOR "F"

Valor riesgo antes del Cambio (calculado en matriz RMM, escala 1)	R1 =	3.042.548
Valor riesgo después del Cambio	R2 =	1.486.833

$$F = \frac{\text{Valor riesgo antes} - \text{Valor riesgo después}}{\text{Costo de la inversión}} = \frac{R1 - R2}{\text{Costo Inv.}} = 1,8$$

10. ESTIMACIÓN DE COSTOS (Base de cálculo para línea de 14")

Costo materiales	\$ 500.000
Mano de obra	\$ 270.000
Ingeniería, estudios	\$ 135.000
Otros	\$ 260.000
TOTAL COSTOS	\$ 1.165.000

Costo operación: +/- 50%

\$ 1.165.000

Apéndice H. Matriz RAM Ecopetrol

Figura 49.


Matriz RAM.

CONSECUENCIAS					No ha ocurrido en la industria	Ha ocurrido en la Empresa o en la industria	Ha ocurrido en la Empresa en los últimos 10 años	Sucede varias veces al año en la Empresa. De probable ocurrencia en un lapso entre 1 y 5 años	Sucede varias veces al año en el Departamento. Puede ocurrir en el transcurso del año	
CATEGORÍAS					G R A D O	PROBABILIDAD				
PERSONAS	ECONÓMICA (USD)	AMBIENTAL	CLIENTES	REPUTACIÓN		A	B	C	D	E
Una o Más Fatalidades de trabajadores ó incapacidades permanentes a personal de la comunidad	Mayor a 10 Millones	Mayor	Pérdida de participación en el mercado	Internacional	5	M	M	H	H	VH
Incapacidad Permanente (Total o Parcial) de trabajadores ó incapacidad temporal de personal de la comunidad	Mayor a 1 Millón y Menor o Igual a 10 Millones	Importante	Pérdida de clientes de mercado sensible o prioritario	Nacional y con rechazo de un grupo de interés	4	L	M	M	H	H
Incapacidad Temporal (Mayor o Igual a 1 Día) de trabajadores y hospitalización en centros asistenciales de personal de la comunidad	Mayor a 100.000 y Menor o Igual a 1 Millón	Localizada	Desabastecimiento y/o Pérdida de Clientes	Nacional y sin rechazo de un grupo de interés	3	N	L	M	M	H
Lesión Menor (Sin Incapacidad) en trabajadores ó Primeros auxilios, sin hospitalización a personal de la comunidad	Mayor a 10.000 y Menor o Igual a 100.000	Menor	Quejas y/o Reclamos	Nacional y baja importancia	2	N	N	L	M	M
Lesión Leve de trabajadores (Primeros Auxilios)	Menor a 10.000	Leve	Incumplimiento de Especificaciones solucionado	Local y baja importancia	1	N	N	N	L	L
Sin Lesión	Ninguna	Ninguna	Ninguna	Ninguna	0	N	N	N	N	N

Apéndice I. Formato what if

Figura 50.

Formato para el registro del análisis de riesgo.

FORMATO PARA EL REGISTRO DE ANÁLISIS DE RIESGO WHAT IF										
		ECOPEPETROL Bogotá Versión 1								
		IDENTIFICACIÓN Identificar peligro: Analizar los riesgos operacionales que se derivan de la presencia de interconexión de cabezales de vapor de alta presión en la Refinería de Barrancabermeja, con los respectivos procedimientos operativos, estándares y otros de recomendación acciones que permitan reducir los riesgos a niveles tolerables, de acuerdo a la Norma ASME B 31.3.								
Descripción: Refinería Barrancabermeja		Área Específica: Control del flujo (1-240) y Unidad de Hidrocrack Modificado (MCR) (200 del área de Refinería).		DESCRIPCIÓN GENERAL: En el marco del proyecto de la Ingeniería Consultar comprende el diseño del sistema de integración energética de vapor de alta presión entre los Áreas de Refinería y Refinería, para optimizar e incrementar la eficiencia, reduciendo los parámetros de diseño del sistema de transporte energético, manteniendo las condiciones termodinámicas requeridas de operación en las plantas de proceso.						
Nombre e Identificación de estancias: SER LISTADO DE ASISTENCIA		Fecha de Inicio: 01/04/22 Fecha Final: 01/04/22								
Nombre del Facilitador e Identificación: ESTEBAN ANTONIO TORRES										
¿QUÉ PASA SI?	CONSECUENCIA	RAM	Riesgo Inicial C, F, W	MEJORA DE SEGURIDAD (ELEMENTOS) (Subsecuencia)	Riesgo Residual C, F, W	RECOMENDACIÓN	Riesgo Residual C, F, W	Fecha de Cierre	RESPONSABLE	Observaciones
... Una caída del cabezal de Refinería (400 psig) sale de operación por falta?	1. Desdiseñamiento de vapor de alta presión a los consumidores de Refinería y Refinería. 2. Baja presión en el cabezal de 400 psig.	ECO	3	1. La Ingeniería Consultar contempla el Listo de control de Flujo y Presión (ver más por presión (apenas abran)) dentro de los cabezales de vapor de 400 psig y 600 psig. 2. Alarmas existentes por baja presión en el cabezal de 400 psig.	3	1. En el siguiente etapa de la Ingeniería Consultar por base de control de cabeza de la refinería de control de proceso por el número de válvulas en operación del cabezal de Refinería. 2. Instalar un control más rígido por presión aguas arriba del sistema de control (área de Refinería). 3. Actualizar el plan de contingencia asociado a la interconexión de los cabezales vapor de alta presión.	1	1.0.0.2022	1 y 2. Área de Ingeniería - Refinería - S. DEP	Instalar un implemento antes del Diseño Refinería.
... Una caída del cabezal de Refinería (400 psig) sale de operación por falta?	1. Desdiseñamiento de vapor de alta de 400 psig en el área de Control del flujo. 2. Baja presión en el cabezal de 400 psig.	ECO	3	1. Fortalecimiento de los controles con el uso de control del proceso existente. 2. Procedimiento existente de monitoreo de caudal de vapor. 3. Control más rígido en los cabezales existentes. 4. Alarmas existentes por baja presión en el cabezal de 400 psig.	3	4. Actualizar procedimiento operativo teniendo en cuenta el nuevo suministro de vapor por la línea de interconexión incluyendo el elemento de falta de una columna de Control del flujo.	1		4. DEP	
... El consumo de vapor de 400 psig excede más de 250 t/día?	1. Desdiseñamiento de vapor de alta de 400 psig en el área de Control del flujo. 2. Baja presión en el cabezal de 400 psig.	ECO	3	1. La Ingeniería Consultar contempla el Listo de control de Flujo y Presión entre los cabezales de vapor de 400 psig y 600 psig, teniendo el flujo hasta 250 t/día.	3	5. Implementar en la Ingeniería Refinería alarmas por baja presión, flujo, alta y otro alto flujo en el área de control.	1		5. Área de Ingeniería	
... Las vibraciones de las líneas de vapor (400 psig/600 psig) exceden 200 ft/s ²	1. Disminución de espesor, erosión en la tubería con aparición de corrosión. 2. Personal afectado personal.	ECO	3	1. La Ingeniería Consultar contempla las líneas de vapor de 400 psig y 600 psig diseñadas con un nivel de vibración máxima a 200 ft/s ² , con un nivel de 10" x 10".	3	6. Incluir en los planos de integración los nuevos líneas de 400 psig y 600 psig que se van a incorporar en el proyecto. 7. Verificar en la siguiente fase de la Ingeniería las vibraciones de las líneas de vapor del cabezal de 400 psig y 600 psig existentes. 8. Solicitar los resultados de las pruebas de inspección en las partes de interconexión de los dos cabezales.	1		6 y 8. DEP	6. Área de Ingeniería

