

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DEL
BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE COMO MÉTODO DE LEVANTAMIENTO
ARTIFICIAL EN POZOS DE PRODUCCIÓN EN DOS CAMPOS DIFERENTES, A
TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y ANÁLISIS NODAL DE
FONDO**

**JOSE LUIS MEJIA GOMEZ
ALFONSO MORALES PEREZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2011

**EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DEL
BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE COMO MÉTODO DE LEVANTAMIENTO
ARTIFICIAL EN POZOS DE PRODUCCIÓN EN DOS CAMPOS DIFERENTES, A
TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y ANÁLISIS NODAL DE
FONDO**

**JOSE LUIS MEJIA GOMEZ
ALFONSO MORALES PEREZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Ingeniero
de Petróleos.**

**Director:
Ing. Fernando Calvete
UIS**

**Codirector:
Ing. Yilan Mateus González
Wood Group ESP**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERIAS FÍSICO-QUIMICAS
ESCUELA DE INGENIERIA DE PETRÓLEOS
BUCARAMANGA**

2011

DEDICATORIA

Agradezco a Dios por la oportunidad de vivir, y por estar siempre conmigo y darme la fortaleza para seguir adelante en las dificultades de la vida.

A mis padres Jose Ricaurte y Luz Esther por su comprensión y amor a lo largo de toda mi vida, gracias por ser los mejores padres del mundo sin todo lo que Uds. me brindan nada de esto sería posible.

A mis hermanos Oscar, Diego y Juan por estar ahí en cada momento cuando uno más los necesita, esto es por ustedes me siento orgulloso de que sean mis hermanos.

A mi familia por los incontables momentos que estuvieron ahí para darme una mano.

A Andrea por la compañía, el apoyo, el amor que me has brindado en todo este tiempo eso fortalece mi alma y mi vida me hace muy feliz y una mejor persona día a día, Te amo.

A los parceros de toda la vida Cristian, Pedro, Vilner, Memo, Javier Lineros y a mis compadres de la U Leo, Franklin, Daniel, Gauss, el Rolo mi compañero de tesis Alfonso porque Uds. han sido como hermanos y han estado ahí en las buenas y malas.

A mis amigas Laura Melissa, Lorena, Marce por ser personas sensatas y consejeras en aquellos momentos que más lo necesite.

Y todos mis amigos por su gran amistad que ha hecho mi vida aún mejor.

Jose Luis Mejía Gómez

DEDICATORIA

Dedicada a Dios por brindarme la oportunidad de cumplir mis metas.

A mis padres Luis Alfonso Morales y Esperanza Pérez Lizcano, quienes con sus sabios consejos me dieron la fortaleza necesaria para salir adelante.

A mis hermanos, Sandra Milena Morales, Daniel Augusto Morales y Abinadab Angélica Morales quienes siempre me brindaron soporte y contribuyeron a formar la persona que llevo dentro.

A mis amigos quienes me ayudaron a superar obstáculos y siempre desearon lo mejor para mí.

A mi compañero y amigo de tesis José Luis Mejía, que a pesar de todas las dificultades que se nos presentaron, siempre mantuvimos la cordura y seguimos adelante.

A todo el personal de WoodGroup ESP, por su apoyo incondicional durante la elaboración del proyecto.

Al tío del kncer que nos prestó apoyo y una excelente casa.

Alfonso Morales Pérez

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Industrial de Santander por brindarnos la oportunidad de formarnos como profesionales y hacer de nosotros lo que somos hoy.

A cada uno de los profesores que nos aportaron sus conocimientos para sacar adelante la carrera.

Al Jose Luis García, Víctor Verde y Jaime Ochoa por todo el apoyo y soporte que nos dieron a lo largo de la tesis y por la amistad brindada.

Al profesor Fernando Calvete y al Ing. Yilan Mateus por ser nuestros guías en el desarrollo de la tesis, gracias.

Al Ing. Luis Vilorio, Jose Moussa, Elvin Socorro, Ariel Blanco, Martín Urueña, Sofía López y todo el personal de Wood Group que nos acogieron con mucho cariño el tiempo que duramos desarrollando la tesis.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	35
1. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE	36
1.1. COMPONENTES DE FONDO	38
1.1.1. Motor eléctrico	38
1.1.2. Sección de sellos.....	41
1.1.3. Entrada a la bomba	44
1.1.4. La bomba centrífuga.....	44
1.1.5. Cable	49
1.1.6. Accesorios de fondo	51
1.2. COMPONENTES DE SUPERFICIE	56
1.2.1. Equipo eléctrico de superficie.....	56
1.2.2. Caja de venteo	58
1.2.3. Cabeza de pozo	59
2. CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD	60
2.1. VOLTAJE.....	60
2.2. CORRIENTE.....	60
2.3. FRECUENCIA	61
2.4. POTENCIA REAL (WATTS)	62
2.5. POTENCIA REACTIVA (KVAR)	63
2.6. POTENCIA APARENTE (KVA).....	63
2.7. FACTOR DE POTENCIA.....	64
2.8. ARMÓNICOS.....	66
3. ANÁLISIS NODAL.....	68
3.1. ANÁLISIS NODAL PARA BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES.....	72
4. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS NODAL PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO.....	75
4.1. PARÁMETROS DE POZO.....	75

4.2. PARÁMETROS DE YACIMIENTO	75
5. PARÁMETROS QUE AFECTAN EL CONSUMO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE	78
5.1. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SUPERFICIE PARA BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE QUE AFECTAN LOS CONSUMOS DE ENERGÍA	78
5.1.1. Armónicos.....	78
5.1.2. Factor de potencia.....	79
5.1.3. Voltaje de motor (TAP)	79
5.2. PARÁMETROS DE FONDO QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO Y LOS CONSUMOS DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE.	79
5.2.1. Parámetros de yacimiento	80
5.2.2. Parámetros de pozo	81
5.3. PARÁMETROS DEL EQUIPO DE FONDO DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE	82
5.3.1. Número de etapas de la bomba	82
5.3.2. Cable de potencia.....	83
5.3.3. Motor	83
5.4. SELECCIÓN DE PARÁMETROS PARA OPTIMIZACIÓN.....	85
5.4.1. Optimizar desde superficie manteniendo el equipo en fondo	85
5.4.2. Rediseñar el equipo de fondo y sustituir por uno más óptimo	85
5.4.3. Realizar workover para rediseño de tubería sacando el equipo de fondo	85
6. GENERALIDADES DE LOS CAMPOS	87
6.1. CAMPO OCELOTE.....	87
6.1.1. Generalidades	87
6.1.2. Localización.....	88
6.1.3. Características generales de los pozos	89
6.2. CAMPO B	89
6.2.1. Generalidades	90

6.2.2.	Localización.....	91
6.2.3.	Características generales de los pozos.....	92
7.	RECOPIACIÓN DE INFORMACION.....	93
7.1.	POZO UIS 1.....	934
7.2.	POZO UIS 2.....	97
7.3.	POZO UIS 3.....	101
7.4.	POZO UIS 4.....	104
7.5.	POZO UIS 5.....	108
7.6.	POZO UIS 6.....	111
7.7.	POZO UIS 7.....	114
7.8.	POZO UIS 8.....	117
7.9.	POZO UIS 9.....	120
7.10.	POZO UIS 10.....	123
7.11.	POZO UIS 11.....	126
7.12.	POZO UIS 12.....	129
7.13.	POZO UIS 13.....	132
7.14.	POZO UIS 14.....	135
7.15.	POZO UIS 15.....	138
7.16.	POZO UIS 16.....	141
8.	ANÁLISIS DE DATOS.....	147
8.1.	OPTIMIZACION DESDE SUPERFICIE (MANTENIENDO EL EQUIPO EN FONDO).....	147
8.1.1.	Factor de potencia.....	147
8.1.2.	Armónicos.....	148
8.1.3.	Voltaje.....	151
8.2.	REDISEÑAR EL EQUIPO DE FONDO.....	155
8.2.1.	Rediseño UIS 1.....	156
8.2.2.	Rediseño UIS 2.....	158
8.2.3.	Rediseño UIS 3.....	160
8.2.4.	Rediseño UIS 4.....	162

8.2.5. Rediseño UIS 10	164
8.3. WORKOVER Y REDISEÑO DE TUBERÍA POR MEDIO DE ANÁLISIS NODAL	170
8.3.1. Pozo UIS 1	170
8.3.2. Pozo UIS 2	176
8.3.3. Pozo UIS 3	182
8.3.4. Pozo UIS 4	188
8.3.5. POZO UIS 5	193
8.3.6. Pozo UIS 6	199
8.3.7. Pozo UIS 7	204
8.3.8. Pozo UIS 8	210
8.3.9. Pozo UIS 9	215
8.3.10. Pozo UIS 10	221
8.3.11. Pozo UIS 11	226
8.3.12. Pozo UIS 12	232
8.3.13. Pozo UIS 13	237
8.3.14. Pozo UIS 14	243
8.3.15. Pozo UIS 15	248
8.3.16. Pozo UIS 16	254
8.4. ANÁLISIS NODAL PROBANDO TUBERÍA DE 2 7/8"	263
8.4.1. Pozo UIS 2	263
8.4.2. Pozo UIS 4	266
8.4.3. Pozo UIS 5	269
8.4.4. Pozo UIS 6	271
8.4.5. Pozo UIS 7	274
8.4.6. Pozo UIS 9	277
8.4.7. Pozo UIS 10	280
8.5. ANÁLISIS NODAL CON MÁXIMOS CAUDALES	285
8.5.1. Pozo UIS 2	285
8.5.2. Pozo UIS 5	286

8.5.3. Pozo UIS 9	287
9. ANÁLISIS ECONÓMICO	292
9.1. ANÁLISIS ECONÓMICO REAL.....	293
9.2. ANÁLISIS ECONÓMICO TEÓRICO	294
9.2.1. Antes del rediseño	294
9.2.2. Después del rediseño	298
9.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL ANÁLISIS NODAL.....	300
CONCLUSIONES	311
RECOMENDACIONES.....	313
BIBLIOGRAFÍA.....	314
ANEXOS.....	316

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Sistema de bombeo electrosumergible.....	36
Figura 2. Estator eléctrico y la forma de jaula de ardilla	39
Figura 3. Rotor del motor eléctrico.....	39
Figura 4. Motor eléctrico	40
Figura 5. Sello tipo laberinto	42
Figura 6. Sello tipo bolsa	43
Figura 7. Toma estándar.....	44
Figura 8. Difusor e impulsor tipo radial (izquierda) y tipo mixta (derecha)	45
Figura 9. Bomba estándar de flujo radial (izquierda) y bomba estándar de flujo mixto (derecha).....	46
Figura 10. Curva de rendimiento de bomba electrosumergible	47
Figura 11. Arandelas de empuje entre el difusor e impulsor	48
Figura 12. Cable de potencia.....	49
Figura 13. Cable plano del motor MLC	50
Figura 14. Válvula de drenaje y válvula cheque.....	51
Figura 15. Pajilla en vaso con líquido, efecto de retención	52
Figura 16. Super bandas para ajustar cable de potencia a la tubería de producción	53
Figura 17. Sensor de fondo.....	54
Figura 18. Separadores de gas.....	55
Figura 19. <i>Coupling</i> para engranar eje del motor con el sello.....	55
Figura 20. Fuente eléctrica, generador (izquierda) y línea eléctrica con transformador reductor (derecha)	57
Figura 21. Variador de frecuencia (izquierda) y TAP's del transformador elevador y su configuración (derecha.)	58
Figura 22. Caja de venteo en superficie	59
Figura 23. Cabeza de pozo de bombeo electrosumergible.....	59

Figura 24. Forma de onda de voltaje CC (izquierda) y onda de voltaje CA (derecha)	61
Figura 25. Ejemplo de una frecuencia de tres ciclos por segundo.....	62
Figura 26. Triángulo de potencia	63
Figura 27. Ejemplo de factor de potencia	64
Figura 28. Armónicos en corriente de un variador 6 pulsos.....	66
Figura 29. Componentes armónicas	67
Figura 30. Componentes armónicas y resultante.....	67
Figura 31. Localización de nodos	69
Figura 32. Curva de <i>Inflow</i> y <i>Outflow</i>	70
Figura 33. Flujo grama utilización del software de análisis nodal	73
Figura 34. Diagrama de parámetros que intervienen en el análisis nodal para la reducción del consumo eléctrico.....	77
Figura 35. Diagrama de parámetros que afectan el consumo eléctrico y el comportamiento del sistema electrosumergible.....	84
Figura 36. Corte estratigráfico general de los depósitos del Mesozoico y del Cenozoico en la cuenca de los llanos.....	88
Figura 37. Localización del campo Ocelote	89
Figura 38. Corte estratigráfico general de la subcuenca de Girardot.....	90
Figura 39. Localización del campo B	91
Figura 40. Diseño actual pozo UIS 1	94
Figura 41. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 1	94
Figura 42. Comportamiento de la bomba del pozo UIS 1	96
Figura 43. Diseño actual pozo UIS 2	98
Figura 44. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 2	98
Figura 45. Comportamiento de la bomba del pozo UIS 2	100
Figura 46. Diseño actual pozo UIS 3	101
Figura 47. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 3	102
Figura 48. Comportamiento de la bomba pozo UIS 3.....	103

Figura 49. Diseño actual pozo UIS 4	105
Figura 50. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 4	105
Figura 51. Comportamiento de la bomba del pozo UIS 4	107
Figura 52. Diseño actual pozo UIS 5	108
Figura 53. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 5	109
Figura 54. Comportamiento de la bomba pozo UIS 5	110
Figura 55. Diseño actual pozo UIS 6	111
Figura 56. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 6	112
Figura 57. Comportamiento de la bomba pozo UIS 6	113
Figura 58. Diseño actual pozo UIS 7	114
Figura 59. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 7	115
Figura 60. Comportamiento de la bomba pozo UIS 7	116
Figura 61. Diseño actual pozo UIS 8	117
Figura 62. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 8	118
Figura 63. Comportamiento de la bomba pozo UIS 8	119
Figura 64. Diseño actual pozo UIS 9	120
Figura 65. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 9	121
Figura 66. Comportamiento de la bomba pozo UIS 9	122
Figura 67. Diseño actual pozo UIS 10	123
Figura 68. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 10	124
Figura 69. Comportamiento de la bomba pozo UIS 10	125
Figura 70. Diseño actual pozo UIS 11	126

Figura 71. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 11	127
Figura 72. Comportamiento de la bomba pozo UIS 11	128
Figura 73. Diseño actual pozo UIS 12	129
Figura 74. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 12	130
Figura 75. Comportamiento de la bomba pozo UIS 12	131
Figura 76. Diseño actual pozo UIS 13	132
Figura 77. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 13	133
Figura 78. Comportamiento de la bomba pozo UIS 13	134
Figura 79. Diseño actual pozo UIS 14	135
Figura 80. Comportamiento de la bomba pozo UIS 14	137
Figura 81. Diseño actual pozo UIS 15	138
Figura 82. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 15	139
Figura 83. Comportamiento de la bomba pozo UIS 15	140
Figura 84. Diseño actual pozo UIS 16	141
Figura 85. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 16	142
Figura 86. Comportamiento de la bomba pozo UIS 16	143
Figura 87. Factor de potencia de los pozos	147
Figura 88. Distorsión armónica total de los pozos	148
Figura 89. Carga del variador de los pozos	150
Figura 90. Diferencia de voltaje de los pozos	152
Figura 91. Proceso de elevación del voltaje	153
Figura 92. Optimización en recalculos de los TAP's	154
Figura 93. Rediseño pozo UIS 1	156
Figura 94. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 1	157
Figura 95. Rediseño pozo UIS 2	158

Figura 96. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 2	159
Figura 97. Rediseño pozo UIS 3	160
Figura 98. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 3	161
Figura 99. Rediseño pozo UIS 4	162
Figura 100. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 4	163
Figura 101. Rediseño pozo UIS 10	164
Figura 102. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 10 ..	165
Figura 103. Disminución de Kilo watts después del rediseño	166
Figura 104. Porcentaje de ahorro de kilo watts.....	167
Figura 105. Levantamiento antes y después del rediseño.....	168
Figura 106. Resultado análisis nodal pozo UIS 1	171
Figura 107. Inflow vs Outflow pozo UIS 1	171
Figura 108. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 1	172
Figura 109. Consumo de kilo watts pozo UIS 1	174
Figura 110. Porcentaje del consumo de kilo watts y producción.....	174
Figura 111. Aumento de Kw y producción de cambio de un diámetro a otro pozo UIS 1	175
Figura 112. Disminución del consumo de kw manteniendo producción pozo UIS 1	176
Figura 113. Resultado análisis nodal pozo UIS 2	176
Figura 114. Inflow vs Outflow pozo UIS 2	177
Figura 115. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 2.....	178
Figura 116. Consumo de kilo watts pozo UIS 2	179
Figura 117. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 2.....	180
Figura 118. Comportamiento de Kw y producción de cambio de un diámetro a otro pozo UIS 2	181
Figura 119. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 2.....	182
Figura 120. Resultado análisis nodal pozo UIS 3	182
Figura 121. Inflow vs Outflow pozo UIS 3	183

Figura 122. Sensibilidades para tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 3.....	184
Figura 123. Consumo de kilo watts pozo UIS 3	185
Figura 124. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 3.....	186
Figura 125. Comportamiento de Kw y producción de cambio de un diámetro a otro, pozo UIS 3.....	187
Figura 126. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 3.....	187
Figura 127. Resultado análisis nodal pozo UIS 4	188
Figura 128. Inflow vs Outflow pozo UIS 4	188
Figura 129. Sensibilidades para tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 4.....	189
Figura 130. Consumo de Kw pozo UIS 4.....	191
Figura 131. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 4.....	191
Figura 132. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 4.....	192
Figura 133. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 4.....	193
Figura 134. Resultado análisis nodal pozo UIS 5	193
Figura 135. Inflow vs outflow pozo UIS 5.....	194
Figura 136. Sensibilidades para tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 5.....	195
Figura 137. Consumo de Kw pozo UIS 5.....	196
Figura 138. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 5.....	197
Figura 139. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 5.....	198
Figura 140. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 5.....	198
Figura 141. Resultado análisis nodal UIS 6	199
Figura 142. Inflow vs Outflow pozo UIS 6	199
Figura 143. Sensibilidades para tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 6.....	200
Figura 144. Consumo de Kw pozo UIS 6.....	202
Figura 145. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 6.....	202

Figura 146. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 6.....	203
Figura 147. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 6.....	204
Figura 148. Resultado análisis nodal pozo UIS 7	204
Figura 149. Inflow vs Outflow pozo UIS 7	205
Figura 150. Sensibilidades para tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 7.....	206
Figura 151. Consumo de Kw pozo UIS 7.....	207
Figura 152. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 7.....	208
Figura 153. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 7	209
Figura 154. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 7.....	209
Figura 155. Resultado análisis nodal pozo UIS 8	210
Figura 156. Inflow vs Outflow pozo UIS 8.....	210
Figura 157. Sensibilidades para tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 8.....	211
Figura 158. Consumo de Kw pozo UIS 8.....	213
Figura 159. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 8.....	213
Figura 160. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 8.....	214
Figura 161. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 8.....	215
Figura 162. Resultado análisis nodal pozo UIS 9	215
Figura 163. Inflow vs Outflow pozo UIS 9.....	216
Figura 164. Sensibilidades para tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 9.....	217
Figura 165. Consumo de Kw pozo UIS 9.....	218
Figura 166. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 9.....	219
Figura 167. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 9.....	220

Figura 168. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 9.....	220
Figura 169. Resultado análisis nodal pozo UIS 10	221
Figura 170. Inflow vs Outflow pozo UIS 10	221
Figura 171. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 10.....	222
Figura 172. Consumo de Kw pozo UIS 10.....	224
Figura 173. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 10.....	224
Figura 174. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 10.....	225
Figura 175. Aumento en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 10.....	226
Figura 176. Resultado análisis nodal pozo UIS 11.....	226
Figura 177. Inflow vs Ourflow pozo UIS 11	227
Figura 178. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 11.....	228
Figura 179. Consumo de Kw pozo UIS 11	229
Figura 180. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 11.....	230
Figura 181. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 11	231
Figura 182. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 11.....	231
Figura 183. Resultado análisis nodal pozo UIS 12	232
Figura 184. Inflow vs Outflow pozo UIS 12	232
Figura 185. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 12.....	233
Figura 186. Consumo de Kw pozo UIS 12.....	235
Figura 187. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 12.....	235
Figura 188. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 12.....	236
Figura 189. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 12.....	237
Figura 190. Resultado análisis nodal pozo UIS 13	237

