

**MODELAMIENTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN GENERAL DE LA BATERÍA
TRES EN CAMPO VELÁSQUEZ.**

IVONNE JULIETH OCHOA ORTIZ

Trabajo modalidad práctica empresarial presentado para optar al título de
Ingeniero de Petróleos

Director
JULIO CÉSAR PÉREZ ANGULO
Ingeniero de petróleos

Tutor
DIEGO ARMANDO RODRÍGUEZ REYNA
Ingeniero de petróleos

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTENDER
FACULTA DE INGENIERÍAS FÍSICO-QUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2017

DEDICATORIA

A Dios quien me dio fuerza y valor para levantarme y continuar cuando sentía decaer ante las dificultades.

A mi padre que aunque ya no esta conmigo se ha convertido en mi angel y motivacion para cumplir mis sueños por mas difícil que parezcan.

A mi madre Luz Marina quien nunca dudó de mi aún cuando yo creía no poder lograrlo, quien siempre tuvo una palabra de amor para cada situación difícil.

A mis hermanos Carolina y José David quienes me han brindado su apoyo incondicional y quienes siempre sean mostrado muy orgullosos de mí.

A ellos les debo todo, son mi motor y mi felicidad.

AGRADECIMIENTOS

El autor del presente trabajo, se permite expresar los agradecimientos a las siguientes personas:

Al ing. Julio Pérez, un excelente profesional y gran persona a quien le debo mucho, fue mi mentor durante casi toda mi carrera y quien me oriento en la ejecución del presente trabajo.

A la Universidad Industrial de Santander, quien forjo en mi una persona profesional de valores.

Al ing. Diego Rodriguez, Un muy buen ingeniero y persona quien con la mejor disposicion me transmitio su conocimiento durante la practica y fue parte clave en la elaboración del modelo.

A la empresa Mansarovar Energy Colombia Ltda., por darme la oportunidad de realizar mi practica empresarial con ellos.

A el grupo de profesionales de Campo Velasquez , quienes me acogieron durante la practica y aportaron todos sus conocimiento para mi formación profesional y como persona.

Ivonne Julieth Ochoa Ortiz.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	15
1 GENERALIDADES DE CAMPO VELASQUEZ.....	17
1.1 GEOLOGIA DE CAMPO VELASQUEZ.....	18
1.2 PROPIEDADES GENERALES DE CAMPO VELASQUEZ.....	18
1.3 DATOS PRODUCCIÓN CAMPO VELASQUEZ.....	19
2 COMPORTAMIENTO DE FLUJO EN TUBERIAS.....	21
2.1 FLUJO MULTIFASICO EN TUBERIAS.....	21
2.1.1 Conceptos básicos para flujo multifasico.....	22
2.1.1.1 Velocidad superficial.....	22
2.1.1.2 Flujo homogéneo.....	22
2.1.1.3 Flujo con deslizamiento “Slippage”.....	22
2.1.1.4 Holdup de líquido.....	22
2.2 PATRONES DE FLUJO MULTIFASICO.....	22
2.2.1 Patrones de flujo en tuberías verticales.....	23
2.2.1.1 Flujo tipo burbuja.....	23
2.2.1.2 Flujo tapon.....	23
2.2.1.3 Flujo transición o Churn.....	24
2.2.1.4 Flujo anular.....	25
2.2.2 Patrones de flujo horizontal.....	25
2.2.2.1 Flujo estratificado anular.....	25
2.2.2.2 Flujo estratificado ondulado.....	26
2.2.2.3 Flujo tipo tapon de líquido.....	26
2.2.2.4 Flujo tipo anular.....	27

2.2.2.5	Flujo tipo niebla.....	27
3	CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.....	28
3.1	TOMA DE DATOS DE LA LINEA DE FLUJO.....	28
3.2	INGRESO DE DATOS AL SOFTWARE.....	31
3.2.1	Ingreso datos requeridos para modelo red de superficie.....	31
3.2.2	Ingreso datos requeridos modelamiento de los pozos.....	33
3.2.2.1	Sección de datos genrales del pozo.....	34
3.2.2.2	Sección datos desviación de los pozos.....	34
3.2.2.3	Seccion datos de tuberia en los pozos.....	34
3.2.2.4	Sección equipos de fondo.....	36
3.2.2.5	Sección datos sistema de levantamineto artificial (SLA).....	36
3.2.2.6	Sección datos curvas de afluencia y propiedadesde los fluidos.....	37
4	AJUSTE DEL MODELO.....	40
4.1	TOMA DE DATOS DE COMPARACIÓN PARA EL AJUSTE.....	40
4.2	AJUSTE PARAMETROS DEL MODELO.....	42
4.2.1	Eficiencia de la bomba.....	42
4.2.2	Datos curvas de afluencia (IPR).....	43
4.2.3	Consolidado de servicios de los pozos.....	44
4.2.4	Presión de yacimiento.....	45
4.3	RESULTADOS MODELO AJUSTADO.....	45
5	PERFILES DE PRESIÓN RED DE SUPERFICIE.....	49
5.1	REVISIÓN PERFILES DE PRESIÓN DE LA RED.....	54
6	EVALUACIÓN HIDRÁULICA PATRONES DE FLUJO.....	57

7 VELOCIDADES DE FLUJO DE LA RED.....	63
7.1 EVALUACIÓN VELOCIDADES DE FLUJO DE LA RED.....	64
8 CONCLUSIONES.....	69
9 RECOMENCIONES.....	70
BIBLIOGRAFÍA.....	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de Colombia – Ubicación General Campo Velásquez.....	17
Figura 2. Flujo burbuja.....	23
Figura 3. Flujo tapón.....	24
Figura 4. Flujo de transición o churn.....	24
Figura 5. Flujo anular.....	25
Figura 6. Flujo estratificado laminar.....	26
Figura 7. Flujo estratificado ondulado.....	26
Figura 8. Flujo tipo tapón líquido.....	26
Figura 9. Flujo anular.....	27
Flujo tipo niebla.....	27
Figura 11. Esquema ingreso de datos sección de línea sin enterramiento al software.....	31
Figura 12. Facilidades cabezal con nomenclatura usada en el modelo.....	33
Figura 13. Esquema ingreso datos generales al software.....	34
Figura 14. Esquema ingreso datos del survey al software.....	35
Figura 15. Esquema ingreso datos estado mecanico al software.....	35
Figura 16. Esquema ingreso datos sistema de levantamiento al software.....	36
Figura 17. Esquema ingreso datos propiedades de los fluidos.....	39
Figura 18. Esquema ingreso datos curva IPR al software.....	39
Figura 19. Esquema general modelo de la red de pozos de la batería # 3.....	49
Figura 20. Esquema sección de la red de la batería # 3.....	51
Figura 21. Esquema sección de tubería, ubicación J 206 – J 209.....	54

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades de porosidad y permeabilidad generales.....	18
Tabla 2. Parámetros Generales formaciones Productoras Campo Velásquez.....	19
Tabla 3. Producción por baterías Campo Velásquez.....	20
Tabla 4. Fragmento consolidado perfil altura de la red.....	29
Tabla 5. Nomenclatura usada en el modelo.....	32
Tabla 6. Definición sección de línea de producción de algunos pozos.....	33
Tabla 7. Fragmento archivo potencial de producción batería de abril de 2016.....	38
Tabla 8. Datos parametros de comparación medidos en campo.....	41
Tabla 9. Error obtenido en la red de pozos con los parametros de comparación.....	46
Tabla 10. Secciones de la línea y el número de las juntas que la conforma.....	51
Tabla 11. Inicio y definición de la línea de los pozos y el número de las juntas que las conforman.....	52
Tabla 12. Propiedades sección de línea desde J 206 hasta J 209.....	54
Tabla 13. Patrones de flujo linea de producción general bateria #3.....	57
Tabla 14. Patrones de flujo pozos V-159, V-224, V- 291.....	61
Tabla 15. Criterio de diseño de líneas de flujo para diferentes fluidos.....	64
Tabla 16. Velocidades de flujo red flujo por secciones de línea.....	64

LISTA DE GRAFICAS

Grafica 1. Parte de consolidado de perfil de alturas de la red.....	30
Grafica 2. Perfil de presiones desde yacimiento hasta cabeza de pozo con diferentes conjuntos datos curvas IPR pozo V-287.....	44
Grafica 3. Perfil de presiones desde yacimiento hasta cabeza de pozo con diferentes presión de yacimiento.....	45
Grafica 4. Promedio error absoluto parametros de comparación.....	48
Grafica 5. Perfil de presión de red desde J 206 hasta J 209.....	56

RESUMEN

Título:“MODELAMIENTO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN GENERAL DE LA BATERÍA TRES EN CAMPO VELÁSQUEZ.” *

Autor: IVONNE JULIETH OCHOA ORTIZ.†

Palabras claves: Patrones de flujo, velocidad de erosión, velocidad crítica, flujo de fluidos, redes, pozos, líneas de flujo, facilidades de superficie, perfiles de presión

Descripción:

Durante la producción de un campo petrolero, se presentan caídas o incrementos de presión en las líneas de flujo que generan disminución en el potencial de producción de los pozos. Estas variaciones de presión pueden ser causadas por varios factores como por ejemplo: Depositación de material inorgánico como carbonato de bario, carbonato de calcio, deposición de material orgánico como parafinas o asfáltenos, depositación de finos y arena en la línea, debido a bajas velocidades de flujo.

Por esto es importante hacer uso de tecnologías que permitan modelar el comportamiento de los fluidos a través de las líneas e implementar soluciones tecnológicas y analíticas, con el fin de optimizar la hidráulica del sistema y a su vez la producción de hidrocarburos.

En el presente trabajo se realiza la construcción del modelo de la red de flujo de la batería tres de campo Velásquez, usando datos medidos en campo. Con el fin de ajustar este modelo de manera que represente la realidad, se corren varias y se calcula el porcentaje de error absoluto de los datos obtenidos con respecto a los datos reales medidos.

Luego de esto establecen parámetros de ajuste del modelo como: La presión de yacimiento, las curvas de afluencia y las eficiencias de la bomba, para que dicho error sea lo menor posible.

En la segunda fase del trabajo se realiza la revisión de los perfiles de presión, la evaluación de los patrones de flujos y velocidades de flujo obtenidas con el modelo ajustado, para identificar posibles problemas en la hidráulica del sistema y las posibles causas de estos.

* Trabajo de grado

† Facultad de Ingenierías Físico-Químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director: Julio César Pérez Angulo.

ABSTRACT

1

Title: “MODELING OF THE GENERAL PRODUCTION LINE OF THE BATTERY THREE IN VELASQUEZ FIELD.” *

Author: IVONNE JULIETH OCHOA ORTIZ.†

Keywords: Flow patterns, erosion rate, critical speed, fluids flow, wells, flow lines, surface facilities, pressure profiles.

Description:

During an oil field production, pressure drops or increments are presented in the flow lines what generates a decrease in production potential of the wells. These pressure variations could be caused by several factors such as: Inorganic matter deposits like barium carbonate, calcium carbonate, organic material deposits like paraffins or asphaltenes, fines and sand deposits in the surface line due to low flow velocities.

This is why it is important to use technologies that allow modeling of the fluids behavior through the lines, and to implement technologic and analytic solutions, in order to optimize the hydraulics of the system, and at the same time the hydrocarbons production.

In the present work the construction of the flow network model of the battery three of Velasquez field is performed using measured data in the field. In order to adjust this model so that it represents the reality, it is run several times and the absolute percentage error of the obtained data is calculated with respect to the measured real data.

After this, adjustment parameters of the model are established, such as: reservoir pressure, inflow curves and pumps efficiency, for the error to be as small as possible.

In the second phase of the work, pressure profiles are reviewed, flow patterns and speeds obtained by the adjusted model are evaluated to identify potential problems in the hydraulics of the system and their possible causes.

* Thesis Degree.

† Physicochemical Engineering Faculty. Petroleum Engineering School. Director: Julio César Pérez Angulo.

INTRODUCCIÓN.

Las líneas de producción general de Campo Velásquez han sido instaladas según la disponibilidad de los materiales y no cuentan con un modelo que permita evaluar los factores externos y parámetros que definen el funcionamiento hidráulico de la misma. El objetivo general de este trabajo es la línea de producción general de la batería tres desde fondo de pozo hasta separador.

En el primer capítulo se realiza una corta reseña del Campo Velásquez.

El capítulo dos abarca la teoría del comportamiento de flujo de fluidos en tuberías. Se definen los términos más relevantes para la descripción de flujo multifásico y los patrones de flujo que se pueden presentar en tuberías horizontales y verticales.

En el capítulo tres, se describe cómo se elaboró el modelo y los parámetros que se tienen en cuenta para la construcción del mismo. Aquí se proporcionan los datos de la línea actualmente instalada como perfiles de altura, diámetros, espesores, longitudes entre otras.

En el capítulo cuatro se muestra cómo se realiza el ajuste del modelo variando correlaciones de flujo, presiones de yacimiento entre otros parámetros hasta obtener el menor error absoluto, comparado con los datos reales de presión en cabeza de cada pozo.

Posteriormente en el capítulo cinco se realiza la revisión de los perfiles de presiones con el fin de identificar cambios significativos en la hidráulica de los fluidos.

En el capítulo seis, se realiza la evaluación de los patrones de flujo presentes en la línea para identificar posibles daños en la línea de producción general causados por golpes de ariete.

En el capítulo siete se realiza una evaluación de las velocidades de flujo en la línea, con el fin de identificar velocidades críticas y velocidades de erosión que pueden generar rotura de la línea y daños a línea.

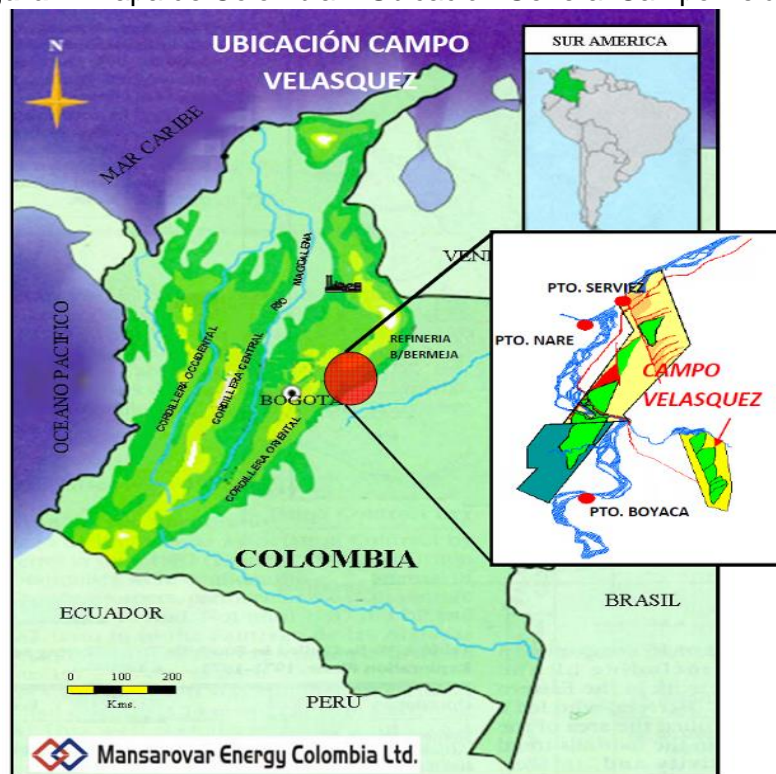
.

