ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA DE LOS FLUIDOS DESDE UN CLUSTER HACIA LA ESTACIÓN EN UN CAMPO DE LA CUENCA LLANOS

WILLIAM GIOVANNY RODRIGUEZ PAEZ

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
MAESTRIA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS
BUCARAMANGA
2022

ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA DE LOS FLUIDOS DESDE UN CLUSTER HACIA LA ESTACIÓN EN UN CAMPO DE LA CUENCA LLANOS

WILLIAM GIOVANNY RODRIGUEZ PAEZ

Trabajo de grado presentado como requisito para optar el TÍTULO DE MAGISTER EN INGENIERIA DE PETROLEO Y GAS

Director
LUIS JOSÉ ABAÚNZA SEPÚLVEDA MSc.
Ingeniero de Petróleos

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICOQUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETROLEOS
MAESTRIA EN INGENIERÍA DE PETRÓLEO Y GAS
BUCARAMANGA
2022

AGRADECIMIENTOS

JUAN ENRIQUE LOPEZ, ingeniero de Yacimientos del WPG y principal promotor para la realización de esta Monografía, siempre brindando su orientación y seguimiento a este proyecto.

LUIS JOSÉ ABAÚNZA SEPÚLVEDA, director de este proyecto, por haber brindado la orientación para desarrollar la Monografía.

CARLOS PALACIO, ingeniero de Producción del WPG, por su colaboración para el desarrollo de este proyecto.

Y a todas aquellas personas que de alguna manera me apoyaron para la elaboración de esta Monografía.

DEDICATORIA

A **DIOS** por darme salud y vida

A mi Padre y a mi Madre que siempre han creído y confiado en mí.

A mis Hijos: Isabella y Juan Camilo que son mi motor de vida.

A Sandra por su amor, dedicación y por estar en las buenas como en las malas.

A todas esas personas que contribuyeron con un granito de arena para la culminación de esta tesis de grado.

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	21
1. OBJETIVOS	23
1.1 OBJETIVO GENERAL	23
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	23
2. JUSTIFICACIÓN	24
3. ALCANCE	25
4. GENERALIDADES DEL CAMPO LA SABANA Y ANÁLISIS DE LOS HISTÓRICOS DE PRODUCCIÓN DE ACEITE Y AGUA DE LOS POZOS LIMANA.	26
4.1 GENERALIDADES DEL CAMPO LA SABANA.	26
4.2 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LOS POZOS LIMANA EN EL CAMPO LA SABANA.	30
4.2.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX1	30
4.2.2 Construcción del pozo LIMANA-XX1, completamiento inicial e intervenciones posteriores	30
4.2.3 Intervención del pozo LIMANA-XX1 y “well services”	32
4.3 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX2 EN EL CAMPO LA SABANA.	32
4.3.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX2.	33
4.3.2 Construcción del pozo LIMANA-XX2, completamiento inicial e intervenciones posteriores.	34
4.3.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services”.	35
4.4 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX3 EN EL CAMPO LA SABANA.	36
4.4.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX3.	36
4.4.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services”.	40
4.5 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LOS POZOS LIMANA-XX4H EN EL CAMPO LA SABANA.	41
4.5.1 Producción histórica de LIMANA-XX4H.	41
4.5.2 Construcción del pozo LIMANA-XX4H, completamiento inicial e intervenciones posteriores	42

4.5.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services”. 43
4.6 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX5H EN EL CAMPO LA SABANA. 44
4.6.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX5H. 44
4.6.2 Construcción del pozo LIMANA-XX5H, completamiento inicial e intervenciones posteriores. 45
4.6.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services”. 47
4.7 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX6H EN EL CAMPO LA SABANA. 48
4.7.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX6H. 48
4.7.2 Construcción del pozo LIMANA-XX6H, completamiento inicial e intervenciones posteriores. 49
4.7.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services”. 50
4.8 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX7 EN EL CAMPO LA SABANA. 51
4.8.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX7. 51
4.8.2 Construcción del pozo LIMANA-XX7, completamiento inicial e intervenciones posteriores. 52
4.8.3 Instalación de bombas electro sumergibles y well services. 53
4.9 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX8 EN EL CAMPO LA SABANA. 54
4.9.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX8. 55
4.9.2 Construcción del pozo LIMANA-XX8, completamiento inicial e intervenciones posteriores. 56
4.9.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services”. 57
4.10 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX9 EN EL CAMPO LA SABANA. 58
4.10.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX9. 58
4.10.2 Construcción del pozo LIMANA-XX9, completamiento inicial e intervenciones posteriores. 59
4.10.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services”. 60
4.11 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-X10 EN EL CAMPO LA SABANA. 61

4.11.1 Producción histórica del pozo LIMANA-X10. 62
4.11.2 Construcción del pozo LIMANA-X10, completamiento inicial e intervenciones posteriores. 62
4.11.3 Instalación de bombas electro sumergibles y “well services 64
4.12 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA Y DEL BLOQUE 65
4.12.1 Geología General 65
4.12.2 Estratigrafía y Descripción Litológica 65
4.12.3 Formación Carbonera 66
5. ESTUDIO DE LOS PROCESOS ACTUALES DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ESP Y LA APLICACIÓN DE ANÁLISIS NODAL 71
5.1 ANÁLISIS NODAL 71
5.1.1 Pérdidas de Presión en un sistema de Producción 71
5.2 COMO REALIZAR EL PROCEDIMIENTO PARA UN ANÁLISIS NODAL 73
5.2.1 Selección del nodo solución 73
5.2.2 Construcción de las curvas Inflow y Outflow o curvas de oferta y demanda 73
5.2.3 Nodos de solución y Nodos Funcionales 74
5.2.4 El Skin factor 74
5.2.5 Ley de Darcy 75
5.3 MODELAMIENTO DEL IPR 76
5.3.1 Índice de productividad IP 76
5.3.2 Inflow Performance Relationship (IPR). 77
5.3.3 Método de Vogel. 77
5.3.4 Método de Vogel Compuesto 77
5.3.5 Método de Fetkovich 78
5.4 ANALISIS DE DIFERENTES TIPOS DE TUBERIA DISPONIBLES EN EL MERCADO Y SU DESEMPEÑO TEÓRICO ANTE LOS FLUIDOS DE PROCESO 79
5.4.1 Trazado de la línea colectora y condiciones de trabajo. 82
5.4.2 Tubería en “Liner” de Polietileno: 83
5.4.3 Tubería recubierta internamente 83
5.4.4 Tubería de polietileno con malla de acero 83
5.4.5 Tubería flexible de polietileno reforzado con kevlar 84

6. ANALISIS NODAL DE SENSIBILIDADES DE LOS POZOS LIMANA CON SIMULACIONES REALIZADAS TENIENDO EN CUENTA DIFERENTES FRECUENCIAS (HZ) Y PRESIONES EN CABEZA DE POZO WHP. 85
6.1 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (54 HZ) Y (59 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA PARA EL POZO LIMANA-XX1. 85
6.1.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX1. 86
6.2 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (43 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX2. 89
6.2.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX2. 90
6.3 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (44 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX3. 92
6.3.3.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX3 93
6.3.4 Sensibilidad de frecuencia constante (48 Hz) y (55 Hz) con diferentes presiones en cabeza en el pozo LIMANA-XX4H. 95
6.3.4.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX4H. 96
6.3.5 Sensibilidad de frecuencia constante (30 Hz) y (50 Hz) con diferentes presiones en cabeza en el pozo LIMANA-XX5H. 98
6.3.5.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX5H 99
6.3.6 Sensibilidad de frecuencia constante (55.5 Hz) y (62 Hz) con diferentes presiones en cabeza en el pozo LIMANA-XX6H. 101
6.3.6.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX6H. 102
6.3.7 Sensibilidad de frecuencia constante (42 Hz) y (55 Hz) con diferentes presiones en cabeza en el pozo LIMANA-XX7. 104
6.3.7.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX7. 105
6.3.8 Sensibilidad de frecuencia constante (46 Hz) y (55 Hz) con diferentes presiones en cabeza en pozo LIMANA-XX8. 108

6.3.8.1 Sensibilidad de Presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en LIMANA-XX8. 108
6.3.9 Sensibilidad de frecuencia constante (44 Hz) y (55 Hz) con diferentes presiones en cabeza en el pozo LIMANA-XX9. 110
6.3.9.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX9. 111
6.3.10 Sensibilidad de frecuencia constante (52 Hz) y (61 Hz) con diferentes presiones en cabeza en el pozo LIMANA-XX9. 113
6.3.10.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-X10. 114
7. PROPUESTA DE RE-DISEÑO DE LA LÍNEA ACTUAL DE PRODUCCIÓN PARA LOS POZOS LIMANA. 117
7.1 REALIZACIÓN DE SENSIBILIDADES CON EL DIÁMETRO DE LA LÍNEA ACTUAL DE 6 PULGADAS CONSIDERANDO SU PRODUCCIÓN MAS APROXIMADA CON EL SOWFTARE GAP. 117
7.2 REDISEÑO LÍNEAS DE SUPERFICIE POZOS LIMANA. 121
7.2.1 Primer escenario, Línea de 6 pulgadas propuesta. 121
7.2.2 Segundo escenario Línea de 8 pulgadas propuesta. 126
7.2.3 Tercer escenario Línea de 10 Pulgadas propuesta 130
7.2.4 Cuarto escenario, Facilidades Tempranas 134
7.2.5 Velocidades de flujo en los escenarios propuestos paralelamente a la línea actual de 6 pulgadas. 137
8. EVALUACIÓN FINANCIERA PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS PLANTEADOS EN EL CAMPO LA SABANA 139
9. ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 6 PULGADAS 144
9.1 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 8 PULGADAS 145
9.2 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 10 PULGADAS 146
9.3 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA CONSTRUIR FACILIDADES TEMPRANAS 147
9.4 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 6 PULGADAS CON UN POZO ADICIONAL PERFORADO. 147
9.5 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 8 PULGADAS CON UN POZO ADICIONAL PERFORADO. 149

9.6 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 10 PULGADAS CON DOS POZOS ADICIONALES PERFORADOS 151
9.7 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA CONSTRUIR FACILIDADES TEMPRANAS CON DOS POZOS ADICIONALES PERFORADOS 152
9.7 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA CONSTRUIR FACILIDADES TEMPRANAS CON DOS POZOS ADICIONALES PERFORADOS 153
9.8 RECOMENDACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE LA CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA DE FLUIDOS BASADO EN EL ESCENARIO MAS FACTIBLE. 154
10. CONCLUSIONES 155
11. RECOMENDACIONES 156
BIBLIOGRAFIA 157

LISTA DE TABLAS

Pág.

Tabla 1. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX1. 32

Tabla 2. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX2 36

Tabla 3. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX3 40

Tabla 4. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX4H 43

Tabla 5. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX5H 47

Tabla 6. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX6H 50

Tabla 7. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX7 54

Tabla 8. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX8. 57

Tabla 9: Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX9. 61

Tabla 10. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-X10 64

Tabla 11. Materiales alternativos para tubería. 81

Tabla 12. Parámetros campo La Sabana 83

Tabla 13. Predicción de resultados frecuencia 54 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX1 85

Tabla 14. Predicción de resultados frecuencia 59 Hz con diferentes WHP 86

Tabla 15. Predicción de resultados WHP 150 psi pozo LIMANA-XX1. 86

Tabla 16. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX1. 87

Tabla 17. Predicción de resultados WHP 250 psi LIMANA-XX1 87

Tabla 18. Predicción de resultados WHP 316 psi pozo LIMANA-XX1 87

Tabla 19. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX1. 88

Tabla 20. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX1. 88

Tabla 21. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX1 88

Tabla 22. Predicción de resultados frecuencia 43 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX2. 89

Tabla 23. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX2 90

Tabla 24. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX2 90

Tabla 25. Predicción de resultados WHP 287 psi pozo LIMANA-XX2 91

Tabla 26. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX2 91
Tabla 27. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX2 91
Tabla 28. Predicción de Resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX2. 92
Tabla 29 Predicción de resultados frecuencia 44 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX3. 92
Tabla 30. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX3 93
Tabla 31. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX3 93
Tabla 32. Predicción de resultados WHP 287 psi pozo LIMANA-XX3 94
Tabla 33. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX3 94
Tabla 34. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX3. 94
Tabla 35. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX3 95
Tabla 36. Predicción de resultados frecuencia 48 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX4H 95
Tabla 37. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX4H 96
Tabla 38. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX4H 96
Tabla 39. Predicción de resultados WHP 291 psi pozo LIMANA-XX4H. 97
Tabla 40. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX4H 97
Tabla 41. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX4H 97
Tabla 42. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX4H 98
Tabla 43. Predicción de resultados frecuencia 30 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX5H 98
Tabla 44. Predicción de resultados frecuencia 50 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX5H. 99
Tabla 45. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX5H. 99
Tabla 46. Predicción de resultados WHP 305 psi pozo LIMANA-XX5H. 100
Tabla 47. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX5H. 100
Tabla 48. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX5H 100
Tabla 49. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX5H. 101

Tabla 50. Predicción de resultados frecuencia 55.5 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX6H. 101
Tabla 51. Predicción de resultados frecuencia 62 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX6H 102
Tabla 52. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX6H. 102
Tabla 53. Predicción de resultados WHP 300 psi pozo LIMANA-XX6H. 103
Tabla 54. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX6H 103
Tabla 55. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX6H 103
Tabla 56. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX6H. 104
Tabla 57. Predicción de resultados frecuencia 42 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX7 104
Tabla 58. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX7 105
Tabla 59. Predicción de resultados WHP 150 psi pozo LIMANA-XX7. 105
Tabla 60. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX7 106
Tabla 61. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX7. 106
Tabla 62. Predicción de resultados WHP 304 psi pozo LIMANA-XX7 106
Tabla 63. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX7. 107
Tabla 64. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX7. 107
Tabla 65. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX7 107
Tabla 66. Predicción de resultados frecuencia 46 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX8 108
Tabla 67. Predicción de Resultados Frecuencia 55 Hz con diferentes WHP LIMANA-XX8 108
Tabla 68. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX8 109
Tabla 69. Predicción de resultados WHP 291 psi pozo LIMANA-XX8. 109
Tabla 70. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX8. 110
Tabla 71. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX8. 110
Tabla 72. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX8 110
Tabla 73. Predicción de resultados frecuencia 44 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9. 111

Tabla 74. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9. 111
Tabla 75. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX9 112
Tabla 76. Predicción de resultados WHP 298 psi pozo LIMANA-XX9 112
Tabla 77. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX9 112
Tabla 78. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX9. 113
Tabla 79. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX9 113
Tabla 80. Predicción de resultados frecuencia 52 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9 114
Tabla 81. Predicción de resultados frecuencia 61 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9 114
Tabla 82. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-X10 115
Tabla 83. Predicción de Resultados WHP 305 psi pozo LIMANA-X10 115
Tabla 84. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-X10 115
Tabla 85. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-X10 116
Tabla 86. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-X10. 116
Tabla 87. Correlaciones de diferentes autores en GAP. 118
Tabla 88. Condiciones actuales del campo La Sabana. 122
Tabla 89. Condiciones de la línea propuesta de 6 pulg sin Carrotanques en GAP. 125
Tabla 90. Diferencias de la línea propuesta de 6 (pulg) sin Carro tanques vs pruebas TEST producción real 125
Tabla 91. Condiciones de la línea propuesta de 8 (pulg) sin Carrotanques en GAP 129
Tabla 92. Diferencias de la línea propuesta de 8 pulg sin Carrotanques VS pruebas TEST producción 130
Tabla 93. Condiciones de la línea propuesta de 10 pulg sin Carrotanques en GAP 133
Tabla 94. Diferencias de la línea propuesta de 10 Pulg sin carrotanques VS Pruebas TEST Producción 134
Tabla 95. Valores de las facilidades tempranas sin Carrotanques en GAP 135
Tabla 96. Diferencias de BOPD en las facilidades tempranas VS pruebas TEST de BOPD actualmente en la producción 136
Tabla 97. Resultados después de las sensibilidades en GAP escenarios propuestos 136

Tabla 98. Resultados del Tramo 01 al 04 en simulación de GAP velocidades propuestas. 138
Tabla 99. Pronósticos de producción para los diferentes escenarios con los **pozos actuales** 140
Tabla 100. Pronósticos de producción para los diferentes escenarios con **un pozo perforado adicional** 140
Tabla 101. Indicadores económicos para evaluación **financiera** con los pozos actuales 141
Tabla 102. Inversión línea propuesta de 6 pulgadas. 142
Tabla 103. Inversión línea propuesta de 8 pulgadas. 142
Tabla 104. Inversión línea propuesta de 10 pulgadas 143
Tabla 105. Inversión construcción de facilidades tempranas 143
Tabla 106. Análisis financiero línea adicional de 6 pulg 144
Tabla 107. Análisis financiero tiempo de repago línea adicional de 6 pulg. 144
Tabla 108. Análisis financiero línea adicional de 8 pulg. 145
Tabla109. Análisis financiero tiempo de repago línea adicional de 8 pulg 145
Tabla 110. Análisis financiero línea adicional de 10 pulg 146
Tabla 111. Análisis financiero línea adicional de 10 pulg. 146
Tabla 112. Análisis financiero facilidades tempranas 147
Tabla 113. Inversión línea propuesta de 6 pulgadas con un pozo adicional perforado. 148
Tabla 114. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 6 pulgadas. 149
Tabla 115. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 6 pulgadas con tiempo de repago 149
Tabla 116. Inversión línea propuesta de 8 pulgadas con un pozo adicional perforado 150
Tabla 117. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 8 pulgadas. 150
Tabla 118. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 8 pulgadas en tiempo de repago. 150
Tabla 119. Inversión línea propuesta de 10 pulgadas con un pozo adicional perforado 151
Tabla 120. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 10 pulgadas 151
Tabla 121 Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 10 pulgadas en tiempo de repago 152

Tabla 122. Inversión propuesta con facilidades tempranas adicionando un pozo perforado 153
Tabla 123. Indicadores económicos para propuesta con facilidades tempranas adicionando un pozo perforado 153
Tabla 124. Resultados económicos para obtener la mejor propuesta financiera en la transferencia de fluidos 153

LISTA DE FIGURAS

Pág.

Figura 1. Campo La Sabana 27

Figura 2. Producción del campo La Sabana, Bloque Llanos Orientales 28

Figura 3. Diagrama de Flujo proceso del transporte de crudo del campo la Sabana hacia la estación Quriyana. 29

Figura 4. Producción histórica pozo LIMANA-XX1. 30

Figura 5. Estado mecánico pozo LIMANA-XX1. 31

Figura 6. Producción histórica pozo LIMANA-XX2 34

Figura 7. Estado mecánico pozo LIMANA-XX2. 35

Figura 8. Producción histórica pozo LIMANA-XX3. 38

Figura 9: Estado mecánico pozo LIMANA-XX3. 39

Figura 10. Producción histórica LIMANA-XX4H. 42

Figura 11. Estado mecánico pozo LIMANA-XX4H 43

Figura 12: Producción histórica pozo LIMANA-XX5H. 45

Figura 13. Estado mecánico pozo LIMANA-XX5H 46

Figura 14. Producción histórica pozo LIMANA-XX6H 48

Figura 15. Estado mecánico pozo LIMANA-XX6H. 49

Figura 16. Producción histórica pozo LIMANA-XX7 52

Figura 17. Estado mecánico pozo LIMANA-XX7 53

Figura 18. Producción histórica pozo LIMANA-XX8. 55

Figura 19. Estado mecánico pozo LIMANA-XX8 56

Figura 20. Producción histórica del pozo LIMANA-XX9 59

Figura 21. Estado mecánico pozo LIMANA-XX9 60

Figura 22. Producción histórica pozo LIMANA-X10. 62

Figura 23. Estado mecánico pozo LIMANA-X10. 63

Figura 24. Columna estratigráfica generalizada 69

Figura 25. Pérdidas de producción de fluidos 72

Figura 26. Capacidad de flujo del sistema. 74

Figura 27. Distribución pozos y líneas del campo la sabana 120

Figura 28. Resultados GAP línea actual transferencia 6 pulg 121
Figura 29. Distribución pozos y línea paralela de 6 pulgadas propuesta 123
Figura 30. Resultados GAP línea de transferencia propuesta paralela de 6 pulg. 124
Figura 31. Distribución pozos, línea principal de 6 pulgadas y línea propuesta de 8 pulgadas paralela. 127
Figura 32. Resultados de GAP línea de transferencia propuesta paralela de 8 pulg. 128
Figura 33. Distribución pozos, línea principal de 6 pulgadas y línea paralela propuesta de 10 pulgadas 131
Figura 34. Resultados GAP línea de transferencia paralela de 10 pulg 132
Figura 35. Resultados de GAP Facilidades Tempranas 134
Figura 36. Resultados en diferentes tramos de velocidades en GAP Línea 6 pulg propuesta 137
Figura 37. Análisis financiero de la mejor propuesta a desarrollar en el proyecto. 142

RESUMEN

TÍTULO: ANALISIS DE ALTERNATIVAS PARA EL INCREMENTO DE LA CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA DE LOS FLUIDOS DESDE UN CLUSTER HACIA LA ESTACIÓN EN UN CAMPO DE LA CUENCA LLANOS.*

AUTORES: WILLIAM GIOVANNY RODRIGUEZ PAEZ **

PALABRAS CLAVES: ANÁLISIS NODAL, PROSPER, GAP, MODELAMIENTO DE LÍNEAS, OPTIMIZACIÓN, PRODUCCIÓN, BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES.

El Campo la Sabana se encuentra ubicado en la Cuenca Llanos y los pozos productores cuentan con un sistema de levantamiento artificial con bombas electro-sumergibles, su gravedad API en promedio es de 22°, se definirá por intermedio de Análisis Nodal usando un software comercial, el comportamiento en la producción actual y futura del Campo la Sabana.

Se analizará la información con un control real de los pozos, y un modelo de simulación por intermedio de Prosper y Gap lo cual permitirá obtener la producción desde el fondo del pozo, transportándolo hasta la estación de recolección.

Con el análisis realizado se obtendrá la mejor elección financiera, de acuerdo con los diferentes escenarios planteados, todos cumplen con las condiciones mínimas
para que sean viables a desarrollar por la compañía, a excepción de la alternativa de construir las facilidades tempranas. Además de lo anteriormente mencionado se tuvo en cuenta las condiciones actuales del campo y las proyecciones a futuro, como la declinación de la producción del campo La Sabana, así como también el precio internacional del crudo actual y futuro en los próximos 2 años.

* Proyecto de grado

** Facultad De Ingenierías Fisicoquímicas, Escuela De Ingeniería De Petróleos, Maestría En Ingeniería De Petróleo Y Gas; Director LUIS JOSÉ ABAÚNZA SEPÚLVEDA MSc. ,Ingeniero de Petróleos

ABSTRACT

TITLE: ANALYSIS OF ALTERNATIVES TO INCREASE THE TRANSFER CAPACITY OF FLUIDS FROM A CLUSTER TO THE STATION IN A FIELD OF THE LLANOS BASIN.*

AUTHORS: WILLIAM GIOVANNY RODRIGUEZ PAEZ**

KEY WORDS: NODAL ANALYSIS, PROSPER, GAP, LINE MODELING, OPTIMIZATION, PRODUCTION, ELECTRO-SUMERGIBLE PUMPS.

The Sabana Field is located in the Llanos Basin and the producing wells have an artificial lift system with electro-submersible pumps, their average API gravity is 22°. The behavior in the current and future production of the Sabana Field will be defined through Nodal Analysis using a commercial software.

The tank cars that transport the Hydrocarbons present problems due to community stoppages, preventing transit to the Quriyana Station. As well, the main 6-in trunk line may be undersized to transport crude oil from the ten wells of the La Sabana field.

The information will be analyzed with a real control of the wells, and a simulation model called Prosper and Gap, which will allow to obtain the production from the bottom of the well, transporting it to the collection station.

With the analysis carried out, the best financial choice will be obtained, according to the different scenarios proposed, all of them complying with the minimum conditions, especially the construction of an 8-in line parallel to the main line of the 6-in trunk, where it can be seen that it is viable to be developed by the company, except for the alternative of building the early facilities. In addition to the aforementioned, the current conditions of the field and future projections were taken into account, such as the decline in production of the La Sabana field, as well as the current and future international price of crude oil in the next 2 years.

---

* Graduation project

** Faculty of Physicochemical Engineering, School of Petroleum Engineering, Master's Degree in Oil and Gas Engineering; Director LUIS JOSÉ ABAÚNZA SEPÚLVEDA MSc. ,Petroleum engineer

INTRODUCCIÓN

En el campo La Sabana los fluidos de producción de los pozos **LIMANA-XX1, LIMANA-XX2, LIMANA-XX3, LIMANA-XX4H, LIMANA-XX5H** y **LIMANA-XX6H** han venido produciendo desde el año 2010 y son transportados por carro tanques hasta la estación **QURIYANA**, generando altos costos de operación y mantenimiento, un alto riesgo ambiental por transferencia de fluidos y riesgo de bloqueo en las vías por parte de las comunidades.

En el año 2013 se construyó una línea de 6" de aproximadamente 19 km para transportar los fluidos de producción de estos pozos hacia la estación **QURIYANA**, asegurando de esta forma la producción de los pozos anteriormente mencionados. Los departamentos de Ingeniería y Geociencias evaluaron nuevas zonas y encontraron unidades productoras con potencial, por lo que recomendaron la perforación de un pozo adicional a lo inicialmente presupuestado. A finales de ese mismo año se perforó el pozo **LIMANA-XX7**, aumentando el potencial del campo lo que generó una restricción en el flujo por la línea de transferencia actual, por contrapresión en cabeza de los pozos productores y disminuyendo el aporte de fluidos a la estación **QURIYANA**.

Del 2014 al 2019 se han perforado tres nuevos pozos como **LIMANA-XX8, LIMANA-XX9 y LIMANA-X10**, estos pozos fueron perforados dentro del campo **LA SABANA** dando un total de diez pozos productores. Esto reflejó un alto potencial de producción en el campo y a futuro se espera perforar más pozos, pero conlleva a que la línea de distribución de crudo actual no satisface la demanda de fluido que día a día se envía a la estación de tratamiento. Con la finalidad de optimizar el transporte de los fluidos producidos en los diez pozos y al mismo tiempo reducir los riesgos ambientales y bloqueos de la comunidad que afectan la producción, se realizará la evaluación de diferentes escenarios para encontrar una

posible solución que sea viable técnica y económicamente para el problema y así evitar la afectación diaria de la producción del campo.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Realizar un análisis de alternativas para incrementar la capacidad de transferencia de los fluidos que se desplazan por la línea de flujo desde el clúster de los pozos Limana hacia la estación Quriyana.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Caracterizar las condiciones actuales del sistema de recolección de fluido del clúster Isla X (campo la Sabana) a la estación Quriyana, incluyendo posibles fenómenos de arenamiento y corrosión.

2. Simular el comportamiento de los pozos en fondo (subsuelo) y en superficie teniendo en cuenta las actuales y futuras condiciones de caudal, presión y temperatura.

3. Realizar un estudio técnico económico de alternativas que permitan incrementar la capacidad de transferencia de fluidos desde los pozos Limana que pertenecen al (campo La Sabana) hacia la estación Quriyana.

4. Recomendar la mejor alternativa en el incremento de la capacidad de transferencia basado en el escenario más factible, utilizando softwares comerciales como Prosper para el análisis nodal y GAP para los cálculos en superficie.

2. JUSTIFICACIÓN

El bloqueo en las vías por parte de las comunidades es un factor de riesgo que afecta el transporte terrestre de crudo y golpea fuertemente las finanzas de las compañías petroleras que dependen de este medio, para transportar el hidrocarburo desde el campo de producción hasta el descargadero como destino final para la comercialización del producto.

Debido a los altos costos de operación de los vehículos para transportar diariamente el fluido del campo La Sabana hacia la estación Quriyana, se desea plantear y evaluar alternativas, que permitan mitigar problemas tales como; costos de mantenimiento de vías, uso de carro tanques para el transporte de fluido e impacto ambiental y en el entorno. Por lo tanto, se busca plantear varios escenarios que den como resultado el incremento en la capacidad de transferencia de fluidos entre los pozos Limana y la estación Quriyana e incrementar la producción del campo.

El estudio propuesto se orienta a identificar las causas, efectos y consecuencias de continuar con las operaciones de transferencia de fluido actual (carro tanques y una línea de 6”) y a partir de esto, identificar acciones de mejora que permitan justificar la viabilidad del proyecto, con el ánimo de lograr el objetivo de optimizar los recursos económicos y energéticos en el desarrollo del campo. Teniendo en cuenta la mejor opción de pago del proyecto para la compañía en un mediano o largo plazo.

3. ALCANCE

El actual trabajo de grado busca evaluar las condiciones actuales de transferencia que se tienen entre los pozos Limana y la estación Quriyana. Una vez identificadas las restricciones, plantear diferentes alternativas que permitan incrementar la transferencia de fluidos, realizar análisis técnico económico para cada escenario, y a partir de sus resultados proponer la mejor alternativa de incremento de capacidad de transferencia de fluidos.

4. GENERALIDADES DEL CAMPO LA SABANA Y ANÁLISIS DE LOS HISTÓRICOS DE PRODUCCIÓN DE ACEITE Y AGUA DE LOS POZOS LIMANA.

Esta sección mencionará los aspectos generales acerca de la historia del campo la Sabana y sus pozos productores actuales.

4.1 GENERALIDADES DEL CAMPO LA SABANA.

Una empresa europea es la operadora del bloque, siendo ECOPETROL el único socio del proyecto. El bloque se divide en cinco campos de explotación, el campo La Sabana hace parte de ellos.

El desarrollo del campo se basa en la extracción desde seis yacimientos los cuales se denominan como: (Formaciones; C7-A, C7-B, C7-1, C7-2, C7-3, C7-M), es importante tener en consideración que no todos los yacimientos son potencialmente desarrollables en cada pozo. El crudo que es producido del campo La Sabana se considera semipesado con una densidad media de 20.9 – 21.5 º API y baja presencia de gas asociado GOR (6-10 scf/bbl). Aunque los yacimientos cuentan con un acuífero activo como fuente primaria y natural de presión, este resulta insuficiente para la producción por flujo natural, razón por la cual, el campo esta completado con levantamiento artificial (ESP). El mecanismo principal para disposición del agua producida es la Inyección en pozos de disposición.

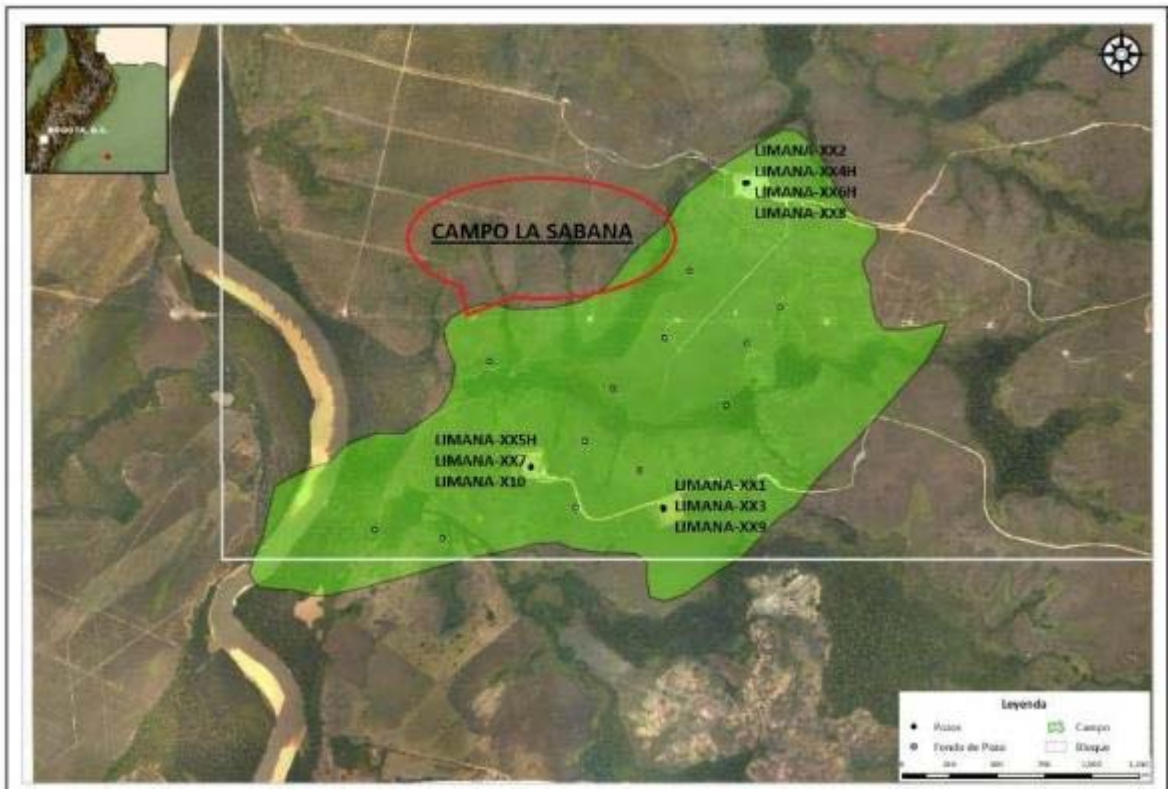
Las formaciones están conformadas principalmente de arenas no consolidadas con alta permeabilidad (1-2 Darcies [1]), dicha condición hace necesaria la implementación de sistemas de control de arena en fondo con el fin de evitar afectaciones a los equipos de completamiento y a la producción.

1 Darcies: unidad de medida de capacidad del fluido en fluir a través de un espacio poroso.

A febrero de 2020, la operadora cuenta con 103 pozos entre activos e inactivos, 92 productores y 11 inyectores en los diferentes Campos del Bloque Llanos Orientales. De los pozos productores, aproximadamente el 95% presentan un corte de agua superior al 80%, y cerca de un 20% de los pozos presentan un corte de agua entre el 75% y el 80%, datos que muestran que el agua es un factor importante en la producción.

En la siguiente gráfica se puede observar una toma aérea de los pozos LIMANA-XX1, LIMANA-XX2, LIMANA-XX3, LIMANA-XX4H, LIMANA-XX5H, LIMANA-XX6H, LIMANA-XX7, LIMANA-XX8, LIMANA-XX9 y LIMANA-X10 en el campo La Sabana.