¿QUÉ PASA SI?	CONSECUENCIA	RAM	Riesgo Inicial C, F, W	MEJORA DE SEGURIDAD (ELEMENTOS) (Subsecuencia)	Riesgo Residual C, F, W	RECOMENDACIÓN	Riesgo Residual C, F, W	Fecha de Cierre	RESPONSABLE	Observaciones
... El consumo de vapor de 400 psig sea por debajo de 100 t/día?	1. Subpresión en el cabezal de 400 psig. 2. Afectación a la integridad de las líneas de 400 psig debido a condensación, variación de temperatura y eventual salida de arena.	ECO	3	1. El área de control de proceso sigue el plan de control de vapor a 400 psig. 2. Instalación de flujo desde el área de control. 3. Instalación de parámetros de apertura de los nuevos válvulas. 4. Sistema de regulación existente en las columnas de 400 psig. 5. La Ingeniería contempla la instalación de trampas de vapor en la línea nueva de interconexión.	3	9. En la próxima fase de Ingeniería evaluar desde una Refinería, la recuperación de condensado proveniente de los tramos de vapor. 10. Incluir en los procedimientos de arranque y parada los nuevos requisitos del proyecto. 11. En las partes de contingencia se debe garantizar como mínimo que el flujo mínimo sea de 100 t/día.	1		9. Área de Ingeniería - Refinería - S. DEP	
... Si la válvula de control de presión sufre cuando se abra planto?	1. Subpresión a causa del cabezal de vapor de 400 psig. 2. Personal afectado a personal. 3. Baja presión en el cabezal de vapor de Refinería (400 psig).	ECO	3	1. Válvulas de seguridad existentes en las columnas de Refinería con un set de 400 psig. 2. Alarmas por baja presión existentes en el cabezal de Refinería y alarmas por alta presión en el cabezal de Refinería.	3	12. Decidir en la próxima fase de Ingeniería alarmas por flujo, retroflujo, alta y otro alto presión en el área de control. 13. Verificar la capacidad de otros del cabezal de vapor de 400 psig. 14. Decidir mantener los válvulas de control del control de control en la siguiente fase de Ingeniería con los estándares de control. 15. Decidir si se requiere una PFR en el cabezal de 400 psig aguas arriba de la válvula del control de control, ante el aumento de falta por apertura de la válvula de control.	1		11, 13, 14 y 15. Área de Ingeniería	
... Errores en las cruce de medidor por fuertes brisas	1. Disminución de la temperatura del vapor, se presentan condensados en la línea.	ECO	3	1. Fortalecimiento de los controles con el uso de control del proceso existente dentro del área de Refinería como Refinería.	1	16. Revisar en la siguiente fase de Ingeniería la instalación de trampas en los cruces de válvulas existentes que se puedan mostrar por los fuertes brisas produciendo disminución de la temperatura del vapor. 17. Asegurar que los nuevos cruces de válvulas cuenten con los drenajes adecuados para evitar la humedad por las brisas.	1		16 y 17. Área de Ingeniería	