1.GENERALIDADES CAMPO VELASQUEZ.⁵

Campo Velásquez está ubicado en la intersección geográfica que conforman los departamentos de Antioquia, Boyacá y Santander, en inmediaciones de los municipios de Puerto Triunfo, Puerto Boyacá y Cimitarra, donde se ha extraído gran cantidad de petróleo pesado en desde los años 60.

El Campo Velásquez se encuentra localizado en el Departamento de Boyacá, cerca al centro de Colombia a unos 150 Km de Bogotá. El campo posee un área de 3800 acres y es el único con propiedad privada del subsuelo que existe en el país (Figura. 1).

Figura 1. Mapa de Colombia – Ubicación General Campo Velásquez.



Fuente.Mansarovar Energy Colombia Ltd.

⁵ Mansarovar Energy Colombia Ltd.

1.1 GEOLOGÍA CAMPO VELÁSQUEZ.

En Campo Velásquez las formaciones productoras son Tuné y Guaduas. Ambas están datadas como del Oligoceno (Terciario). La Formación Tuné se encuentra concordante sobre la Formación Guaduas. Pero también existen reportes de producción del Basamento (Pozos Velásquez-105 y 270), el cual aparece como altamente fracturado.

Dentro de cada una de las formaciones productoras, Tuné y Guaduas, se identificaron por parte de Texaco, zonas que fueron denominadas para la Formación Tuné como zonas A, B, C, D, E y F, y para Guaduas como grupos I, II, III, IV y V. Cada una de estas zonas o grupos, presentan múltiples arenas y diferentes contactos agua-aceite.

1.2 PROPIEDADES GENERALES DE CAMPO VELÁSQUEZ.

Los valores promedio de permeabilidad y porosidad (Tabla. 1) son determinados desde bases de análisis convencionales, así como los parámetros generales del Campo Velásquez para las formaciones productoras (Tabla 2).

Tabla 1. Propiedades de porosidad y permeabilidad generales.

Formación	Porosidad (%)	Permeabilidad (md)
Tunes	24,5	1565
Guaduas	19,7	720
Sección baja de formación Guaduas	18,8	372

Fuente. Mansarovar Energy Colombia Ltd

Las Arenas Guaduas y Tuné son heterogéneas, y exhiben una variación en la permeabilidad, tanto en la vertical y en la lateral.

La permeabilidad vertical de la Formación Guaduas es aproximadamente la mitad de la permeabilidad horizontal, de acuerdo a la evaluación de corazones y análisis

de registros. La salinidad promedio de la Formación Guaduas es 36000 ppm (partes por millón) (CL), y la de la Formación Tuné es de 37000 ppm (CL).

Tabla 2. Parámetros Generales formaciones Productoras Campo Velásquez.

PARÁMETROS	TUNE	GUADUAS
Área, Acres	1891	3824
Espesor neto, pies (Prom)	109	136
Porosidad % (Prom)	24,5	21
Salinidad, ppm Cl	37000	36000
Factor volumétrico, Res/stb	1,15	1,2
Permeabilidad, md (Prom)	1565	720
Presión inicial	2100	3000
Presión actual		1850
Presión de saturación, psi	1800	1950
Saturación de agua inicial, % (Prom)	44	38
Gradiente de fractura, psi/ft	0,7	0,75
Gradiente de temperatura F/100 ft	2,5 @ 5500'	

Fuente. Mansarovar Energy Colombia Ltd

1.3 DATOS DE PRODUCCIÓN CAMPO VELASQUEZ.

El OOIP estimado del campo es 633.6 MMSTB, actualmente el campo cuenta con tres baterías satélites de recolección (1, 2A Y 3) y una batería (2) de recolección y tratamiento de fluidos, la producción de fluidos, aceite, gas y agua, igual que el número de pozos por batería se muestra en la tabla 3.

Tabla 3. Producción por baterías Campo Velásquez.

Fuente. Archivo potencial promedio de pruebas por baterias de julio de 2016. Mansarovar Energy

BATERIA	POZOS	FLUIDO (BPD)	ACEITE (BPD)	GAS (MSCFPD)	AGUA (BPD)
1	12	3457	373	63	3084
2	23	5080	1094	172	4306
2A	16	3575	612	60	2963
3	40	12735	1415	279	11320
TOTAL	91	25167	3494	573	21673

Colombia Ltd.

2. COMPORTAMIENTO DE FLUJO EN TUBERIAS.^{6 7}

Los fluidos que atraviesan una tubería pueden presentar diferentes tipos de flujo dependiendo de las pérdidas de presión en la línea, asociadas a las facilidades usadas en la producción y si estas se encuentran ubicadas vertical u horizontalmente.

En este trabajo se busca hacer el modelo de una red de pozos de Campo Velásquez desde fondo de pozo hasta separador, por lo cual se debe tener en cuenta el comportamiento de los fluidos tanto en tuberías verticales (fondo de pozo – cabeza de pozo) como en tuberías horizontales (red de Superficie). Se considera una tubería horizontal a las que tienen una inclinación menor o igual a 45 grados.

2.1. FLUJO MULTIFÁSICO EN TUBERÍAS ⁸

Se entiende por flujo multifásico, el movimiento conjunto de una fase libre de gas y líquido a través de una tubería o conducto que le transporta. El gas y el líquido pueden existir con una mezcla multifásica o como dos fases permanente definida.

Las caídas de presión en flujo multifásico horizontal pueden llegar a ser entre 5 y 10 veces mayores que en flujo monofásico, debido a que la fase gaseosa se desliza sobre la fase líquida, separadas por una interface que puede ser liza o irregular dependiente.

⁶ Ph.D. MARQUEZ RICHARD, Análisis nodal de sistemas de producción, Nivel Básico. Febrero 2008.

⁷ FUENTES DIAZ, David. “Flujo Multifásico”. Instructor Especialización en producción de Hidrocarburos. Bucaramanga Agosto de 2008.

⁸ YAHAYA USMAN, Anes. AL GAHTANI, Abdallah. Empirical correlations & mechanistic models of vertical multiphase flow”. April 2010.

2.1.1. Conceptos básicos para flujo multifásico.⁹

2.1.1.1 Velocidad Superficial. La velocidad superficial de una fase fluyente, se define como la velocidad que esta fase tendría si fluyera sola a través de toda la sección transversal de la tubería. (Flujo volumétrico/Área de la tubería).

2.1.1.2. Flujo Homogéneo. Es un flujo multifásico donde todas las fluyen a la misma velocidad.

2.1.1.3. Flujo con deslizamiento “Slippage”. Es un flujo multifásico donde las fases tienen diferentes velocidades.

2.1.1.4. Holdup de líquido. Es la fracción volumétrica de líquido, en un segmento de tubería específico con respecto al volumen total de la tubería.

El Holdup permite predecir las propiedades de la mezcla gas/líquido y las velocidades de cada fase. Una manera práctica y exacta para medir el Holdup de líquido es atrapar una muestra representativa en un segmento de tubería y medir físicamente la fracción de volumen ocupada por la fase líquida, para hacer esto normalmente se usan dos válvulas de cierre instantáneo operadas en forma simultánea.

2.2. PATRONES DE FLUJO MULTIFÁSICO.^{10 11}

La fase gaseosa y líquida pueden estar distribuidas en la tubería en una variedad de configuraciones de flujo, las cuales son diferentes unas de otras por la distribución de la interface, resultando en características diferentes de flujo, tales como los perfiles de velocidad y Holdup.

⁹ CABARCAS SIMANCAS, Manuel Enrique. Módulo Análisis Nodal, Esp. PRODUCCIÓN H´cs, julio de 2012.

¹⁰ PETALAS, Nicholas. AZIZ, Khalid, A Mechanistic Model for Multiphase Flow in Pipes,.Stanford University.1997.

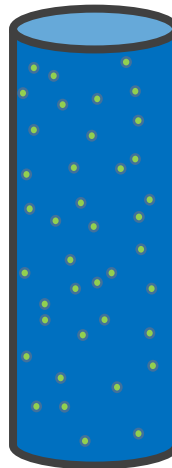
¹¹ BEGGS DALE B. “ Production optimization using nodal analysis” second edition, 1991.

2.2.1. Patrones de flujo en tuberías verticales.^{12 13 14}

Se han realizado con respecto al flujo multifásico que definen cuatro diferentes patrones o regímenes de flujo presentes en tuberías verticales. Generalmente los patrones de flujo son más simétricos alrededor de la dirección axial, y menos dominados por la gravedad.

2.2.1.1. **Flujo burbuja.** En este tipo de flujo la tubería está prácticamente llena de líquido y la fase de gas libre se dispone en pequeñas burbujas que se mueven a diferentes velocidades excepto aquellas que por su densidad tienen pequeños efectos en el gradiente de presión. La pared de la tubería esta siempre en contacto con la fase líquida.

Figura 2. Flujo burbuja.



Fuente. PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.1.2. **Flujo tapón (Slug).** La fase gaseosa es más significativa en este tipo de flujo, sin embargo la fase líquida sigue siendo continua, las burbujas de gas coalescen y forman gotas más grandes o tapones que ocupan prácticamente toda la sección transversal de la tubería. El líquido que alrededor de la burbuja puede

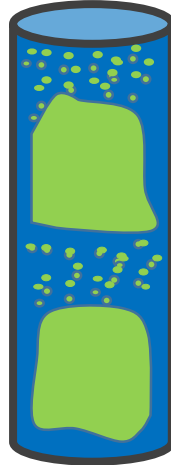
¹² BEGGES AND BRILL. Two phase flow in pipes. 1991

¹³ PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895. 1984

¹⁴ CABARCAS SIMANCAS, Manuel Enrique. Módulo Análisis Nodal, Esp. PRODUCCIÓN H'cs, julio de 2012.

moverse a bajas velocidades en forma descendente. Tanto el gas como el líquido tienen efectos significativos en la caída de presión

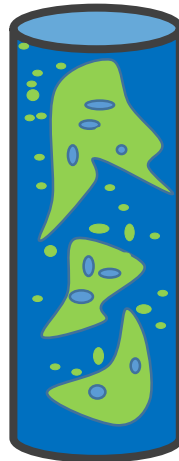
Figura 3. Flujo tapón.



Fuente. PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.1.2. **Flujo de Transición o Churn.** Se da cuando ocurre el cambio de la fase líquida continua a la fase de gas continua. Las burbujas de gas pueden unirse y el líquido puede entrar en la burbuja. Aunque los efectos del líquido son significantes y predominan los de la fase gaseosa.

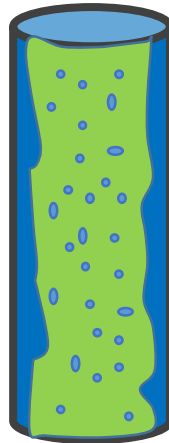
Figura 4. Flujo de transición o churn.



Fuente. PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.1.3. **Flujo anular.** La fase gaseosa es continua y la mayor parte del líquido se introduce en ésta en forma de gotitas. La fase líquida viaja pegada a la pared de la tubería como una película, la fase gaseosa controla la caída de presión.

Figura 5. Flujo anular.



Fuente PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.2. **Patrones de flujo en tuberías horizontales.** ^{15 16 17}

Cuando un fluido multifásico fluye de manera horizontal a través de una tubería las fases tienden a separarse generalmente por diferencia de densidades, de esta manera el líquido va al fondo de la tubería y la fase gaseosa en la parte superior. Dependiendo de la geometría del sistema, las propiedades de la mezcla y las velocidades superficiales de cada fase se presentan diferentes patrones de flujo.

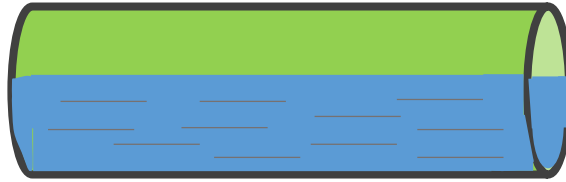
2.2.2.1 Flujo estratificado laminar. Las burbujas de gas coalescen formando una fase gaseosa que se mueve la parte superior de la tubería y que está separada de la fase líquida que queda en la parte inferior, por una interface lisa y continua.

¹⁵ BEGGES AND BRILL. Two phase flow in pipes. 1991

¹⁶ CABARCAS SIMANCAS, Manuel Enrique. Módulo Análisis Nodal, Esp. PRODUCCIÓN H²s, julio de 2012.

¹⁷ PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895. 1984.

Figura 6. Flujo estratificado laminar.



Fuente PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.2.1. **Flujo estratificado ondulado.** Este patrón de flujo es similar al estratificado laminar pero se rompe la continuidad de la interface por ondulaciones en el líquido generadas por el aumento en la velocidad de la fase gaseosa.

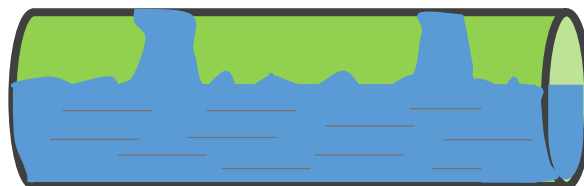
Figura 7. Flujo estratificado ondulado.



Fuente PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.2.2. **Flujo tipo tapón de líquido.** Las crestas en las ondulaciones del flujo estratificado ondulado llegan hasta la parte superior de la tubería, tapándola y ocasionando gran turbulencia en el flujo y discontinuidad en la fase gaseosa.

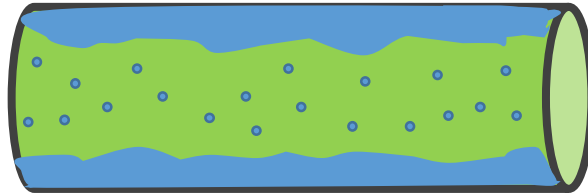
Figura 8. Flujo tipo tapón líquido.



Fuente PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.2.3. **Flujo anular.** Una película formada por la fase líquida cubre las paredes de la tuberías y la fase gaseosa fluye en el interior, llevando partículas de líquido en suspensión.

