

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



“EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE RECOLECCIÓN DE GAS
DEL CAMPO SIPORORO, UBICADO EN LOS LÍMITES DEL ESTADO
BARINAS.”

REALIZADO POR:

BRICMAR JOSÉ CÓRDOVA ACOSTA
ERASMO JOSÉ SUÁREZ GALANTÓN

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO ANTE LA ILUSTRE UNIVERSIDAD DE
ORIENTE COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL TÍTULO DE:
INGENIERO QUÍMICO

BARCELONA, JULIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA



ASESOR

Ing. De Petróleo José Rondón
Asesor Académico

BARCELONA, JULIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE ORIENTE
NÚCLEO DE ANZOÁTEGUI
ESCUELA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS APLICADAS
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA DE QUÍMICA



“EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE RECOLECCIÓN DE GAS
DEL CAMPO SIPORORO, UBICADO EN LOS LÍMITES DEL ESTADO
BARINAS.”

JURADOS

Ing. de Petróleo José Rondón
Asesor Académico

Ing. Hernán. R. Raven C., M.Sc
Jurado Principal

Ing. Daniel. J. Suárez.
Jurado Principal

BARCELONA, JULIO DE 2010

RESOLUCIÓN

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizadas para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización

DEDICATORIA

A mi dios todopoderoso por ser mi guía y mi luz en las buenas y en las malas.

A mi santo bello San Alejo, por cuidarme, protegerme y siempre estar conmigo.

A mi mamá Yeneira Acosta, por ser mi madre el ser que me dio la vida y que me apoyo en todo momento, te quiero mucho mami este triunfo es tuyo.

A mi papa José Córdova, por ser el mejor papa de este mundo y por tu apoyo incondicional, este triunfo también es tuyo papi. Te quiero

A mi abuela Doris de Córdova, por ser mi abuela linda y bella a quien quiero y adoro.

A mi hermana Brenda Acuña, tú que eres mi única sister, mi única her, mi única wey eres muy importante para mí. Espero que también logres esa meta que te propusiste.

A mis sobrinos Jesús Alfredo y Bárbara Paulina, porque desde que vinieron al mundo son la luz de mis ojos.

A mi tío Carlos Córdova (Q.E.P.D), porque sé que donde quiera que este se siente orgulloso de mi

A mis tíos y tías: Yadelcy, Yalice, Yulixi, Yelisvé, Oswaldo, Yusbeli, Audilio, Rafael, Luis, Omaira, Danarbis, Darlis, Dakarlis. Por creer y confiar en mí.

A mis primas y primos: Andre, Andreína, Yaisnarly, Ana Lorena, Javier, Ronald, Roniel, Dennys, Luis Vicente, Gabriel, Ángel, Andrés, Dayana, Meredí, Yalimar, Vicente, Ismael, Danyer, José Daniel, Rafael, Eduardo, Osmarith, Pablo José, Damil, Oriana, José Gregorio, Mauricio, Fabián, José Manuel, Luis José, Anderson, Diego, Ronald Sneider, Andrés Ibrahim, Rosbely, Waleska, Robert, Amelie y Osmar.

A una mujer que es muy importante para mí y sé que se siente tan orgullosa de mi como si yo fuera su hija, gracias Roselia Macadán.

BRICMAR JOSÉ CÓRDOVA ACOSTA

DEDICATORIA

A mi Dios todopoderoso, la Virgen del Valle por darme la fortaleza, sabiduría en los momentos difíciles.

A mis padres, Erasmo y Benirde, por su apoyo incondicional, por estar siempre a mi lado y ser testigos de todo este camino recorrido para lograr esta meta. Los quiero mucho.

A mis hermanas: Verónica y Eranilde, este logro también es de ustedes.

A mi querida esposa Amarilis Bermúdez, gracias por estar a mi lado y ayudarme a luchar para conseguir esta anhelada meta, por confiar en mí y recordarme siempre que si podía. Este logro también es tuyo mi amor.

A mis adoradas y preciosas hijas: Verónica y Ángela por decirme siempre tú si puedes papi, las quiero mucho.

A mi tío Toño, tía Nancy, a mis primos Nayana, Nayán, Antonio que los considero mis hermanos, a mis suegros Santiago y Hircia, gracias por su granito de arena que aportaron a mi vida y a este triunfo.

A mis nuevas amigas Bricmar y Edmi; por todo el apoyo brindado y aceptarme en su grupo cuando reingrese a la universidad.

ERASMO JOSÉ SUÁREZ GALANTÓN

AGRADECIMIENTOS

Primeramente a Dios por darme vida, salud e inteligencia para cumplir esta meta y también por darme una razón más para seguir adelante.

A San Alejo por cuidarme y alejarme las cosas malas.

A mis padres Yeneira Acosta y José Córdova, a ellos que con su amor, dedicación y educación me enseñaron que este era el camino correcto.

A mis compañeros de tesis Edmi Avile y Erasmo Suárez, porque más que mis compañeros son mis amigos y los quiero.

A mis amigas y amigos queridos: Enidian Romero, Carolina Velásquez, Lusbelly Moya, Rafmary Alcalá, Celeste Rondón, Zuly Ruiz, Conny Guevara, Giovel Rodríguez y Armando Álvarez; con ustedes he compartido momentos inolvidables tanto dentro como fuera de la universidad, gracias por darme la dicha de poderlos llamar amigos y por ser tan importantes en mi vida.

A las chicas de la residencia: Jennifer Rodríguez, Kariné Meneses, Rosaimé Zambrano, Dayaneth Zambrano, Daniela García, Mariannys Prieto y Albisnely Gomez; gracias por ser parte de esa familia tan especial que encontré en ese lugar.

Al señor Amado Sánchez (Q.E.P.D) y a la señora Mérida de Sánchez, por recibirme en su casa como una hija más.

A nuestro asesor el ingeniero José Rondón, por su ayuda y apoyo.

A la Universidad de Oriente por darme la oportunidad de formarme como profesional en su Campus.

A Gerson Martínez

A Maximiliano Souquet (Q.E.P.D).

BRICMAR JOSÉ CÓRDOVA ACOSTA

AGRADECIMIENTOS

A mi Dios, la Virgen del Valle, por acompañarme siempre y darme fuerzas para no decaer en momentos de dificultad.

A la Universidad de Oriente, por permitirme formarme profesionalmente en sus aulas y cada una de las personas con las cuales compartí en ese lugar y que formaron parte de mi vida como estudiante.

A mis compañeras de equipo y amigas Edmi y Bricmar, muchas gracias sin ustedes este trabajo no habría sido posible.

A todos los profesores de la Univesidad de Oriente que ayudaron a mi formación profesional. A todos mucha gracias

A mi Asesor Académico, Ing. José Rondón, por dedicar parte de su tiempo.

A todas aquellas personas no nombradas ni referidas aquí, pero que en algún momento aportaron su amistad y su apoyo para ayudarme a alcanzar este sueño que hoy se hace realidad. A todos muchas gracias.

ERASMO JOSÉ SUÁREZ GALANTÓN

RESUMEN

En este proyecto se realizó una evaluación hidráulica de la red de recolección de gas del Campo Sipororo, ubicado en los límites del estado Barinas, con la finalidad de establecer las restricciones operacionales en la red. Una vez definidos los escenarios de producción de los pozos, cuya información fue facilitada por la empresa encargada de la operación de la red; se realizaron las simulaciones de los escenarios actuales, y con los datos de los reportes del simulador se pudo validar la red de recolección para la producción independiente del pozo SIP-2X, ya que las desviaciones fueron menores al 10% que es el límite permitido más no sucedió lo mismo con la producción independiente del pozo SIP-3X en donde no se pudo validar la red por presentar desviaciones superiores al 10% en los resultados obtenidos. Posteriormente se realizaron las simulaciones de los 8 escenarios propuestos y se evaluaron dos presiones (mínima y máxima) de llegada a la planta de tratamiento, con los resultados se calcularon las velocidades erosionales las cuales se compararon con las velocidades del fluido y junto a las caídas de presión se verificaron con las establecidas en la normativa PDVSA. Los resultados obtenidos indican la existencia de velocidades y caídas de presión en varios tramos de tuberías que se encuentran por encima de las máximas establecidas en la norma, tal es el caso del escenario 2 en donde a la presión mínima específicamente en el tramo del nodo SIP-3X al nodo H, el link L005 presenta una caída de presión por cada 100 pie de tubería de 5,61 psig, el cual es superior al límite que es de 2 psig y una velocidad de 58,84 pie/s siendo mayor a 33,32 pie/s que es la erosional. Estas restricciones identificadas impiden el óptimo funcionamiento de la red de recolección, lo que implica que se deben modificar varias tuberías.

CONTENIDO

| | |
|--|-------|
| RESOLUCIÓN | iv |
| DEDICATORIA | v |
| AGRADECIMIENTOS | viii |
| RESUMEN..... | xi |
| CONTENIDO | xii |
| LISTA DE TABLAS | xv |
| LISTA DE FIGURAS..... | xviii |
| CAPITULO I..... | 20 |
| UBICACIÓN GEOGRÁFICA..... | 20 |
| 1.1. Descripción del área en estudio..... | 20 |
| 1.2. Planteamiento del problema..... | 21 |
| 1.3 Objetivos | 23 |
| 1.3.1 Objetivo general:..... | 23 |
| 1.3.2 Objetivos específicos: | 23 |
| CAPITULO II | 24 |
| MARCO TEÓRICO..... | 24 |
| 2.1 Antecedentes. | 24 |
| 2.2 Gas natural | 25 |
| 2.2.1 Propiedades físicas del gas..... | 25 |
| 2.2.2 Comportamiento del gas natural | 26 |
| 2.2.2.1 Caída de presión..... | 26 |
| 2.2.2.2. Efectos de la fricción..... | 26 |
| 2.2.2.3 Efectos de la elevación..... | 27 |
| 2.2.2.4 Efectos de la aceleración..... | 28 |
| 2.2.3 Flujo de fluido por tuberías | 29 |
| 2.2.4 Ecuación de Bernoulli..... | 29 |

| | |
|---|----|
| 2.3 Flujo bifásico por tuberías (gas-líquido)..... | 31 |
| 2.4 Simulador hidráulico pipephase..... | 35 |
| 2.4.4 Estructura del programa Pipephase..... | 37 |
| 2.4.4.1. Descripción de la simulación (Simulation Description) | 37 |
| 2.4.4.2. Definición de la simulación (Simulation Definition)..... | 38 |
| 2.4.4.3. Tipo de fluido..... | 38 |
| 2.4.4.4 Dimensiones (Input Dimension) | 39 |
| 2.4.4.5 Componentes del fluido (Component Data) | 40 |
| Datos de los elementos de la red de trabajo | 40 |
| CAPITULO III..... | 42 |
| METODOLOGÍA DEL TRABAJO | 42 |
| 3.1 Recopilación de información | 42 |
| 3.1.1 Revisión Bibliográfica. | 42 |
| 3.2 Definición de los esquemas de producción de los pozos asociados al sistema de recolección de gas del campo Sipororo | 42 |
| 3.2.1.1 Análisis cromatográficos: | 42 |
| 3.2.1.2 Escenarios a evaluar:..... | 45 |
| 3.2.1.3 Diámetro de las tuberías:..... | 45 |
| 3.3 Simulación hidráulica del sistema de recolección de gas del campo Sipororo, tanto para casos de operación actual como los esperados para cada uno de los esquemas de producción de los pozos..... | 46 |
| 3.4 Identificación de las posibles restricciones operacionales que puedan presentarse en el sistema de recolección del Campo Sipororo según las normas PDVSA. | 48 |
| 3.4.1 Análisis de las caídas de presión:..... | 49 |
| 3.4.2 Análisis de las velocidades: | 49 |
| 3.5 Proposición de las mejoras operacionales..... | 50 |
| CAPÍTULO IV..... | 51 |
| DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 51 |

| | |
|--|-----|
| 4.1 Simulación hidráulica del sistema de recolección de gas del campo Sipororo, tanto para casos de operación actual como los esperados para cada uno de los esquemas de producción..... | 51 |
| 4.1.1 Construcción de las redes a evaluar en el simulador Pipephase | 51 |
| 4.1.1.1 ESCENARIO ACTUAL DE LOS POZOS SIP-3X Y SIP-2X..... | 51 |
| 4.2 Identificación de las restricciones operacionales en el sistema de recolección del campo Sipororo según las normas PDVSA..... | 67 |
| 4.2.1. Velocidades..... | 68 |
| 4.2.2 Presiones | 80 |
| 4.3 Proposición de las alternativas para solucionar las restricciones operacionales y que permita mejorar el funcionamiento de la red de recolección..... | 97 |
| CONCLUSIONES | 103 |
| RECOMENDACIONES | 105 |
| BIBLIOGRAFÍA CITADA | 106 |
| BIBLIOGRAFIA CONSULTADA | 107 |
| METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO..... | 108 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 2.1. Constantes para $(\Delta P)_{Elevación}$ | 28 |
| Tabla 3.1 Composición del fluido de los pozos SIP-2X/3X/4X | 43 |
| Tabla 3.2 Escenarios a evaluar de la red de recolección..... | 45 |
| Tabla 3.3. Diámetros de las tuberías que conforman la red de recolección..... | 46 |
| Tabla 3.4 Parámetros reales de producción del pozo SIP-2X..... | 48 |
| Tabla 3.5 Parámetros reales de producción del pozo SIP-3X..... | 48 |
| Tabla 4.1 Variables fijadas y estimadas en la simulación de los escenarios actuales de los pozos SIP-3X/2X | 53 |
| Tabla 4.2. Diferencia entre los valores reales y los que arroja el simulador del escenario actual pozo SIP-3X..... | 53 |
| Tabla 4.3. Diferencia entre los valores reales y los que arroja el simulador del escenario actual pozo SIP-2X..... | 54 |
| Tabla 4.4. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 1 | 56 |
| Tabla 4.5. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 2..... | 57 |
| Tabla 4.6. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 3 | 59 |
| Tabla 4.7. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 4..... | 60 |
| Tabla 4.8. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 5 | 62 |
| Tabla 4.9. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 6..... | 63 |
| Tabla 4.10. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 7..... | 65 |

| | |
|--|----|
| Tabla 4.11. Caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red para el escenario 8 | 66 |
| Tabla 4.12. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 1 | 68 |
| Tabla 4.13. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 6 | 69 |
| Tabla 4.14. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 7 | 70 |
| Tabla 4.15. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 2 | 73 |
| Tabla 4.16. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 5 | 74 |
| Tabla 4.17. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 3 | 76 |
| Tabla 4.18. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 8 | 77 |
| Tabla 4.19. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 4 | 79 |
| Tabla 4.20. Caídas de presión correspondientes al escenario 1 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 81 |
| Tabla 4.21. Caídas de presión correspondientes al escenario 2 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 83 |
| Tabla 4.22. Caídas de presión correspondientes al escenario 5 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 84 |
| Tabla 4.23. Caídas de presión correspondientes al escenario 3 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 86 |
| Tabla 4.24. Caídas de presión correspondientes al escenario 4 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 87 |
| Tabla 4.25. Caídas de presión correspondientes al escenario 8 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 88 |
| Tabla 4.26. Caídas de presión correspondientes al escenario 6 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 91 |
| Tabla 4.27. Caídas de presión correspondientes al escenario 7 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite | 92 |
| Tabla 4.28 Escenarios que presentaron restricciones operacionales a ambas presiones de llegada a la planta según el análisis de velocidades. | 94 |
| Tabla 4.29 Escenarios que presentaron restricciones operacionales a las dos | |

| | |
|--|-----|
| presiones de llegada a la planta según el análisis de presiones..... | 96 |
| Tabla 4.30. Tramos, links, caídas de presión, velocidades y propuestas para la solución de las restricciones en cada uno de los escenarios para la presión mínima de llegada a la planta (665 psig)..... | 100 |
| Tabla 4.31. Evaluación del diámetro de las tuberías del tramo del nodo SIP-3X al nodo H correspondiente al escenario 2 a la presión mínima de llegada a la planta..... | 101 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1.1 Ubicación Geográfica del Bloque Barrancas..... | 20 |
| Figura 1.2 Ubicación Geográfica de los pozos de estudio..... | 21 |
| Figura 2.1. Simulador Analítico PIPEPHASE 9.0..... | 35 |
| Figura 4.1. Red de tuberías utilizando la producción independiente del pozo SIP- 3X..... | 52 |
| Figura 4.2. Red de tuberías utilizando la producción independiente del pozo SIP- 2X..... | 52 |
| Figura 4.3. Red de recolección correspondiente al escenario 1 | 55 |
| Figura 4.4. Red de recolección correspondiente al escenario 2 | 57 |
| Figura 4.5. Red de recolección correspondiente al escenario 3 | 58 |
| Figura 4.6. Red de recolección correspondiente al escenario 4 | 60 |
| Figura 4.8. Red de recolección correspondiente al escenario 6 | 63 |
| Figura 4.9. Red de recolección correspondiente al escenario 7 | 64 |
| Figura 4.10. Red de recolección correspondiente al escenario 8 | 66 |
| Figura 4.11 Esquemático de la red de recolección del Campo Sipororo | 67 |
| Figura 4.12. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 1 a la presión mínima..... | 71 |
| Figura 4.13. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 6 a la presión mínima..... | 72 |
| Figura 4.14. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 7 a la presión mínima..... | 72 |
| Escenarios 2 y 5 | 73 |
| Figura 4.15. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 2 a la presión mínima..... | 75 |
| Figura 4.16. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 5 a la presión mínima..... | 75 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.17. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 3 a la presión mínima..... | 78 |
| Figura 4.18. Perfil de velocidades correspondiente al escenario 8 a la presión mínima..... | 79 |
| Figura 4.19. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 4 a la presión mínima..... | 80 |
| Figura 4.20 Perfil de caídas de presión por cada 100 pie de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 1..... | 82 |
| Figura 4.21 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 2..... | 85 |
| Figura 4.22 Perfil de caídas de presión por cada 100 pie de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 5..... | 86 |
| Figura 4.23 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 3..... | 89 |
| Figura 4.24 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 4..... | 89 |
| Figura 4.25 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 8..... | 90 |
| Figura 4.26 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 6..... | 93 |
| Figura 4.27 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 7..... | 93 |

CAPITULO I

UBICACIÓN GEOGRÁFICA

1.1. Descripción del área en estudio.

El Bloque Barrancas, está ubicado al suroeste de Venezuela, en los Estados Barinas, Portuguesa y Trujillo, está conformado por cinco campos, La Yuca, Barrancas, Sipororo, Guaramacal y Guaramacal Sur.(Figura 1.1)



Figura 1.1 Ubicación Geográfica del Bloque Barrancas.

El Campo Sipororo donde están ubicados los pozos SIP-2X, SIP-3X, y SIP-4X se encuentra a 15 kilómetros de la ciudad de Guanare, Estado Portuguesa, específicamente en la zona adyacente al embalse Virgen de Coromoto.(Figura 1.2)

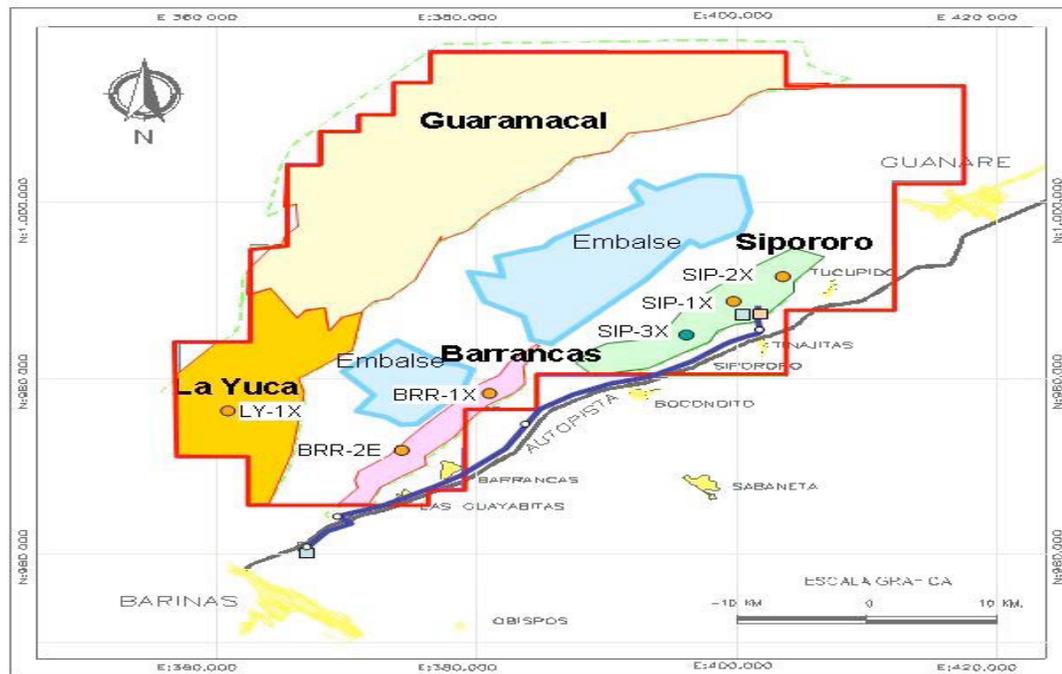


Figura 1.2 Ubicación Geográfica de los pozos de estudio.

1.2. Planteamiento del problema

El gas natural al igual que el petróleo se encuentra acumulado en el subsuelo en estructuras geológicas denominadas trampas. Dentro de éstas los hidrocarburos están contenidos en una roca porosa que se llama roca yacimiento. Aunque generalmente se encuentra asociado al petróleo, existen yacimientos donde el principal producto es gas, a los cuales se les denomina yacimientos gasíferos. Si el gas en los yacimientos contiene propano, butano y fracciones más pesadas en cantidad suficiente, se le denomina gas húmedo, y si es mayormente gas metano, se le denomina gas seco. Una vez que los yacimientos de gas son ubicados, se procede a la explotación; después que el geólogo ha reunido toda la información necesaria y bajo cuidadoso estudio concluye indicando las áreas más pertinentes y prometedoras para una acumulación comercial de hidrocarburos, se procede a perforar uno o varios pozos que es hoy en

día, la única manera de localizar un yacimiento de petróleo o de gas natural. El gas natural tiene diversas aplicaciones en la industria, el comercio, la generación eléctrica, el sector residencial y el transporte de pasajeros. Ofrece grandes ventajas en procesos industriales donde se requiere de ambientes limpios, procesos controlados y combustibles de alta confiabilidad y eficiencia. Adicionalmente, el gas natural es usado como materia prima en diversos procesos químicos e industriales. De manera relativamente fácil y económica puede ser convertido a hidrógeno, etileno o metanol: los materiales básicos para diversos tipos de plástico y fertilizantes. El gas natural luego de ser explotado es transportado desde el pozo hasta una planta de tratamiento o acondicionamiento mediante sistemas de tuberías llamados redes de recolección. Las cuales partiendo desde los centros de producción (pozos), transportan el gas a altas presiones.