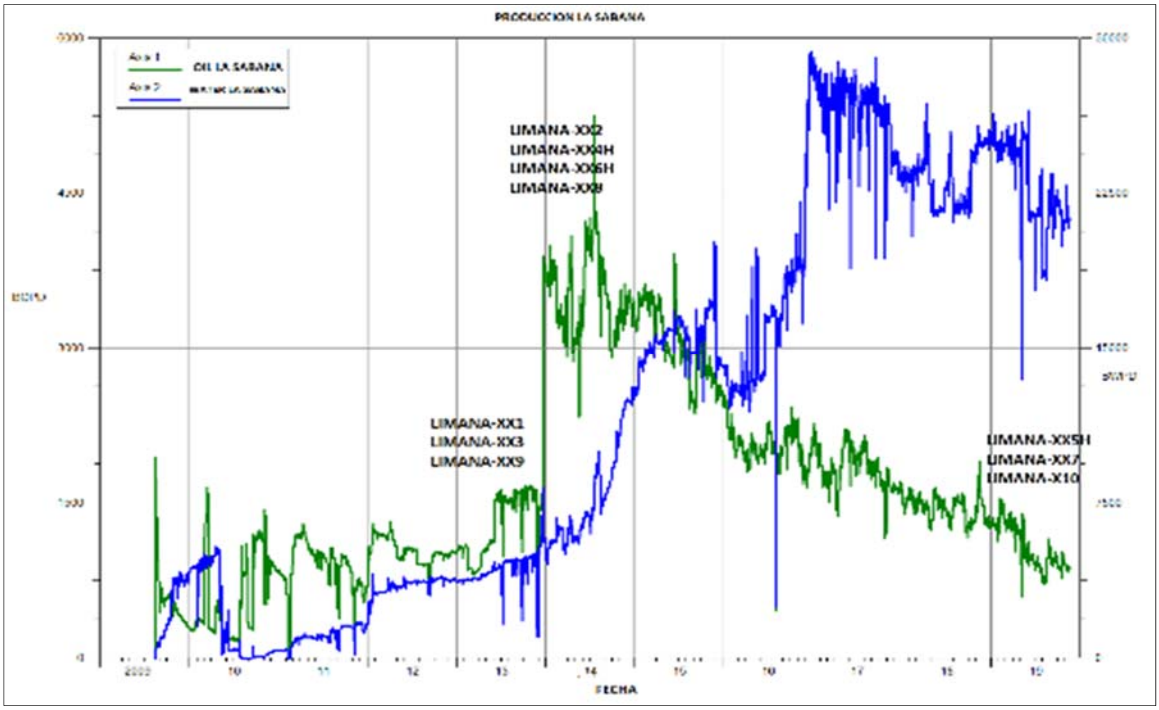
Figura 1. Campo La Sabana



Fuente: Cortesía ingeniero Fredy Roa.

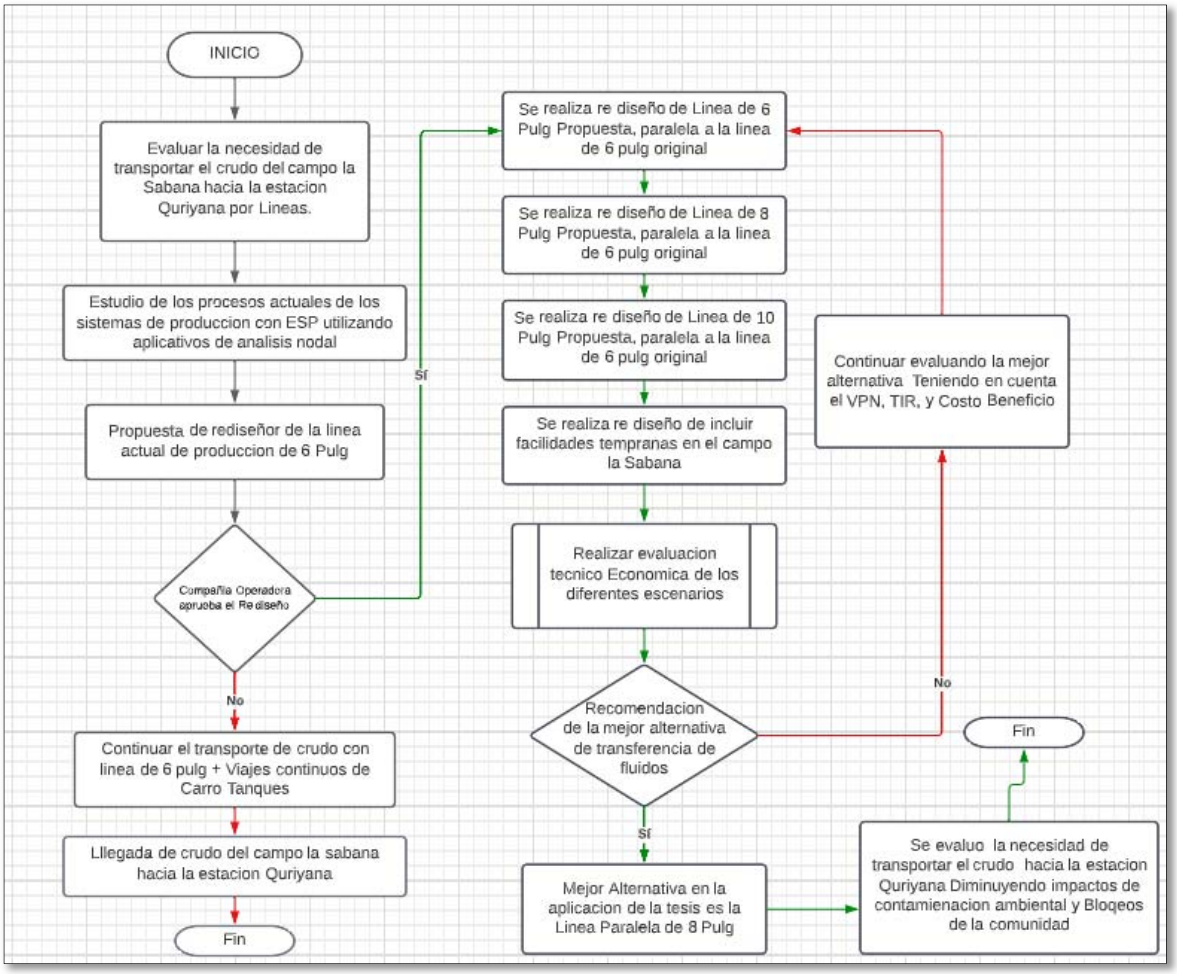
La producción promedio actual del Bloque Llanos Orientales presenta un promedio de 15,160 BOPD y 145,321 BWPD lo que supone un corte de agua de aproximadamente un 89%.

Figura 2. Producción del campo La Sabana, Bloque Llanos Orientales.



Fuente: Cortesía ingeniero Fredy Roa.

Figura 3. Diagrama de Flujo proceso del transporte de crudo del campo la Sabana hacia la estación Quriyana.



Fuente: El autor.

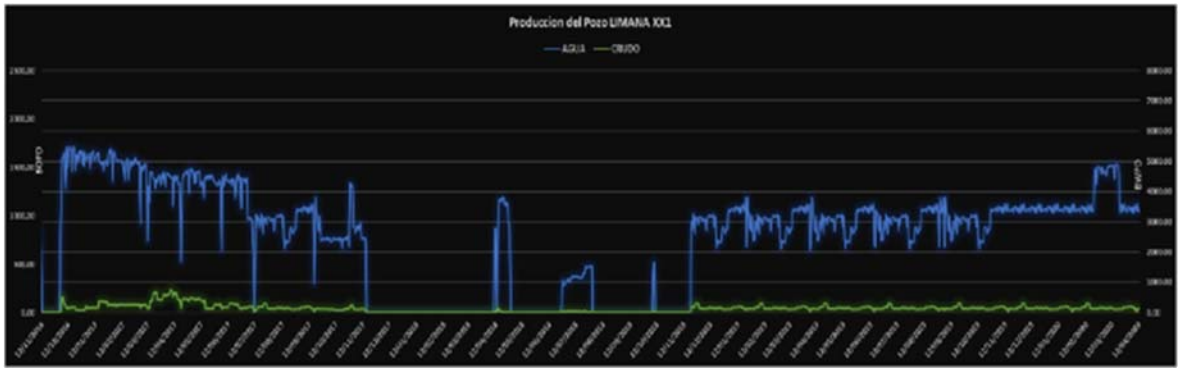
En el diagrama de flujo de la Figura No 3 vemos el proceso del transporte de fluidos día a día desde el campo la Sabana hacia la estación Quriyana, pero también se expresa un replanteamiento en el rediseño de la Línea de 6 pulgadas adicionando alternativas de líneas paralelas de flujo que harían más optimo el transporte de fluidos hacia la estación evitando impactos de contaminación Ambiental y paros de comunidad, evitando retrasos a los tanques de recolección de fluido.

4.2 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LOS POZOS LIMANA EN EL CAMPO LA SABANA.

El campo La Sabana tiene una producción promedio de 2,120 BOPD y 33,663 BWPD, mostrando un corte de agua de aproximadamente 94.0%.

4.2.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX1. El pozo LIMANA-XX1 inició producción el 12 de agosto de 2009 con los siguientes parámetros: 512 BOPD, 557 BFPD y BSW del 8%. Sin embargo, con el pasar de los años este corte de agua se ha venido incrementando drásticamente hasta alcanzar un 95.3%. En 2021, el pozo LIMANA-XX1 tiene una producción de 49.5 BOPD y 3058.34 BWPD, y un volumen acumulado de 1’474,671 bbls de aceite y 10’558,693 bbls de agua.

Figura 4. Producción histórica pozo LIMANA-XX1.

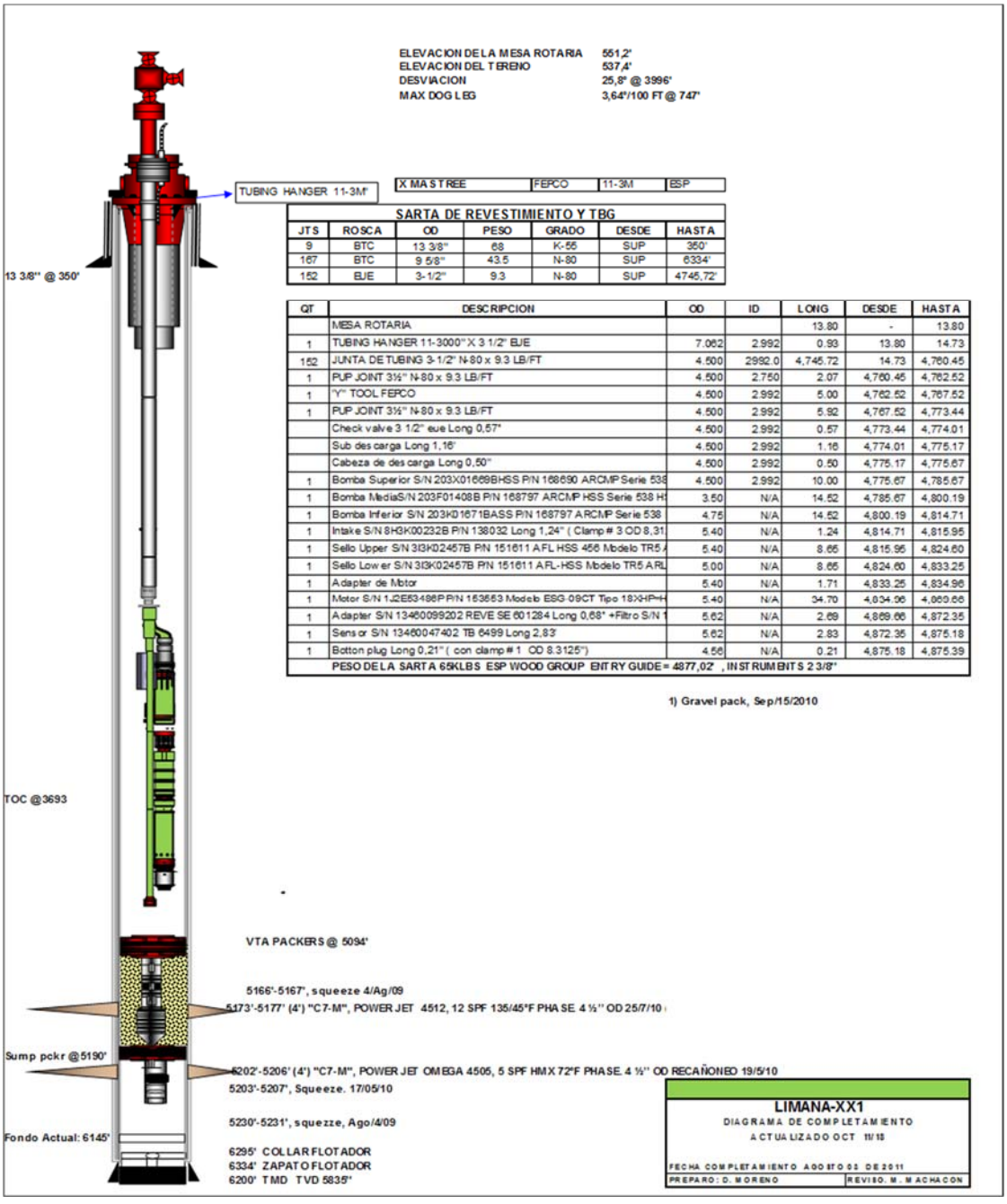


Fuente: El autor.

4.2.2 Construcción del pozo LIMANA-XX1, completamiento inicial e intervenciones posteriores Se perforó el pozo con una broca de 12-1/4”, se revistió con “casing” de producción de 9-5/8”, completado con “tubing” de producción de 3-½” y equipo ESP 538P62 con 56 etapas. El pozo entró en producción el 12 de agosto de 2009 produciendo del intervalo C7-M Inferior (5,230 – 5,231 ft-MD). Luego el 13 de noviembre de 2013 se realizó un cambio de ESP GE - TE5500

En el 2021 se encuentra produciendo con control de arena desde el intervalo C7-M Superior (5,173 – 5,177 ft-MD).

Figura 5. Estado mecánico pozo LIMANA-XX1.



Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.2.3 Intervención del pozo LIMANA-XX1 y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX1.

Tabla 1. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX1.

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX1	538P62	12/08/2009	11/05/2010	Inicia ESP referencia 538P62 con (106 etapas), 43.5 Hz & 23 WHP.
	538P62	20/05/2010	08/06/2010	Aislamiento de zona, C7-M inferior (5203'-5207') cementación remedial y se cañoneo (5202'-5207').
	538P62	28/07/2010	30/08/2010	Se realizó empaquetamiento con grava C7-M superior (5190')
	GE - TE5500	16/09/2010	26/11/2013	Cambio de ESP
	GE - TE5500	02/12/2016	ACTUALMENTE	Actualmente el pozo opera con ESP a 51 Hz, 932 PIP y 106 etapas.

Fuente: El autor.

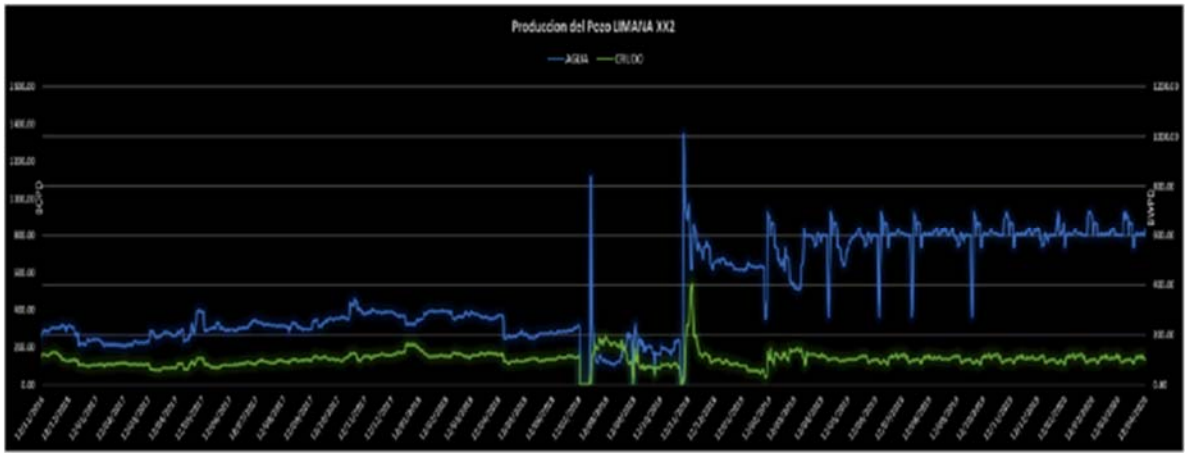
4.3 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX2 EN EL CAMPO LA SABANA.

Se evaluará el comportamiento del pozo LIMANA-XX2 teniendo en cuenta su completamiento inicial y sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW con el pasar del tiempo y su depletamiento natural.

4.3.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX2. El pozo LIMANA-XX2 inició producción con Bomba electrosumergible el 18 de febrero de 2010 con los siguientes parámetros: 632 BOPD, 741 BFPD y BSW del 14.7%. Sin embargo, el 20 de abril de ese mismo año el pozo se aterrizó debido a una falla eléctrica, de esta manera el pozo quedó en espera de ser intervenido con equipo de "workover". Sin embargo, el pozo no fue intervenido hasta el 21 abril del 2012 debido al alto corte de agua que presentaba de alrededor de 72% y no era viable la inversión.

En Abril de 2012 el pozo fue abierto a flujo de la unidad C7-M Inferior (5456 ft – 5459 ft) se realizó "squeeze" en la arena del C7-M Inferior, inició producción pero debido a la producción de arenas poco consolidadas del yacimiento la bomba volvió a fallar, después de más de un año inactivo el 30 de mayo de 2013 se cañoneo la arena C7-M Superior (5432 ft – 5435 ft) y se aisló C7-M inferior (5456 ft – 5459 ft) cambió el equipo ESP. Inicio producción nuevamente el 01 de junio de 2014 desde la formación C7-M Superior desde (5432 ft – 5435 ft) el pozo LIMANA-XX2 tiene una producción de promedio de 139.87 BOPD, 595.51 BWPD con un BSW de 80.9%, Para el 12 de julio de 2018 se realizó nuevamente intervención al pozo con cambio de ESP SLB–SN2650 y actualmente no se han realizado más intervenciones en el pozo, producción promedio actual es de 211 BOPD y 612 BWPD con un volumen acumulado a la fecha de 639,703 bbls de aceite y 662,005 bbls de agua.

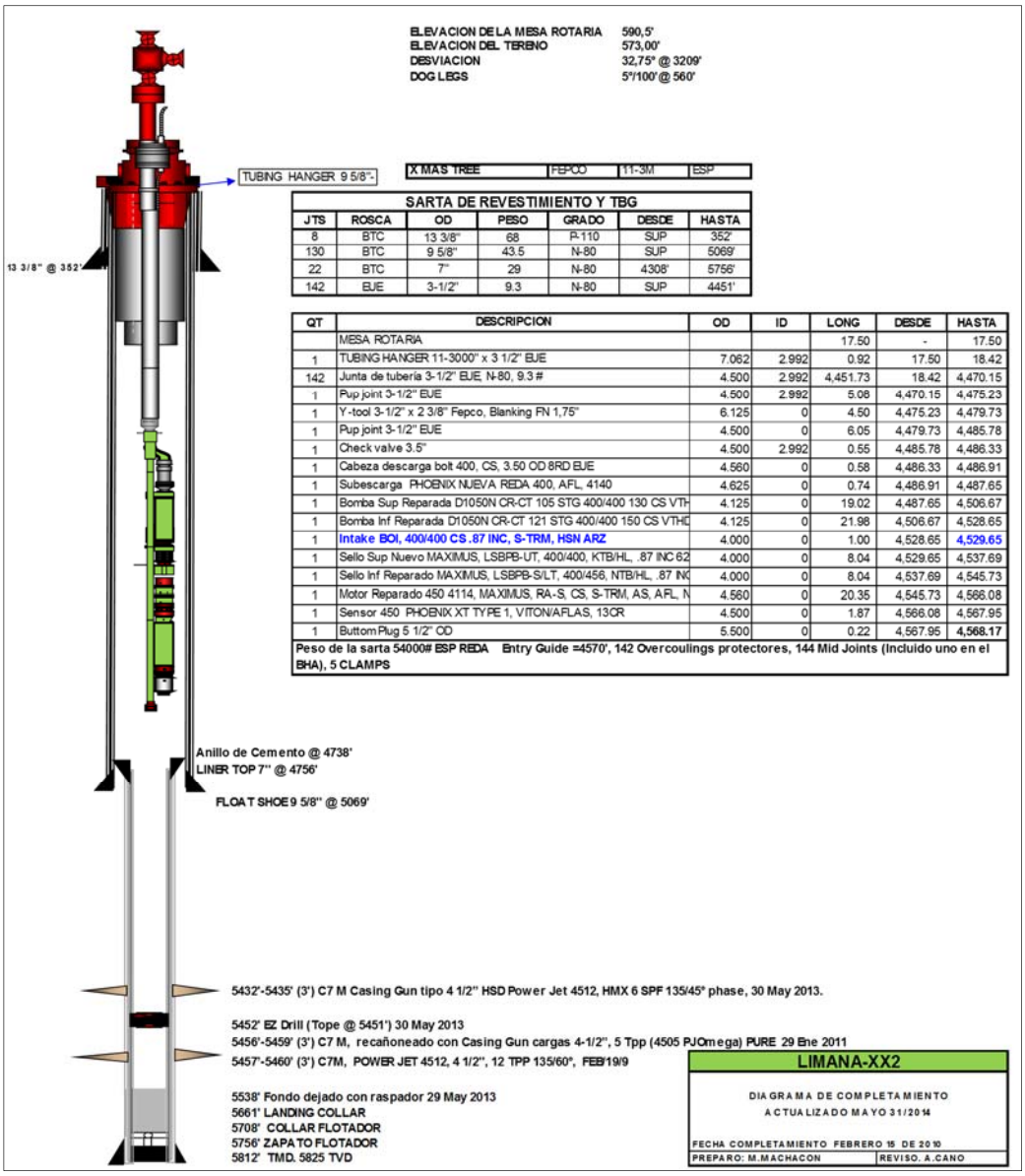
Figura 6. Producción histórica pozo LIMANA-XX2.



Fuente: El autor.

4.3.2 Construcción del pozo LIMANA-XX2, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8", "liner" de 7" y completado con "tubing" de producción de 3-½" y equipo ESP SN8500 con 73 etapas. El pozo entró en producción el 04 de marzo de 2010 produciendo del intervalo C7-M (5,456 – 5,460 ft-MD). Actualmente el pozo se encuentra produciendo de C7-M SUP (5432 -5,435 ft-MD).

Figura 7. Estado mecánico pozo LIMANA-XX2.



Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.3.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX2.

Tabla 2. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX2.

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX2	SLB-S6000N	18/02/2010	18/03/2010	Inicio producción con ESP SLB-S6000N
	SLB-SN2600	21/04/2010	28/07/2010	Realizar Cambio de ESP
	SLB-SN2600	31/01/2012	23/04/2012	Re perfora la arena del C7-M (5456'-5459') "Squeeze" a la arena del C7-M y se Instala equipo de ESP.
	D1050N	01/06/2013	18/05/2014	Se cañonea arena del C7-M Superior (5432'-5435) y se aísla C7-M Inferior (5456'-5459') – Instala equipo de ESP.
	SLB-SN2650	02/06/2014	12/07/2018	Cambio ESP opera con 39 Hz, 1436 pip, 176 etapas & 287 WHP
	SLB-SN2650	13/07/2018	Actualmente	Actualmente ESP opera de manera adecuada. Con C7-M Superior (5432'-5435)

Fuente: El autor.

4.4 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX3 EN EL CAMPO LA SABANA.

Se verificará el completamiento inicial del pozo LIMANA-XX3 con sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW con el pasar de los años y su depletamiento natural.

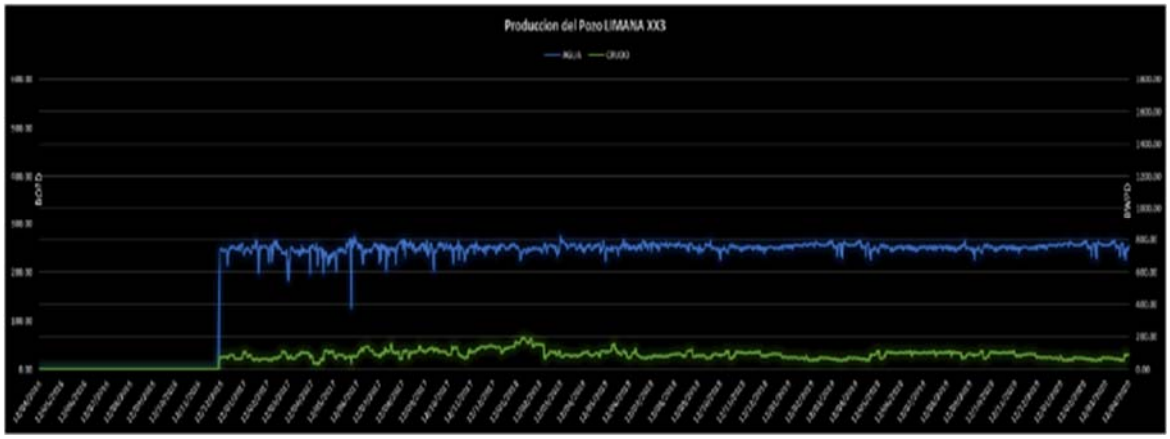
4.4.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX3. El pozo LIMANA-XX3 inició producción el 04 de agosto de 2010 con los siguientes parámetros: 485 BOPD, 30.35 BWPD y BSW del 5.9%. Sin embargo, el 8 de febrero de 2011 se decidió

apagar el pozo por los altos inventarios provocados por la limitación en capacidad de transporte. El 21 de febrero de este mismo año se inició nuevamente con la producción con los siguientes parámetros: 156 BOPD y 8 BWPD y BSW 4.9%. El 28 de octubre de 2011 el pozo presenta una falla en el variador (se apagó), según investigación se concluye atascamiento de la bomba, se reactiva 23 días después. Posteriormente el 31 de julio de 2012 se realiza cambio de bomba, referencia GE - TD460 produciendo por la zona productora C7-M Superior.

El diecisiete de febrero de 2013 es cañoneada la zona C7-M Inferior (5850'-5853') queda produciendo el pozo por las zonas C7-M Sup + C7-M Inf, desde 20 febrero de 2013 hasta principios de febrero de 2014 LIMANA-XX3 produce por estas zonas, como se visualiza en la figura (08) hay incremento de aceite, pero evidentemente aumenta drásticamente el BSW.

Sin embargo, en marzo 21 de 2014 se realizó operaciones de workover ya que el pozo se aterrizó por daño en el cable de la ESP, se realizó cambio de Bomba con referencia de D1050N donde se deja produciendo únicamente la zona C7-M Superior, disminuyendo el corte de agua de un 84% a un 29%. Para el 09 de diciembre de 2019 el departamento de Geociencias solicito poner en producción nuevamente la zona productora C7M- Inferior (5850'-5853'). En febrero de 2022 el pozo tiene una producción de 27 BOPD y 787 BFPD, y un volumen acumulado de (320,489) bbls de aceite y (1'265,416) bbls de agua.

Figura 8. Producción histórica pozo LIMANA-XX3.

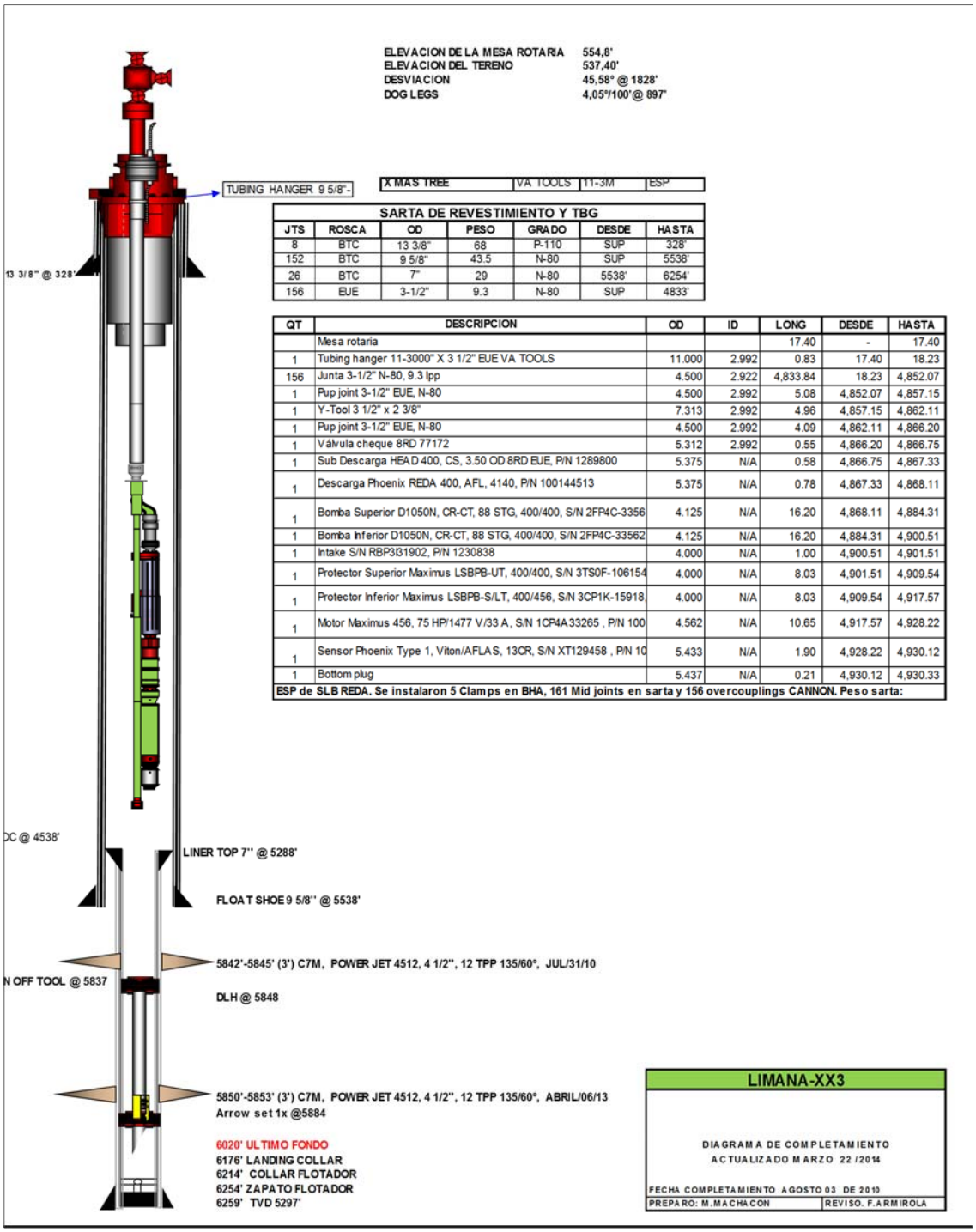


Fuente: El autor.

4.4.2 Construcción del pozo LIMANA-XX3, completamiento inicial e Intervenciones posteriores

El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8", "liner" de 7" y completado con "tubing" de producción de 3-½" y equipo ESP SN2600 con 108 etapas. El pozo entró en producción el 04 de agosto de 2010 produciendo del intervalo C7-M (5,842 - 5,845 ft-MD). Actualmente el pozo se encuentra produciendo del intervalo C7-M Inferior (5850'-5853' ft-MD).

Figura 9: Estado mecánico pozo LIMANA-XX3.



Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.4.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones o cambios de camisas realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX3.

Tabla 3. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX3

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX3	SLB-SN2600	04/08/2010	07/02/2011	El pozo LIMANA-XX3 inició producción el 04 de agosto de 2010 con los siguientes parámetros: 485 BOPD, 30.35 BWPD y BSW del 5.9%
	SLB-SN2600	08/02/2011	27/10/2011	Se apagó el pozo por altos inventarios provocados por limitación de capacidad de transporte.
	SLB-D460N	28/10/2011	30/07/2012	Se presenta falla en el Variador, atascamiento de la ESP SN-2600.
	GE - TD460	31/07/2012	16/02/2013	Se realiza cambio de bomba, referencia GE -TD460 produciendo por la zona productora C7-M Superior.
	GE-TD460	17/02/2013	20/03/2014	Se realiza cañoneo de una nueva zona C7-M (5850'-5853') pozo con "Sand Control, pozo produciendo por las zonas C7-M Sup + C7-M Inf, profundidad "Intake" 4840').
	TD1250	21/03/2014	08/12/2019	Se aterrizo el pozo problema del cable de la ESP, se decide hacer cambio de ESP D1050N El pozo queda produciendo por la zona C7-M Superior, disminuyendo el corte de agua de un 84% a un 29%.
	D1050N	09/12/2019	22/02/2019	Luego de que el pozo trabajara en condiciones de riesgo, El pozo se aterrizó, daño del cable de la ESP, se realizó "workover" y se instaló nueva ESP
	D1050N	23/12/2019	22/02/2022	El departamento de Geociencias solicito poner en producción nuevamente la zona productora C7M- Inferior (5850'-5853'). La ESP opera con 42 BOPD 33 Hz, 1615 PIP, 149 etapas, 75 HP. pozo tiene una producción de 27 BOPD y 787 BFPD,

Fuente: El autor.

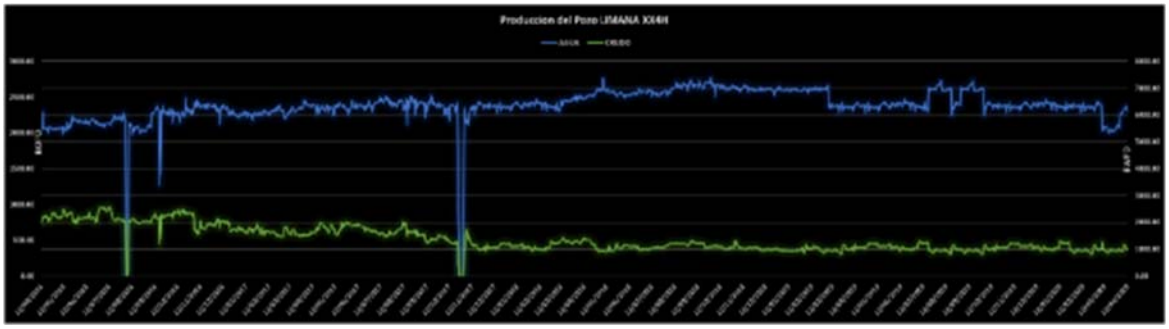
4.5 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DE LOS POZOS LIMANA-XX4H EN EL CAMPO LA SABANA.

Se verificó el completamiento inicial del pozo LIMANA-XX4H con sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW en el pasar de los años.

4.5.1 Producción histórica de LIMANA-XX4H. El pozo LIMANA-XX4H inició producción el 18 de diciembre de 2013 se instaló una ESP de GE-TE5500, la zona de formación productora es (C7-M Superior), con un tope (6810') y base de (7248') el pozo inicio producción con los siguientes parámetros de operación: 2369 BOPD, 2442 BFPD y BSW del 3.0% después de cuatro años de producción el pozo estabilizó en cuanto al corte de agua se refiere, su tasa de producción promedio alcanza 670 BOPD, 4228 BWPD y BSW del 86.3% para el 20 de octubre de 2017.

El pozo trabajó hasta el 25 de octubre de 2017 de manera adecuada, luego de la fecha en mención, el 01 de noviembre de 2017 se realizaron trabajos de "workover" en la formación productora del pozo, se cambió y pasó a C7-M Inferior, es de recordar que, debido al aumento natural de la frecuencia del pozo en la ESP, se genera el aumento gradual del corte de agua, Actualmente el pozo opera con, 388 BOPD, 6418 BWPD y 94.3% BSW con una frecuencia de 53 Hz. Su volumen acumulado es de 633,844 bbls de aceite y 11'859.484 bbls de agua.