Figura 191. Inflow vs Outflow pozo UIS 13	238
Figura 192. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 13.....	239
Figura 193. Consumo de Kw pozo UIS 13.....	240
Figura 194. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 13.....	241
Figura 195. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 13.....	242
Figura 196. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 13.....	242
Figura 197. Resultado análisis nodal pozo UIS 14	243
Figura 198. Inflow vs Outflow pozo UIS 14	243
Figura 199. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 14.....	244
Figura 200. Consumo de Kw pozo UIS 14.....	246
Figura 201. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 14.....	246
Figura 202. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 14.....	247
Figura 203. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 14.....	248
Figura 204. Resultado análisis nodal pozo UIS 15	248
Figura 205. Inflow vs Outflow pozo UIS 15.....	249
Figura 206. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 15.....	250
Figura 207. Consumo de Kw pozo UIS 15.....	251
Figura 208. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 15.....	252
Figura 209. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 15.....	253
Figura 210. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 15.....	253
Figura 211. Resultado análisis nodal pozo UIS 16	254
Figura 212. Inflow vs Outflow pozo UIS 16	254
Figura 213. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 16.....	255
Figura 214. Consumo de Kw pozo UIS 16.....	257

Figura 215. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 16.....	257
Figura 216. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 16.....	258
Figura 217. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 16.....	259
Figura 218. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 2.....	264
Figura 219. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 2.....	265
Figura 220. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 2.....	265
Figura 221. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 2.....	266
Figura 222. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 4.....	266
Figura 223. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 4.....	267
Figura 224. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 4.....	268
Figura 225. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 4.....	268
Figura 226. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 5.....	269
Figura 227. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 5.....	270
Figura 228. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 5.....	271
Figura 229. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 5.....	271
Figura 230. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 6.....	272
Figura 231. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 6.....	273
Figura 232. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 6.....	274
Figura 233. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 6.....	274
Figura 234. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 7.....	275
Figura 235. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 7.....	276
Figura 236. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 7.....	277
Figura 237. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 7.....	277

Figura 238. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 9.....	278
Figura 239. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 9.....	279
Figura 240. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 9.....	280
Figura 241. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 9.....	280
Figura 242. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 10.....	281
Figura 243. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 10.....	282
Figura 244. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 10.....	283
Figura 245. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 10.....	283
Figura 246. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 2.....	285
Figura 247. Aumento de Kw en porcentaje a la máxima producción pozo UIS 2.....	286
Figura 248. Consumo de Kw a la máxima producción pozo UIS 5.....	287
Figura 249. Aumento de Kw en porcentaje a la máxima producción pozo UIS 5.....	287
Figura 250. Consumo de Kw a la máxima producción pozo UIS 9.....	288
Figura 251. Aumento de Kw en porcentaje a la máxima producción pozo UIS 9.....	288
Figura 252. Ahorro mensual en pozos rediseñados campo A.....	299
Figura 253. Ahorro anual en pozos rediseñados campo A.....	300
Figura 254. Flujo de caja acumulado.....	307

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros para reducción del consumo eléctrico	86
Tabla 2. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 1	95
Tabla 3. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 1	97
Tabla 4. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 2	99
Tabla 5. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 2	101
Tabla 6. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 3	102
Tabla 7. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 3	104
Tabla 8. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 4	106
Tabla 9. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 4	108
Tabla 10. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 5	109
Tabla 11. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 5	111
Tabla 12. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 6	112
Tabla 13. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 6	114
Tabla 14. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 7	115
Tabla 15. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 7	117
Tabla 16. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 8	118
Tabla 17. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 8	120
Tabla 18. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 9	121
Tabla 19. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 9	123
Tabla 20. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 10	124
Tabla 21. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 10	126
Tabla 22. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 11	127
Tabla 23. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 11	129
Tabla 24. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 12	130
Tabla 25. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 12	132
Tabla 26. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 13	133
Tabla 27. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 13	135

Tabla 28. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 14....	136
Tabla 29. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 14	138
Tabla 30. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 15....	139
Tabla 31. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 15	141
Tabla 32. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 16....	142
Tabla 33. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 16	144
Tabla 34. Resumen parámetros de interés del estudio de calidad y energía	145
Tabla 35. Resumen parámetros para rediseño.....	146
Tabla 36. Cargas de los variadores	149
Tabla 37. Datos de voltaje en superficie	151
Tabla 38. TAP recalculado en el transformador elevador	154
Tabla 39. Parámetros cambiados en el rediseño del pozo UIS 1	156
Tabla 40. Parámetros cambiados en el rediseño del pozo UIS 2	158
Tabla 41. Parámetros cambiados en el rediseño pozo UIS 3.....	160
Tabla 42. Parámetros cambiados en el rediseño pozo UIS 4	162
Tabla 43. Parámetros cambiados en el rediseño pozo UIS 10	164
Tabla 44. Resumen de las variables mejoradas después del rediseño	166
Tabla 45. Relación barriles producidos con kilo watts consumidos	167
Tabla 46. Levantamiento y número de etapas antes y después del rediseño	168
Tabla 47. Levantamiento por etapas.....	169
Tabla 48. Frecuencias y producción de cada pozo actuales y con máximos caudales.	169
Tabla 49. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 1.....	172
Tabla 50. Puntos de operación tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 1	173
Tabla 51. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 1.....	173
Tabla 52. Aumento de Kw y producción de un diámetro a otro pozo UIS 1.....	175
Tabla 53. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 2.....	177
Tabla 54. Puntos de operación tubería de 4 ½"y 5 ½"pozo UIS 2	178
Tabla 55. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 2.....	179

Tabla 56. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro pozo UIS2	180
Tabla 57. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 3.....	183
Tabla 58. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 3	184
Tabla 59. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 3.....	185
Tabla 60. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 3.....	186
Tabla 61. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 4.....	189
Tabla 62. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 4	190
Tabla 63. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 4.....	190
Tabla 64. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 4.....	192
Tabla 65. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 5.....	194
Tabla 66. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 5	195
Tabla 67. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 5.....	196
Tabla 68. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 5.....	197
Tabla 69. Caudal y presión de entrada a la bomba	200
Tabla 70. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 6	201
Tabla 71. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 6.....	201
Tabla 72. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 6.....	203
Tabla 73. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 7.....	205
Tabla 74. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 7	206
Tabla 75. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 7.....	207
Tabla 76. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 7	208
Tabla 77. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 8.....	211
Tabla 78. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 8	212
Tabla 79. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 8.....	212

Tabla 80. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 8	214
Tabla 81. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 9.....	216
Tabla 82. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 9	217
Tabla 83. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 9.....	218
Tabla 84. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 9	219
Tabla 85. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 10.....	222
Tabla 86. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 10	223
Tabla 87. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 10	223
Tabla 88. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 10	225
Tabla 89. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 11.....	227
Tabla 90. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 11	228
Tabla 91. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 11	229
Tabla 92. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 11	230
Tabla 93. Caudal y presión a la entrada de la bomba pozo UIS 12	233
Tabla 94. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 12	234
Tabla 95. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 12	234
Tabla 96. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 12	236
Tabla 97. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 13.....	238
Tabla 98. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 13	239
Tabla 99. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 13	240
Tabla 100. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 13	241
Tabla 101. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 14.....	244
Tabla 102. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 14	245
Tabla 103. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 14.....	245

Tabla 104. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 14	247
Tabla 105. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 15.....	249
Tabla 106. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 15	250
Tabla 107. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 15	251
Tabla 108. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 15	252
Tabla 109. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 16.....	255
Tabla 110. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 16	256
Tabla 111. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 16	256
Tabla 112. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 16	258
Tabla 113. Resumen del comportamiento de los consumos utilizando la producción obtenida con el software de análisis nodal.	260
Tabla 114. Resumen de la disminución del consumo de Kw manteniendo caudal de diseño	261
Tabla 115. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 2	264
Tabla 116. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 2.....	264
Tabla 117. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 4.....	267
Tabla 118. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 4.....	267
Tabla 119. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 5.....	269
Tabla 120. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 5.....	270
Tabla 121. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 6.....	272
Tabla 122. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 6.....	273
Tabla 123. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 7	275
Tabla 124. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 7	276
Tabla 125. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 9.....	278
Tabla 126. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 9.....	279
Tabla 127. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 10	281
Tabla 128. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 10.....	282

Tabla 129. Resumen resultados análisis nodal tubería 2 7/8"	284
Tabla 130. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 2.....	285
Tabla 131. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 5.....	286
Tabla 132. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 9.....	288
Tabla 133. Resumen de aumento del consumo de Kw a la máxima producción .	289
Tabla 134. Costo de kilo watts al día, mes y año campo A.....	293
Tabla 135. Costo de kilo watts al día, mes y año campo B.....	294
Tabla 136. Costo de Kw de diseño por día, mes y año campo A	295
Tabla 137. Diferencia de costo de Kw real vs teórico campo A	295
Tabla 138. Costo de Kw de diseño por día, mes y año campo B	296
Tabla 139. Diferencia de costo de Kw real vs teórico campo B	296
Tabla 140. Costo de Kw logrando reducir la producción de sólidos en un 40 % .	297
Tabla 141. Diferencia de costo de Kw real vs teórico campo B	297
Tabla 142. Costo de Kw con los pozos rediseñados campo A	298
Tabla 143. Ahorro logrado en los pozos rediseñados campo A.....	299
Tabla 144. Pozos para cambio de tubería y consumos	302
Tabla 145. Producción de petróleo y consumo de kilo watts	303
Tabla 146. Aumento de la producción y del consumo de Kw al día.....	303
Tabla 147. Inversión total del Proyecto.....	304
Tabla 148. Asunciones para la determinación del Flujo de caja neto	304
Tabla 149. Determinación del flujo de caja neto del análisis nodal.....	305
Tabla 150. Asunciones para la determinación del VPN y el PAYBACK.....	306
Tabla 151. VPN y PAYBACK.....	306
Tabla 152. Resumen análisis económico nodal y recomendaciones de cambio .	308

LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Predictivos campos estudiados.....	317
Anexo 2. Tabla de valores de TAP's.....	318
Anexo 3. Rango de caudales según diámetro de tubería.....	318

RESUMEN

TITULO: EVALUACIÓN TÉCNICA Y ECONÓMICA DEL DESEMPEÑO ELÉCTRICO DEL BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE COMO MÉTODO DE LEVANTAMIENTO ARTIFICIAL EN POZOS DE PRODUCCIÓN EN DOS CAMPOS DIFERENTES, A TRAVÉS DE UN ESTUDIO DE CALIDAD DE ENERGÍA Y ANÁLISIS NODAL DE FONDO.¹

AUTOR: JOSE LUIS MEJIA GOMEZ ²

ALFONSO MORALES PEREZ ²

PALABRAS CLAVES: Sistema de bombeo electrosumergible, análisis de calidad y energía, análisis nodal, Campos Ocelote y B, reducción del consumo eléctrico, factibilidad económica.

DESCRIPCIÓN

La industria petrolera siempre se ha preocupado por implementar diferentes técnicas con el fin de incrementar su producción y disminuir los costos relacionados, a través de técnicas de recuperación primaria, secundaria y terciaria. La implementación de cada una de estas técnicas depende de las propiedades y características del yacimiento.

En cuanto a la recuperación primaria uno de los sistemas más eficientes y usados al día de hoy es el sistema de levantamiento artificial de bombeo Electrosumergible, un sistema que implementa electricidad como fuente principal para su funcionamiento, ya que el suministro de electricidad es un costo muy alto, es importante realizar estudios para la optimización del sistema, manteniendo la viabilidad económica para su implementación.

Para la optimización del sistema de bombeo electrosumergible se usan dos análisis, el análisis de calidad y energía y análisis nodal que juntos pueden llevar al mejor diseño del sistema y a ahorrar dinero en cuanto al consumo eléctrico que requiere el sistema para su funcionamiento.

Los campos Ocelote y B la gran mayoría de pozos usan bombeo electrosumergible como sistema de levantamiento artificial, lo cual indica la gran demanda de energía eléctrica que necesitan los campos para poder operar, en el desarrollo de este libro se presentan y discuten aspectos importantes de los consumos y de los mejores diseños del sistema electrosumergible para optimizar estos consumos.

Por tales razones este estudio analizará técnica y económicamente el desempeño eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible para los campos Ocelote y B por medio del análisis de calidad y energía y análisis nodal, investigación realizada para optimizar los consumos eléctricos y lograr un ahorro en la parte económica para estos campos.

¹ Proyecto de grado

² Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director M.Sc. Fernando E. Calvete. Codirector Ing Yilan Mateus González.

ABSTRACT

TITLE: TECHNICAL AND ECONOMIC ASSESSMENT OF ELECTRIC PERFORMANCE OF ELECTROSUMERGIBLE PUMP ARTIFICIAL LIFT AS WELL PRODUCTION IN TWO DIFFERENT FIELDS THROUGH A STUDY OF POWER QUALITY AND NODAL ANALYSIS OF WELLBORE.³

AUTHORS: JOSE LUIS MEJIA GOMEZ.⁴
ALFONSO MORALES PÉREZ ⁴

KEYWORDS: Electrosumergible pumping system, power quality analysis, nodal analysis, Ocelote and B fields, reduced power consumption, economic feasibility.

DESCRIPTION

The oil industry has always been concerned to implement different techniques to increase production and lower costs related through primary recovery techniques, secondary and tertiary. The implementation of each of these techniques depends on the properties and characteristics of the reservoir.

As a primary recovery, one of the most efficient and used to date is the artificial lift system electrosumergible pump, a system that implements electricity as main source for its operation, as the supply of electricity is a very cost high, it is important to conduct studies for the optimization of the system, maintaining the economic viability for implementation.

For the optimization of the pumping system electrosumergible be use two analysis, one of them is the quality analysis and energy and the another is the nodal analysis, that together can lead to better system design and save money in terms of power consumption required to operate the system. Ocelote and B fields and the vast majority of electrosumergible pumping wells used as artificial lift system, indicating the high demand for electricity needed to operate the fields, the development of this book are presented and discussed important aspects of consumption and the best electrosumergible system designs to optimize this consumption.

For these reasons, this study will examine technical and economic performance electric of electrosumergible pumping system for the fields B and Ocelote through quality analysis and energy and nodal analysis of wellbore, research to optimize power consumption and achieve savings in the economic for these fields.

³ Proyect of degree

⁴ University of Santander. Empower of Physical Engineering-chemical. School of Engineering of Oils. Director M.Sc. Fernando E. Calvete. Codirector Ing Yilan Mateus González

INTRODUCCIÓN

El sistema de bombeo electrosumergible es uno de los sistemas de levantamiento artificial más eficientes en la industria de los hidrocarburos, además el bombeo electrosumergible se distingue debido a que su unidad de impulso está directamente acoplada con la bomba en el fondo del pozo.

Este sistema de levantamiento artificial utiliza la energía eléctrica como fuente para su funcionamiento, ya que el suministro de energía tiene un valor alto en la industria petrolera, se realizará un estudio de calidad de energía, conjuntamente se efectuará un análisis nodal para mejorar la eficiencia en los consumos de energía en la bomba, teniendo en cuenta el estado mecánico del pozo, el cual permitirá identificar puntos críticos que por pérdidas de presión significarían más consumo de energía y más costos para la compañía operadora.

Para realizar este estudio primero se recopilará información de los consumos de energía en 16 pozos operados por Wood Group.

Posteriormente se efectuará un análisis de estos datos para identificar el no consumo óptimo de energía en los pozos y así realizar la optimización en los equipos de superficie.

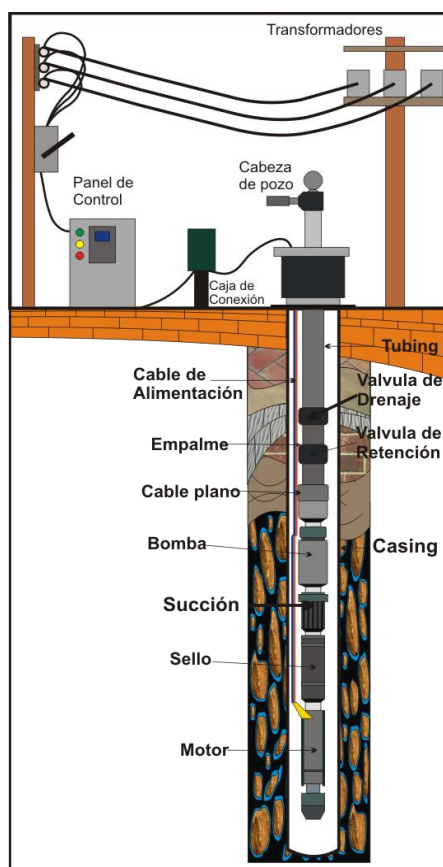
Conjuntamente se recopilará información de los pozos para efectuar un análisis Nodal hasta cabeza de pozo, que junto con el análisis de los consumos de energía logre un buen equilibrio en el manejo del equipo, que permita ahorrar el consumo de potencia y por ende disminuir el consumo de energía en los pozos.

Para finalizar se realizará un análisis económico de los consumos de energía antes y después de la mejora donde se evaluará si se logró ahorrar gastos en temas del uso del sistema de bombeo electrosumergible.

1. SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

Es un sistema de levantamiento artificial usado en la industria de los hidrocarburos para levantar el fluido del yacimiento hasta superficie, utiliza energía eléctrica como fuente para su funcionamiento, posee una bomba centrífuga multietapa que toma la energía mecánica que el motor eléctrico le proporciona para levantar a superficie el fluido proveniente del yacimiento. En la figura 1 se puede ver un diagrama esquemático de una instalación de bombeo electrosumergible.

Figura 1. Sistema de bombeo electrosumergible



Fuente: Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 2 P.

Un sistema de bombeo electrosumergible se encuentra sumergido en el fluido de pozo y esta acoplado al final de la sarta de tubería de producción. Para que la bomba centrífuga funcione necesita un motor eléctrico el cual toma la energía eléctrica y la transforma en energía mecánica, esta energía mecánica la bomba la usa para levantar el fluido hasta superficie.

El motor debe estar protegido para evitar el ingreso del fluido de pozo en él y así evitar corto en el motor, además esta protección le da facilidad al motor para trabajar a las altas presiones que se encuentra en el fondo del pozo.

Para que el sistema pueda levantar el fluido a superficie necesita una entrada de fluido a la bomba, la cual se encuentra acoplada debajo de ella.

Debido a que el motor trabaja con electricidad, en superficie se instala un equipo el cual hace llegar la energía eléctrica al motor por medio de un cable de potencia que va desde superficie pasando por la cabeza de pozo hasta el equipo de fondo.

El sistema de bombeo electrosumergible consta de componentes de fondo de pozo y de superficie, los cuales se enlistan a continuación y se verán a fondo. Los componentes de fondo de pozo son:

- Motor eléctrico.
- Sección de sellos.
- Entrada a la bomba.
- La bomba centrífuga.
- Cable.
- Accesorios de fondo.

Los principales componentes de superficie son:

- Equipo eléctrico de superficie.
- Caja de venteo.
- Cabeza de pozo.

1.1. COMPONENTES DE FONDO

En los componentes de fondo tenemos dos partes muy importantes, la parte eléctrica que es el motor, él convierte la energía eléctrica en energía mecánica y la bomba la cual toma la energía mecánica proporcionada por el motor y la usa para levantar el fluido de pozo hasta superficie, los demás componentes son para prolongar la vida útil del motor, evitar el contacto de fluido de pozo con el motor y proporcionar la entrada de fluido de pozo a la bomba.

1.1.1. Motor eléctrico

El principio de funcionamiento del motor eléctrico es que al circular corriente por el estator este genera un campo magnético giratorio de magnitud y velocidad constante, este induce su energía a los polos magnéticos del rotor el cual sigue el movimiento giratorio del campo magnético generando así las revoluciones a las etapas de la bomba.

El motor es trifásico tipo inducción jaula de ardilla y bipolar. El nombre jaula de ardilla se deriva de la semejanza entre esta jaula de anillos y barras y la rueda de un hámster, ver figura 2.

Es de inducción debido a que el estator induce el movimiento giratorio al rotor por medio del campo magnético y bipolar debido a que el rotor tiene dos polos los cuales permiten que gire debido al campo magnético.

Su diámetro depende de las dimensiones del casing del pozo. Este motor se compone de dos grandes conjuntos de piezas;

➤ **Estator:** abarca todo el grupo de partes inmóviles del motor, es el embobinado del motor electrosumergible, está diseñado para trabajar a diferentes

temperaturas, su principal función es generar el campo magnético que proporcionará el movimiento al rotor.