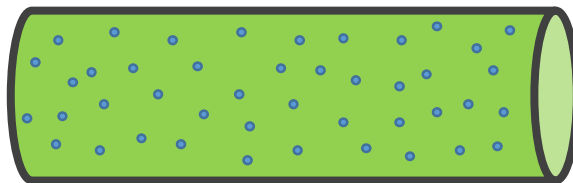
Figura 9. Flujo anular.



Fuente PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

2.2.2.4. **Flujo tipo niebla.** La fase gaseosa es la fase continua y el líquido está completamente disperso en el gas que lleva suspendidas las gotas de líquido.

Figura 10. Flujo tipo niebla.



Fuente. PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895.

3. CONSTRUCCIÓN DEL MODELO.

En este capítulo se describe la construcción del modelo, como primer paso se deben establecer y definir las características con las que este debe contar. Se definen los datos de la red de superficie, estados mecánicos, consolidados de niveles, consolidado de IPR, propiedades de los fluidos, histórico de producción, etc.

Se debe hacer un reconocimiento de la batería a evaluar y reunir la mayor cantidad de información disponible, con el fin de que el modelo represente lo que ocurre en la realidad. Se modela los 43 pozos y la red de superficie que los recolecta y los transporta hasta el separador de la batería.

3.1 TOMA DE DATOS DE LA LÍNEA DE FLUJO.

Se hace el levantamiento de los perfiles de altura, diámetros, longitudes y facilidades de superficie presentes en la línea de producción de la batería número tres. No se dispone de planos P&ID por lo que fue necesario tomar estos datos para continuar con la elaboración del modelo.

Los perfiles de altura de la red se tomaron con un GPS garmin, para lo cual se tomó como punto de partida el inicio del colector de 6 pulgadas ubicado en la locación del pozo V-307, en este punto se toma el primer dato de altura con referencia a el nivel del mar usando el GPS, ya que la altura de la tubería es variable en todo el terreno.

Se establece un delta de distancia entre 70 a 100 metros para ir tomando la altura consecutivamente, con el fin de construir un consolidado de perfiles de altura de la línea como el que se muestra en la tabla 4., en la grafica1., se muestra el perfil de presión de esta tabla.

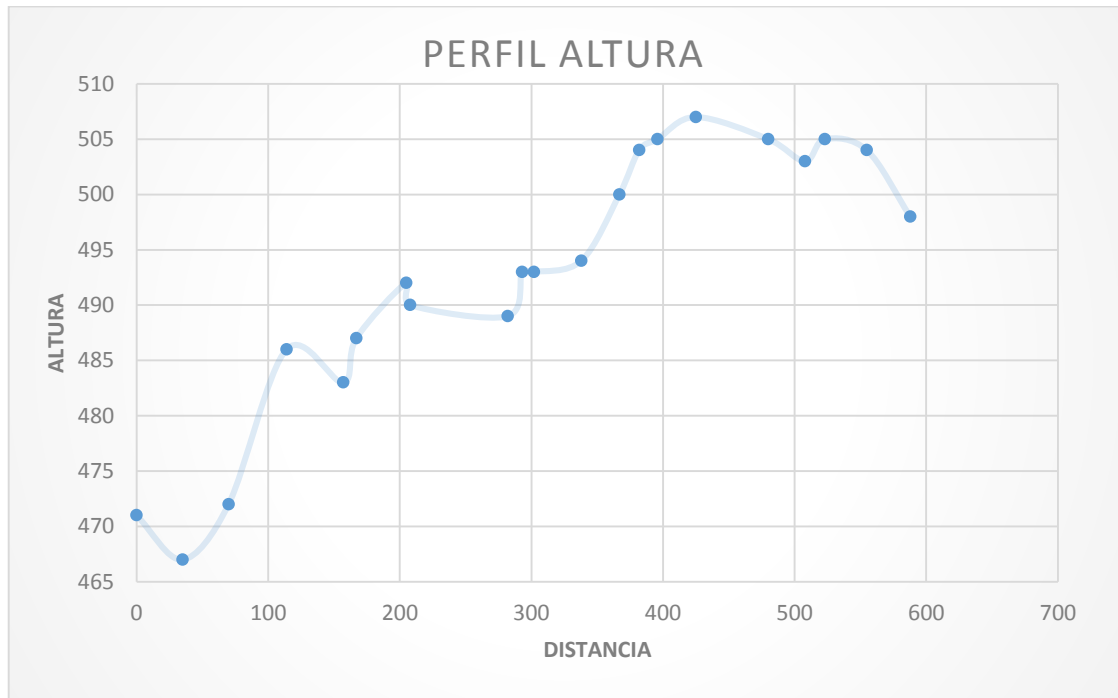
Tabla 4. Fragmento consolidado perfil altura de la red.

Punto	Distancia (m)	Distancia Acumulada (m)	altura (ft)
0	0	0	471
1	35	35	467
2	35	70	472
3	44	114	486
4	43	157	483
5	10	167	487
6	38	205	492
7	3	208	490
8	74	282	489
9	11	293	493
10	9	302	493
11	36	338	494
12	29	367	500
13	15	382	504
14	14	396	505
15	29	425	507
16	55	480	505
17	28	508	503
18	15	523	505
19	32	555	504
20	33	588	498

Fuente. Datos tomados por el autor.

La red de superficie de la batería 3 de campo Velásquez tiene longitud total medida de 18,4674 Kilómetros y consiste en una ramificación que une varios cluster y colecta la producción de 42 pozos. A medida que se toman los perfiles de altura según el delta seleccionado se realizan las observaciones de los diámetros de cada línea ya que esta red está conformada con tuberías de diámetros de 2, 3, 6 y 12 pulgadas. También debe tomarse en cuenta los lugares de enterramiento de la tubería.

Grafica 1. Parte de consolidado de perfil de alturas de la red.



Fuente. Autor.

Se consolidan en un archivo las medidas y los datos de la línea recorriendo cada punto desde el cabezal del sistema de levantamiento hasta el separador de la batería 3. Esta red cuenta con diferentes facilidades de superficie la línea como codos, válvulas, T, etc., dichas facilidades deben ser tomadas en cuenta para la elaboración del modelo, debido a que cada una de ellas es equivalen pérdidas de presión en la línea por tanto no se pueden obvia.

Debido a que el software no cuenta con todas las válvulas presentes en la línea, se debe agregar tramos como longitudes equivalentes a las pérdidas causadas por estas, para ello debe tenerse en cuenta el tipo de válvula si es de cierre completo parcial y si es de cierre parcial el ángulo de apertura.

Adicionalmente debe modelarse los 42 pozos con los que cuenta esta batería, por lo cual se debe contar con la mayor información posible de cada uno de ellos, datos tales como estados mecánicos, survey, características del sistema de levantamiento usado, propiedades y producción de fluidos, etc.

3.2 INGRESO DE DATOS AL SOFTWARE.

3.2.1 Ingreso datos requeridos para modelamiento red de superficie.

Se ingresa tramo por tramo de la línea con sus respectivos perfiles de altura unidos entre sí por una junta, nombre, se define si esta inactiva, si está enterrada o en superficie, las longitudes equivalentes por accesorio, codos y demás facilidades. Se debe seleccionar el tipo de tuberías, diámetro nominal, Schedule para que el software establezca el resto de propiedades con la rugosidad de acuerdo a estos datos, como se muestra en la figura 11.

Figura 11. Esquema ingreso de datos sección de línea sin enterramiento al software.

LÍNEA DE FLUJO		PERFIL DE ALTURA	
Nombre	LPG V-287	Distancia	Elevación
Activa	Si	0	484
Modo	<input type="radio"/> Simple <input checked="" type="radio"/> Detallado	62	485
Ambiente	<input type="radio"/> Superficie <input checked="" type="radio"/> Enterrada	387	499
DATOS TUBERÍA		767	496
Diámetro nominal	3 In	885	498
Schedule	40 In		
Rugosidad	0,0019 In		

Fuente. Tomado del software, editado por el autor.

Hubo que asignar un nombre para cada línea de flujo que conforma el modelo ya que el software no permite dos nombres iguales en la tabla 5., se presenta la nomenclatura usada y en la figura 12., se muestra la nomenclatura usada en el cabezal de cada pozo.

Tabla 5. Nomenclatura usada en el modelo.

NOMENCLATURA	SIGNIFICADO
LCHV	Línea cabezal horizontal velasquez - no. Pozo
LCVV	Línea cabezal vertical velasquez - no. Pozo
LPGV	Línea producción general velasquez- no de pozo o pozos si son varios
FHV	Check valve velasquez- no. Pozo
LECV	Longitud equivalente codos velasquez - no. Pozo
LEV	Longitud equivalente válvulas velasquez - no. Pozo
CBV	Facilidad pozo velasquez - no. Pozo
ILC4	Inicio línea colectora de 4 in
LECL4	Longitud equivalente codos línea de 4 in velasquez - no. De los pozos que van en la línea.
LPG6	Línea de producción general colector de 6 in
LEC6	Línea equivalente codos colector 6
LECD4-6	Longitud equivalente cambio de diametro de 4in a 6in
LEVCV	Longitud equivalente válvulas cabezal velasquez - no. Pozo
LEVL4-C7P	Longitud equivalente válvula línea de 4 in cluster 7 pozos
LECL4-C7P	Longitud equivalente codos línea de 4 in cluster 7 pozos
CBL4-C7P	Longitud equivalente codos línea de 4 in cluster 7 pozos
LPGT	Línea de producción general trillizos
FLPG-CL12	Final línea de producción general-colector de 12 in
LPG-CL12	Línea de producción general- colector de 12 in.

Fuente. Autor.

Para unir cada sección de la línea se usan juntas, estas son herramientas del software que permiten unir línea de flujo con otra sin que estas se vean afectadas. Cada parte de la red está definida por un número de juntas, como el ejemplo de la tabla 6., donde se define la línea de algunos pozos con juntas

Figura 12. Facilidades cabezal con nomenclatura usada en el modelo.



Fuente. Autor.

Tabla 6. Definición sección de línea de producción de algunos pozos

POZO	JUNTAS
V-331, INICIA EN LCHV-331 Y FINALIZA EN LEVV-331.	1,2,3,4,5,6,7.
V-333, INICIA EN LCHV-333 Y FINALIZA EL LEVV-333.	8,9,10,11,12,13.
V-334, INICIA EN LCHV-334 Y FINALIZA EN LEVV-334.	14,15,16,17,18,19.
V-341, INICIA EN LCHV-341Y FINALIZA EN LEVV-341.	20,21,22,23,24,25.
V-307, INICIA EN LCHV-307 Y FINALIZA EN LEVV-307.	32,33,34,35,36,37.
V-57, INICIA EN LCHV-57 Y FINALIZA EN LEVV-57.	38,39,40,41,42,43.

Fuente. Autor.

3.2.2. Ingreso datos requeridos modelamiento de los pozos.

Para modelar los 42 pozos se crea un pozo en el cual el software establece diferentes secciones de entrada de datos, como datos generales del pozo, datos de la tubería en el pozo, desviación del pozo, equipos de fondo, sistema de levantamiento artificial, yacimiento y definición del fluido. Estos datos son proporcionados por Mansarovar para cada uno de los pozos creados.

3.2.2.1. Sección datos generales del pozo. Esta es la primera sección de ingreso de datos de los pozos al software, donde se establece el nombre se pozo, si es productor o inyector, si es horizontal o vertical y si está activo o no, como se muestra en la figura 13.

Figura 13. Esquema ingreso datos generales al software.

DATOS GENERALES	
Nombre del pozo	<input type="text" value="V-268"/>
Activo	<input type="text" value="*"/>
Tipo de pozo	<input checked="" type="radio"/> Producción <input type="radio"/> Inyección
Pozo	<input checked="" type="radio"/> Vertical <input type="radio"/> Horizontal

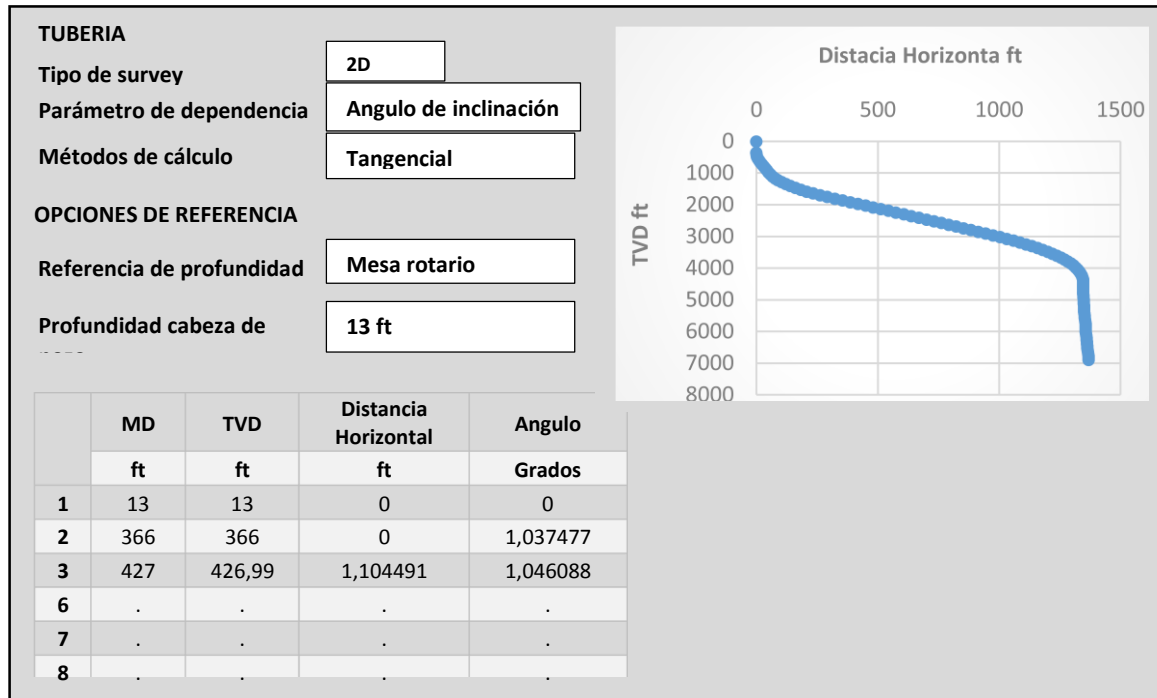
Fuente. Tomados del software, editado por autor.

3.2.2.2. Sección datos desviación de los pozos. Aquí se introduce el survey de cada pozo dato a dato, cada survey cuenta con 220 datos aproximadamente. También se ingresa la referencia de donde se mide la profundidad, parámetro de dependencia, método de cálculo, como se muestra en la figura 14.

3.2.2.3. Sección datos de tubería en los pozos. Esta sección hace referencia al estado mecánico de cada pozo, es decir la profundidad del pozo el tipo de tubería usada en el completamiento, los diferentes tipos de tubería producción con diámetros y profundidades de asentamiento de cada una.