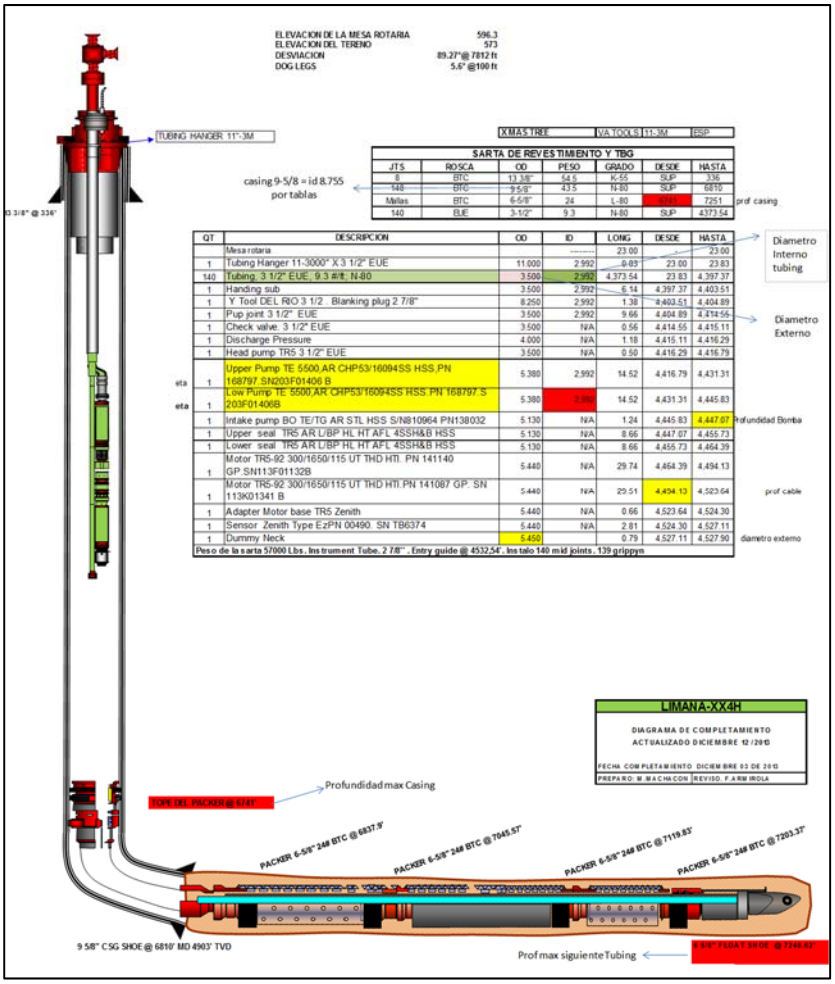
Figura 10. Producción histórica LIMANA-XX4H.



Fuente: El autor.

4.5.2 Construcción del pozo LIMANA-XX4H, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8" y luego la sección horizontal fue perforada con broca de 8-1/2". Es completado con "tubing" de producción de 3-½" y equipo ESP GE-TE5500 con 71 etapas. El pozo entró en producción el 15 de diciembre de 2013 desde C7-M (6,810 – 7,248 ft-MD, sección horizontal). En el 2022 el pozo conserva la misma ESP y está en óptimas condiciones de trabajo.

Figura 11. Estado mecánico pozo LIMANA-XX4H.



Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.5.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX4H.

Tabla 4. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX4H.

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
				El pozo inició producción con la zona productora C7M-(6,810 – 7,248) operó con

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
	GE-TE5500	18/12/2013	25/10/2017	1574 BOPD 49.8 Hz, 1241 PIP, 108 etapas, 240 HP Nominal, hasta el 31 de octubre de 2017 y tuvo una producción promedio de 1072 BOPD y 4228 BWPD.
LIMANA-XX4H	GE-TE5550	01/11/2017	Año 2022	Se realizó un "workover", la ESP GE-TE5550 opera con 1574 BOPD y 6418 BWPD. Variables actuales 53.5 Hz, 1470 PIP, 108 etapas, 170 HP Nominal, en cuanto al % de Carga equipos de superficie el **VSD *tiene 460 KVA*** Nominal y el ***SUT posee 460 KVA.*** En el 2022 el pozo opera con 388 BOPD y 6418 BWPD, con 94.3% de BSW

Fuente: El autor.

4.6 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX5H EN EL CAMPO LA SABANA.

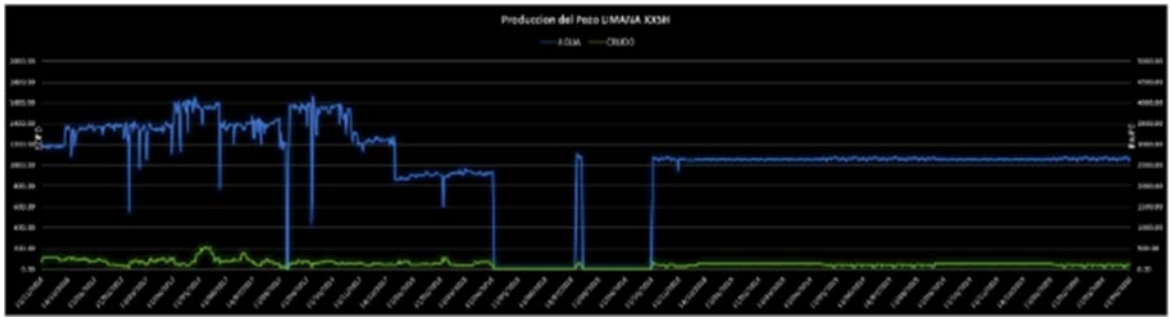
Se verificará el completamiento inicial del pozo LIMANA-XX5H con sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW en el pasar de los años.

4.6.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX5H. Pozo LIMANA-XX5H inició producción el 04 de julio de 2014, se le instaló una ESP SLB-S6000N, quedó con dos zonas cañoneadas y en producción con los siguientes intervalos C7-M Superior, tope (5795') y base (5925'), la segunda zona cañoneada es C7M Inferior, tope (7290') y base (7356'), el pozo inicia producción con los siguientes parámetros de operación: 455 BOPD, 531 BWPD y BSW del 53.8%.

Sin embargo, el 14 de agosto de 2014 se realiza apertura y cierre de camisas por lo cual se efectúa el cierre de C7-M Inferior causando un alto corte de agua 86% por lo cual se procede a dejar abierta C7-M Superior tope (5795') y base (5925'), el pozo antes del cambio de camisas su producción se encontraba con los siguientes parámetros: 350 BOPD; 3,071 BWPD; PIP: 1,473 psi y 31 Hz, es importante mencionar que este pozo es muy sensible a los incrementos de frecuencia por ende está muy propenso a sufrir de arenamiento fácilmente. Desde el 20 de septiembre de 2015 hasta el 19 de junio de 2016 debido al alto corte de agua se decidió apagar el pozo con el fin de mitigar un gran porcentaje al alto corte de BSW para el campo la Sabana.

Después del 20 de junio de 2016 Se reabre el pozo con la formación C7-M Superior (5795'-5925') que estaba anteriormente produciendo y C7-M Inferior tope (7290') y base (7356')**.** En febrero de 2022 el pozo tiene una producción de 47 BOPD y 2696 BFPD, con un BSW de 98.3%, su volumen acumulado es de (236,436) bbls de aceite y (4'756,920) bbls de agua.

Figura 12: Producción histórica pozo LIMANA-XX5H.

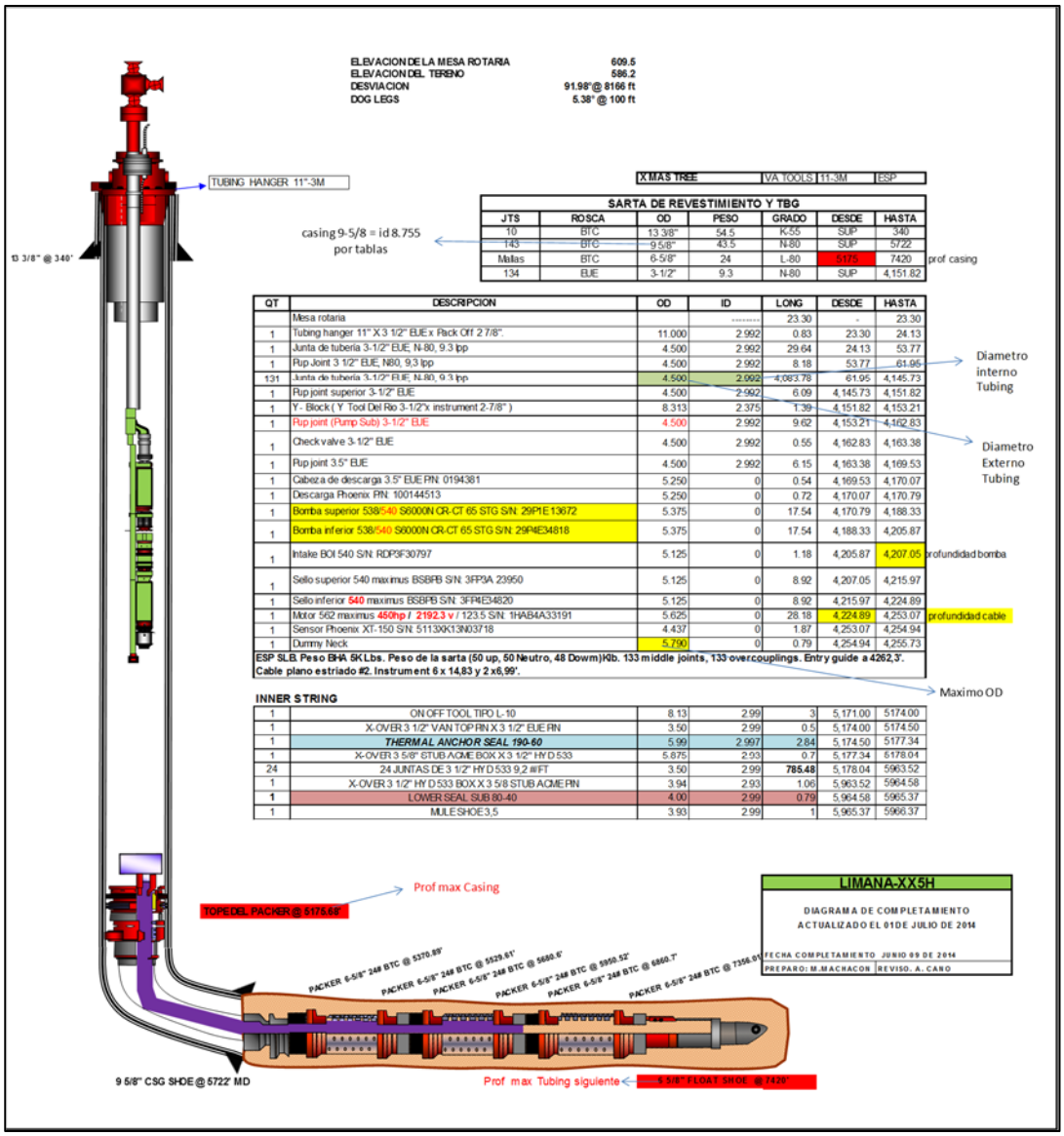


Fuente: El autor.

4.6.2 Construcción del pozo LIMANA-XX5H, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8" y luego la sección horizontal fue perforada con broca de 8-1/2". Es completado con "tubing" de producción de 3-½"

y equipo ESP S6000N con 84 etapas. El pozo entró en producción el 04 de julio de 2014 produciendo de C7-M Inferior (7,290 – 7,356 Ft-MD, sección horizontal). Actualmente el pozo se encuentra produciendo de la zona C7-M Superior (5795 – 5925 Ft-MD, sección horizontal).

Figura 13. Estado mecánico pozo LIMANA-XX5H



Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.6.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX5H.

Tabla 5. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX5H

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX5H	ESP S6000N	04/07/2014	20/09/2015	El pozo arrancó producción el 04 de Julio de 2014, con una ESP S6000N con formaciones C7-M Superior (5795'-5925'). y C7-M Inferior (5795' – 5925'). Se inició produciendo con la zona C7-M Superior y C7 Inferior.
	ESP S6000N	20/09/2015	19/06/2016	Debido, al alto corte de agua en LIMANA-XX5 se decidió apagar el pozo con el fin de mitigar un porcentaje el alto corte de agua en el campo la Sabana.
	ESP S6000N	20/06/2016	13/04/2018	Se reabre el pozo con la formación C7-M Superior (5795'-5925') y C7M Inferior (7290'-7356') Lo cual satisfacen la demanda de fluidos que día a día van para la estación de tratamiento Quriyana.
	ESP S6000N	13/10/2018	Año 2022	Actualmente la ESP opera con 47 BOPD 2696 BWPD 35.5 Hz, 1410 PIP, 108 etapas, 347 HP Nominal, en cuanto al % de Carga equipos de superficie el **VSD *tiene 460 KVA*** Nominal y el ***SUT posee 460 KVA.***

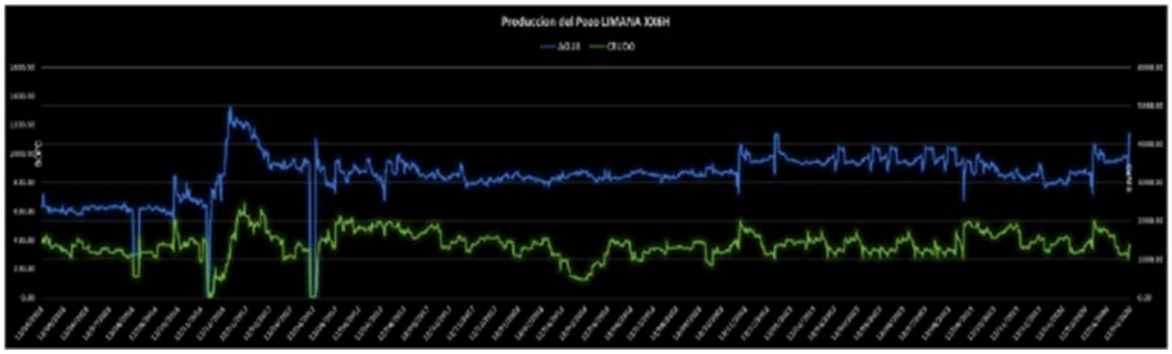
Fuente: El autor.

4.7 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX6H EN EL CAMPO LA SABANA.

Se verificará el completamiento inicial del pozo LIMANA-XX6H con sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW con el pasar de los años.

4.7.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX6H. El pozo LIMANA-XX6H inicio producción el 03 de abril de 2014, se instaló una ESP referencia SLB-S8000N, este pozo produce por la zona productora C7-M Superior, Tope (5987') y base (6455'), inicia producción con los siguientes parámetros de operación: 151 BOPD, 839 BFPD y BSW del 84%. El viernes 18 de abril de 2014, el pozo se apagó en espera de autorización por parte de ANH para realizar prueba extensa. Reinició producción el 20 de mayo de 2014 luego de que la ANH le dio permisos para que diera inicio la producción de fluidos del pozo. Opera con la C7-M Superior (5,987' – 6,455'). Desde su reinicio de producción LIMANA-XX6H produce sin ninguna novedad, sus parámetros a febrero de 2022 son los siguientes: 399 BOPD; 3301 BWPD; PIP: 522 psi; 48 Hz y con un BSW de 89.2%.

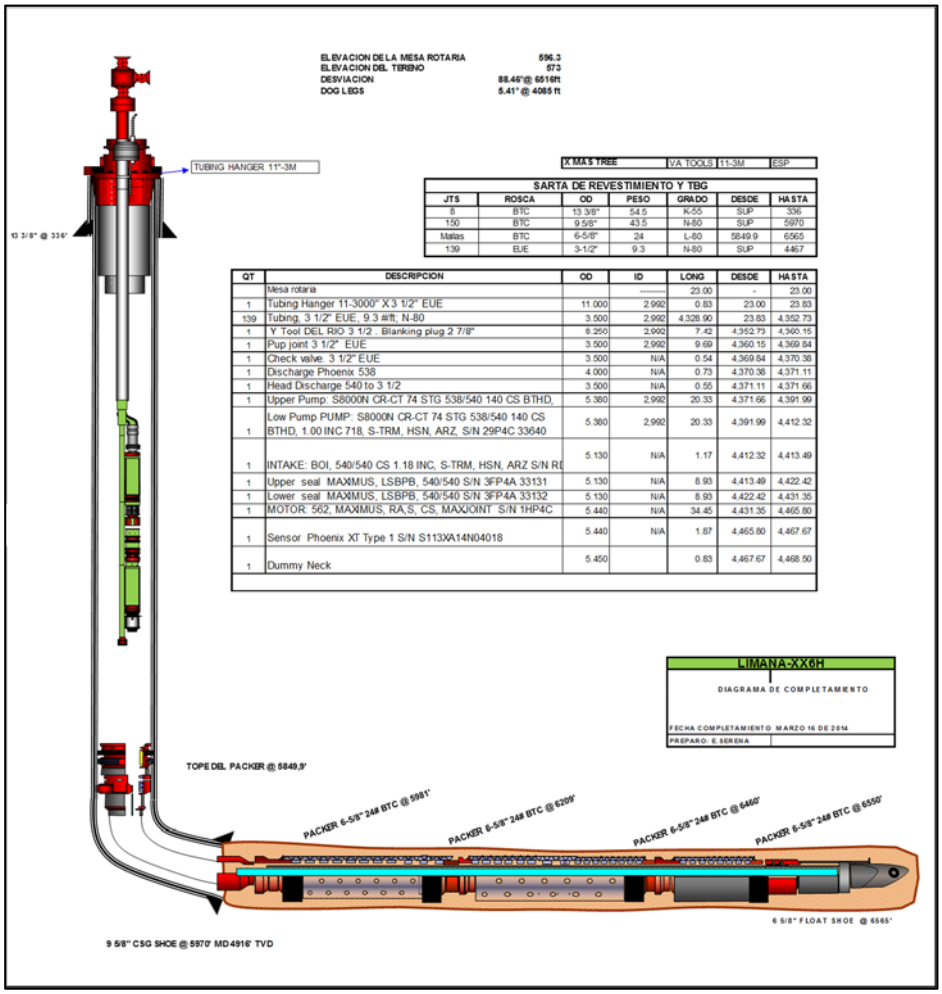
Figura 14. Producción histórica pozo LIMANA-XX6H.



Fuente: El autor.

4.7.2 Construcción del pozo LIMANA-XX6H, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8" y luego la sección horizontal fue perforada con broca de 8-1/2". Es completado con "tubing" de producción de 3-½" y equipo ESP S8000N con 148 etapas. El pozo entró en producción el 03 de abril de 2014 produciendo de C7-M Superior (5,987 – 6,455 Ft-MD, sección horizontal). Actualmente el pozo se encuentra produciendo por esta misma zona productora.

Figura 15. Estado mecánico pozo LIMANA-XX6H.



Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.7.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas hasta la fecha en el pozo LIMANA-XX6H.

Tabla 6. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX6H.

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX6H	SLB-S8000N	03/04/2014	17/04/2017	El pozo operó con la ESP SLB-S8000N por lo cual inicio producción con 151 BOPD, 839 BWPD, BSW 84.7%, 41 Hz, 519 PIP, 148 etapas, 563 HP Nominal, en cuanto al % de Carga equipos de superficie el **VSD *tiene 518 KVA*** Nominal y el ***SUT posee 520 KVA.*** Es de destacar que la ESP tiene un "Run Life" de 2850 días.
	SLB-S8000N	18/04/2017	19/05/2014	El 18 de abril de 2014 se apagó el pozo en espera que la ANH de autorización para realizar pruebas extensas.
	SLB-S8000N	20/05/2014	18/02/2022	Reinicio actividades el pozo el 20 de mayo de 2014 luego que la ANH diera el permiso para extraer la producción de fluidos, opera con la formación C7-M Superior (5,987' – 6,455') ft. No se ha realizado ninguna intervención en el pozo. La ESP opera con 399 BOPD 3301 BWPD, 48 Hz, 522 PIP, 148 etapas, 563 HP Nominal, en cuanto al % de Carga equipos de superficie el **VSD *tiene 518 KVA*** Nominal y el ***SUT posee 520 KVA.***

Fuente: El autor.

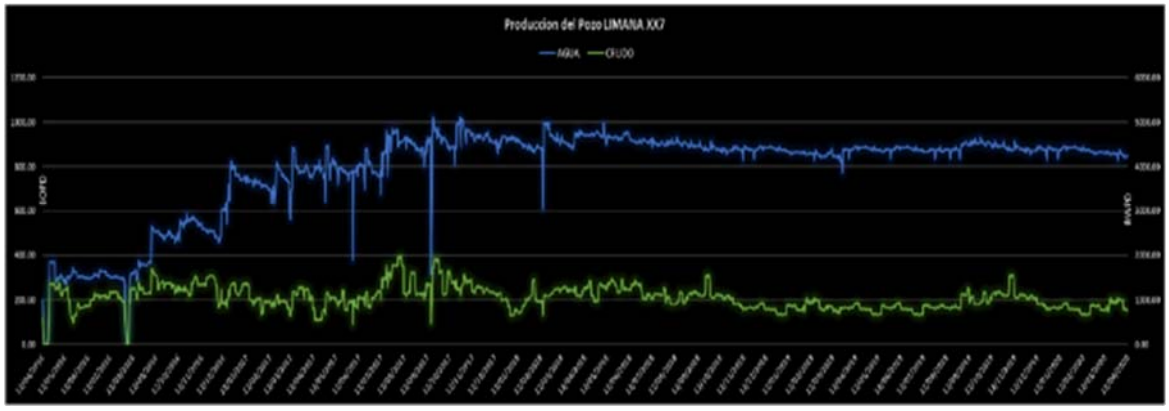
4.8 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX7 EN EL CAMPO LA SABANA.

Se evaluó el comportamiento del pozo LIMANA-XX7 teniendo en cuenta su completamiento inicial y sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW con el pasar tiempo y su depletamiento natural.

4.8.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX7. El pozo LIMANA-XX7 se completó con las formaciones C7-M Superior (5465' – 5470') y la arena de C7-M Inferior (5481' – 5485') inició producción el 07 de diciembre de 2015 con los siguientes parámetros: 313 BOPD, 2636 BWPD y BSW del 89.4%. El comportamiento del pozo se ha mostrado constante con un promedio de 310 BOPD y 2480 WFPD hasta el 21 de enero de 2016 y su respectivo corte de agua al 89%, Posteriormente se realizó un cierre de camisas y dejó, produciendo únicamente a C7-M Inferior, con un resultado de producción promedio no favorable de 158 BOPD y 1175 BWPD, hasta el 13 de abril de 2016.

Al pozo nuevamente se le realiza un "Well Service", dejándolo nuevamente con la unidad C7-M Superior en producción a partir del 14 de abril de 2016, el pozo tiene una producción promedio de 185 BOPD, 4383 BWPD con un BSW de 95.9% y un volumen acumulado de 333,481 bbls de aceite y 5'980,176 bbls de agua a la fecha.

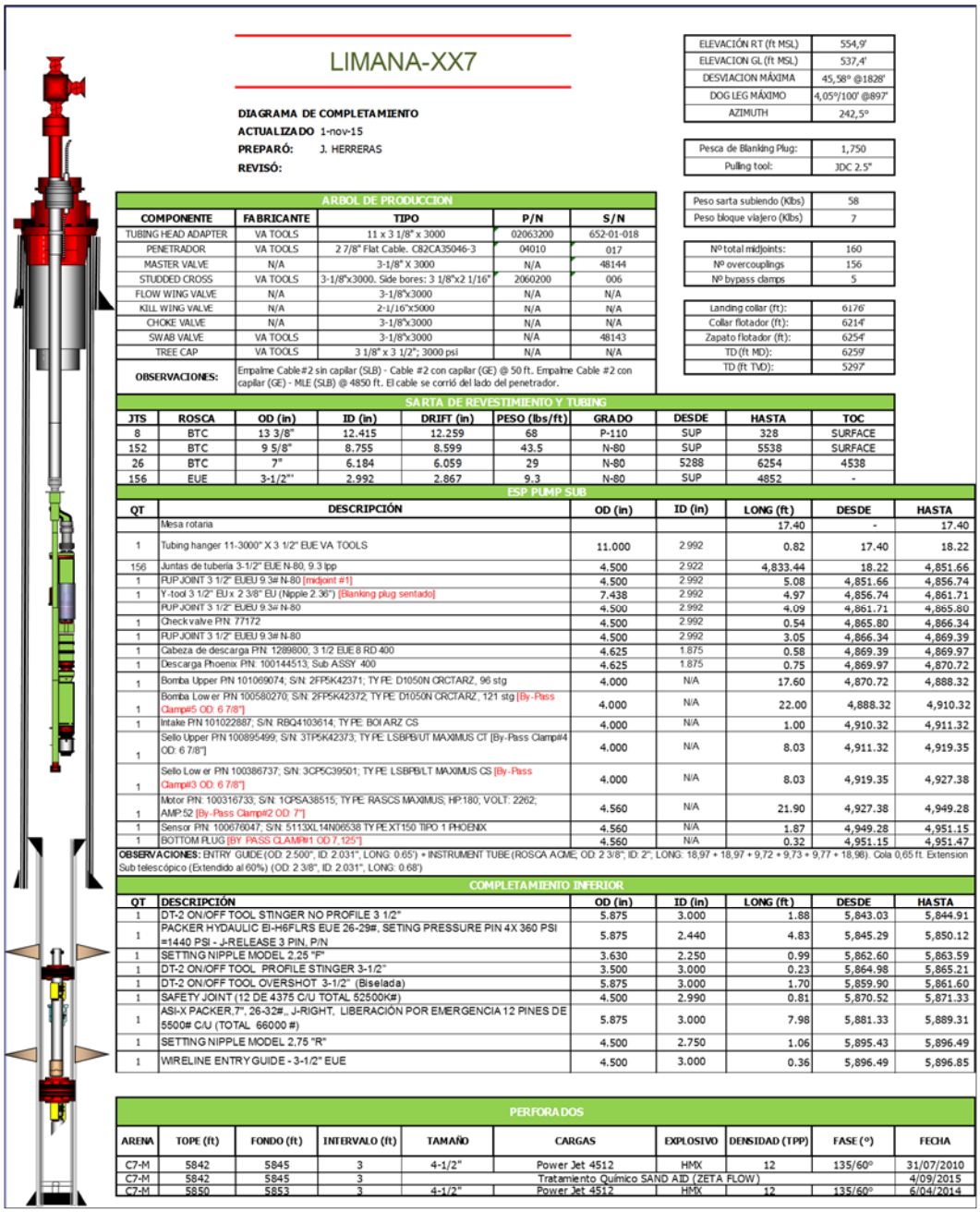
Figura 16. Producción histórica pozo LIMANA-XX7.



Fuente: El autor.

4.8.2 Construcción del pozo LIMANA-XX7, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8", "liner" de 7" y completado con "tubing" de producción de 3-½" y equipo ESP SN8520 con 75 etapas. El pozo entró en producción el 07 de diciembre de 2015 produciendo del intervalo C7-M Superior (5,465 – 5,470 Ft-MD) y C7-M Inferior (5481'-5485').

Figura 17. Estado mecánico pozo LIMANA-XX7.



LIMANA-XX7

DIAGRAMA DE COMPLETAMIENTO
ACTUALIZADO 1-nov-15
PREPARÓ: J. HERRERAS
REVISÓ:

ELEVACIÓN RT (ft MSL)	554,9'
ELEVACION GL (ft MSL)	537,4'
DESVIACION MÁXIMA	45,58° @1828'
DOG LEG MÁXIMO	4,05°/100' @897'
AZIMUTH	242,5°

Pesca de Blanking Plug:	1,750
Pulling tool:	JDC 2.5"

Peso sarta subiendo (Klbs)	58
Peso bloque viajero (Klbs)	7

Nº total midjoints:	160
Nº overcouplings	156
Nº bypass clamps	5

Landing collar (ft):	6176'
Collar flotador (ft):	6214'
Zapato flotador (ft):	6254'
TD (ft MD):	6259'
TD (ft TVD):	5297'

ARBOL DE PRODUCCION

COMPONENTE	FABRICANTE	TIPO	P/N	S/N
TUBING HEAD ADAPTER	VA TOOLS	11 x 3 1/8" x 3000	02063200	652-01-018
PENETRADOR	VA TOOLS	2 7/8" Flat Cable. C82CA35046-3	04010	017
MASTER VALVE	N/A	3-1/8" X 3000	N/A	48144
STUDDED CROSS	VA TOOLS	3-1/8"x3000. Side bores: 3 1/8"x2 1/16"	2060200	006
FLOW WING VALVE	N/A	3-1/8"x3000	N/A	N/A
KILL WING VALVE	N/A	2-1/16"x5000	N/A	N/A
CHOKE VALVE	N/A	3-1/8"x3000	N/A	N/A
SWAB VALVE	VA TOOLS	3-1/8"x3000	N/A	48143
TREE CAP	VA TOOLS	3 1/8" x 3 1/2"; 3000 psi	N/A	N/A
OBSERVACIONES:	Empalme Cable#2 sin capilar (SLB) - Cable #2 con capilar (GE) @ 50 ft. Empalme Cable #2 con capilar (GE) - MLE (SLB) @ 4850 ft. El cable se corrió del lado del penetrador.			

SARTA DE REVESTIMIENTO Y TUBING

JTS	ROSCA	OD (in)	ID (in)	DRIFT (in)	PESO (lbs/ft)	GRADO	DESDE	HASTA	TOC
8	BTC	13 3/8"	12.415	12.259	68	P-110	SUP	328	SURFACE
152	BTC	9 5/8"	8.755	8.599	43.5	N-80	SUP	5538	SURFACE
26	BTC	7"	6.184	6.059	29	N-80	5288	6254	4538
156	EUE	3-1/2""	2.992	2.867	9.3	N-80	SUP	4852	-

ESP PUMP SUB

QT	DESCRIPCIÓN	OD (in)	ID (in)	LONG (ft)	DESDE	HASTA
	Mesa rotaria			17.40	-	17.40
1	Tubing hanger 11-3000" X 3 1/2" EUE VA TOOLS	11.000	2.992	0.82	17.40	18.22
156	Juntas de tubería 3-1/2" EUE N-80, 9.3 lpp	4.500	2.922	4,833.44	18.22	4,851.66
1	PUP JOINT 3 1/2" EUEU 9.3# N-80 [midjoint #1]	4.500	2.992	5.08	4,851.66	4,856.74
1	Y-tool 3 1/2" EU x 2 3/8" EU (Nipple 2.36") [Blanking plug sentado]	7.438	2.992	4.97	4,856.74	4,861.71
	PUP JOINT 3 1/2" EUEU 9.3# N-80	4.500	2.992	4.09	4,861.71	4,865.80
1	Check valve P/N: 77172	4.500	2.992	0.54	4,865.80	4,866.34
1	PUP JOINT 3 1/2" EUEU 9.3# N-80	4.500	2.992	3.05	4,866.34	4,869.39
1	Cabeza de descarga P/N: 1289800; 3 1/2 EUE 8 RD 400	4.625	1.875	0.58	4,869.39	4,869.97
1	Descarga Phoenix P/N: 100144513; Sub ASSY 400	4.625	1.875	0.75	4,869.97	4,870.72
1	Bomba Upper P/N 101069074; S/N: 2FP5K42371; TYPE: D1050N CRCTARZ, 96 stg	4.000	N/A	17.60	4,870.72	4,888.32
1	Bomba Lower P/N 100580270; S/N: 2FP5K42372; TYPE: D1050N CRCTARZ, 121 stg [By-Pass Clamp#5 OD: 6 7/8"]	4.000	N/A	22.00	4,888.32	4,910.32
1	Intake P/N 101022887; S/N: RBQ4103614; TYPE: BOI ARZ CS	4.000	N/A	1.00	4,910.32	4,911.32
1	Sello Upper P/N 100895499; S/N: 3TP5K42373; TYPE: LSBPB/UT MAXIMUS CT [By-Pass Clamp#4 OD: 6 7/8"]	4.000	N/A	8.03	4,911.32	4,919.35
1	Sello Lower P/N 100386737; S/N: 3CP5C39501; TYPE: LSBPB/LT MAXIMUS CS [By-Pass Clamp#3 OD: 6 7/8"]	4.000	N/A	8.03	4,919.35	4,927.38
1	Motor P/N: 100316733; S/N: 1CPSA38515; TYPE: RASCS MAXIMUS; HP:180; VOLT: 2262; AMP:52 [By-Pass Clamp#2 OD: 7"]	4.560	N/A	21.90	4,927.38	4,949.28
1	Sensor P/N: 100676047; S/N: 5113XL14N00538 TYPE:XT150 TIPO 1 PHOENIX	4.560	N/A	1.87	4,949.28	4,951.15
1	BOTTOM PLUG [BY PASS CLAMP#1 OD 7.125"]	4.560	N/A	0.32	4,951.15	4,951.47

OBSERVACIONES: ENTRY GUIDE (OD: 2.500", ID: 2.031", LONG: 0.65') + INSTRUMENT TUBE (ROSCA ACME; OD: 2 3/8", ID: 2", LONG: 18,97 + 18,97 + 9,72 + 9,73 + 9,77 + 18,96). Cola 0,65 ft. Extension Sub telescópico (Extendido al 60%) (OD: 2 3/8", ID: 2.031", LONG: 0.68')

COMPLETAMIENTO INFERIOR

QT	DESCRIPCIÓN	OD (in)	ID (in)	LONG (ft)	DESDE	HASTA
1	DT-2 ON/OFF TOOL STINGER NO PROFILE 3 1/2"	5.875	3.000	1.88	5,843.03	5,844.91
1	PACKER HYDAULIC EI-H6FLRS EUE 26-29#, SETING PRESSURE PIN 4X 360 PSI =1440 PSI - J-RELEASE 3 PIN, P/N	5.875	2.440	4.83	5,845.29	5,850.12
1	SETTING NIPPLE MODEL 2.25 "P"	3.630	2.250	0.99	5,862.60	5,863.59
1	DT-2 ON/OFF TOOL PROFILE STINGER 3-1/2"	3.500	3.000	0.23	5,864.98	5,865.21
1	DT-2 ON/OFF TOOL OVERSHOT 3-1/2" (Biselada)	5.875	3.000	1.70	5,859.90	5,861.60
1	SAFETY JOINT (12 DE 4375 C/U TOTAL 52500K#)	4.500	2.990	0.81	5,870.52	5,871.33
1	ASI-X PACKER,7", 26-32#,, J-RIGHT, LIBERACIÓN POR EMERGENCIA 12 PINES DE 5500# C/U (TOTAL 66000 #)	5.875	3.000	7.98	5,881.33	5,889.31
1	SETTING NIPPLE MODEL 2.75 "R"	4.500	2.750	1.06	5,895.43	5,896.49
1	WIRELINE ENTRY GUIDE - 3-1/2" EUE	4.500	3.000	0.36	5,896.49	5,896.85

PERFORADOS

ARENA	TOPE (ft)	FONDO (ft)	INTERVALO (ft)	TAMAÑO	CARGAS	EXPLOSIVO	DENSIDAD (TPP)	FASE (°)	FECHA
C7-M	5842	5845	3	4-1/2"	Power Jet 4512	HMX	12	135/60°	31/07/2010
C7-M	5842	5845	3		Tratamiento Químico SAND AID (ZETA FLOW)				4/09/2015
C7-M	5850	5853	3	4-1/2"	Power Jet 4512	HMX	12	135/60°	6/04/2014

Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.8.3 Instalación de bombas electro sumergibles y well services. El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX7.