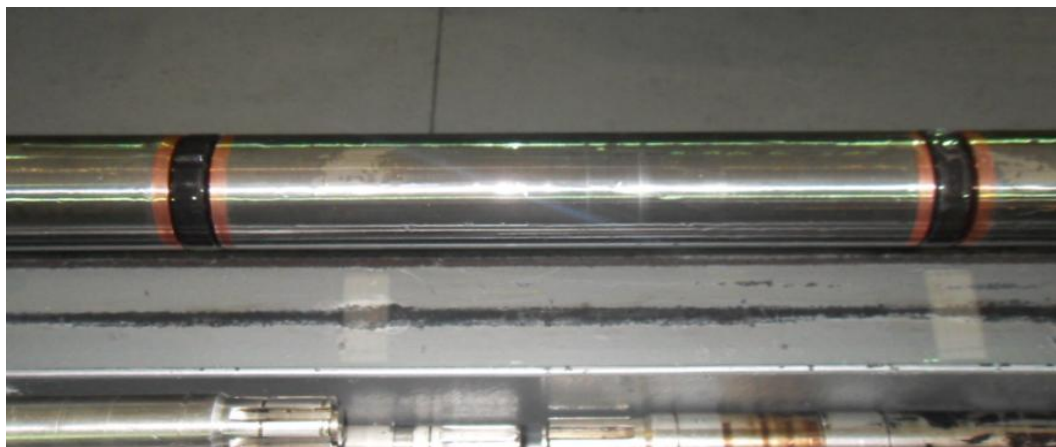
Figura 2. Estator eléctrico y la forma de jaula de ardilla



Fuente. Partes del sistema de Bombeo Electrosumergible disponibles desde Internet, “http://la80.net/images/imagenes_80/estator.jpg”.

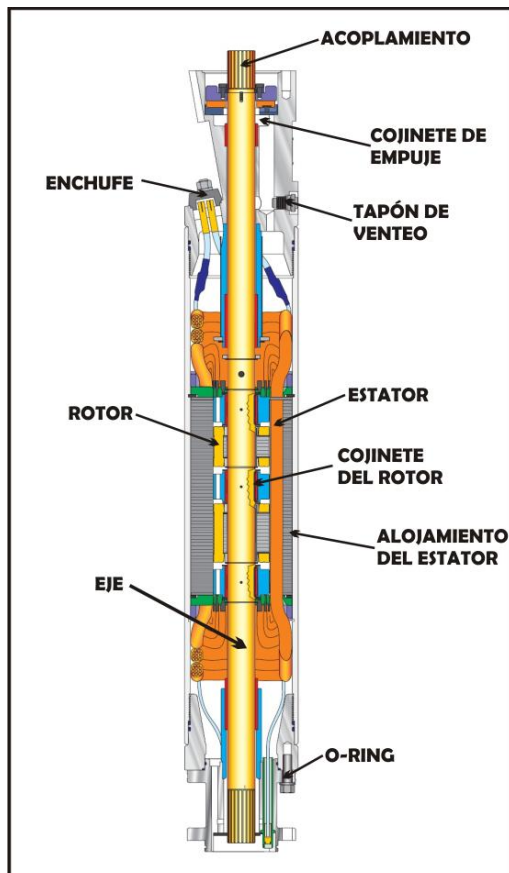
➤ **Rotor:** abarca el grupo de partes giratorias, su principal función es generar los caballos de fuerza (HP) del motor, además transfiere el movimiento giratorio a las etapas de la bomba a través del eje. De esta manera un motor para generar 180 HP debe tener 10 rotores que generen 18 HP cada uno.

Figura 3. Rotor del motor eléctrico



Fuente. Los Autores

Figura 4. Motor eléctrico



Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

Para mantener el motor funcionando de manera prolongada y eficiente se necesita que esté lo suficientemente refrigerado, para esto se usa un aceite mineral con alta rigidez dieléctrica que además evita corto circuito. Otra manera de mantener refrigerado el motor es aprovechar el contacto continuo del fluido de pozo con la superficie del motor teniendo en cuenta que sería una refrigeración eficiente si la velocidad del fluido de pozo es apropiada, ya que si es muy lenta ocasiona un calentamiento a la zona y si la velocidad es muy rápida causaría daños por abrasión a la carcasa del motor. Para esto la colocación del motor se limita normalmente por encima de la zona cañoneada, de no ser posible se utilizan métodos para forzar el fluido de pozo a pasar por el motor para refrigerarlo.

1.1.2. Sección de sellos

La sección de sellos cumple con cinco importantes funciones.

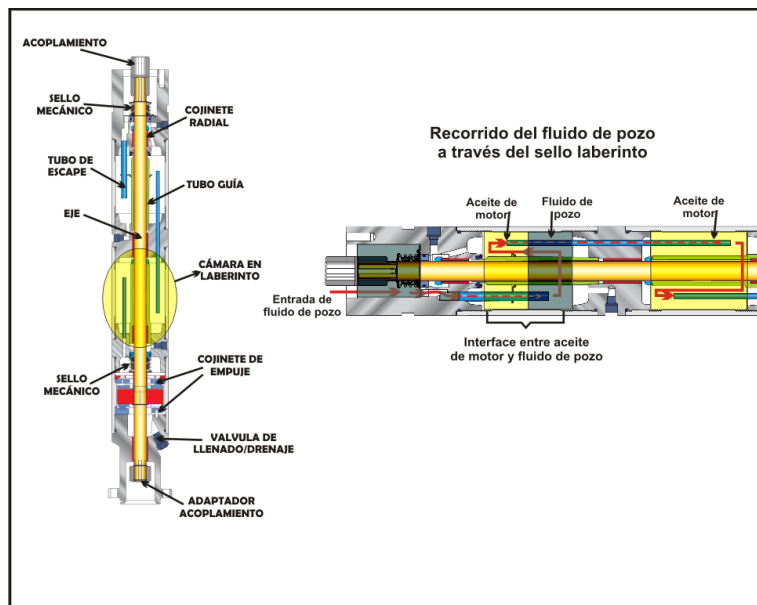
- El sello posibilita la expansión de aceite del motor, debido a los sucesivos arranques y paradas, el aceite de motor se calienta y se enfría, lo que hace que el aceite de motor se expanda y se contraiga y el sello permite que el aceite fluya del sello al motor y viceversa.
- Evita que el fluido de pozo entre al motor, es de las funciones más importantes ya que el sello evita que haya un corto dentro del motor al tener contacto con un fluido diferente al aceite dieléctrico de motor.
- Proporciona un cojinete de empuje para absorber el peso del eje y de las etapas de la bomba.
- Sirve como conexión mecánica entre la bomba y el motor.
- Ecuiliza la presión interna del motor con la del pozo, debido a esta ecualización es que el fluido de pozo entra al sello y debido a la forma del sello este fluido de pozo demora un tiempo para alcanzar a entrar al motor y hacer corto en él.

Todos los tipos de sellos deben ser llenados con aceite de motor para permitir la expansión y contracción del aceite. Todos los sellos de las bombas electrosumergibles tienen un sello mecánico que soporta la carga de fluido. Existen varios tipos de sellos para sistema de bombeo electrosumergible, entre ellos tenemos:

- **Sello tipo laberinto:** Se llama laberinto por el recorrido en laberinto que tiene que hacer el fluido de pozo para ingresar al motor, todo con el fin de prolongar la vida útil del mismo. Este tipo de sello se usa para crudos con gravedad API menor a 25 grados ya que cuando el fluido de pozo entra al sello

siendo este y el aceite de motor inmiscibles se crea una interface entre los dos fluidos ubicando el fluido de pozo debajo de la interface. Además este tipo de sello brinda poca protección para pozos horizontales o altamente desviados, ya que este tipo de sello debe estar en una posición lo más vertical posible debido a que el fluido de pozo desciende hacia el motor por segregación gravitacional. Si está en una posición desviada los tubos del sello se pondrían en contacto lo que haría llegar el fluido de pozo más rápido al motor.

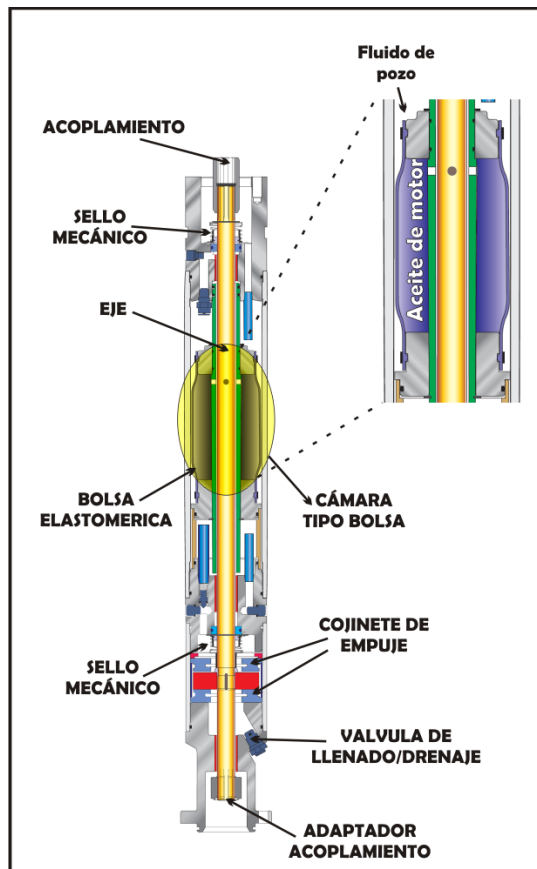
Figura 5. Sello tipo laberinto



Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

➤ **Sello tipo bolsa:** Se llama bolsa por la bolsa en material elastomérica, que mantiene separados físicamente los dos fluidos aceite de motor y fluido de pozo. Cuando el aceite del motor se expande o se contrae, la bolsa simplemente se infla o se contrae para adaptarse al cambio de volumen. Se aplica para pozos horizontales o altamente desviados y cualquier tipo de crudo.

Figura 6. Sello tipo bolsa



Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

Los sellos pueden venir compuestos de varias maneras según se requiera, y pueden poseer cámaras adicionales para prolongar la vida del equipo, a continuación se enlistan la configuración de bolsas más comúnmente usadas.

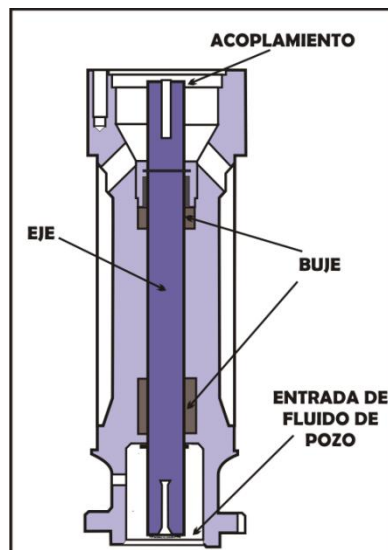
- Dos cámaras en laberinto.
- Una cámara en laberinto y una cámara en bolsa.
- Dos cámaras en bolsa.
- Una cámara en laberinto y dos en bolsa.

1.1.3. Entrada a la bomba

Es la encargada de llenar la bomba con fluido de pozo para que esta posteriormente levante el fluido hasta superficie.

La toma estándar tipo de entrada posee varios puertos de considerable tamaño que permite la entrada del fluido. Además está equipada con una malla para mantener a la bomba libre de residuos.

Figura 7. Toma estándar



Fuente: Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 14 P.

1.1.4. La bomba centrífuga

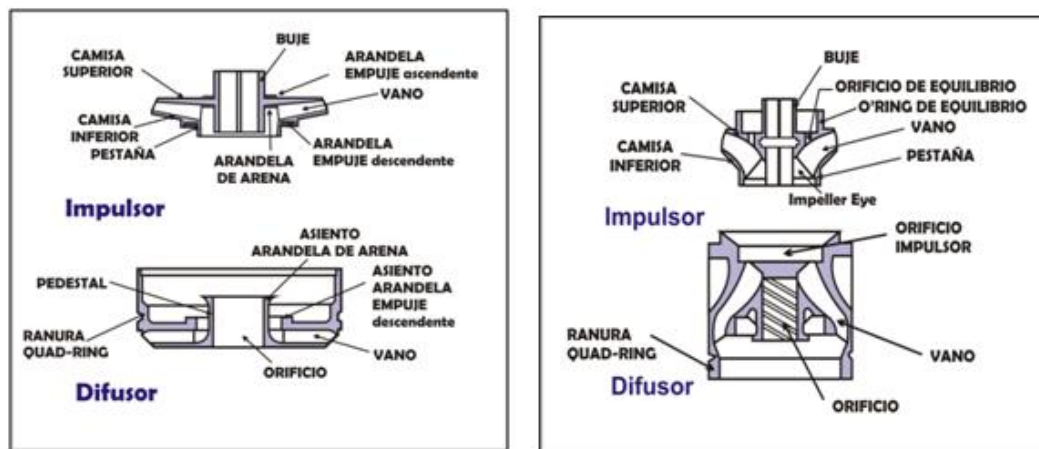
Estas bombas están conformadas por un número de etapas las cuales levantan el fluido hasta superficie. El tipo de etapa utilizada determina el volumen de fluido que se podrá producir, la cantidad de etapas determina la altura total de elevación generada y la potencia requerida.

Una etapa figura 8 consiste en un impulsor rotativo y un difusor estacionario.

➡ **Impulsor.** Su función es generar una fuerza centrífuga que hace que el fluido se desplace desde el centro del impulsor hacia afuera, permitiendo un movimiento ascendente. Este impulsor es fijado al eje y gira a las RPM del motor.

➡ **Difusor.** Su función es permitir el flujo eficiente de un impulsor a otro y convertir una porción de la velocidad (Energía cinética) en altura (Energía potencial). Este difusor es estacionario.

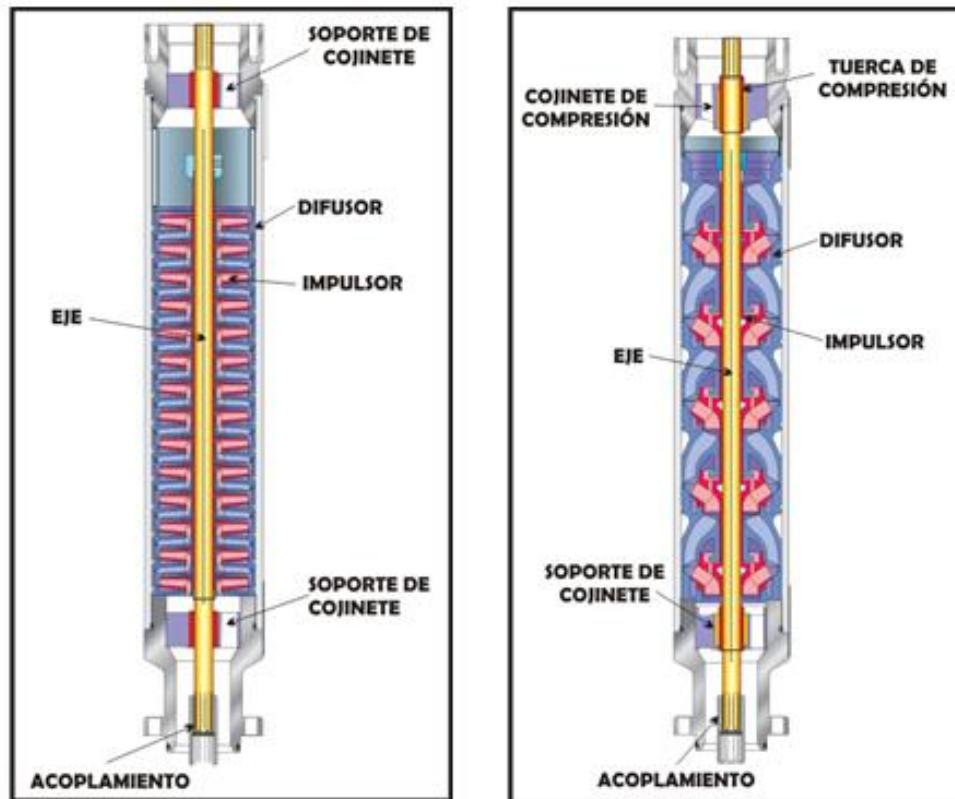
Figura 8. Difusor e impulsor tipo radial (izquierda) y tipo mixta (derecha)



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 9 P.

Existen dos tipos de impulsores utilizados en bombas electrosumergibles para pozos petrolíferos, los impulsores tipo radial y tipo mixto.

Figura 9. Bomba estándar de flujo radial (izquierda) y bomba estándar de flujo mixto (derecha)

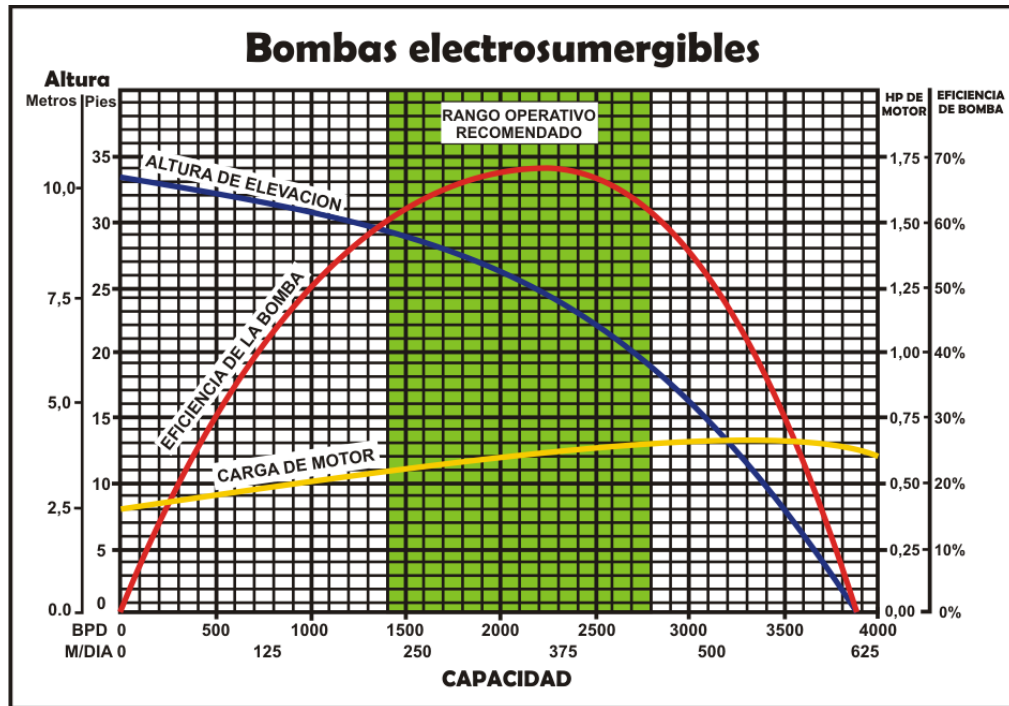


Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

Las etapas radiales son muy eficientes para producir hasta 2500 BPD. Si se desea producir un mayor caudal las etapas mixtas son las más eficientes pueden producir desde 1700 BPD hasta más de 45.000 BPD.

Al momento de crear una bomba centrífuga se realizan pruebas de laboratorio, en la que se hace desplazar agua de gravedad específica 1.0 por las etapas, de allí se genera una gráfica de rendimiento de una etapa, ver figura 10.

Figura 10. Curva de rendimiento de bomba electrosumergible



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 8 P.

En el eje vertical izquierdo se mide en pies y metros la altura de elevación de fluido. El eje horizontal inferior se mide en BPD (barriles por día) y metros cúbicos por día. La curva azul bajo el rótulo altura de elevación define la elevación que puede producir el impulsor a todos los volúmenes disponibles.

El primer eje vertical derecho está medido en HP de potencia del motor. En la figura 10 la línea amarilla bajo el rótulo de carga de motor se define los requerimientos de caballos de fuerza (HP) para el impulsor en diferentes

volúmenes. Como ejemplo, a 2200 BPD, la bomba de una etapa en la figura 10 requerirá 0,58 HP si el fluido tiene GE de 1.0, para un fluido con una gravedad específica de 0,85, la bomba solo requerirá $0,85 \times (0,58)$ ósea 0,49 HP.

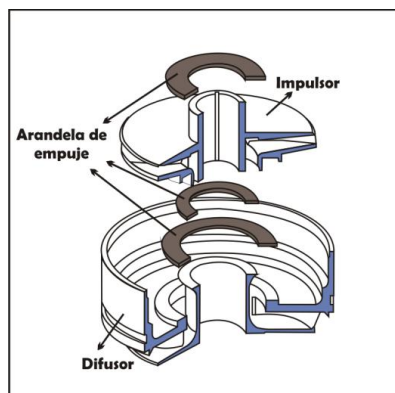
El eje más a la derecha lee la eficiencia de la bomba, según los diferentes caudales se lee en la línea roja bajo el rótulo eficiencia de la bomba. Las bombas centrífugas multietapa se pueden configurar de diversas maneras:

➡ Bomba flotante.