Producto de la dinámica del sistema, el gas sufre una serie de cambios de presión, temperatura y velocidad, las cuales deben ser evaluadas a fin de minimizar estas variaciones que generan problemas operacionales. La red de recolección de gas de los pozos del Campo Sipororo debe ser evaluados tanto para casos de operación actual como los esperados para cada uno de los esquemas de producción de los pozos a fin de establecer las restricciones que ofrece esta red y cumplir con los requerimientos operacionales descritos en las normas PDVSA para garantizar un buen funcionamiento del sistema. Esta evaluación permitirá conocer las líneas donde el gas sufre altas caídas de presión, y velocidades que superan la velocidad erosiva con el propósito de proponer los cambios necesarios para el mejoramiento del sistema, lo cual evitaría que se produzcan retrasos en la producción.

El comportamiento del gas a través del sistema de recolección se puede estimar utilizando un programa comercial para flujo de fluidos, en este caso se utilizara el simulador PIPEPHASE versión 9.0. Esta herramienta permitirá modelar y evaluar la forma integral del sistema de redes de recolección de gas del campo a estudiar.

Por las razones mencionadas anteriormente se plantea la necesidad de efectuar una evaluación hidráulica al sistema de redes de recolección de gas del Campo Sipororo, con el fin de identificar las posibles restricciones operacionales del sistema y así proponer alternativas para solventar las mismas.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general:

Evaluar hidráulicamente la red de recolección de gas del campo Sipororo, ubicado en los límites del estado Barinas.

1.3.2 Objetivos específicos:

Definir los esquemas de producción de los pozos asociados al sistema de recolección de gas del campo Sipororo.

Efectuar una simulación hidráulica del sistema de recolección de gas del campo Sipororo, tanto para casos de operación actual como los esperados para cada uno de los esquemas de producción de los pozos.

Identificar las posibles restricciones operacionales que puedan presentarse en el sistema de recolección del campo Sipororo según las normas PDVSA.

Proponer alternativas para dar soluciones a las posibles restricciones operacionales, que mejoren el funcionamiento de la red de recolección.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Antecedentes.

En el 2001, Maestre, evaluó el comportamiento hidráulico del sistema de depuración/recolección de gas del Complejo Orocuál. Se realizaron simulaciones de procesos con Hysys versión 2.1 y simulaciones hidráulicas con Inplant versión 3.02. Con estas herramientas se pudo detectar las limitaciones de capacidad en las estaciones de flujo Orocuál 1 (baja presión), 3 y 4 (media presión). Simultáneamente se realizaron evaluaciones en las válvulas de control de nivel de los depuradores de las estaciones de flujo, obteniendo como resultado que éstas tenían capacidad para manejar el flujo de líquido por condensación de la capacidad de manejo de gas para cada equipo^[1].

En el 2002, Vallenilla, realizó una evaluación de la red de recolección y distribución de gas del Centro Operativo Jusepín. Para realizar esta evaluación se utilizó la herramienta de simulación Pipephase y se obtuvo que las redes de recolección y distribución de gas de alta y baja presión no presentaron restricciones al manejar el volumen de gas actual y el esperado para el 2020. Mientras que en la red de media presión se observó que en algunos tramos las velocidades promedio del gas superaron la velocidad de erosión recomendada por la Norma PDVSA tanto para las condiciones actuales como para esperadas en el 2020^[2].

En el 2007, Núñez, realizó una evaluación hidráulica de los gasoductos de recolección, transferencia y transmisión del distrito social norte PDVSA, estado Monagas con la finalidad de establecer las restricciones actuales en la red de gasoductos. Los resultados obtenidos bajo las condiciones actuales indicaron la

existencia de velocidades y caídas de presión en varios tramos de tuberías que se encuentra por encima de las máximas establecidas en la Normativa de PDVSA, las cuales deben ser consideradas antes de incorporar los nuevos volúmenes al sistema. En cuanto a las condiciones futuras, se conoció que existen considerables restricciones en los gasoductos que impiden el buen funcionamiento de los mismos^[3].

En el 2009, Bello, evaluó el comportamiento hidráulico de la red de recolección de los fluidos asociados a los pozos contemplados en el Plan Estratégico y Proyecto Etanco, en el Lote X, ubicado en el Distrito de el Alto, Provincia de Talara, Departamento de Piura–Perú, con la finalidad de determinar el diámetro de las líneas de recolección de los pozos hasta los múltiples de campo y de allí hasta las estaciones de flujo asociadas. Este análisis se realizó a través de un estudio dinámico utilizando el software PIPEPHASE versión 9.0, identificando las propiedades y el comportamiento dinámico de los fluidos multifásicos que se transportan en las líneas de flujo, se calcularon las pérdidas de presión y velocidades experimentadas en dichas líneas, para finalmente desarrollar una propuesta de mejora para la red de recolección^[4].

2.2 Gas natural

El gas natural es un gas formado por los elementos más volátiles de la serie parafínica ($C_n H_{2n+2}$), metano, etano, propano, isobutano, normalbutano, isopentano, normalpentano, hexano y otros elementos no hidrocarburos como: dióxido de carbono, nitrógeno, oxígeno, agua, helio, ácido sulfúrico, entre otros.

2.2.1 Propiedades físicas del gas

Pueden encontrarse como gas libre o asociado (en solución con el petróleo).

Formado por partículas sin volumen definido.

Fluido homogéneo.

Baja densidad y viscosidad.

Cuando la presión y la temperatura son elevadas, existen fuerzas de atracción y repulsión entre las moléculas^[5].

2.2.2 Comportamiento del gas natural

2.2.2.1 Caída de presión

El gradiente total de presión en cualquier punto en una tubería está compuesto por los efectos debido a la:

Fricción.

Elevación.

Aceleración

La ecuación que representa el gradiente de presión es;

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_{Total} = \left(\frac{dP}{dL}\right)_{Fricción} + \left(\frac{dP}{dL}\right)_{Elevación} + \left(\frac{dP}{dL}\right)_{Aceleración} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

Considerando las condiciones del sistema a estudiar, se pueden despreciar alguno de estos términos que ejerza muy pocos cambios al sistema^[6].

2.2.2.2. Efectos de la fricción

La fricción entre el fluido con las paredes de la tubería produce una pérdida de energía, la cual se transforma en una caída de presión en la dirección del flujo. La ecuación de Darcy que representa la caída de presión por efectos de la fricción, para cualquier fluido o régimen de flujo, se define como^[6]:

$$(\Delta P)_{Fricción} = \frac{\rho f L v^3}{D} \quad (\text{Ec.2.2})$$

Donde:

ΔP : caída de presión debida a la fricción por metro de fluido, (N/m²).

f : factor de fricción de Darcy, (adimensional).

L : longitud de la tubería, (m).

v : velocidad del fluido, (m/s).

D : diámetro interno de la tubería, (m).

ρ : densidad del fluido, (Kg/m³)

La caída de presión se puede expresar en unidades de psig mediante ^[6]:

$$(\Delta P)_{Fricción} = \frac{\rho f L v^2}{D^{144}} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

Donde:

ρ : densidad del fluido, (lb/pie³)

Las demás variables en unidades del sistema internacional.

2.2.2.3 Efectos de la elevación

Cuando la tubería presenta un ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal, la gravedad produce una pérdida de presión del fluido. La ecuación que determina esta caída de presión es ^[6]:

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_{Elevación} = \frac{\rho}{g_c} \rho \sin \theta \quad (\text{Ec.2.4})$$

Donde:

θ : es el ángulo de inclinación con respecto al plano horizontal.

g : es la aceleración de la gravedad en el sitio de estudio, (pie/s²).

gc : es la aceleración de gravedad estándar (32,2 lb.pie/lbf.s²).

Cuando la densidad es constante, se obtiene^[6]:

$$(\Delta P)_{Elevación} = C_e \rho L_i \sin \theta \quad (\text{Ec. 2.5})$$

Donde:

L_i : longitud de la sección inclinada de la tubería, (m).

ρ : densidad del líquido constante o un valor promedio para fluidos compresibles, (Kg/m³).

C_e : factor de conversión, escogido de la (Tabla 2.1) de acuerdo a las unidades específicas.

Tabla 2.1. Constantes para $(\Delta P)_{Elevación}$

| ρ | L_i | ΔP | C_e |
|---------------------|--------|--------------------|-----------------------|
| Lb/pie ³ | Pies | psi | $6,94 \times 10^{-3}$ |
| Lb/pie ³ | Pies | Kg/cm ² | $4,88 \times 10^{-4}$ |
| Kg/m ³ | Metros | psi | 1422×10^{-3} |
| Kg/m ³ | Metros | Kg/cm ² | $1,00 \times 10^{-4}$ |

2.2.2.4 Efectos de la aceleración

La aceleración del fluido produce una pérdida de la energía cinética, la cual a su vez reduce la presión. Este efecto puede verse mediante la siguiente ecuación^[6]:

$$\left(\frac{dP}{dL}\right)_{\text{Aceleración}} = g \left(\frac{dv}{dL}\right) = \left(\rho v \frac{dv}{dL}\right) \quad (\text{Ec.2.6})$$

Donde:

g : es la aceleración de la gravedad en el sitio de estudio, (pie/s^2).

ρ : densidad del líquido constante o un valor promedio para fluidos compresibles, (Kg/m^3).

$\frac{dP}{dL}$: diferencial de presión por diferencial de longitud.

$\frac{dv}{dL}$: diferencial de volumen por diferencial de longitud.

Se debe de tomar en consideración:

El producto ρv es constante si el flujo a través de tuberías es en estado estacionario de sección transversal constante. La variación de la densidad por los efectos de la temperatura se compensa por ajuste en la velocidad.

La velocidad es casi constante para líquidos, despreciando así la aceleración.

La aceleración se toma en cuenta para fluidos compresibles, ya que el cambio de la densidad ocasiona variaciones en la velocidad.

2.2.3 Flujo de fluido por tuberías

El diámetro de la tubería y la presión del fluido que circula a través de ella son las variables dependientes del volumen del fluido. A su vez, la presión del mismo va a depender de la densidad y viscosidad del fluido^[7].

2.2.4 Ecuación de Bernoulli

Esta ecuación es válida para un fluido perfecto ($\mu = 0$; $\tau_{xy} = 0$) e isotérmico,

sólo son significativas las formas de energía mecánica, es decir:

La energía de flujo PV que lleva el fluido como resultado de su introducción al sistema.

La energía cinética debido al movimiento del fluido ($= v^2/2gc$).

La energía potencial debido a la posición con respecto a un plano de referencia ($= g\Delta Z/gc$).

La caída de presión representa una conversión de la energía de flujo en cualquier otra forma de energía, mientras que la pérdida por fricción representa la pérdida neta de la energía de trabajo total disponible que caracteriza al fluido.

Los dos términos se relacionan entre si por medio de la ecuación de energía mecánica del teorema de Bernoulli, el cual se representa a través de la siguiente ecuación^[7]:

$$\frac{z_1 g}{g_c} + \frac{v_1^2}{2g_c} - \int_1^2 V dp - F + w_p = \frac{z_2 g}{g_c} + \frac{v_2^2}{2g_c} \quad (\text{Ec.2.7})$$

Donde:

Z: altura por arriba de cualquier plano de referencia horizontal arbitraria, (pie).

F: pérdida por fricción, (lbf·pie/lb).

w_p: trabajo proporcionado por una fuente externa, (lbf·pie/lb).

p: presión en un punto del sistema, (lbf/pie²).

V: volumen específico del sistema, (pie³/lb).

g: aceleración de la gravedad, (pie/s²).

g_c: constante dimensional, (lb·pie/lbf·s²).

v: velocidad lineal, (pie/s).

Para líquidos, la integral $\int_1^2 V dp$, se reduce a $(p_2 - p_1) V$, donde V es prácticamente constante.

2.3 Flujo bifásico por tuberías (gas-líquido)

El flujo bifásico en tuberías es definido como el movimiento concurrente en el interior de ella, de gas libre y líquidos (hidrocarburos + agua). El gas puede estar mezclado en forma homogénea con el líquido o pueden coexistir formando un oleaje donde el gas empuja al líquido desde atrás o encima de él, provocando en algunos casos crestas en la superficie del líquido, es decir, sobre la interfase gas-líquido. Puede darse el caso en el cual el gas y el líquido se mueven en forma paralela, a la misma velocidad y sin perturbación relevante sobre la superficie de la interfase líquido gas.

En la industria petrolera es común encontrar que el flujo está conformado por gas, petróleo y agua, otros casos también presentan sólidos como arena, arcilla, etc. El flujo que se maneja en la industria puede o no ser corrosivo, dependiendo de la existencia de las condiciones que favorezcan este fenómeno. Estas condiciones pueden deberse a la presencia de H_2S , CO_2 , Cl^- , así como condiciones de proceso como: presión, temperatura, velocidad de flujo, dimensiones de la tubería, entre otras.

Los parámetros asociados al flujo bifásico en tubería son:

Retención de líquido en una tubería (*liquid holdup*)

Se define como la razón del área ocupada por el líquido en un segmento de tubería entre el área total del segmento^[6]:

$$H_l = \frac{\text{área de líquido en un segmento de tubería}}{\text{área del segmento}} \quad (\text{Ec. 2.8})$$

H_l tiene valores desde cero para todo el flujo de gas hasta uno para todo el flujo de líquido.

Densidad del fluido bifásico, ρ_m ^[6]

$$\rho_m = \rho_l H_l + \rho_g H_g \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

ρ_l : densidad del líquido, (lb/pie³).

H_l : holdup del líquido.

ρ_g : densidad del gas, (lb/pie³).

H_g : holdup del gas.

En términos de gas y líquido^[6]:

$$\rho_m = \left(\frac{\rho_l Q_l + \rho_g Q_g}{Q_l + Q_g} \right) \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

Q_l : flujo de líquido, (pie³/s).

Q_g : flujo de gas, (pie³/s).

Velocidad superficial

Se define como la velocidad con que la fase del fluido puede presentarse si fluye de un lado a otro en la sección transversal de la tubería.

La velocidad superficial del gas es calculada por^[6]:

$$V_{SG} = \frac{q_g}{A} \quad (\text{Ec. 2.11})$$

La velocidad actual del gas es calculada por^[8]:

$$V_g = \frac{q_g}{AH_g} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

V_{SG} : velocidad superficial del gas, (m/día).

V_g : velocidad del gas, (m/día).

q_g : tasa de flujo de gas, (m³/día).

A : área transversal de la tubería, (m²).

H_g : holdup del gas.

Para el líquido se utilizan las siguientes ecuaciones^[6]:

$$V_{SL} = \frac{q_l}{A} \quad (\text{Ec. 2.13})$$

$$V_l = \frac{q_l}{AH_l} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

Donde:

V_{SL} : velocidad superficial del líquido, (m/día).

V_l : velocidad del líquido, (m/día).

q_l : tasa de flujo de líquido, (barriles/día).

H_l : holdup del líquido.

Para flujo bifásico^[6]:

$$V_m = V_{sl} + V_g \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Velocidad erosional (*velocidad límite*)

Las líneas de flujo, múltiples de producción, procesos de cabezales de pozos y otras líneas que transportan gas y líquido en flujo bifásico deben diseñarse primeramente con base en la velocidad erosional del fluido. La experiencia ha demostrado que la pérdida de espesor de la pared ocurre por un proceso de erosión/corrosión. Este proceso está caracterizado por altas velocidades del fluido, presencia de arena, contaminantes corrosivos tales como: CO₂, H₂S y de accesorios que perturban la trayectoria de la corriente como los codos.

La velocidad erosional o límite puede ser estimada por la siguiente ecuación empírica^[6]:

$$V_g = \frac{C}{\sqrt{\rho_m}} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

Donde:

V_g : velocidad erosional del fluido, (pie/s)

C : constante empírica.

ρ_m : densidad de la mezcla, (lb/pie³), calculada por la Ec. 10.

La experiencia en la industria indica que valores de $C= 100$ para procesos continuos y $C= 125$ para procesos intermitentes, son conservatorios. Cuando la

limitación de ruido sea una consideración importante, se recomienda velocidades comprendidas entre 50 y 60 % de la velocidad de erosión.

2.4 Simulador hidráulico pipephase

Es un programa de simulación que predice, en estado estacionario, la presión, temperatura, y perfiles de formación de líquidos en líneas de flujo, sistemas crecientes, y lineales o las configuraciones de red de tubos, bombas, compresores, separadores, y otras instalaciones. Pipephase es una poderosa herramienta en el diseño, análisis y optimización de gran variedad de sistemas de flujo.(Figura 2.1)

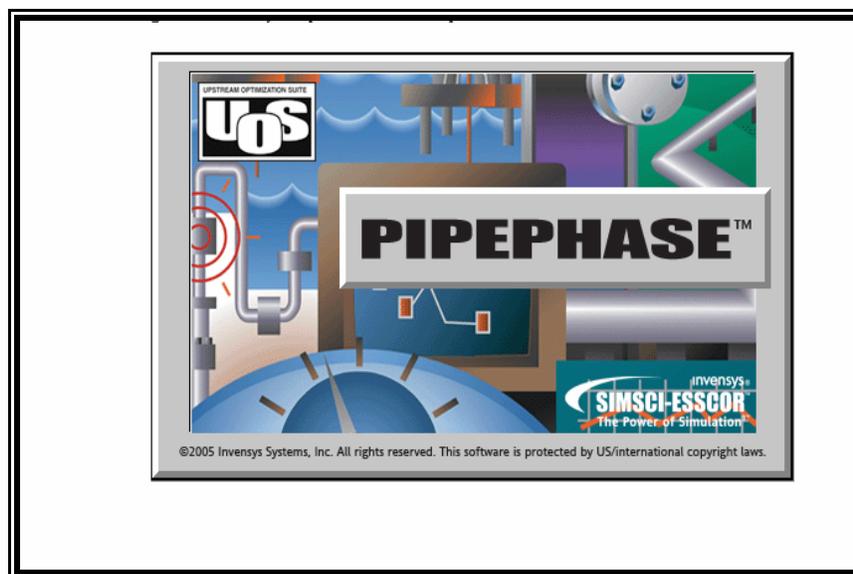


Figura 2.1. Simulador Analítico PIPEPHASE 9.0

Características generales

Puede simular el flujo de fluidos en estado estacionario a través de tuberías, redes y sistemas de producción.

Puede analizar el flujo monofásico o multifásico de un compuesto puro o

mezcla de componentes.

Ha sido estructurado en un lenguaje basado en la terminología utilizada en la industria petrolera.

Amplia librería con las propiedades físicas y termodinámicas de más de 950 componentes.

Amplio rango de aplicaciones prácticas.

Puede analizar sistemas constituidos hasta 500 nodos, 999 elementos de flujo y 50 componentes.

Aplicaciones

Dimensionamiento de líneas de flujo y tuberías de producción.

Análisis de mecanismos de producción como levantamiento artificial por gas (gas lift) y recuperación secundaria como inyección de gas.

Simulación de sistemas de recolección y transmisión.

Determinación de los requerimientos de bombeo, compresión, calentamiento/enfriamiento, a través de la predicción de los perfiles de temperatura, presión, velocidad, retención de líquidos, tasas de distribución de los flujos en sistemas de expansión.

Determinación máxima de la capacidad de las tuberías.

Determinación de los requerimientos de aislamientos.

Simulaciones de reductores, separadores, válvulas de gas para levantamiento artificial, y otros dispositivos y equipos utilizados en la industria petrolera.

Análisis del comportamiento de sistemas de flujo en función de la variación de sus parámetros más influyentes (análisis de sensibilidad).

Conceptos básicos que maneja Pipephase

LINK: Es un tramo largo de tubería entre dos nodos. Un link está formado por uno o más equipos, tales como equipos de flujo o tuberías, o equipos de proceso (bombas, compresores, válvulas, etc.).

PIPE: Un pipe es un elemento que forma parte del link, es decir un tramo de tubería.

NODO: Es la conexión entre los equipos que conforman un sistema de tubería (JUNCTION).

SOURCE: Es un extremo libre de la red o link, de donde parte el fluido (Fuente), también se considera nodo.

SINK: Es un extremo libre de la red o link, a donde llega el fluido (Destino), también se considera nodo.

2.4.4 Estructura del programa Pipephase

La entrada (INPUT) del programa está conformada por las siguientes ventanas o categorías que van apareciendo en el siguiente orden.

2.4.4.1. Descripción de la simulación (Simulation Description)

Esta es la primera ventana que se muestra, al momento de iniciar una simulación nueva. En esta ventana se especifican los siguientes datos:

- PROJECT (Nombre del proyecto).
- PROBLEM (Nombre del problema).
- USER (Nombre del usuario).
- DATE (Fecha).
- SITE (Lugar).

2.4.4.2. Definición de la simulación (Simulation Definition)

En esta ventana se define el tipo de simulación y el tipo de fluido. Según el tipo de simulación se pueden clasificar en:

- Network Model (Cálculo de Redes de Tubería).
- Gas Lift Analysis (Cálculo de Sistema Gas Lift).
- PVT Table Generation (Usado para generar tabla de datos PVT)

2.4.4.3. Tipo de fluido

El tipo de fluido controla como el programa puede obtener las propiedades físicas necesarias para el cálculo de la caída de presión y la transferencia de calor. Otro banco de datos de PIPEPHASE son las correlaciones empíricas incorporadas o las entradas proporcionadas. El vapor es un caso especial de un fluido no-composicional para el cual PIPEPHASE usa tablas de vapor.