Tabla 7. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX7

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX7	SLB-SN2600	07/12/2015	21/01/2016	Se completó la arena del C7-M Sup (5465'-5470') y la arena del C7-M Inf (5,481'- 5,485') y se instala equipo de ESP.
	SLB-SN2600	22/01/2016	13/04/2016	Se realizó un cierre de camisas aislando C7-M Superior (5,465' – 5,470') y se deja en producción C7-M Inferior (5481'-5485')
	SLB-SN2600	14/04/2016	20/02/2022	Se probó nuevamente cambio de camisas aislando C7-M Inferior (5,481' – 5,485') y se pone en producción C7-M Superior (5465'-5470')
	SLB-SN2600	21/02/2022		Para el mes de febrero de 2022 el pozo opera con ESP SLB-SN2600 a 185 BOPD, 4383 BWPD, 44 Hz, 893 PIP, 75 etapas & 170 WHP

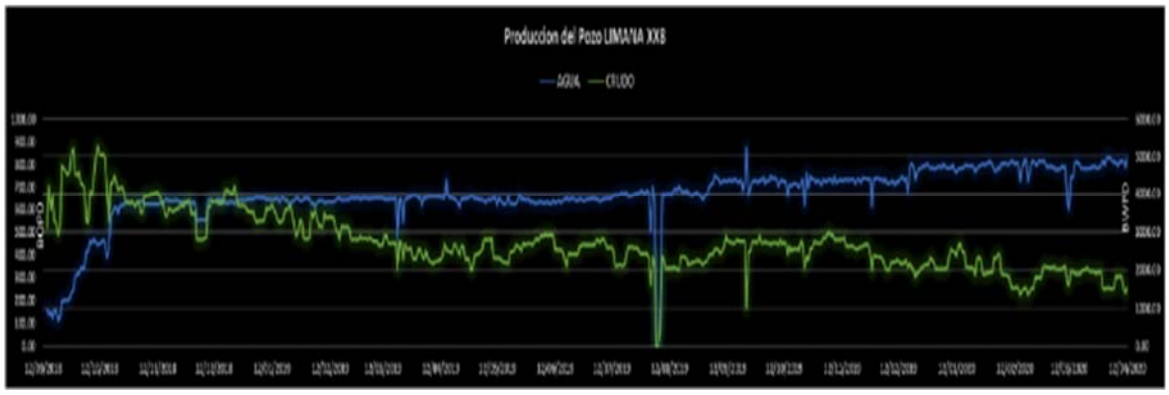
Fuente: El autor.

4.9 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX8 EN EL CAMPO LA SABANA.

Se evaluó el comportamiento del pozo LIMANA-XX8 teniendo en cuenta su completamiento inicial y sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW con el pasar del tiempo y su depletamiento natural.

4.9.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX8. El pozo LIMANA-XX8 inició producción el 24 de agosto de 2018 con las arenas cañoneadas las cuales son C7-M Superior (5168'-5170') y la arena del C7-M Inferior (5203'-5207') con los siguientes parámetros: 521 BOPD, 1497 BWPD y BSW del 65.1%. El comportamiento del pozo se ha mostrado constante con un promedio de 636 BOPD y 3268 BWPD hasta el 24 de enero de 2019, su respectivo corte de agua aumento de manera gradual, el corte de agua alcanzó el 82.4 %, de esta manera la respuesta del pozo en la extracción de crudo es la disminución del mismo y aumento del corte de agua. Para el 25 de enero de 2019 hasta el 22 de febrero de 2020 se realizó un cambio de camisas dejando de producir C7-M Superior y se dejó produciendo C7-M Inferior (5203'-5207'). Con un resultado favorable de crudo y una producción promedio constante de 372 BOPD, 4489 BWPD y un BSW de 91.4%. El 23 de febrero de 2020 se realizó aislamiento de la arena C7-M inferior y se puso en producción C7-M superior obteniendo poco caudal de aceite y mayor corte de agua por lo cual se decide apagar el pozo, el 10 de marzo de 2020 el departamento de Geociencias decidió dejar la zona C7-M Inferior (5203'-5207') produciendo únicamente, actualmente ESP opera con 54 Hz, 1627 PIP, 106 etapas & 310 WHP, 315 BOPD, 4501 BWPD volumen acumulado es de 262,014 bbls de aceite y 5,980,176 bbls de agua hasta la fecha.

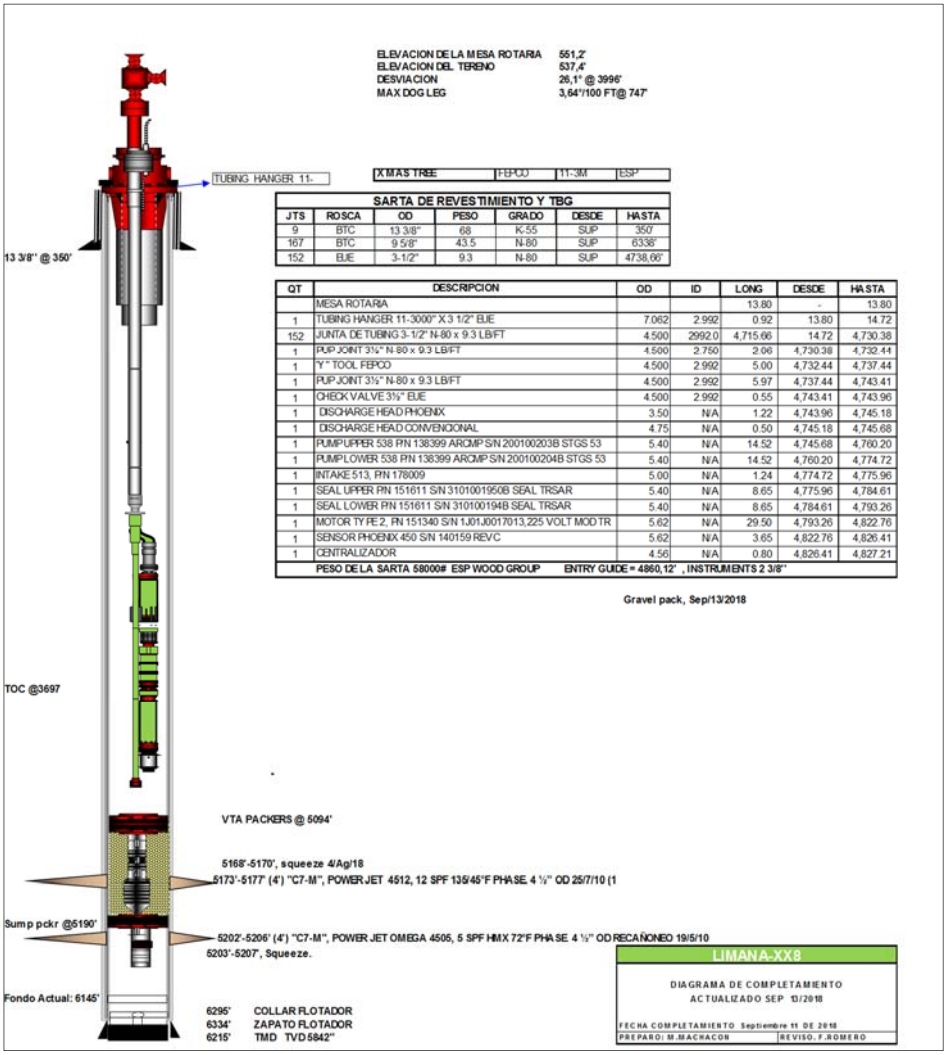
Figura 18. Producción histórica pozo LIMANA-XX8.



Fuente: El autor.

4.9.2 Construcción del pozo LIMANA-XX8, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8", "liner" de 7" y completado con "tubing" de producción de 3-½" y equipo ESP SN8570 con 102 etapas. El pozo entró en producción el 24 de agosto de 2018 produciendo del intervalo C7-M Superior (5168'-5170') y la arena del C7-M Inferior (5203'-5207'). Actualmente el pozo se encuentra produciendo del intervalo C7-M Inferior (5203'-5207').

Figura 19. Estado mecánico pozo LIMANA-XX8.



Fuente: Wellbore schematics cortesía Juan Enrique López.

4.9.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX8.

Tabla 8. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX8.

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX8	SLB-SN2650	24/08/2018	24/01/2019	Completó la arena del C7-M Superior (5168'-5170') y la arena del C7-M Inferior (5203'-5207'). Se realizó instalación del equipo ESP e inicio producción con 521 BOPD, 1497 BWPD y 74.2% de BSW.
	SLB-SN2650	25/01/2019	22/02/2020	El pozo se pone en producción con la formación C7-M Inferior (5203'-5207') se aísla la zona C7-M Superior con 372 BOPD, 4489 BWPD y 4861 BFPD
	SLB-SN2650	23/02/2020	10/03/2020	Se realizó un cambio de camisas dejando en producción C7-M Superior (5,168' – 5,170') y se aísla C7-M inferior (5203'-5207'), obteniendo poco caudal de aceite y mayor corte de agua por lo cual se decide apagar el pozo el 10 de marzo de 2020.
	SLB-SN2650	11/03/2020	22/02/2022	El departamento de Geociencias decidió dejar la zona C7-M Inferior (5203'-5207') produciendo. Actualmente ESP opera con 54 Hz, 1627 PIP, 106 etapas & 310 WHP, 315 BOPD, 4501 BWPD.

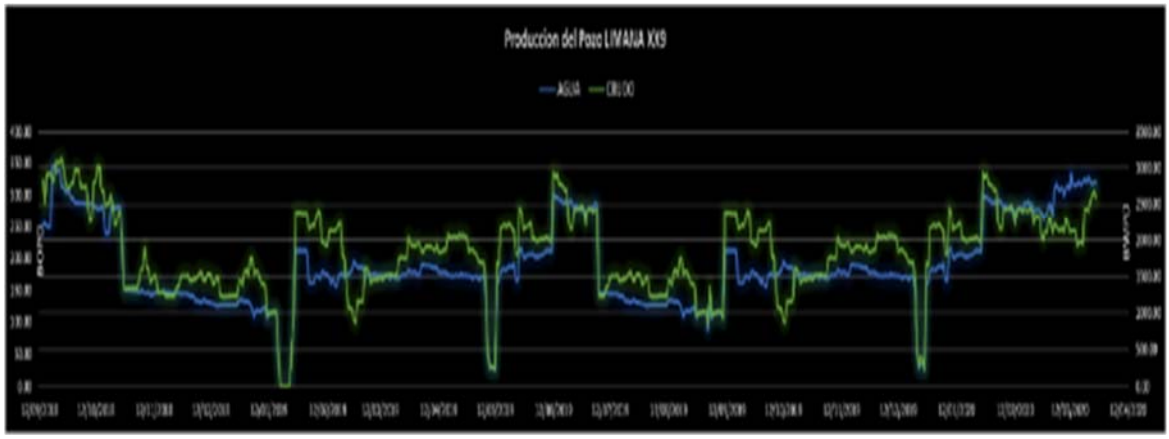
Fuente: El autor.

4.10 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-XX9 EN EL CAMPO LA SABANA.

Se evaluó el comportamiento del pozo LIMANA-XX9 teniendo en cuenta su completamiento inicial y sus intervenciones más relevantes, su historia de producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW con el pasar del tiempo y su depletamiento natural.

4.10.1 Producción histórica del pozo LIMANA-XX9. El pozo LIMANA-XX9 se completó con la arena del C7-M Superior (5168'-5170') y la arena del C7-M Inferior (5203'-5207') inició producción el 01 de octubre de 2018 con la formación C7-M Superior (5168'-5170'). Parámetros operacionales: 324 BOPD, 2542 BWPD y BSW del 88.6%. Su respectivo aporte de hidrocarburo al campo La Sabana es favorable, sin embargo, se visualiza un aumento leve del corte de agua. El 07 de mayo de 2019 se realizó un “Well Service” al pozo, cambio de camisas dejando de producir C7-M Superior (5,168’-5,170’) y dando inicio a producir la formación C7-M Inferior (5,203’-5207’) reabriendo el pozo con la formación C7-M Inferior el 08 de mayo de 2019. Posteriormente el 11 de septiembre de 2021 una de las líneas eléctricas de la ESP presentó una falla lo cual es conveniente a este pozo no aumentarle la frecuencia para evitar aterrizar el pozo hasta un nuevo “Well Service”. El pozo Limana-XX9 se ha mantenido produciendo desde la Formación, C7-M Inferior (5,203’-5207’) y la producción promedio es 283 BOPD y 1925 BWPD. Hasta el 22 de febrero de 2022 el volumen acumulado es de 118,150 bbls de aceite y 926,266 bbls de agua.

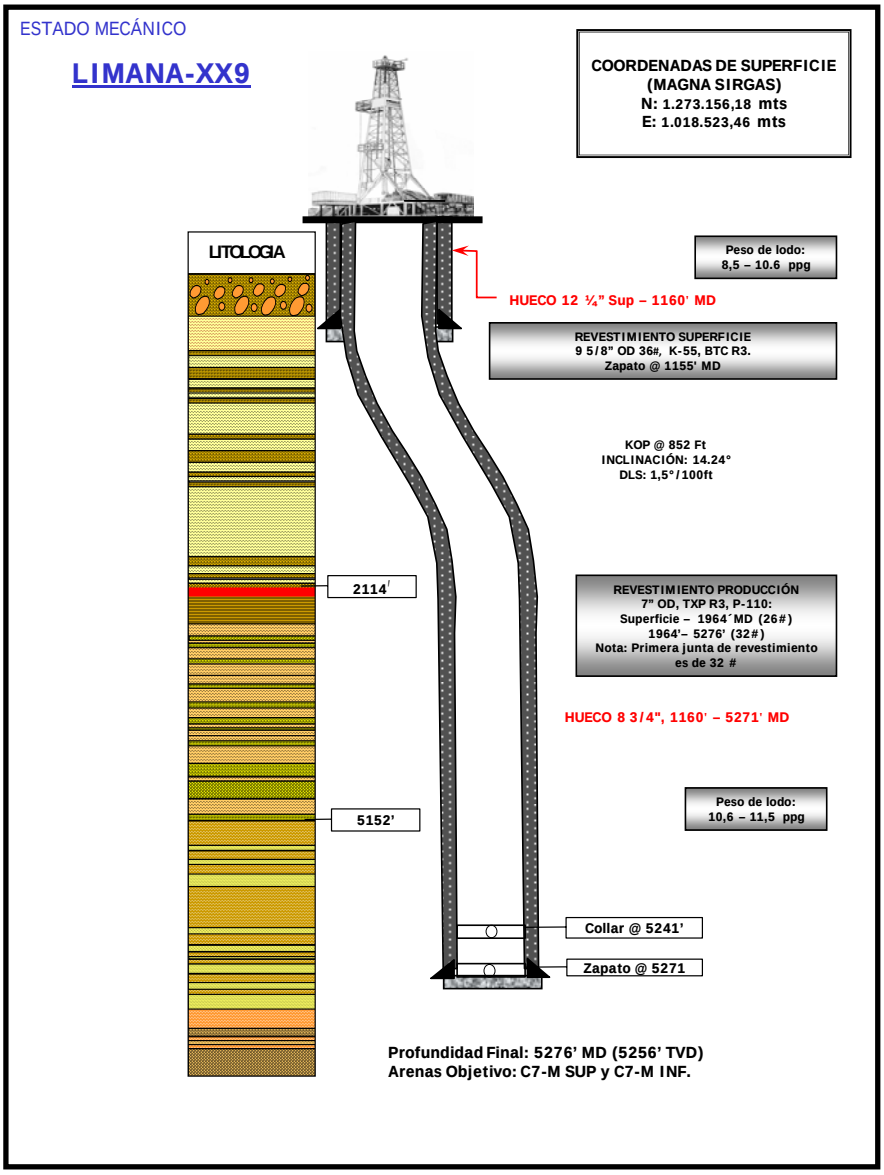
Figura 20. Producción histórica del pozo LIMANA-XX9.



Fuente: El autor.

4.10.2 Construcción del pozo LIMANA-XX9, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8", la segunda sección fue perforado con Broca de 8-¾" y revestido con "casing" de 7", luego fue completado con tubing de producción de 3-½" y equipo ESP SN8570 con 102 etapas. El pozo entró en producción el 01 de octubre de 2018 produciendo del intervalo C7-M Superior (5168'-5170'). Actualmente el pozo se encuentra produciendo de C7-M Inferior (5203'-5207').

Figura 21. Estado mecánico pozo LIMANA-XX9.



Fuente: Wellbore schematics cortesia Juan Enrique López.

4.10.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-XX9.

Tabla 9: Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-XX9.

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-XX9				Completó la arena del C7-M Superior (5168'-5170') y la arena del C7-M Inferior (5203'-5207'). Se realizó instalación del equipo ESP.
	SN8570	01/10/2018	07/05/2019	El pozo se pone en producción con la formación C7-M Superior (5168'-5170').
	SN8570	08/05/2019	11/09/2021	El pozo se pone en producción con la formación C7-M inferior (5203'-5207').
	SN8570	11/09/2021	22/02/2022	El pozo continúa produciendo por la zona C7-M inferior (5203'-5207'). Es de resaltar que el 11 de septiembre de 2021 una de las líneas eléctricas de la ESP presento una falla lo cual es conveniente a este pozo no aumentarle la frecuencia para evitar aterrizar el pozo hasta un nuevo "well service". Actualmente ESP opera con 50 Hz, 1401 PIP, 108 etapas & 310 WHP

Fuente: El autor.

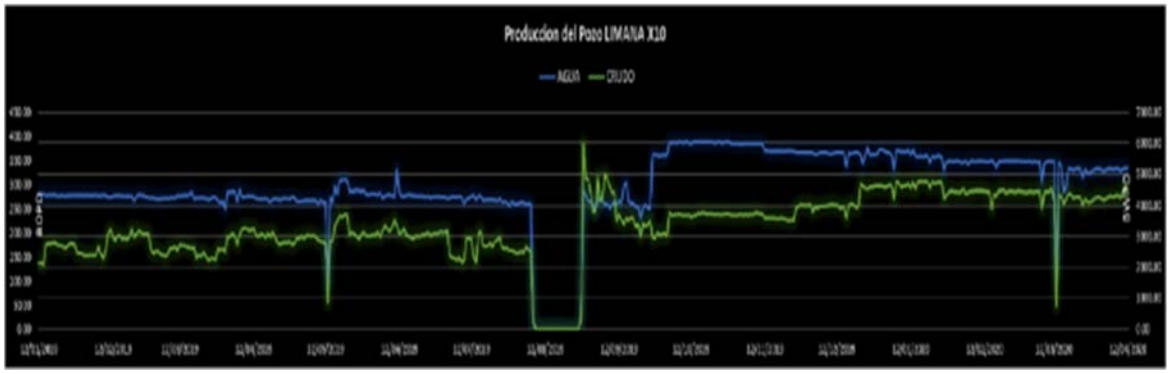
4.11 PRODUCCIÓN HISTÓRICA DEL POZO LIMANA-X10 EN EL CAMPO LA SABANA.

Se evaluó el comportamiento del pozo LIMANA-X10 teniendo en cuenta su completamiento inicial y sus intervenciones más relevantes, su historia de

producción y como se ha venido afectando el pozo por el aumento del BSW con el pasar del tiempo y su depletamiento natural.

4.11.1 Producción histórica del pozo LIMANA-X10. El pozo LIMANA-X10 inició producción el 07 de enero de 2019 se pone en producción con la formación C7-M Superior (5565'-5569'). Con los siguientes parámetros: 212 BOPD y 4252 BWPD y BSW del 95.2%. Su respectivo aporte de hidrocarburos al campo La Sabana es favorable pero LIMANA-X10 es el último pozo que se ha perforado y el corte de agua es uno de los más altos entre los 10 pozos perforados, el pozo tiene una producción promedio de 138 BOPD y 4373 BWPD hasta el 07 de agosto de 2019, luego al pozo se le realizó un "Well Service", posteriormente el 27 de agosto de 2019 inició producción con la formación C7-M Inferior (5572'-5576') su producción promedio con la formación C7-M Inferior es de 266 BOPD y 5356 BWPD con un corte de agua de 95.2%. El volumen acumulado es de 98,464 bbls de aceite y 2,137,550 bbls de agua.

Figura 22. Producción histórica pozo LIMANA-X10.

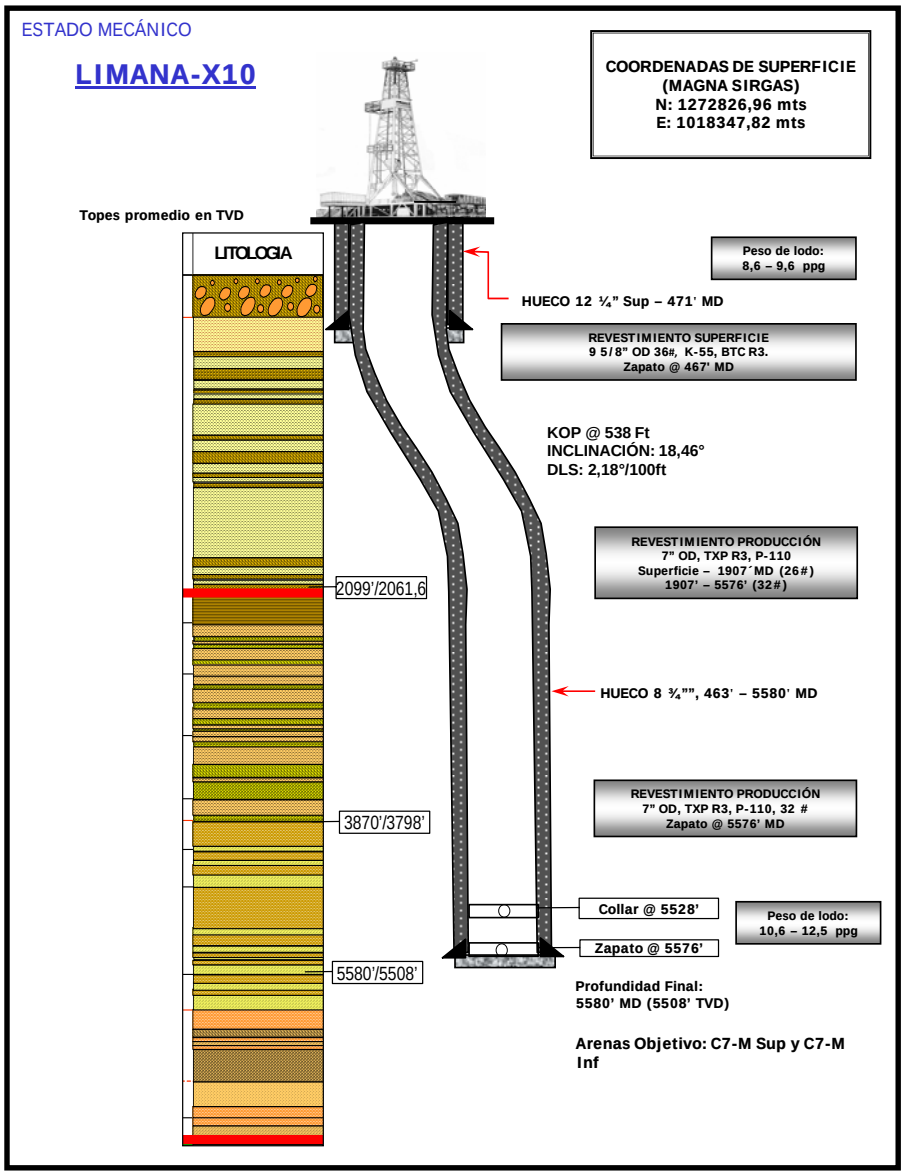


Fuente: El autor.

4.11.2 Construcción del pozo LIMANA-X10, completamiento inicial e intervenciones posteriores. El pozo fue perforado con broca de 12-1/4", revestido con "casing" de producción de 9-5/8", la segunda sección fue perforado con broca de 8-¾" y revestido con "casing" de 7", luego fue completado con "tubing"

de producción de 3-½" y equipo ESP SN8590 con 98 etapas. El pozo entró en producción el 07 de enero de 2019 produciendo del intervalo C7-M Superior (5565'-5569'). Actualmente el pozo se encuentra produciendo de C7-M Inferior (5572'-5576').

Figura 23. Estado mecánico pozo LIMANA-X10.



Fuente: Wellbore schematics cortesia Juan Enrique López.

4.11.3 Instalación de bombas electro sumergibles y "well services". El siguiente cuadro resume las principales intervenciones realizadas a la fecha en el pozo LIMANA-X10.

Tabla 10. Intervenciones ESP en el pozo LIMANA-X10

Nombre del Pozo	ESP Referencia	Fecha Instalación	Fecha Finalización	Razón Cambio ESP y/o comentario
LIMANA-X10	SN8430	20/12/2018	06/01/2019	Completó la arena del C7-M Superior (5565'-5569') y la arena del C7-M Inferior (5572'-5576'). Se realizó instalación del equipo ESP.
	SN8430	07/01/2019	07/08/2019	El pozo se pone en producción con la formación C7-M Superior (5572'-5576'). Con los siguientes parámetros 212 BOPD, 4252 BFPD y BSW del 95.2% El corte de agua es uno de los más altos de los 10 pozos perforados la producción promedio es 138 BOPD y 4373 BWPD
	SN8430	27/08/2019	22/02/2022	El pozo se pone en producción con la formación C7-M Inferior (5572'-5576'). La producción promedio es de 266 BOPD, 5356 BWPD con un corte de agua 95%. Para febrero de 2022 ESP opera con 53 Hz, 1150 PIP, 113 etapas & 292 WHP.

Fuente: El autor.

4.12 DESCRIPCIÓN GEOLÓGICA DE LA CUENCA Y EL CAMPO LA SABANA.

El bloque se encuentra localizado en la cuenca de los llanos orientales de Colombia. Esta cuenca tiene una extensión aproximada de 190.000 Km^2 y corresponde a una región topográficamente plana, con una ligera inclinación hacia el este.

4.12.1 Geología General. De acuerdo con la cuenca, es de tipo pericratónica y asimétrica. Está limitada al sur por el Arco de Guaviare o Saliente del Vaupés, al este por el Escudo De Guayana, al oeste por la Cordillera Oriental y al norte va más allá del río Arauca en Venezuela.

Se extiende desde afloramientos de rocas cristalinas del Pre-Cámbrico hasta el piedemonte de la cordillera, donde el basamento alcanza profundidades de 8.500 metros aproximadamente.

La columna sedimentaria que se encuentra en esta cuenca se adelgaza gradualmente hacia el este, formando un cubrimiento sucesivo de las unidades más jóvenes sobre el basamento anteriormente mencionado. El grado de deformación estructural decrece a través de la cuenca de oeste hacia este. Los pliegues de cabalgamiento que dan origen a los anticlinales que se forman en el piedemonte andino disminuyen en magnitud hacia el oriente, y esto hace que se conviertan en pequeñas estructuras anticlinales que están directamente relacionadas con fallas normales de poco desplazamiento.

4.12.2 Estratigrafía y Descripción Litológica. La estratigrafía general de la cuenca ha sido completamente definida a partir de los datos obtenidos en los diferentes pozos exploratorios y de desarrollo perforados en el área en años anteriores por las diferentes compañías que han operado en los llanos.

4.12.3 Formación Carbonera[2]. La Formación Carbonera consiste en una serie alternante de areniscas, arcillolitas grises a grises verdosas, marrón, limolitas y carbones. Las areniscas son de mayor proporción hacia la parte superior e inferior de la sección; los lentes de carbón son comunes hacia la parte inferior de la sección. La amplia distribución de mantos de carbón y de fósiles vegetales indica un origen generalmente no marino. Esta Formación ha sido dividida en ocho miembros (Carbonera C1 al C8) que forman cuatro pares. Cada par consiste en un miembro superior formado por intercalaciones de areniscas de origen fluvial y arcillas, y un miembro inferior constituido por arcillolitas que fueron depositadas en un ambiente de planicies costeras.

Esta Formación presenta un acuñamiento en dirección Este con espesores que varían entre 2600' y 1200'. La edad da la Formación Carbonera ha sido determinada como Eoceno – Mioceno basados en estudios palinológicos a las faunas de moluscos que han sido recolectados en los sedimentos de esta Formación.

Carbonera C1

Es el miembro superior de la Formación Carbonera. Está conformado por una secuencia de arcillas de color gris, café, amarillo ocre, púrpura, blanco cremoso y rojo moteado intercaladas con arcillolitas de color café y arenas cuarzosas, de color translúcido a blanco lechoso y de grano medio. Las arenas pueden tener espesores de hasta 70 pies, y son fácilmente correlacionables entre pozos, aunque su espesor varía considerablemente con la distancia. Esta Formación es de origen fluvial, siendo las arenas depósitos de canal y las arcillas y limolitas depósitos de superficie de inundación. Ocasionalmente se encuentran delgadas capas de

2 ROBLES, JUAN. Informe Técnico Anual Caracara, Hupecol, Bogotá, 2004. Pag 3-5.

carbón, especialmente hacia la base de la secuencia. Puede tener espesores de hasta 1.400 pies.

Carbonera C2

Está conformado por una secuencia monótona de arcillas de color gris a gris verdoso. Su ambiente de depósito es probablemente de planicie costera y puede tener hasta 600 pies de espesor.

Carbonera C3

Está conformado por una secuencia de arenas, limolitas y arcillas de color gris intercaladas. El espesor de las capas varía entre 3 y 30 pies, y ocasionalmente se encuentran delgadas intercalaciones de carbón o material carbonoso. Estos sedimentos son de origen fluvial, como en el Carbonera C1, pero los canales de arenas son más delgados y difícilmente correlacionables entre pozos. El espesor de esta unidad es de aproximadamente 300 pies.

Carbonera C4

Está conformado por una secuencia relativamente delgada y monótona de arcillas de color gris a gris verdoso. Su ambiente de depósito es probablemente de planicie costera y tiene aproximadamente 200 pies de espesor.

Carbonera C5

Como en el Carbonera C1, esta unidad está conformada por una secuencia de arcillas de color gris, café, amarillo ocre, púrpura, blanco cremoso y rojo moteado intercaladas con arenas cuarzosas, de color translúcido a blanco lechoso y de grano fino a medio, ocasionalmente bien cementadas y limolitas de color café. Las

arenas pueden tener espesores de hasta 100 pies, aunque su espesor promedio varía entre 10 y 30 pies. Aunque las arenas pueden ser correlacionadas localmente, su desarrollo varía considerablemente sobre largas distancias.

Esta Formación es de origen fluvial, siendo las arenas depósitos de canal y las arcillas y limolitas depósitos de superficie de inundación. El Carbonera C5 puede tener espesores hasta de 1.100 pies.

Carbonera C6

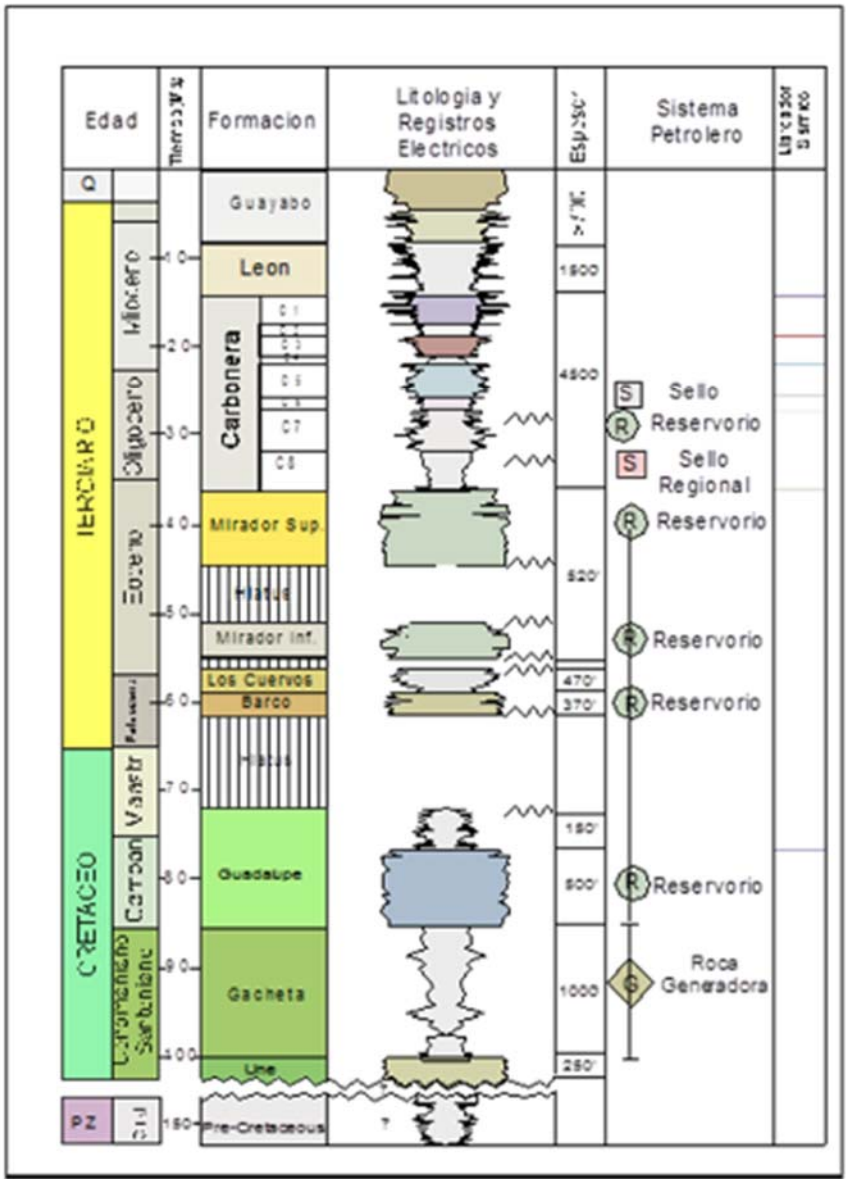
Está conformado por una secuencia monótona de arcillas de color gris a gris verdoso. Su ambiente de depósito es probablemente de planicie costera y tiene aproximadamente 460 pies de espesor.

Carbonera C7

El Carbonera C7 está conformado por una secuencia de intercalaciones delgadas de arcillas, arenas y limolitas. Las arcillas son de color gris a café y moderadamente firmes. Las arenas son cuarzosas, de grano muy fino a fino, arcillosas y ocasionalmente carbonosas. Los cuerpos de arena son delgados, por lo general con espesores que oscilan entre los 10 y 20 pies, y son difíciles de correlacionar, aunque sea entre pozos localizados a una corta distancia. La parte inferior de la formación presenta arcillas carbonosas con mantos de carbón intercalados. Esta Formación es de origen fluvial, siendo las arenas depósitos de canal y las arcillas y limolitas depósitos de superficie de inundación.

La Formación puede llegar a tener 650 pies de espesor. Algunos cuerpos de arenas pueden estar sobrepresionados por la presencia de hidrocarburos entrampados en ellos. La Formación Carbonera Unidad C7 es la zona quizás más importante puesto que los pozos productora en el Bloque Isla X.

Figura 24. Columna estratigráfica generalizada.



Fuente: ROBLES, JUAN. Informe Técnico Anual Caracara, Hupecol, Bogotá, 2004. Pag 4.

Carbonera C8

Está conformado por una secuencia monótona de arcillas de color gris a gris verdoso. En algunas partes de la cuenca se encuentran unas delgadas intercalaciones de limolitas hacia la base de la formación. Su ambiente de depósito es probablemente de planicie costera y tiene aproximadamente 450 pies de espesor.

Porosidad	GRADO API
25 a 29 %	33 a 37°

5. ESTUDIO DE LOS PROCESOS ACTUALES DE LOS SISTEMAS DE PRODUCCIÓN CON ESP Y LA APLICACIÓN DE ANÁLISIS NODAL.

5.1 ANÁLISIS NODAL.

Utilizando la herramienta de Prosper (Petex-Petroleum Experts) se hace una simulación con base en los parámetros actuales para determinar el AOF (máximo potencial de aceite) y posibles condiciones futuras de operación de cada uno de los pozos para proponer diferentes escenarios de optimización de la producción de crudo (LIMITED, IPM Prosper Manual, 2010).

Adicionalmente, mediante Prosper se puede realizar el diseño óptimo de los equipos de bombeo electrosumergible de los diferentes pozos del área en base a su potencial de producción.