➡ Bomba de compresión (impulsor fijo).

➤ **Construcción de una bomba flotante:** en este tipo de bomba cada impulsor tiene libertad de movimiento ascendente y descendente sobre el eje dentro del difusor. Las arandelas de empuje (figura 11) en el impulsor absorben el empuje de la etapa. Como resultado, el cojinete del sello debe soportar el empuje de los impulsores y del eje de la bomba. Una bomba flotante deberá operarse siempre dentro del rango de operación recomendado.

Figura 11. Arandelas de empuje entre el difusor e impulsor



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 5 P.

➤ **Construcción de una bomba de compresión:** los impulsores en este tipo de bomba no tienen libertad de movimiento ascendente y descendente. La arandela de empuje descendente no brinda soporte al empuje en ninguna etapa. En este tipo de bomba el cojinete de empuje del sello da soporte a todo el empuje, tanto el de la etapa como el del eje. La bomba de compresión puede funcionar fuera de los rangos recomendados sin causar daños serios a las partes de la etapa. Esta bomba es más difícil de ensamblar que la de tipo flotante. Además este tipo de bomba posee una mejor resistencia a los abrasivos.

1.1.5. Cable

Para transportar la potencia se manejan 2 tipos de cables, un cable de configuración redonda y uno de configuración plana, ver figura 12.

Figura 12. Cable de potencia



Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

Como se observa en la figura 12, el cable transporta la potencia en 3 fases o conductores, cada uno de ellos protegido por un aislante para evitar circular corriente entre un conductor y otro, a su vez recubiertos por un protector de aislante que impide el ingreso de gas y una cubierta de hierro galvanizado en la parte externa recubriendo los 3 conductores, cuya función es proporcionar protección mecánica y comprimir el cable con el fin de mantener los materiales aislantes y de camisa en su lugar durante el proceso de instalación o extracción del pozo.

Existen dos tipos de cables, el cable de fondo y el cable de motor, los cuales se acoplan en un punto por encima de la bomba centrífuga para conectar el motor con la fuente de energía eléctrica.

El cable de fondo lleva la potencia desde el variador de frecuencia en la superficie, hacia abajo hasta un punto por encima de la bomba centrífuga. Los rangos de voltaje más comunes para cables de fondo de bombas electrosumergibles son 3, 4 y 5 KV.

La selección del tipo de cable está basada sobre las condiciones de fluidos, temperatura de fondo y limitaciones del espacio anular. Para el motor, se usa un tipo de cable especial llamado cable plano de motor (MCL) ver figura 13.

Figura 13. Cable plano del motor MLC



Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

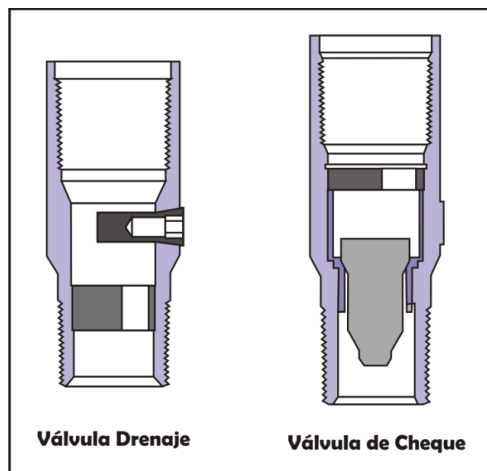
Este cable se encuentra instalado desde la terminal del motor, hasta una ubicación por encima de la bomba, en este punto, el cable de motor se empalma al cable de fondo, el cual se ajusta a la bomba y al tubing hasta la cabeza de pozo.

1.1.6. Accesorios de fondo

En los accesorios de fondo encontramos los siguientes como los más importantes.

- **Válvulas de retención (cheque) y drenaje.** La finalidad de la válvula de cheque, es mantener la tubería de descarga llena de fluido mientras que la bomba se encuentra apagada para evitar un torque inverso, es decir, evitar el descenso de fluido y generar un posterior contraflujo causando daños en el eje.

Figura 14. Válvula de drenaje y válvula cheque



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 39 P..

La función de la válvula de cheque se podría explicar con el ejemplo de una pajilla común, la cual usamos para cierto tipo de bebidas ver figura 15.

Figura 15. Pajilla en vaso con líquido, efecto de retención



Fuente. Los Autores

Al tener la pajilla llena de fluido y tapar con un dedo el borde superior, vemos que el fluido queda contenido dentro de la pajilla incluso fuera del vaso, siempre y cuando mantengamos el dedo sellando el borde superior. Lo mismo ocurre con la válvula de retención o cheque, mantiene el fluido a cierta altura, incluso cuando la bomba está apagada.

Cuando se usa una válvula de cheque, se recomienda usar una válvula de drenaje, la cual lleva un tapón incorporado y cumple la función de drenar la tubería de producción al romperse dicho tapón por medio de una varilla lanzada dentro de la tubería, se hace con el fin de que al momento de sacar la tubería de producción se saque vacía. Ver la ubicación de las válvulas en la figura 1.

➤ **Flejes.** Sirven para unir o fijar el cable de potencia al tubing/tubería de producción durante la instalación, también se pueden usar súper bandas. Por lo general estos flejes tienen $\frac{3}{4}$ " de ancho y 0,025" de espesor. Es recomendable usar por lo menos dos flejes por cada junta de tubería de producción.

Figura 16. Super bandas para ajustar cable de potencia a la tubería de producción

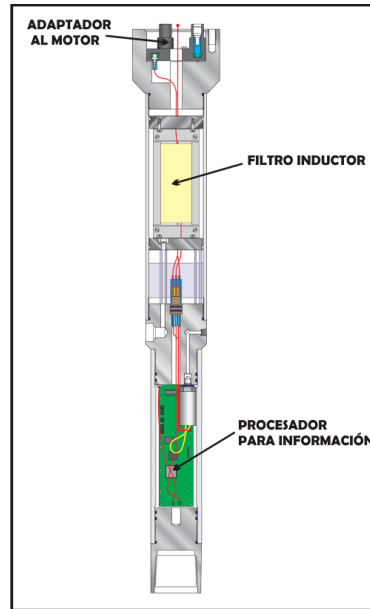


Fuente. Los Autores

➤ **Guarda cables planos de motor.** Se usan para proteger el cable plano de motor ubicado al lado de la bomba y el sello contra daños mecánicos. En la mayoría de los casos, la tolerancia entre casing, bomba y cable plano es mínima.

➤ **Sensor de fondo.** Su función es adquirir y monitorear datos de fondo como presión y temperatura del pozo, algunos modelos también verifican otros parámetros, tales como, presión de descarga y vibración. Esta información obtenida es enviada a través de un cable de potencia a un lector de superficie alojado en el controlador del motor. Este instrumental debe adjuntarse a la parte inferior del motor.

Figura 17. Sensor de fondo

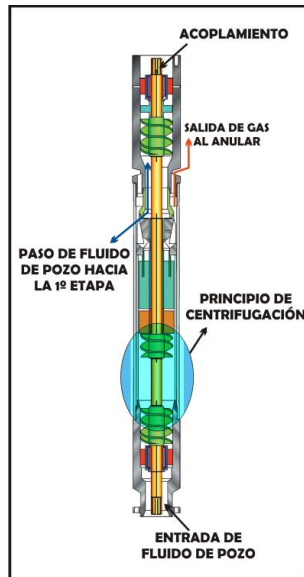


Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

➤ **Separadores de Gas.** Son secciones de entrada a la bomba que se usan cuando hay alta presencia de gas en el fluido de pozo, su función principal es evitar el paso de gas libre a esta misma, sometiendo el fluido proveniente del yacimiento al fenómeno de centrifugación, puesto que la fase líquida es más pesada, ésta es expulsada hacia afuera para luego redireccionar el fluido hacia la bomba y la fase gaseosa se concentra en el centro por ser más liviana para luego direccionarse al espacio anular y ser llevada a superficie.

Existen dos tipos de separadores de gas, uno tiene la entrada a la bomba integrada en el separador y puede ir directamente acoplada a la bomba y otro separador de gas al cual se debe acoplar una entrada a la bomba, que iría acoplada entre la bomba centrífuga y el separador de gas.

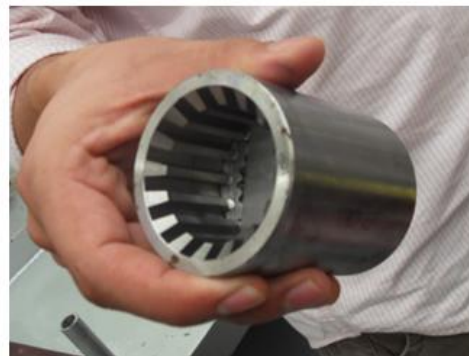
Figura 18. Separadores de gas



Fuente. Tomado y modificado de “www.woodgroup-esp.com”. 2010.

➤ **Coupling.** Se utiliza para engranar cada eje en las diferentes partes del sistema de bombeo electrosumergible, se coloca en los acoplamientos entre motor - sello, sello - entrada a la bomba y entrada a la bomba - bomba centrífuga. Este acople mecánico es de gran importancia ya que debido a esto se transfiere el movimiento giratorio desde el motor hasta las etapas de la bomba centrífuga.

Figura 19. Coupling para engranar eje del motor con el sello



Fuente. Los Autores

1.2. COMPONENTES DE SUPERFICIE

En superficie se lleva a cabo el proceso para proporcionar la electricidad al motor eléctrico del sistema, para así poner en marcha la bomba. En superficie se tiene el equipo eléctrico de superficie, caja de venteo y la cabeza de pozo. Los cuales se describen a continuación.

1.2.1. Equipo eléctrico de superficie

Consta de dos componentes que son el transformador o fuente eléctrica y el variador de frecuencia.

➤ **Transformador.** Existen dos fuentes para generar la electricidad que ingresa al variador. El variador trabaja a 480 Voltios, cuando se usa un generador como fuente eléctrica no hay ningún problema ya que el generador da un voltaje de 480 V. Si se usa directamente una fuente de línea eléctrica, esta lleva cerca de 34000 voltios, en este caso se instala un transformador reductor el cual lleva el voltaje desde 34000 a 480 voltios que son los requeridos por el variador.

Figura 20. Fuente eléctrica, generador (izquierda) y línea eléctrica con transformador reductor (derecha)

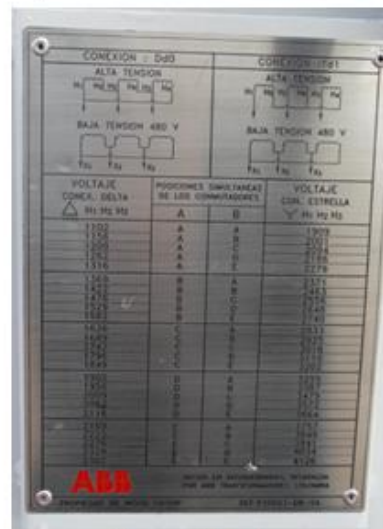


Fuente. Los Autores

➤ **Variador de frecuencia.** Su función principal es la de proporcionar el voltaje y frecuencia necesarios según requiera el motor en fondo, una vez el variador recibe los 480 voltios de la fuente @ 60 Hz, este por medio de un transformador elevador entrega un voltaje entre 0 y 5000 voltios y a su vez una frecuencia variable entre 0 y 120 Hz. En el transformador elevador se pueden manejar los voltajes por medio de los TAP's. Los TAP's son 2 perillas que se giran y según su posición el variador generará el voltaje requerido por el motor, se debe tener en cuenta para dar el voltaje al motor las pérdidas de voltaje dadas en el cable de potencia.

El variador es capaz de variar la frecuencia (lo que se traduce en velocidad en el motor) debido a que dentro del variador ocurre un proceso que toma la corriente alterna de la fuente y la rectifica volviéndola corriente continua (CC), luego la vuelve corriente alterna variable y esta corriente es la que el variador maneja para aumentar o disminuir la frecuencia según el caudal que se desea producir, a mayor frecuencia mayor velocidad en las etapas y a menor frecuencia menor es la velocidad con la que se mueve el fluido hacia la superficie.

Figura 21. Variador de frecuencia (izquierda) y TAP's del transformador elevador y su configuración (derecha.)



Fuente. Los Autores

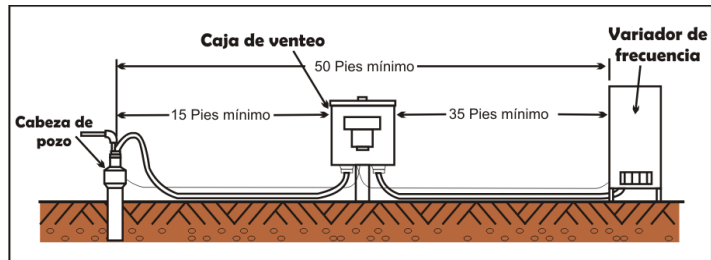
1.2.2. Caja de venteo

La caja de venteo tiene tres funciones principales:

- Ventea a la atmósfera el gas que pudo haber migrado a través del cable de potencia, ya que si el gas llega hasta el variador podría ocurrir una explosión.

- Facilita el chequeo de las condiciones eléctricas del equipo que se encuentra en fondo.
- Sirve de punto de conexión entre el cable de potencia que viene del tablero de control y el cable de potencia que viene del motor.

Figura 22. Caja de venteo en superficie

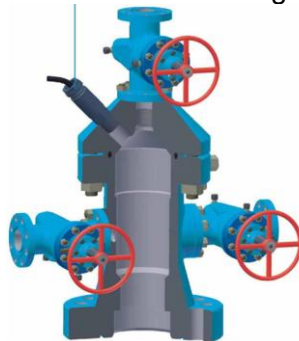


Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 41 P.

1.2.3. Cabeza de pozo

Su función principal es la de sostener todo el equipo de fondo (motor, sello, bomba y cable), así como la tubería de producción, y permite pasar a través del mismo el conector que une el cable de superficie con el cable de subsuelo.

Figura 23. Cabeza de pozo de bombeo electrosumergible



Fuente. Adaptada de componentes del sistema BES, disponible en Internet; "<http://www.korvet-jsc.ru/Images/tgcpva1.2.jpg>".

2. CONCEPTOS BÁSICOS DE ELECTRICIDAD

La aplicación del sistema de bombeo electrosumergible requiere del conocimiento y comprensión de la parte eléctrica y electrónica, ya que estos son parte fundamental en el proceso de producción con este sistema, estos conceptos son una base importante para la comprensión y análisis del comportamiento de un equipo de bombeo electrosumergible.

Para lograr un mejor funcionamiento del equipo de bombeo electrosumergible es de gran importancia la comunicación entre el personal eléctrico y de ingeniería de aplicaciones (operador – producción), esto logra prolongar más la vida útil del equipo y la optimización del mismo. Algunos conceptos importantes de electricidad son:

2.1. VOLTAJE

Existe cuando hay dos puntos con distintas cargas (positiva y negativa). Esta energía potencial (ósea que no se mueve) existente entre los dos puntos, es conocida como una diferencia de potencial o fuerza electromotriz (FEM).

A la diferencia de potencial se le llama tensión o voltaje eléctrico, su unidad de medida es el voltio. El instrumento que se utiliza para medir la tensión se llama voltímetro.

2.2. CORRIENTE

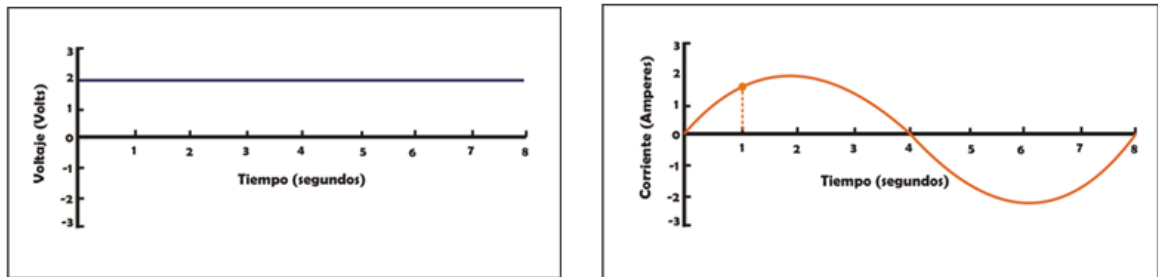
Se define como el flujo de electrones a lo largo de dos cuerpos unidos mediante un conductor, la circulación de electrones se da del cuerpo de menor potencial al de mayor potencial. La corriente únicamente fluirá en tanto exista una diferencia de potencial. El flujo de corriente cesará cuando las cargas se igualen entre sí.

Si la polaridad de la diferencia de potencial no varía, la corriente siempre fluirá en una dirección y se le denomina corriente directa (DC) o continua (CC) figura 25. Existe un tipo de corriente que no fluye en la misma dirección, sino que alterna y fluye primero hacia una dirección y luego se invierte y fluye hacia la otra. A este tipo de corriente se le llama corriente alterna (CA) figura 26.

La unidad de medida de la intensidad de corriente es el ampere. Se mide con un instrumento llamado amperímetro.

Un ampere equivale a una cantidad de electrones que pasa por un punto en un instante de tiempo, exactamente son $6,2415 \times 10^{18}$ electrones por segundo.

Figura 24. Forma de onda de voltaje CC (izquierda) y onda de voltaje CA (derecha)



Fuente. Adaptado de Bombeo Electrosomergible: Análisis, Diseño, Optimización y Trouble Shooting. 2001. P 19.

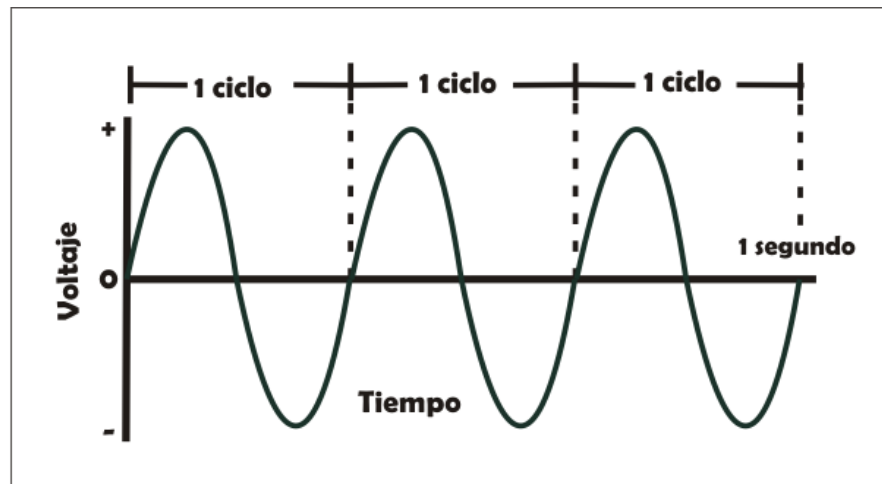
2.3. FRECUENCIA

El número de ciclos generados en un segundo se conoce como la frecuencia de la tensión o corriente y se expresa en ciclos por segundo. En una onda de corriente alterna, un ciclo es cuando la corriente recorre un semi-ciclo positivo más un semi-ciclo negativo, ver figura 25.

La unidad de la frecuencia es el Hertz (Hz), que equivale a un ciclo por segundo. Cuanto mayor sea el número de ciclos por segundo, más alta es la frecuencia.

En Colombia se suministra a los usuarios una alimentación de 60 Hz.

Figura 25. Ejemplo de una frecuencia de tres ciclos por segundo



Fuente. Adaptado de Bombeo Electrosomergible: Análisis, Diseño, Optimización y Trouble Shooting. 2001. P 20.

2.4. POTENCIA REAL (WATTS)

La potencia real es la que realiza “el trabajo útil” en el sistema eléctrico. La potencia es la cantidad de trabajo que una carga puede llevar a cabo en cierta cantidad de tiempo.

Es importante visualizar que el trabajo realizado en un circuito puede ser útil o desperdiciado; en ambos casos la rapidez con que se efectúa el trabajo se mide en potencia. Un Watt es la potencia consumida cuando un Ampere de corriente fluye a través de una diferencia de potencial de un Voltio.

Esta se manifiesta en forma de movimiento, calor, luz, o en cualquier otra aplicación. La unidad fundamental de la potencia real es el Watt.

2.5. POTENCIA REACTIVA (KVAR)

Esta potencia no realiza un “trabajo útil” en un circuito eléctrico, simplemente sirve para mantener los campos electromagnéticos.

La mayoría de las cargas (equipos) en un circuito eléctrico son de tipo inductivo (motores, transformadores, etc.). Estos equipos requieren de un campo electromagnético para poder operar y es la potencia reactiva quien mantiene dicho campo. La unidad fundamental de la potencia reactiva es el volt-Amper reactivo.