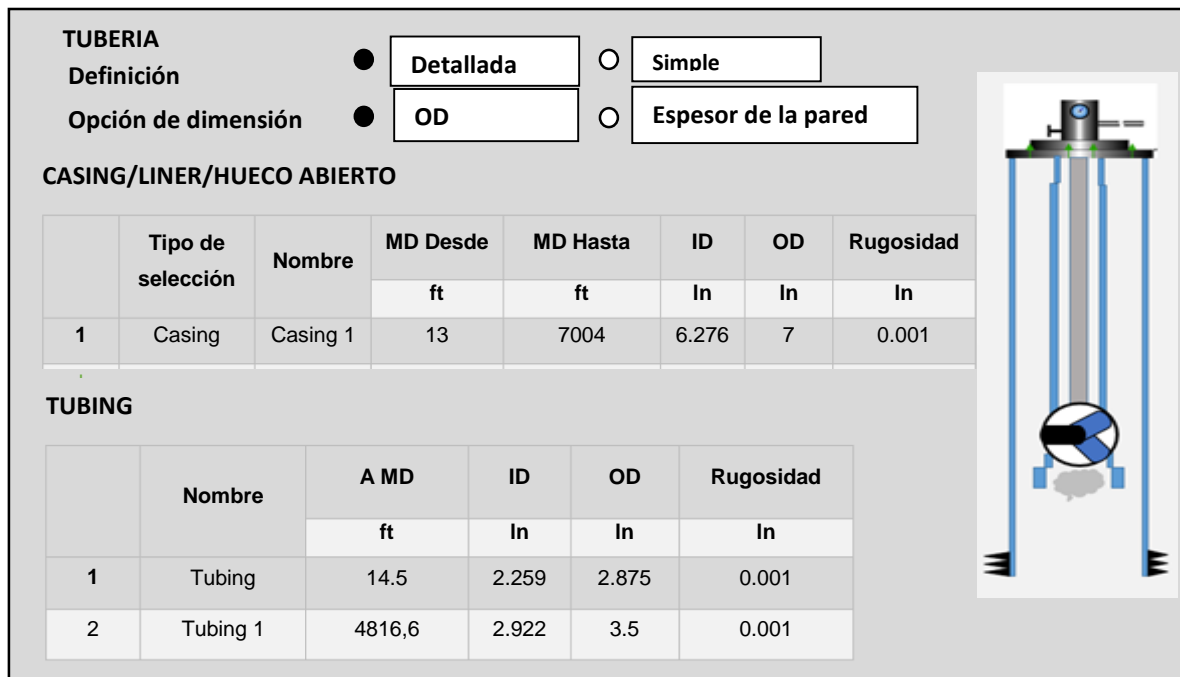
La tubería usada en campo Velásquez es tubería API y los datos se ingresan al software como se muestra en la figura 15.

Figura 14. Esquema ingreso datos del survey al software.



Fuente. Tomada del software, editado por el autor

Figura 15. Esquema ingreso datos estado mecanico al software.



Fuente. Tomados del software, editado por autor.

3.2.2.4. Sección equipos de fondo. Esta sección da la opción de agregar equipos como empaques, chokes, separados de fondo, etc., a cada uno de los pozos si cuentan con estas.

3.2.2.5. Sección datos sistemas de levantamiento artificial (SLA). Se da la opción de elegir el sistema de levantamiento con el que cuenta cada pozo, para el caso de este trabajo se usaran los sistemas de levantamiento PCP, bombeo mecánico y ESP, ya que la batería tres en la única batería de campo Velásquez que cuenta con dichos SLA. Dependiendo del tipo de SLA que tenga cada pozo el software requiere diferente información, por ejemplo si es PCP es necesario conocer qué tipo de bomba de fondo se tiene y a que profundidad está ubicada, si esta activa o no, la eficiencia y rpm a la cual está trabajando, el diámetro de la barra lisa, etc., como se observa en la figura 16.

Figura 16. Esquema ingreso datos sistema de levantamiento al software.

SISTEMA DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL				
	EQUIPO	NOMBRE	ACTIVO	MD
				ft
1	PCP	PCP V-287	SI	4269.2
+				

Nombre	PCP V-287	
Profundidad	4269.2	ft
DATOS DE RENDIMIENTO		
Fabricante	PCM	
Modelo	312-32E2200	
Diámetro	4	In
Tasa Nominal	199.4369	bbl/d
Velocidad base	100	c/min
Velocidad de operación	260	c/min
Eficiencia	0.6	

Fuente. Tomado del software, editado por el autor.

La referencia de la bomba del SLA se tomó del estado mecánico de los pozos al igual que la profundidad en la que está ubicada, hay que revisar los servicios hechos a los pozos ya que la profundidad o tipo de bomba no se han mantenido constante en el tiempo sino que puede ser cambiadas o no en cada servicio realizado.

La información de las rpm a las que están funcionando la bomba se tomaron del consolidado de nivel, este es un archivo en Excel donde se registran a diario los datos de nivel tomado con el ecometer.

Debido a que el software no cuenta con todas las marcas de bombas se debe buscar equivalencia, una vez seleccionad la bomba el software proporciona algunas propiedades preestablecidas para cada bomba. Ya que no se contó con información de la eficiencia a la cual estaban trabajando las bombas se tomó este como un parámetro para ajuste del modelo.

Inicialmente se establece una eficiencia de 60% para todas las bombas, la cual se modificó con el fin de ajustar los datos obtenidos con el software con los datos reales.

3.2.2.6. Sección datos curvas de afluencia y propiedades de los fluidos. Para la construcción de modelo se debió ingresar las siguientes propiedades de los fluidos: el corte de agua, GOR, gravedad específica del gas, gravedad específica del agua, gravedad API y viscosidad del crudo.

Estos datos se tomaron del archivo de potencial de producción, en este archivo donde se consolidan mensualmente la información de cada pozo por batería, entre la cual se puede encontrar los datos de las pruebas de laboratorio como se muestra en la tabla 7. Adicional a este archivo se cuentan con el assay del fluido de la batería. En la figura 18. Se muestra un esquema de cómo se ingresan los datos al software.

Tabla 7. Fragmento archivo potencial de producción batería de abril de 2016.

POZO	BFPD	%BSW	BOPD	BWPD	WOR	GAS
V-056G	276	84	44	232	5	19
V-057G	958	96	40	918	23	15
V-122T	212	95	10	202	20	4,5
V-147T	45	44	25	20	1	2
V-153T	274	92	21	253	12	9
V-159G	213	95	10	203	20	1,4
V-216G	270	93	19	251	13	3
V-224T	253	92	20	233	12	8
V-225T	520	95	25	495	20	3,3
V-246T	359	92	30	329	11	6
V-262T	1080	86	147	933	6	11
V-264G	910	87	120	790	7	19
V-267G	1137	95	62	1075	17	10,2
V-268G	276	64	100	176	2	18,5
V-269G	27	67	9	18	2	2
V-272G	22	86	3	19	6	2
V-273T	55	47	29	26	1	1
V-280G	26	69	8	18	2	1
V-281T	153	95	7	146	21	1
V-282G	228	81	44	184	4	12,1
V-286G	564	73	150	414	3	19
V-287T	413	81	77	336	4	12,5
V-289G	171	82	30	141	5	13
V-291G	132	66	45	87	2	0

Fuente. Área de producción Campo Velasquez.

Con el fin de modelar comportamiento fluido en el medio poroso, se debe ingresar la presión del yacimiento, la temperatura de yacimiento, el método y datos de pruebas usadas para construir la curva de afluencia (IPR) de cada pozo.

La información se obtiene del archivo de excel donde se consolidan los datos de las pruebas de producción hechas a cada pozo, es decir el caudal con su respectiva

presión de fondo fluyente, también toda la información necesaria para construir las curvas como se muestra en la figura 18.

Figura 17. Esquema ingreso datos propiedades de los fluidos.

FLUIDO		VISCOSIDAD ACEITE MUERTO	
Nombre	V-287	Correlación	Usar dos puntos
Descripción	Propiedades pozo V-287	Temperatura (1er)	150 degF
PROPIEDADES EN EL TANQUE DE ALMACENAMIENTO		Viscosidad (1er)	34.432 cP
Corte de agua	86 %	Temperatura (2do)	85 degF
GOR	150 SCF/STB	Viscosidad (2do)	258.8 cP
Gravedad específica del gas	0.6636 SCF/STB	VISCOSIDAD ACEITE VIVO	
Gravedad específica del agua	1.02 SCF/STB	Correlación	Chew & Connally
API	18.6		

Fuente. Tomados del software, editado por autor.

Figura 18. Esquema ingreso datos curva IPR al software.

	NOMBRE	GEOMETRÍA	PUNTO MEDIO DE PERFORADOS	ACTIVO	MODELO IPR	Q		Pwf	
			ft			STB/d	psi		
1	V- 287	Vertical	7974	Si	IP del pozo	1	1200	1026,696	
+						2	1071	973,9959	
						3	998	973,9959	
						4	1187	973,9959	
						5	1191	973,9959	
						6	1079	995,6959	

Presión de yacimiento	1619,696	psi
Temperatura de yacimiento	136.4	degF
Base IPR	<input checked="" type="radio"/> Liquid <input type="radio"/> Gas	
Índice de productividad	1,770093	STB/(d.ps)
Usar Vogel después del punto de burbuja	<input checked="" type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO	
Usar datos de pruebas	<input checked="" type="radio"/> SI <input type="radio"/> NO	
Tipo de prueba	<input type="radio"/> Multipunto	

Fuente. Tomados del software, editado por autor.

4. AJUSTE DEL MODELO.

Este capítulo muestra como se realizó el ajuste del modelo, los parámetros de comparación, las propiedades a ajustar y los resultados obtenidos. Como primer paso para el ajuste se establecen como parámetros de comparación para el ajuste del modelo la presión en cabeza de pozo, el caudal de producción por pozo, la presión de fondo fluyente y la presión de entrada de la bomba de fondo, ya que dichos parámetros se pueden medir usando diferentes herramientas durante la práctica.

Al correr el modelo completo en el software se obtienen varias características y parámetros con los que cuenta la red de pozos de la batería, sin embargo los datos obtenidos del modelo presentan un error absoluto alto si son comparados con los datos reales tomados en campo, por lo cual es necesario ajustar el modelo de manera que se puede obtener el menor error posible y así se reproduzca de forma acertada el comportamiento real de la red.

4.1.TOMA DE DATOS DE COMPARACIÓN PARA EL AJUSTE.

Se utiliza un manómetro que mide presiones entre 0 y 100 psi, ya que se desea tener la menor incertidumbre en las presiones de cabeza tomadas en cada pozo y estas oscilan entre 50 y 80 psi.

La presión de fondo fluyente y la presión de entrada de la bomba de fondo es tomada con analizador de pozo (ecometer) esta es una unidad electrónica compacta que es controlada por medio de un computador portátil que opera con el programa Total Well Management (TWM), esta unidad adquiere y digitaliza las señales recibidas por el microfono y el transductor de presión instalados en la pistola de gas, estas señales son enviadas al computador para su procesamiento, con los datos obtenidos se contruye el consolidado de niveles mencionado anteriormente.

Se pone a prueba los 42 pozos con los que cuenta la batería tres con el fin de obtener el caudal de líquido producido por cada uno de ellos, ya que esta propiedad también se toma como parámetro de comparación en el modelo. La tabla 8 muestra los valores de cada parámetro para cada pozo.

Tabla 8. Datos parámetros de comparación medidos en campo.

POZO	Datos medidos			
	PIP (psig)	Pwf (psig)	Q (Bls)	THP (psig)
V-056	384	1226	339	85
V-057	644	1360	954	110
V-122	1404	1708	255	90
V-147	184	468	21	80
V-153	1337	1602	291	110
V-159	244	1712	246	70
V-216	622	1699	279	50
V-224	1108	1948	237	55
V-225	1328	1520	547	50
V-246	803	1652	378	50
V-262	617	972	1121	90
V-264	435	1389	926	50
V-266	1665	2587	743	50
V-267	465	1512	1124	50
V-268	271	854	236	60
V-269	318	1204	40	70
V-271	1580	1070	119	90
V-272	31	94	21	90
V-273	261	517	135	90
V-280	79	486	50	58
V-281	1485	1849	87	60
V-282	159	664	187	60
V-286	824	1359	613	58

V-287	1276	1522	372	65
V-289	90	945	164	50
V-291	358	809	132	140
V-293	135	783	153	58
V-294	1022	1278	182	67
V-295	517	597	232	55
V-298	168	620	51	100
V-301	113	925	215	58
V-302	516	645	381	63
V-303	1456	1611	179	58
V-307	1284	1560	2090	140
V-308	724	1048	485	58
V-317	142	254	75	50
V-319	841	1148	298	80
V-324	190	1147	36	60
V-331	294	1182	242	115
V-333	185	1292	76	85
V-334	282	1308	77	85
V-341	106	1219	33	85

Fuente. Autor.

4.2. AJUSTE PARAMETROS DEL MODELO.

Para ajustar el modelo es necesario establecer que propiedades o parametros del modelo se pueden variarse de manera que el error disminuya pero teniendo en cuenta que debe representar la realidad, por esto se los parametros que se deben ajustar en el modelo son la eficiencia de la bomba, los datos de las curvas de afluencia, consolidados de servicios hecho a los pozos y la presión de yacimiento.

4.2.1. Eficiencia de la bomba de fondo.

inicialmente en la elaboración del modelo se estableció una eficiencia de 60% para todos los pozos, sin embargo no se conoce con que eficiencia exacta están

trabajando las bombas en cada pozo, por lo cual es necesario realizar diferentes corridas del modelo variando la eficiencia con el fin de disminuir el error de este. Al realizar la corridas se observo que haciendo ajuste muy pequeñas del orden de 10^{-3} de este parametro el modelo disminuye su error absoluto considerablemente. Sin embargo algunos pozos no mostraron ajuste alguno al modificar este parametro.

4.2.2. Datos curvas de afluencia (IPR).

Debe verificarse que los datos de las curvas de afluencia ingresados represente de manera correcta el comportamiento real de los fluidos, ya que en el archivo de consolidado de curvas IPR se cuentan con todo el historico de datos de las pruebas hechas a los pozos, por lo cual deben considerarse varias cosas antes de seleccionar los datos de la curva que se van a ingresar.