Además, el análisis nodal (ECONOMIDES, 1993) es una herramienta que nos permite evaluar, simular y pronosticar una gran cantidad de parámetros de nuestro interés los cuales son:

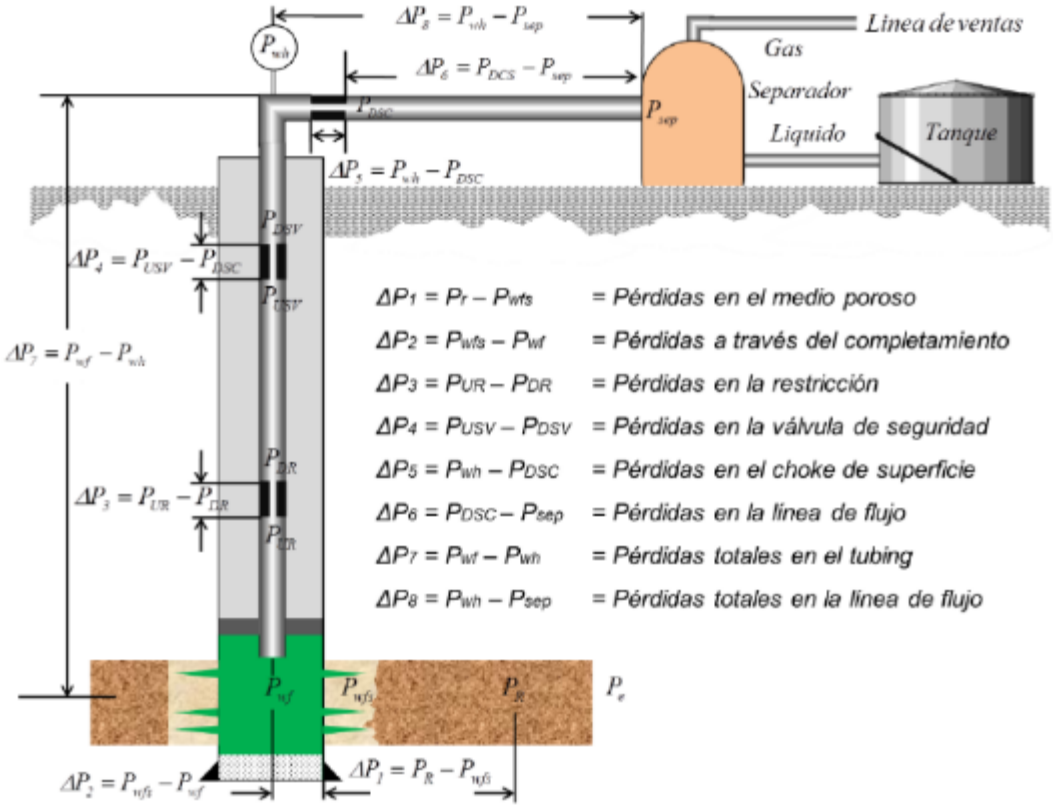
1. Determinar el daño
2. Obtener pronósticos de producción
3. Determinar caídas de presión
4. Evaluar producción simulando diferentes cambios en el sistema
5. Determinar diámetro optimo en tuberías de producción

5.1.1 Pérdidas de Presión en un sistema de Producción. Para transportar los fluidos que se encuentran en el yacimiento hasta las facilidades de superficie, se requiere de una cantidad de energía que sea capaz de superar el gradiente hidrostático de la columna de fluido, las pérdidas por fricción en el sistema de

completamiento de un pozo y los cambios de energía cinética, y así llevar los fluidos hasta superficie.

Cada elemento del completamiento requiere de cierta caída de presión para que el flujo pase a través del mismo, de tal modo que la caída de presión total (Pr – Psep) será igual a la suma de las pérdidas de presión individuales que ocurren en todos los elementos del sistema (ECONOMIDES, 1993). En la Figura 25 se esquematiza las principales fuentes de pérdidas de presión del fluido en su trayecto desde la formación hasta el separador.

Figura 25. Pérdidas de producción de fluidos



Fuente: CABARCAS, MANUEL. Optimización Integrada del sistema de Producción Utilizando Análisis Nodal. Especialización Producción Hidrocarburos Universidad Industrial de Santander, sede Bucaramanga, 2014. 1-4 Pág.

5.2 COMO REALIZAR EL PROCEDIMIENTO PARA UN ANÁLISIS NODAL.

El análisis nodal del sistema de producción puede ser utilizado para analizar problemas en pozos de petróleo y gas. El procedimiento puede ser utilizado para pozos surgentes como pozos con sistemas de levantamiento artificial[3], en la siguiente sección se verá un paso a paso para realizar un análisis Nodal.

5.2.1 Selección del nodo solución. La manera más adecuada consiste en identificar donde se pondrá el nodo y dividir el sistema en ese punto exacto.

1. Todos los objetos o bloques aguas arriba del nodo se definen (Inflow)
2. Todos los objetos o bloques aguas abajo del nodo se definen (Outflow)

Es de destacar que cada objeto está ligado entre la tasa de flujo y caída de presión.

5.2.2 Construcción de las curvas "Inflow" y "Outflow" o curvas de oferta y demanda. En la representación de la figura (26) Capacidad de flujo del sistema vemos la presión de llegada de los fluidos en función del caudal y a su vez reciben el nombre de Oferta ("**Inflow"**), y la presión de salida en un objeto se conoce como curva de demanda o ("**Outflow"**).

Entrada al nodo ("Inflow"):

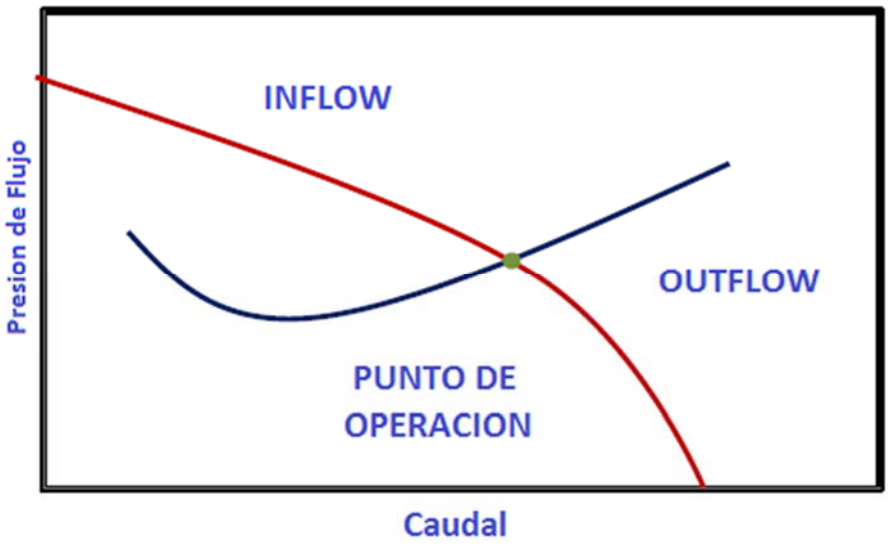
$$P_R \ - \Delta P(\ Componentes\ corriente\ arriba) = P_{nodo} \qquad \text{(Ecuacion-01)}$$

3 HIRSCHFELT, MARCELO. Análisis de un sistema de producción y Análisis Nodal Curso. Buenos Aires. Octubre, 2009.

Salida del nodo ("Outflow"):

$$P_{sep} + \Delta P\ (componentes\ corriente\ abajo) = P_{nodo} \qquad \text{(Ecuación-02)}$$

Figura 26. Capacidad de flujo del sistema.



Fuente: BEGGS DALE. Production Optimization Using NODAL™ Analysis.1991.

5.2.3 Nodos de solución y nodos funcionales. Los **nodos solución** se encuentran en el yacimiento, fondo de pozo luego cabeza de pozo y en el separador. Los **nodos funcionales** se denominan a todo lo que se relaciona cuando hay un diferencial de presión a través de él y hay una respuesta en la tasa de flujo o en presión.

5.2.4 El skin factor. Es una forma adimensional de caída de presión que ocurre en el pozo debido a un comportamiento no tan ideal del flujo su nomenclatura se define:

$$S = S' + Dq \qquad \text{(Ecuación-03)}$$

Donde:

S’ = Skin factor, Ocurre producto de cambios sufridos en la permeabilidad y esto ocasiona que se perturbe de forma indeseable el flujo.
D = Coeficiente de la Tubería.

5.2.5 Ley de Darcy. En 1856 Henry Darcy propuso una ecuación que relacionaba la velocidad aparente del fluido con la caída de presión a lo largo del lecho filtrante.

La ecuación desarrollada por Darcy escrita de manera diferencial es:

$$\boldsymbol{q = vA = -\frac{KAdP}{udx}} \qquad \text{(Ecuación-04)}$$

La velocidad aparente se expresa:

$$\boldsymbol{v = \frac{KdP}{\mu dx}} \qquad \text{(Ecuación-05)}$$

Donde:

K = Permeabilidad del medio poroso

V = Velocidad aparente del fluido

Q = Tasa de flujo volumétrico

A = Área abierta al flujo

μ = Viscosidad del fluido

Dp / dx = gradiente de presión en la dirección del flujo.

5.3 MODELAMIENTO DEL IPR.

Conocer el comportamiento IPR de un pozo es fundamental para poder realizar el análisis nodal en cualquier sistema específico, de esta manera es fundamental construir las curvas de oferta “Inflow” (MARCELO, 2009).

El IPR establece la correlación entre la presión de flujo y la tasa de flujo, algunos casos que generalmente ocurren durante la producción son[4]:

1. El descenso de la presión si se mantiene el caudal constante.
2. La disminución del caudal si se mantiene la presión de flujo constante.

5.3.1 Índice de productividad IP. Es un parámetro extremadamente indispensable en un pozo pues describe el comportamiento del flujo, esto ocurre en las arenas productoras el índice de productividad se define como:

$$\boldsymbol{J = IP = \frac{q_o}{P_R - P_{wf}}} \qquad \text{(Ecuación-06)}$$

Donde:

$q_o = Tasa\ de\ producción$

$P_R = Presión\ del\ yacimiento$

4 PORRAS, MARIO. Y ZAPA, MARVIN Evaluación de los métodos empleados en software comerciales para optimizar la producción de crudo por análisis nodal. Bucaramanga, 2014. Proyecto de grado. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-químicas. Escuela de ingeniería de petróleos

$P_{wf} = Presión\ de\ fondo\ fluyendo$

5.3.2 "Inflow Performance Relationship (IPR)". Se define como el rango desde la presión promedio del yacimiento y la presión atmosférica.

En 1954 Gilbert fue el primero en proponer esta relación, sin embargo, se dio cuenta que cuando la P_{wf} se encontraba por encima del punto de burbuja el IPR era una línea recta, de igual manera determina que los pozos con una P_{wf} por debajo del punto de burbuja la IPR graficaba una curva producto de la fase gaseosa presente en el aceite.[5]

5.3.3 Método de Vogel.[6] En el caso del flujo bifásico, donde la presión promedio del yacimiento está por debajo de la presión del punto de burbuja, es recomendado el IPR de Vogel esta ecuación es:

$$\frac{q_o}{q_{max}} = \mathbf{1} - \mathbf{0.2}\left(\frac{P_{wf}}{P_r}\right) - \mathbf{0.8}\left(\frac{P_{wf}}{P_r}\right)^2 \qquad \text{(Ecuación-07)}$$

Es de resaltar que toda curva IPR puede ser calculada cualquier sea el la Tasa de Producción máxima (q_{max}) como también la presión promedio del yacimiento y el caudal a la correspondiente presión dinámica.

5.3.4 Método de Vogel Compuesto. El IPR compuesto, en una combinación de índices de productividad. Se basa en la ley de Darcy cuando las presiones de reservorio están por encima de la presión de punto de burbuja, y cuando la presión está por debajo de esta, se utiliza el IPR de Vogel. Este IPR está particularmente

5 HIRSCHFELDT, MARCELO. Análisis de un sistema de Producción y Análisis Nodal. Buenos Aires.2009
6 ECONOMIDES, MICHAEL. Petroleum Production systems. New Yersey. December, 1993.

utilizado cuando la presión de reservorio $\boldsymbol{P_r}$ esta por encima de la presión de burbuja y la presión dinámica de fondo $\boldsymbol{P_{wf}}$ está por debajo.[7]

Por lo tanto

1. Para $P_{wf} \geq P_b$

$$\boldsymbol{q_o = PI\left(P_r - P_{wf}\right)} \qquad \text{(Ecuación-08)}$$

2. Para $P_{wf} \leq P_b$

$$\boldsymbol{q_o = \left(q_b + \left(\frac{PI * P_b}{1.8}\right)\right)\left[1 - 0.2\left(\frac{P_{wf}}{P_r}\right) - 0.8\left(\frac{P_{wf}}{P_r}\right)^2\right]} \qquad \text{(Ecuación-09)}$$

5.3.5 Método de Fetkovich[8]. Fetkovich demostró que los pozos de petróleo, produciendo por debajo de la presión del punto de burbuja, y los pozos de gas exhiben curvas de índices de performance de influjo similares. La ecuación general del desarrollo de un pozo de gas, también puede ser aplicada a un pozo de petróleo:

$$\boldsymbol{q = C\left(P_r^2 - P_{wf}^2\right)^n} \qquad \text{(Ecuación-10)}$$

Los coeficientes C y n son encontrados generalmente por la utilización de la curva de ensayo de pozo "fitting of multipoint". La evaluación de los ensayos de pozo y especialmente ensayos isocronales son la mayor aplicación para el método de Fetkovich. El exponente "n" fue encontrado que existen casos de entre 0.5 a 1000, tanto para pozos de gas como petróleo. Una "n" menor que uno es casi siempre debido a los efectos de un flujo no Darcy. El coeficiente "C" representa el índice

7 ECONOMIDES, MICHAEL. Petroleum Production systems. New Yersey. December, 1993.
8 Marcelo Hirschfelt-Oilproduction.net / Rodrigo Ruiz – UNPSJB – Sep 2008

de productividad del reservorio. Consecuentemente este coeficiente se incrementa cuando k y h se incrementa.

5.4 ANALISIS DE DIFERENTES TIPOS DE TUBERIA DISPONIBLES EN EL MERCADO Y SU DESEMPEÑO TEÓRICO ANTE LOS FLUIDOS DE PROCESO.

Se realizó una revisión de las diferentes alternativas de materiales disponibles en el mercado, ventajas y desventajas, analizando las diferentes opciones para la aplicación de las necesidades en el campo. Dentro de los materiales candidatos revisados se encuentran los mencionados a continuación:

Metálicos:

1. Acero al carbono API 5L Gr B, X42.
2. Acero al carbono API 5L Gr B + Recubrimiento interno (Epóxico serie TK)
3. Acero al carbono + “Liner” de Polietileno
4. Aleaciones de acero con cromo

No metálicos:

1. Tubería de Fibra de Vidrio Rígida
2. Tubería de Fibra de Vidrio Flexible
3. Tubería de Fibra + Alma de acero
4. Polietileno de Alta Densidad
5. Polietileno de Alta Densidad + Kevlar
6. Polietileno de Alta Densidad + Fibra de Vidrio
7. Polietileno de Alta Densidad + Acero

Durante los años 2015 a 2020 la industria ha tenido una vertiginosa evolución en el desarrollo de los materiales usados en la construcción de tubería para

conducción de hidrocarburos. Cada material ha mostrado sus virtudes y ventajas en la práctica, con pilotos en campos del país o pruebas de laboratorio estructuradas y documentadas, de materiales metálicos y no metálicos.

Dentro de esta constante evolución, se encuentra en el mercado una gran variedad de ventajas en las mejoras de cada una de las alternativas, sin embargo, es necesario analizar con detenimiento la aplicación de cada alternativa para extraer el mejor provecho de la misma, es decir, partir de lo que se tiene, o condiciones de diseño para aplicar el material que entregue el mejor desempeño.

Existen factores que afectan el desempeño de cada alternativa, disminuyendo drásticamente sus virtudes dejándola vulnerable a otros componentes. En la Tabla 11 veremos un resumen de los materiales con sus respectivos productos comerciales y los proveedores de los mismos.

Tabla 11. Materiales alternativos para tubería.

MATERIAL		EMPRESA	PRODUCTO	
FIBRA DE VIDRIO	RIGIDA	AMERON	CEN/CBS; SP/SPH/SP8; DH/DHL; DHC	
		PETROPLASTIC	*PETROLINE*	
		FPI	*FIBERSTRONG, WAVISTRONG, YELLOW BOX*	
		FIBER GLASS	*LINE PIPE*	
	FLEXIBLE	FPI	*COBRA, PYTHON, BOA*	
	ALMADE ACERO	AMERON	*BONDSTRAND SSL*	
POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD	PEAD	EXTRUCOL	PE100	
	KEVLAR	*PSK*	*POLYFLOW*	
		SOLUFORCE	*LIGH, CLASSIC*	
	FIBRA DE VIDRIO	*FLEXPIPE*	*FLEXIPIPE*	
	REFORZADO ACERO	*SOLUFORCE*	*HEAVY*	
		FLEXPIPE	*FLEXIPIPE HIGH PRESION*	
ACEROS		TENARIS	API5L	GRADO B
				X42
				X52
				X65
ACERO RECUBIERTO INTERNAMENTE		TENARIS	TUBOSCOPE TK2 - TK7 - TK21 - TK33 - TK62	
ACERO CON *LINER*		FALCON	*POLYCORE; ENERTUBE; ULTRATUBE*	
ALEACIONES ACERO		TENARIS	3% CROMO	

Fuente: El autor.

Actualmente, en los diferentes campos de producción en Colombia, se tienen instaladas como alternativas de materiales para la conducción de hidrocarburos en las líneas de recolección, algunos de los sistemas o productos expuestos en la tabla 11.

Es importante echar un vistazo a los resultados o el comportamiento que han tenido estas tuberías en la operación de los campos donde están trabajando, y observar el impacto obtenido con los mismos en casos tan particulares de pérdidas de espesor producto del deterioro por corrosión.

Teniendo en cuenta los factores o las causas del problema, En algunas compañías se instalaron pilotos de pruebas con tuberías de acero recubierta internamente, tuberías de polietileno reforzadas con malla de acero, tuberías de polietileno reforzadas con kevlar y tuberías en fibra de vidrio flexibles en varios campos del Magdalena Medio (Campo La Cira Infantas, Casabe, San Silvestre, entre otros).

Después de ser instalados, los encargados en las áreas respectivas han realizado un seguimiento y por ende un estudio del desempeño obtenido en las líneas expuestas. Actualmente y después de ciertos años, no se han presentado anomalías ni fallas en las líneas instaladas de los diferentes materiales compuestos.

5.4.1 Trazado de la línea colectora y condiciones de trabajo. Se realizó el estudio del trazado de la línea colectora, resaltando la poca viabilidad o aprobación de enterrar la línea y mucho menos cambiar el trazado, debido a los costos que representa el enterrar tuberías y los procesos de adquisiciones de tierras y/o servidumbres. Las condiciones bajo las cuales se transporta el crudo en este colector son:

1. Temperatura máxima: 100 – 150 psi
2. Presión: 200 a 400 psi
3. Condición de trayectoria de la línea: Lo ideal es que continúe por el mismo trazado de la línea actual, y en el mismo banco de tubería o marcos H.
4. Diámetro de la tubería: 6”, Se mantendrá el diámetro der la línea actual para no cambiar la corrida hidráulica inicial.
5. Pozos que están conectados: Actualmente: LIMANA-XX1, LIMANA-XX2, LIMANA-XX3, LIMANA-XX4H, LIMANA-XX5H, LIMANA-XX6H, LIMANA-XX7, LIMANA-XX8, LIMANA-XX9 Y LIMANA X10.
6. Mecanismo de producción del campo: Recuperación primaria con bombeo
a. Electro sumergible.
7. Gravedad API: 21.0 a 22.5
8. Longitud Colector: 19,0 km
9. Variables a tener en cuenta para la corrida de análisis nodal y en superficie

Tabla 22. Parámetros campo La Sabana.

	Presión del yacimiento (PSI)	**(2030 – 2340)**
Parámetros actuales del Campo La Sabana	Temperatura del yacimiento (ºF)	(188 - 220)
	Corte de Agua (%)	(68 - 93)
	Relación Gas – Aceite (GOR) scf/bls	10.0
	Índice de productividad (IP)	(2.5 – 6.0)
	Gravedad API	(20.0 – 22.0)
	Salinidad de Agua (ppm)	100.0
	H_2S	0.0
	CO_2	0.0

Fuente: El autor.

Dentro del estudio de mercado realizado y según los requerimientos operacionales el mecanismo de corrosión presente en la tubería debido a los fluidos transportados en la línea del campo, se analizaron las siguientes opciones:

5.4.2 Tubería en "Liner" de Polietileno: El polietileno de alta densidad PEAD se fabrica con la más fina resina de polietileno de alta densidad y alto peso molecular (HDPE-VHMW) el cual exhibe excelentes características mecánicas y es químicamente inerte, no se corroe u oxida.

5.4.3 Tubería recubierta internamente: La aplicación de recubrimientos internos en las tuberías es una excelente defensa para prevenir el contacto de los agentes agresivos contra las paredes metálicas y evitar el inicio de los procesos de corrosión

5.4.4 Tubería de polietileno con malla de acero: La tubería de polietileno con malla de acero es conocida comercialmente como Soluforce. Soluforce es un tubo plástico para trabajos en alta presión. Esta tubería está hecha de un tubo de

polietileno (PE100), núcleo interior, una cinta de refuerzo, y un revestimiento de exteriores de color blanco, resistente a los rayos UV.

5.4.5 Tubería flexible de polietileno reforzado con kevlar: La tubería de polietileno de alta densidad reforzada con kevlar se ha instalado en varios campos del Magdalena Medio, pero aún se encuentra en evaluación su comportamiento y desempeño. Las principales características de esta tubería son presiones operativas de hasta 3500 psi en entornos corrosivos hostiles**.**

6. ANALISIS NODAL DE SENSIBILIDADES DE LOS POZOS LIMANA CON SIMULACIONES REALIZADAS TENIENDO EN CUENTA DIFERENTES FRECUENCIAS (HZ) Y PRESIONES EN CABEZA DE POZO WHP.

Al tener simulado el diseño actual de los pozos LIMANA en el campo La Sabana se estima tener un pronóstico muy aproximado de los fluidos a la realidad, se procede a realizar las sensibilizaciones con Prosper y plantear las nuevas variables operativas como presión en cabeza, frecuencias y barriles de fluidos después de la sensibilización.

6.1 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (54 HZ) Y (59 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA PARA EL POZO LIMANA-XX1.

En este capítulo se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 316 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 54 Hz (actualmente).

Tabla 33. Predicción de resultados frecuencia 54 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX1.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (54 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	54	6533	196	6337	1088	947	52	281
200	54	6470	194	6276	1097	947	52	281
250	54	6407	192	6215	1106	947	52	281
316	54	6324	190	6134	1118	947	52	281
350	54	6281	188	6093	1124	947	52	281
400	54	6218	187	6031	1133	993	56	281
450	54	6154	185	5970	1142	993	56	281

Fuente: El autor.

Se estimó de igual manera sensibilidades con presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 316 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia máxima esperada de 59 Hz.

Tabla 44. Predicción de resultados frecuencia 59 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX1.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (59 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	59	7283	219	7064	980	840	49	366
200	59	7227	217	7010	989	840	49	366
250	59	7171	215	6956	997	840	49	366
316	59	7097	213	6884	1007	840	49	366
350	59	7058	212	6846	1013	872	53	366
400	59	7002	210	6792	1021	872	53	366
450	59	6946	208	6738	1029	872	53	366

Fuente: El autor.

6.1.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX1. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en los pozos con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 54 Hz, 55 Hz, 56 Hz, 57 Hz, 58 Hz hasta 59 Hz con una WHP constante para cada Tabla, que oscila desde 150 psi hasta 450 psi.

Tabla 55. Predicción de resultados WHP 150 psi pozo LIMANA-XX1.

WHP = 150 & Frecuencia (54, 55, 56, 57, 58 & 59)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	54	6533	196	6337	1088	947	52	281
150	55	6694	201	6493	1065	924	51	297
150	56	6844	205	6639	1043	903	51	313
150	57	6993	210	6783	1022	882	50	330
150	58	7143	214	6929	1001	860	50	348
150	59	7292	219	7073	979	839	49	366

Fuente: El autor.

Tabla 16. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX1.

WHP = 200 & Frecuencia (54, 55, 56, 57, 58 & 59)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
200	54	6484	195	6289	1095	955	53	281
200	55	6637	199	6438	1073	933	53	297
200	56	6786	204	6582	1052	911	52	313
200	57	6939	208	6731	1030	890	51	331
200	58	7087	213	6874	1009	868	51	348
200	59	7239	217	7022	987	847	50	847

Fuente: El autor.

Tabla 67. Predicción de resultados WHP 250 psi LIMANA-XX1.

WHP = 250 & Frecuencia (54, 55, 56, 57, 58 & 59)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	54	6423	193	6230	1103	963	54	281
250	55	6576	197	6379	1082	941	54	297
250	56	6728	202	6526	1060	920	53	314
250	57	6881	206	6675	1038	898	52	331
250	58	7032	211	6821	1016	876	52	348
250	59	7185	216	6969	995	854	51	367

Fuente: El autor.

En la tabla 17 **s**e muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX1 estas son: WHP 316 psi, 54 Hz, 190 BOPD, 6134 BWPD.

Tabla 18. Predicción de resultados WHP 316 psi pozo LIMANA-XX1.

WHP = 316 & Frecuencia (54, 55, 56, 57, 58 & 59)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
316	54	6324	190	6134	1118	947	52	281
316	55	6499	195	6304	1093	953	55	297
316	56	6652	200	6452	1071	931	54	314
316	57	6804	204	6600	1049	909	54	331
316	58	6959	209	6750	1027	887	53	348
316	59	7111	213	6898	1005	865	53	367

Fuente: El autor.

Tabla 19. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX1.

WHP = 350 & Frecuencia (54, 55, 56, 57, 58 & 59)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	54	6299	189	6110	1121	981	56	281
350	55	6454	194	6260	1099	959	55	297
350	56	6611	198	6413	1077	936	55	314
350	57	6774	203	6571	1055	915	54	331
350	58	6921	208	6713	1032	892	54	349
350	59	7073	212	6861	1011	870	53	367

Fuente: El autor.

Tabla 20. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX1.

WHP = 400 & Frecuencia (54, 55, 56, 57, 58 & 59)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	54	6234	187	6047	1130	990	57	281
400	55	6393	192	6201	1108	968	56	297
400	56	6549	196	6353	1085	945	56	314
400	57	6705	201	6504	1063	923	55	331
400	58	6862	206	6656	1041	901	55	348
400	59	7016	210	6806	1019	878	54	367

Fuente: El autor.

Tabla 21. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX1

WHP = 450 & Frecuencia (54, 55, 56, 57, 58 & 59)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	54	6168	185	5983	1140	1000	58	281
450	55	6330	190	6140	1117	976	57	297
450	56	6486	195	6291	1094	954	57	314
450	57	6647	199	6448	1071	931	56	331
450	58	6802	204	6598	1049	909	55	348
450	59	6960	209	6751	1027	886	55	367

Fuente: El autor.

6.2 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (43 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX2.

Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 287 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 43 Hz (actualmente).

Tabla 22. Predicción de resultados frecuencia 43 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX2.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (43 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	43	790	79	711	1160	978	59	24
200	43	773	77	696	1179	978	59	24
250	43	751	75	676	1202	978	59	24
287	43	735	74	661	1220	978	59	24
350	43	708	71	637	1249	978	59	24
400	43	687	69	618	1272	978	59	24
450	43	659	66	593	1302	1120	58	23

Fuente: El autor.

Se estimó de igual manera sensibilidades con presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 316 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia máxima esperada de 55 Hz.

Tabla 73. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX2

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (55 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	55	1114	111	1003	808	626	55	49
200	55	1103	110	993	820	626	55	49
250	55	1092	109	983	832	626	55	49
287	55	1084	108	976	841	626	55	49
350	55	1070	107	963	856	626	55	49
400	55	1056	106	950	872	689	58	49
450	55	1041	104	937	887	689	58	49

Fuente: El autor.

6.2.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX2. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en los pozos con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 43 Hz, 45 Hz, 47 Hz, 50 Hz, 53 Hz hasta 55 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 200 psi hasta 450 psi.

Tabla 84. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX2

WHP = 200 & Frecuencia (43, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
200	43	773	77	696	1179	997	60	24
200	45	831	83	748	1116	934	60	27
200	47	887	89	798	1055	873	59	31
200	50	970	97	873	965	783	58	37
200	53	1052	105	947	876	694	57	44
200	55	1106	111	995	817	635	56	49

Fuente: El autor.

En la tabla 25 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX2 estas son: WHP 287 psi, 43 Hz, 74 BOPD, 665 BWPD.

Tabla 25. Predicción de resultados WHP 287 psi pozo LIMANA-XX2.

WHP = 287 & Frecuencia (43, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
287	43	735	74	661	1220	978	60	24
287	45	800	80	720	1150	967	60	27
287	47	859	86	773	1085	903	60	31
287	50	946	95	851	991	809	59	37
287	53	1030	103	927	900	718	58	44
287	55	1085	109	976	839	657	57	49

Fuente: El autor.

Tabla 96. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX2.

WHP = 350 & Frecuencia (43, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	43	711	71	640	1246	1063	60	24
350	45	775	77	698	1176	994	60	27
350	47	837	84	753	1109	927	60	31
350	50	926	93	833	1012	830	60	37
350	53	1013	101	912	918	736	59	44
350	55	1069	107	962	856	674	58	49

Fuente: El autor.

Tabla 27. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX2.

WHP = 400 & Frecuencia (43, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	43	688	69	619	1272	1089	59	24
400	45	755	75	680	1199	1016	60	27
400	47	818	82	736	1129	947	60	31
400	50	911	91	820	1029	847	60	37
400	53	999	100	899	933	751	59	44
400	55	1057	106	951	951	870	59	49

Fuente: El autor.

Tabla 28. Predicción de Resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX2.

WHP = 450 & Frecuencia (43, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	43	661	66	595	1300	1118	58	24
450	45	732	73	659	1224	1041	59	27
450	47	799	80	719	1151	968	60	31
450	50	894	89	805	1047	865	60	38
450	53	985	98	887	948	766	59	45
450	55	1043	104	939	885	703	59	50

Fuente: El autor.

6.3 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (44 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX3.

Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 287 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 44 Hz (actualmente).

Tabla 29 Predicción de resultados frecuencia 44 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX3.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (44 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	44	492	20	472	1500	1318	26	23
200	44	447	18	429	1548	1318	26	23
250	44	402	16	386	1594	1318	26	23
287	44	372	15	357	1627	1318	26	23
350	44	319	13	306	1682	1318	23	23
400	44	281	11	270	1722	1318	26	23
450	44	245	10	235	1760	1318	26	23

Fuente: El autor.

Tabla 100. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX3.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (55 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	55	818	33	785	1157	974	30	49
200	55	783	31	752	1194	974	30	49
250	55	745	30	715	1234	974	30	49
287	55	717	29	688	1263	974	30	49
350	55	665	27	638	1318	974	30	49
400	55	623	25	598	1362	974	30	49
450	55	579	23	556	1408	974	30	49

Fuente: El autor.

6.3.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX3 En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en los pozos con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 43 Hz, 44 Hz, 45 Hz, 47 Hz, 50 Hz, 53 Hz hasta 55 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 200 psi hasta 450 psi.

Tabla 31. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX3.

WHP = 200 & Frecuencia (43, 44, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
200	43	418	17	401	1578	1395	24	21
200	44	447	18	429	1548	1365	24	11
200	45	478	19	459	1517	1334	25	24
200	47	536	21	515	1454	1271	26	28
200	50	629	25	604	1356	1174	28	35
200	53	722	29	693	1258	1075	29	43
200	55	784	31	753	1192	1010	30	49

Fuente: El autor.

En la tabla 32 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX3 estas son: WHP 287 psi, 44 Hz, 14 BOPD, 329 BWPD.

Tabla 32. Predicción de resultados WHP 287 psi pozo LIMANA-XX3

WHP = 287 & Frecuencia (43, 44, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
287	43	343	14	329	1657	1474	21	19
287	44	370	15	355	1628	1445	22	21
287	45	390	16	374	1598	1415	22	23
287	47	459	18	441	1535	1353	24	27
287	50	553	22	531	1436	1253	26	34
287	53	652	26	626	1332	1149	27	42
287	55	718	29	689	1262	1080	28	47

Fuente: El autor.

Tabla 33. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX3.

WHP = 350 & Frecuencia (43, 44, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	43	292	12	280	1711	1528	19	19
350	44	318	13	305	1683	1500	19	20
350	45	346	14	332	1654	1471	20	22
350	47	404	16	388	1593	1410	22	26
350	50	497	20	477	1494	1311	24	33
350	53	597	24	573	1389	1207	26	40
350	55	666	27	639	1317	1134	27	46

Fuente: El autor.

Tabla 34. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX3.

WHP = 400 & Frecuencia (43, 44, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	43	254	10	244	1751	1568	17	18
400	44	279	11	268	1724	1541	18	20
400	45	306	12	294	1696	1513	19	22
400	47	362	15	347	1637	1454	20	25
400	50	454	18	436	1540	1358	23	32
400	53	553	22	531	1436	1253	25	39
400	55	623	25	598	1362	1180	26	45

Fuente: El autor.

Tabla 35. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX3.

WHP = 450 & Frecuencia (43, 44, 45, 47, 50, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	43	218	9	209	1788	1605	15	18
450	44	243	10	233	1762	1579	16	19
450	45	268	11	257	1735	1553	17	21
450	47	323	13	310	1679	1496	19	25
450	50	411	16	395	1585	1402	21	31
450	53	509	20	489	1482	1299	24	38
450	55	579	23	556	1409	1225	25	44

Fuente: El autor.

6.4 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (48 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX4H. Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 291 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 48 Hz (actualmente).

Tabla 36. Predicción de resultados frecuencia 48 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX4H

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (48hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	48	5496	330	5166	1352	1077	63	148
200	48	5409	325	5084	1367	1077	74	148
250	48	5323	319	5004	1382	1077	63	148
291	48	5252	315	4937	1394	1077	63	148
350	48	5150	309	4841	1412	1077	63	148
400	48	5063	304	4759	1427	1077	63	148
450	48	4977	300	4677	1442	1077	63	148

Fuente: El autor.

Tabla 37. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX4H

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (55 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	55	6485	389	6096	1182	906	60	223
200	55	6419	385	6034	1193	906	60	223
250	55	6354	381	5973	1204	906	60	223
291	55	6298	380	5918	1214	906	60	223
350	55	6204	372	5832	1230	906	60	223
400	55	6124	367	5757	1244	906	60	223
450	55	6044	363	5681	1258	906	60	223

Fuente: El autor.

6.4.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX4H. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en el pozo con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 48 Hz, 49 Hz, 50 Hz, 51 Hz, 53 Hz, hasta 55 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 200 psi hasta 450 psi.

Tabla 38. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX4H.

WHP = 250 & Frecuencia (48, 49, 50, 51, 53, & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	48	5340	320	5020	1379	1104	66	148
250	49	5486	329	5157	1354	1079	65	157
250	50	5631	338	5293	1329	1054	65	167
250	51	5776	347	5429	1304	1029	64	178
250	53	6065	364	5701	1254	979	63	200
250	55	6355	381	5974	1204	929	63	223

Fuente: El autor.

En la tabla 39 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX4H estas son: WHP 291 psi, 48 Hz, 315 BOPD, 4937 BWPD.

Tabla 39. Predicción de resultados WHP 291 psi pozo LIMANA-XX4H.

Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
291	48	5252	315	4937	1394	1077	66	148
291	49	5420	325	5095	1366	1090	66	157
291	50	5564	334	5230	1341	1065	66	167
291	51	5713	343	5370	1315	1040	65	178
291	53	6005	360	5645	1265	989	64	199
291	55	6298	378	5920	1214	939	63	223

Fuente: El autor.

Tabla 40. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX4H.

WHP = 350 & Frecuencia (48, 49, 50, 51, 53, & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	48	5170	310	280	1409	1133	68	147
350	49	5317	319	4998	1383	1108	67	157
350	50	5468	328	5140	1357	1082	67	167
350	51	5616	337	5279	1332	1056	66	177
350	53	5914	355	5559	1280	1005	66	199
350	55	6212	373	5839	1229	954	65	223

Fuente: El autor.