2.4.4.3.1 Blackoil: Dos o tres fases: crudo, gas y agua, donde el crudo es dominante (por defecto).

2.4.4.3.2 Compositional: El fluido es representado por componentes definidos, donde la definición es con componentes de librería. Se debe seleccionar entre los métodos

Rigorous Multi-Phase o Force Single-Phase: gas o líquido. Para los fluidos composicionales PIPEPHASE calculará la separación de fases siempre prevaleciendo las condiciones del fluido en proceso y lo requerido. Sin embargo se le puede decir a PIPEPHASE que asuma el fluido de una fase en todo momento, reduciendo así el tiempo mientras que el programa toma para resolver desviando continuamente el equilibrio vapor-líquido calculándolo rápidamente.

2.4.4.3.3 Compositional/Blackoil.

2.4.4.3.4 Gas Condensate: Dos o tres fases: crudo, gas y/o agua donde el gas es dominante.

2.4.4.3.5 Liquid: Líquido fase simple. (Hidrocarburos o agua).

2.4.4.3.6 Gas: Gas fase simple (hidrocarburo dominante).

2.4.4.3.7 Steam: Vapores.

2.4.4.4 Dimensiones (Input Dimension)

Esta ventana permite definir el sistema de unidades dimensionales de entrada y de salida del problema.

Los sistemas de unidades que se encuentran en la base de datos del programa son los siguientes:

- Inglesas.
- Petroleum (Sistema que usa el simulador por defecto).

- Metrica.
- Internacional.
- Impuestos por el usuario

2.4.4.5 Componentes del fluido (Component Data)

Esta ventana se utiliza para definir los componentes del fluido que conforman las líneas de simulación.

Para la simulación de la red de recolección se utilizó el modo de cálculo Network, el tipo de fluido Compositional y el sistema de unidades dimensionales Petroleum.

Datos de los elementos de la red de trabajo

Luego de introducir la información requerida para el sistema, se comienza la construcción de la Red de Trabajo. Después de construida la Red es necesario fijar los parámetros físicos de la tubería, así como los valores operacionales de presión, temperatura, volumen y composición del gas.

A continuación se describe la información requerida en cada uno de los elementos que conforman la Red de trabajo:

2.4.4.4.6.1 SOURCES: se fija la temperatura y la composición del gas. La presión y el flujo volumétrico se pueden fijar o estimar, según sea el caso.

2.4.4.6.2 SINK: se debe estimar o fijar la presión y el flujo másico, según sea el caso. Se pueden estimar y fijar volúmenes y presiones en las entradas y salidas dependiendo de las variables que se conozcan con mayor exactitud y de lo que se desea obtener de la simulación. Lo que si se debe cumplir es que el número de variables desconocidas (valores estimados) sea igual al número de nodos en la red (incluyendo fuentes y destinos). Para fijar las características de los nodos de unión, sólo basta con estimar la presión de cada uno. Cuando en el programa se estima un valor de cualquier variable, esta estimación ha de ser lógica, y mientras dicho valor es más próximo al verdadero, el programa convergerá más rápido.

2.4.4.6.3 LINK: es la unión entre una fuente (Source) o nodo de unión (junction), con un destino (Sink) u otra unión (Junction). Luego de haber realizado la unión entre la Fuente y el Destino se caracteriza cada Pipe que compone el Link, fijando así su longitud, diámetro interno o externo, su espesor, el espesor del aislamiento (si lo tiene), la rugosidad de la tubería, el coeficiente de transferencia de calor tanto de la tubería como del aislamiento, si el Pipe está enterrado, sumergido o aéreo, el coeficiente de transferencia de calor exterior (tierra, agua, aire, etc.), y el desnivel topográfico del Pipe. Si se omiten algunos de éstos parámetros, el simulador asume un valor por defecto.

CAPITULO III

METODOLOGÍA DEL TRABAJO

El siguiente capítulo tiene como finalidad mostrar la metodología empleada para la resolución del problema planteado.

3.1 Recopilación de información

3.1.1 Revisión Bibliográfica.

Esta primera fase del estudio cubre la revisión bibliográfica de textos, trabajos de grado, manuales, publicaciones en Internet referente al tema en estudio. La información acerca de los pozos fue suministrada por el asesor académico.

3.2 Definición de los esquemas de producción de los pozos asociados al sistema de recolección de gas del campo Sipororo

La definición de los esquemas de producción de los pozos fue facilitada por la empresa encargada de la operación de la red de recolección de gas del Campo Sipororo para su respectiva evaluación hidráulica con el fin de validarla y poder estudiar posibles escenarios de producción a futuro con la adición de un nuevo pozo (SIP-4X).

Datos operacionales

3.2.1.1 Análisis cromatográficos:

Esta información fue facilitada por la empresa encargada de la operación de la

red de recolección en estudio. En la tabla 3.1 se encuentran las composiciones de gas y líquido de los pozos SIP-2X/3X/4X que descargan en la planta.

Tabla 3.1 Composición del fluido de los pozos SIP-2X/3X/4X

| COMPONENTE | POZO SIP-2X | | POZO SIP-3X | | POZO SIP-4X | |
|--------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | % Gas | % Líquido | % Gas | % Líquido | % Gas | % Líquido |
| Dióxido de carbono | 0,03350 | 0,01280 | 0,04056 | 0,01540 | 0,04056 | 0,01540 |
| Nitrógeno | 0,00460 | 0,00050 | 0,00599 | 0,00160 | 0,00599 | 0,00160 |
| Metano | 0,94505 | 0,20130 | 0,93696 | 0,20340 | 0,93696 | 0,20340 |
| Etano | 0,01010 | 0,00790 | 0,00939 | 0,00770 | 0,00939 | 0,00770 |
| Propano | 0,00260 | 0,00470 | 0,00240 | 0,00420 | 0,00240 | 0,00420 |
| i-Butano | 0,00090 | 0,00260 | 0,00100 | 0,00260 | 0,00100 | 0,00260 |
| n-Butano | 0,00080 | 0,00360 | 0,00080 | 0,00400 | 0,00080 | 0,00400 |
| Neo-Pentano | 0,00000 | 0,00000 | 0,00010 | 0,00020 | 0,00010 | 0,00020 |
| i-Pentano | 0,00048 | 0,00600 | 0,00050 | 0,00340 | 0,00050 | 0,00340 |
| n-Pentano | 0,00029 | 0,00470 | 0,00030 | 0,00300 | 0,00030 | 0,00300 |
| Hexanos | 0,00038 | 0,01470 | 0,00040 | 0,00730 | 0,00040 | 0,00730 |
| Metil-Ciclopentano | 0,00000 | 0,00000 | 0,00010 | 0,00200 | 0,00010 | 0,00200 |
| Benceno | 0,00000 | 0,00000 | 0,00010 | 0,00160 | 0,00010 | 0,00160 |
| Ciclohexano | 0,00000 | 0,00000 | 0,00010 | 0,00220 | 0,00010 | 0,00220 |
| Heptanos | 0,00070 | 0,02710 | 0,00020 | 0,00610 | 0,00020 | 0,00610 |
| Metil Ciclohexano | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00420 | 0,00000 | 0,00420 |
| Tolueno | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00570 | 0,00000 | 0,00570 |
| Octanos | 0,00050 | 0,05250 | 0,00100 | 0,02090 | 0,00100 | 0,02090 |
| Etilbenceno | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00220 | 0,00000 | 0,00220 |

Tabla 3.1 Composición del fluido de los pozos SIP-2X/3X/4X. (continuación)

| COMPONENTE | POZO SIP-2X | | POZO SIP-3X | | POZO SIP-4X | |
|---------------------------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|
| | % Gas | % Líquido | % Gas | % Líquido | % Gas | % Líquido |
| m/p-Xileno | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00330 | 0,00000 | 0,00330 |
| o-Xileno | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00510 | 0,00000 | 0,00510 |
| Nonanos | 0,00010 | 0,05210 | 0,00010 | 0,02590 | 0,00010 | 0,02590 |
| 1,2,4- Trimetilbenceno | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00440 | 0,00000 | 0,00440 |
| Decanos | 0,00000 | 0,05490 | 0,00000 | 0,03670 | 0,00000 | 0,03670 |
| Undecanos | 0,00000 | 0,06050 | 0,00000 | 0,05360 | 0,00000 | 0,05360 |
| Dodecanos | 0,00000 | 0,06380 | 0,00000 | 0,06980 | 0,00000 | 0,06980 |
| Tridecanos | 0,00000 | 0,07280 | 0,00000 | 0,08410 | 0,00000 | 0,08410 |
| Tetradecanos | 0,00000 | 0,06580 | 0,00000 | 0,08530 | 0,00000 | 0,08530 |
| Pentadecanos | 0,00000 | 0,05660 | 0,00000 | 0,07260 | 0,00000 | 0,07260 |
| Hexadecanos | 0,00000 | 0,04510 | 0,00000 | 0,05860 | 0,00000 | 0,05860 |
| Heptadecanos | 0,00000 | 0,03840 | 0,00000 | 0,04960 | 0,00000 | 0,04960 |
| Octadecanos | 0,00000 | 0,03250 | 0,00000 | 0,04190 | 0,00000 | 0,04190 |
| Nonadecanos | 0,00000 | 0,02680 | 0,00000 | 0,03300 | 0,00000 | 0,03300 |
| Eicosanos Plus | 0,00000 | 0,09230 | 0,00000 | 0,07840 | 0,00000 | 0,07840 |
| Agua | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 | 0,00000 |

En la tabla 3.1 donde se muestra las composiciones de gas y líquido para cada uno de los pozos no se refleja el porcentaje de agua, debido a que las cromatografías se realizan en base seca.

3.2.1.2 Escenarios a evaluar:

En la evaluación de las líneas de transferencia de los pozos SIP-2X/3X/4X del campo Sipororo se consideraron los siguientes escenarios:

Tabla 3.2 Escenarios a evaluar de la red de recolección

| ESCENARIO | COMBINACIÓN | POZO | GAS (MMPCND) | LÍQUIDO (BPD) | | % AGUA | BPD/MMPCND |
|-----------|-------------|--------|-----------------|---------------|--------|-----------|------------|
| | | | | CRUDO | AGUA | | |
| 1 | 50% | SIP-2X | 21,50 | 50,31 | 46,44 | 48,00 | 4,50 |
| | 50% | SIP-3X | 21,50 | 36,55 | 146,20 | 80,00 | 8,50 |
| 2 | 25% | SIP-2X | 10,75 | 25,16 | 23,22 | 48,00 | 4,50 |
| | 75% | SIP-3X | 32,25 | 54,84 | 219,30 | 80,00 | 8,50 |
| 3 | 75% | SIP-2X | 32,25 | 75,47 | 69,66 | 48,00 | 4,50 |
| | 25% | SIP-3X | 10,75 | 18,28 | 73,10 | 80,00 | 8,50 |
| 4 | 75% | SIP-2X | 32,25 | 75,47 | 69,66 | 48,00 | 4,50 |
| | 25% | SIP-4X | 10,75 | 26,88 | 241,88 | 90,00 | 25,00 |
| 5 | 75% | SIP-3X | 32,25 | 54,84 | 219,30 | 80,00 | 8,50 |
| | 25% | SIP-4X | 10,75 | 26,88 | 241,88 | 90,00 | 25,00 |
| 6 | 40% | SIP-2X | 17,20 | 40,25 | 37,15 | 48,00 | 4,50 |
| | 40% | SIP-3X | 17,20 | 29,24 | 116,96 | 80,00 | 8,50 |
| | 20% | SIP-4X | 8,60 | 21,50 | 193,50 | 90,00 | 25,00 |
| 7 | 50% | SIP-2X | 21,50 | 50,31 | 46,44 | 48,00 | 4,50 |
| | 40% | SIP-3X | 17,20 | 29,24 | 116,96 | 80,00 | 8,50 |
| | 10% | SIP-4X | 4,30 | 10,75 | 96,75 | 90,00 | 25,00 |
| 8 | 60% | SIP-2X | 25,80 | 60,37 | 55,73 | 48,00 | 4,50 |
| | 30% | SIP-3X | 12,90 | 21,93 | 87,72 | 80,00 | 8,50 |
| | 10% | SIP-4X | 4,30 | 10,75 | 96,75 | 90,00 | 25,00 |

3.2.1.3 Diámetro de las tuberías:

La red de recolección de gas del campo Sipororo está constituida por varios

tramos con tuberías de diferentes diámetros, a continuación se muestra una tabla con los diámetros nominales e internos de las tuberías.

Tabla 3.3. Diámetros de las tuberías que conforman la red de recolección.

| Diámetro nominal (pulg) | Schedule | Diámetro interno (pulg) |
|----------------------------|----------|----------------------------|
| 6 | 40 | 5,76 |
| 12 | 40 | 10,02 |
| 14 | 40 | 11,94 |

3.3 Simulación hidráulica del sistema de recolección de gas del campo Sipororo, tanto para casos de operación actual como los esperados para cada uno de los esquemas de producción de los pozos.

Tomando en cuenta los pasos descritos en el marco teórico, se procedió a armar en el simulador Pipephase las redes a evaluar. Se realizaron simulaciones para validar la red de tuberías de recolección existente, utilizando la producción independiente de los pozos SIP-2X y SIP-3X y para evaluar los ocho (08) posibles escenarios de producción del Campo Sipororo, considerando como variantes las presiones de llegada a la Planta de Tratamiento (mínima y máxima).

Para la evaluación de las líneas bifásicas existentes en el Campo Sipororo, se tomaron en cuenta las siguientes premisas:

Máximos caudales de gas y temperatura de entrada a la planta de tratamiento del Campo Sipororo suministrados (43 MMPCND)

Simulación no isotérmica, estado estacionario.

Composición de gas y crudo suministrados.

Topografía entregada (APÉNDICE A)

Prueba de producción de los pozos SIP-2X y SIP-3X, tomado para la validación de la red de recolección del Campo Sipororo.

Combinaciones de producción de pozos suministradas.

Temperatura ambiente: 85 °F.

Rugosidad: 0,0018 pulgadas.

Presión de llegada a la planta:

Presión Mínima: 665 psig

Presión Máxima: 735 psig

Se tomó un porcentaje máximo de error igual a 10% con respecto a los datos reales.

Para la validación de la red de recolección modelada en Pipephase se fijaron los caudales de operación de los pozos y la presión de llegada a la planta de tratamiento y conocidos los diámetros, arreglos de tuberías y parámetros de entrada de los pozos SIP-2X y SIP-3X a la red de recolección se realizaron corridas o simulaciones verificando que los parámetros de interés en el reporte del simulador (presión de cabezal y de línea) fuesen lo más aproximado posible a los valores aportados por la empresa (datos tomados en campo).

Para la evaluación de los 8 posibles escenarios de producción se consideró la misma metodología empleada en la validación de la red de recolección, se realizaron simulaciones tanto para una presión mínima y máxima de llegada a la planta para identificar las restricciones operacionales existentes mediante el estudio de velocidades y caídas de presión.

Tabla 3.4 Parámetros reales de producción del pozo SIP-2X

| Pozo | Parámetro | Valor real |
|--------|--|------------|
| SIP-2X | Presión de Cabezal (Psig) | 3129,00 |
| | Presión de Línea (Psig) | 674,00 |
| | Gas (MMPCND) | 20,00 |
| | Crudo (BPD) | 41,60 |
| | Agua (BPD) | 38,40 |
| | Válvula de Choke (pulg) | 35/64 |
| | Presión de llegada a Planta de Tratamiento Sipororo (psig) | 592,00 |

Tabla 3.5 Parámetros reales de producción del pozo SIP-3X

| Pozo | Parámetro | Valor real |
|--------|--|------------|
| SIP-3X | Presión de Cabezal (Psig) | 3210,00 |
| | Presión de Línea (Psig) | 695,00 |
| | Gas (MMPCND) | 20,10 |
| | Crudo (BPD) | 21,00 |
| | Agua (BPD) | 84,00 |
| | Válvula de Choke (pulg) | 34/64 |
| | Presión de llegada a Planta de Tratamiento Sipororo (psig) | 611,00 |

3.4 Identificación de las posibles restricciones operacionales que puedan presentarse en el sistema de recolección del Campo Sipororo según las normas PDVSA.

Se analizaron los resultados obtenidos en las simulaciones tanto para las condiciones actuales como para cada uno de los escenarios y se ubicaron los tramos de la red que presentan restricciones en el sistema. Se procedió a realizar la evaluación hidráulica de la siguiente manera:

3.4.1 Análisis de las caídas de presión:

Se observaron las caídas de presión en cada tramo de tubería y se compararon con las establecidas en la norma PDVSA N° 90616.1.024 (APÉNDICE B). Según la norma, las caídas de presión no deben superar los 2 psig por cada 100 pies de tubería. El simulador calcula las caídas de presión por link, se calculó cual sería la caída de presión para cada link si la longitud serían 100 pies, de la siguiente manera:

$$\frac{100 \text{ pie}}{\text{Longitud del link (pie)}} * \Delta P \text{ (psig) debe ser } < 2 \text{ psig}$$

Por ejemplo, para el escenario 1 (Presión mínima de 665 psig), el link 005 posee una longitud de 164 pie y una caída de presión de 4,4 psig (tabla 4.21). Calculando la caída de presión si la longitud fuese 100 pie:

$$\frac{100 \text{ pie}}{164 \text{ pie}} * 4,4 \text{ psig} = 2,68 \text{ psig} \quad \text{supera los 2 psig establecidos en la norma}$$

3.4.2 Análisis de las velocidades:

A partir de las densidades del fluido calculadas por el simulador, se utilizó la ecuación (2.16) del marco teórico para hallar la velocidad erosional en cada tramo. La constante empírica C utilizada fue de 100 por ser un proceso continuo y se tomó como valor final de la velocidad erosional el 60% de la calculada, según la norma de

PDVSA N° 90616.1.024. Se comparó la velocidad del fluido calculada por el simulador con la velocidad erosional, esta última debe ser la mayor.

Para el escenario 1 a la presión mínima, en el link 005, la densidad del fluido es 3,06 lb/pie³(tabla 4.13), entonces utilizando la ecuación (2.16), y el factor $C=100$, la velocidad erosional en esa línea es:

$$V_e = \frac{100}{\sqrt{3,06}} * 0,6 = \mathbf{34,31 \text{ pie/s}}$$

En esa línea el fluido posee una velocidad de 42.56 pie/s, con lo cual supera la velocidad erosional.

3.5 Proposición de las mejoras operacionales

Una vez identificadas las restricciones del sistema se plantearon las mejoras que se pueden hacer para optimizar la producción de crudo/gas que ha sido trazada.

CAPÍTULO IV

DISCUSIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Simulación hidráulica del sistema de recolección de gas del campo Sipororo, tanto para casos de operación actual como los esperados para cada uno de los esquemas de producción

4.1.1 Construcción de las redes a evaluar en el simulador Pipephase

4.1.1.1 ESCENARIO ACTUAL DE LOS POZOS SIP-3X Y SIP-2X

En las figuras 4.1 y 4.2 se muestra la red de recolección del campo Sipororo utilizando la producción independiente del pozo SIP-3X y SIP-2X respectivamente armada en el simulador. Las fuentes o sources están representadas por los círculos azules que contienen las flechas, los cuales son los módulos de producción de gas y líquido (crudo y agua).

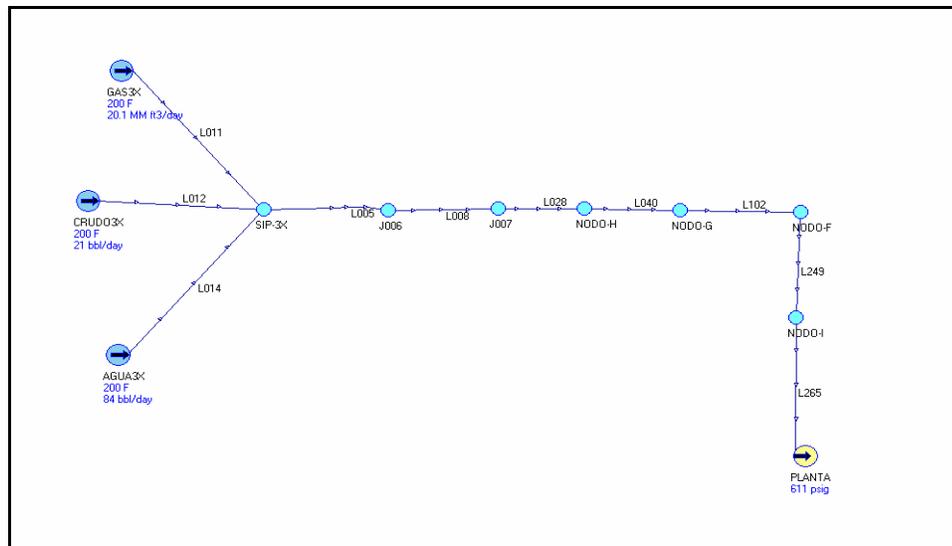


Figura 4.1. Red de tuberías utilizando la producción independiente del pozo SIP-3X

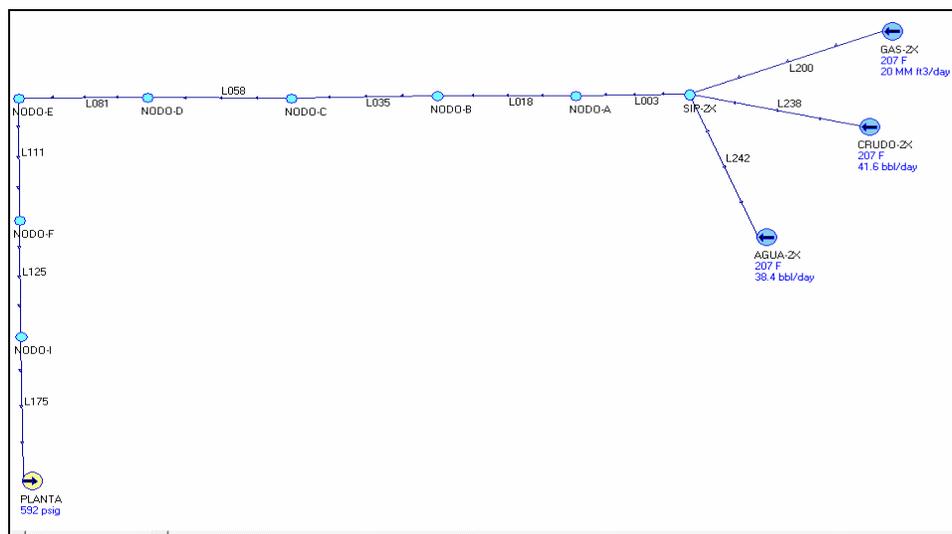


Figura 4.2. Red de tuberías utilizando la producción independiente del pozo SIP-2X

Las líneas azules (link) contienen las tuberías que integran la red. Las salidas o sink las representan los círculos amarillos que contienen las flechas. En ambas redes se observa un solo sink que es el nodo planta.