2.6. POTENCIA APARENTE (KVA)

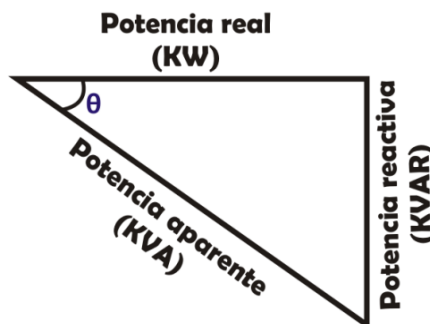
Esta potencia es la suma de la potencia real más la potencia reactiva que da como resultado la potencia aparente o potencia compleja.

$$KVA^2 = KW^2 + KVAR^2 \quad \text{Ecuación 1}$$

La potencia aparente es la potencia requerida por un equipo para realizar el trabajo. La unidad fundamental de la potencia aparente es el volt-Amper.

La siguiente figura muestra la relación que existe entre los tres tipos de potencia.

Figura 26. Triángulo de potencia



Fuente. Adaptado de Bombeo Electrosomergible: Análisis, Diseño, Optimización y Trouble Shooting

2.7. FACTOR DE POTENCIA

Se define como la relación que existe entre la potencia real y la potencia aparente.

$$f.p. = \cos \theta = \frac{KW}{KVA}$$

Ecuación 2

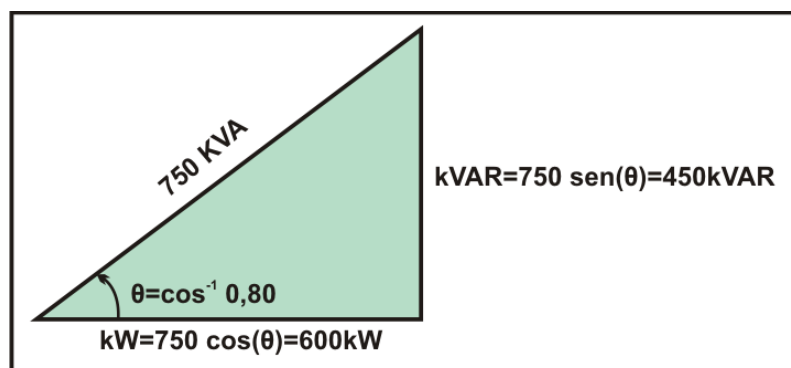
El factor de potencia indica que tan eficientemente se está utilizando la energía eléctrica en un determinado circuito.

Un alto factor de potencia beneficia tanto a la compañía de suministro de energía como al usuario, mientras que un bajo factor de potencia indica que la energía no se está utilizando eficientemente.

En resumidas cuentas entre más bajo sea el factor de potencia mayor es el precio que se paga a las compañías prestadoras de energía, y entre más alto sea el Factor de Potencia menor es el precio que se paga a la compañía prestadora de energía. En el siguiente ejemplo se puede ver este fenómeno.

Ejemplo 1: Consideremos una carga operando a 750KVA y un factor de potencia de 0.8. Calcular los KVAR y KW.

Figura 27. Ejemplo de factor de potencia



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 51 P.

Se calcula el ángulo de desfase entre la potencia aparente y la potencia real, así:

$$\theta = \cos^{-1}(0.8) \Rightarrow \theta = 36.86^\circ$$

Ahora calculemos la Potencia Real (la que realmente está haciendo el trabajo) y la Potencia Reactiva (la necesaria para magnetizar los componentes reactivos), así:

$$KW = 750 \cos(36.86^\circ) \Rightarrow KW = 600KW$$

$$KVAR = 750 \sin(36.86^\circ) \Rightarrow KVAR = 450KVAR$$

De lo anterior se deduce que solo el 80% de la energía entregada por la fuente está siendo utilizada en verdadero trabajo, es decir que, de los 750 KVA entregados por la fuente se están aprovechando 600 KW y la compañía de energía nos está cobrando el 20% demás (150 KW).

Significado técnico – económico: El Factor de Potencia tiene un importante significado técnico-económico debido a que de su magnitud dependen, en cierta medida, los gastos de capital y explotación, así como el uso efectivo de los equipos de las instalaciones eléctricas. En la transmisión de la energía las pérdidas desempeñan un elemento fundamental, y para disminuirlas se pueden tener en cuenta: aumentar la tensión de las líneas de transmisión, evitar las transformaciones innecesarias, mejorar el factor de potencia y reducir las corrientes excesivas (picos de demandas).

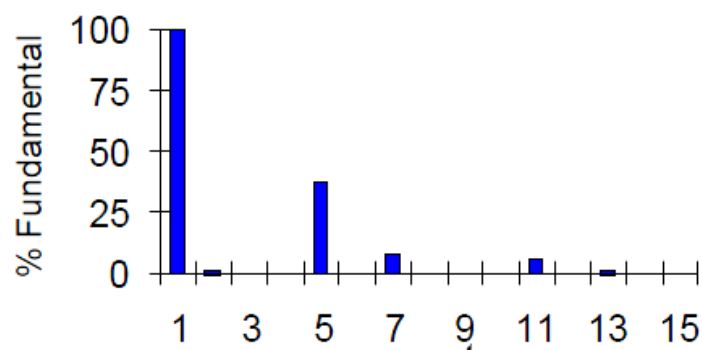
A excepción de mejorar el factor de potencia, las restantes opciones presentan serios inconvenientes para la aplicación, ya sea de orden técnico o económico; por lo tanto, el método más factible para disminuir las pérdidas de energía eléctrica de las instalaciones es proteger o aumentar el factor de potencia existente.

2.8. ARMÓNICOS

Son una serie de señales sinusoidales de frecuencia múltiplo a la frecuencia fundamental, es decir que para una onda sinusoidal con frecuencia de 60Hz, el segundo armónico (2th) sería una onda sinusoidal de 120Hz de frecuencia, el tercer armónico (3th) sería una onda sinusoidal de 180Hz de frecuencia y así sucesivamente hasta infinito, además cada armónico tiene una amplitud estas amplitudes al sumarlas con la fundamental son las que se encargan de deformar la forma de onda de la señal ocasionando la distorsión. Las frecuencias armónicas son producidas por componentes no lineales (diodos presentes en el Análisis de frecuencia), el cual es el caso de los equipos utilizados para el control de velocidad de los motores electrosumergible.

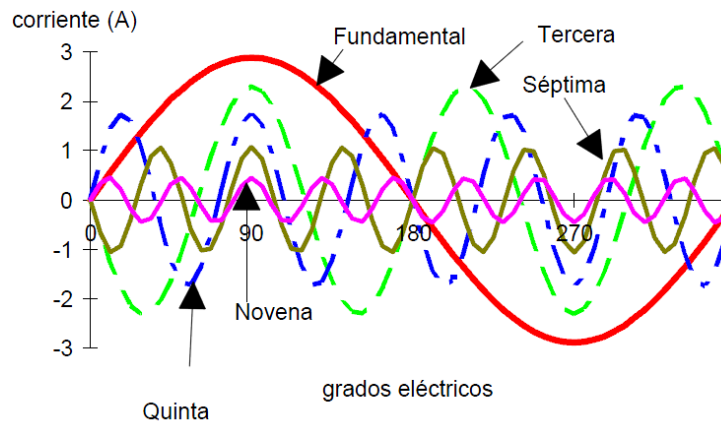
De la figura 28, 29 y 30 se observa una representación en el espectro de frecuencias de una señal senoidal y su respectiva forma de onda, se observa que el primer armónico (1th) es el que mayor amplitud posee pues es la fundamental. También notamos que los armónicos impares son los que más amplitud tienen, es por eso que los más representativos son el 3t, 5th, 7th, 11th, etc., y son los que se encargan de deformar la señal y hacer que no sea sinusoidal pura.

Figura 28. Armónicos en corriente de un variador 6 pulsos



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 53 P.

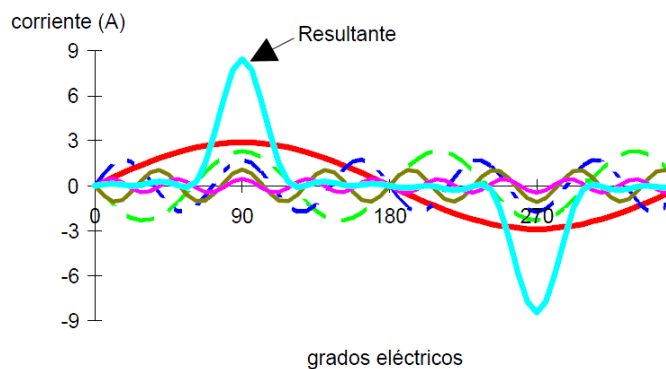
Figura 29. Componentes armónicas



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 55 P.

De la figura 29 se observa la onda fundamental (línea roja), y los diferentes armónicos a las diferentes frecuencias por ejemplo el tercer armónico (línea verde), el quinto armónico (línea azul), el séptimo armónico (línea naranja), todas estas ondas se encargan de distorsionar la señal fundamental al sumarlas a la misma, dando como resultante la línea celeste de la figura 30.

Figura 30. Componentes armónicas y resultante



Fuente. Adaptado de WoodGroup ESP, Inc. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. Manual de Servicio de campo. 2001. 56 P.

3. ANÁLISIS NODAL

El análisis nodal es ampliamente utilizado en muchos campos hoy en día, su aplicación a sistemas de producción de pozos de petróleo y gas permite optimizar su producción determinando ciertas condiciones de operación.

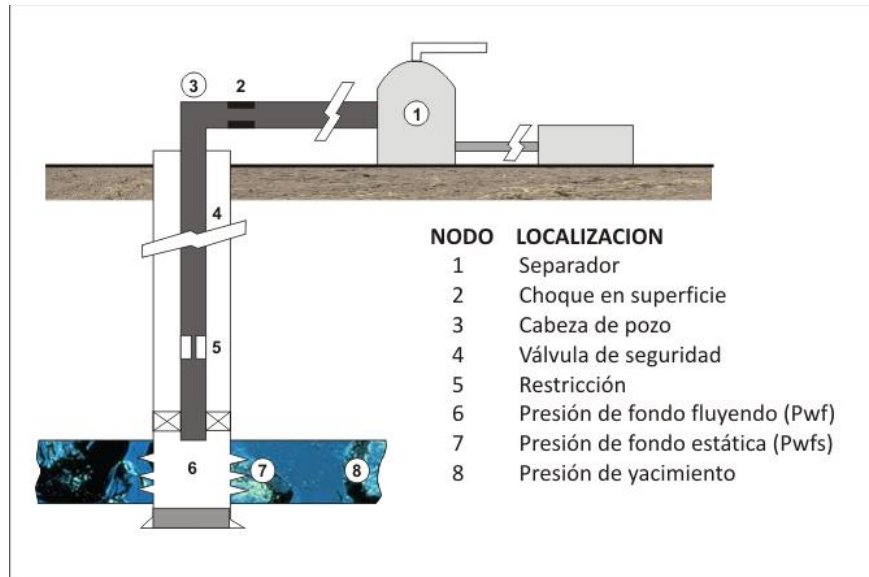
Todo pozo de producción es perforado y completado para mover el gas y el aceite desde su ubicación en el yacimiento hasta el tanque en superficie. Este transporte de fluidos requiere una energía y una presión que va decreciendo ya sea por el esfuerzo requerido para el levantamiento de fluidos o por la fricción generada por el sistema de tuberías, estas pérdidas de energía dependen de la complejidad del sistema.

La suma de las caídas de presión ocurridas en todos los componentes del sistema será representado por $P_R - P_{SEP}$. Luego un cambio en la caída de presión en uno de los componentes del sistema, podría cambiar el comportamiento de la caída de presión en los otros, esto es debido a que el flujo de fluido es compresible, y por tanto la caída de presión en una componente en particular depende no solo del caudal de flujo a través del componente, sino también de la presión promedio que exista en el componente. Por lo tanto, el sistema entero de producción será analizado como una unidad.

Este análisis conocido como análisis nodal, ha sido aplicado durante muchos años, para analizar el rendimiento de sistemas compuestos de componentes que interactúan entre sí.

Este procedimiento consiste en seleccionar un punto de división o nodo en el pozo y dividir el sistema a partir de este punto. La localización de los nodos más comúnmente usados es mostrada en la siguiente figura.

Figura 31. Localización de nodos



Fuente. Adaptado de libro de *Production Optimization Using Nodal Analysis*, BEGGS H. Dale. Figura 1-2. 2003. P 3.

Todos los componentes por encima del nodo seleccionado comprenden la sección *Inflow*, mientras que la sección *Outflow* consiste en todos los componentes por debajo del nodo. La relación entre la tasa de flujo y la caída de presión debe estar disponible para cada componente en el sistema. La tasa de flujo a través del sistema puede ser determinado una vez los siguientes requerimientos sean satisfechos:

- El flujo que entra al nodo es igual al flujo que sale del nodo.
- Solo puede existir una presión por nodo.

En un tiempo particular en la vida de un pozo, hay siempre dos presiones que permanecen fijas y no están en función de la tasa de flujo. Una de estas presiones es la presión promedio del yacimiento P_R , y la otra es la presión externa del sistema P_{SEP} . La presión externa es usualmente la presión del separador, pero si

el pozo es controlado por un choque de superficie la presión externa fija podría ser la presión de cabeza P_{wh} .

Una vez el nodo es seleccionado, la presión del nodo es calculada desde ambas direcciones, empezado por las presiones fijas.

Inflow para el nodo:

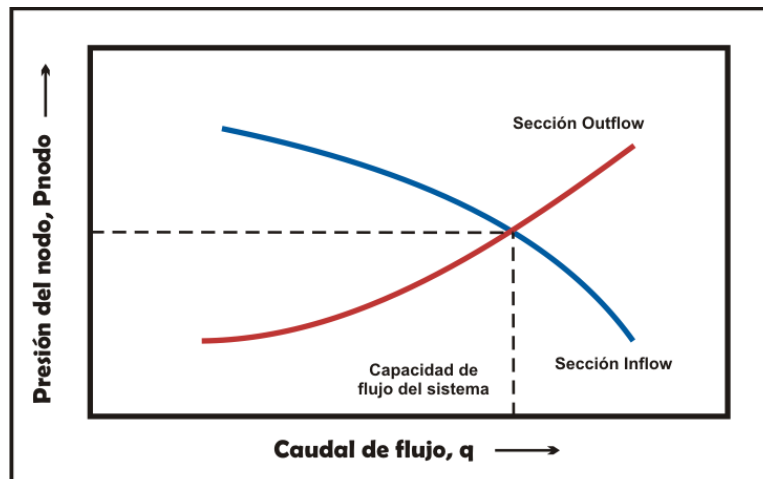
$$\overline{P}_R - \Delta p(\text{componentes por encima del nodo}) = p_{\text{nodo}} \quad \text{Ecuación 3}$$

Outflow desde el nodo:

$$P_{sep} + \Delta p(\text{componentes por debajo del nodo}) = p_{\text{nodo}} \quad \text{Ecuación 4}$$

Las caídas de presión, Δp , en cualquier componente varían con la tasa de flujo, q . Por lo tanto, una gráfica de la presión de nodo vs la tasa de flujo producirá dos curvas, la intersección de estas nos dará las condiciones que satisfagan los requerimientos anteriores, dados anteriormente. Ver figura 32.

Figura 32. Curva de *Inflow* y *Outflow*



Fuente. Modificada de la BEGGS, H. Dale. Production Optimization Using Nodal Analysis 2003. P 3.

El efecto de un cambio en cualquiera de los componentes puede ser analizado por recalculos de la presión de nodo vs las tasas de flujo usando las nuevas características de la componente que fueron cambiadas.

Si un cambio fue hecho en una componente por encima del nodo, la curva *outflow* permanecerá sin cambios. Sin embargo, si cualquiera de las dos curvas es cambiada la intersección será desplazada, y una nueva capacidad de flujo y presión de nodo existirán. Las curvas también serán desplazadas si cualquiera de las presiones fijas es cambiada, como podría ocurrir con depleción del yacimiento o un cambio en condiciones del separador.

Como sugerencia para la aplicación de un Análisis Nodal, se dan los siguientes pasos:

- Determinar cuáles componentes en todo el sistema, pueden ser cambiadas. Estos cambios son limitados y en algunos casos por decisiones previas. Por ejemplo, el tamaño del casing y el tamaño del tubing son limitados.
- Seleccione el componente que será optimizado.
- Ubique el nodo, que mejor enfatice el efecto del cambio para el componente seleccionado.
- Desarrolle las expresiones para el Inflow y el Outflow
- Recopile los datos requeridos para las caídas de presión vs caudales de todos los componentes. Esto podría requerir más datos de los disponibles, lo cual nos llevaría a efectuar un análisis de posibles rangos de condiciones.
- Determinar el cambio de las características de los componentes seleccionados mediante representaciones gráficas del Inflow vs Outflow y leer la intersección.
- Repetir el proceso para cada componente que será optimizada.

3.1. ANÁLISIS NODAL PARA BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES

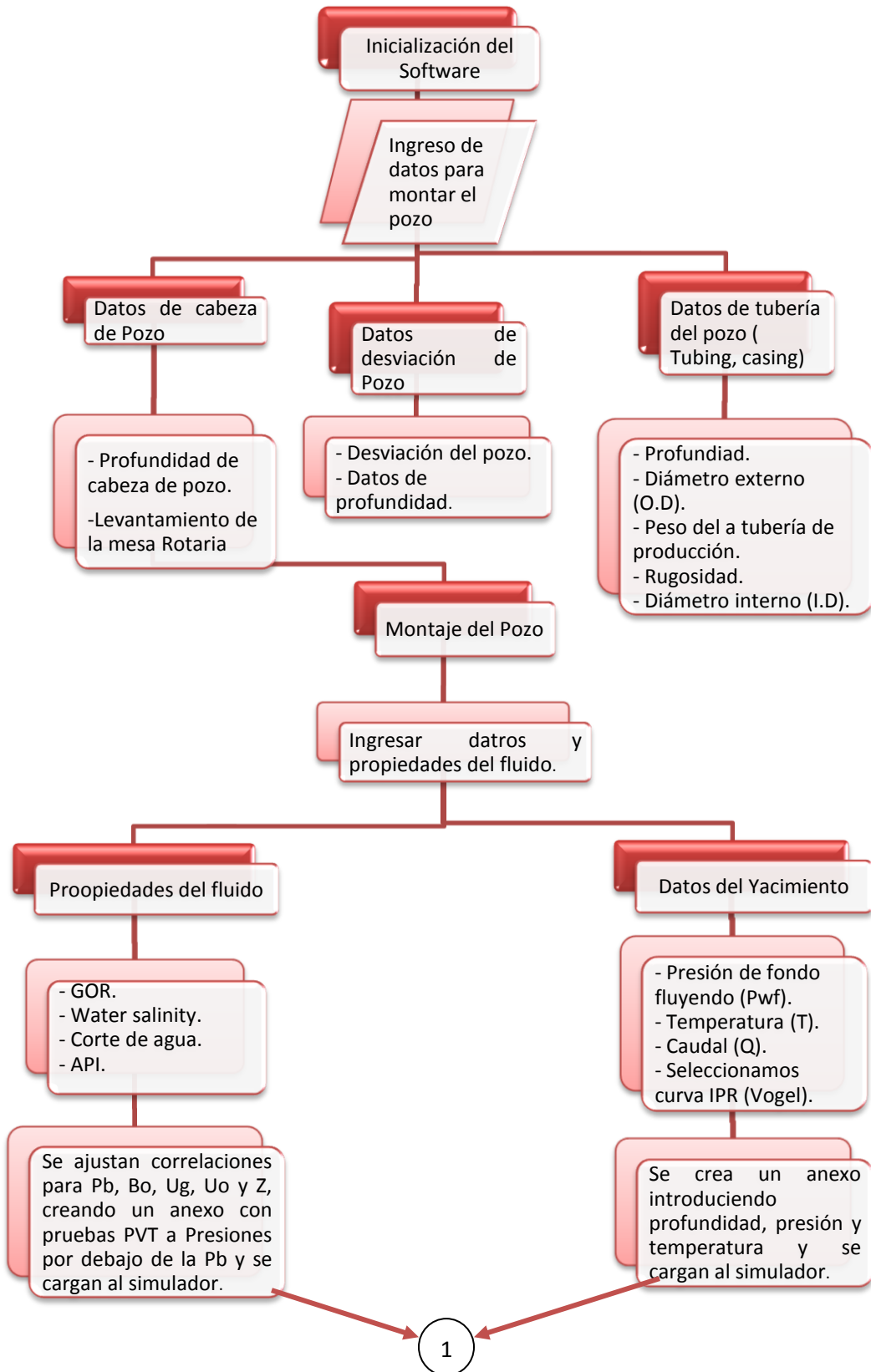
Muchos pozos con grandes tasas de producción son equipados con Bombas electrosumergibles (ESP) para levantar el fluido hasta superficie, debido a que con el pasar del tiempo, el pozo que se encuentra en producción requerirá una energía adicional que le proporcione la suficiente presión requerida para llevar los fluidos del yacimiento a superficie.