Tabla 41. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX4H

WHP = 400 & Frecuencia (48, 49, 50, 51, 53, & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	48	5076	305	4771	1425	1149	68	147
400	49	5229	314	4915	1398	1123	68	157
400	50	5381	323	5058	1372	1097	68	167
400	51	5532	332	5200	1346	1071	67	177
400	53	5835	350	5485	1294	1019	66	199
400	55	6136	368	5768	1242	967	66	223

Fuente: El autor.

Tabla 42. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX4H

WHP = 450 & Frecuencia (48, 49, 50, 51, 53, & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	48	6136	368	5768	1242	1140	75	223
450	49	5140	308	4832	1414	1138	75	156
450	50	5292	318	4974	1388	1112	75	166
450	51	5449	327	5122	1360	1085	68	177
450	53	5755	345	5410	1308	1032	67	198
450	55	6059	364	5695	1255	980	66	222

Fuente: El autor.

6.5 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (30 HZ) Y (50 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX5H.

Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 305 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 30 Hz (actualmente).

Tabla 43. Predicción de resultados frecuencia 30 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX5H.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (30 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	30	2954	89	2865	1565	1255	112	31
200	30	2827	85	2742	1585	1275	112	31
250	30	2701	81	2620	1605	1255	112	31
305	30	2475	74	2401	1641	1331	101	32
350	30	2291	69	2222	1670	1331	101	32
400	30	2086	63	2023	1703	1331	101	32
450	30	1849	56	1793	1741	1331	101	32

Fuente: El autor.

Tabla 44. Predicción de resultados frecuencia 50 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX5H.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (50 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	50	6179	185	5994	1053	743	92	151
200	50	6123	184	5939	1062	743	92	151
250	50	6068	182	5886	1071	743	92	151
305	50	5995	180	5815	1082	743	92	151
350	50	5935	178	5757	1092	743	92	151
400	50	5868	176	5692	1103	743	92	151
450	50	5801	174	5627	1113	743	92	151

Fuente: El autor.

6.5.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX5H. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en el pozo con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 30 Hz, 33 Hz, 37 Hz, 40 Hz, 43 Hz, 47 Hz hasta 50 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 250 psi hasta 450 psi.

Tabla 45. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX5H.

WHP = 250 & Frecuencia (30, 33, 37, 40, 43, 47 & 50)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	30	2695	90	2605	1560	1249	117	30
250	33	3259	98	3161	1517	1206	117	40
250	37	3961	119	3842	1405	1095	117	56
250	40	4462	134	4328	1326	1015	116	70
250	43	4992	149	4843	1248	938	112	88
250	47	5591	168	5423	1147	836	104	118
250	50	6067	182	5885	1071	761	99	145

Fuente: El autor.

En la tabla 46 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX5H estas son: WHP 305 psi, 30 Hz, 74 BOPD, 2401 BWPD.

Tabla 46. Predicción de resultados WHP 305 psi pozo LIMANA-XX5H.

WHP = 305 & Frecuencia (30, 33, 37, 40, 43, 47 & 50)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
305	30	2475	74	2401	1641	1331	101	32
305	33	3117	94	3023	1539	1229	118	41
305	37	3848	115	3733	1423	1113	119	56
305	40	4365	131	4234	1341	1031	117	70
305	43	4865	146	4719	1262	951	114	88
305	47	5520	166	5354	1158	848	108	117
305	50	6602	180	6422	1081	771	102	143

Fuente: El autor.

Tabla 47. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX5H.

WHP = 350 & Frecuencia (30, 33, 37, 40, 43, 47 & 50)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	30	2322	70	280	1665	1355	96	32
350	33	2980	89	2891	1561	1250	110	41
350	37	3750	113	3637	1439	1128	118	56
350	40	4283	128	4155	1354	1044	118	70
350	43	4795	144	4651	1273	963	116	88
350	47	5459	164	5295	1167	857	110	116
350	50	5945	178	5767	1090	780	105	142

Fuente: El autor.

Tabla 118. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX5H

WHP = 400 & Frecuencia (30, 33, 37, 40, 43, 47 & 50)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	30	2096	63	280	1701	1391	87	33
400	33	2817	85	2732	1587	1276	105	42
400	37	3639	109	3530	1456	1146	117	57
400	40	4192	126	4066	1369	1058	119	70
400	43	4717	142	4575	1285	975	118	87
400	47	5388	162	5226	1179	869	112	115
400	50	5881	176	5705	1100	790	107	141

Fuente: El autor.

Tabla 49. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX5H.

WHP = 450 & Frecuencia (30, 33, 37, 40, 43, 47 & 50)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	30	1847	55	280	1792	1430	77	33
450	33	2634	79	2555	1616	1305	99	43
450	37	3510	105	3405	1477	1166	114	42
450	40	4088	123	3965	1385	1075	118	71
450	43	4629	139	4490	1299	989	118	87
450	47	5317	160	5157	1190	880	114	114
450	50	5818	175	5643	1111	800	109	140

Fuente: El autor.

6.6 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (55.5 HZ) Y (62 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX6H. Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 250 psi, 300 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 55.5 Hz (actualmente).

Tabla 50. Predicción de resultados frecuencia 55.5 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX6H.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (55.5 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	55.5	4079	365	3714	622	365	34	342
250	55.5	3842	845	2997	702	365	34	342
300	55.5	3724	819	2905	742	365	34	342
350	55.5	3604	793	2811	782	365	34	342
400	55.5	3485	767	2718	823	365	34	342
450	55.5	3365	740	2625	863	365	34	342

Fuente: El autor.

Tabla 51. Predicción de resultados frecuencia 62 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX6H.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (62 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	62	5139	1131	4008	264	34	36	500
250	62	4852	1066	3786	320	67	36	500
300	62	4738	1042	3696	399	104	35	488
350	62	4263	1017	3246	438	104	35	488
400	62	4508	992	3516	477	104	35	488
450	62	4392	966	3426	516	104	35	488

Fuente: El autor.

6.6.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX6H. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en el pozo con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 55.5 Hz, 57 Hz, 59 Hz, 60 Hz, 61 Hz, hasta 62 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 250 psi hasta 450 psi.

Tabla 52. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX6H.

WHP = 250 & Frecuencia (55,5, 57, 59, 60, 61 & 62)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	55.5	3843	845	2998	702	445	33	334
250	57	4070	895	3175	625	369	34	366
250	59	4378	963	3415	521	264	35	412
250	60	4535	998	3537	468	212	35	437
250	61	4693	1032	3661	415	158	35	462
250	62	4853	1068	3785	361	104	35	488

Fuente: El autor.

En la tabla 53 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX6H estas son: WHP 300 psi, 55.5 Hz, 819 BOPD, 2905 BWPD.

Tabla 53. Predicción de resultados WHP 300 psi pozo LIMANA-XX6H.

WHP = 300 & Frecuencia (55,5, 57, 59, 60, 61 & 62)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
300	55.5	3724	819	2905	742	485	33	330
300	57	3952	869	3083	665	408	33	362
300	59	4261	938	3323	560	304	34	408
300	60	4419	972	3447	507	251	34	432
300	61	4578	1007	3571	453	197	35	457
300	62	4738	1042	3696	399	143	35	484

Fuente: El autor.

Tabla 54. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX6H.

WHP = 350 & Frecuencia (55,5, 57, 59, 60, 61 & 62)								
Presion en Cabeza	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total*	*Caudal Aceite*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente*	*Presion de Intake*	*Eficiencia ESP*	*Potencia requerida*
350	55.5	3604	793	2811	782	526	32	326
350	57	3833	843	2990	705	358	33	358
350	59	4144	912	3232	600	343	33	403
350	60	4302	947	3355	546	290	34	428
350	61	4462	982	3480	493	236	34	453
350	62	4263	1017	3246	438	182	35	479

Fuente: El autor.

Tabla 55. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX6H

WHP = 400 & Frecuencia (30, 33, 37, 40, 43, 47 & 50)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	30	2096	63	280	1701	1391	87	33
400	33	2817	85	2732	1587	1276	105	42
400	37	3639	109	3530	1456	1146	117	57
400	40	4192	126	4066	1369	1058	119	70
400	43	4717	142	4575	1285	975	118	87
400	47	5388	162	5226	1179	869	112	115
400	50	5881	176	5705	1100	790	107	141

Fuente: El autor.

Tabla 56. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX6H.

WHP = 450 & Frecuencia (30, 33, 37, 40, 43, 47 & 50)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	30	1847	55	280	1792	1430	77	33
450	33	2634	79	2555	1616	1305	99	43
450	37	3510	105	3405	1477	1166	114	42
450	40	4088	123	3965	1385	1075	118	71
450	43	4629	139	4490	1299	989	118	87
450	47	5317	160	5157	1190	880	114	114
450	50	5818	175	5643	1111	800	109	140

Fuente: El autor.

6.7 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (42 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX7. Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 250 psi, 304 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 42 Hz (actualmente).

Tabla 127. Predicción de resultados frecuencia 42 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX7.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (42 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	42	4874	195	4679	1231	921	106	85
200	42	4800	192	4608	1243	921	106	85
250	42	4726	189	4537	1256	921	106	85
304	42	4644	186	4458	1269	921	106	85
350	42	4578	183	4395	1280	921	106	85
400	42	4483	196	4287	1295	921	106	85

Fuente: El autor.

Tabla 58. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX7.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (55 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	55	6542	262	6280	958	648	84	189
200	55	6474	259	6215	969	648	84	189
250	55	6399	256	6143	981	648	84	189
304	55	6316	253	6063	995	648	84	189
350	55	6248	250	5998	1006	648	84	189
400	55	6173	247	5926	1018	648	84	189
450	55	6097	244	5853	1030	720	92	184

Fuente: El autor.

6.7.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX7. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en el pozo con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 42 Hz, 43 Hz, 45 Hz, 47 Hz, 49 Hz, 53 Hz hasta 55 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 150 psi hasta 450 psi.

Tabla 59. Predicción de resultados WHP 150 psi pozo LIMANA-XX7.

WHP = 150 & Frecuencia (42, 43, 45, 47, 49, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	42	4511	180	4331	1290	980	95	81
150	43	4669	187	4482	1265	955	95	95
150	45	4987	199	4788	1212	902	94	100
150	47	5303	212	5091	1161	850	92	114
150	49	5614	225	5389	1110	800	90	130
150	53	6234	249	5985	1008	698	86	167
150	55	6544	262	6282	957	647	84	189

Fuente: El autor.

Tabla 60. Predicción de resultados WHP 200 psi pozo LIMANA-XX7.

WHP = 200 & Frecuencia (42, 43, 45, 47, 49, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
200	42	4406	176	4230	1308	998	96	82
200	43	4572	183	4389	1281	970	96	87
200	45	4894	196	4698	1228	918	95	100
200	47	5215	209	5006	1175	865	94	114
200	49	5535	221	5314	1122	812	92	129
200	53	6162	246	5916	1020	710	88	166
200	55	6475	259	6216	969	659	86	187

Fuente: El autor.

Tabla 61. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX7.

WHP = 250 & Frecuencia (42, 43, 45, 47, 49, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	42	4300	172	4128	1325	1015	96	82
250	43	4466	179	4287	1298	987	96	88
250	45	4802	192	4610	1243	933	96	100
250	47	5127	205	4922	1189	879	95	114
250	49	5451	218	5233	1136	826	93	129
250	53	6090	244	5846	1032	721	90	165
250	55	6405	256	6149	980	670	88	186

Fuente: El autor.

En la tabla 62 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX7 estas son: WHP 304 psi, 42 Hz, 186 BOPD, 4458 BWPD.

Tabla 62. Predicción de resultados WHP 304 psi pozo LIMANA-XX7.

WHP = 304 & Frecuencia (42, 43, 45, 47, 49, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
304	42	4644	186	4458	1269	921	106	85
304	43	4345	174	4171	1318	1007	95	88
304	45	4688	188	4500	1261	951	96	100
304	47	5028	201	4827	1206	896	96	114
304	49	5358	214	5144	1151	842	95	129
304	53	6008	240	5768	1045	735	92	164
304	55	6329	253	6076	992	682	90	184

Fuente: El autor.

Tabla 63. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX7.

WHP = 350 & Frecuencia (42, 43, 45, 47, 49, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	42	4060	162	3898	1364	1054	93	83
350	43	4240	170	4070	1335	1024	94	89
350	45	4595	184	4411	1277	967	95	101
350	47	4939	198	4741	1220	910	96	114
350	49	5279	211	5068	1165	854	95	129
350	53	5938	238	5700	1057	747	93	164
350	55	6264	251	6013	1003	693	91	184

Fuente: El autor.

Tabla 64. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX7.

WHP = 400 & Frecuencia (42, 43, 45, 47, 49, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	42	3955	157	3798	1387	1076	91	84
400	43	4155	165	3990	1355	1045	93	90
400	45	4484	179	4305	1295	985	95	101
400	47	4840	194	4646	1237	926	96	115
400	49	5185	207	4978	1180	870	96	129
400	53	5860	234	5626	1069	759	94	163
400	55	6188	248	5940	1016	705	92	183

Fuente: El autor.

Tabla 65. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX7.

WHP = 450 & Frecuencia (42, 43, 45, 47, 49, 53 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	42	3785	151	3634	1409	1099	89	85
450	43	3982	159	3823	1377	1067	91	91
450	45	4365	175	4190	1314	1004	93	102
450	47	4734	189	4545	1254	944	95	115
450	49	5091	204	4887	1195	885	96	130
450	53	5779	231	5548	1083	772	95	163
450	55	6113	245	5868	1028	718	94	183

Fuente: El autor.

6.8 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (46 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN POZO LIMANA-XX8. Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 200 psi, 291 psi, 350 psi, 350 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 46 Hz (actualmente).

Tabla 136. Predicción de resultados frecuencia 46 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX8.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (46 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	46	5130	1026	4104	1416	1142	62	129
250	46	4959	992	3967	1445	1142	62	129
291	46	4888	978	3910	1457	1142	62	129
350	46	4758	952	3806	1480	1142	62	129
400	46	4647	929	3718	1499	1142	62	129

Fuente: El autor.

Tabla 147. Predicción de Resultados Frecuencia 55 Hz con diferentes WHP LIMANA-XX8.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (55 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	55	6397	1279	5118	1197	924	59	221
250	55	6254	1251	5003	1222	924	59	221
300	55	6171	924	5247	1236	924	60	221
350	55	6088	1218	4870	1250	924	60	221
400	55	6005	1201	4804	1265	924	59	221

Fuente: El autor.

6.8.1 Sensibilidad de Presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en LIMANA-XX8. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en el pozo con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que

oscilan desde 46 Hz, 47 Hz, 48 Hz, 49 Hz, 50 Hz hasta 55 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 250 psi hasta 450 psi.

Tabla 68. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX8.

WHP = 250 & Frecuencia (46, 47, 48, 49, 50 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	46	4936	993	3943	1444	1171	65	129
250	47	5108	1022	4086	1419	1146	64	137
250	48	5250	1050	4200	1395	1122	64	146
250	49	5396	1079	4317	1370	1097	64	156
250	50	5537	1107	4430	1345	1072	63	165
250	55	6256	1251	5005	1221	948	61	221

Fuente: El autor.

En la tabla 69 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX8 estas son: WHP 291 psi, 46 Hz, 978 BOPD, 3910 BWPD.

Tabla 69. Predicción de resultados WHP 291 psi pozo LIMANA-XX8.

Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
291	46	4888	978	3910	1457	1142	62	129
291	47	5031	1006	4025	1433	1159	65	137
291	48	5178	1036	4142	1407	1134	65	146
291	49	5321	1064	4257	1382	1109	64	155
291	50	5468	1094	4374	1357	1084	64	165
291	55	6194	1239	4955	1232	959	62	221

Fuente: El autor.

Tabla 150. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX8.

WHP = 350 & Frecuencia (46, 47, 48, 49, 50 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	46	4769	954	3815	1478	954	66	128
350	47	4919	984	3935	1452	1179	66	137
350	48	5067	1013	4054	1426	1153	66	146
350	49	5216	1043	4173	1401	1128	61	155
350	50	5364	1073	4291	1375	1102	65	165
350	55	6101	1220	4881	1248	975	63	220

Fuente: El autor.

Tabla 71. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX8.

WHP = 400 & Frecuencia (46, 47, 48, 49, 50 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	46	4667	933	3734	1495	1222	67	127
400	47	4819	964	3855	1469	1196	67	136
400	48	4970	994	3976	1443	1170	66	145
400	49	5123	1025	4098	1416	2289	66	155
400	50	5272	1054	4218	1391	1118	66	165
400	55	6022	1204	4818	1262	989	64	220

Fuente: El autor.

Tabla 72. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX8

WHP = 450 & Frecuencia (46, 47, 48, 49, 50 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	46	4559	912	3647	1514	1241	67	127
450	47	4714	943	3771	1487	1214	67	136
450	48	4872	974	3898	1460	1187	67	145
450	49	5023	1005	4018	1434	1161	67	154
450	50	5179	1036	4143	1407	1134	66	164
450	55	5942	1188	4754	1276	1002	65	220

Fuente: El autor.

6.9 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (44 HZ) Y (55 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX9. Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 150 psi, 250 psi,

298 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 44 Hz (actualmente).

Tabla 163. Predicción de resultados frecuencia 44 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (44 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	44	2420	266	2154	1157	898	30	154
250	44	2173	239	1934	1242	898	30	154
298	44	2056	226	1830	1284	898	30	154
350	44	1927	212	1715	1328	898	30	154
400	44	1803	198	1605	1372	898	30	154
450	44	1679	185	1494	1415	1156	26	138

Fuente: El autor.

Tabla 174. Predicción de resultados frecuencia 55 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (55 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
150	55	3921	431	3490	376	331	34	331
250	55	3688	406	3282	715	376	34	331
298	55	3575	393	3182	754	376	34	331
350	55	3453	380	3073	797	376	34	331
400	55	3336	367	2969	838	376	34	331
450	55	3218	354	2864	879	376	34	331

Fuente: El autor.

6.9.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-XX9. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en el pozo con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 44 Hz, 46 Hz, 48 Hz, 50 Hz, 52 Hz hasta 55 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 250 psi hasta 450 psi.

Tabla 75. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-XX9.

WHP = 250 & Frecuencia (44, 46, 48, 50, 52 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	44	2174	239	1935	1242	984	28	149
250	46	2432	268	2164	1153	894	28	174
250	48	2697	297	2400	1060	802	30	201
250	50	2971	327	2644	965	706	31	232
250	52	3252	358	2894	867	609	32	266
250	55	3688	406	3282	715	457	33	323

Fuente: El autor.

En la tabla 76 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-XX9 estas son: WHP 298 psi, 44 Hz, 226 BOPD, 1830 BWPD.

Tabla 76. Predicción de resultados WHP 298 psi pozo LIMANA-XX9.

WHP = 298 & Frecuencia (44, 46, 48, 50, 52 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
298	44	2056	226	1830	1284	898	30	154
298	46	2310	254	2056	1195	937	28	171
298	48	2576	283	2293	1102	844	29	198
298	50	2851	314	2537	1007	748	30	229
298	52	3133	345	2788	908	650	31	263
298	55	3575	393	3182	754	376	34	331

Fuente: El autor.

Tabla 187. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-XX9.

WHP = 350 & Frecuencia (44, 46, 48, 50, 52 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	44	1928	212	1716	1328	1070	26	143
350	46	2187	241	1946	1238	979	27	168
350	48	2455	270	2185	1145	886	28	195
350	50	2731	300	2431	1048	790	30	225
350	52	3014	332	2682	950	691	31	259
350	55	3453	380	3073	797	797	32	315

Fuente: El autor.

Tabla 78. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-XX9.

WHP = 400 &Frecuencia (44, 46, 48, 50, 52 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	44	1804	198	1606	1372	1113	25	140
400	46	2065	227	1838	1281	1022	26	165
400	48	2334	257	2077	1187	928	28	192
400	50	2611	287	2324	1090	832	29	222
400	52	2895	318	2577	991	733	30	255
400	55	3336	367	2969	838	579	31	311

Fuente: El autor.

Tabla 79. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-XX9.

WHP = 450 & Frecuencia (44, 46, 48, 50, 52 & 55)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	44	1679	185	1494	1415	1156	24	138
450	46	1942	214	1728	1323	1065	25	162
450	48	2212	243	1969	1229	971	27	189
450	50	2490	274	2216	1132	874	28	219
450	52	2776	305	2471	1033	774	29	252
450	55	3218	354	2864	3218	354	31	307

Fuente: El autor.

6.10 SENSIBILIDAD DE FRECUENCIA CONSTANTE (52 HZ) Y (61 HZ) CON DIFERENTES PRESIONES EN CABEZA EN EL POZO LIMANA-XX9. Se realizó sensibilidades con diferentes presiones en cabeza, tales como 200 psi, 250 psi, 305 psi, 350 psi, 400 psi y 450 psi teniendo para estos cálculos una frecuencia constante de 52 Hz (actualmente).

Tabla 190. Predicción de resultados frecuencia 52 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (52 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
200	52	5589	280	5309	856	530	94	154
250	52	5501	275	5226	874	530	94	154
305	52	5403	270	5133	894	530	94	154
350	52	5323	266	5057	911	530	94	154
400	52	5235	262	4973	929	530	94	154
450	52	5146	257	4889	948	530	94	154

Fuente: El autor.

Tabla 201. Predicción de resultados frecuencia 61 Hz con diferentes WHP pozo LIMANA-XX9.

Simulación con diferentes presiones en cabeza y una frecuencia constante de (61 hz)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	Presion de fondo fluyente (psi)	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
200	61	6988	241	6747	564	241	89	252
250	61	6923	346	6577	578	241	89	252
305	61	6851	343	6508	593	241	89	252
350	61	6793	340	6453	605	241	89	252
400	61	6728	336	6392	618	241	89	252
450	61	6663	333	6330	632	241	89	252

Fuente: El autor.

6.10.1 Sensibilidad de presiones en cabeza con valor constante y diferentes frecuencias en el pozo LIMANA-X10. En los siguientes escenarios se evidenciará las sensibilidades en el pozo con respecto a la variación de frecuencias en las ESP y se mostrará el aumento del caudal de aceite y agua con diferentes frecuencias que oscilan desde 52 Hz, 54 Hz, 56 Hz, 58 Hz, 60 Hz hasta 61 Hz con una WHP constante para cada Tabla que oscila desde 250 psi hasta 450 psi.

Tabla 82. Predicción de resultados WHP 250 psi pozo LIMANA-X10.

WHP = 250 & Frecuencia (52, 54, 56, 58, 60 & 61)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
250	52	5508	275	5233	872	563	96	154
250	54	5827	291	5536	806	496	95	172
250	56	6146	307	5839	740	430	95	192
250	58	6461	323	6138	674	364	93	214
250	60	6774	339	6435	609	299	92	237
250	61	6931	347	6584	576	266	92	250

Fuente: El autor.

En la tabla 83 se muestra las condiciones actuales del pozo LIMANA-X10 estas son: WHP 305 psi, 52 Hz, 270 BOPD, 5133 BWPD.

Tabla 83. Predicción de Resultados WHP 305 psi pozo LIMANA-X10.

WHP = 305 & Frecuencia (52, 54, 56, 58, 60 & 61)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
305	52	5403	270	5133	894	530	94	154
305	54	5742	287	5455	824	514	96	172
305	56	6064	303	5761	757	447	95	192
305	58	6384	319	6065	690	380	94	213
305	60	6703	335	6368	624	314	93	237
305	61	6851	343	6508	593	241	89	252

Fuente: El autor.

Tabla 214. Predicción de resultados WHP 350 psi pozo LIMANA-X10.

WHP = 350 & Frecuencia (52, 54, 56, 58, 60 & 61)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
350	52	5337	267	5070	908	598	96	155
350	54	5668	839	4829	839	529	96	172
350	56	5995	300	5695	771	461	96	192
350	58	6321	316	6005	703	393	95	213
350	60	6641	332	6309	636	327	94	236
350	61	6800	340	6460	603	293	93	249

Fuente: El autor.

Tabla 85. Predicción de resultados WHP 400 psi pozo LIMANA-X10.

WHP = 400 &Frecuencia (52, 54, 56, 58, 60 & 61)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
400	52	5244	262	4982	927	618	96	156
400	54	5584	279	5305	857	547	96	173
400	56	5919	296	5623	787	477	96	192
400	58	6246	312	5934	719	409	95	213
400	60	6572	329	6243	651	341	95	236
400	61	6734	337	6397	617	307	94	248

Fuente: El autor.

Tabla 226. Predicción de resultados WHP 450 psi pozo LIMANA-X10.

WHP = 450 & Frecuencia (52, 54, 56, 58, 60 & 61)								
Presion en Cabeza (psi)	*Frecuencia (Hz)*	*Caudal total (Bfpd)*	*Caudal Aceite (Bopd)*	*Caudal de Agua (Bwpd)*	*Presion de fondo fluyente (psi)*	*Presion de Intake (psi)*	*Eficiencia ESP (%)*	*Potencia requerida (HP)*
450	52	5151	258	4893	947	637	96	157
450	54	5497	275	5222	875	565	96	174
450	56	5836	292	5544	804	494	96	193
450	58	6172	309	5863	734	425	96	214
450	60	6502	325	6177	665	356	95	236
450	61	6665	333	6332	631	322	95	248

Fuente: El autor.

7. PROPUESTA DE RE-DISEÑO DE LA LÍNEA ACTUAL DE PRODUCCIÓN PARA LOS POZOS LIMANA.

En el actual capítulo se realiza un re-diseño de la línea actual que transporta los hidrocarburos de los pozos Limana a la estación Quriyana, mediante la simulación del software GAP, teniendo en cuenta las condiciones actuales se determinaron algunas posibles soluciones o escenarios que mejor se ajusten a las necesidades de transporte de fluido.

GAP es una herramienta que modela las facilidades de superficie de los sistemas de producción de cualquier campo, los modelamientos que se realizaron simulan sistemas de producción como crudo, agua o gas si lo requiere el sistema. Para que la simulación sea lo más real posible GAP debe relacionar el software PROSPER mencionado anteriormente en el capítulo 3 con las condiciones de Análisis Nodal anteriormente realizadas.

7.1 REALIZACIÓN DE SENSIBILIDADES CON EL DIÁMETRO DE LA LÍNEA ACTUAL DE 6 PULGADAS CONSIDERANDO SU PRODUCCIÓN MAS APROXIMADA CON EL SOWFTARE GAP.

Actualmente en el Campo La Sabana existe una línea principal (troncal) de 6” que transporta el fluido una distancia de 17 kms desde los pozos a la estación Quriyana, es de anotar que se genera en la línea un impacto de presiones medianamente altas que impiden un adecuado desplazamiento del fluido hacia la estación Quriyana. Por intermedio del software comercial GAP se evaluó la topografía del terreno que recorren todas las líneas de fluido y se considera que el área es plana por lo tanto son 100% horizontales.

Para el campo la Sabana los pozos LIMANA-XX1, LIMANA-XX3 y LIMANA-XX9 la producción va por tres líneas cortas independientes de 3.5 pulg hasta llegar a un

“manifold”, luego este fluido pasa por unos tanques cilíndricos horizontales y pasan inmediatamente a un cargadero que es adaptado para el despacho de crudo por carrotanques que los transportan hasta la estación QURIYANA sin remoción de agua libre.

Para el caso de los Pozos LIMANA-XX2, LIMANA-XX4H y LIMANA-XX6H y LIMANA-XX8 su producción va por tres líneas independientes de 38 mts de longitud cada una, luego estas líneas se empalman en una línea principal (Troncal) de 6 pulg de 17 de Kilómetros de longitud. Dependiendo del contenido de agua este crudo se envía a uno de los diferentes trenes de deshidratación.

Adicionalmente en la línea de cabeza de pozo se encuentran instalados **indicadores de presión y temperatura** junto con medidores de caudal llamados Coriolisis.

En el cuadro de la tabla 87 se realizaron correlaciones de diferentes autores en GAP, para el caso base de la línea actual de 6 pulgadas, de acuerdo a la producción real que es de 35,715 BFPD la correlación más aproximada es la de **Duns and Ros (Modified)** teniendo un margen de error del 0,31% con una producción de 35,603 bfpd.

Tabla 237. Correlaciones de diferentes autores en GAP.

Trayecto de la linea de 17 Kms									
Correlaciones GAP con Diametro de 6 Pulg									Produccion Test
AUTORES	Carrotanques	ACEITE	AGUA	FLUIDO	*CT + LINEA OIL*	Diferencias	Porcentaje de error	Diametros (pulg)	
Beggs and Brill	6500	2603	25786	28389	34889	826	2,31	6,00	
Beggs and Brill (Gas Head)	6500	2671	26110	28781	35281	434	1,22	6,00	
Dukler Flannigan	6500	2636	25856	28492	34992	723	2,02	6,00	
Dun and Ros (Modified)	**6500**	**2705**	**26398**	**29103**	**35603**	**112**	**0,31**	**6,00**	
Duns and Ros (Original)	6500	2589	25912	28501	35001	714	2,00	6,00	
Fancher Brown	6500	2597	26022	28619	35119	596	1,67	6,00	35715
GRE (modified by PE)	6500	2580	25903	28483	34983	732	2,05	6,00	
GRE (oiginal)	6500	2583	25910	28493	34993	722	2,02	6,00	
GRE (with AE)	6500	2687	26300	28987	35487	228	0,64	6,00	
GRE (with DSM)	6500	2604	26215	28819	35319	396	1,11	6,00	
Hagedorn Brown	6500	2681	25751	28432	34932	783	2,19	6,00	
HYDRO 3P	6500	2512	25870	28382	34882	833	2,33	6,00	
Mukerjee Brill	6500	2533	25825	28358	34858	857	2,40	6,00	

Fuente: El autor.

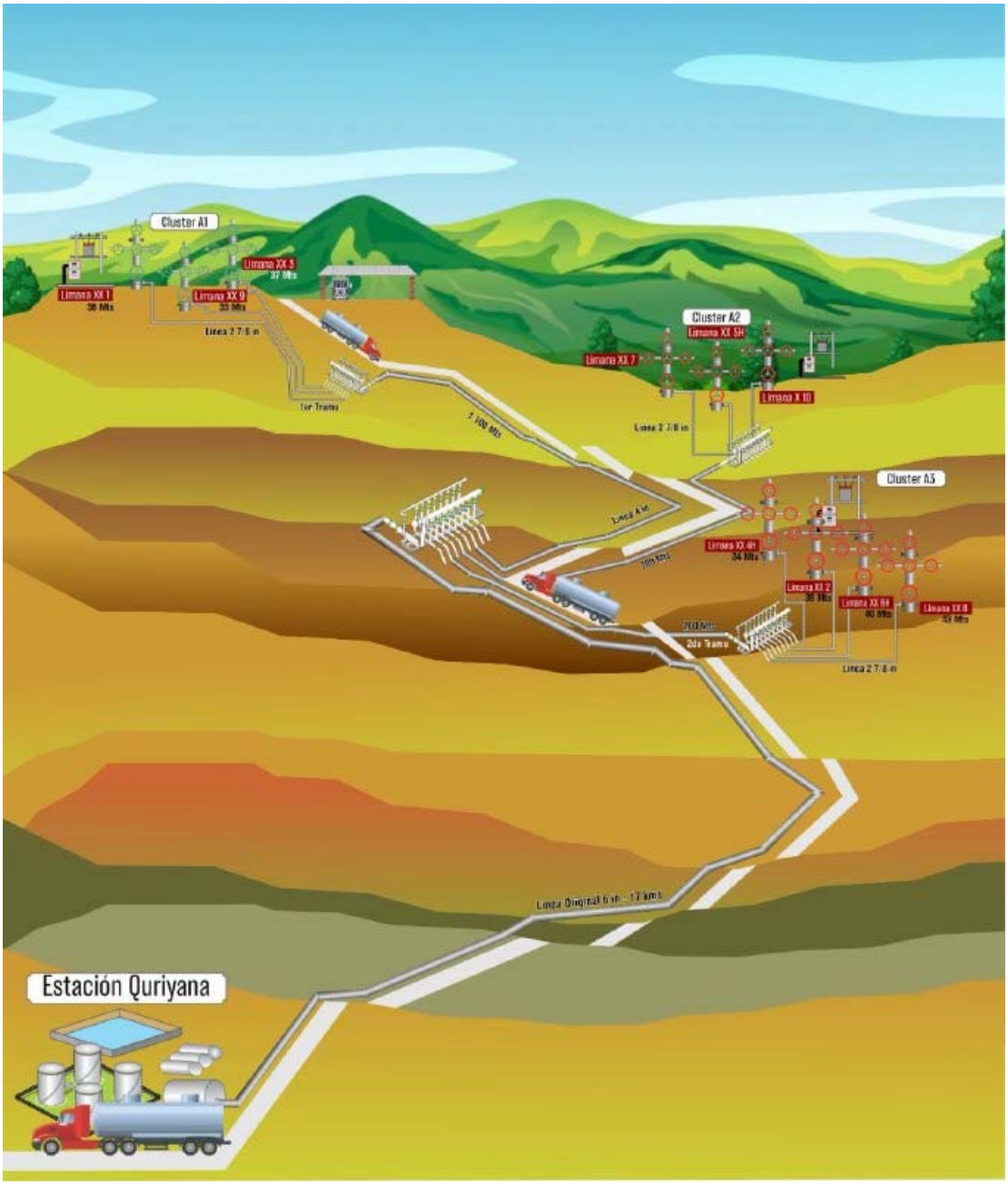
En la figura 27 Se visualiza el campo la Sabana, su distribución en los pozos LIMANA y la distribución de las líneas de la manera como a hoy está distribuido el campo.

Se visualiza en el (Clúster A1) la distribución de los pozos LIMANA XX1, LIMANA XX3 Y LIMANA XX9 como también se visualiza que la extracción de crudo se realiza por líneas de 2-7/8” por una distancia de 35 a 39 mts hasta un punto de recolección y desde ese punto el crudo se desplaza por una línea de 3-½” a una distancia de 1000 mts hasta llegar al “manifold” principal, luego el fluido es transportado por una línea troncal de 17 kms y por carrotanques hasta la estación Quriyana.

La distribución del (Clúster A2) con los pozos LIMANA XX5H, LIMANA XX7 Y LIMANA X10 donde en la extracción del fluido se realiza por líneas de 2-7/8” por una distancia de 35 a 39 mts aproximadamente, llegan a un punto de recolección y desde ese punto el crudo se desplaza por una línea de 3-½” a una distancia de 700 mts hasta llegar al “manifold” principal, luego el fluido es transportado por una línea troncal principal de 17 kms y por carrotanques hasta la estación Quriyana a los tanques de almacenamiento.

En cuanto a la distribución del (Clúster A3) con los pozos LIMANA XX2, LIMANA XX4H, LIMANA XX6H y LIMANA XX8 donde en la extracción del fluido se realiza por líneas de 2-7/8” por una distancia de 35 a 39 mts aproximadamente llegando a un punto de recolección y desde ese punto el fluido se desplaza por una línea de 3-½” a una distancia de 200 mts hasta llegar al “manifold” principal, luego el fluido es transportado por una línea principal (troncal) de 17 kms hasta la estación Quriyana a los tanques de almacenamiento.