Tabla 4.1 Variables fijadas y estimadas en la simulación de los escenarios actuales de los pozos SIP-3X/2X

| Variables Fijadas | | Variables estimadas | |
|-------------------|-------------|---------------------|-------------|
| Variable | Ubicación | Variable | Ubicación |
| Volumen | GAS-3X/2X | Volumen | Planta |
| | CRUDO-3X/2X | Presión | GAS-3X/2X |
| | AGUA-3X/2X | | CRUDO-3X/2X |
| Presión | Planta | | AGUA-3X/2X |

Las variables fijadas son las que se observan azules en las fuentes y salidas de las figuras 4.1 y 4.2. Es obligatorio fijar las temperaturas en las fuentes. En la tabla 4.2 se resumen las variables que fueron fijadas y estimadas. Se ve que en todas las fuentes se fijaron los caudales y las presiones fueron estimadas. Con respecto a las salidas, se fijó la presión de llegada a la planta y se estimaron los caudales.

Tabla 4.2. Diferencia entre los valores reales y los que arroja el simulador del escenario actual pozo SIP-3X

| | Presión (psig) | | |
|---------------------------------------|----------------|----------|--------------|
| | Real | Simulado | % Desviación |
| Presión de cabezal (psig) | 3210,00 | 3598,00 | 12,09 |
| Presión de línea (psig) | 695,00 | 671,50 | 3,38 |
| Presión de llegada a la planta (psig) | 611,00 | 611,00 | 0 |

En la tabla 4.2 se muestra la comparación entre los datos reales y los calculados por el simulador, y la desviación calculada con respecto al valor real. Se observa que el porcentaje de desviación para la presión de cabezal excede el máximo de error establecido, sin embargo para efectos de la evaluación hidráulica este valor no tiene significancia, lo que interesa es la presión de línea y en esta el porcentaje de desviación es menor al 10% con lo cual se puede validar la red de recolección del Campo Sipororo para la producción independiente del pozo SIP-3X.

Tabla 4.3. Diferencia entre los valores reales y los que arroja el simulador del escenario actual pozo SIP-2X

| | Presión (psig) | | |
|---------------------------------------|----------------|----------|-----------------|
| | Real | Simulado | % Desviación |
| Presión de cabezal (psig) | 3129,00 | 3589,30 | 14,71 |
| Presión de línea (psig) | 674,00 | 618,50 | 8,23 |
| Presión de llegada a la planta (psig) | 592,00 | 592,00 | 0,00 |

En la tabla 4.3 se observa que el porcentaje de desviación para la presión de cabezal excede el máximo de error establecido, sin embargo para efectos de la evaluación hidráulica este valor no tiene significancia, lo que interesa es la presión de línea y en esta el porcentaje de desviación es menor al 10% con lo cual se puede validar la red de recolección del Campo Sipororo para la producción independiente del pozo SIP-2X.

ESCENARIO 1 (PRESIÓN MINIMA 665 psig)

En la figura 4.3 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 1 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario están produciendo los pozos SIP-2X y SIP-3X simultáneamente con una combinación entre ambos de producción de gas de un 50% respectivamente.

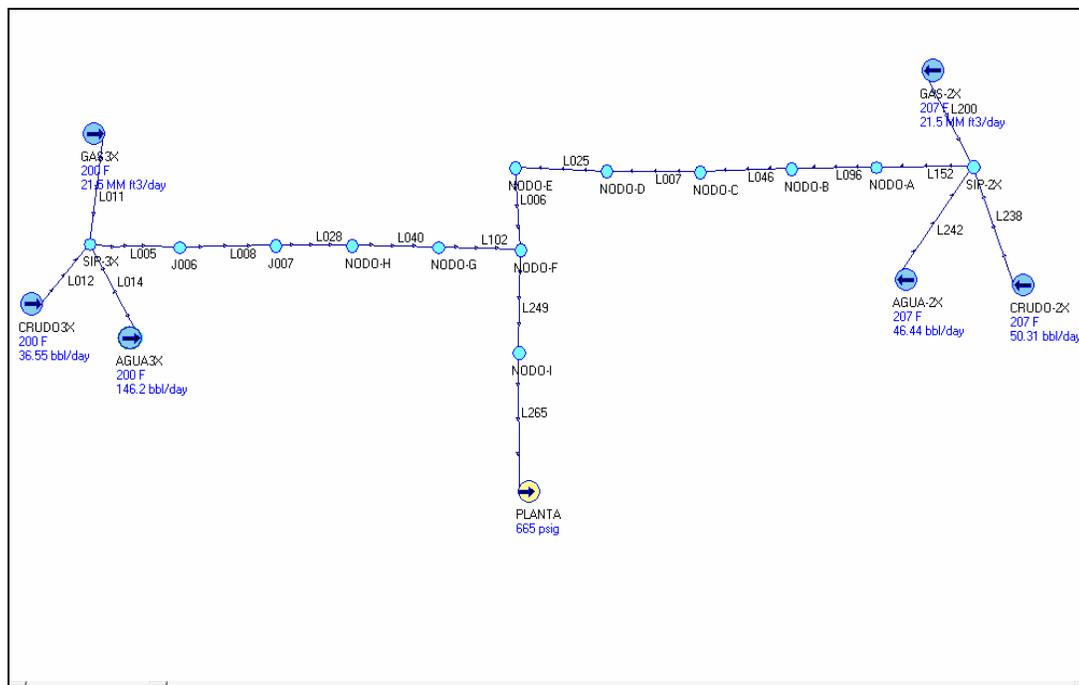


Figura 4.3. Red de recolección correspondiente al escenario 1

Las fuentes o sources son los módulos de producción de gas y líquido de los pozos SIP-2X/3X. En esta red existe un solo sink que es el nodo planta. En este escenario al igual que los escenarios actuales se observa que en todas las fuentes se fijaron los caudales y las presiones fueron estimadas y con respecto a la salida se fijó la presión de llegada a la planta y se estimaron los caudales. Estas consideraciones ya descritas se manejan exactamente igual para las simulaciones del resto de los

escenarios a evaluar de la red de recolección del Campo Sipororo.

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sipororo correspondientes al escenario 1 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.4. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 1

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-3X | 21,4710 | 27,74 | 146,20 | 41938,87 | 312,20 | 2132,10 |
| POZO SIP-2X | 21,4783 | 38,34 | 46,43 | 41392,54 | 430,90 | 677,30 |
| PLANTA | 43,7300 | 49,24 | 90,27 | 85015,00 | 551,00 | 1316,70 |

ESCENARIO 2 (PRESIÓN MÍNIMA 665 psig)

En la figura 4.4 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 2 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario están produciendo los pozos SIP-2X y SIP-3X simultáneamente con una combinación de producción de gas de un 25% y 75% respectivamente.

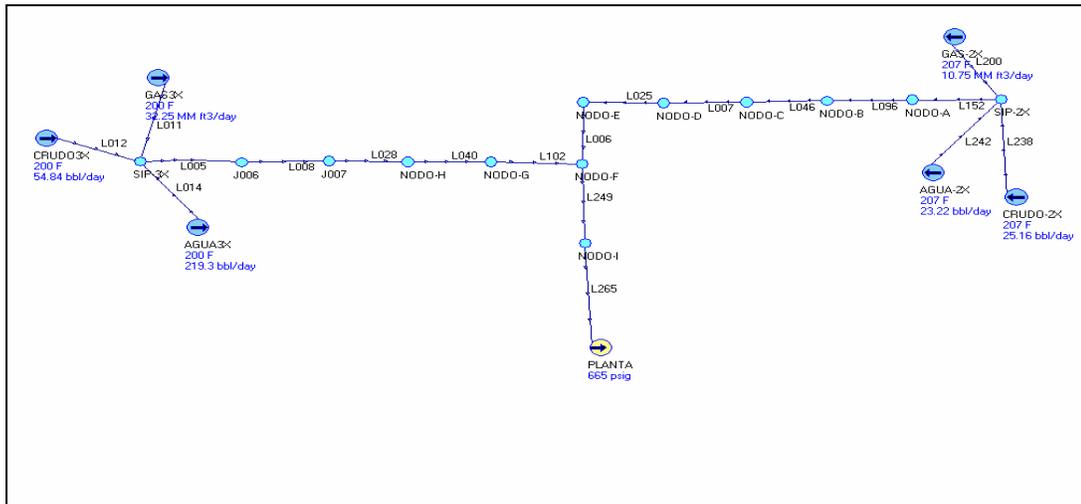


Figura 4.4. Red de recolección correspondiente al escenario 2

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sopororo correspondientes al escenario 2 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.5. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 2

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSSICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-3X | 32,2116 | 41,62 | 219,30 | 62907,82 | 468,60 | 3198,20 |
| POZO SIP-2X | 10,7442 | 19,17 | 23,22 | 20695,78 | 215,50 | 338,60 |
| PLANTA | 43,7200 | 46,87 | 140,20 | 85256,00 | 524,00 | 2044,30 |

ESCENARIO 3 (PRESIÓN MÍNIMA 665 psig)

En la figura 4.5 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 3 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario están produciendo los pozos SIP-2X y SIP-3X simultáneamente con una combinación de producción de gas de un 75% y 25% respectivamente.

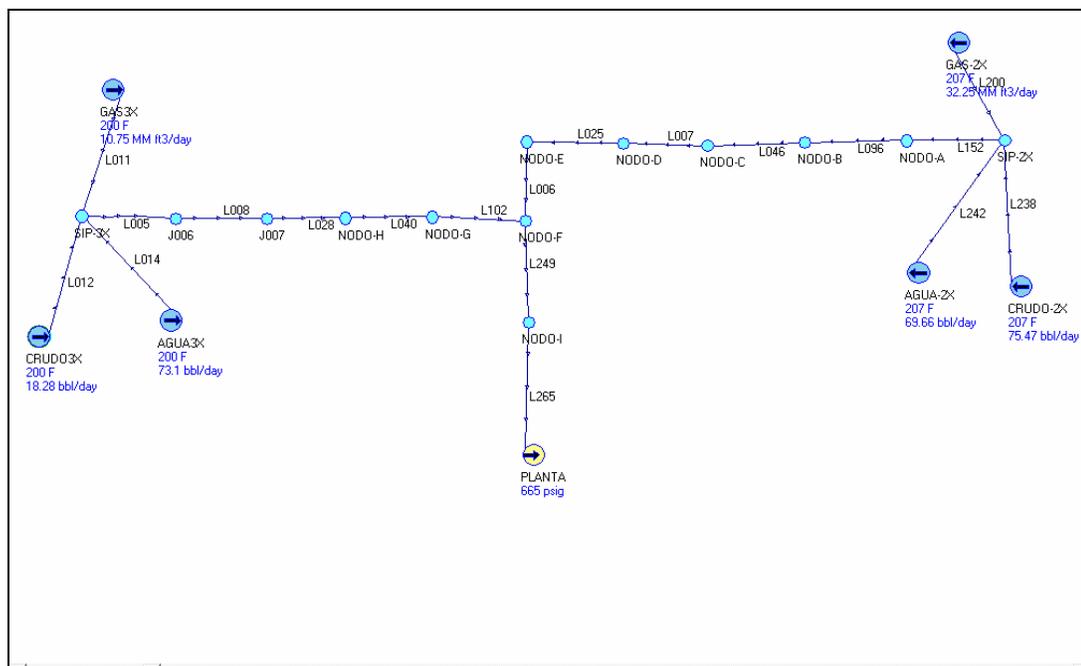


Figura 4.5. Red de recolección correspondiente al escenario 3

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos máxicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sipororo correspondientes al escenario 3 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.6. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 3

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-3X | 10,7405 | 13,87 | 73,09 | 20968,94 | 156,20 | 1066,00 |
| POZO SIP-2X | 32,2224 | 57,52 | 69,65 | 62088,32 | 646,40 | 1015,90 |
| PLANTA | 43,7300 | 51,63 | 40,38 | 84775,00 | 578,20 | 589,00 |

ESCENARIO 4 (PRESIÓN MÍNIMA 665 psig)

En la figura 4.6 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 4 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario están produciendo los pozos SIP-2X y SIP-4X simultáneamente con una combinación de producción de gas de un 75% y 25% respectivamente.

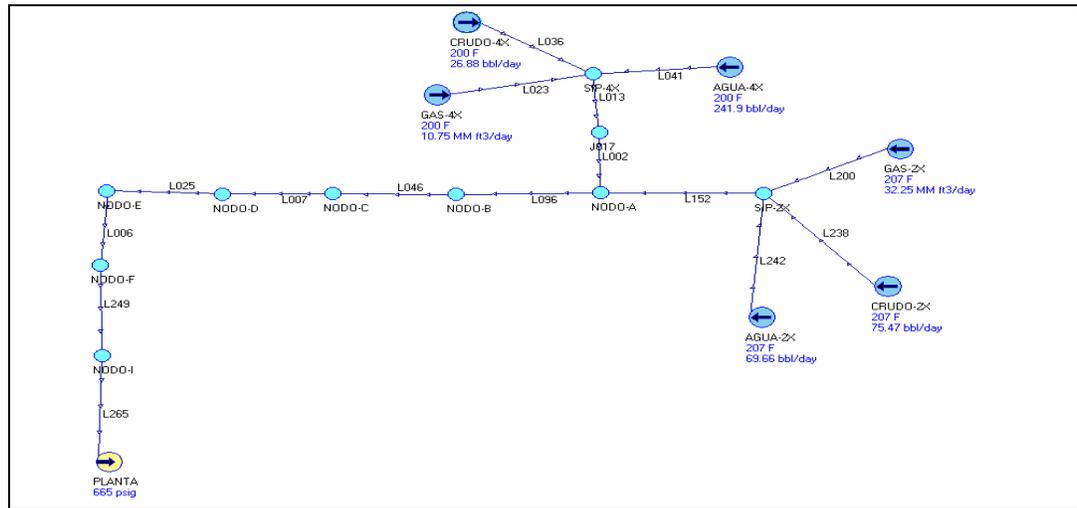


Figura 4.6. Red de recolección correspondiente al escenario 4

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sipororo correspondientes al escenario 4 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.7. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 4

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSSICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-4X | 10,7455 | 20,40 | 241,80 | 20979,73 | 229,70 | 3527,30 |
| POZO SIP-2X | 32,2224 | 57,52 | 69,65 | 62088,32 | 646,40 | 1015,90 |
| PLANTA | 43,7400 | 57,51 | 209,10 | 84793,00 | 644,00 | 3050,10 |

ESCENARIO 5 (PRESIÓN MÍNIMA 665 psig)

En la figura 4.7 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 5 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario están produciendo los pozos SIP-3X y SIP-4X simultáneamente con una combinación de producción de gas de un 75% y 25% respectivamente.

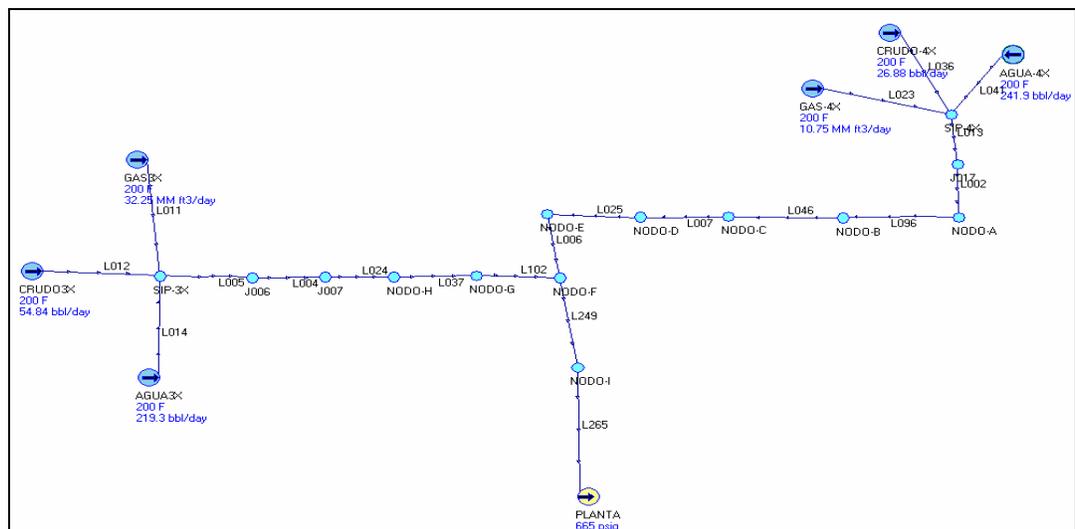


Figura 4.7. Red de recolección correspondiente al escenario 5

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sipororo correspondientes al escenario 5 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.8. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 5

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-3X | 32,2116 | 41,62 | 219,30 | 62907,82 | 468,60 | 3198,20 |
| POZO SIP-4X | 10,7455 | 20,40 | 241,80 | 20979,73 | 229,70 | 3527,30 |
| PLANTA | 43,7200 | 50,32 | 358,80 | 85516,00 | 562,00 | 5233,10 |

ESCENARIO 6 (PRESIÓN MÍNIMA 665 psig)

En la figura 4.8 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 6 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario se anexa el pozo SIP-4X a la red de recolección con lo cual todos los pozos (SIP-2X/3X/4X) se encuentran produciendo simultáneamente con una combinación de producción de gas de un 40%, 40% y 25% respectivamente.

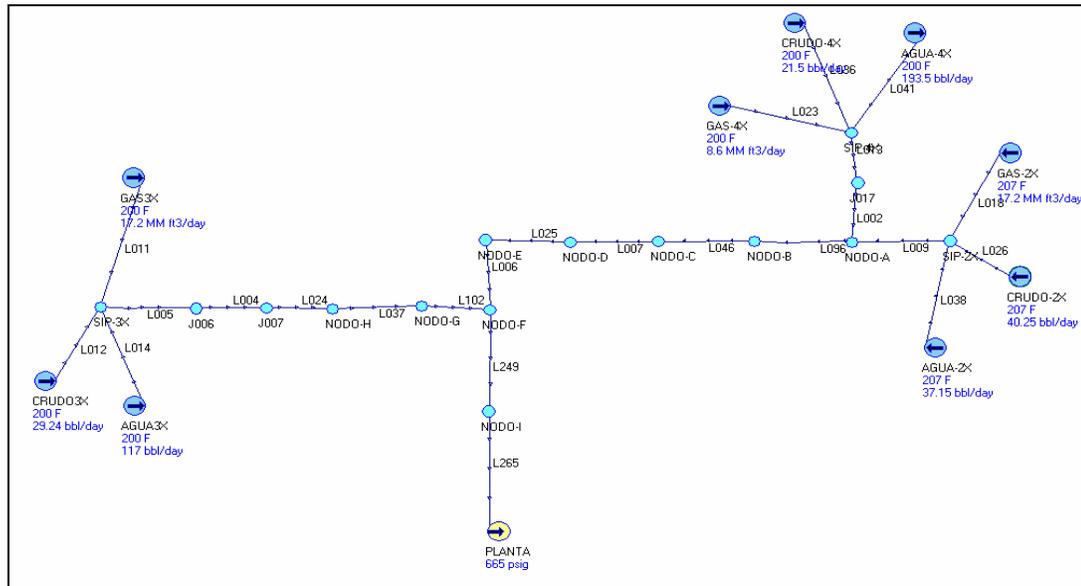


Figura 4.8. Red de recolección correspondiente al escenario 6

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sipororo correspondientes al escenario 6 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.9. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 6

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSIICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-3X | 17,1768 | 22,19 | 116,90 | 33550,69 | 249,80 | 1705,70 |
| POZO SIP-4X | 8,5934 | 16,32 | 193,50 | 16783,98 | 183,70 | 2821,90 |
| POZO SIP-2X | 17,1826 | 30,67 | 37,14 | 33113,24 | 344,70 | 541,80 |
| PLANTA | 43,7300 | 52,96 | 245,20 | 85127,00 | 592,40 | 3576,60 |

ESCENARIO 7 (PRESIÓN MÍNIMA 665 psig)

En la figura 4.9 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 7 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario todos los pozos (SIP-2X/3X/4X) se encuentran produciendo simultáneamente con una combinación de producción de gas de un 50%, 40% y 10% respectivamente.

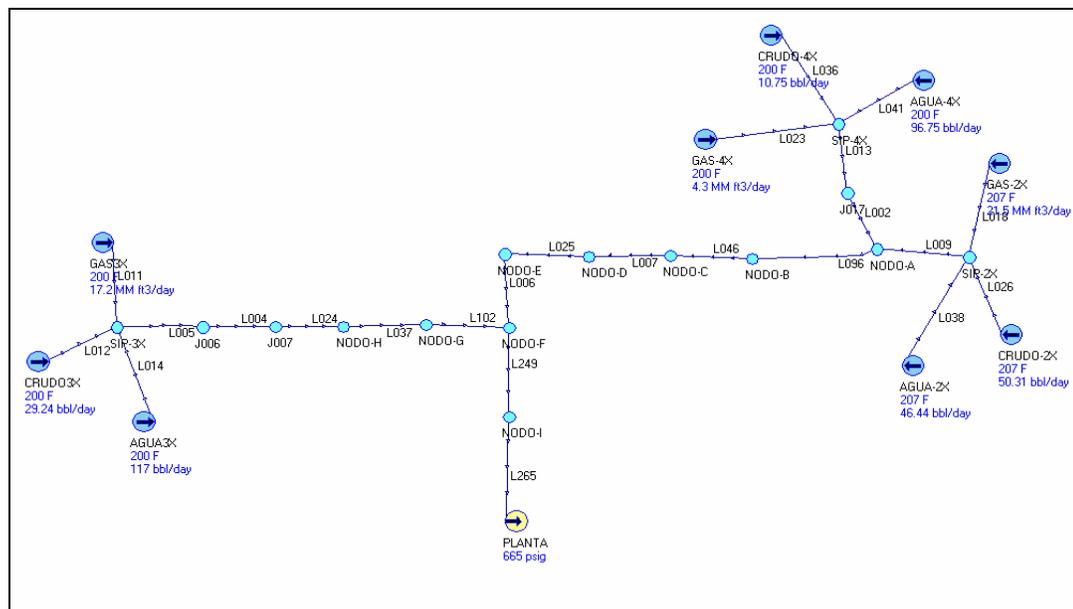


Figura 4.9. Red de recolección correspondiente al escenario 7

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sipororo correspondientes al escenario 7 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.10. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 7

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSSICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-3X | 17,1768 | 22,19 | 116,90 | 33550,69 | 249,80 | 1705,70 |
| POZO SIP-4X | 4,2972 | 8,16 | 96,74 | 8391,99 | 91,85 | 1411,00 |
| POZO SIP-2X | 21,4783 | 38,34 | 46,43 | 41392,54 | 430,90 | 677,30 |
| PLANTA | 43,7300 | 51,57 | 157,80 | 85023,00 | 577,10 | 2301,10 |

ESCENARIO 8 (PRESIÓN MÍNIMA 665 psig)

En la figura 4.10 se muestra la red de recolección del Campo Sipororo correspondiente al escenario 8 a una presión mínima de 665 psig armada en el simulador. En este escenario todos los pozos (SIP-2X/3X/4X) se encuentran produciendo simultáneamente con una combinación de producción de gas de un 60%, 40% y 10% respectivamente.