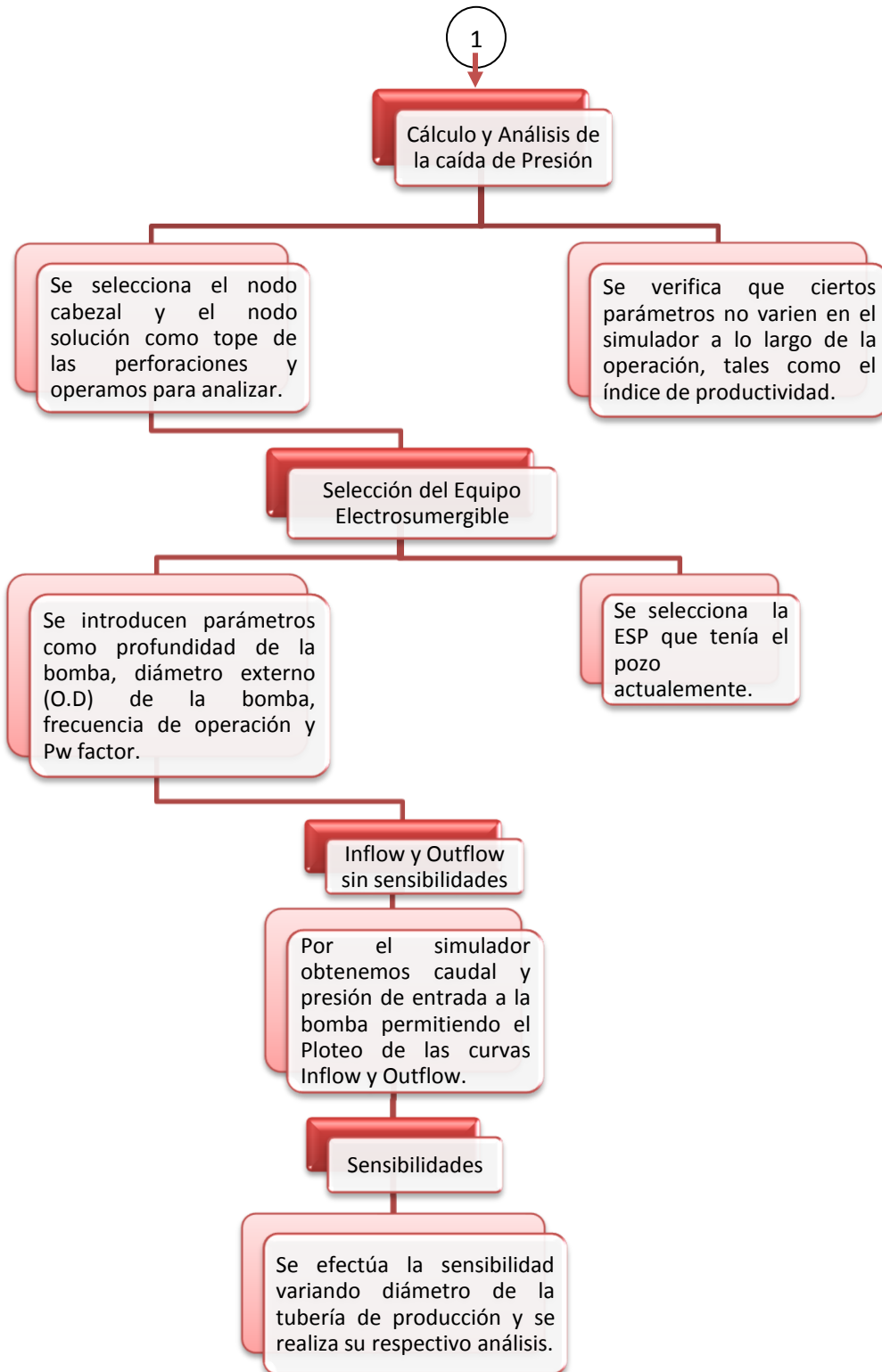
Con la finalidad de optimizar el bombeo electrosumergible, se realizan una serie de análisis donde se predice el comportamiento actual y futuro de un pozo productor, obteniendo una mejoría en la eficiencia de flujo, un incremento en la producción o una reducción del consumo eléctrico. Este análisis nodal irá desde el yacimiento hasta la cabeza de pozo.

Para efectuar este análisis nodal se utilizará un software de análisis nodal, el cual nos permite realizar dicho análisis y sensibilizar el comportamiento de la bomba electrosumergible a diferentes frecuencias y diámetros de tubería. Los parámetros requeridos por el software se clasificarán en el siguiente capítulo.

A continuación se muestra un flujo grama de la utilización del software de análisis nodal.

Figura 33. Flujo grama utilización del software de análisis nodal





Fuente. Los Autores

4. PARÁMETROS QUE INTERVIENEN EN EL ANÁLISIS NODAL PARA LA REDUCCIÓN DEL CONSUMO ELÉCTRICO.

Los parámetros requeridos para efectuar dicho análisis se dividen en parámetros de pozo y parámetros de yacimiento, estos parámetros se utilizarán en un simulador que realiza análisis nodal a sistemas de bombeo electrosumergible.

4.1. PARÁMETROS DE POZO

Estos datos son requeridos por el simulador para el diseño del estado mecánico del pozo. Estos parámetros son:

- Diámetro interno del *Casing* (Pulgadas).
- Diámetro interno del *Tubing* (Pulgadas)
- Caudal de producción (STB/día).
- Presión de cabeza P_{wh} .
- Temperatura de la bomba (°F).

4.2. PARÁMETROS DE YACIMIENTO

Estos parámetros son requeridos por el simulador de análisis nodal para crear las condiciones del yacimiento.

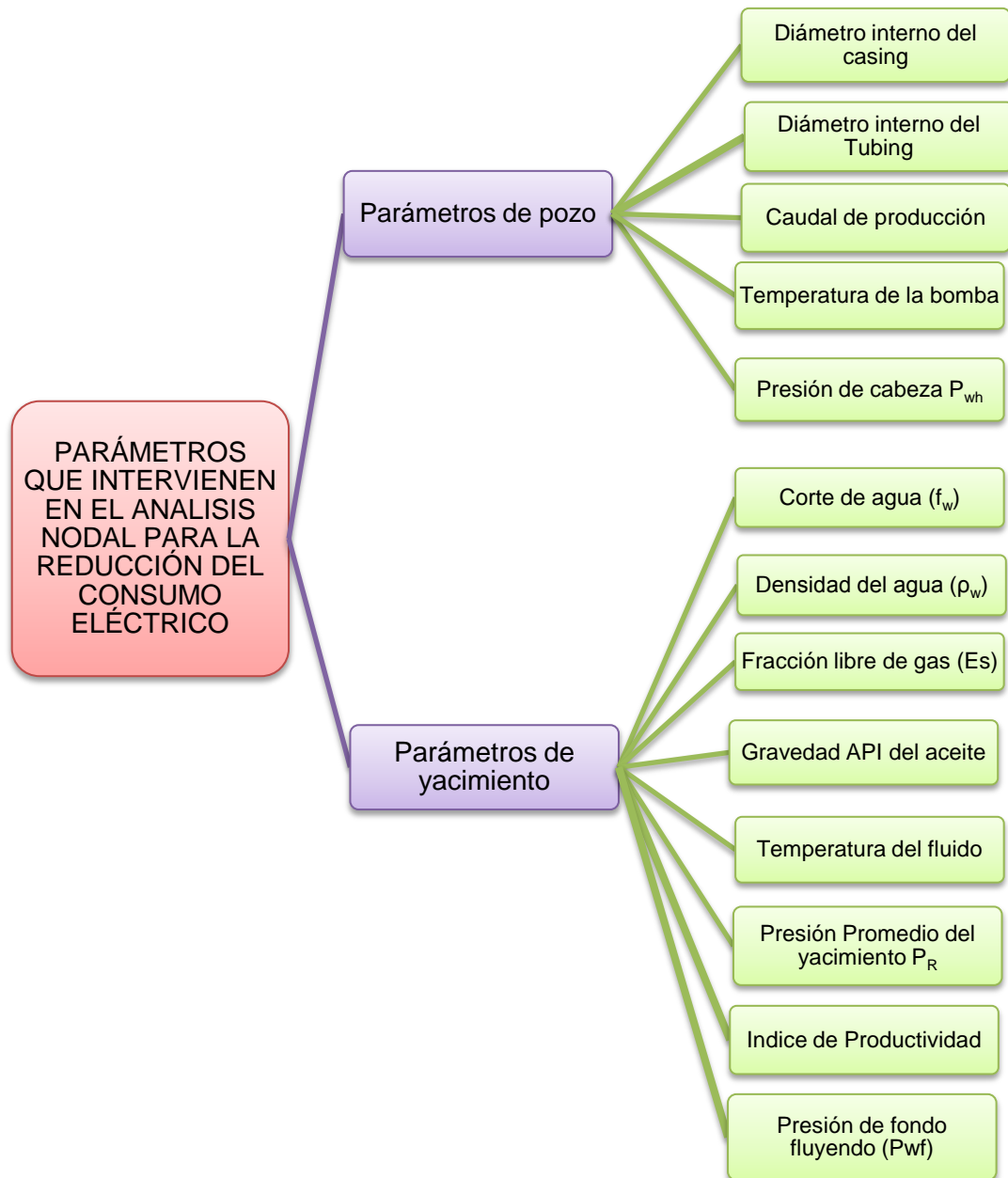
- Corte de agua.
- Gravedad específica del agua.
- Gas libre.
- Gravedad API del petróleo.
- Temperatura del fluido (°F).
- Presión del yacimiento (Psia).

- Índice de productividad (BBL/Psia).
- Presión de fondo fluyendo (Psia)

Se requieren otros parámetros para el uso del Software de análisis nodal como la desviación del pozo y el cambio de temperatura y presión con respecto a la profundidad.

En el siguiente diagrama se resumen los parámetros usados en análisis nodal que pueden reducir el consumo de energía en la bomba electrosumergible.

Figura 34. Diagrama de parámetros que intervienen en el análisis nodal para la reducción del consumo eléctrico



Fuente. Los Autores

5. PARÁMETROS QUE AFECTAN EL CONSUMO ELÉCTRICO DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

De analizar los capítulos 1, 2 y 3 se identificaron los parámetros de superficie, yacimiento, pozo y del sistema electrosumergible que afectan el consumo eléctrico y el diseño del mismo. Aunque adicionalmente encontramos parámetros de información que son requeridos para cálculos en los diferentes análisis, parámetros de análisis que son aquellos que directamente afectan el consumo eléctrico y los parámetros modificables que son los que cambiaremos para reducir el consumo eléctrico. A continuación estos parámetros se clasificaran en tres diferentes grupos:

5.1. PARÁMETROS DE CONFIGURACIÓN DE LOS EQUIPOS DE SUPERFICIE PARA BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE QUE AFECTAN LOS CONSUMOS DE ENERGÍA

Los parámetros en superficie más relevantes que afectan el consumo eléctrico y el desempeño de un equipo electrosumergible son los siguientes:

5.1.1. Armónicos

Los cuales son generados por el variador de frecuencia y afectan directamente el consumo eléctrico, ya que distorsionan la forma de onda y producen sobrecalentamiento en el cable, transformadores y motor electrosumergible.

5.1.2. Factor de potencia

Es la medida que nos indica que tan bien se está aprovechando la energía entregada por la fuente. Idealmente un factor de potencia de 1 nos indica que toda la energía transportada y entregada está siendo aprovechada por la carga, por el otro lado un bajo factor de potencia (menor a 1) nos está indicando que no se está aprovechando del todo la energía entregada. Entre más bajo sea el factor de potencia mayor es el precio que se paga a las compañías prestadoras de energía, y entre más alto sea el factor de potencia menor es el precio que se paga a la compañía prestadora de energía.

5.1.3. Voltaje de motor (TAP)

El voltaje del motor debe ser ajustado de tal forma que compense la pérdida de voltaje dada por la longitud del cable de fondo y se ajuste a los requerimientos de potencia del conjunto bomba-sello, si el TAP no es ajustado adecuadamente para la aplicación el motor electrosumergible compensará esa pérdida de voltaje con un incremento en la corriente de operación.

Estos tres parámetros son medibles y se consideran muy relevantes en un estudio de calidad de energía.

5.2. PARÁMETROS DE FONDO QUE AFECTAN EL COMPORTAMIENTO Y LOS CONSUMOS DE ENERGÍA DEL SISTEMA DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE.

Los parámetros de fondo de pozo se dividen en estáticos y dinámicos; además en parámetros de yacimiento, de pozo y del equipo de bombeo electrosumergible.

Los parámetros más relevantes de fondo de pozo son:

5.2.1. Parámetros de yacimiento

Estos parámetros no afectan directamente el consumo de energía en el sistema de bombeo electrosumergible. Ya que estos parámetros son utilizados para diseñar dicho sistema. La única manera que estos parámetros pueden ser optimizados es realizar un rediseño del sistema, ya que estos parámetros no pueden ser manipulados debido a que son parámetros propios del entorno, estos parámetros afectan y rigen el funcionamiento de la bomba electrosumergible.

- **Presión del yacimiento.** Es un parámetro estático, ya que varía muy poco al pasar el tiempo o durante la vida útil del equipos electrosumergible, este es utilizado para el diseño del sistema de bombeo electrosumergible.

- **Índice de productividad (IP).** Es utilizado para el diseño del sistema de bombeo electrosumergible, puede ser un parámetro estático ya que en casos de no daños de formación varía muy poco con el tiempo, pero de existir o presentarse durante la operación del equipos electrosumergible algún daño de formación se debe pensar en un rediseño del sistema.

- **Temperatura del fluido de pozo.** Es un parámetro estático ya que varía muy poco con el tiempo, este es utilizado para el diseño del sistema de bombeo electrosumergible.

- **Corte de agua.** Es un parámetro dinámico, y es utilizado para el diseño del sistema, este parámetro afecta el consumo eléctrico pero no se puede optimizar, ya que es un parámetro propio del yacimiento. El aumento del consumo eléctrico

se debe a que el agua es más densa que el fluido de pozo por esto la bomba requiere más potencia para subir el fluido a superficie.

- **Relación gas aceite (GOR).** Es un parámetro dinámico, cuando este valor es muy alto se puede optimizar usando un separador de gas, es importante controlar este parámetro para evitar paradas en el equipo por baja carga en la bomba y sobrecalentamiento del motor eléctrico.
- **Gravedad API del crudo.** Es un parámetro estático y es utilizado para el diseño del sistema de bombeo electrosumergible.

5.2.2. Parámetros de pozo

Estos parámetros si afectan directamente el consumo eléctrico del sistema electrosumergible, ya que se utilizan para el diseño del sistema y según sea el valor del parámetro el sistema consumirá más o menos electricidad, pero pueden ser parámetros no modificables.

- **Profundidad de asentamiento.** Es un parámetro estático durante la operación del equipo y dependiendo de qué tanta profundidad tiene el pozo el sistema electrosumergible consumirá mas electricidad, a mayor profundidad mayor consumo y a menor profundidad menor consumo eléctrico. Este parámetro en la mayoría de casos se puede cambiar con una intervención al pozo.
- **Diámetro interno de la tubería de producción.** Es un parámetro estático y se puede rediseñar cambiando tubería. Dos bombas con el mismo número de

etapas y produciendo el mismo caudal con tubería de diferente diámetro interno, se da el caso que la tubería con menor diámetro requiere mayor potencia para levantar el mismo caudal a superficie ya que la restricción de área y pérdidas por fricción son mayores, por lo cual se necesita levantar el fluido con mayor velocidad para compensar el mismo caudal en superficie, esto hace consumir más electricidad. Con el de mayor diámetro puede levantar el fluido con menor velocidad, por ende menor potencia requerida.

➤ **Cambio de diámetro.** Cuando se tiene un cambio de diámetro o una restricción necesariamente se tiene que aumentar la potencia del equipo, ya que para mantener la producción por la tubería de menor diámetro se requiere mayor velocidad y necesariamente se debe aumentar la frecuencia del equipo para mantener la producción equivalente en sistemas sin cambios de diámetro.

5.3. PARÁMETROS DEL EQUIPO DE FONDO DE BOMBEO ELECTROSUMERGIBLE

Estos parámetros se definen en el diseño del sistema de bombeo electrosumergible y según su selección se consumirá más o menos potencia según el diseño.

5.3.1. Número de etapas de la bomba

Este parámetro afecta el consumo eléctrico, ya que la selección de un número de etapas mayor al requerido aumenta el consumo eléctrico y a una selección de menor número de etapas de lo requerido, se debe aumentar la frecuencia para

compensar el caudal esperado, lo que conlleva a mayor consumo eléctrico, lo ideal es buscar el punto de equilibrio para tener el consumo más óptimo en la relación de número de etapas y producción esperada.

5.3.2. Cable de potencia

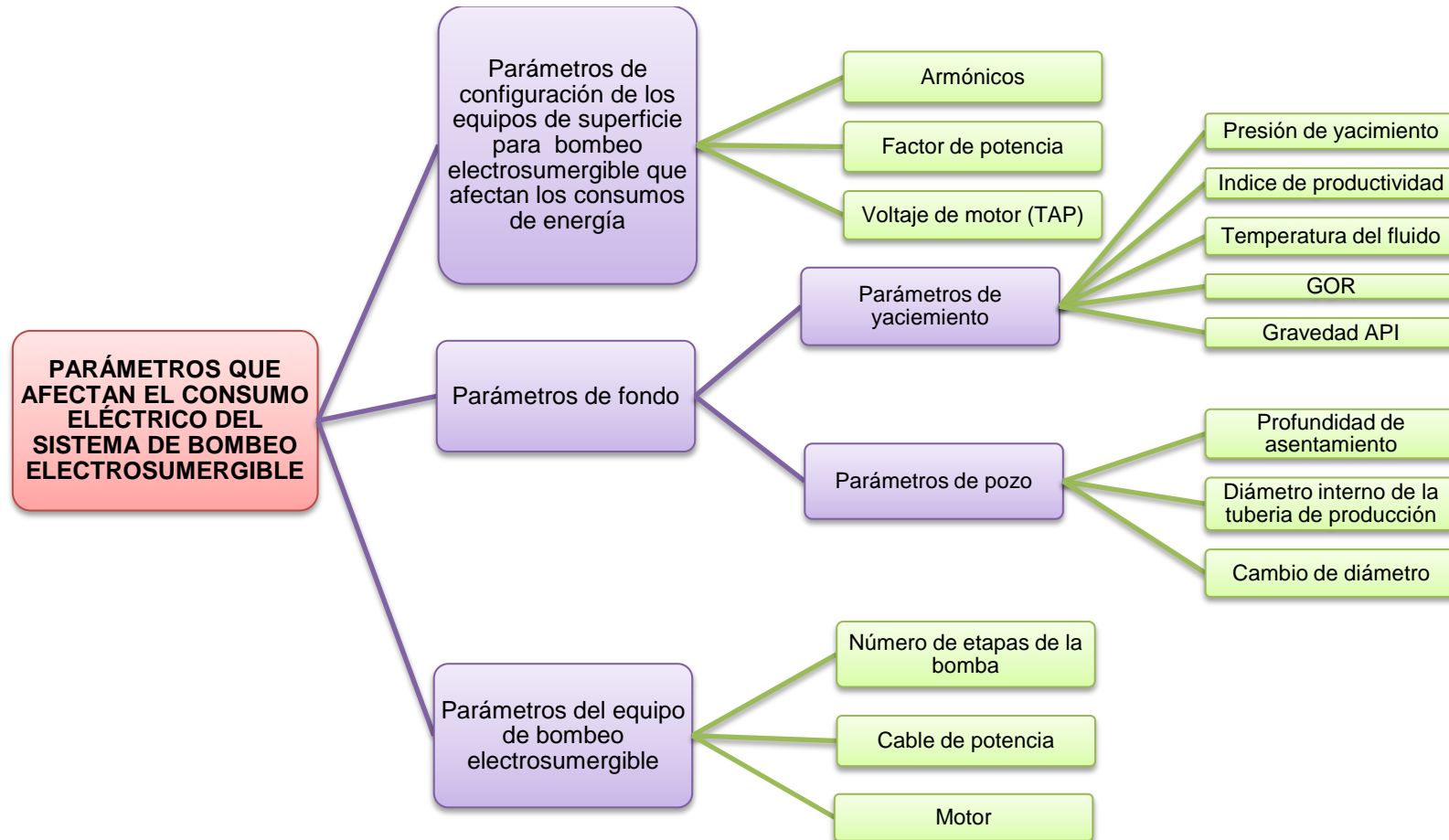
El cable de potencia afecta el consumo según sea el diámetro del conductor, a mayor diámetro del conductor habrán menos pérdidas y la potencia suministrada será menor, en cambio a menor diámetro del conductor las pérdidas serán mayores, por lo que se necesitara suministrar más potencia al cable para hacer funcionar el sistema.