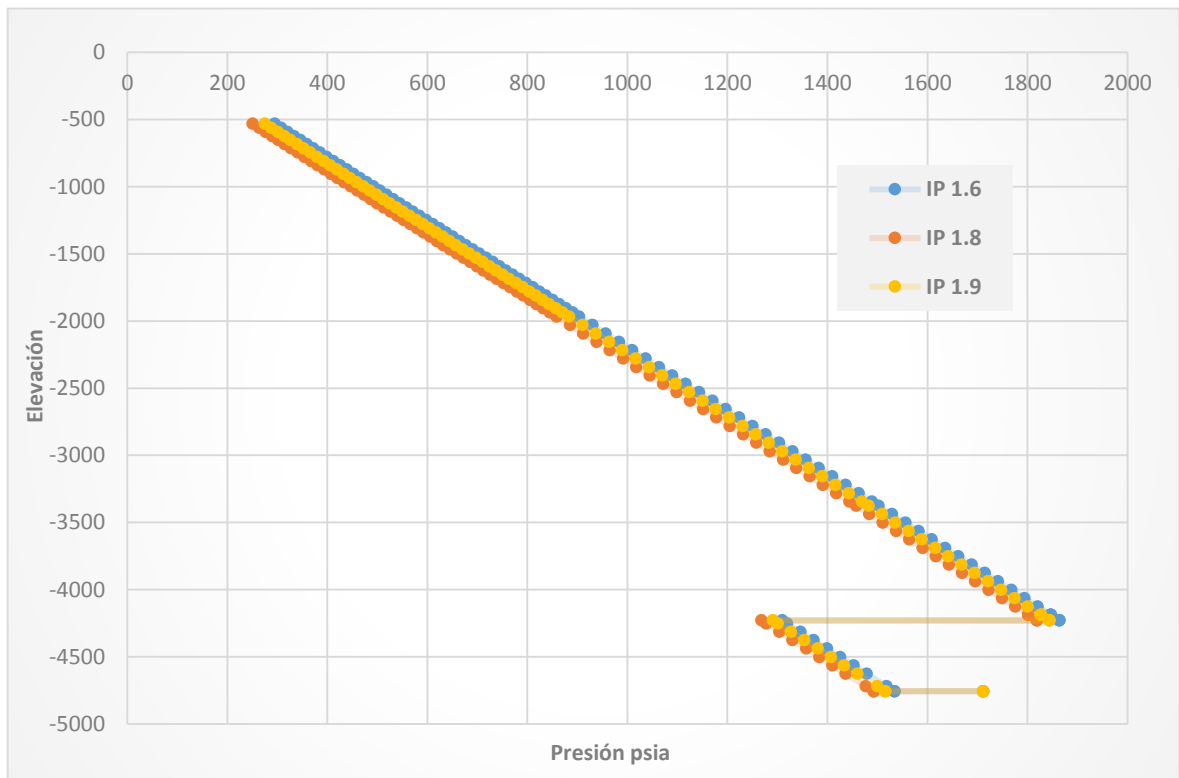
Es necesario conocer las condiciones a la que se encuentra cada pozo y los servicios realizados a estos, ya que no se pueden ingresar los datos de caudal y presion de fondo fluyente de un pozo que esta dañado o de un pozo que acabe de salir de un servicio, debido a que esto altera las curvas IPR de manera que puede subestimarse o sobrestimarse el potencial de los pozos.

Para esto se debe revisar el consolidado de servicios hechos cada pozo este en un archivo donde se registra los servicios hechos a cada pozo, causa, fecha de inicio y finalización del servicio.

Para esto se debe revisar el consolidado de servicios hechos cada pozo este en un archivo donde se registra los servicios hechos a cada pozo, causa, fecha de inicio y finalización del servicio. En la grafica 2., se observa la variación del perfil de presiones con respecto a el Indice de productividad.

Es necesario conocer las condiciones a la que se encuentra cada pozo y los servicios realizados a estos, ya que no se pueden ingresar los datos de caudal y presion de fondo fluyente de un pozo que esta dañado o de un pozo que acabe de salir de un servicio, debido a que esto altera las curvas IPR de manera que puede subestimarse o sobrestimarse el potencial de los pozos.

Grafica 2. Perfil de presiones desde yacimiento hasta cabeza de pozo con diferentes conjuntos datos curvas IPR pozo V-287.



Fuente. Tomado del modelo, editado por el Autor.

Para esto se debe revisar el consolidado de servicios hechos cada pozo este en un archivo donde se registra los servicios hechos a cada pozo, causa, fecha de inicio y finalización del servicio.

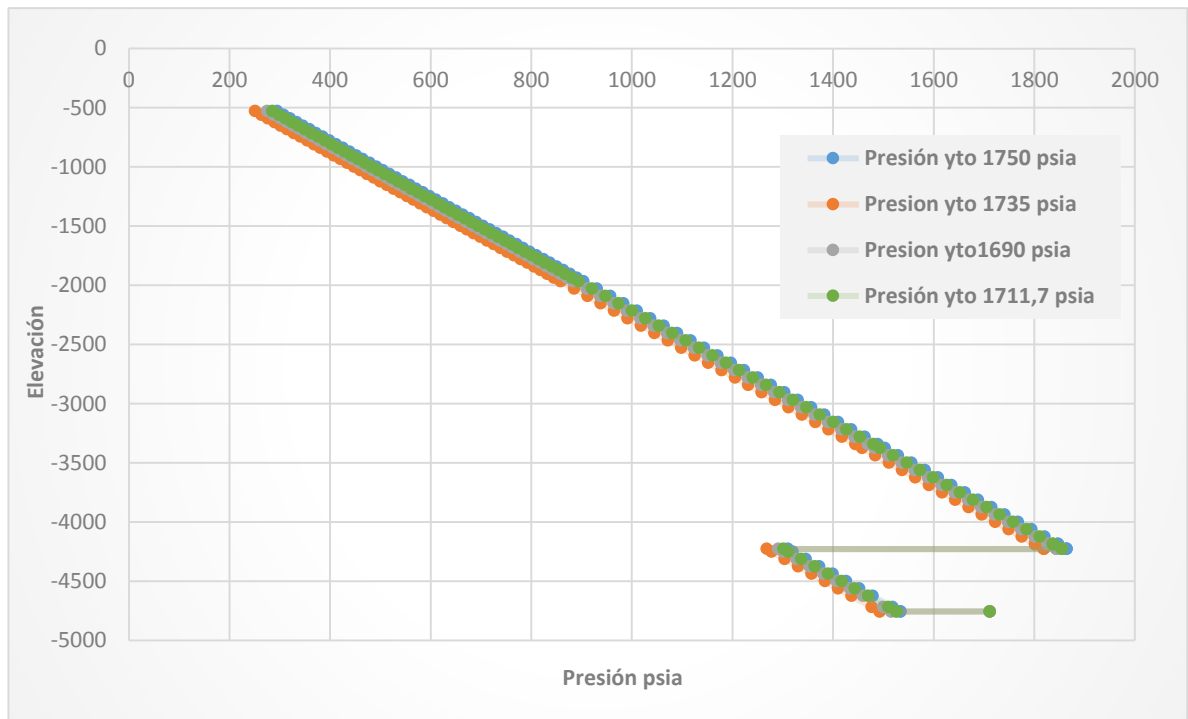
4.2.3.Consolidado de servicios a los pozos.

Es importantante revisar este archivo de consolidado de servicios debido que el estado mecanico de los pozos puede cambiar del original durante un servicio; es decir, el punto medio el tipo de bomba , la profundidad a la cual esta ubicada y los todos equipos de fondo no son constantes.

4.2.4. Presión de yacimiento.

Se decide seleccionar esta propiedad como un parametro ajustar del modelo, debido a que la presión de yacimiento es un promedio tomado durante las pruebas de presión hechas al yacimiento, por tanto se decide varia entre 50 psi por encima o por debajo de la registrada si es necesario para el ajuste del modelo. En la grafica 3, se muestra el comportamiento del perfil de presión del pozo V-287 con respecto a la presión del yacimiento.

Grafico 3. Perfil de presiones desde yacimiento hasta cabeza de pozo con diferentes presión de yacimiento



pozo V- 287. Fuente. Tomado del software , editado por el Autor.

4.3. RESULTADOS MODELO AJUSTADO.

Se realiza un analisis de sensibilidad del modelo variando la presión de yacimiento, los datos de las curvas IPR, algunos estados mecanicos después de los servicios y la eficiencia de las bombas de fondo en los pozos. Esto con el fin de disminuir el error absoluto del modelo.

Se establece que el modelo esta ajustado, ya que como se muestra en la tabla 8., el error maximo obtenido fue del 9% y pertenece a la presión de entrada de la bomba de fondo del pozo V-316. Se considera un error bajo debido a que el software usa correlaciones empiricas que se basan en modelos matematicos y experimentos para representar el comportamiento de la linea de producción de la bateria.

Por otra parte la rugosidad de la tuberia que se uso fue la establecida por el fabricante, debido a que no se cuenta con las herramientas para medirla directamente.

Puesto que la rugosidad proporcionada por el fabricante es medida cuando la tuberia esta nueva y este no es el caso de la tuberia que conforma la linea pues esta tiene años de uso, esta propiedad da un margen de error al modelo, sin embargo se puede concluir que el error aportado generado debido a esto es minimo aproximadamente del orden de 10^{-2} .

Como se muestra en la grafica 4., el mayor error promedio de todos los pozos se tiene en la presión de entrada de bomba, aun así se considera un error bajo ya que es de 2.3 %.

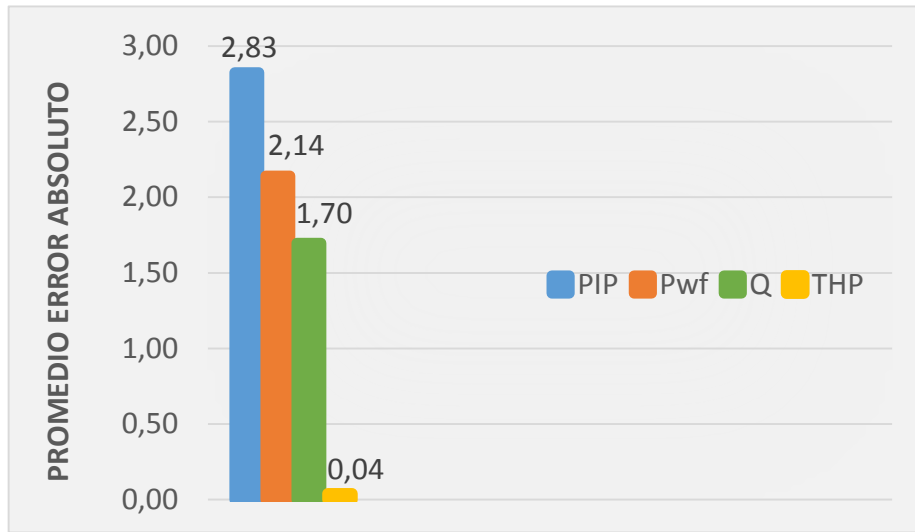
Tabla 9. Error obtenido en la red de pozos con los parametros de comparación.

POZO	DATOS REALES MEDIDOS				SOFTWARE				ERROR ABSOLUTO (%)			
	PIP (psig)	Pwf (psig)	Q (Bls)	THP (psig)	PIP (psig)	Pwf (psig)	Q (Bls)	THP (psig)	PIP (psig)	Pwf (psig)	Q (Bls)	THP (psig)
V-056	384	1226	339	85	385	1222	339	85	0,3	0,3	0,0	0,0
V-057	644	1360	954	110	650	1348	954	110	0,9	0,9	0,0	0,0
V-122	1404	1708	255	90	1416	1704	252	90	0,9	0,2	1,2	0,0
V-147	184	468	21	80	196	466	20	80	6,5	0,4	4,8	0,0
V-153	1337	1602	291	110	1349	1592	286	110	0,9	0,6	1,7	0,0
V-159	244	1712	246	70	252	1657	243	70	3,3	3,2	1,2	0,0
V-216	622	1699	279	50	622	1689	279	50	0,0	0,6	0,0	0,0
V-224	1108	1948	237	55	1143	1890	234	55	3,2	3,0	1,3	0,0
V-225	1328	1520	547	50	1328	1520	546	50	0,0	0,0	0,2	0,0

V-246	803	1652	378	50	805	1664	364	50	0,2	0,7	3,7	0,0
V-262	617	972	1121	90	618	971	1121	90	0,2	0,1	0,0	0,0
V-264	435	1389	926	50	451	1379	926	50	3,7	0,7	0,0	0,0
V-266	1665	2587	743	50	1623	2536	748	50	2,5	2,0	0,7	0,0
V-267	465	1512	1124	50	472	1478	1116	50	1,5	2,2	0,7	0,0
V-268	271	854	236	60	258	872	237	60	4,8	2,1	0,4	0,0
V-269	318	1204	40	70	300	1187	38	70	5,7	1,4	5,0	0,0
V-273	261	517	135	90	266	514	134	90	1,9	0,6	0,7	0,0
V-280	79	486	50	58	75	467	51	58	5,1	3,9	2,0	0,0
V-281	1485	1849	87	60	1520	1808	86	60	2,4	2,2	1,1	0,0
V-282	159	664	187	60	152	686	187	60	4,4	3,3	0,0	0,0
V-286	824	1359	613	58	782	1425	579	58	5,1	4,9	5,5	0,0
V-287	1276	1522	372	65	1286	1511	372	65	0,8	0,7	0,0	0,0
V-289	90	945	164	50	94	936	152	50	4,4	1,0	7,3	0,0
V-291	358	809	132	140	380	789	132	140	6,1	2,5	0,0	0,0
V-293	135	783	153	58	137	735	154	58	1,5	6,1	0,7	0,0
V-295	517	597	232	55	521	599	228	55	0,8	0,3	1,7	0,0
V-298	168	620	51	100	168	621	51	100	0,0	0,2	0,0	0,0
V-301	113	925	215	58	117	921	216	58	3,5	0,4	0,5	0,0
V-302	516	645	381	63	516	652	381	64	0,0	1,1	0,0	1,6
V-303	1456	1611	179	58	1414	1570	179	58	2,9	2,5	0,0	0,0
V-307	1284	1560	2090	140	1281	1542	2090	140	0,2	1,2	0,0	0,0
V-308	724	1048	485	58	735	1030	485	58	1,5	1,7	0,0	0,0
V-316	245	1100	324	50	223	1108	321	50	9,0	0,7	0,9	0,0
V-317	142	254	75	50	148	240	76	50	4,2	5,5	1,3	0,0
V-319	841	1148	298	80	876	1079	299	80	4,2	6,0	0,3	0,0
V-324	190	1147	36	60	195	1098	38	60	2,6	4,3	5,6	0,0
V-331	294	1182	242	115	279	1240	235	115	5,1	4,9	2,9	0,0
V-333	185	1292	76	85	181	1210	73	85	2,2	6,3	3,9	0,0
V-334	282	1308	77	85	263	1197	72	85	6,7	8,5	6,5	0,0
V-341	106	1219	33	85	110	1221	35	85	3,8	0,2	6,1	0,0

Fuente. Autor.

Grafica 4. Promedio error absoluto parametros de comparación.