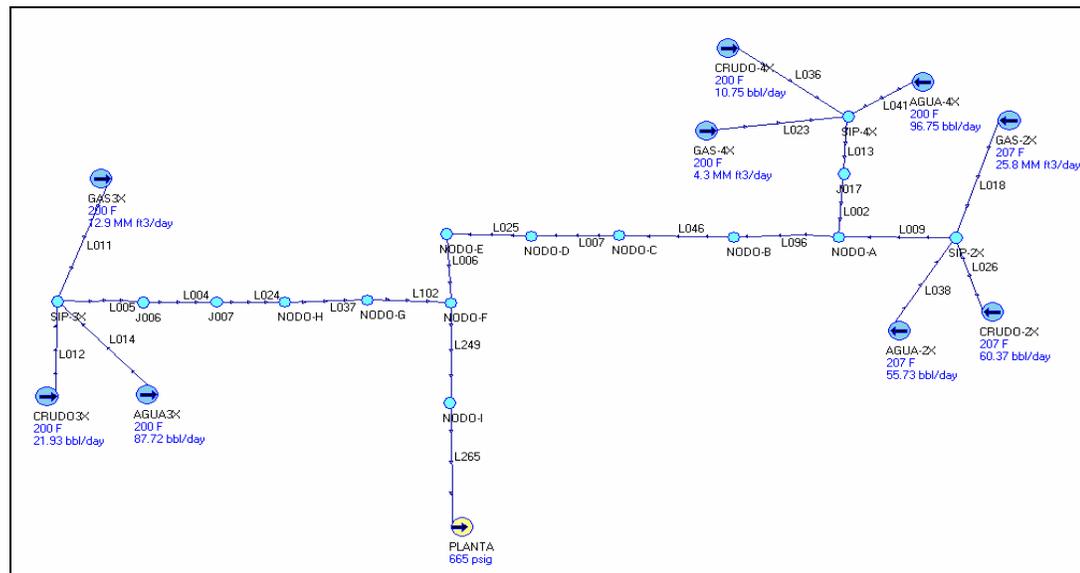


Figura 4.10. Red de recolección correspondiente al escenario 8

En la siguiente tabla se muestran los caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red de recolección del Campo Sipororo correspondientes al escenario 8 a la presión mínima de llegada a la planta.

Tabla 4.11. Caudales y flujos másicos del fluido que circula por la red para el escenario 8

| Ubicación | CAUDAL | | | FLUJO MÁSSICO | | |
|-------------|-------------------|--------------------|-------------------|----------------|------------------|-----------------|
| | Gas (MMPC/DIA) | Crudo (BBL/DIA) | Agua (BBL/DIA) | Gas (Lb/hr) | Crudo (Lb/hr) | Agua (Lb/hr) |
| POZO SIP-3X | 17,1768 | 22,19 | 116,90 | 33550,69 | 249,80 | 1705,70 |
| POZO SIP-4X | 4,2972 | 8,16 | 96,74 | 8391,99 | 91,85 | 1411,00 |
| POZO SIP-2X | 21,4783 | 38,34 | 46,43 | 41392,54 | 430,90 | 677,30 |
| PLANTA | 43,7300 | 51,57 | 157,80 | 85023,00 | 577,10 | 2301,10 |

A la presión máxima de llegada a la planta los esquemas de producción de la red de recolección armada en el simulador son idénticos a los que se plantearon a la presión mínima, los mismo sucede con los caudales y los flujos másicos.

4.2 Identificación de las restricciones operacionales en el sistema de recolección del campo Sipororo según las normas PDVSA

A continuación se presenta un esquemático de la red de recolección del Campo Sipororo donde se muestran los tramos a evaluar.

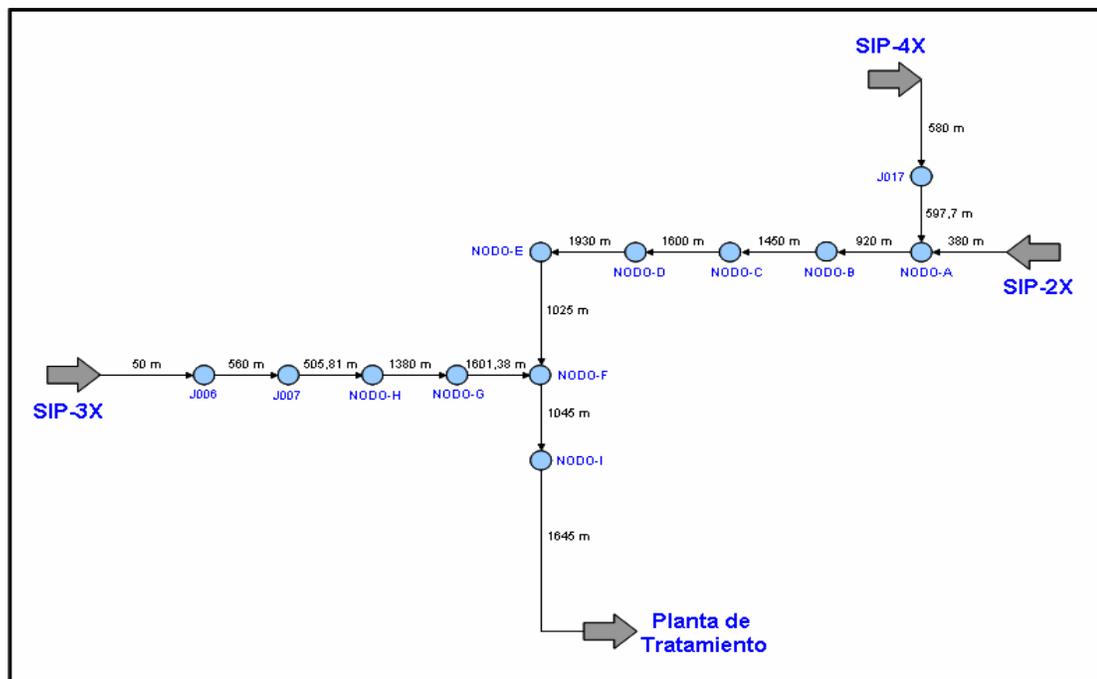


Figura 4.11 Esquemático de la red de recolección del Campo Sipororo

Los tramos de la red de recolección se evaluarán de la siguiente manera:

Nodo SIP-3X a nodo H

Nodo H a nodo F

Nodo SIP-4X a nodo A
 Nodo SIP-2X a nodo A
 Nodo A a nodo E
 Nodo E a nodo PLANTA.

PRESIÓN MÍNIMA DE LLEGADA A LA PLANTA 665 psig

4.2.1. Velocidades

Las velocidades que superan la velocidad erosional para la red de recolección del campo Sipororo en cada uno de los escenarios evaluados a la presión mínima de llegada a la planta se encuentran a continuación en las siguientes tablas:

Escenarios 1, 6 y 7

Tabla 4.12. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 1

| Tramo | φ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|----------------------|----------|------|---------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 3,06 | 42,56 | 42,56 | 34,31 |
| | | 008 | 3,10 | 32,18 | 32,66 | 34,10 |
| | | 028 | 3,07 | 32,70 | 33,30 | 34,24 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 040 | 8,95 | 11,00 | 10,75 | 20,05 |
| | | 102 | 7,34 | 10,75 | 10,51 | 22,14 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 152 | 2,32 | 33,65 | 33,97 | 39,41 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 4,44 | 11,22 | 10,94 | 28,48 |
| | | 046 | 4,68 | 10,92 | 10,59 | 27,73 |

| | | | | | | |
|----------------------|-------|-----|------|-------|-------|-------|
| | | 007 | 7,62 | 10,56 | 10,30 | 21,73 |
| | | 025 | 7,02 | 10,30 | 10,10 | 22,65 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 5,26 | 7,90 | 7,02 | 26,15 |
| | | 249 | 6,85 | 14,44 | 14,39 | 22,92 |
| | | 265 | 5,87 | 14,37 | 14,28 | 24,77 |

Tabla 4.13. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 6

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|----------------------|---------------|------|---------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 3,02 | 34,92 | 34,92 | 34,54 |
| | | 004 | 3,08 | 26,34 | 26,39 | 34,16 |
| | | 024 | 3,09 | 26,40 | 26,53 | 34,11 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 9,28 | 8,76 | 8,49 | 19,70 |
| | | 102 | 7,64 | 8,49 | 8,26 | 21,71 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 009 | 2,39 | 26,50 | 26,52 | 38,80 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 7,91 | 13,17 | 12,85 | 21,34 |
| | | 002 | 8,74 | 12,79 | 12,59 | 20,30 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 7,74 | 12,89 | 12,69 | 21,56 |
| | | 046 | 7,30 | 12,68 | 12,46 | 22,21 |
| | | 007 | 12,12 | 12,45 | 12,31 | 17,24 |
| | | 025 | 10,43 | 12,32 | 12,23 | 18,58 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 7,45 | 8,60 | 8,53 | 21,98 |
| | | 249 | 8,28 | 14,34 | 14,31 | 20,85 |
| | | 265 | 6,73 | 14,29 | 14,22 | 23,13 |

Tabla 4.14. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 7

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|----------------------|---------------|------|---------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 3,02 | 34,92 | 34,92 | 34,54 |
| | | 004 | 3,08 | 26,34 | 26,39 | 34,16 |
| | | 024 | 3,09 | 26,40 | 26,52 | 34,11 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 9,28 | 8,76 | 8,49 | 19,70 |
| | | 102 | 7,64 | 8,49 | 8,26 | 21,71 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 009 | 2,36 | 33,13 | 33,43 | 39,05 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 8,71 | 6,65 | 6,30 | 20,33 |
| | | 002 | 9,71 | 6,26 | 6,03 | 19,25 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 6,48 | 13,01 | 12,80 | 23,58 |
| | | 046 | 6,21 | 12,79 | 12,53 | 24,07 |
| | | 007 | 10,19 | 12,52 | 12,34 | 18,79 |
| | | 025 | 8,91 | 12,34 | 12,21 | 20,10 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 6,47 | 8,59 | 8,52 | 23,59 |
| | | 249 | 7,56 | 14,33 | 14,30 | 21,82 |
| | | 265 | 6,19 | 14,28 | 14,20 | 24,12 |

En las tablas 4.12, 4.13 y 4.14 específicamente en el link L005 correspondiente al tramo del nodo SIP-3X al nodo H para los escenarios 1, 6 y 7 se aprecia que la velocidad del fluido supera aunque no significativamente la erosional, esto es debido a que en dichos escenarios el pozo SIP-3X es el que presenta mayor porcentaje de producción de gas como se observa en la tabla 4.1 y esto sumado al diámetro menor de la tubería de 5,76 pulg generan altas velocidades del fluido mayores al límite permitido. De igual manera se observa que las velocidades del fluido y erosional son

bastante similares para los escenarios 6 y 7 ya que se manejan prácticamente las mismas combinaciones de producción (tabla 3.1). En el escenario 1 están produciendo los pozos SIP-2X/3X mientras que en los escenarios 6 y 7 están operando los tres pozos en estudio SIP-2X/3X/4X. En las figuras D.1, D.12 y D.13 del APÉNDICE D se pueden observar los perfiles de velocidades del link que presentó restricción operacional en el sistema para los escenarios ya mencionados.

En las figuras que se presentan a continuación se muestra el perfil de velocidades correspondiente a los escenarios 1, 6 y 7 a la presión mínima de llegada a la planta.

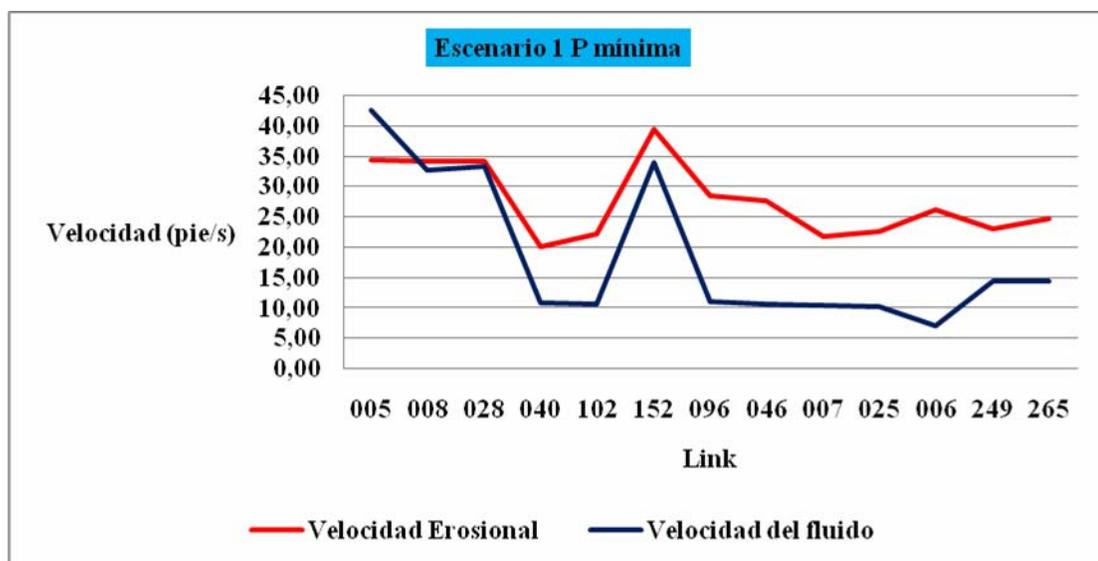


Figura 4.12. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 1 a la presión mínima

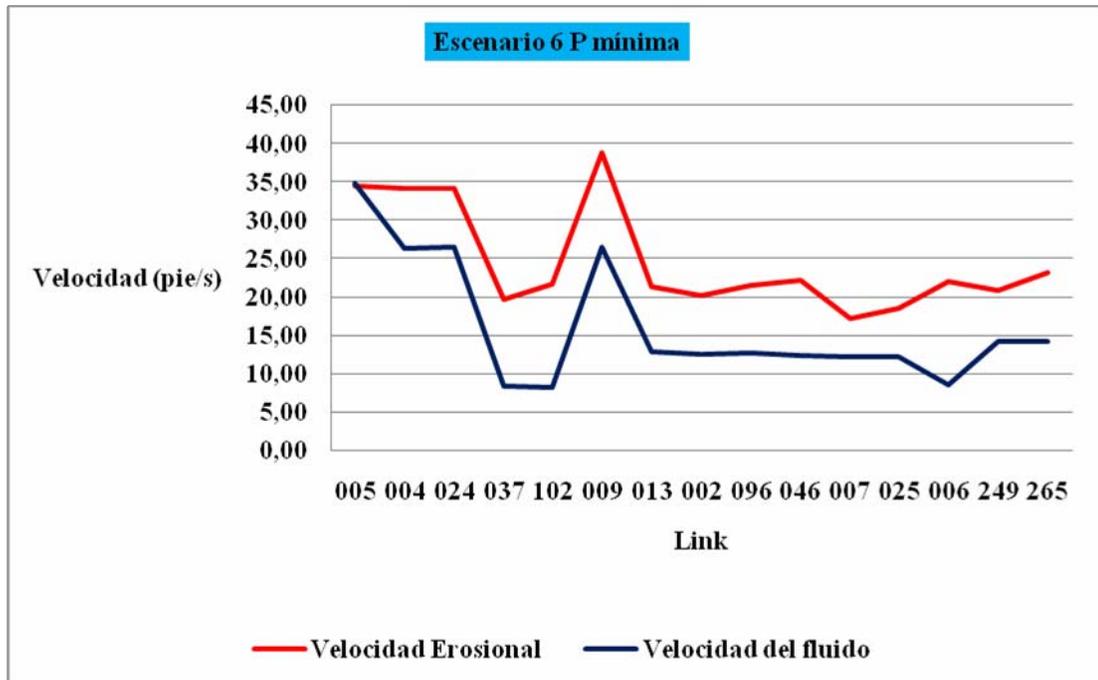


Figura 4.13. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 6 a la presión mínima

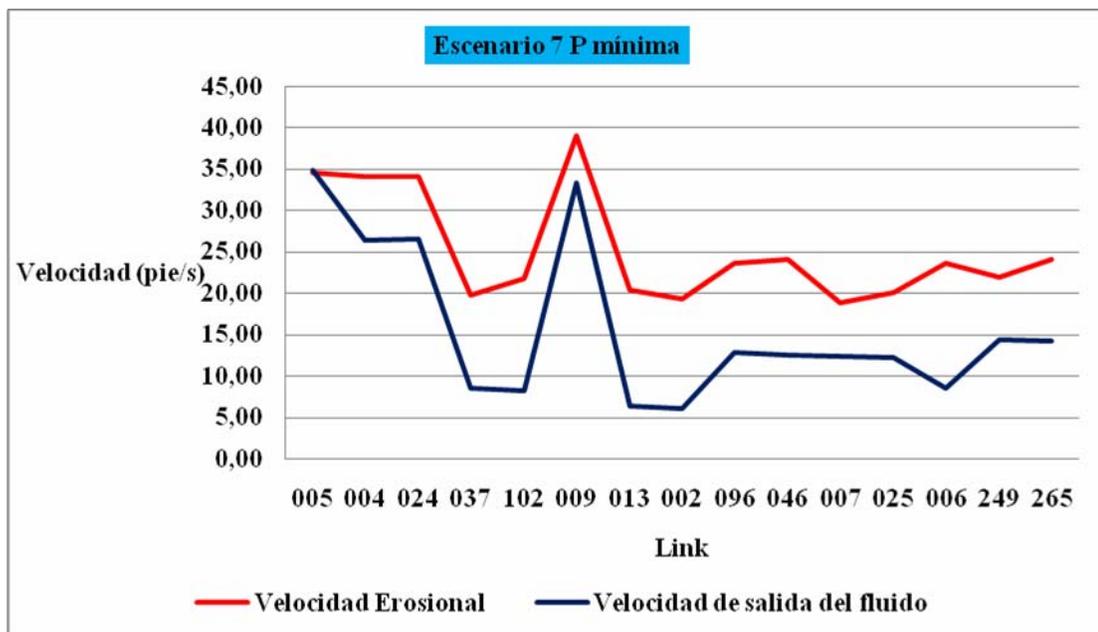


Figura 4.14. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 7 a la presión mínima.

Escenarios 2 y 5

Tabla 4.15. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 2

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|-------------------------|------------------|------|------------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 3,24 | 58,84 | 58,84 | 33,32 |
| | | 008 | 3,25 | 44,75 | 46,93 | 33,30 |
| | | 028 | 3,11 | 47,11 | 49,81 | 34,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 040 | 8,48 | 16,46 | 16,33 | 20,61 |
| | | 102 | 6,88 | 16,34 | 16,19 | 22,87 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 152 | 3,65 | 17,16 | 16,97 | 31,40 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 4,97 | 5,59 | 5,31 | 26,91 |
| | | 046 | 5,48 | 5,30 | 5,02 | 25,63 |
| | | 007 | 8,99 | 5,00 | 4,86 | 20,01 |
| | | 025 | 8,05 | 4,86 | 4,80 | 21,14 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 5,95 | 3,37 | 3,36 | 24,60 |
| | | 249 | 7,14 | 14,79 | 14,72 | 22,46 |
| | | 265 | 5,89 | 14,70 | 14,56 | 24,72 |

Tabla 4.16. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 5

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|-------------------------|------------------|------|------------------------------------|-------------------------|---------------------|---------------------------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 3,24 | 58,83 | 58,83 | 33,31 |
| | | 004 | 3,25 | 44,74 | 46,92 | 33,30 |
| | | 024 | 3,11 | 47,09 | 49,79 | 34,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 8,48 | 16,45 | 16,33 | 20,60 |
| | | 102 | 6,89 | 16,33 | 16,18 | 22,87 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 7,75 | 16,22 | 15,95 | 21,56 |
| | | 002 | 8,53 | 15,90 | 15,75 | 20,55 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 12,45 | 5,19 | 5,03 | 17,01 |
| | | 046 | 11,74 | 5,02 | 4,87 | 17,51 |
| | | 007 | 19,89 | 4,86 | 4,81 | 13,45 |
| | | 025 | 16,75 | 4,82 | 4,82 | 14,66 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 11,75 | 3,39 | 3,39 | 17,51 |
| | | 249 | 8,87 | 14,75 | 14,69 | 20,15 |
| | | 265 | 7,48 | 14,67 | 14,55 | 21,95 |

En las tablas 4.15 y 4.16 se pueden observar que los link pertenecientes al tramo del nodo SIP-3X al nodo H, presentan velocidades que superan significativamente la erosional generando para ambos escenarios restricción operacional en el funcionamiento de la red. En los escenarios 2 y 5 el pozo SIP-3X está produciendo el 75% del gas que fluye por la red (tabla 3.1), por tal motivo es que en dicho tramo existen velocidades superiores al límite erosional permitido. En las figuras D.2, D.3, D.4, D.9, D.10 y D.11 del APÉNDICE D se pueden observar los perfiles de velocidades de cada uno de los link que presentaron incidencia en la red para ambos escenarios.

En las figuras que se presentan a continuación se muestran los perfiles de velocidades correspondientes a los escenarios 2 y 5 a la presión mínima de llegada a la planta.