Figura 27. Distribución pozos y líneas del campo la sabana

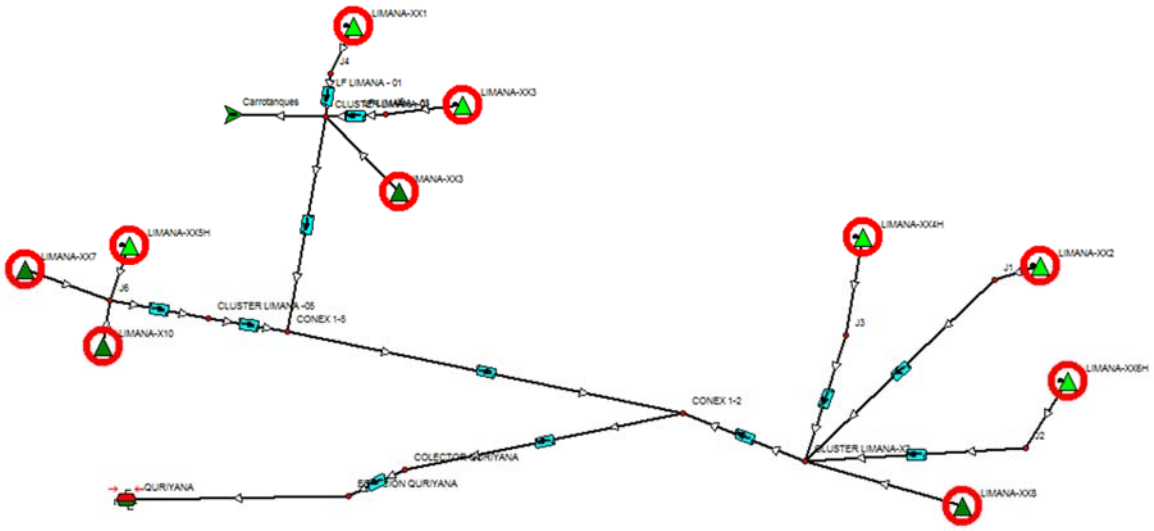


Fuente: El autor.

En la figura No 28 se visualiza la distribución real de las líneas en superficie y los fluidos extraídos del campo la Sabana, luego se puede ratificar mediante la simulación que las producciones diarias de fluido y presiones que se manejan en

el campo coinciden con el modelo de la simulación lo cual nos indica que nos permite simular con certeza los diferentes escenarios que se requieren plantear.

Figura 28. Resultados GAP línea actual transferencia 6 pulg.



Fuente: IPM, Petroleum Experts, GAP.

En la tabla No 88 se traza la producción de las pruebas de pozo reales teniendo en cuenta aceite, fluido, frecuencia y presiones en cabeza las cuales son:

7.2 REDISEÑO LÍNEAS DE SUPERFICIE POZOS LIMANA.

Para el Campo La Sabana teniendo en cuenta condiciones y resultados expuestos anteriormente en el software Prosper se realizaron ***cuatro*** escenarios de prueba, para diferentes diámetros de líneas dentro del Software GAP.

7.2.1 Primer escenario, Línea de 6 pulgadas propuesta. En la figura No 29 se ve la distribución propuesta de la línea principal de 6 pulgadas original que conduce los fluidos a la estación Quriyana, adicionalmente la línea de 6 pulgadas paralela **propuesta** que de igual forma conduce los fluidos a la estación Quriyana donde se ve claramente la disminución del transporte de carro tanques.

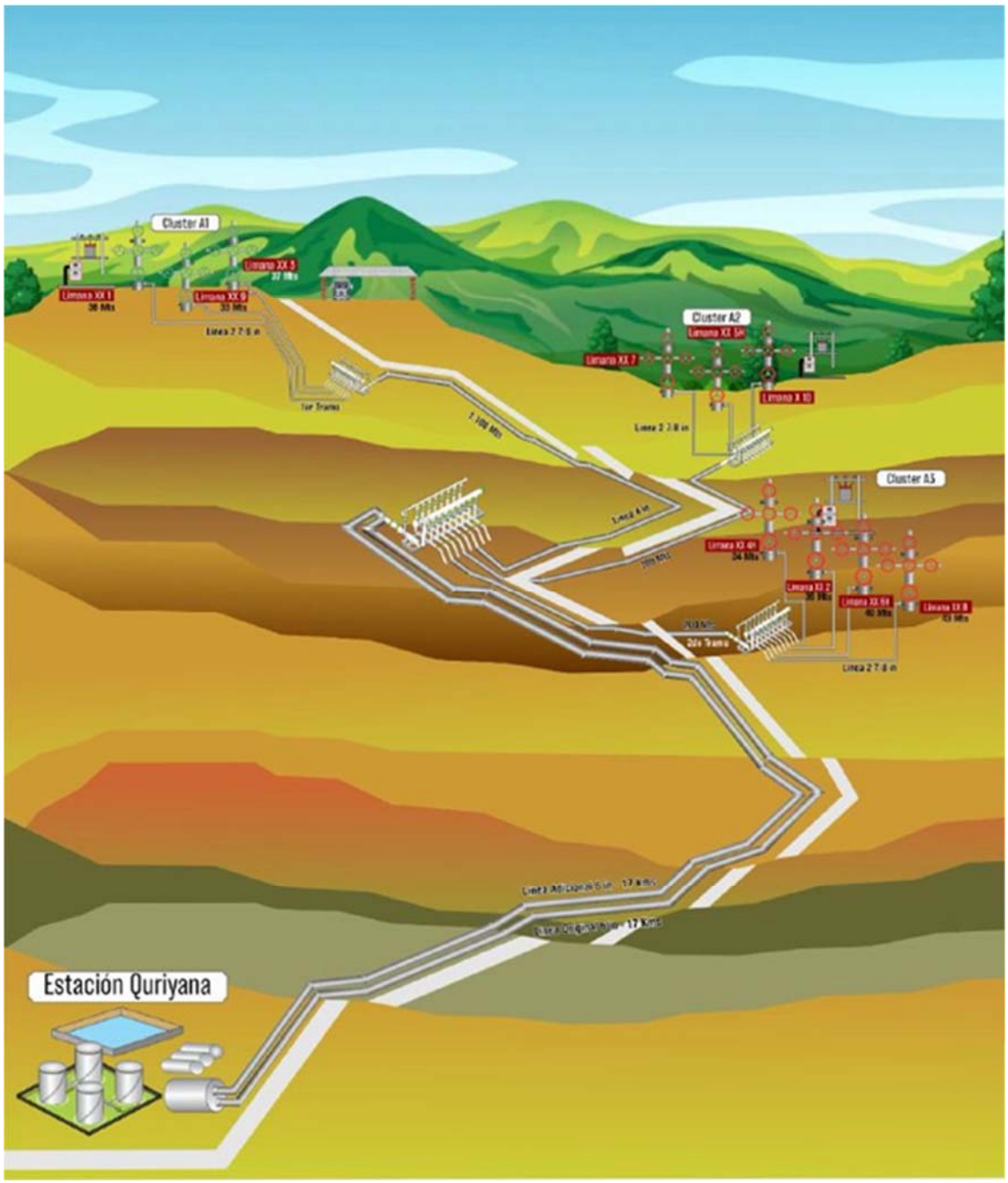
Tabla 248. Condiciones actuales del campo La Sabana.

CONDICIONES ACTUALES DEL CAMPO LA SABANA								
POZOS	OIL (bbl)	AGUA (bbl)	BFPD	BSW	VALOR PROSPER	API	FRECUENCIA ACTUAL	WHP
LIMANA-XX1	50	3651	3701	98,6	97%	21,4	54,0	316
LIMANA-XX2	141	612	753	81,3	90%	21,2	43,0	287
LIMANA-XX3	39	792	831	95,3	96%	21,2	44,0	287
LIMANA-XX4H	392	6221	6613	94,1	94%	21,7	48,0	291
LIMANA-XX5H	53	2682	2735	98,1	97%	21,7	30,0	305
LIMANA-XX6H	401	3313	3714	89,2	89%	21,7	55,5	300
LIMANA-XX7	188	4379	4567	95,9	96%	21,7	42	305
LIMANA-XX8	977	3910	4887	80,0	80,0	21,7	46	291
LIMANA-XX9	226	1861	2087	89,2	89,0	21,6	44	298
LIMANA-X10	266	5561	5827	95,4	95,0	21,6	52	305
TOTAL	2733	32982	35715	92				

Fuente: El autor.

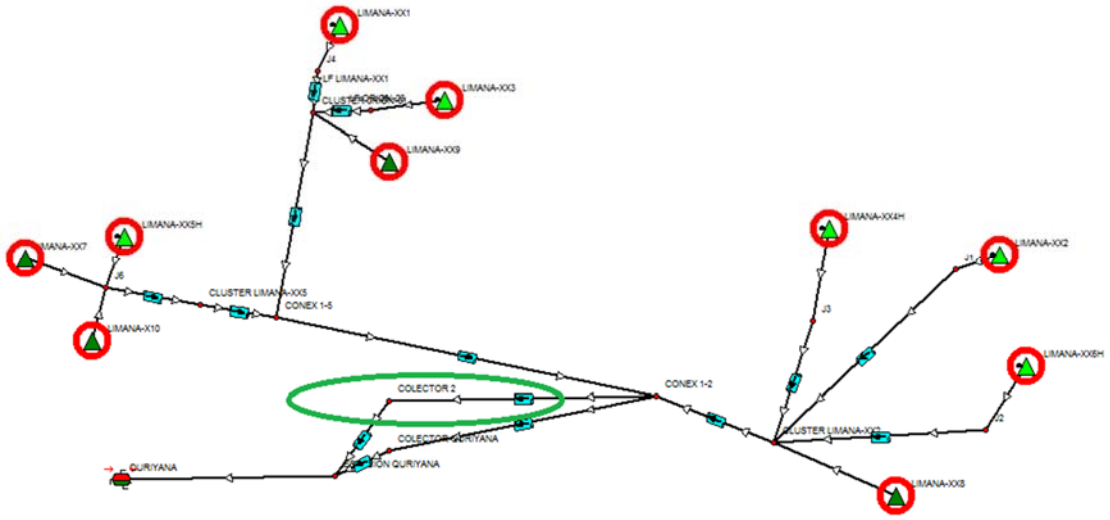
Para la simulación Se tomó una línea de **6”** con una distancia de 17 km, la cual presenta liberación de las restricciones en la presión de cabeza que inicialmente superan los 290 psi, es por esto que se realizó un escenario con una línea paralela que se visualiza en la Figura 30 en el software GAP.

Figura 29. Distribución pozos y línea paralela de 6 pulgadas propuesta



Fuente: El autor.

Figura 30. Resultados GAP línea de transferencia propuesta paralela de 6 pulg.



Fuente: IPM, Petroleum Experts, GAP.

En cuanto a las correlaciones utilizadas en GAP para el modelamiento del flujo multifásico horizontal fueron las siguientes Beggs and Brill y Duns and Ros Modificado. Estas correlaciones fueron las que más se ajustaron a la realidad del campo La Sabana.

En la tabla 89 se visualizaron los resultados obtenidos por las sensibilidades de la línea paralela de 6” se apreció claramente que hay una disminución notoria de la presión en cabeza, permitiendo aliviar la restricción de presiones en la línea.

Tabla 89. Condiciones de la línea propuesta de 6 pulg sin Carrotanques en GAP.

VALORES DE LA LINEA PROPUESTA DE 6 (PULG) sin CTKS EN GAP					
POZO	**ACEITE (Bopd)**	**AGUA (Bwpd)**	**FLUIDO (Bfpd)**	**Frecuencia (HZ)**	**WHP (psi)**
LIMANA-XX1	78	3671	3749	54	127
LIMANA-XX2	181	635	816	43	125
LIMANA-XX3	68	822	890	44	124
LIMANA-XX4H	423	6242	6665	48	127
LIMANA-XX5H	68	2737	2805	30	143
LIMANA-XX6H	424	3345	3769	55,5	126
LIMANA-XX7	205	4401	4606	42	128
LIMANA-XX8	1076	4293	5369	46	124
LIMANA-XX9	263	1883	2146	44	126
LIMANA-X10	282	5575	5857	52	125
TOTAL	**3068**	**33604**	**36672**		

Fuente: El autor.

En la tabla 90 se aprecian las diferencias de producción, según la simulación genera un aumento de 335 BOPD, entre las condiciones actuales de la línea y las condiciones de la simulación con la línea paralela de 6" permite que las presiones disminuyan en un promedio aproximado de (-171 psi) permitiendo el paso de más fluido por las respectivas líneas hacia la estación Quriyana.

Tabla 90. Diferencias de la línea propuesta de 6 (pulg) sin Carro tanques vs pruebas TEST producción real.

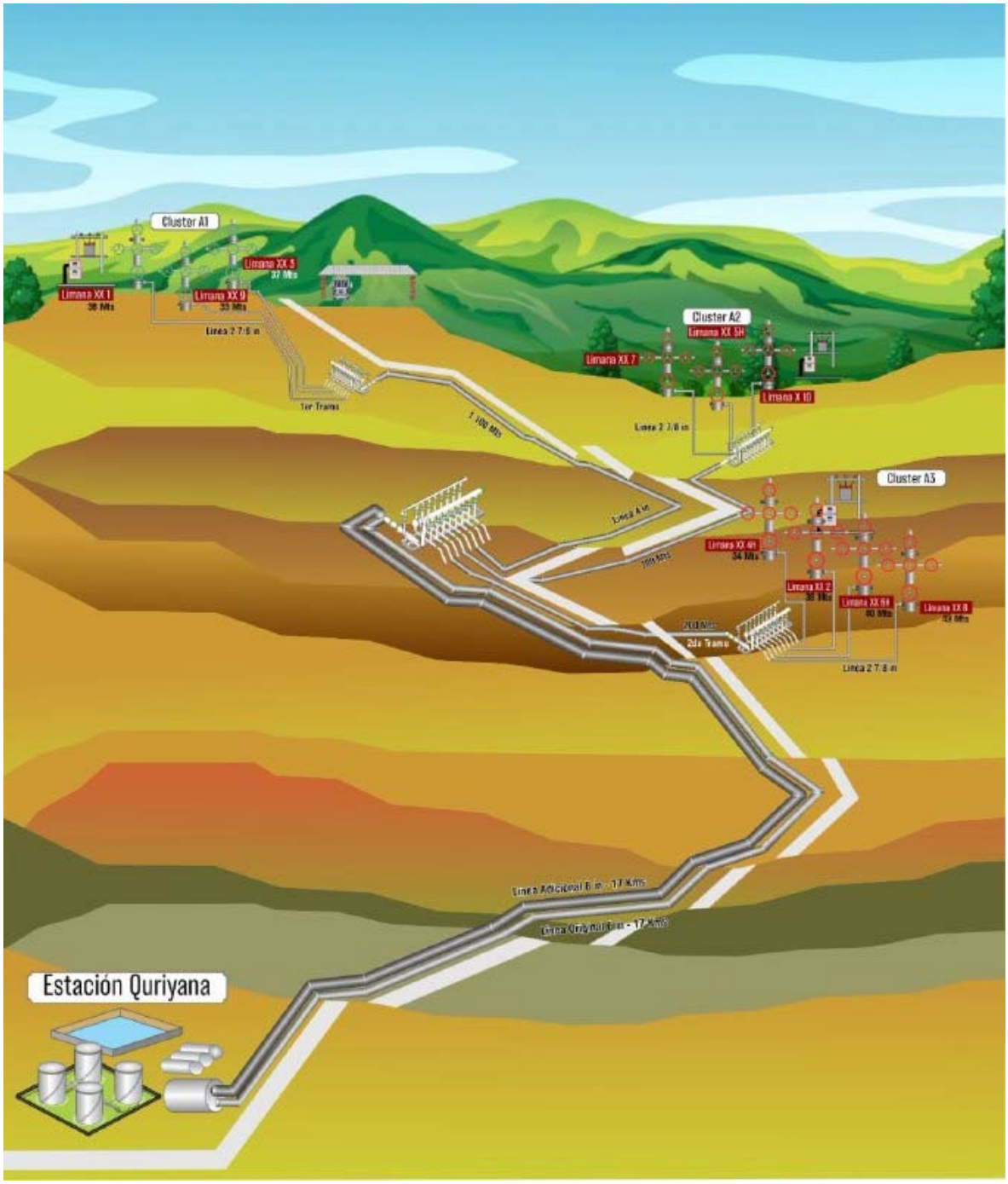
DIFERENCIAS DE LA LINEA PROPUESTA DE 6 PULG SIN CTKS VS PRUEBAS TEST PRODUCCIÓN				
POZOS	**ACEITE (Bopd)**	**AGUA (Bwpd)**	**FLUIDO (Bfpd)**	**PROMEDIO REDUCCIÓN WHP (psi)**
LIMANA-XX1	28	20	48	-189
LIMANA-XX2	40	23	63	-162
LIMANA-XX3	29	30	59	-163
LIMANA-XX4H	31	21	52	-164
LIMANA-XX5H	15	55	70	-162
LIMANA-XX6H	23	32	55	-174
LIMANA-XX7	17	22	39	-177
LIMANA-XX8	99	383	482	-167
LIMANA-XX9	37	22	59	-172
LIMANA-X10	16	22	38	-180
TOTAL	***335***	***630***	***965***	***PROM: -171***

Fuente: El autor.

7.2.2 Segundo escenario Línea de 8 pulgadas propuesta. En la figura No 31 se ve la distribución propuesta de la línea principal de 6 pulgadas original que conduce los fluidos a la estación Quriyana, adicionalmente la línea de 8 pulgadas paralela **propuesta** que de igual forma conduce los fluidos a la estación Quriyana.

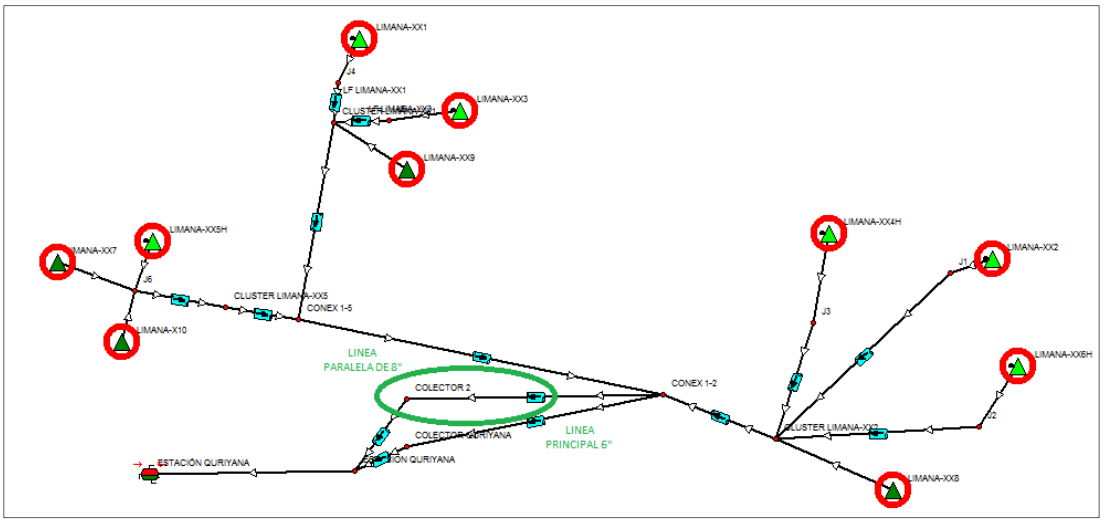
Para la simulación se tomó una línea de **8"** con una distancia de 17 Km, la producción va por tres líneas independientes de 2-7/8" por una distancia de 38 mts cada una, estas líneas llegan a un punto colector y de ahí el fluido es transportado por una línea con un diámetro de 3.5" hasta llegar al "manifold", principal luego estas líneas se empalman en una troncal de 8" en este caso es la línea que se propone paralela a la línea actual de 6". La simulación se visualiza en la Figura 32.

Figura 31. Distribución pozos, línea principal de 6 pulgadas y línea propuesta de 8 pulgadas paralela.



Fuente: El autor.

Figura 32. Resultados de GAP línea de transferencia propuesta paralela de 8 pulg.



Fuente: IPM, Petroleum Experts, GAP.

En la tabla número 88 se traza las condiciones actuales de producción en las pruebas de pozo teniendo en cuenta aceite, fluido, frecuencia y presiones en cabeza de los pozos disminuyen, comparado con el primer escenario en promedio seria aproximadamente de (78.0 psi) lo cual reduce considerablemente las presiones en cabeza del pozo, los resultados se encuentran en la tabla 91.

Tabla 91. Condiciones de la línea propuesta de 8 (pulg) sin Carrotanques en GAP.

VALORES DE LA LINEA PROPUESTA DE 8 PULGADAS SIN CARROTANQUES EN GAP					
POZO	**ACEITE (Bopd)**	**AGUA (Bwpd)**	**FLUIDO (Bfpd)**	**Frecuencia (HZ)**	**WHP (psi)**
LIMANA-XX1	97	3695	3792	54	65
LIMANA-XX2	196	651	847	43	69
LIMANA-XX3	83	838	921	44	73
LIMANA-XX4H	438	6258	6696	48	72
LIMANA-XX5H	83	2752	2835	30	89
LIMANA-XX6H	439	3359	3798	55,5	72
LIMANA-XX7	220	4431	4651	42	83
LIMANA-XX8	1080	4311	5391	46	91
LIMANA-XX9	265	1897	2162	44	82
LIMANA-X10	287	5584	5871	52	80
TOTAL	**3188**	**33776**	**36964**		

Fuente: El autor.

En la tabla 92 las diferencias de producción, según la simulación en GAP genera un aumento de 455 BOPD, entre las condiciones actuales de la línea y las condiciones de la simulación con la línea paralela de 8” permite que las presiones en cabeza disminuyan considerablemente en promedio con el actual de (-221 psi) permitiendo el desplazamiento de más fluido por las respectivas líneas hacia la estación Quriyana.

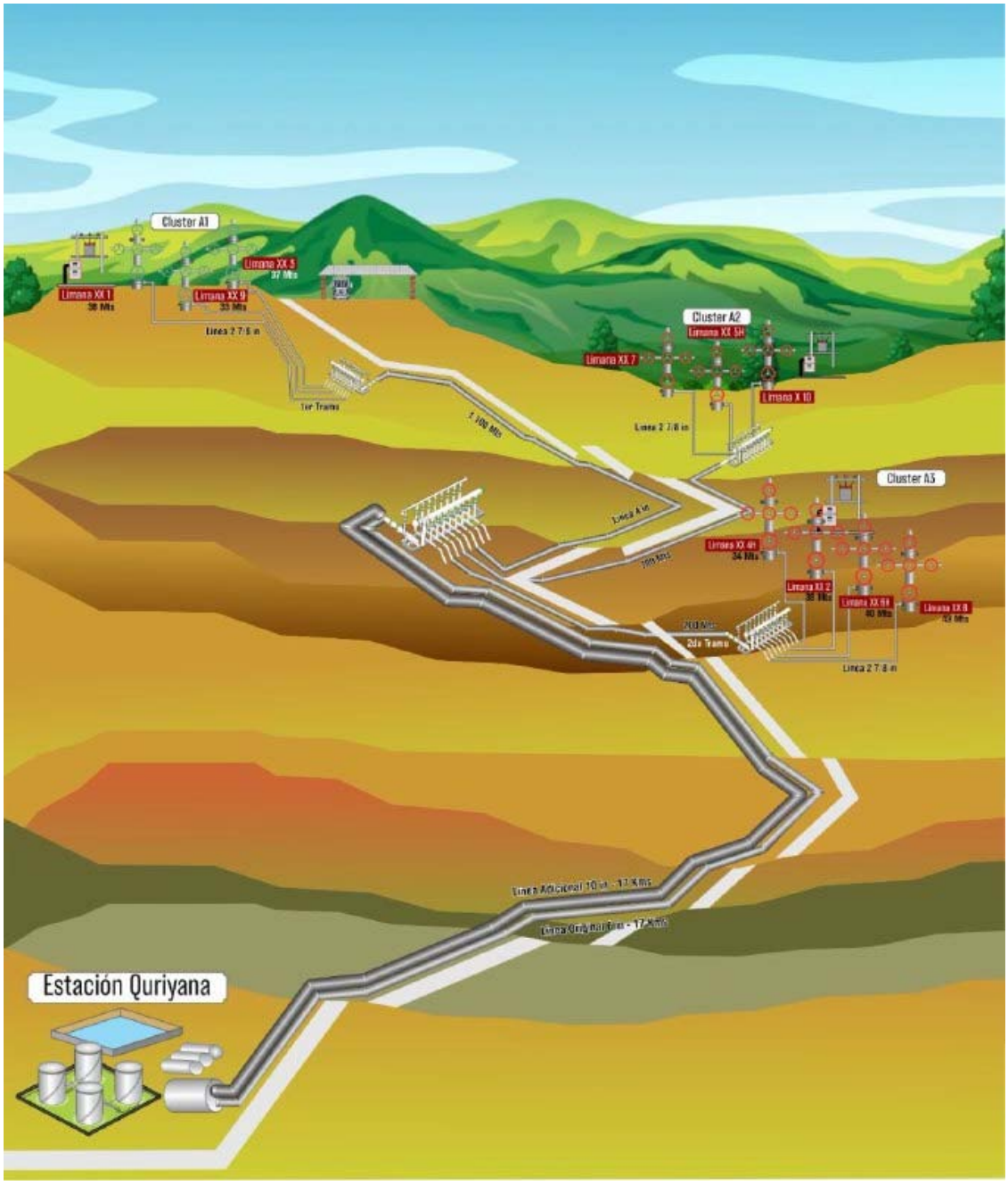
Tabla 92. Diferencias de la línea propuesta de 8 pulg sin Carrotanques VS pruebas TEST producción.

DIFERENCIAS DE LA LINEA PROPUESTA DE 8 PULG SIN CARROTANQUES VS PRUEBAS TEST PRODUCCION POZOS LIMANA				
POZOS	**ACEITE (Bopd)**	**AGUA (Bwpd)**	**FLUIDO (Bfpd)**	**PROMEDIO REDUCCION WHP (psi)**
LIMANA-XX1	47	44	91	-251
LIMANA-XX2	55	39	94	-218
LIMANA-XX3	44	46	90	-214
LIMANA-XX4H	46	37	83	-219
LIMANA-XX5H	30	70	100	-216
LIMANA-XX6H	38	46	84	-228
LIMANA-XX7	32	52	84	-222
LIMANA-XX8	103	401	504	-200
LIMANA-XX9	39	36	75	-216
LIMANA-X10	21	23	44	-225
TOTAL	***455***	***794***	***1249***	***-221***

Fuente: El autor.

7.2.3 Tercer escenario Línea de 10 Pulgadas propuesta. En la figura No 33 se ve la distribución propuesta de la línea principal de 6 pulgadas original que conduce los fluidos a la estación Quriyana, adicionalmente la línea paralela **propuesta** de 10 pulgadas que de igual forma conduce los fluidos a la estación Quriyana.

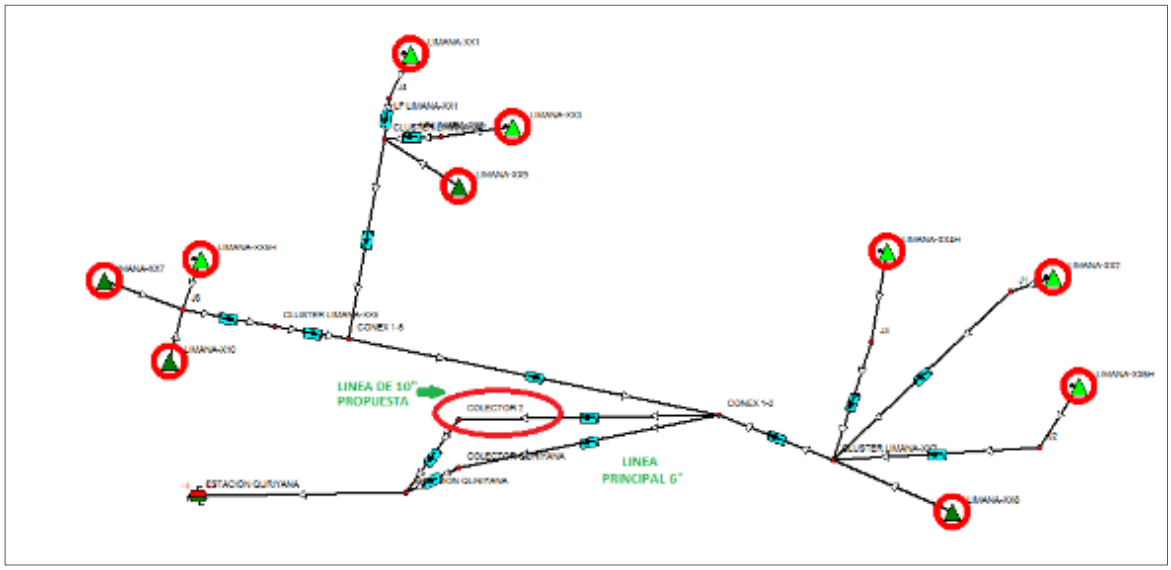
Figura 33. Distribución pozos, línea principal de 6 pulgadas y línea paralela propuesta de 10 pulgadas.



Fuente: El autor.

Se toma una línea de 10**”** con una distancia de 17 Km, la producción va por tres líneas independientes de 2-7/8**”** por una distancia entre 35 mts a 38 mts cada una, estas líneas llegan a un punto colector y de ahí el fluido es transportado por una línea con un diámetro de 3.5**”** hasta llegar al “manifold” principal, luego estas líneas se empalman en una troncal de 10” en este caso es la línea que se propone paralela a la línea actual de 6”. La simulación se visualiza en la Figura 34**.**

Figura 34. Resultados GAP línea de transferencia paralela de 10 pulg.



Fuente: IPM, Petroleum Experts, GAP.

En la tabla 88 se traza las condiciones actuales de producción en las pruebas de pozo, teniendo en cuenta aceite, fluido, frecuencia y presiones en cabeza.

En cuanto a las condiciones de la línea propuesta de 10” que va paralela con la línea actual de 6” las presiones de cabeza de los pozos LIMANA, comparado con el primer y segundo escenario se reducen considerablemente, los resultados se encuentran en la tabla 93.

Tabla 93. Condiciones de la línea propuesta de 10 pulg sin Carrotanques en GAP.

VALORES DE LA LINEA PROPUESTA DE 10 (PULG) SIN CARROTANQUES EN GAP					
POZOS	**ACEITE (Bopd)**	**AGUA (Bwpd)**	**FLUIDO (Bfpd)**	**FRECUENCIA (HZ)**	**WHP (psi)**
LIMANA-XX1	105	3713	3818	54	42
LIMANA-XX2	207	669	876	43	38
LIMANA-XX3	90	856	946	44	41
LIMANA-XX4H	449	6276	6725	48	39
LIMANA-XX5H	95	2770	2865	30	57
LIMANA-XX6H	447	3380	3827	55,5	36
LIMANA-XX7	231	4452	4683	42	67
LIMANA-XX8	1097	4332	5429	46	72
LIMANA-XX9	271	1921	2192	44	65
LIMANA-X10	298	5606	5904	52	61
TOTAL	***3290***	***33975***	***37265***		**52**

Fuente: El autor.

En la tabla 94 las diferencias de producción, según la simulación en GAP genera un aumento de 557 BOPD, entre las condiciones actuales de la línea y las condiciones de la simulación línea paralela de 10” permite que las presiones en cabeza disminuyan considerablemente en promedio de (-247 psi) permitiendo el desplazamiento de más fluido por las respectivas líneas hacia la estación Quriyana y permitiendo a futuro poder realizar proyecciones con nuevos pozos perforados en el Campo La Sabana.

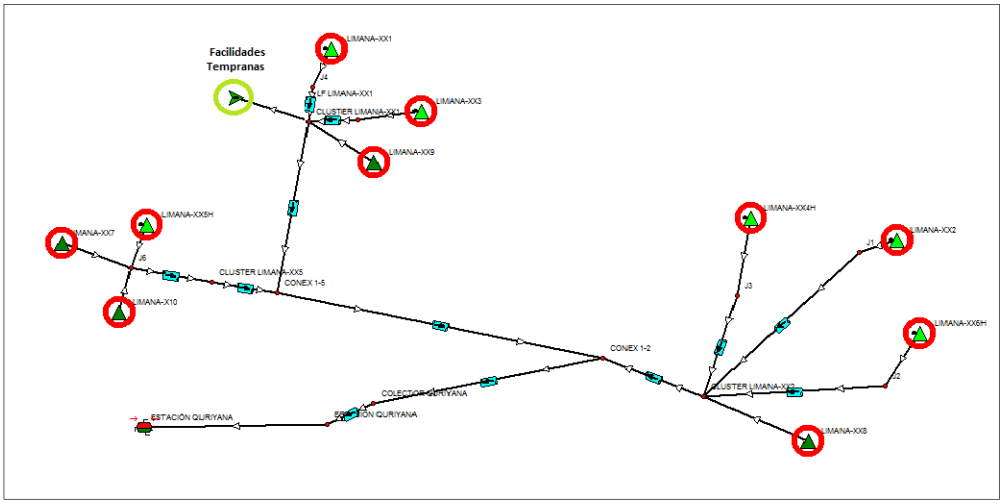
Tabla 94. Diferencias de la línea propuesta de 10 Pulg sin carrotanques VS Pruebas TEST Producción

POZOS	ACEITE (Bopd)	AGUA (Bwpd)	FLUIDO (Bfpd)	PROMEDIO REDUCCIÓN WHP (psi)
LIMANA-XX1	55	62	117	-274
LIMANA-XX2	66	57	123	-249
LIMANA-XX3	51	64	115	-246
LIMANA-XX4H	57	55	112	-252
LIMANA-XX5H	42	88	130	-248
LIMANA-XX6H	46	67	113	-264
LIMANA-XX7	43	73	116	-238
LIMANA-XX8	120	422	542	-219
LIMANA-XX9	45	60	105	-233
LIMANA-X10	32	45	77	-244
TOTAL	***557***	***993***	***1550***	***-247***

Fuente: El autor.

7.2.4 Cuarto escenario, Facilidades Tempranas. Se plantea la instalación de facilidades tempranas con capacidad de almacenamiento de hasta 14500 BFPD, los fluidos que van hacia esta posible estación inicialmente serian para los pozos LIMANA-XX1, LIMANA-XX3 y LIMANA-XX9 la simulación se visualiza en la **Figura 35.**

Figura 35. Resultados de GAP Facilidades Tempranas.



Fuente: IPM, Petroleum Experts, GAP.

En la tabla 88 se traza las condiciones actuales de producción en las pruebas de pozo, teniendo en cuenta fluidos, frecuencia y presiones en cabeza.

En cuanto a las condiciones en GAP sobre las facilidades tempranas que se proponen que trataran los fluidos de los pozos LIMANA-XX1, LIMANA-XX3 y LIMANA-XX9, las presiones de cabeza, comparado con el primer escenario es superior, pero comparado con el segundo y tercer escenario se reducen de una manera proporcional, igualmente ocurre con el aceite que se extrae, los resultados se encuentran en la tabla 95.

Tabla 95. Valores de las facilidades tempranas sin Carrotanques en GAP.

VALORES DE LA LINEA PROPUESTA DE 10 (PULG) SIN CARROTANQUES EN GAP					
POZOS	**ACEITE (Bopd)**	**AGUA (Bwpd)**	**FLUIDO (Bfpd)**	**FRECUENCIA (HZ)**	**WHP (psi)**
LIMANA-XX1	85	3689	3774	54	72
LIMANA-XX2	190	643	833	43	76
LIMANA-XX3	78	831	909	44	78
LIMANA-XX4H	430	6250	6680	48	81
LIMANA-XX5H	73	2741	2814	30	102
LIMANA-XX6H	432	3349	3781	55,5	83
LIMANA-XX7	211	4412	4623	42	92
LIMANA-XX8	1078	4308	5386	46	102
LIMANA-XX9	264	1890	2154	44	97
LIMANA-X10	285	5579	5864	52	120
TOTAL	***3126***	***33692***	***36818***		**90,3**

Fuente: El autor.