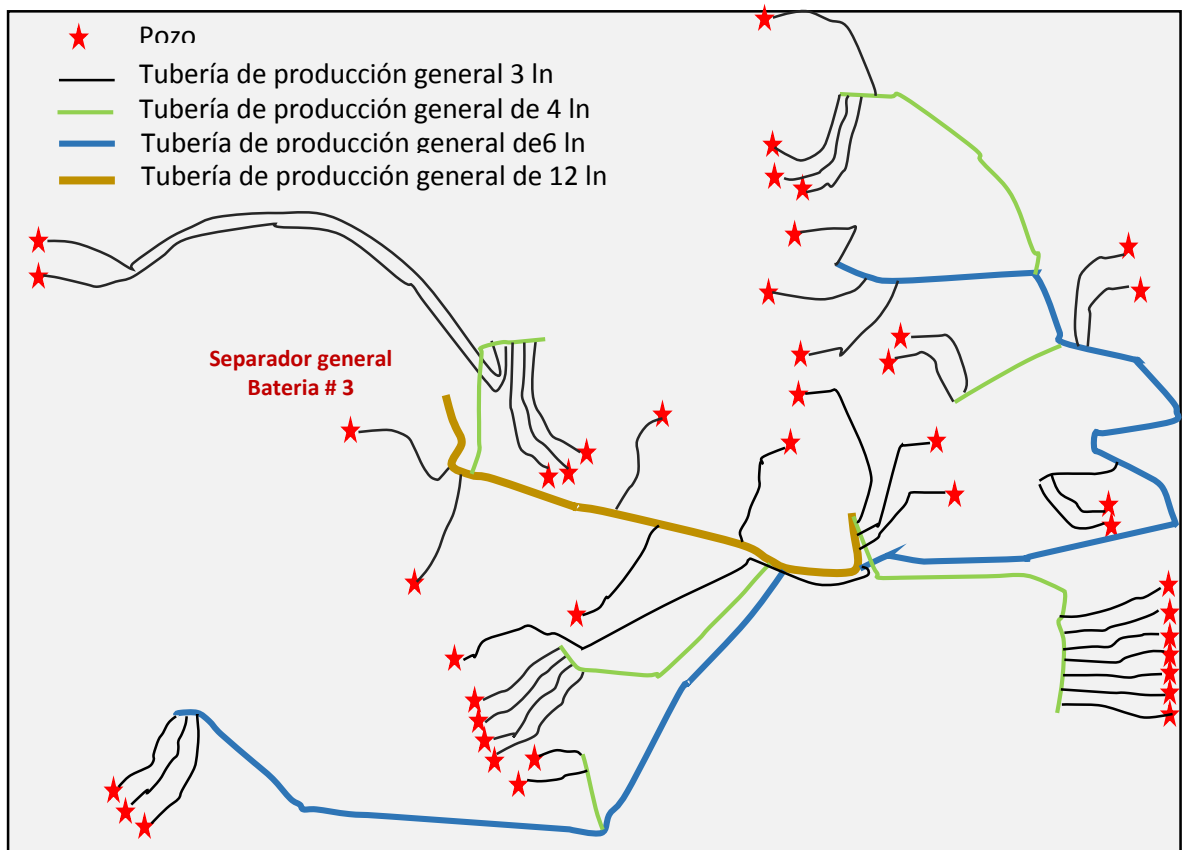


Fuente. Autor.

5. PERFILES DE PRESIÓN RED DE SUPERFICIE.

Los sistemas de producción de un campo petrolero están conformados por una serie de equipos y accesorios de fondo y de superficie como: Tubería de producción, líneas de flujo de superficie, válvulas de seguridad, empaques con grava, estranguladores de flujo, estaciones de separación, equipos de levantamiento artificial, codos, scrubber entre otros. En la figura 19 se muestra un esquema general de la red de pozos de la batería 3, tomado del modelo.

Figura 19. Esquema general modelo de la red de pozos de la batería # 3.



Fuente. Tomado del modelo, editado por el autor.

Estos accesorios facilitan la recuperación y transporte de los fluidos desde el yacimiento hasta las baterías de recolección, sin embargo cada uno de estos

elementos tienen un aporte en la pérdidas de presión presentes en la línea de flujo y afectan la producción de los pozos, la determinación del grado de afluencia de estos elementos puede observarse en el modelo construido.

Estos accesorios facilitan la recuperación y transporte de los fluidos desde el yacimiento hasta las baterías de recolección, sin embargo cada uno de estos elementos tienen un aporte en la pérdidas de presión presentes en la línea de flujo y afectan la producción de los pozos, la determinación del grado de afluencia de estos elementos puede observarse en el modelo construido.

Las pérdidas de presión en la línea juegan un papel importante en los regímenes de flujo depende de las fases presentes y de las velocidades de flujo de dichas fases. A medida que los fluidos producidos recorren la línea se genera pérdidas de presión las cuales causan que se libere paulatinamente el gas que aún se encuentra en solución en el líquido, por esto los patrones de flujo varían.

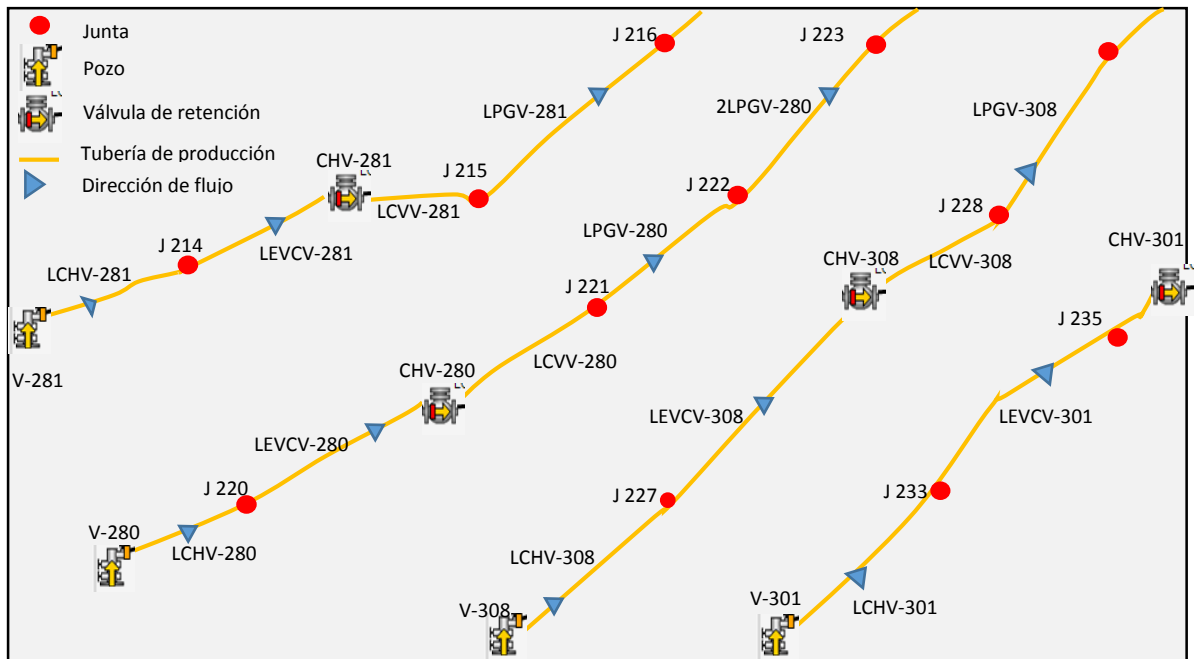
Se corre el modelo ajustado y se revisa sección por sección de la línea que recorre toda la batería tres, con el fin de identificar variaciones de inusuales de presión en dicha red y sus posibles causas.

La figura 21., muestra un esquema de una sección de línea con la respectivo número de las justas que componen el modelo, la nomenclatura usada mostrada en el esquema se encuentra en la tabla 4., del capítulo 3.

Para identificar a que sección de la línea corresponde cada uno de los perfiles de presión obtenidos en el modelo, es necesario conocer el número de las juntas que conformado cada parte de la red.

En la tabla 10 y 11, se muestra las sesiones de la red y el número de las justas que las conforman, como se definió en el capítulo tres las juntas son una herramienta el software que se usa para unir partes de la línea y que no representan ninguna alteración en el modelo, se definen 317 juntas en la construcción del modelo. La figura 20., muestra un esquema general de la red de pozos de la batería 3 tomada del modelo.

Figura 20. Esquema sección de la red de la batería # 3.



Fuente. Tomada del software, editado por el autor.

Tabla 10. Secciones de la línea y el número de las juntas que la conforma.

JUNTAS	COLECTOR
13,19,25,7,26,27,28,29,30,31.	LÍNEA 4 IN COLECTORA GENERAL V-331,V-333,V-334, V-341, FINALIZA COLECTOR GENERAL DE 6 IN QUE VIENE DEL V-307.
55,61,62,63.	LÍNEA DE 4 IN COLECTORA GENERAL, INICIA DESPUÉS DE LEVV-122, FINALIZA DESPUÉS DE LECD4-6.
37,43,49,31,63,70,76,77,78,79,80,81,82,97,98,99,100,101,102,103.	LÍNEA 6 IN COLECTORA GENERAL INICIA DESPUÉS DE LEVV-307 , FINALIZA EN EL COLECTOR DE 12 IN.
109,115,121,127,133,139,145,146,147,148,149,150,151.	LÍNEA DE 4 IN COLECTORA GENERAL, INICIA DESPUÉS DE LEVV-302 Y FINALIZA EN EL COLECTOR DE 12 IN.
186,192,198,199,200,209,210,211.	LÍNEA DE 6 IN COLECTORA GENERAL DE LOS TRILLIZOS, INICIA DESPUÉS DE LEVV-273 Y FINALIZA EN EL COLECTOR DE 12 IN.
203,206,207,208,209.	LÍNEA DE 4 IN COLECTORA GENERAL, INICIA DESPUÉS DE LPGV-269 Y FINALIZA EN LEVV-269-159.

151,157,163,170,180,103,213,240,246, 252,258,259,304,310,317,318.	LÍNEA DE 12 IN GENERAL INICIA DESPUÉS DE LEVL4-C7P Y FINALIZA EN EL SEB3.
219,225,231,237,238,239,240.	LÍNEA DE 4 IN COLECTORA GENERAL, INICIA DESPUÉS DE LEVV-281 Y FINALIZA EN EL COLECTOR DE 12 IN.
265,271,277,289,300,301.	LÍNEA DE 4 IN COLECTORA GENERAL, INICIA EN EL V-317 Y FINALIZA EN LECV-291-298-289-316-317 QUE ENTRA AL COLECTOR DE 12 IN.

Fuente. Autor.

Tabla 11. Inicio y definición de la línea de los pozos y el número de las juntas que las conforman.

POZO	JUNTAS
V-331, INICIA EN LCHV-331 Y FINALIZA EN LEVV-331.	1,2,3,4,5,6,7.
V-333, INICIA EN LCHV-333 Y FINALIZA EL LEVV-333.	8,9,10,11,12,13.
V-334, INICIA EN LCHV-334 Y FINALIZA EN LEVV-334.	14,15,16,17,18,19.
V-341, INICIA EN LCHV-341 Y FINALIZA EN LEVV-341.	20,21,22,23,24,25.
V-307, INICIA EN LCHV-307 Y FINALIZA EN LEVV-307.	32,33,34,35,36,37.
V-57, INICIA EN LCHV-57 Y FINALIZA EN LEVV-57.	38,39,40,41,42,43.
V-153, INICIA EN LCHV-153 Y FINALIZA EN LEVV-153.	44,45,46,47,48,49.
V-122, INICIA EN LCHV-122 Y FINALIZA EN LEVV-122.	50,51,52,53,54,55.
V-56, INICIA EN LCHV-56 Y FINALIZA EN LEVV-56.	56,57,58,59,60,61.
V-262, INICIA EN LCHV-262 Y FINALIZA EN LEVV-262.	64,65,66,67,68,69,70.
V-147, INICIA EN LCHV-147 Y FINALIZA EN LEVV-147.	71,72,73,74,75,76.
V-287, INICIA EN LCHV-287 Y FINALIZA EN LEVV-287.	83,84,85,86,87,88.
V-286, INICIA EN LCHV-286 Y FINALIZA EN LEVV-286.	89,90,91,92,93,94.
V-302, INICIA EN LCHV-302 Y FINALIZA EN LEVV-302.	104,105,106,107,108,109.
V-303, INICIA EN LCHV-303 Y FINALIZA EN LEVV-303.	110,111,112,113,114,115.

V-295, INICIA EN LCHV-295 Y FINALIZA EN LEVV-295.	116,117,118,119,120,121.
V-282, INICIA EN LCHV-282 Y FINALIZA EN LEVV-282.	122,123,124,125,126,127.
V-293, INICIA EN LCHV-293 Y FINALIZA EN LEVV-293.	128,129,130,131,132,133.
V-294, INICIA EN LCHV-294 Y FINALIZA EN LEVV-294	134,135,136,137,138,139.
V-324, INICIA EN LCHV-324 Y FINALIZA EN LEVV-324	140,141,142,143,144,145.
V-266, INICIA EN LCHV-266 Y FINALIZA EN LEVV-266.	152,153,154,155,156,157.
V-268, INICIA EN LCHV-268 Y FINALIZA EN LEVV-268.	158,159,160,161,162,163.
V-224, INICIA EN LCHV-224 Y FINALIZA EN LEVV-224.	164,165,166,167,168,169,170.
V-319, INICIA EN LCHV-319 Y FINALIZA EN LEVV-319.	171,172,173,174,175,176,178,179,180.
V-273, INICIA EN LCHV-273 FINALIZA EN LEVV-273.	181,182,183,184,185,186.
V-271, INICIA EN LCHV-271 FINALIZA EN LEVV-271.	187,188,189,190,191,192.
V-272, INICIA EN LCHV-272 FINALIZA EN LEVV-272.	193.,194,195,196,197,198.
V-269, INICIA EN LCHV-269 FINALIZA EN LPGV-269.	201,202,203.
V-159, INICIA EN LCHV-159 FINALIZA EN LPGV-159.	204,205,206.
V-281, INICIA EN LCHV-281 FINALIZA EN LEVV-281.	214,215,216,217,218,219.
V-280, INICIA EN LCHV-280 FINALIZA EN LEVV-280.	220,221,222,223,224,225.
V-308, INICIA EN LCHV-308 FINALIZA EN LEVV-308.	226,227,228,229,230,231.
V-301, INICIA EN LCHV-301 FINALIZA EN LEVV-301.	232,233,234,235,236,237.
V-225, INICIA EN LCHV-225 FINALIZA EN LEVV-225.	241,242,243,244,245,246.
V-267, INICIA EN LCHV-267 FINALIZA EN LEVV-267.	247,248,249,250,251,252.
V-216, INICIA EN LCHV-216 FINALIZA EN LEVV-216.	253,254,255,256,257,258.
V-317, INICIA EN LCHV-317 FINALIZA EN LEVV-317.	260,261,262,263,264,265.