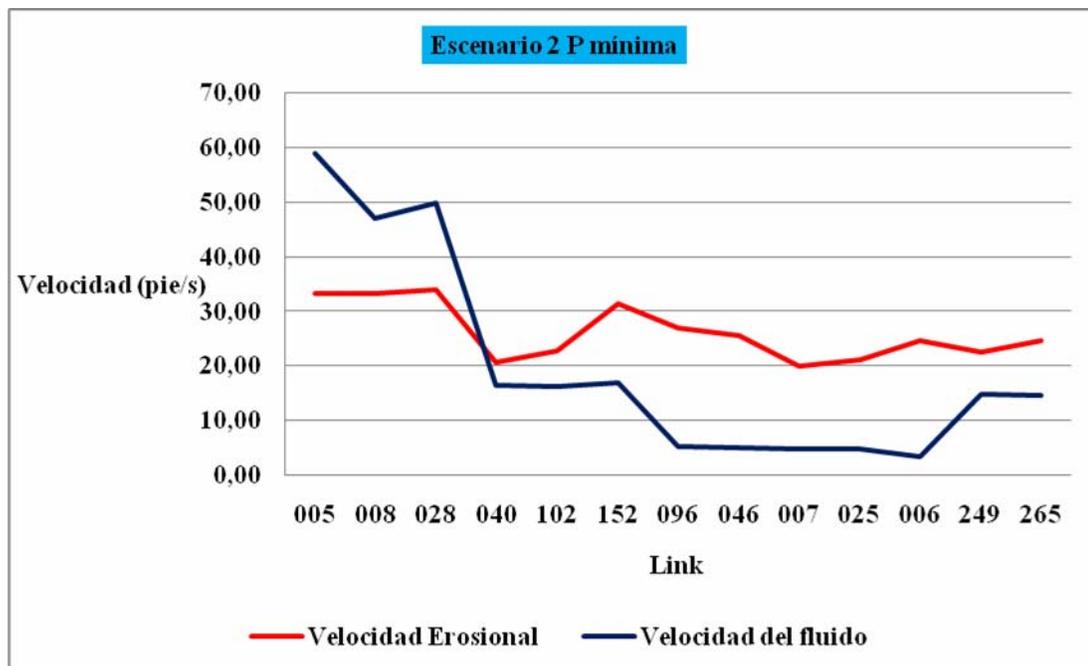


Figura 4.15. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 2 a la presión mínima

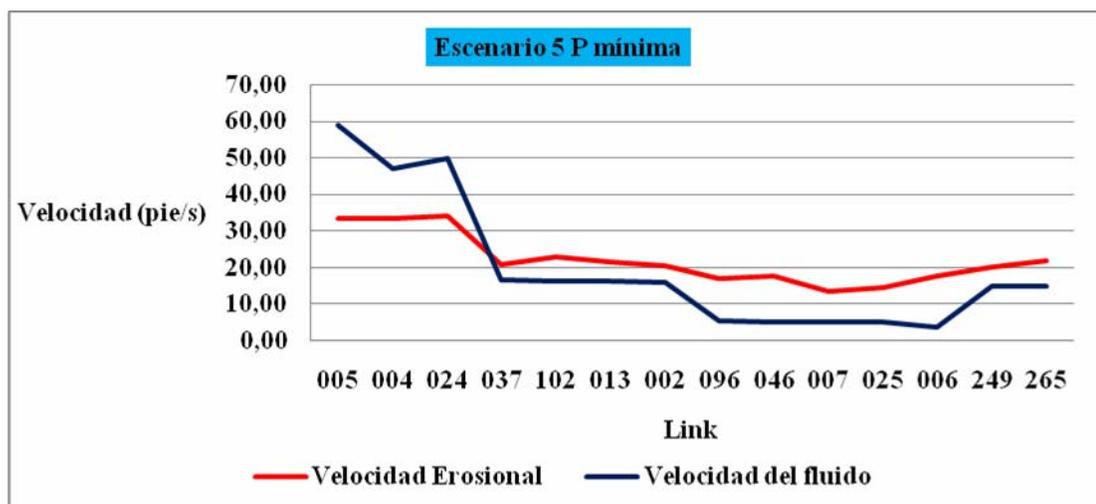


Figura 4.16. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 5 a la presión mínima

Escenarios 3 y 8

Tabla 4.17. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 3

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|----------------------|---------------|------|---------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 3,63 | 22,43 | 22,43 | 31,49 |
| | | 008 | 6,19 | 16,85 | 16,53 | 24,11 |
| | | 028 | 5,82 | 16,51 | 16,27 | 24,88 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 040 | 10,09 | 5,37 | 5,13 | 18,89 |
| | | 102 | 8,34 | 5,12 | 4,96 | 20,77 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 152 | 2,39 | 48,48 | 50,02 | 38,79 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 4,28 | 16,58 | 16,35 | 29,02 |
| | | 046 | 4,37 | 16,34 | 16,07 | 28,71 |
| | | 007 | 6,96 | 16,05 | 15,84 | 22,74 |
| | | 025 | 6,40 | 15,84 | 15,67 | 23,72 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 4,83 | 11,02 | 10,91 | 27,30 |
| | | 249 | 6,34 | 14,40 | 14,35 | 23,84 |
| | | 265 | 5,46 | 14,34 | 14,25 | 25,68 |

Tabla 4.18. Velocidades del fluido y erosional correspondientes al escenario 8

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|----------------------|---------------|------|---------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 3,00 | 26,75 | 26,75 | 34,67 |
| | | 004 | 6,07 | 20,13 | 19,88 | 24,36 |
| | | 024 | 5,68 | 19,87 | 19,69 | 25,17 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 9,76 | 6,50 | 6,24 | 19,21 |
| | | 102 | 8,06 | 6,24 | 6,05 | 21,13 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 009 | 2,38 | 39,20 | 39,88 | 38,90 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 8,75 | 6,61 | 6,26 | 20,29 |
| | | 002 | 9,76 | 6,21 | 5,99 | 19,21 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 6,16 | 15,14 | 14,95 | 24,18 |
| | | 046 | 5,89 | 14,94 | 14,71 | 24,71 |
| | | 007 | 9,60 | 14,69 | 14,54 | 19,36 |
| | | 025 | 8,40 | 14,54 | 14,43 | 20,70 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 6,12 | 10,15 | 10,07 | 24,25 |
| | | 249 | 7,39 | 14,32 | 14,29 | 22,07 |
| | | 265 | 6,29 | 14,27 | 14,19 | 23,92 |

En las tablas 4.17 y 4.18 se aprecia que el tramo del nodo SIP-2X al nodo A, presenta velocidades que superan aunque no significativamente la erosional con lo cual genera restricción en el funcionamiento de la red. En estos escenarios el pozo SIP-2X es el que está produciendo mayor porcentaje de gas con respecto a los otros pozos (tabla 3.1), por tal motivo a la salida de este se tendría mayor caudal de gas fluyendo por las tuberías las cuales son de un diámetro menor en comparación con las

otras de los restantes tramos generando altas velocidades por encima del límite erosional permitido. En las figuras D.5 y D.14 del APÉNDICE D se pueden observar los perfiles de velocidades de los link que presento incidencia en la red para ambos escenarios.

En las figuras que se presentan a continuación se muestran los perfiles de velocidades correspondientes a los escenarios 3 y 8 a la presión mínima de llegada a la planta.

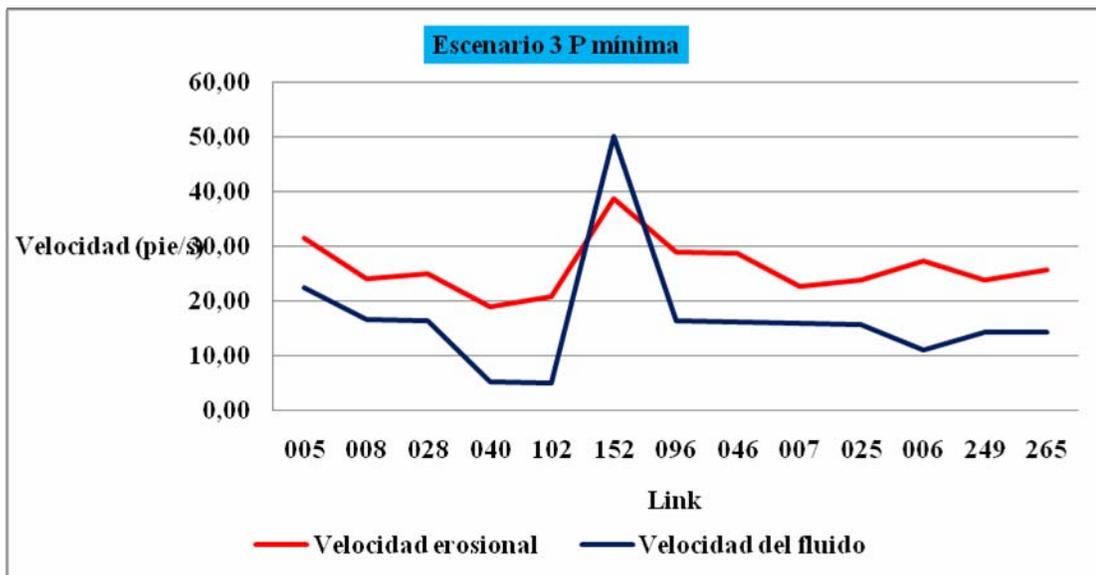


Figura 4.17. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 3 a la presión mínima

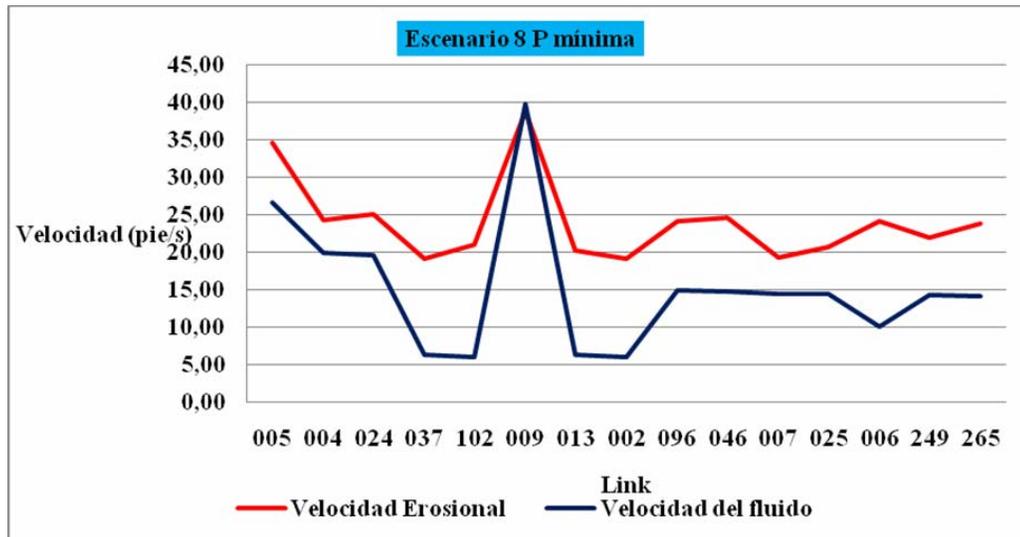


Figura 4.18. Perfil de velocidades correspondiente al escenario 8 a la presión mínima
Escenario 4

Tabla 4.19. Velocidades del fluido y erosional correspondiente al escenario 4

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | Densidad (lb/pie ³) | V entrada (pie/s) | V salida (pie/s) | V erosional (pie/s) |
|----------------------|---------------|------|---------------------------------|-------------------|------------------|---------------------|
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 7,89 | 15,81 | 15,54 | 21,36 |
| | | 002 | 8,68 | 15,49 | 15,33 | 20,36 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 152 | 2,49 | 46,70 | 48,05 | 38,06 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 6,86 | 20,95 | 20,90 | 22,90 |
| | | 046 | 6,39 | 20,89 | 20,88 | 23,74 |
| | | 007 | 10,39 | 20,87 | 20,96 | 18,62 |
| | | 025 | 8,86 | 20,98 | 21,15 | 20,16 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 6,36 | 14,88 | 14,81 | 23,79 |
| | | 249 | 7,77 | 14,80 | 14,73 | 21,52 |
| | | 265 | 6,61 | 14,71 | 14,58 | 23,35 |

En la tabla 4.19 se aprecia que los tramos del nodo SIP-2X al nodo A y nodo A al nodo E específicamente en los link L152, L007 y L025 presentan velocidades que superan la erosional. En este escenario el pozo SIP-2X es el que produce mayor porcentaje de gas (75%), con lo cual a la salida de este existe mayor volumen de gas fluyendo por las tuberías originando altas velocidades mayores al límite permitido. En las figuras D.6, D.7 y D.8 del APENDICE D se pueden observar los perfiles de velocidades de los link que presentaron incidencias en el funcionamiento de la red para dicho escenario.

En la figura que se presenta a continuación se muestra el perfil de velocidades correspondiente al escenario 4 a la presión mínima de llegada a la planta.

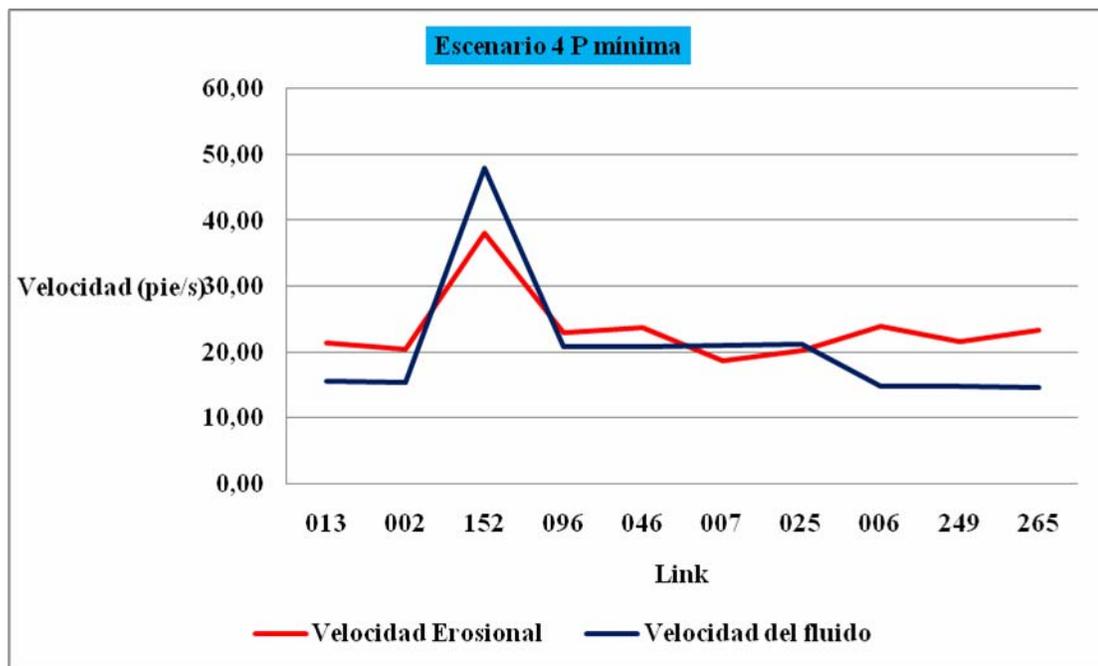


Figura 4.19. Perfil de velocidades correspondientes al escenario 4 a la presión mínima

4.2.2 Presiones

Las caídas de presión se compararon con lo establecida en la normativa de PDVSA que establece que para líneas de transferencia, la caída de presión no debe superar los 2 psig por cada 100 pie de tubería. Las siguientes tablas contienen las caídas de presión por link para cada de los escenarios en estudio a la presión mínima de llegada a la planta, así como su ubicación en las mismas.

Escenario 1

Tabla 4.20. Caídas de presión correspondientes al escenario 1 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (pie) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|---------------|------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 745,80 | 741,40 | 4,40 | 164,00 | 2,68 | 2,00 |
| | | 008 | 741,40 | 716,60 | 24,80 | 1837,20 | 1,35 | 2,00 |
| | | 028 | 716,60 | 692,40 | 24,20 | 1659,50 | 1,46 | 2,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 040 | 692,40 | 681,40 | 11,00 | 4527,40 | 0,24 | 2,00 |
| | | 102 | 681,40 | 670,90 | 10,50 | 5253,80 | 0,20 | 2,00 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 152 | 716,80 | 698,50 | 18,30 | 1246,60 | 1,47 | 2,00 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 698,50 | 696,10 | 2,40 | 3018,10 | 0,08 | 2,00 |
| | | 046 | 696,10 | 689,90 | 6,20 | 4757,00 | 0,13 | 2,00 |
| | | 007 | 689,90 | 681,50 | 8,40 | 5248,90 | 0,16 | 2,00 |
| | | 025 | 681,50 | 671,70 | 9,80 | 6332,00 | 0,15 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 671,70 | 670,90 | 0,80 | 3362,80 | 0,02 | 2,00 |
| | | 249 | 670,90 | 668,30 | 2,60 | 3428,50 | 0,08 | 2,00 |
| | | 265 | 668,30 | 665,00 | 3,30 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

Se observa en la tabla 4.20. que el tramo del nodo SIP-3X al nodo H específicamente el link L005 presenta caídas de presión que superan los 2 psig por cada 100 pie de tubería, esto debido al diámetro pequeño de la tubería el cual es de 5,76 pulg. En el resto de los tramos no se presentaron restricciones operacionales en la red. En la siguiente figura se muestra el perfil de las caídas de presión comparadas con el límite establecido por la norma.

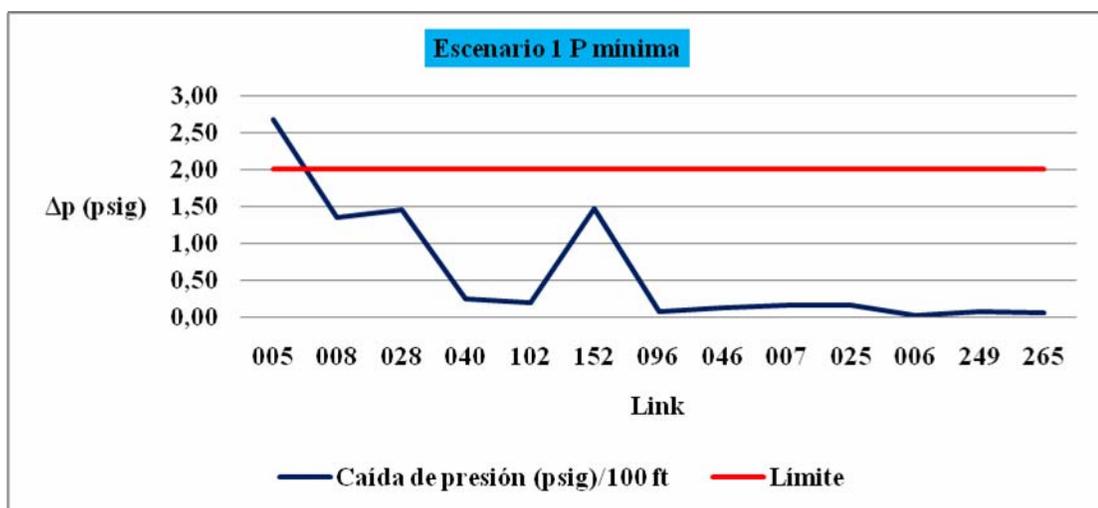


Figura 4.20 Perfil de caídas de presión por cada 100 pie de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 1

Escenarios 2 y 5

Tabla 4.21. Caídas de presión correspondientes al escenario 2 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | φ (pulg) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (pie) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|------------------|------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 811,80 | 802,60 | 9,20 | 164,00 | 5,61 | 2,00 |
| | | 008 | 802,60 | 750,60 | 52,00 | 1837,20 | 2,83 | 2,00 |
| | | 028 | 750,60 | 699,20 | 51,40 | 1659,50 | 3,10 | 2,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 040 | 699,20 | 685,20 | 14,00 | 4527,40 | 0,31 | 2,00 |
| | | 102 | 685,20 | 671,20 | 14,00 | 5253,80 | 0,27 | 2,00 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 152 | 698,80 | 693,50 | 5,30 | 1246,60 | 0,43 | 2,00 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 693,50 | 692,50 | 1,00 | 3018,10 | 0,03 | 2,00 |
| | | 046 | 692,50 | 687,50 | 5,00 | 4757,00 | 0,11 | 2,00 |
| | | 007 | 687,50 | 680,20 | 7,30 | 5248,90 | 0,14 | 2,00 |
| | | 025 | 680,20 | 671,80 | 8,40 | 6332,00 | 0,13 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 671,80 | 671,20 | 0,60 | 3362,80 | 0,02 | 2,00 |
| | | 249 | 671,20 | 668,50 | 2,70 | 3428,50 | 0,08 | 2,00 |
| | | 265 | 668,50 | 665,00 | 3,50 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

Tabla 4.22. Caídas de presión correspondientes al escenario 5 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | φ (pulg) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (pie) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|------------------|------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 812,00 | 802,80 | 9,20 | 164,00 | 5,61 | 2,00 |
| | | 004 | 802,80 | 750,90 | 51,90 | 1837,20 | 2,82 | 2,00 |
| | | 024 | 750,90 | 699,40 | 51,50 | 1659,50 | 3,10 | 2,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 699,40 | 685,50 | 13,90 | 4527,40 | 0,31 | 2,00 |
| | | 102 | 685,50 | 671,50 | 14,00 | 5253,80 | 0,27 | 2,00 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 740,80 | 733,60 | 7,20 | 1902,90 | 0,38 | 2,00 |
| | | 002 | 733,60 | 722,30 | 11,30 | 1961,10 | 0,58 | 2,00 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 722,30 | 717,70 | 4,60 | 3018,10 | 0,15 | 2,00 |
| | | 046 | 717,70 | 706,30 | 11,40 | 4757,00 | 0,24 | 2,00 |
| | | 007 | 706,30 | 690,80 | 15,50 | 5248,90 | 0,30 | 2,00 |
| | | 025 | 690,80 | 673,40 | 17,40 | 6332,00 | 0,27 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 673,40 | 671,50 | 1,90 | 3362,80 | 0,06 | 2,00 |
| | | 249 | 671,50 | 668,50 | 3,00 | 3428,50 | 0,09 | 2,00 |
| | | 265 | 668,50 | 665,00 | 3,50 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

En las tablas 4.21. y 4.22 se puede apreciar que todos los link que constituyen el tramo del nodo SIP-3X al nodo H para los escenarios 2 y 5 presentaron restricciones operacionales que impiden el buen funcionamiento de la red con caídas de presión que superan los 2 psig por cada 100 pie de tubería, siendo la que más supera la norma la correspondiente al link L005, con una valor de 5,61 psig para ambos casos. Esta incidencia en la red se presenta en gran parte a que existe un mayor flujo volumétrico de fluido a la salida del pozo SIP-3X con un 75 % del volumen total de gas que circula por el sistema para ambos escenarios (tabla 3.1), el diámetro

de la tubería es muy pequeño de 5,76 pulg y también por los diferentes cambios de elevación de las tuberías que conforman el tramo (ver topografía en el APÉNDICE A). En las siguientes figuras se muestra el perfil de las caídas de presión comparadas con el límite establecido por la norma para los escenarios 2 y 5.