En la tabla 96 vemos diferencias de producción, según la simulación en GAP genera un aumento de 393 BOPD, entre las condiciones actuales de la línea y las condiciones de la simulación para las facilidades tempranas propuesta permite que las presiones en cabeza disminuyan en promedio de (-208 psi) permitiendo el desplazamiento de más fluido, pero no lo igual o suficiente comparado con las respectivas líneas de 8” y 10” propuestas en GAP hacia la estación Quriyana. Las

nuevas facilidades quedarían muy cerca del Clúster de los pozos LIMANA-XX2, LIMANA-XX4H, LIMANA-XX6H y LIMANA-XX8 esta simulación se generó en GAP, debido a los posibles escenarios en la construcción de la línea paralela de 8" y 10" se generan caídas de presiones significativas, porque la línea de 6" actualmente instalada ya no estaría con el desplazamiento del fluido al 100% y esto reduciría notablemente las altas presiones que actualmente posee la tubería.

Tabla 96. Diferencias de BOPD en las facilidades tempranas VS pruebas TEST de BOPD actualmente en la producción.

POZOS	ACEITE (Bopd)	AGUA (Bwpd)	FLUIDO (Bfpd)	PROMEDIO REDUCCIÓN WHP (psi)
LIMANA-XX1	35	38	73	-244
LIMANA-XX2	49	31	80	-211
LIMANA-XX3	39	39	78	-209
LIMANA-XX4H	38	29	67	-210
LIMANA-XX5H	20	59	79	-203
LIMANA-XX6H	31	36	67	-217
LIMANA-XX7	23	33	56	-213
LIMANA-XX8	101	398	499	-189
LIMANA-XX9	38	29	67	-201
LIMANA-X10	19	18	37	-185
TOTAL	***393***	***710***	***1103***	***-208***

Fuente: El autor.

Tabla 97. Resultados después de las sensibilidades en GAP escenarios propuestos.

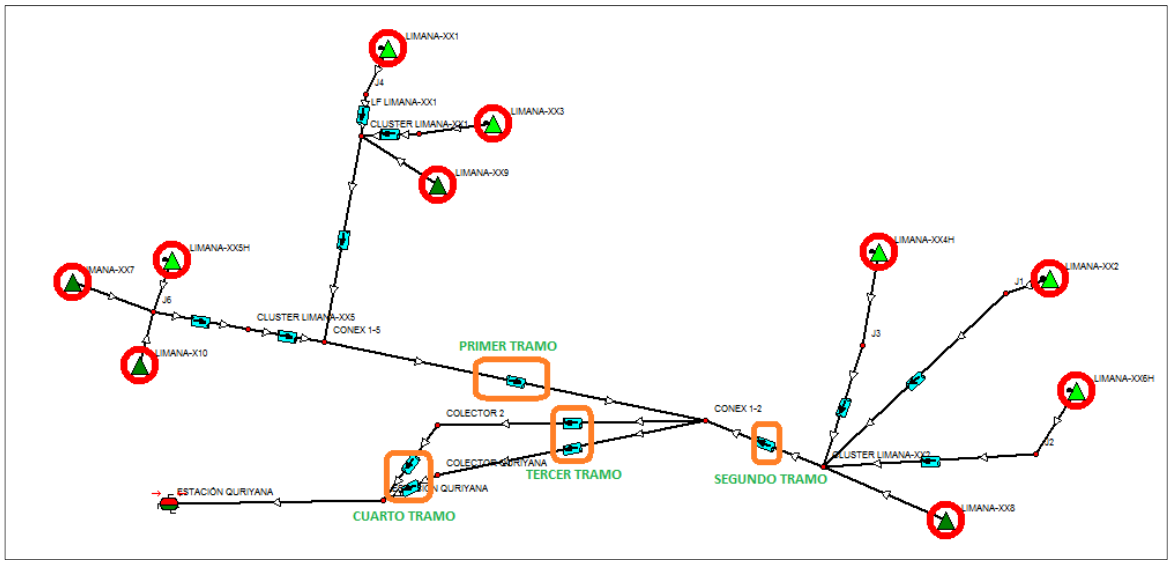
Resultados despues de las sensibilidades en GAP				
ESCENARIOS	GANACIA ACEITE (Bopd)	GANANCIA AGUA (Bwpd)	FLUIDO (Bfpd)	PROMEDIO REDUCCIÓN WHP (psi)
Linea de 6 ''	335,0	630,0	965	-171
Linea de 8 ''	455,0	794,0	1249	-221
Linea de 10 ''	557,0	993,0	1550	-247
Facilidades Tempranas 10 Kbfpd	393,0	710,0	1103	-208

Fuente: El autor.

7.2.5 Velocidades de flujo en los escenarios propuestos paralelamente a la línea actual de 6 pulgadas. Se requiere conocer las respectivas velocidades de flujo en los cuatro tramos que corresponden a la línea actual y las respectivas velocidades de los escenarios planteados estas líneas son de 6 pulg, 8 pulg, 10 pulg y facilidades tempranas.

En la figura 36 se describe la enumeración de los respectivos tramos, tomando de ejemplo la línea adicional de 6 pulgadas.

Figura 36. Resultados en diferentes tramos de velocidades en GAP Línea 6 pulg propuesta.



Fuente: Petroleum Experts, “GAP”.

Tabla 98. Resultados del Tramo 01 al 04 en simulación de GAP velocidades propuestas.

ESCENARIO	TRAMO	LONGITUD (mts)	CAUDAL (bfpd)	VELOCIDAD (ft/s)
CONDICION ACTUAL	TRAMO 1	1100	5180	1,7145
LINEA 6 ADICIONAL		1100	9723	3,2182
LINEA 8 ADICIONAL		1100	10886	3,6031
LINEA 10 ADICIONAL		1100	11193	3,7047
CONDICION ACTUAL	TRAMO 2	200	8660	2,7535
LINEA 6 ADICIONAL		200	9108	2,9125
LINEA 8 ADICIONAL		200	9305	2,5958
LINEA 10 ADICIONAL		200	9450	1,9484
CONDICION ACTUAL	TRAMO 3	15087	13539	4,4812
LINEA 6 ADICIONAL		15087	10215	3,3809
LINEA 8 ADICIONAL		15087	13943	3,2791
LINEA 10 ADICIONAL		15087	19196	3,9187
CONDICION ACTUAL	TRAMO 4	1000	13489	4,4646
LINEA 6 ADICIONAL		1000	10215	3,3809
LINEA 8 ADICIONAL		1000	13943	2,5959
LINEA 10 ADICIONAL		1000	16352	1,9484

Fuente: El autor.

8. EVALUACIÓN ECONÓMICA PARA LOS DIFERENTES ESCENARIOS PLANTEADOS EN EL CAMPO LA SABANA

En este capítulo se evaluará la viabilidad financiera del rediseño en las líneas de producción propuestas anteriormente, desplazando el fluido del campo la Sabana hacia la estación Quriyana, asociados a los resultados aproximados que se esperan obtener en el transporte de fluidos en los diez pozos Limana del campo La Sabana anteriormente mencionados.

Se plantea un segundo escenario donde a futuro se perforará un pozo adicional LIMANA-X11 lo que evidentemente generará el ingreso de más caudal a las líneas propuestas, teniendo estos escenarios se realiza un estudio **técnico económico** seleccionando la alternativa más viable que se ajuste al proyecto.

Para iniciar el análisis, la compañía que opera en los llanos, normalmente maneja una tasa de oportunidad del 16% para la viabilidad de los proyectos, por lo que se asume que las líneas planteadas de 6 pulg, 8 pulg, 10 pulg con las facilidades tempranas deben superar la tasa de oportunidad del 16%, generando para cada uno, un (TIR) especial. Es de resaltar que el capital de inversión lo hace esta compañía operadora y no existe ningún tipo de financiación externa a la compañía.

8.1 PREMISAS

En la evaluación económica se tendrá muy en cuenta la ganancia de producción en los tres años que es el periodo establecido para el repago máximo del proyecto, teniendo en cuenta las cifras que el grupo de yacimientos de la compañía establece en la tabla inferior (No 99), se definen los pronósticos de producción para cada escenario propuesto teniendo en cuenta los pozos actuales del Campo.

Tabla 99. Pronósticos de producción para los diferentes escenarios con los **pozos actuales.**

ESCENARIO	CORTE DE AGUA	INCREMENTAL bopd	2022 (bbls /Año)	2023 (bbls /Año)	2024 (bbls /Año)
LINEA 6 ADIC	91%	552,69	179.291	141.035	110.942
LINEA 8 ADIC	**91%**	**614,34**	**199.290**	**156.767**	**123.317**
LINEA 10 ADIC	**91%**	**633,51**	**205.509**	**161.659**	**127.165**
FAC TEMP	91%	625,31	204.128	160.048	126.088

Fuente: El autor.

Teniendo los pronósticos actuales se evalúa la producción que se establecerá de manera aproximada con un pozo de más perforado según la tabla 100 se definirán los pronósticos de producción en el campo la Sabana.

Tabla 100. Pronósticos de producción para los diferentes escenarios con **un pozo perforado adicional**.

ESCENARIOS PROPUESTOS	2022 (bbls /Año)	2023 (bbls /Año)	2024 (bbls /Año)
LINEA 6 ADIC	234.582	182.070	141.884
LINEA 8 ADIC	270.580	205.534	177.634
LINEA 10 ADIC	**320.018**	**258.318**	**220.330**
FAC TEMP	250.128	200.048	160.088

Fuente: El autor.

Con el fin de realizar el análisis económico se tiene en cuenta los siguientes indicadores económicos de la tabla 101**,** es importante aclarar que los valores ingresados son definidos por el área de planeación en casa matriz.

Tabla 101. Indicadores económicos para evaluación **financiera** con los pozos actuales.

CONCEPTO	Año 2022 USD/b oil	Año 2023 USD/b oil	Año 2024 USD/b oil
Venta	50	53	55
OPEX	-10	-10	-10
Transporte & Comercio	-15	-15	-15
Impuestos	-5	-5	-5
Ingreso Neto	**20**	**23**	**25**
Tasa de Oportunidad Operadora	16%	16%	16%

Fuente: El autor.

Se presenta a continuación los costos obtenidos para la propuesta de construcción de las líneas paralela a la actual de 6 pulgadas.

En las siguientes tablas inferiores 102, 103 y 104 se visualiza las inversiones finales más aproximadas de cada proyecto, en donde podemos obtener resultados de la línea propuesta de 6 pulgadas por un valor de $ 2.638.268 USD para la línea propuesta de 8 pulgadas $ 2.927.834 USD, para la línea de 10 pulgadas $ 3.796.532 USD y las facilidades tempranas $ 10.200.000 USD es de aclarar que estas cuatro inversiones son para los pozos actuales del campo.

Figura 37. Análisis financiero de la mejor propuesta a desarrollar en el proyecto.

Fuente: El autor.

Tabla 102. Inversión línea propuesta de 6 pulgadas.

Inversión Propuesta para la linea paralela de 6 Pulgadas		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	**USD/m**	**(16.087 m) * (USD/m)**
Ingenieria & Supervision	**49,0**	**788,263**
Otros	**2,0**	**32,174**
Suministros	**30,0**	**482,610**
Construcción	**83,0**	**1,335,221**
TOTAL INVERSION		**2,638,268**

Fuente: El autor.

Tabla 103. Inversión línea propuesta de 8 pulgadas.

Inversión Propuesta para la linea paralela de 8 Pulgadas		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	**USD/m**	**(16.087 m) * (USD/m)**
Ingenieria & Supervision	**50,0**	**804,350**
Otros	**2,0**	**32,174**
Suministros	**41,0**	**659,567**
Construcción	**89.0**	**1,431,743**
TOTAL INVERSION		**2,927,834**

Fuente: El autor.

Tabla 104. Inversión línea propuesta de 10 pulgadas.

Inversión Propuesta para la linea paralela de 10 Pulgadas		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	USD/m	(16.087 m) * (USD/m)
Ingenieria & Supervision	55,0	$ 884.785,00
Otros	3,9	$ 63.044,00
Suministros	54,0	$ 868.698,00
Construcción	107,0	$ 1.721.309,00
TOTAL INVERSION		$ 3.537.836,00

Fuente: El autor.

Tabla 255. Inversión construcción de facilidades tempranas.

Inversión Propuesta para la construccion de Facilidades Tempranas		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	USD/m	(16.087 m) * (USD/m)
Construcción Facilidades Tempranas	N/A	10,200,000
TOTAL INVERSION		10,200,000

Fuente: El autor.

8.2 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 6 PULGADAS

Se hizo un flujo de caja anualmente con el fin de obtener los valores necesarios para hallar el (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el Costo/Beneficio y el tiempo de repago del proyecto.

La inversión del proyecto es de $ 2.638.268 USD y se halla el flujo neto anualmente de $ 2.054.320 USD para el año 2022, $ 1.339.118 USD para el año 2023 y $ 898.215 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 703.328 USD.

El (TIR) es de 34% sobrepasando el 16% mínimo establecido por la compañía, la relación Costo/Beneficio es de 1,27 y su tiempo de repago es de 1.44 años, el proyecto para realizar la construcción de la línea adicional de 16.5 km de 6 pulgadas es viable.

Tabla 106. Análisis financiero línea adicional de 6 pulg.

	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
LINEA DE 6 PULG ADIC	(2.638.268)	VP	$ 3.341.596,67
	2.054.320	VPN @ 3 AÑOS	$ 703.328,67
	1.339.118	TIR	34%
	898.215	C/B	$ 1,27

Fuente: El autor.

Tabla 107. Análisis financiero tiempo de repago línea adicional de 6 pulg.

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
AÑO	**DINERO**	**ACUMULADO (AÑOS)**
0	(2.638.268)	
1	2.054.320	2.054.320
2	1.339.118	3.393.438
3	898.215	4.291.653

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO	
PR	**1,44**

Fuente: El autor.

8.3 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 8 PULGADAS

La inversión del proyecto es de $ 2.927.834 USD y se halla el flujo neto anualmente de $ 2.089.320 USD para el año 2022, $ 1.415.320 USD para el año 2023 y $ 982.432 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 554.519 USD. El (TIR) es de 29% sobrepasando el 16% mínimo establecido por la compañía de la tasa de oportunidad para que sea viable el proyecto, la relación Costo/Beneficio es de 1,19 y su tiempo de repago es de 1.52 años, el proyecto para realizar la construcción de la línea adicional de 16.5 km correspondiente a 8 Pulgadas es viable y el indicador que mejor representa esta teoría es el (TIR) con el 29% Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la tabla 108.

Tabla 108. Análisis financiero línea adicional de 8 pulg.

	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
LINEA DE 8 PULG ADIC	(2.927.834)	VP	$ 3.482.353,85
	2.089.320	VPN	$ 554.519,85
	1.415.320	TIR	29%
	982.432	C/B	$ 1,19

Fuente: El autor.

Tabla109. Análisis financiero tiempo de repago línea adicional de 8 pulg

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
AÑO	**DINERO (USD)**	**ACUMULADO (AÑOS)**
0	(2.927.834)	
1	2.089.320	2.089.320
2	1.415.320	3.504.640

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
3	982.432	4.487.072
PR		**1,52**

Fuente: El autor.

8.4 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 10 PULGADAS

La inversión del proyecto es de $ 3.537.836 USD y se halla el flujo neto anualmente de $ 2.115.811 USD para el año 2022, $ 1.454.551 USD para el año 2023 y $ 1.139.322 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 97.022 USD. El (TIR) es de 18%, sobrepasando el 16% mínimo establecido por la compañía de la tasa de oportunidad para que sea viable el proyecto, la relación Costo/Beneficio es de 1,03 y su tiempo de repago es de 1.98 años, el proyecto para realizar la construcción de la línea adicional de 17.0 km correspondiente a 10 pulgadas es viable y el indicador que mejor representa esta teoría es el (TIR). Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la tabla 110.

Tabla 110. Análisis financiero línea adicional de 10 pulg.

	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
LINEA DE 10 PULG ADIC	(3.537.836)	VP	$ 3.634.858,72
	2.115.811	VPN	$ 97.022,72
	1.454.551	TIR	18%
	1.139.322	C/B	$ 1,03

Fuente: El autor.

Tabla 111. Análisis financiero línea adicional de 10 pulg.

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
AÑO	**DINERO**	**DINERO ACUMULADO**
0	(3.537.836)	
1	2.115.811	2.115.811
2	1.454.551	3.570.362

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
3	1.199.322	4.769.684
PR (AÑOS)		**1,98**

Fuente: El autor.

8.5 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA CONSTRUIR FACILIDADES TEMPRANAS

La inversión del proyecto es de $ 10.200.000 USD debido a la adquisición de un separador de 30.000 bls sin back up, un Gun barril con capacidad de 5.000 bls, un Tanque de almacenamiento de 5.000 bls, luego de conocer la inversión se halla el flujo neto anualmente de $ 1.540.332 USD para el año 2022, $ 1.250.815 USD para el año 2023 y $ 1.150.961 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ -7.215.196 USD.

El (TIR) es de -37% está muy lejos de llegar al 16% mínimo establecido por la compañía en la tasa de oportunidad para que sea viable el proyecto, la relación Costo/Beneficio es de 0,29 el proyecto. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la tabla 112.

Tabla 112. Análisis financiero facilidades tempranas.

	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
FACILIDADES TEMPRANAS	(10.200.000)	VP	$ 2.994.803,71
	1.540.332	VPN	-$ 7.205.196,29
	1.250.815	TIR	-37%
	1.150.961	C/B	-$ 0,29

Fuente: El autor.

8.6 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 6 PULGADAS CON UN POZO ADICIONAL PERFORADO.

Las tablas 113, 116, 122 muestran las inversiones finales de cada proyecto teniendo en cuenta la perforación de un pozo adicional en el campo La Sabana,

los cuales arrojan para la línea propuesta de 6 pulgadas un valor de $ 4.288.268 USD para la línea propuesta de 8 pulgadas $ 4.803.052 USD, para la línea de 10 pulgadas $ 5.446.532 USD y las facilidades tempranas $11.250.000 USD es de aclarar que estos cuatro escenarios son pronósticos a corto plazo en la expansión del campo La Sabana.

Tabla 113. Inversión línea propuesta de 6 pulgadas con un pozo adicional perforado.

Inversión Propuesta para la linea paralela de 6 Pulgadas con 1 pozo adicional perforado		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	**USD/m**	**(16.087 m) * (USD/m)**
Propuesta en perforar un pozo nuevo	**N/A**	**1,650,000**
Ingenieria & Supervision	**49,0**	**788,263**
Otros	**2,0**	**32,174**
Suministros	**30,0**	**482,610**
Construcción	**83,0**	**1,335,221**
TOTAL INVERSION		**4,288,268**

Fuente: El autor.

Se hizo un flujo de caja anualmente con el fin de obtener los valores necesarios para hallar el (VPN), la tasa interna de retorno (TIR), el Costo/Beneficio y el tiempo de repago del proyecto.

La inversión del proyecto perforando un pozo adicional y construyendo una línea paralela de 6" es de $ 4'288.268 USD y se halla el flujo neto anualmente de $ 2'793.640 USD para el año 2022, $ 1.815.110 USD para el año 2023 y $ 1.174.600 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 221.481 USD. El (TIR) es de 20%**,** ubicándose por encima del 16% mínimo establecido por la compañía, la relación Costo/Beneficio es de 1,05 y su tiempo de repago es de 1.82 años, el proyecto para realizar la construcción de la línea adicional de 17.0 km de 6 pulgadas es viable, los resultados pueden visualizarse en las tablas 114 y 115.

Tabla 114. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 6 pulgadas.

LINEA DE 6 PULG ADIC	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
	(4.288.268)	VP	$ 4.509.749,26
	2.793.640	VPN @ 3 AÑOS	$ 221.481,26
	1.815.110	TIR	20%
	1.174.600	C/B	$ 1,05

Fuente: El autor.

Tabla 115. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 6 pulgadas con tiempo de repago.

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
AÑO	**DINERO**	**ACUMULADO (AÑOS)**
0	(4.288.268)	
1	2.793.640	2.793.640
2	1.815.110	4.608.750
3	1.174.600	5.783.350
PR		**1,82**

Fuente: El autor.

8.7 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 8 PULGADAS CON UN POZO ADICIONAL PERFORADO.

La inversión del proyecto es de $ 4.803.052 USD y se halla el flujo neto anualmente de $ 3.199.700 USD para el año 2022, $ 1.962.407 USD para el año 2023 y $ 1.675.975 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 487.424 USD. El (TIR) es de **23%,** sobrepasando el 16% mínimo establecido por la compañía, la relación Costo/Beneficio es de 1,10 y su tiempo de repago es de 1,82 años, el proyecto para realizar la construcción de la línea adicional de 16.5 km de 8 pulgadas es viable teniendo en cuenta la entrada de un nuevo pozo perforado LIMANA-X11, los resultados pueden visualizarse en las tablas 116 y 117.

Tabla 116. Inversión línea propuesta de 8 pulgadas con un pozo adicional perforado.

Inversión Propuesta para la linea paralela de 8 Pulgadas con 1 pozo adicional perforado		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	**USD/m**	**(16.087 m) * (USD/m)**
Propuesta en perforar un pozo nuevo	**N/A**	**1,650,000**
Ingenieria & Supervision	**54,0**	**868,698**
Otros	**2,0**	**32,174**
Suministros	**46,0**	**740,002**
Construcción	**94,0**	**1,512,178**
TOTAL INVERSION		**4,803,052**

Fuente: El autor.

Tabla 117. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 8 pulgadas.

	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
LINEA DE 8 PULG ADIC	(4.803.052)	VP	$ 5.290.476,39
	3.199.700	VPN	$ 487.424,39
	1.962.407	TIR	23%
	1.675.975	C/B	$ 1,10

Fuente: El autor.

Tabla 118. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 8 pulgadas en tiempo de repago.

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
AÑO	**DINERO (USD)**	**ACUMULADO (AÑOS)**
0	(4.803.052)	
1	3.199.700	3.199.700
2	1.962.407	5.162.107
3	1.675.975	6.838.082
PR		**1,82**

Fuente: El autor.

8.8 ANÁLISIS ECONÓMICO LÍNEA ADICIONAL DE 10 PULGADAS CON UN POZO ADICIONAL PERFORADO.

La inversión del proyecto es de $ 5.446.532 USD y se halla el flujo neto anualmente de $ 3.312.460 USD para el año 2022, $ 2.081.439 USD para el año 2023 y de $ 1.648.375 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 11.929 USD. El (TIR) es de **16%** dato que está cerca del 16% mínimo establecido por la compañía de la tasa de oportunidad para que sea viable el proyecto, la relación Costo/Beneficio es de 1,00 y su tiempo de repago es de 2,03 años, el proyecto para realizar la construcción de la línea adicional de 17.0 km correspondiente a 10 pulgadas es viable y el indicador que mejor representa esta teoría es el (TIR) y teniendo en cuenta la entrada de un pozo adicional perforado. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en la tabla 119.

Tabla 119. Inversión línea propuesta de 10 pulgadas con un pozo adicional perforado

Inversión Propuesta para la linea paralela de 10 Pulgadas con 1 pozo adicional perforado		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	USD/m	(16.087 m) * (USD/m)
Propuesta en perforar un pozo nuevo	N/A	1,650,000
Ingenieria & Supervision	56,0	900,872
Otros	2,0	32,174
Suministros	55,0	884,785
Construcción	123,0	1,978,701
TOTAL INVERSION		5,446,532

Fuente: El autor.

Tabla 120. Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 10 pulgadas.

	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
LINEA DE 10 PULG ADIC	(5.446.532)	VP	$ 5.458.461,30
	3.312.460	VPN	$ 11.929,30
	2.081.439	TIR	16%
	1.648.375	C/B	$ 1,00

Fuente: El autor.

Tabla 121 Indicadores económicos para propuesta línea paralela de 10 pulgadas en tiempo de repago

TIEMPO DE REPAGO DEL PROYECTO		
AÑO	DINERO	ACUMULADO (AÑOS)
0	(5.446.532)	
1	3.312.460	3.312.460
2	2.081.439	5.393.899
3	1.648.375	7.042.274
PR		2,03

Fuente: El autor.

8.9 ANÁLISIS ECONÓMICO PARA CONSTRUIR FACILIDADES TEMPRANAS CON UN POZO ADICIONAL PERFORADO.

La inversión del proyecto es de $11.250.000 USD debido a la adquisición de un separador de 30.000 bls sin back up, un Gun barril con capacidad de 5.000 bls, un Tanque de almacenamiento de 5.000 bls, luego de conocer la inversión se halla el flujo neto anualmente de $ 2.389.160 USD para el año 2022, $ 1.334.354 USD para el año 2023 y $ 735.450 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ -7.727.565 USD.

El (TIR) es de -40% está muy lejos de llegar al 16% mínimo establecido por la compañía en la tasa de oportunidad para que sea viable el proyecto, la relación Costo/Beneficio es de 0,31 el proyecto. Los resultados obtenidos se pueden visualizar en las tablas 122 y 123.

Tabla 122. Inversión propuesta con facilidades tempranas adicionando un pozo perforado.

Inversión Propuesta para la construccion de Facilidades Tempranas con 1 pozo adicional perforado		
Total Capex Troncal Sabana - Quriyana	**USD/m**	**(16.087 m) * (USD/m)**
Construcción Facilidades Tempranas	**N/A**	**10,200,000**
Propuesta en perforar un pozo nuevo	**N/A**	**1,650,000**
TOTAL INVERSION		**11,250,000**

Fuente: El autor.

Tabla 123. Indicadores económicos para propuesta con facilidades tempranas adicionando un pozo perforado.

FACILIDADES TEMPRANAS	16%	PORCENTAJE DE VIABILIDAD DEL PROYECTO	
	(11,250,000)	VP	$3,522,434.77
	2,389,160	VPN	($7,727,565.23)
	1,334,354	TIR	-40%
	735,450	C/B	($0.31)

Fuente: El autor.

8.10 RESUMEN ECONÓMICO PARA OBTENER LA MEJOR PROPUESTA FINANCIERA PARA LA TRANSFERENCIA DE FLUIDOS.

Se realizó un resumen de los resultados en inversión y en retorno de la mejor propuesta financiera para transferir el fluido diario hacia la estación Quriyana.

Tabla 124. Resultados económicos para obtener la mejor propuesta financiera en la transferencia de fluidos

Escenarios	Inversion (USD)	VP (USD)	VPN (USD)	TIR (%)	Costo /Beneficio	Tiempo de Repago
Línea adicional 6"	-2.638.268	3.341.597	703.329	34%	1,27	1.44
Línea adicional 8"	-2.927.834	3.482.354	554.520	29%	1,19	1.52
Línea adicional 10"	-3.537.836	3.634.859	97.023	18%	1,03	1.98
Facilidades Tempranas	-10.200.000	2.994.804	-7.205.196	-37%	-0,29	
Línea adicional 6" + 1 pozo adicional perforado	-4.288.268	4.509.749	221.481	20%	1,05	1.82
Línea adicional 8" + 1 pozo adicional perforado	-4.803.052	5.290.476	487.424	23%	1,10	1.82
Línea adicional 10" + 1 pozo adicional perforado	-5.446.532	5.458.461	11.929	16%	1,00	2.03
Facilidades Tempranas + 1 pozo adicional perforado	-11.250.000	3.522.435	-7.727.565	-40%	-0,31	

Fuente: El autor.

8.11 RECOMENDACIÓN DE LA MEJOR ALTERNATIVA DE LA CAPACIDAD DE TRANSFERENCIA DE FLUIDOS BASADO EN EL ESCENARIO MAS FACTIBLE.

De acuerdo con los diferentes escenarios planteados, todos cumplen con las condiciones mínimas para que sean viables a desarrollar por la compañía a excepción de la alternativa de construir las facilidades tempranas. Además de lo anteriormente mencionado, es importante resaltar que el campo será reversado a la operadora estatal en el año 2027, razón por la cual es importante que el proyecto tenga un tiempo de recobro bajo (menor a tres años) y de esta manera maximizar las ganancias antes de entregar la operación del campo.

Teniendo en cuenta las consideraciones anteriores, es recomendado que el proyecto a ejecutar sea el de la construcción de la línea adicional de **8 pulgadas** dado que, conforme a los resultados obtenidos del análisis financiero, esta opción presenta mejores valores de VPN y TIR comparado con las otras opciones propuestas.

Además se realizaron los análisis económicos para los mismos escenarios (construcción de línea paralela de 6 pulgadas, línea de 8 pulgadas, línea de 10 pulgadas y facilidades tempranas) considerando la perforación de un pozo adicional (LIMANA X-11), opción que incrementa el volumen de producción y dado el caso de ejecutarse, la alternativa de construir la línea de 8 pulgadas es la opción que presenta los mejores indicadores económicos haciendo viable esta alternativa por encima de las demás conforme con los lineamientos establecidos por la compañía.

9. CONCLUSIONES

A partir de los resultados de la evaluación financiera a los diferentes escenarios (construcción de línea adicional de 6 pulgadas, línea adicional de 8 pulgadas, línea adicional 10 pulgadas y facilidades tempranas) con las condiciones actuales del campo y las proyecciones a futuro de la producción del campo La Sabana, así como del precio internacional del crudo, **sin incorporar más pozos**, la alternativa que presenta mayor viabilidad es la construcción de la **línea paralela de 6 pulgadas**.

Para la opción de la **línea adicional de 6 pulgadas**, el flujo neto anual es de 2’793.640 USD para el año 2022, $ 1.815.110 USD para el año 2023 y $ 1.174.600 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 221.481 USD. La TIR es de 20%**.**

Al realizar el análisis económico de las diferentes alternativas **considerando la perforación de un pozo adicional** (LIMANA X-11), fue posible determinar que la opción financiera más viable es la construcción de la **línea adicional de 8 pulgadas**.

Para la opción de la **línea adicional de 8 pulgadas**, el flujo neto anual es de $ 3.199.700 USD para el año 2022, $ 1.962.407 USD para el año 2023 y $ 1.675.975 USD para el año 2024.

Con la cantidad de pozos actuales del campo La Sabana (10 pozos), incluso con la perforación de un pozo adicional, **la opción de construir facilidades tempranas no resulta viable económicamente** conforme con los resultados obtenidos de los análisis financieros.

10. RECOMENDACIONES

Se recomienda en la viabilidad del proyecto a ejecutar sea el de la construcción de la línea adicional de **8 pulgadas** dado que, conforme a los resultados obtenidos del análisis financiero, esta opción presenta mejores valores de VPN y TIR comparado con las otras opciones propuestas. Este campo ha demostrado tener gran potencial de crudo según el departamento de Geociencias. También hay que tener en cuenta que el campo reversa para la operadora estatal en el año 2027, lo cual el diseño de las facilidades de superficie estarían acorde para perforar de **2 a 3 pozos adicionales** lo cual generaría un impacto positivo al pago del proyecto de manera más rápida, como bien se mencionó anteriormente la declinación del campo con la línea de 8 pulg el flujo neto anualmente de $ 3.199.700 USD para el año 2022, $ 1.962.407 USD para el año 2023 y $ 1.675.975 USD para el año 2024.

Se recomienda en la viabilidad del proyecto elegir en la ejecución la construcción de la línea adicional de 6 pulgadas siempre y cuando **NO** se perforen más pozos a futuro, ya que los resultados económicos han sido más ajustados a la viabilidad que la compañía exige para aprobar los proyectos y los resultados son 2'793.640 USD para el año 2022, $ 1.815.110 USD para el año 2023 y $ 1.174.600 USD para el año 2024, de esta manera se obtiene el (VPN) a tres años de $ 221.481 USD. El (TIR) es de 20%**.**

La inversión del proyecto es de $11.250.000 USD, pero no se recomienda realizar facilidades tempranas porque financieramente el (TIR) es de -40% está muy lejos de llegar al 16% mínimo establecido por la compañía, adicionalmente el Campo La Sabana esta reversado para la empresa estatal de Colombia en el 2027.

BIBLIOGRAFIA

AMER, M; AL-ANAZI, OBI L. y ISICHEI MOHAMMED. (2017) Innovative production Optimization technique for smart well Completions using real – Time Nodal Analysis Applications. Paper SPE-1891198 This paper was prepared for presentation at the SPE symposium, Malaysia 7-8 November.

ARCHILA J; RUEDA J; GARCES C y CARRENO O, (2013) . Paper SPE-1891198 This paper was prepared for presentation at the SPE symposium, Malaysia 7-8 November.

ARDILA M y MENESES M. Análisis Técnico de las estrategias de optimización para el manejo de fluidos y balance de presiones en los Clúster asociados a las troncales 3 y 3A de Campo Rubiales. Bucaramanga, (2015). Tesis de grado. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-químicas. Escuela de ingeniería de petróleos.

BENTO F, y SCHIOZER J (2010). The influence of production lines pressure Drop in the Definition of the Oilfield Drainage Stategy. Paper SPE-138259-MS This paper was prepared Conference. Lima Peru. 1-3 December.

CABARCAS, MANUEL. Optimización Integrada del sistema de Producción Utilizando Análisis Nodal. Bucaramanga, (2014). Especialización Producción Hidrocarburos Universidad Industrial de Santander.

CAMARGO, E., AGUILAR, J., RÍOS, A., RIVAS, F., & AGUILAR, J. (2008). Un modelo de producción de pozos por levantamiento artificial utilizando análisis nodal. *Ciencia e Ingeniería*, Diciembre – Marzo (2009). Vol 30 Num 1.pp 23-28.

CASTILLO G, CALVETE F, y PRADA Á. Optimización de producción de las unidades de flujo X1 y X2 utilizando choques en fondo (2010).. Fuentes: El reventón energético, Julio – Diciembre (2010). Vol 8 Num 2.

CERQUERA CARLOS; CONDE RUBÉN y VILLAMIZAR SERGIO. Propuesta para la mejora de las facilidades de producción del Campo A. Fuentes: El reventón energético. Enero-Junio (2016).Vol. 14 Núm. 1 pp 67-78.

ECONOMIDES, MICHAEL. Petroleum Production systems. New Yersey. December, (1993).

FORERO A y SERPA S. Evaluación de distribución de presiones de las líneas de producción en Campo Quifa mediante Análisis Nodal. Bucaramanga. (2014). Tesis de grado Especialización. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Universidad Industrial de Santander.

HIRSCHFELT, MARCELO. Análisis de un sistema de producción y Análisis Nodal Curso. Buenos Aires. Octubre, (2009).

MEZA MARLONG y CASTRILLÓN XIOMARA. Evaluación de la velocidad de corrosión de un acero Aisi Sae 1020 bajo un ambiente salmuera /CO2/ H2S/ a altas presiones. Fuentes: El reventón energético. Abril (2006).Vol. 4 Num. 1.

ORTEGA ANGIE; MARIN DIEGO y OCHOA EDGAR. Revisión general de la producción elevada de agua en la industria del petróleo. Fuentes: El reventón energético. Julio-Diciembre (2019). Vol. 17 Núm. 2 pp 39-50.

PETROLEUM EXPERTS LIMITED, IPM GAP Manual, Version 8.5. United Kingdom, (2010). 909 p.

PETROLEUM EXPERTS LIMITED, IPM Prosper Manual, Version 11.5 United Kingdom, (2010). 1532 p.

PORRAS, MARIO y ZAPA, MARVIN. Evaluación de los métodos empleados en software comerciales para optimizar la producción de crudo por análisis nodal. Bucaramanga, (2014). Proyecto de grado. Universidad industrial de Santander. Facultad de ingenierías físico-químicas. Escuela de ingeniería de petróleos.

STOISITS, R. (1992). Dynamic production system Nodal Analysis. . Paper SPE-24791-MS This paper was prepared Annual Technical Conference and Exhibition, Washington, D.C 4-7 October.