5.3.3. Motor

Este parámetro afecta el consumo eléctrico según sea su tamaño ya que dependiendo de la configuración y el voltaje requerido por el motor se debe seleccionar un motor de tamaño apropiado que trabaje en su punto de máxima eficiencia.

En el siguiente diagrama se resumen los parámetros que afectan el consumo de energía en la bomba electrosomergible mencionados anteriormente. Aunque no todos los parámetros afectan directamente este consumo si no que rigen el comportamiento de la bomba electrosomergible, ya que son parámetros que no podemos modificar fácilmente.

Figura 35. Diagrama de parámetros que afectan el consumo eléctrico y el comportamiento del sistema electrosumergible



Fuente. Los Autores

5.4. SELECCIÓN DE PARÁMETROS PARA OPTIMIZACIÓN

Ahora que se han clasificado los parámetros que afectan directamente el consumo eléctrico y el desempeño del sistema electrosumergible, se han analizado y seleccionado dicho parámetros, los cuales se agrupan en tres opciones de mejora del sistema de bombeo electrosumergible, lo cuales se mencionan a continuación

5.4.1. Optimizar desde superficie manteniendo el equipo en fondo

En esta opción de mejora, se modificara los parámetros en superficie y se analizará como se ve afectado el consumo de electricidad y el caudal de flujo del equipo.

5.4.2. Rediseñar el equipo de fondo y sustituir por uno más óptimo

La selección de estos parámetros, se hace de acuerdo a las condiciones variantes del yacimiento, ya que estos parámetros no son modificables. Algunos de estos parámetros cambian con el tiempo, lo cual hace que el sistema de bombeo electrosumergible pierda eficiencia, en cuanto a caudal y consumo de electricidad, si al cambiar las condiciones del yacimiento y estas permanecen constantes se debe rediseñar el sistema para obtener un caudal óptimo, logrando que el equipo trabaje dentro de la eficiencia del rediseño, esto mejorará el funcionamiento del equipo y además habrá ahorros en la parte económica.

5.4.3. Realizar workover para rediseño de tubería sacando el equipo de fondo

Estos parámetros van a mejorar el estado mecánico del pozo, una corrección de estos parámetros se ven directamente reflejados en los consumos eléctricos del

equipo y en la producción. Se tratará de corregir estos parámetros en fondo para lograr sumergir el mismo equipo y así evitar un rediseño del equipo electrosumergible. En la siguiente tabla se muestra la agrupación y selección de los parámetros de este capítulo y del capítulo anterior, para las tres opciones de mejora, que afectan ya sea el consumo eléctrico o la tasa de producción del pozo. Estos parámetros se agrupan en parámetros modificables y los no modificables (estáticos y/o dinámicos) que son aquellos que difícilmente cambian, para cambiar los parámetros no modificables se necesitarían trabajos extras (workover, recuperación secundaria)

Tabla 1. Parámetros para reducción del consumo eléctrico

TIPO DE MEJORA	PARÁMETROS PARA REDUCCIÓN DEL COSUMO ELÉCTRICO					
	PARÁMETROS MODIFICABLES			PARÁMETROS ESTATICOS Y/O DINAMICOS		
EN SUPERFICIE	Armónicos	Factor de potencia	Voltaje del motor (TAP)	----		
EN FONDO	-----			API	Presión de yacimiento	Temperatura del fluido
				Corte de agua		Relación gas aceite
EN TUBERÍA	Diámetro interno de la tubería de producción	Estado de la tubería	Profundidad de asentamiento	Corte de agua		Relación gas aceite

Teniendo claro los parámetros requeridos que afectan el consumo eléctrico, desempeño del bombeo electrosumergible y el estado mecánico del pozo, se dispone a efectuar los respectivos análisis con la información recolectada de los campos.

6. GENERALIDADES DE LOS CAMPOS

En este capítulo se hablará acerca de los campos donde se encuentran los pozos estudiados. Estos campos son Ocelote y B, se informará sobre su localización, generalidades y características de los pozos.

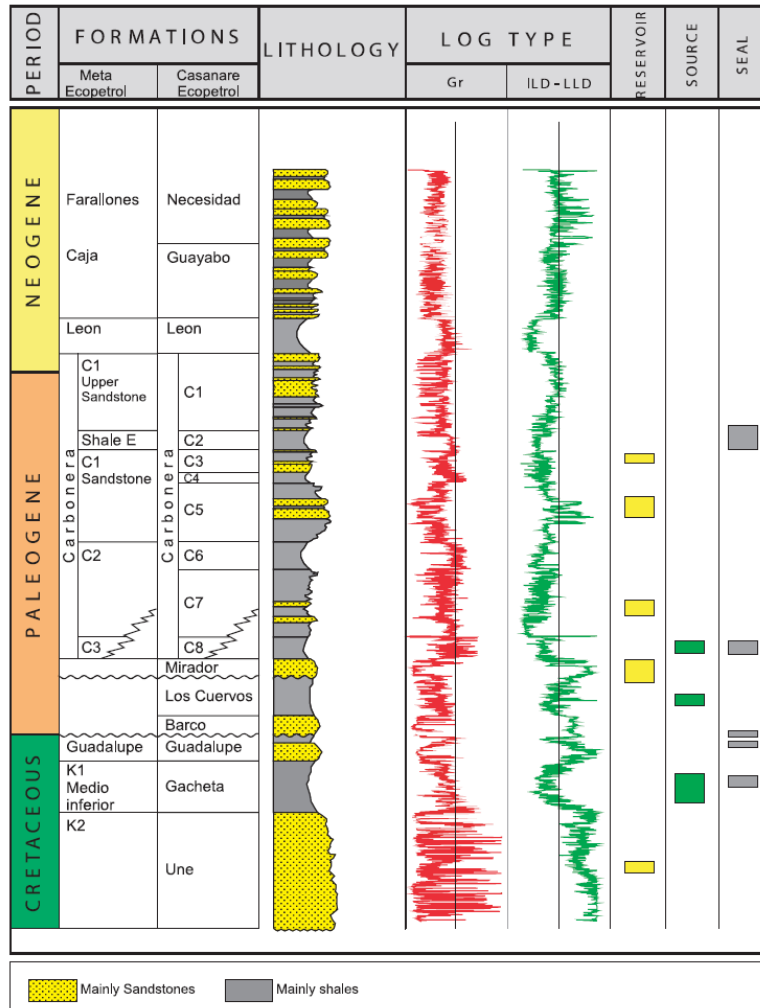
6.1. CAMPO OCELOTE

Este campo actualmente se encuentra operado por la empresa Hocol, a continuación se hará una descripción del campo.

6.1.1. Generalidades

Campo Ocelote se encuentra dentro del bloque Guarrojo, fue descubierto en 2007, su formación productora es la Carbonera que son excelentes unidades de reserva, se puede observar la litología de la formación en la figura 36.

Figura 36. Corte estratigráfico general de los depósitos del Mesozoico y del Cenozoico en la cuenca de los llanos



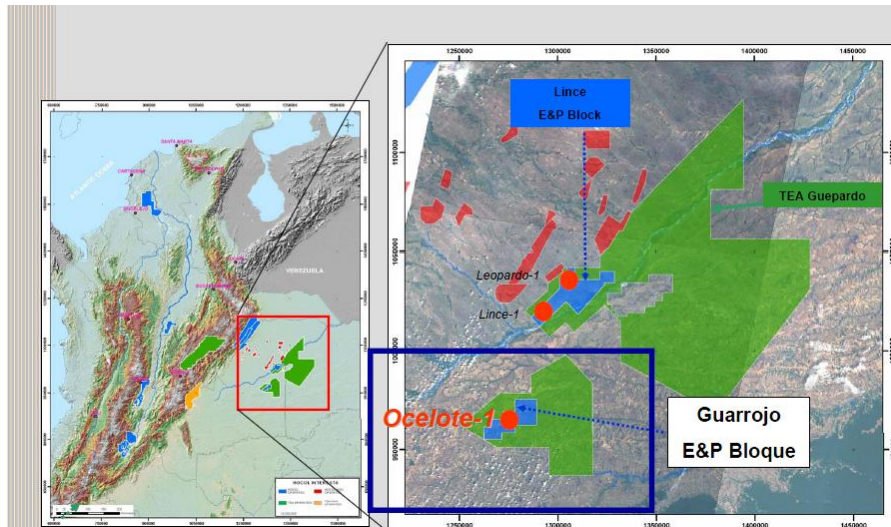
Fuente. Obtenida de ANH, *Colombian Sedimentary basins*, disponible en internet “<http://www.anh.gov.co/es/index.php>”. 2010.

6.1.2. Localización

El campo Ocelote se encuentra ubicado en la cuenca de los llanos orientales, entre las veredas La Cristalina y La Esperanza en el municipio de Puerto Gaitán,

en el departamento de Meta. En la figura 37 se encuentra la localización del campo Ocelote.

Figura 37. Localización del campo Ocelote



Fuente. Wood Group ESP

6.1.3. Características generales de los pozos

Ocelote cuenta con un total de 25 pozos productores y diariamente produce 44240 barriles los cuales 15000 son de petróleo. La mayoría de pozos de ocelote posee completamientos alrededor de 4000 pies a 5000 pies, algunos alcanzan los 6000 pies. El crudo tiene una gravedad API entre 23 y 27 grados. La mayoría tiene tubería de producción de 3 ½”.

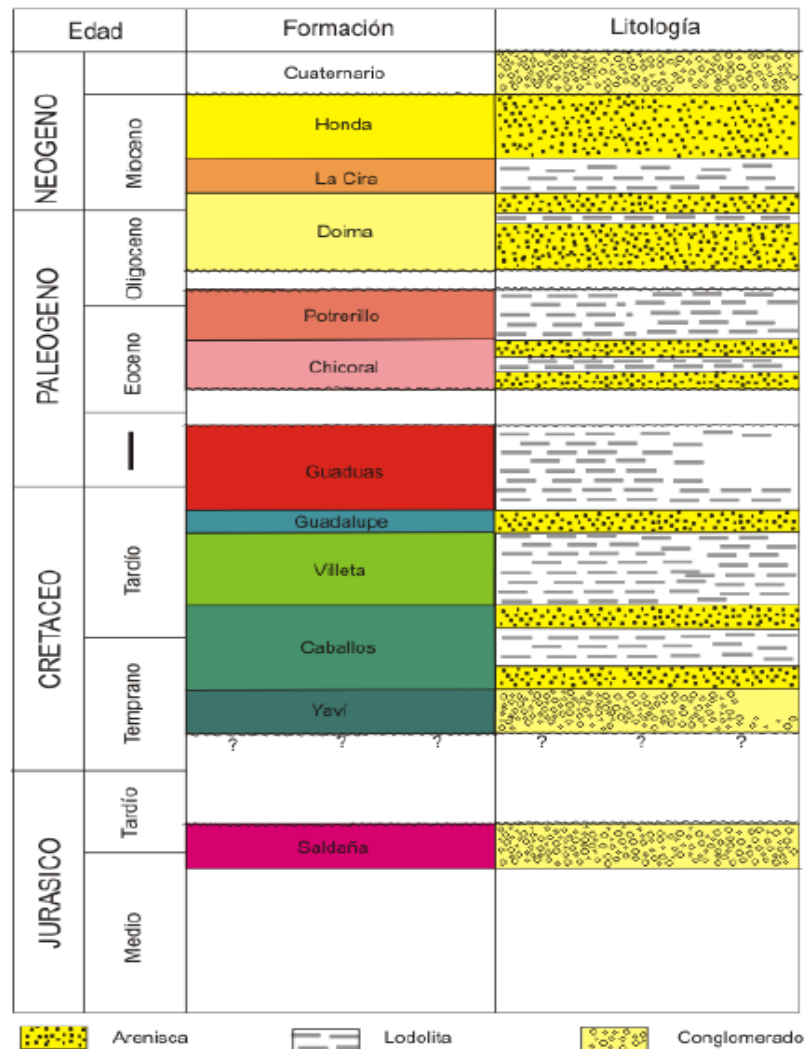
6.2. CAMPO B

Por circunstancias de confidencialidad este campo se denotará como campo B, a continuación se hará una breve descripción del campo.

6.2.1. Generalidades

El campo B fue descubierto en enero de 2000 y ha sido considerado uno de los mayores descubrimientos de los últimos quince años, su formación productora es la de Guadalupe, se puede observar la litología de la formación en la figura 38.

Figura 38. Corte estratigráfico general de la subcuenca de Girardot

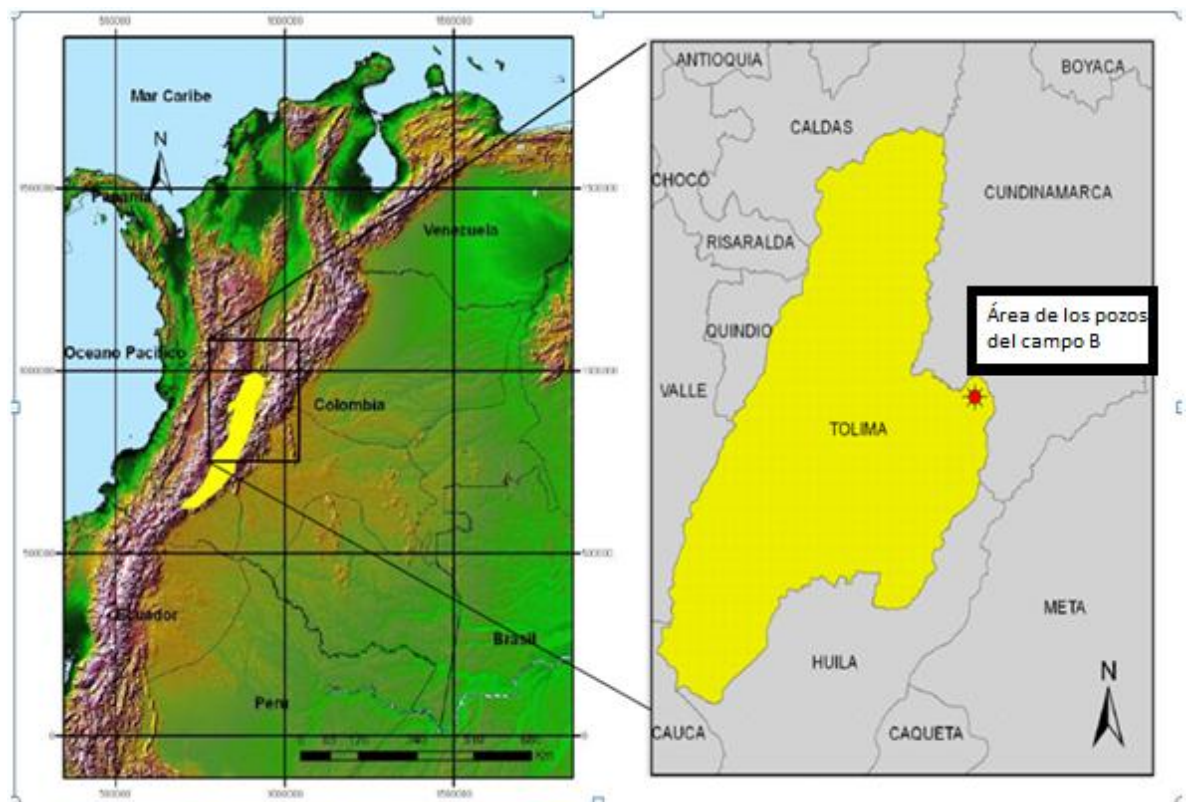


Fuente. Obtenida de ANH, *Colombian Sedimentary basins*, disponible en internet "<http://www.anh.gov.co/es/index.php>". 2010.

6.2.2. Localización

El campo B se encuentra en el interior del país. Este campo presenta un volumen total recuperable de cerca de 120 millones de barriles y produce cerca de 30 mil barriles de crudo diarios.

Figura 39. Localización del campo B



Fuente. Adaptada de la tesis Caracterización Palinoestratigráfica del intervalo Campaniano.*Maastrichtiano* del Pozo B 73. 2004. P 14.

6.2.3. Características generales de los pozos

El crudo de los pozos contiene una gravedad API entre 25 y 32 grados, con una relación de solubilidad menor a 100 pc/bbl, presentando capa de gas con presión a la profundidad del contacto de gas-aceite del orden de 100 psi.

7. RECOPIACIÓN DE INFORMACION

A continuación se recopilará la información identificada anteriormente para cada uno de los pozos, donde adicionalmente cada pozo tendrá una gráfica del diseño actual del pozo y otra de la eficiencia actual de la bomba que son tomadas de un software de diseño de bombas electrosumergibles.

En la imagen del diseño actual del pozo se puede observar información muy importante para realizar los respectivos análisis a cada pozo, donde un dato muy relevante para realizar el estudio de calidad y energía es el voltaje de diseño entregado por el SUT que en la imagen es el voltaje en superficie, este dato se debe comparar con el voltaje entregado por el SUT actualmente.

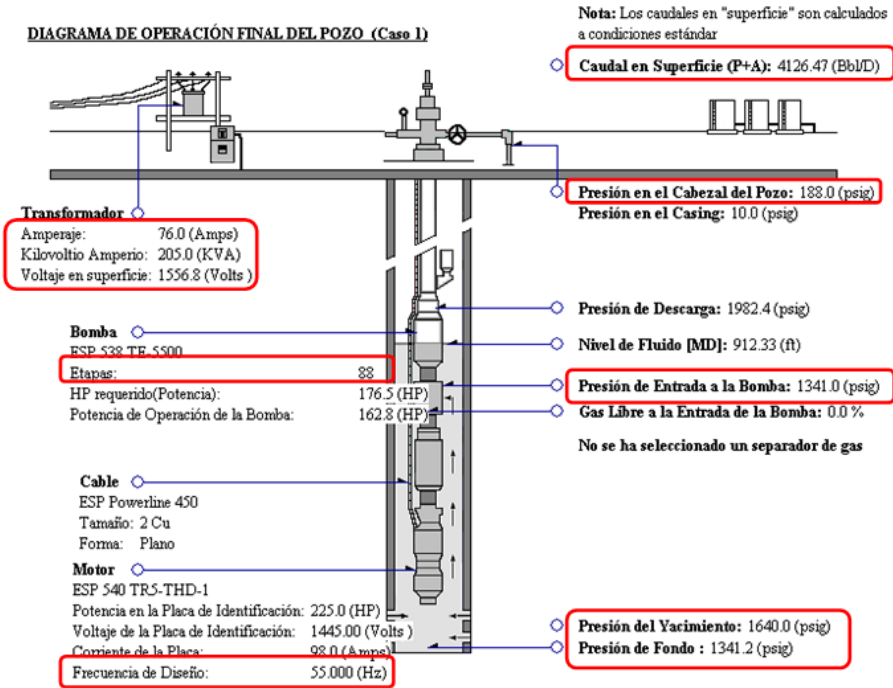
Las imágenes de factor de potencia y distorsión armónica total en corriente se adquieren de una toma de datos realizada en cada pozo, esto se hace para medir estos parámetros y así realizar el estudio de calidad y energía, estos valores se promedian y son tabulados en la tabla de parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible para cada pozo.

En las gráficas de eficiencia de la bomba electrosumergible lo ideal es que la curva se encuentre dentro del tornado demarcado por los puntos de mínimo y máximo caudal, de ser así no aplica para rediseño de la bomba, de lo contrario se debe realizar un rediseño para lograr que la curva se encuentre dentro de la eficiencia.

7.1. POZO UIS 1

En la siguiente gráfica se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 1.