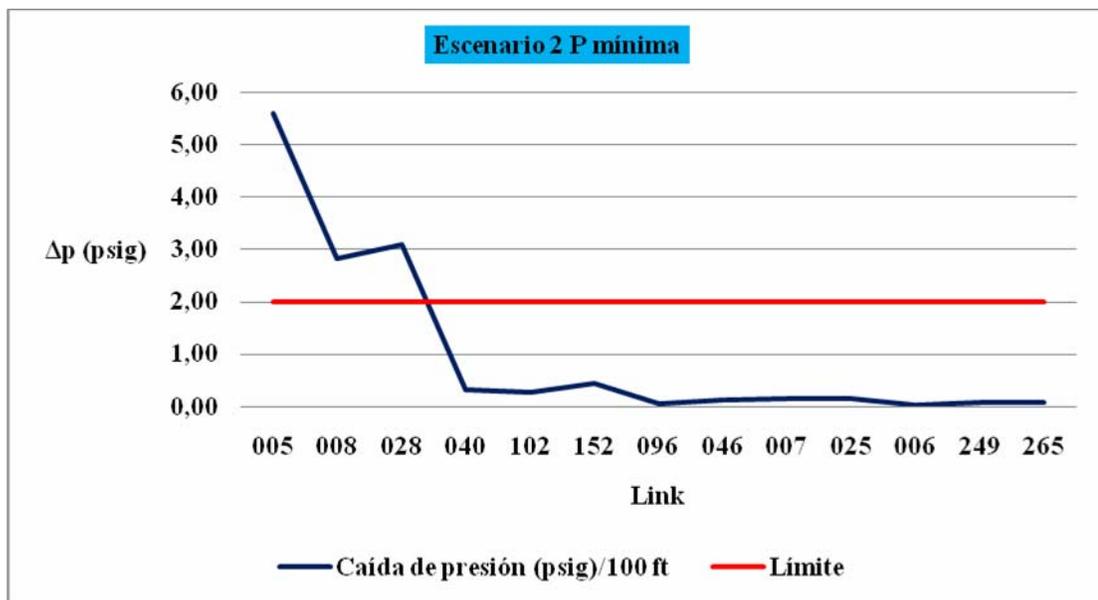


Figura 4.21 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 2

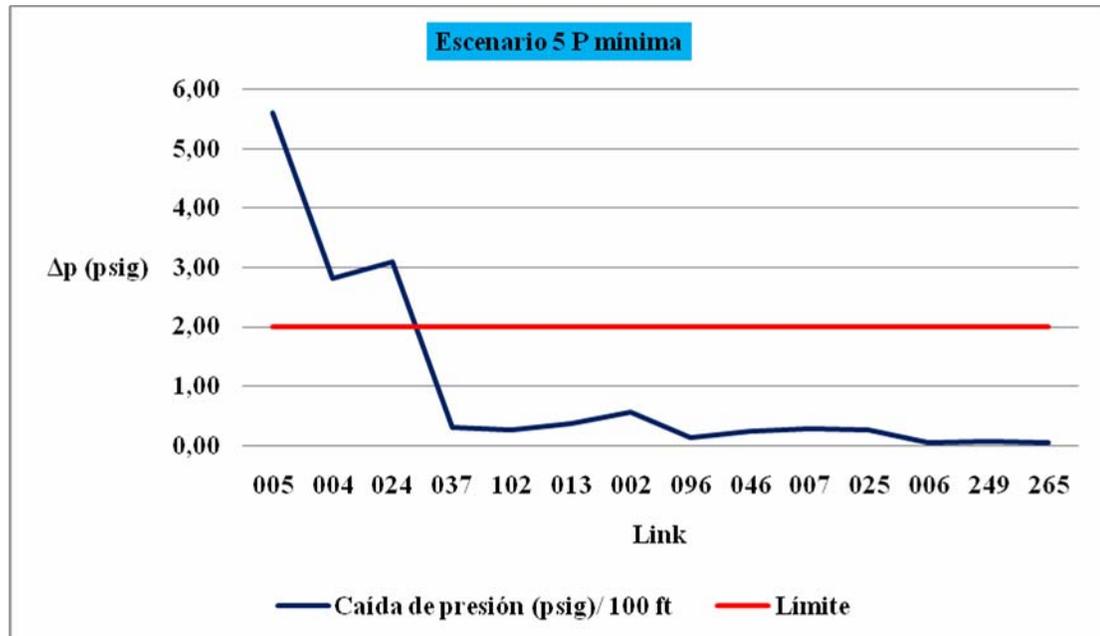


Figura 4.22 Perfil de caídas de presión por cada 100 pie de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 5

Escenarios 3, 4 y 8

Tabla 4.23. Caídas de presión correspondientes al escenario 3 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | φ (pulg) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (pie) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|----------|------|------------------|-----------------|-----------|-------------------|-------------------|--------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 705,40 | 704,40 | 1,00 | 164,00 | 0,61 | 2,00 |
| | | 008 | 704,40 | 697,60 | 6,80 | 1837,20 | 0,37 | 2,00 |
| | | 028 | 697,60 | 690,70 | 6,90 | 1659,50 | 0,42 | 2,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 040 | 690,70 | 680,10 | 10,60 | 4527,40 | 0,23 | 2,00 |
| | | 102 | 680,10 | 670,80 | 9,30 | 5253,80 | 0,18 | 2,00 |
| Nodo SIP-2X a | 5,76 | 152 | 750,80 | 711,90 | 38,90 | 1246,60 | 3,12 | 2,00 |

| nodo A | | | | | | | | |
|----------------------|-------|-----|--------|--------|-------|---------|------|------|
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 711,90 | 707,30 | 4,60 | 3018,10 | 0,15 | 2,00 |
| | | 046 | 707,30 | 697,90 | 9,40 | 4757,00 | 0,20 | 2,00 |
| | | 007 | 697,90 | 686,30 | 11,60 | 5248,90 | 0,22 | 2,00 |
| | | 025 | 686,30 | 672,50 | 13,80 | 6332,00 | 0,22 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 672,50 | 670,80 | 1,70 | 3362,80 | 0,05 | 2,00 |
| | | 249 | 670,80 | 668,30 | 2,50 | 3428,50 | 0,07 | 2,00 |
| | | 265 | 668,30 | 665,00 | 3,30 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

Tabla 4.24. Caídas de presión correspondientes al escenario 4 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | φ (in) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (ft) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|----------------|------|------------------|-----------------|-------------------|------------------|---------------------------|--------|
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 760,20 | 753,10 | 7,10 | 1902,90 | 0,37 | 2,00 |
| | | 002 | 753,10 | 741,80 | 11,30 | 1961,10 | 0,58 | 2,00 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 152 | 779,10 | 741,70 | 37,40 | 1246,60 | 3,00 | 2,00 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 741,80 | 732,80 | 9,00 | 3018,10 | 0,30 | 2,00 |
| | | 046 | 732,80 | 716,90 | 15,90 | 4757,00 | 0,33 | 2,00 |
| | | 007 | 716,90 | 697,70 | 19,20 | 5248,90 | 0,37 | 2,00 |
| | | 025 | 697,70 | 674,80 | 22,90 | 6332,00 | 0,36 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 674,80 | 671,30 | 3,50 | 3362,80 | 0,10 | 2,00 |
| | | 249 | 671,30 | 668,50 | 2,80 | 3428,50 | 0,08 | 2,00 |
| | | 265 | 668,50 | 665,00 | 3,50 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

Tabla 4.25. Caídas de presión correspondientes al escenario 8 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (ft) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|------------------|------|------------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------|--------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 710,00 | 708,40 | 1,60 | 164,00 | 0,98 | 2,00 |
| | | 004 | 708,40 | 699,40 | 9,00 | 1837,20 | 0,49 | 2,00 |
| | | 024 | 699,40 | 690,60 | 8,80 | 1659,50 | 0,53 | 2,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 690,60 | 680,20 | 10,40 | 4527,40 | 0,23 | 2,00 |
| | | 102 | 680,20 | 670,90 | 9,30 | 5253,80 | 0,18 | 2,00 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 009 | 740,00 | 714,60 | 25,40 | 1246,60 | 2,04 | 2,00 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 725,00 | 722,20 | 2,80 | 1902,90 | 0,15 | 2,00 |
| | | 002 | 722,20 | 714,60 | 7,60 | 1961,10 | 0,39 | 2,00 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 714,60 | 709,80 | 4,80 | 3018,10 | 0,16 | 2,00 |
| | | 046 | 709,80 | 699,90 | 9,90 | 4757,00 | 0,21 | 2,00 |
| | | 007 | 699,90 | 687,40 | 12,50 | 5248,90 | 0,24 | 2,00 |
| | | 025 | 687,40 | 672,60 | 14,80 | 6332,00 | 0,23 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 672,60 | 670,90 | 1,70 | 3362,80 | 0,05 | 2,00 |
| | | 249 | 670,90 | 668,30 | 2,60 | 3428,50 | 0,08 | 2,00 |
| | | 265 | 668,30 | 665,00 | 3,30 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

En las tablas 4.23, 4.24 y 4.25 se puede apreciar que el tramo del nodo SIP-2X al nodo A para los escenarios 3, 4 y 8 presentó restricción operacional que impide el buen funcionamiento de la red con caídas de presión que superan los 2 psig por cada 100 pie de tubería. Esta incidencia en la red se presenta debido a que existe un mayor flujo volumétrico de gas a la salida del pozo SIP-2X (tabla 3.1) para cada uno de los escenarios ya mencionados y también por el diámetro pequeño de las tuberías de 5,76

pulg que conforman el tramo con problemas. En las siguientes figuras se muestran los perfiles de las caídas de presión comparadas con el límite establecido por la norma para los escenarios 3, 4 y 8.

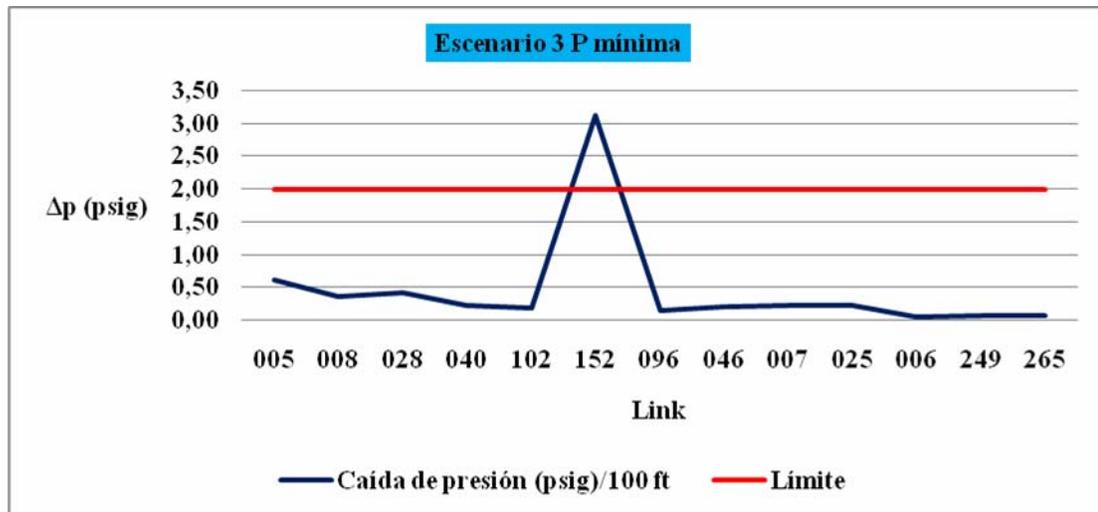


Figura 4.23 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 3

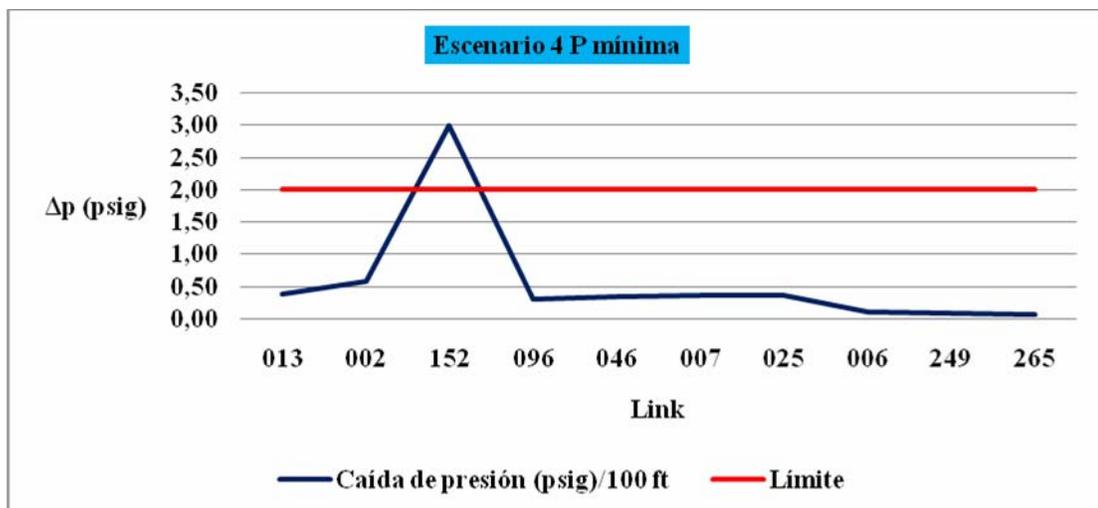


Figura 4.24 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 4

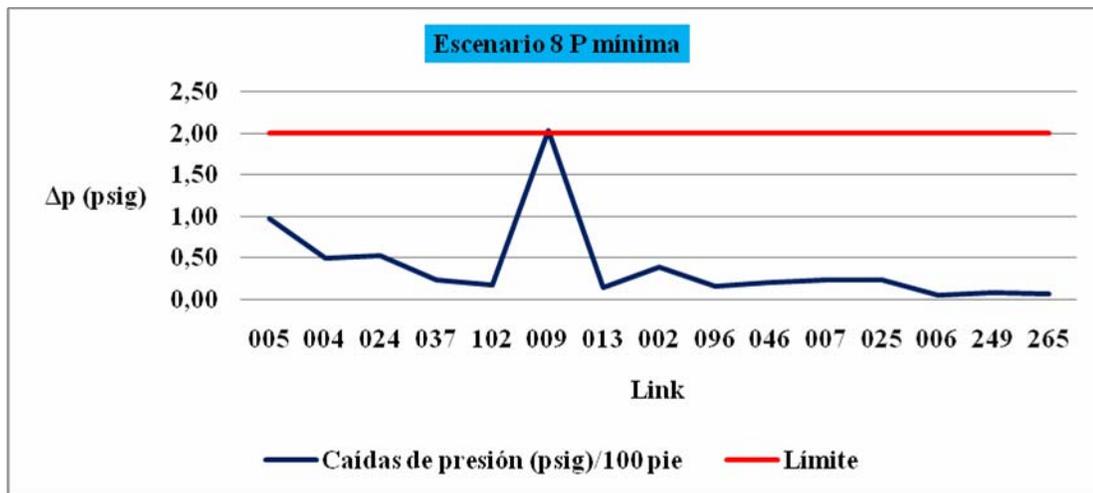


Figura 4.25 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 8

Escenarios 6 y 7

Tabla 4.26. Caídas de presión correspondientes al escenario 6 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | ϕ (pulg) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (pie) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|---------------|------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|---------------------------|--------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 726,20 | 723,40 | 2,80 | 164,00 | 1,71 | 2,00 |
| | | 004 | 723,40 | 707,00 | 16,40 | 1837,20 | 0,89 | 2,00 |
| | | 024 | 707,00 | 691,00 | 16,00 | 1659,50 | 0,96 | 2,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 691,00 | 680,50 | 10,50 | 4527,40 | 0,23 | 2,00 |
| | | 102 | 680,50 | 670,90 | 9,60 | 5253,80 | 0,18 | 2,00 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 009 | 726,60 | 714,70 | 11,90 | 1246,60 | 0,95 | 2,00 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 729,50 | 724,20 | 5,30 | 1902,90 | 0,28 | 2,00 |
| | | 002 | 724,20 | 714,70 | 9,50 | 1961,10 | 0,48 | 2,00 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 714,70 | 710,10 | 4,60 | 3018,10 | 0,15 | 2,00 |
| | | 046 | 710,10 | 700,40 | 9,70 | 4757,00 | 0,20 | 2,00 |
| | | 007 | 700,40 | 687,50 | 12,90 | 5248,90 | 0,25 | 2,00 |
| | | 025 | 687,50 | 672,50 | 15,00 | 6332,00 | 0,24 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 672,50 | 670,90 | 1,60 | 3362,80 | 0,05 | 2,00 |
| | | 249 | 670,90 | 668,20 | 2,70 | 3428,50 | 0,08 | 2,00 |
| | | 265 | 668,20 | 664,90 | 3,30 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

Tabla 4.27. Caídas de presión correspondientes al escenario 7 a la presión mínima de llegada a la planta comparada con el límite.

| Tramo | φ (pulg) | Link | P entrada (psig) | P salida (psig) | ΔP (psig) | Long. Línea (pie) | ΔP (psig)/100 pie | Límite |
|----------------------|----------|------|------------------|-----------------|-----------|-------------------|-------------------|--------|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 5,76 | 005 | 726,20 | 723,40 | 2,80 | 164,00 | 1,71 | 2,00 |
| | | 004 | 723,40 | 707,00 | 16,40 | 1837,20 | 0,89 | 2,00 |
| | | 024 | 707,00 | 691,00 | 16,00 | 1659,50 | 0,96 | 2,00 |
| Nodo H a nodo F | 10,02 | 037 | 691,00 | 680,60 | 10,40 | 4527,40 | 0,23 | 2,00 |
| | | 102 | 680,60 | 670,90 | 9,70 | 5253,80 | 0,18 | 2,00 |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 5,76 | 009 | 727,90 | 709,80 | 18,10 | 1246,60 | 1,45 | 2,00 |
| Nodo SIP-4X a nodo A | 5,76 | 013 | 720,20 | 717,40 | 2,80 | 1902,90 | 0,15 | 2,00 |
| | | 002 | 717,40 | 709,80 | 7,60 | 1961,10 | 0,39 | 2,00 |
| Nodo A a nodo E | 10,02 | 096 | 709,80 | 705,90 | 3,90 | 3018,10 | 0,13 | 2,00 |
| | | 046 | 705,90 | 697,10 | 8,80 | 4757,00 | 0,18 | 2,00 |
| | | 007 | 697,10 | 685,70 | 11,40 | 5248,90 | 0,22 | 2,00 |
| | | 025 | 685,70 | 672,30 | 13,40 | 6332,00 | 0,21 | 2,00 |
| Nodo E a nodo PLANTA | 11,94 | 006 | 672,30 | 670,90 | 1,40 | 3362,80 | 0,04 | 2,00 |
| | | 249 | 670,90 | 668,30 | 2,60 | 3428,50 | 0,08 | 2,00 |
| | | 265 | 668,30 | 665,00 | 3,30 | 5396,80 | 0,06 | 2,00 |

Como se observa en las tablas 4.26 y 4.27 los escenarios 6 y 7 no presentan restricción de caídas de presión que superen los 2 psig por cada 100 pie de tubería que es el límite establecido por la norma. En las siguientes figuras se muestran los perfiles de las caídas de presión comparadas con el límite para los escenarios 6 y 7.