V-316, INICIA EN LCHV-316 FINALIZA EN LEVV-316.	266,267,268,269,270,271.
V-289, INICIA EN LCHV-289 FINALIZA EN LEVV-289.	272,273,274,275,276,277.
V-291, INICIA EN LCHV-291 FINALIZA EN LEVV-291.	278,279,280,281,282,283,284,285,286,287,288,289
V-298, INICIA EN LCHV-298 FINALIZA EN LEVV-298.	290,291,292,293,294,295,296,297,298,299,300.
V-246, INICIA EN LCHV-246 FINALIZA EN LEVV-246.	311,312,313,314,315,316,317.

Fuente. Autor.

5.1. REVISIÓN PERFILES DE PRESIÓN DE LA RED.

Una vez corrida el modelo el software presenta los resultados obtenidos en una tabla, donde se encuentra l propiedades de la línea tales como: perfiles de presión, regímenes de flujo, holdup de líquido, corte de agua, GOR, entre otras.

El software da la opción de realizar el análisis global de la línea, sin embargo se decide analizar los perfiles de presión parte por parte de la red, con el fin de que el análisis hecho sea preciso. En la tabla 12., muestra las propiedades de la sección de la línea que va desde la junta 206 a la junta 209, la tabla 10 y 9 definen donde inicia y donde termina esta parte del modelo.

Tabla 12. Propiedades sección de línea desde J 206 hasta J 209.

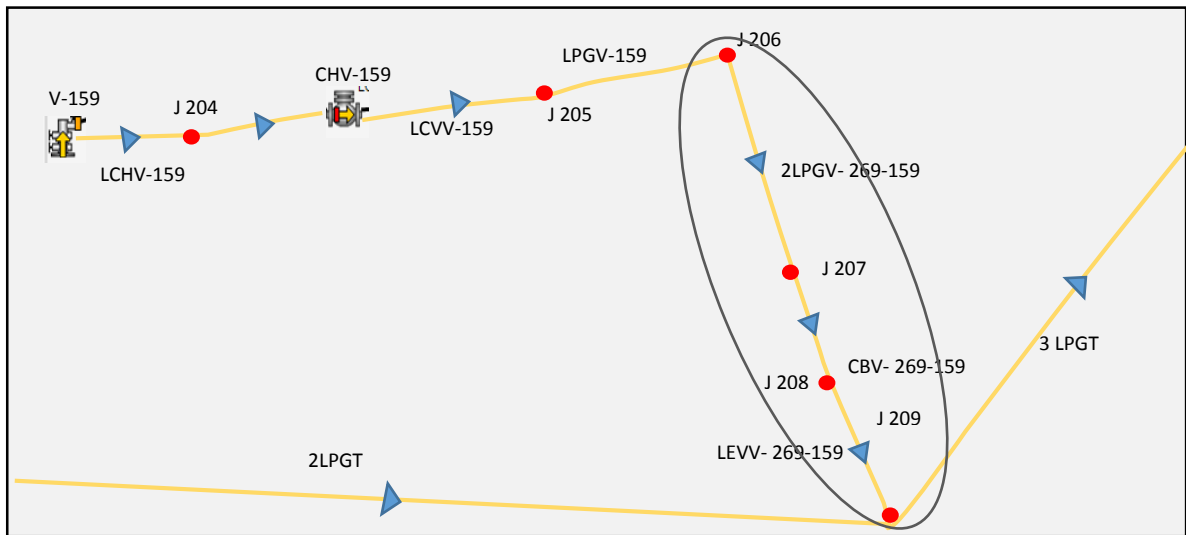
sección Analizada	Partes que de la sección	Distancia (ft)	Presión (psi)	Temperatura (°F)	Velocidad del fluido (ft/s)	Régimen de flujo
J 206 _ J 209	2LPGV-159-269	0	50,083	98,29026	0,235685 5	Transición
J 206 _ J 209		666,012	48,4529 3	96,71922	0,237070 1	Transición
J 206 _ J 209		1476,416	43,2011 2	94,89247	0,242743 4	Transición
J 206 _ J 209	CBV-269-159	1476,416	43,2011 2	94,89247	0,242945 1	Burbuja
J 206 _ J 209		1479,417	41,9534 6	94,88534	0,244161 7	burbuja
J 206 _ J 209		1486,996	41,9531 6	94,86873	0,244367 7	Transición

J 206 _ J 209	LEV-269-159	1489,246	42,8886	94,86422	0,243141	Transición
J 206 _ J 209		1490,778	42,88854	94,86087	0,2431407	Transición

Fuente. Tomados del software editado por el autor.

Como se puede observar en la figura 21., en esta parte representa la seccion de la tubería que viene del pozo V-159 y va hasta la union de este pozo con la linea de produccion general que viene de los pozos V-273, V-272, V-271.

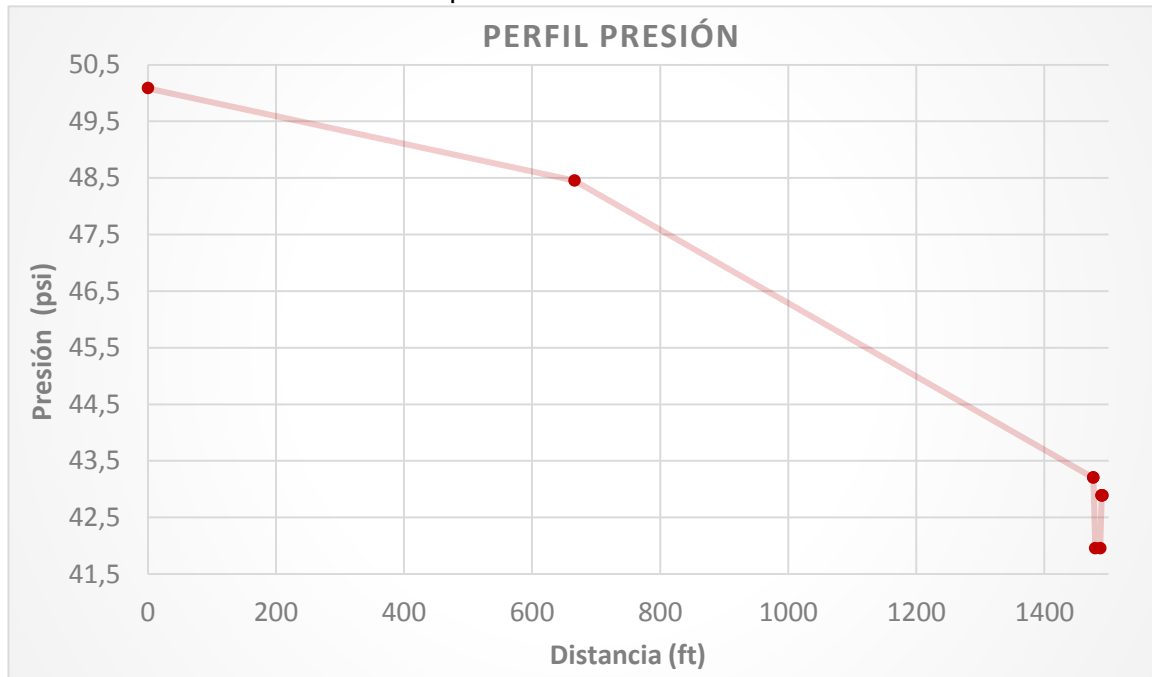
Figura 21. Esquema sección de tubería, ubicación J 206 – J 209.



Fuente. Autor.

El perfil de presiones mostrado en la grafica 5., corresponde a esta parte de la linea, en este se puede observar una caída de presión en el tercer punto.

Grafica 5. Perfil de presión de red desde J 206 hasta J 209.



Fuente. Tomado del Software, editado por el autor.

Una vez revisados los perfiles de presión de cada parte de la red, se identifican pérdidas de presión en todos los manifold, también se puede ver como la presión en cabeza de pozo mayor corresponde al pozo V-307, este pozo es el que se encuentra más alejado a la batería de recolección número tres, por tanto requiere que su presión sea mayor para que el fluido producido llegue hasta la batería, puesto que a mayor distancia mayor caída de presión.

Se revisaron todos los perfiles de presión parte por parte de la red, se observa que en todas las secciones que finalizan con un manifold se presenta una leve caída de presión, esto es causado por las válvulas y demás facilidades que lo conforman dicho manifold. Los cambios de presión observados en la red se consideran despreciables.

6. EVALUACION HIDRAULICA PATRONES DE FLUJO.

Se realiza una evaluación hidraulica de patrones de flujo, con el fin de identificar la zonas de la linea donde se pueden presentar acomulación de fluidos que produzca proliferacion de bacterias y eventos futuros de ruptura en la linea.

En la tabla 13., se observan los 4 patrones de flujo que se presntan a lo largo de la linea de superficie de la bateria # 3, (Estratificado, transición, intermitente y tapon). Los regimenes de flujo presentes son los que se encuentran normalmente en este tipo de tuberias y operaciones y no prepresentan ningun riesgo para la integridad de la misma,excepto el patron de flujo tipo tapon ya que este puede causar golpe de ariete en la tuberia y generar la ruptura posterior de esta.

Otro patron de flujo que causa problemas es el tipo deslizamiento (slippage), ya que se generan velocidades de flujo bajas y altas, que pueden ocasionar estancamientos y a su vez rompimiento de la linea por presencia de bacterias. Se puede ver que el flujo tapon se presenta donde estan las valvulas de los manifold, en los codos y donde se presenta cambio brusco de altura.

Tabla 13. Patrones de flujo linea de producción general bateria #3.

Rama	Líneas de flujo que conforman la rama	Patrones de flujo	Rama	Líneas de flujo que conforman la rama	Patrón de flujo
J 115_J 121	V-303-295	Transición	J 94_J 97	2LPGV-287-286	Transición
		Transición			Transición
J 163_J 170	2CL12	Estratificado		CBV-287-286	Tapón
		Estratificado			Tapón
J 7_J 31		Estratificado			Transición
		Estratificado			Tapón
		Estratificado		LEV-287-286	Indefinido
		Estratificado			Intermitente

		Estratificado			Intermitente
		Estratificado	J 258_J 304	5LPG-CL12	Transición
		Estratificado			Transición
		Estratificado			Transición
		Estratificado		6LPG-CL12	Transición
		Estratificado			Transición
		Estratificado	J 133_J 139	V-293-294	Transición
		Estratificado			Transición
		Tapón	J 180_J 103	4CL12	Estratificado
		Tapón			Estratificado
		Estratificado	J 121_J 127	V-295-282	Transición
		Tapón			Transición
J 145_J 157	1LPG4-C7	Transición	J 76_J 97	6LPG6	Intermitente
		Transición			Intermitente
	2LPG4-C7P	Transición		7LPG6	Intermitente
		Transición			Intermitente
	3LPG4-C7P	Transición		8LPG6	Intermitente
		Transición			Intermitente
		Transición			Intermitente
	LECL4-C7P	Transición		9LPG6	Tapón
		Transición			Tapón
	CBL4-C7P	Tapón			Intermitente
		Tapón		10LPG6	Intermitente
		Transición			Intermitente
		Tapón			Intermitente
	LEVL4-C7P	Transición			Intermitente
		Transición		11LPG6	Intermitente
	1CL12	Indefinido			Intermitente
		Estratificado			Intermitente
		Estratificado		LEC6	Intermitente
J 231_J 237	V-308-301	Transición			Intermitente
		Transición	J 213_J 240	2LPG-C12	Transición

J 252_J 258	4LPG-CL12	Transición			Transición
		Transición	J 300_J 304	LPGV-291-CL14	Estratificado
		Transición			Estratificado
J 70_J 76	5LPG6	Intermitente		LPGV-291-289-298-316-317	Estratificado
		Intermitente			Estratificado
J 61_J 63	2LPGV 56-122	Transición		CBV-291-289-298-316-317	Tapón
		Transición			Tapón
		Transición			Estratificado
	LECD4-6	Transición			Tapon
		Transición		LECV-291-298-289-316-317	Estratificado
J 103_J 213	LPG-CL12	Transición			Estratificado
		Transición	J 157_J 163	INICIO COLECTOR 12	Estratificado
		Transición			Estratificado
		Transición	J 43_J 49		Transición
		Transición			Transición
		Transición			Tapon
		Transición			Transición
		Transición			Transición
		Transición			Transición
J 49_J 31	2LPG6	Intermitente			Transición
		Intermitente			Transición
		Intermitente			Transición
		Intermitente			Transición
J 25_J 7	1 LPGV-334-333-341	Estratificado			Transición
		Estratificado			Tapon
J 237_J 240	LPGV-280-281-308-301	Transición	J 97_J 103	12LPG6	Intermitente
		Transición			Intermitente
		Transición			Intermitente
		Transición			Intermitente
		Transición		13LPG6	Intermitente
		Transición			Intermitente
		Transición			Intermitente

	2LPGV-280-281-308-301	Transición			Intermitente
		Transición		14LPGV	Intermitente
		Transición			Intermitente
		Transición			Intermitente
	CBV-280-201-301-308	Transición			Intermitente
		Transición		15LPG6	Intermitente
		Tapón			Intermitente
		Transición			Intermitente
		Tapón		CBL6-L12	Tapón
J 304_J 310	7LPG-CL12	Transición			Tapón
		Transición			Intermitente
J 170_J 180	3CL12	Estratificado			Tapón
		Estratificado		LEV-CL6	Intermitente
J 310_J 317	LPGV-246-264	Transición			Intermitente
		Transición	J 121_J 127	V-295-282	Transición
J 209_J 213	3LPGT	Estratificado			Transición
		Estratificado	J 139_J 145	V-294-324	Transición
	4LPGT	Estratificado	J 240_J 246	2LPG-CL12	Transición
		Estratificado			Transición
		Estratificado	J 246_J 252	3LPG-CL12	Transición
		Estratificado			Transición
		Estratificado			Transición
		Estratificado			Transición
	CBT	Estratificado			Transición
		Estratificado	J 271_J 277	LPGV-289-316	Estratificado
		Estratificado			Estratificado
		Estratificado	J 127_J 133	V-282-293	Transición
		Estratificado			Transición
	LEVCBT	Estratificado	J 289_J 300	LPGV-298-291	Estratificado
		Estratificado			Estratificado

Fuente. Tomada del software y editado por el Autor.

Se observa en los 42 pozos los patrones de flujo que se dan desde la cara de la formación hasta la cabeza del pozo y se observó que todos los pozos coinciden en dos patrones de flujo (burbuja y liquido).

En la tabla 14., se muestran los patrones de flujo presentes en los pozos V-291, V-159 y V-224, estos patrones de flujo no representan ningun riesgo para la integridad de la tubería, ya que en este tipo de operación es normal que a medida que el fluido avanza por la tubería de producción experimente perdidas de presión y se libere gas generando así el flujo burbuja.