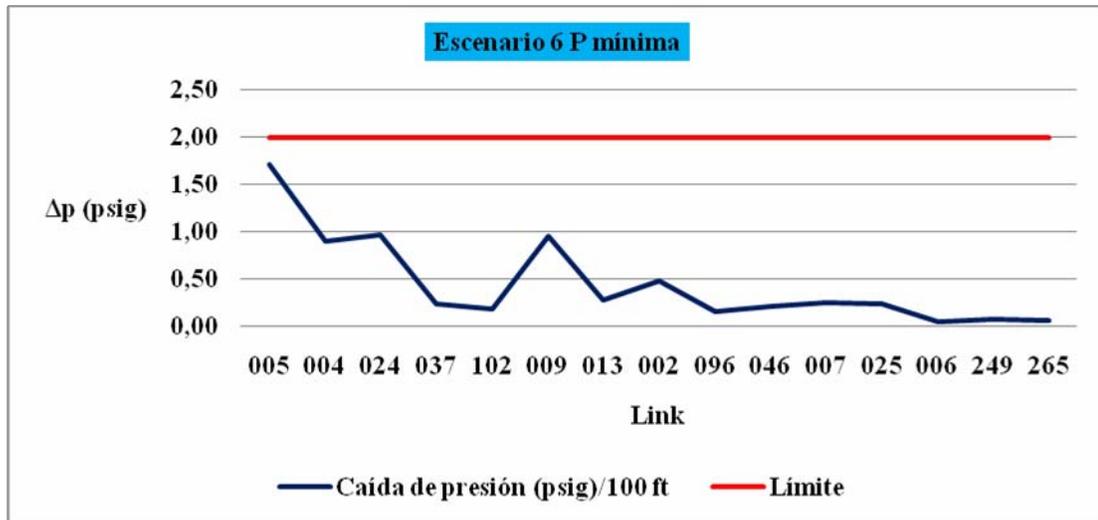


Figura 4.26 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 6

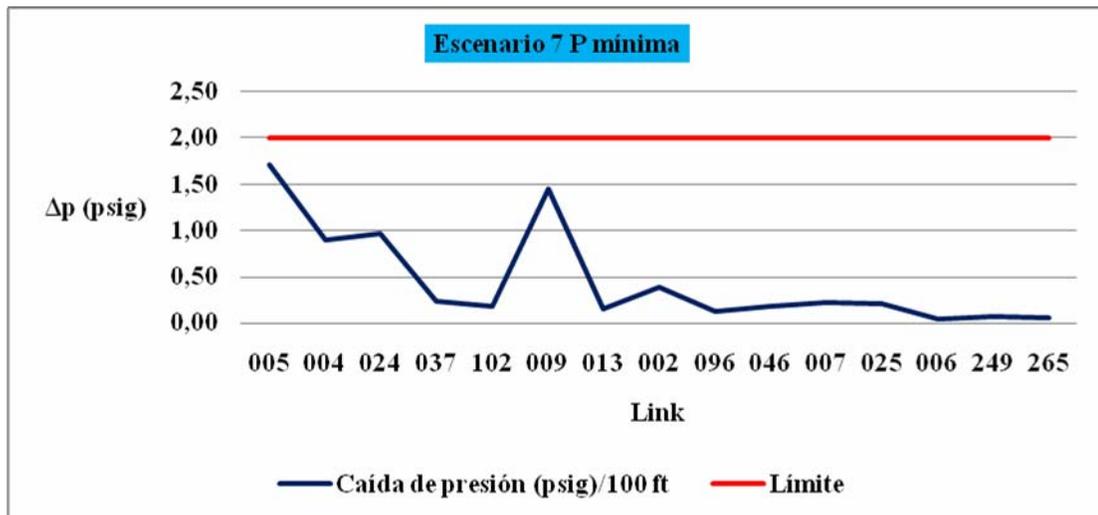


Figura 4.27 Perfil de caídas de presión por cada 100 ft de tubería versus el límite establecido por la norma del escenario 7

PRESIÓN MÁXIMA DE LLEGADA A LA PLANTA 735 psig

Velocidades:

Con respecto a la evaluación hidráulica que se realizó para cada uno de los escenarios en estudio a la presión máxima de llegada a la planta se presentaron restricciones operacionales en la red que presentan velocidades que superan la erosional en los mismos tramos y escenarios evaluados a la presión mínima a excepción del escenario 8 en donde a la presión máxima no presentó ninguna incidencia. No se presentaron variaciones significativas en los resultados obtenidos para ambas presiones por lo tanto el criterio utilizado para explicar las razones de la presencia de restricciones que afectan el buen funcionamiento de la red a la presión mínima sería el mismo para la presión máxima. En el APÉNDICE C se pueden observar los resultados obtenidos de velocidades del fluido y erosional, los tramos que presentaron incidencia y los link para cada uno de los escenarios evaluados a la presión máxima de llegada a la planta.

En la siguiente tabla que se muestra a continuación se puede apreciar de una forma resumida cada uno de los escenarios, los tramos y los link que presentaron restricciones operacionales en la red tanto para la presión mínima como para la máxima de llegada a la planta según el análisis de velocidades.

Tabla 4.28 Escenarios que presentaron restricciones operacionales a ambas presiones de llegada a la planta según el análisis de velocidades.

| Presión (psig) | Tramo | Escenario | Link |
|----------------|----------------------|-----------|------|
| Mínima (665) | nodo SIP-3X a nodo H | 1 | L005 |
| | | 2 | L005 |
| | | | L008 |
| | | | L028 |

| | | | | |
|--------------|----------------------|----------------------|------|------|
| | | 5 | L005 | |
| | | | L004 | |
| | | | L024 | |
| | | 6 | L005 | |
| | | 7 | L005 | |
| | | nodo SIP-2X a nodo A | 3 | L152 |
| | | | 4 | L152 |
| | 8 | | L009 | |
| | nodo A a nodo E | 4 | L007 | |
| | | | L025 | |
| Máxima (735) | nodo SIP-3X a nodo H | 1 | L005 | |
| | | | L005 | |
| | | 2 | L008 | |
| | | | L028 | |
| | | 5 | L005 | |
| | | | L004 | |
| | | | L024 | |
| | | 6 | L004 | |
| | | 7 | L004 | |
| | | nodo SIP-2X a nodo A | 3 | L152 |
| | 4 | | L152 | |
| | nodo A a nodo E | 4 | L007 | |

En la tabla 4.28 se aprecia que los tramos de tuberías del nodo SIP-3X al nodo H y del nodo SIP-2X al nodo A fueron los que presentaron mayores restricciones operacionales que afectan el buen funcionamiento de la red de recolección del Campo Sipororo, siendo los escenarios 2, 4 y 5 los de mayor incidencia, esto según el análisis de velocidades del fluido que superan la velocidad erosional.

Presiones:

Al igual que en la presión mínima las caídas de presión se compararon con la normativa de PDVSA en la evaluación realizada a la presión máxima de llegada a la planta para detectar las restricciones operacionales existentes en la red. Según el análisis realizado a la presión máxima se presentaron limitaciones en la red con caídas de presión que superan los 2 psig por cada 100 pie de tubería en los mismos tramos y escenarios evaluados a la presión mínima a excepción del escenario 8 que al igual que en el análisis de velocidades no presentó ninguna restricción a la presión máxima. En el APÉNDICE C se pueden observar los resultados obtenidos de las caídas de presión por cada 100 pie de tubería comparadas con el límite establecido, los tramos que presentaron incidencia y los link para cada uno de los escenarios evaluados a la presión máxima de llegada a la planta.

La siguiente tabla que se muestra a continuación refleja tanto para la presión mínima como para la máxima cada uno de los escenarios, tramos de tuberías y link que presentaron restricciones operacionales según el análisis de presiones.

Tabla 4.29 Escenarios que presentaron restricciones operacionales a las dos presiones de llegada a la planta según el análisis de presiones.

| Presión (psig) | Tramo | Escenario | Link |
|----------------|----------------------|-----------|------|
| Mínima (665) | nodo SIP-3X a nodo H | 1 | L005 |
| | | 2 | L005 |
| | | | L008 |
| | | | L028 |
| | | 5 | L005 |
| | | | L004 |
| | | | L024 |

| | | | |
|--------------|----------------------|---|------|
| | | 3 | L152 |
| | nodo SIP-2X a nodo A | 4 | L152 |
| | | 8 | L009 |
| Máxima (735) | nodo SIP-3X a nodo H | 1 | L005 |
| | | 2 | L005 |
| | | | L008 |
| | | | L028 |
| | | 5 | L005 |
| | | | L004 |
| | L024 | | |
| | nodo SIP-2X a nodo A | 3 | L152 |
| | | 4 | L152 |

En la tabla 4.29 se puede observar que los tramos de tuberías del nodo SIP-3X a nodo H y del nodo SIP-2X al nodo A para ambas presiones fueron los que presentaron mayores restricciones operacionales en la red según el análisis de presiones, siendo los escenarios 2 y 5 los que tuvieron más limitaciones. Es de hacer notar que los escenarios 6 y 7 no presentaron incidencia alguna para las presiones evaluadas.

4.3 Proposición de las alternativas para solucionar las restricciones operacionales y que permita mejorar el funcionamiento de la red de recolección

En base a las restricciones encontradas con respecto a las velocidades y caídas de presión, se propone lo siguiente:

Las líneas donde el fluido posee velocidades que superan la erosional actualmente deben ser sustituidas ya que la arenilla o producto de asfáltenos, el CO₂, el H₂O y los condensados, aceleran el proceso de corrosión/erosión del metal. La

disminución del espesor de una tubería es un problema que debe ser controlado, pues las presiones ejercidas por el fluido en ellas las va debilitando hasta llegar al punto de ruptura, ocasionando fugas en el sistema. Por ejemplo en los link L005, L008 y L028 correspondientes al escenario 2 para ambas presiones de llegada a la planta evaluadas fueron las que presentaron velocidades muchos mayores que superaron significativamente la erosional, la ubicación de dichos link es en la línea que va del nodo SIP-3X al nodo H (Para la presión mínima ver tabla 4.15 y a la presión máxima ver tabla C.2 del APÉNDICE C)

Debido a que el propósito principal de este estudio es establecer limitaciones y restricciones que presenta la red de recolección, y sabiendo ahora que el sistema presenta estos problemas, es necesario realizar un nuevo diseño de las tuberías a fin de aumentar las capacidades de la red y asegurar un óptimo funcionamiento de la red al momento de aumentar las capacidades de la planta, también es válido colocar tuberías paralelas a aquellas tuberías que presenten incidencias y de alguna manera puede representar un ahorro económico importante para la empresa.

Las altas caídas de presión en las tuberías son ocasionadas por:

Incremento en el flujo volumétrico de diseño.

Cambio del diámetro de las tuberías, cambios de elevación.

La fricción que ejerce las paredes de la tubería sobre el gas.

Las caídas de presión se pueden disminuir controlando la velocidad del fluido, que depende del caudal de fluido y el área transversal de la tubería. Es un problema que se debe considerar, sobre todo en aquellos tramos donde las velocidades son erosionales, pues esa presión que se pierde es absorbida por las tuberías provocando su rompimiento. En el escenario 5, los link L005, L004 y L024 presentaron caídas de presión por cada 100 pie de tubería que superan los 2 psig que es el límite establecido por la norma, siendo el mayor valor el correspondiente al L005 con 5,61 psig (tabla

4.16). Esto respalda la propuesta de hacer un nuevo diseño de las líneas de la red de recolección afectada y reevaluar las no afectadas para verificar que no presentan problemas una vez se aumenten las capacidades de la planta.

A continuación en la tabla 4.30 se muestra de manera resumida los tramos y links de la red donde se presentan restricciones y las propuestas para solucionar las mismas.

Tabla 4.30. Tramos, links, caídas de presión, velocidades y propuestas para la solución de las restricciones en cada uno de los escenarios para la presión mínima de llegada a la planta (665 psig).

| Tramo | Esc. | Link | φ (pulg) | $\Delta P(\text{psig})/100 \text{ pie}$ | Ve (pie/s) | Vs (pie/s) | Veros. (pie/s) | Propuestas |
|-------------------------|------|------|---------------------|---|---------------|---------------|-------------------|--|
| Nodo SIP-3X a nodo H | 1 | L005 | 5,76 | 2,68 | 42,56 | 42,56 | 34,31 | 1.- Sustituir la tubería por una de mayor diámetro 10.02 pulg. (diámetro del tramo siguiente) 2.- Reubicar las líneas de tubería para disminuir los efectos de los cambios de elevación. (ΔP) 3.- Colocar tuberías paralelas a las que presentan restricciones. (redistribución del flujo). 4.- Disminuir los caudales de flujo, a la salida de los pozos |
| | 6 | L005 | | 1,71 | 34,92 | 34,92 | 34,54 | |
| | 7 | L005 | | 1,71 | 34,92 | 34,92 | 34,54 | |
| | 2 | L005 | | 5,61 | 58,84 | 58,84 | 33,32 | |
| | | L008 | | 2,83 | 44,75 | 46,93 | 33,30 | |
| | | L028 | | 3,10 | 47,11 | 49,81 | 34,00 | |
| | 5 | L005 | | 5,61 | 58,83 | 58,83 | 33,31 | |
| | | L004 | | 2,82 | 44,74 | 46,92 | 33,30 | |
| | | L024 | | 3,10 | 47,09 | 49,79 | 34,00 | |
| Nodo SIP-2X a nodo A | 3 | L152 | 5,76 | 3,12 | 48,48 | 50,02 | 38,79 | |
| | 8 | L009 | | 2,04 | 39,20 | 39,88 | 38,90 | |
| | 4 | L152 | | 3,00 | 46,70 | 48,05 | 38,06 | |
| Nodo A a nodo E | 4 | L007 | 10,02 | 0,37 | 20,87 | 20,96 | 18,62 | |
| | | L025 | | 0,36 | 20,98 | 21,15 | 20,16 | |

Para la presión máxima de llegada a la planta (735 psig) se presentaron las mismas restricciones que para la presión mínima de llegada a la misma (tabla 4.30). Por ello se plantean soluciones iguales a las propuestas para los escenarios y tramos de la presión mínima.

En la siguiente tabla se puede observar los resultados obtenidos de velocidades y caídas de presión por cada 100 pie de tubería comparados con los límites establecidos por la norma PDVSA para el tramo del nodo SIP-3X al nodo H correspondiente al escenario 2 con la idea de soportar la propuesta de sustitución de la tubería por una de mayor diámetro y así evitar restricciones operacionales en la red.

Tabla 4.31. Evaluación del diámetro de las tuberías del tramo del nodo SIP-3X al nodo H correspondiente al escenario 2 a la presión mínima de llegada a la planta.

| Diámetro (pulg) | Link | Ve (pie/s) | Vs (pie/s) | Veros. (pie/s) | $\Delta P(\text{psig})/100$ pie | Límite |
|-------------------|------|------------|------------|----------------|---------------------------------|--------|
| 5,76 (actual) | 005 | 58,40 | 58,84 | 33,32 | 5,61 | 2,00 |
| | 008 | 44,75 | 46,93 | 33,30 | 2,83 | 2,00 |
| | 028 | 47,11 | 49,80 | 34,00 | 3,10 | 2,00 |
| 7,68 (propuesto) | 005 | 27,84 | 27,84 | 31,21 | 0,55 | 2,00 |
| | 008 | 27,84 | 27,95 | 25,66 | 0,64 | 2,00 |
| | 028 | 27,95 | 28,10 | 25,13 | 0,69 | 2,00 |
| 10,02 (propuesto) | 005 | 16,68 | 16,68 | 30,61 | 0,18 | 2,00 |
| | 008 | 16,66 | 16,57 | 23,09 | 0,23 | 2,00 |
| | 028 | 16,56 | 16,49 | 24,38 | 0,29 | 2,00 |

En la tabla 4.31 se aprecia que el diámetro propuesto de 10,02 pulg es el que mejor se ajusta para sustituir la tubería de 5,76 pulg de la línea que presenta restricciones operacionales por presentar velocidades menores a la erosional y caídas

de presión por cada 100 pie de tubería inferior al límite permitido. Se consideró el escenario 2 por ser este el que presenta mayor cantidad de link con restricciones.

CONCLUSIONES

Las simulaciones realizadas para validar la red de recolección del Campo Sipororo para la producción independiente de los pozos SIP-2X/3X presentaron desviaciones menores al 10 %, por lo que se consideran aceptables y se valida la red para dichos pozos.

En los escenarios 2, 4 y 5 evaluados para ambas presiones de llegada a la planta fueron los que presentaron restricciones en algunos tramos con incidencia de velocidades que superan la erosional.

El tramo que presentó mayores restricciones operacionales en la red de recolección fue la línea del nodo SIP-3X al nodo H.

El diámetro de la tubería (5,76 pulg) al igual que el incremento del caudal de gas a la salida de los pozos son las principales causas de que se generen velocidades que superen la erosional y caídas de presión mayores al límite permitido según la norma PDVSA en cada uno de los escenarios que presentaron incidencia.

Los escenarios 2 y 5 evaluados para ambas presiones de llegada a la planta fueron los que presentaron mayor cantidad de link con caídas de presión superiores al límite permitido.

Los escenarios 6 y 7 según el análisis de presiones no presentaron limitaciones de caídas de presión superiores al límite permitido para ambas presiones de llegada a la planta evaluadas.

De las evaluaciones que se realizaron para cada uno de los escenarios

propuestos, el escenario 8 a la presión máxima fue el único que no presentó ningún tipo de restricciones operacionales.

RECOMENDACIONES

No se debe calcular líneas de flujo, múltiples de producción u otras líneas que transporten fluidos, sin tomar en cuenta las velocidades que se producen dentro de la tubería y su posible impacto sobre los materiales de los cuales esta construida la misma.

Se debe hacer una evaluación exhaustiva para la selección del diámetro de las tuberías a fin de evitar restricciones operacionales en la red de recolección.

Plantear nuevas combinaciones de producción que permita una mejor distribución del fluido en la red de recolección.

BIBLIOGRAFÍA CITADA

Maestre, M. (2001). Evaluación hidráulica del sistema de depuración/recolección de gas del complejo Orocal. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Barcelona.

Vallenilla, T. (2002). Evaluación hidráulica de la red de Recolección y Distribución de gas del Centro Operativo Jusepín. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Oriente Núcleo de Monagas, Maturín.

Núñez, E. (2007). Evaluación hidráulica de los gasoductos de recolección, transferencia y transmisión del Distrito Social Norte PDVSA. Trabajo de grado no publicado, Universidad de Oriente Núcleo de Anzoátegui, Barcelona.

Bello, R. (2009). Evaluación del comportamiento hidráulico de la red de recolección propuesta para el proyecto Etanco ubicado en el Yacimiento Lote X Distrito de el Alto, Provincia de Talara, Perú. Trabajo de grado no publicado, Universidad Oriente Núcleo de Anzoátegui, Barcelona.

Grupo de Investigaciones Gas Ciencia y Tecnología.(2009).[Página Web en Línea]. Disponible: <http://www.gigas.com.ve/index.php> [Consulta: 2009, Diciembre 03]

PDVSA.(1994). Procedimiento de ingeniería: Calculo hidráulico de tuberías. Autor.

Crane. (1992). Flujo de fluidos en válvulas, accesorios y tuberías. México.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

Claret, A.(2009).¿ Cómo hacer y defender una tesis una tesis?.Caracas.

Tacarigua San Sebastián.(2009).[Página Web en Línea].Disponible: <http://www.tacarigua.com.ve/gas.htm>[Consulta:2009, Diciembre 03]

Fernández, B.(1998). Introducción a la mecánica de los fluidos México.

Bird, R.(1987). Fenómenos de transporte. México.

Daily, J.(1975).Dinámica de los fluidos con aplicaciones en ingeniería.
México.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO

| | |
|------------------|--|
| TÍTULO | “EVALUACIÓN HIDRÁULICA DE LA RED DE RECOLECCIÓN DE GAS DEL CAMPO SIPORORO, UBICADO EN LOS LÍMITES DEL ESTADO BARINAS.” |
| SUBTÍTULO | |

AUTOR (ES):

| APELLIDOS Y NOMBRES | CÓDIGO CULAC / E MAIL |
|------------------------|---|
| Córdova A., Bricmar J. | CVLAC: 18.593.736 EMAIL: bricmar_cordova@hotmail.com |
| Suárez G., Erasmo J. | CVLAC: 14.285.456 E MAIL: erasmo.suarez79va@ hotmail.com |

PALÁBRAS O FRASES CLAVES:

Evaluación hidráulica

Gas

Flujo bifasico

Velocidad erosional

Camposipororo

Simulador pipephase

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:

| ÀREA | SUBÀREA |
|---------------------------------|--------------------|
| Ingeniería y ciencias aplicadas | Ingeniería Química |
| | |
| | |

RESUMEN (ABSTRACT):

En este proyecto se realizó una evaluación hidráulica de la red de recolección de gas del Campo Sipororo. Una vez definidos los escenarios de producción de los pozos, cuya información fue facilitada por la empresa encargada de la operación de la red; se realizaron las simulaciones de los escenarios actuales, y con los datos de los reportes del simulador se pudo validar la red de recolección para la producción independiente del pozo SIP-2X, ya que las desviaciones fueron menores al 10% que es el límite permitido más no sucedió lo mismo con la producción independiente del pozo SIP-3X en donde no se pudo validar la red por presentar desviaciones superiores al 10% en los resultados obtenidos. Posteriormente se armaron las simulaciones de los 8 escenarios propuestos y se evaluaron dos presiones (mínima y máxima) de llegada a la planta de tratamiento, con los resultados se calcularon las velocidades erosionales las cuales se compararon con las velocidades del fluido y junto a las caídas de presión se verificaron con las establecidas en la normativa PDVSA.

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**CONTRIBUIDORES:**

| APELLIDOS Y NOMBRES | ROL / CÓDIGO CVLAC / E_MAIL | | | | |
|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|------|----|------|
| Rondón G., José J. | ROL | CA | AS X | TU | JU |
| | CVLAC: | 8.328.657 | | | |
| | E_MAIL | rondonjj@gmail.com | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| Suárez L., Daniel J. | ROL | CA | AS | TU | JU X |
| | CVLAC: | 9.981.650 | | | |
| | E_MAIL | daniarysuarez@gmail.com | | | |
| | E_MAIL | | | | |
| Hernán R., Raven C. | ROL | CA | AS | TU | JU X |
| | CVLAC: | 4.136.007 | | | |
| | E_MAIL | hraven1@yahoo.com | | | |
| | E_MAIL | | | | |

FECHA DE DISCUSIÓN Y APROBACIÓN:

| | | |
|------|-----|-----|
| 2010 | 07 | 19 |
| AÑO | MES | DÍA |

LENGUAJE. SPA

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**ARCHIVO (S):**

| NOMBRE DE ARCHIVO | TIPO MIME |
|--------------------------------------|--------------------|
| TESIS. Red de recolección de gas.doc | Application/msword |
| | |
| | |

CARACTERES EN LOS NOMBRES DE LOS ARCHIVOS: A B C D E F G H
 I J K L M N O P Q R S T U V W X Y Z. a b c d e f g h i j k l m n o p q r s t u v w x y
 z. 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9.

ALCANCE

ESPACIAL: _____ (OPCIONAL)

TEMPORAL: _____ (OPCIONAL)

TÍTULO O GRADO ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Ingeniero Químico

NIVEL ASOCIADO CON EL TRABAJO:

Pre – Grado

ÁREA DE ESTUDIO:

Departamento de Ingeniería Química

INSTITUCIÓN:

Universidad de Oriente – Núcleo de Anzoátegui

METADATOS PARA TRABAJOS DE GRADO, TESIS Y ASCENSO:**DERECHOS**

De acuerdo con el artículo 41 del reglamento de Trabajos de Grado: “Los Trabajos de Grado son de exclusiva propiedad de la Universidad de Oriente y sólo podrán ser utilizadas para otros fines con el consentimiento del Consejo de Núcleo respectivo, quien deberá participarlo previamente al Consejo Universitario para su autorización”.

Córdova A., Bricmar J.

AUTOR

Suárez G., Erasmo J.

AUTOR

Rondón G., José J.

TUTOR

Suárez L., Daniel J.

JURADO 1

Hernán R., Raven C.

JURADO 2**POR LA SUBCOMISIÓN DE TESIS**