Tabla 14. Patrones de flujo pozos V-159, V-224, V- 291.

Pozo	Equipos de pozo	Elevación	Patrón de flujo	Pozo	Equipos de pozo	Elevación	Patrón de flujo
V-291		-6142,17	Indefinido	V-159		-5791,08	Indefinido
	V-291	-6142,17	Indefinido		V-159	-5791,08	Indefinido
	Casing 1	-6142,17	Burbuja		Casing 1	-5791,08	Burbuja
		-6104,47	Burbuja			-5517,08	Burbuja
		-6088,27	Burbuja			-4517,08	Burbuja
		-5 998,87	Burbuja			-3517,08	Burbuja
		-5910,57	Burbuja			-2517,08	Burbuja
		-5822,77	Burbuja			-2517,08	Indefinido
		-5734,47	Burbuja		Rpmp V-159	-2517,08	Indefinido
		-5645,37	Burbuja	V-224		-4892,83	Indefinido
		-5556,07	Burbuja		V-224	-4892,83	Indefinido
		-5466,77	Burbuja		Casing 1	-4892,83	Liquido
		-5377,37	Burbuja			-4174,03	Liquido
		-5287,77	Burbuja			-3174,03	Liquido
		-5197,87	Burbuja		Tubing	-3174,03	Indefinido
		-5159,97	Burbuja			-3174,03	Liquido
	Spr V-291	-5159,97	Indefinido			-3173,83	Liquido
	Tubing 1	-5159,97	Burbuja		Rpmp V-224	-3173,83	Indefinido

		-5158,87	Burbuja				
		-5158,87	Burbuja				
	PCP V-291	-5158,87	Burbuja				
		-5108,47	Burbuja				

Fuente. Tomada del software y editado por el Autor.

7. VELOCIDADES DE FLUJO DE LA RED.

En cada una de las líneas que conforman el modelo se obtiene valor de velocidad de flujo, un valor de velocidad erosional máxima y un valor de razón de velocidad erosional (EVR), Estas son usadas para analizar la capacidad de transporte de fluido de la tubería de producción.

Con el fin de hacer el diseño hidráulico óptimo de una línea de producción, se deben tener en cuenta la producción actual y los pronósticos de producción del campo, ya que las velocidades de flujo son función del caudal.

Si esto no se hace se pueden presentar problemas como velocidades erosionales máximas o críticas, estas son las velocidades máximas permisible a través de la tubería. Cuando se presentan velocidades de flujo en la línea mayores a la crítica se compromete la integridad de la tubería, ya que se da el proceso erosión en las paredes internas de la tubería.

Si la velocidad de flujo en la tubería es muy baja también se generan problemas con depositacion de finos, corrosión y ruptura la línea y patrones de flujo no deseados. Por esto se debe establecerse criterios de diseños de las líneas de un límite mínimo y un límite máximo en las velocidades de flujo.

En la norma API-RP 14E se definen los criterios de velocidades mínimas y máximos en el diseño de líneas para diferentes fluidos como se muestra en la tabla 15.

La constante empírica C, en la tabla 15., es función de las condiciones de flujo, como tipo de fluido (gas, líquido o multifasico), el ambiente (corrosivo, no corrosivo), tipo de aleación de la que están hechas las tuberías, tipos de dispositivos de flujo (tubos rectos, tubos curvos, válvulas, codos etc.) y si la tubería presenta o no presencia de sólidos en la corriente de flujo.

Tabla 15. Criterio de diseño de líneas de flujo para diferentes fluidos.

Tipo de fluido	Criterio rango de velocidad (ft/s) ¹	Modelo calculo
Gas	$V_G < V_C$	Darcy
Líquido	$3 \text{ ft} \leq V_L \leq 15 \text{ ft}$	Darcy
Gas/líquido	$10 \text{ ft} \leq V_F \leq V_C$	HTFS
Alivio (Gas /Líquido)	$V \leq 0.8 \text{ Mach}$	Beggs & Brill
(1) $V_C = \frac{C}{\rho^{0.5}}$, criterio de flujo tomado de API RP 14E		

Fuente. API 14E, editada por el autor.

La densidad del fluido de las formaciones guaduas y tune, es 58,5 lb/ft³ y 59.8 lb/ft³ respectivamente, para el presente trabajo se usó el valor mayor y el valor de constante C se obtiene según las condiciones de flujo mencionadas anteriormente y es de 150, por tanto la velocidad crítica (V_C) para la red de la batería tres es de 19.39 ft/ seg.

7.1. VELOCIDADES DE FLUJO RED DE FLUJO.

Una vez corrido el modelo ajustado este nos permite conocer las velocidades de flujo presentes en cada parte de la red, como se muestra en la tabla 16.

Tabla 16. Velocidades de flujo red flujo por secciones de línea.

LÍNEA	EQUIPO	VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO (FT/S)	RÉGIMEN DE FLUJO	LÍNEA	EQUIPO	VELOCIDAD MEDIA DE FLUJO (FT/S)	RÉGIMEN DE FLUJO
J 170 J 180	3CL12	0,7	estratificado	J 97 J 103	12LPG6	6,5	Intermitente
		0,7	estratificado			6,5	Intermitente
J 19 J 25	UNEV-334-341	65,9	estratificado			6,5	Intermitente
		65,9	estratificado			6,7	Intermitente

J 277 J 289	LPGV-289-298	1,0	estratificado		13LPG6	6,7	Intermitente
		1,0	estratificado			6,7	Intermitente
J 157 J 163	INICIO COLECTOR 12	0,6	estratificado			6,7	Intermitente
		0,6	estratificado			6,8	Intermitente
J 49 J 31	2LPG6	2,2	Intermitente		14LPGV	6,8	Intermitente
		2,2	Intermitente			6,9	Intermitente
		2,4	Intermitente			7,0	Intermitente
		2,4	Intermitente			7,0	Intermitente
J 31 J 63	3LPG6	13,6	Intermitente			7,0	Intermitente
		13,6	Intermitente		15LPG6	7,0	Intermitente
		27,9	Intermitente			7,0	Intermitente
		32,6	Intermitente			7,0	Intermitente
J 70 J 76	5LPG6	4,8	Intermitente		CBL6-L12	7,0	Tapón
		4,8	Intermitente			7,0	Tapón
J 76 J 97	6LPG6	4,8	Intermitente			7,0	Intermitente
		4,9	Intermitente			7,0	Tapón
	7LPG6	4,9	Intermitente		LEV-CL6	7,0	Intermitente
		5,2	Intermitente			7,0	Intermitente
	8LPG6	5,2	Intermitente	J 25 J 7	1 LPGV-334-333-341	0,8	Estratificado
		5,2	Intermitente			0,8	Estratificado
		5,2	Intermitente	J 43 J 49		1,9	Transición
	9LPG6	5,2	Tapón			1,9	Transición
		5,1	Tapón			1,9	Tapón
		5,2	Intermitente			2,0	Transición
	10LPG6	5,2	Intermitente			2,0	Transición
		5,1	Intermitente			2,0	Transición
		5,1	Intermitente			2,0	Transición
		5,1	Intermitente			2,0	Transición
	11LPG6	5,1	Intermitente			2,0	Transición
		5,1	Intermitente			2,0	Transición
		5,1	Intermitente			2,0	Transición
	LEC6	5,1	Intermitente			2,1	Tapón
		5,2	Intermitente	J 271 J 277	LPGV-289-316	0,8	Estratificado

<u>J 289 J 300</u>	LPGV-298-291	1,2	Estratificado			0,8	Estratificado
		1,2	Estratificado	<u>J 145 J 157</u>	1LPG4-C7	3,8	Transición
<u>J 237 J 240</u>	LPGV-280-281-308-301	2,7	Transición			3,9	Transición
		2,7	Transición		2LPG4-C7P	3,9	Transición
		2,7	Transición			3,9	Transición
		2,8	Transición		3LPG4-C7P	3,9	Transición
		2,8	Transición			3,9	Transición
		2,8	Transición			3,9	Transición
		2,8	Transición		LECL4-C7P	3,9	Transición
	2LPGV-280-281-308-301	2,8	Transición			3,9	Transición
		2,8	Transición		CBL4-C7P	3,9	Tapón
		2,8	Transición			3,9	Tapón
		2,8	Transición			3,9	Transición
		2,8	Transición			3,9	Tapón
	CBV-280-201-301-308	2,8	Transición		LEVL4-C7P	3,9	Transición
		2,8	Transición			3,9	Transición
		2,8	Tapón		1CL12		Indefinido
		2,8	Transición			0,4	Estratificado
		2,8	Tapón			0,4	Estratificado
<u>J 61 J 63</u>	2LPGV 56-122	2,0	Transición	<u>J 133 J 139</u>	V-293-294	2,6	Transición
		2,0	Transición			2,6	Transición
		2,0	Transición	<u>J 213 J 240</u>	2LPG-C12	2,6	Transición
	LECD4-6	2,0	Transición			2,6	Transición
		2,0	Transición	<u>J 231 J 237</u>	V-308-301	2,4	Transición
<u>J 225 J 231</u>	V-280-308	1,1	estratificado			2,4	Transición
		1,1	estratificado	<u>J 163 J 170</u>	2CL12	0,7	Estratificado
<u>J 240 J 246</u>	2LPG-CL12	2,9	Transición			0,7	Estratificado

		2,9	Transición	J 246 J 252	3LPG-CL12	2,9	Transición
J 94 J 97	2LPGV-287-286	2,7	Transición			2,9	Transición
		2,8	Transición			2,9	Transición
	CBV-287-286	2,8	Tapón			2,9	Transición
		2,8	Tapón			2,8	Transición
		2,8	Transición			2,9	Transición
		2,8	Tapón	J 7 J 31		1,8	Estratificado
	LEVV-287-286		Indefinido			1,8	Estratificado
		4,8	Intermitente			1,8	Estratificado
		4,8	Intermitente			1,9	Estratificado
J 139 J 145	V-294-324	2,7	Transición			1,8	Estratificado
		2,7	Transición			1,8	Estratificado
J 121 J 127	V-295-282	1,6	Transición			1,8	Estratificado
		1,6	Transición			1,8	Estratificado
J 103 J 213	LPG-CL12	2,7	Transición			1,8	Estratificado
		2,6	Transición			1,8	Estratificado
		2,6	Transición			1,8	Estratificado
		2,6	Transición			1,8	Estratificado
		2,6	Transición			1,8	Tapón
		2,6	Transición			1,8	Tapón
		2,6	Transición			1,8	Estratificado
		2,6	Transición			1,8	Tapón
		2,6	Transición				

Fuente. Tomados del software, editado por el autor.

La mayoría de los tramos de la tubería evaluados, se encuentran trabajando en buenas condiciones, sin embargo se puede observar que en algunas partes de la red se presenta velocidades que sobrepasan la velocidad crítica establecida, como en la línea que va desde la junta 9 hasta la junta 25 y la línea que va desde la junta 23 hasta la junta 36.

La altas velocidades en estas líneas pueden generar desgaste erosional en las paredes internas de la tubería en presencia de sólidos.

También se puede observar que se presenta velocidades de flujo muy baja como por ejemplo en la línea que va desde la junta 7 hasta la 131, desde la junta 163 hasta la junta 170, en la línea que va desde la junta 43 a la junta 47. Estas velocidades promueven a la depositación de finos y arena en la tubería y posterior corrosión de la misma.

8. CONCLUSIONES.

A pesar de que la red evaluada fue instalada sin ninguna simulación hidráulica previa se encuentra en funcionamiento adecuado y no se presenta problemas de contrapresión en cabeza de pozos que afecten la producción.

Se evidencia en los perfiles de presión de la línea que la distribución hidráulica de red es buena, según la capacidad de transporte del fluido

Se ajusta el modelo a los datos de presión en cabeza de pozo tomado en campo, obteniendo como error relativo mayor 1.6%.

El modelo puede ser usado para realizar futuras simulaciones, con el fin optimizar la hidráulica de la batería, con el fin de aumentar la producción de crudo.

Las pérdidas de presión en las líneas son normales y se deben al tipo de fluido, ya que tiene un corete de agua alto y no es muy viscoso, lo que facilita que el fluido sea transportado hasta el separador de la batería.

Se ajusta el modelo a los datos de presión en cabeza de pozo tomado en campo, obteniendo como error absoluto mayor 1.6%.

Las velocidades erosionales en la línea se encuentra en las líneas conformadas por las juntas que van desde la junta 9 hasta la junta 25 y la línea que va desde la junta 23 hasta la junta 36, esto se debe a que dicha línea tiene un diámetro interno menor a (3" OD), mientras la línea colectora a la que se une es (6" OD).

9. RECOMENDACIONES.

En caso de que alguno de los pozos quede inactivo se recomienda correrlo nuevamente con el pozo inactivo, para pronosticar como se ve afectada la hidráulica del sistema y a su vez la producción de esta batería.

Se recomienda hacer corridas del modelo periódicamente, con el fin de verificar las presiones del sistema y prever situaciones no deseadas.

Se recomienda a la empresa evaluar la factibilidad de cambiar la tubería de producción de 3", que lleva el fluido de los pozos desde cabeza de pozo hasta el manifold.

Se recomienda actualizar el modelo de acuerdo a las necesidades operativas del campo periódicamente.

Se recomienda usar el modelo como punto de partida para futuras simulaciones de proyectos a realizar en la batería #3 de Campo Velásquez, por ejemplo, la inclusión de nuevos pozos y modificaciones en dicha línea.

BIBLIOGRAFIA.

BEGGES AND BRILL. Two phase flow in pipes. Sesta edición. Enero 1991, Cap 3 y 4.

BEGGS DALE B. " Production optimization using nodal analysis" second edition, 1991. Cap 3.

CABARCAS SIMANCAS, Manuel Enrique. Módulo Análisis Nodal, Esp. PRODUCCIÓN H'cs, julio de 2012.

FUENTES DIAZ, David. "Flujo Multifasico". Instructor Especialización en producción de Hidrocarburos. Bucaramanga Agosto de 2008.

PAEZ CAPACHO, Ruth. "Modelo Analisis Nodal". Instructor especialización en producción de Hidrocarburos. Bucaramanga octubre de 2008.

PETALAS, Nicholas. AZIZ, Khalid A Mechanistic Model for Multiphase Flow in Pipes,.Stanford University.1997.

PETER GRIFFITH. Multiphase Flow in Pipes, Massachusetts Inst. of Technology SPE N° 12895. 1984

Ph.D. MARQUEZ RICHARD, Análisis nodal de sistemas de producción, Nivel Básico. Febrero 2008.

YAHAYA USMAN, Anes. AL GAHTANI, Abdallah. Empirical correlations & mechanistic models of vertical multiphase flow". April 2010.