Figura 40. Diseño actual pozo UIS 1



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 41 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 41. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 1

Power & Energy				
	A	B	C	Total
kW	51.7	51.0	50.7	153.5
kVA	53.1	52.9	52.0	158.1
kVAR	12.1	14.0	11.6	37.7
PF	0.97	0.96	0.97	0.97
DPF	0.98	0.97	0.98	0.97
A _{rms}	193	192	188	
	A	B	C	
V _{rms}	275.81	275.92	276.19	
08/06/09 10:25:11 480V 60Hz 3Ø WYE ENS0160*				
VOLTAGE	ENERGY	TREND	HOLD RUN	

HARMONICS TABLE				
Amp	A	B	C	N
THD%f	8.2	8.1	8.3	69.9
H3%f	1.8	1.8	1.9	30.5
H5%f	0.7	0.4	0.8	16.9
H7%f	1.0	1.0	1.1	12.3
H9%f	0.3	0.3	0.3	9.6
H11%f	6.0	6.0	6.1	8.2
H13%f	4.4	4.4	4.5	7.3
H15%f	0.3	0.2	0.3	5.6
08/06/09 10:24:16 480V 60Hz 3Ø WYE ENS0160*				
U A W	HARMONIC GRAPH		TREND	HOLD RUN

Fuente. Wood Group ESP

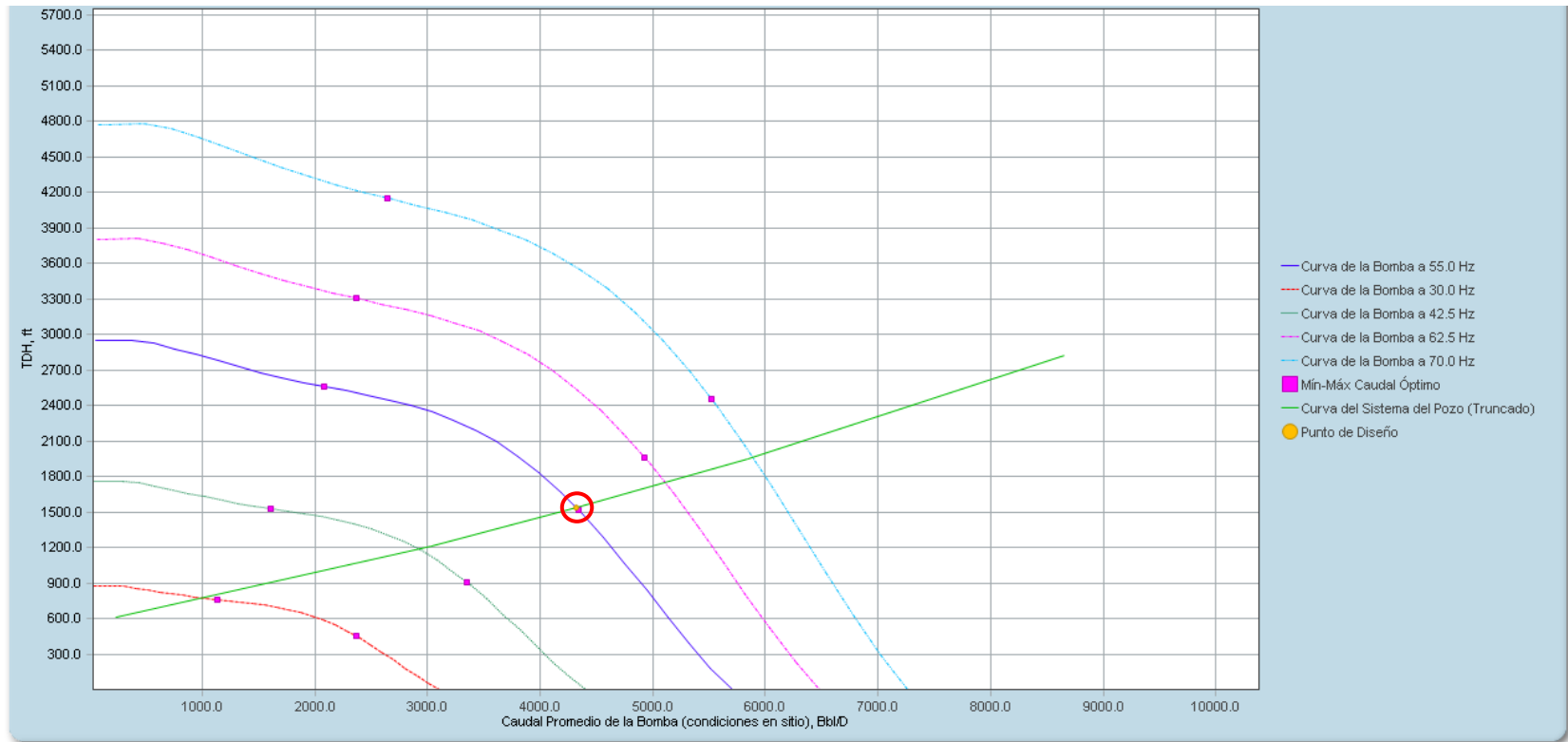
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 2. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 1

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1542
	Factor de potencia (%)	97
	Armónicos en corriente (%)	8,2
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	4858
	Gravedad API	23,9
	GOR (SCF/BBL)	20,22
	Corte de agua (%)	67
	Temperatura del fluido (°F)	209
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	13,809
	Presión de yacimiento (Psia)	1640
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	88
	Cable de potencia	Cable # 2
	Motor	Power: 225 (HP)
		Voltaje: 1445 (Voltios)
		Corriente: 98 (Amperios)

En la siguiente figura se observa el comportamiento de la bomba electrosumergible en las condiciones de diseño actuales.

Figura 42. Comportamiento de la bomba del pozo UIS 1



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

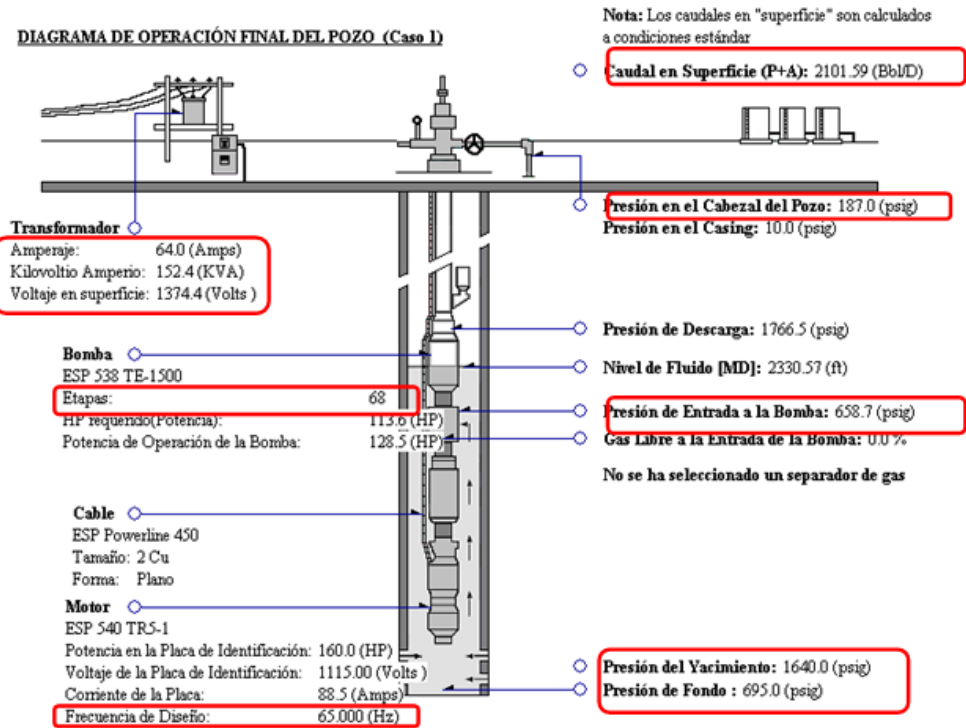
Tabla 3. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 1

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8,681
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	4126
	Temperatura de la bomba (°F)	209
	Presión de cabeza (Psia)	188
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	67
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	23.9
	Temperatura del fluido (°F)	209
	Presión del yacimiento (Psia)	1640
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	1341,2
	Índice de productividad (BBL/Psia)	13,809

7.2. POZO UIS 2

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 2.

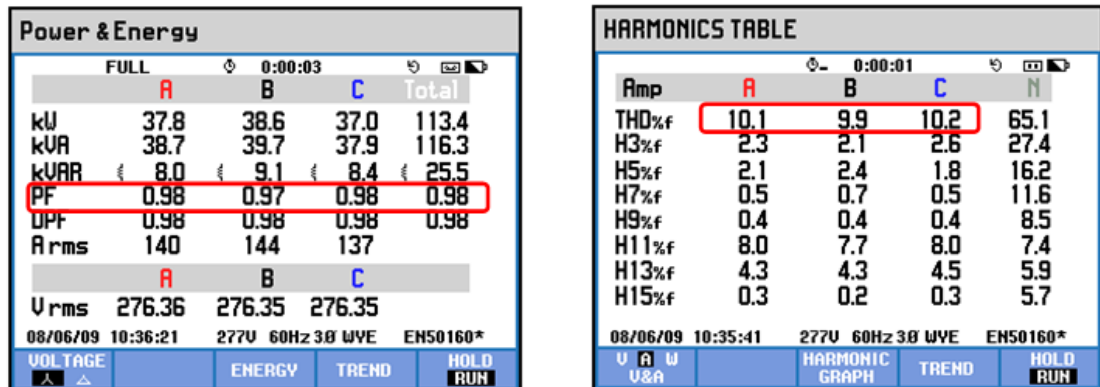
Figura 43. Diseño actual pozo UIS 2



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 44 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 44. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 2



Fuente. Wood Group ESP

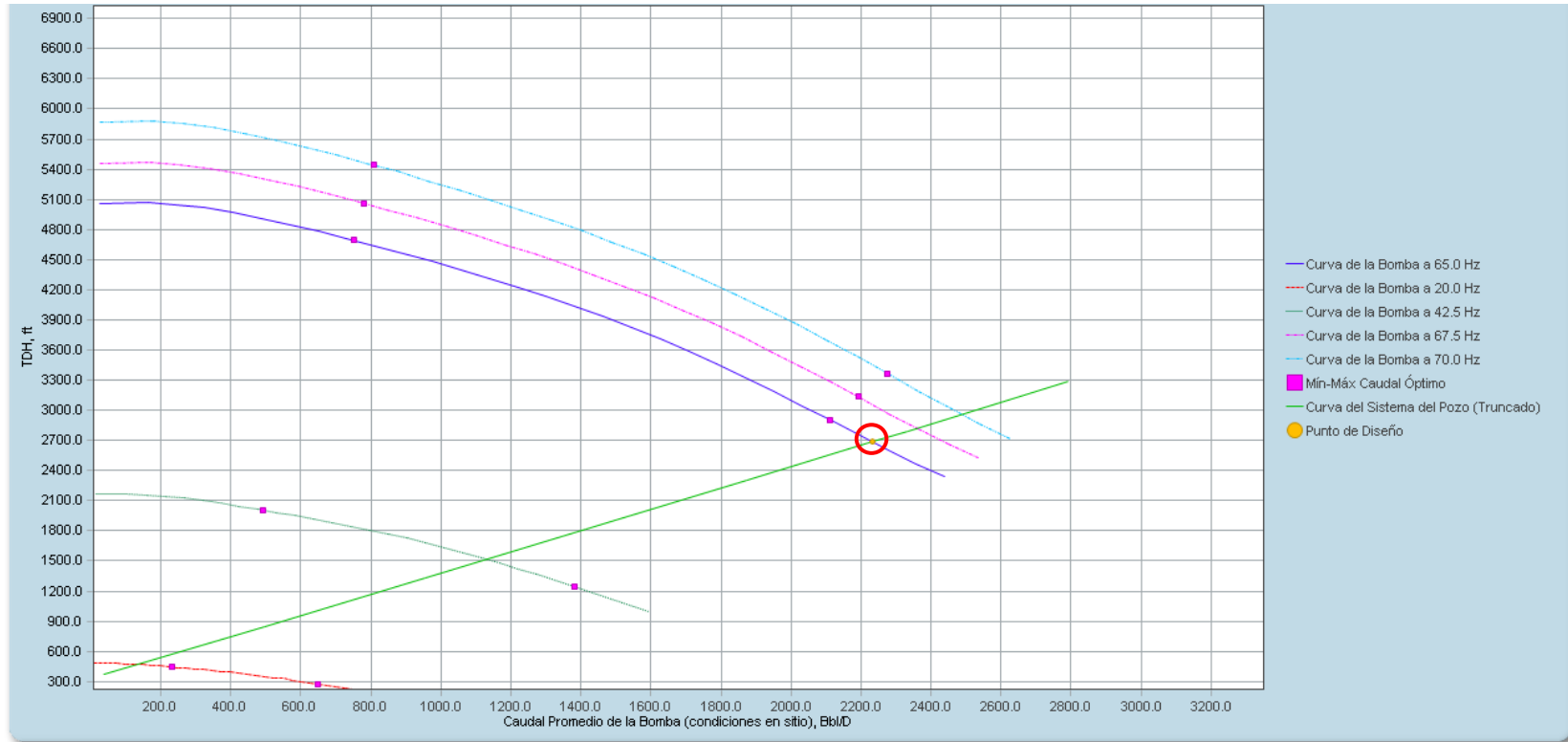
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 4. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 2

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1375
	Factor de potencia (%)	98
	Armónicos en corriente (%)	10,06
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	4100
	Gravedad API	24,2
	GOR (SCF/BBL)	17,98
	Corte de agua (%)	51,2
	Temperatura del fluido (°F)	211
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	2,224
	Presión de yacimiento (Psia)	1640
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	68
	Cable de potencia	Cable # 2
	Motor	Power: 160 (HP)
		Voltaje: 1115 (Voltios)
		Corriente: 88,5 (Amperios)

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 45. Comportamiento de la bomba del pozo UIS 2



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

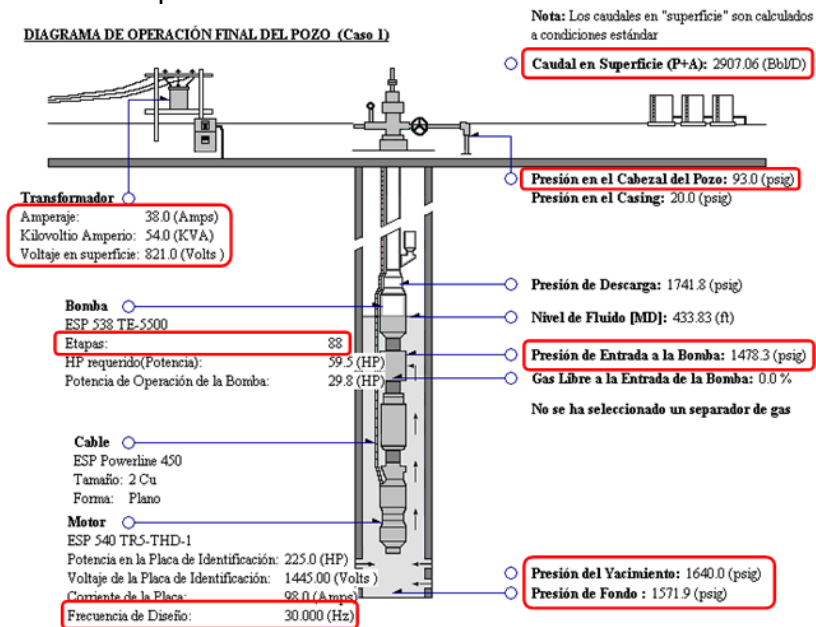
Tabla 5. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 2

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8,755
	Diámetro interno del Tubing (in)	2,992
	Caudal de producción (BBL)	2101,59
	Temperatura de la bomba (°F)	211,6
	Presión de cabeza (Psia)	187
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	51,2
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	24.2
	Temperatura del fluido (°F)	214
	Presión del yacimiento (Psia)	1640
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	695
	Índice de productividad (BBL/Psia)	2.224

7.3. POZO UIS 3

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 3.

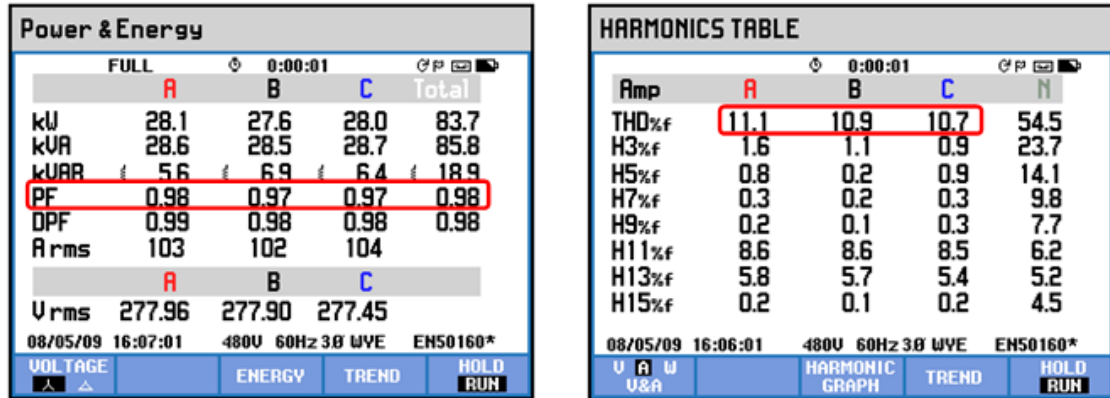
Figura 46. Diseño actual pozo UIS 3



Fuente. Wood Group ESP

En figura 47 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 47. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 3



Fuente. Wood Group ESP

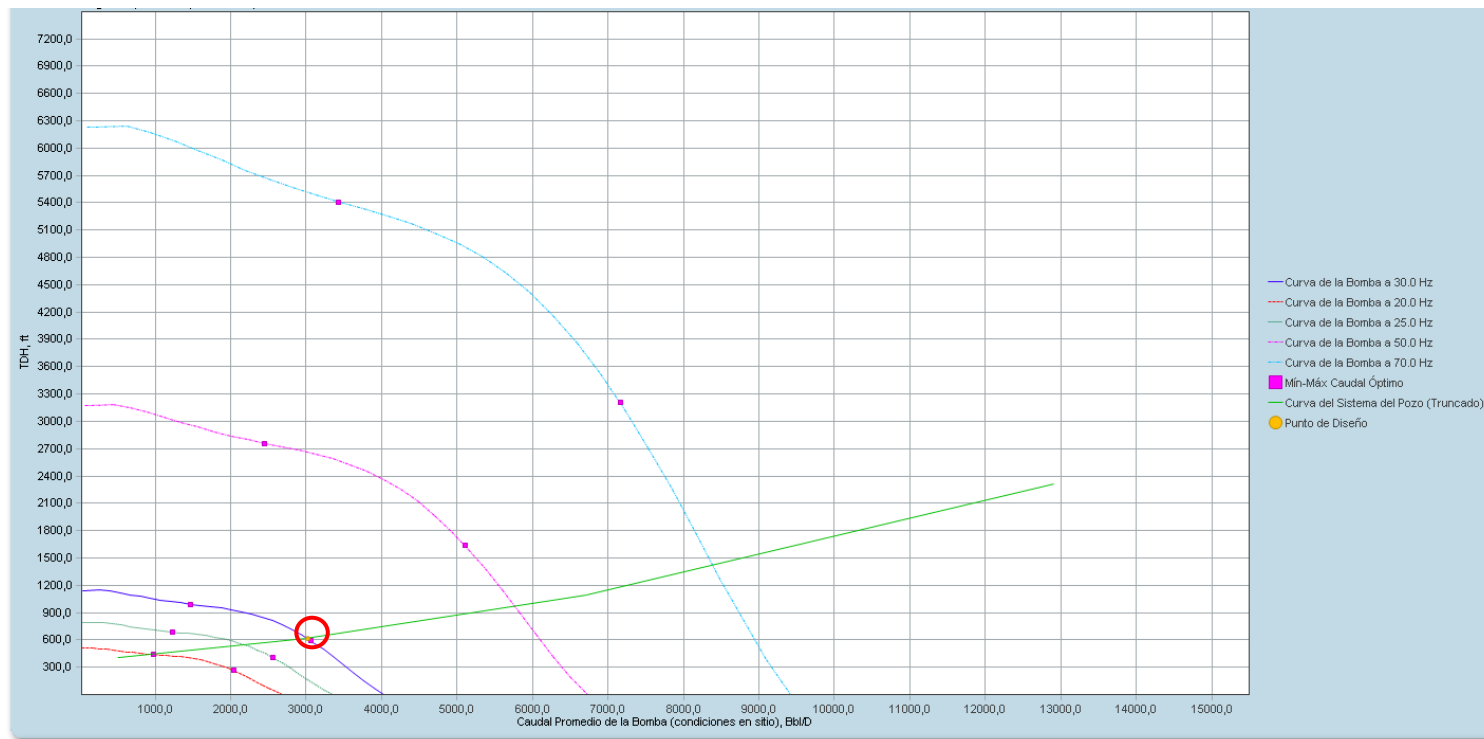
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 6. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 3

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1218
	Factor de potencia (%)	98
	Armónicos en corriente (%)	10,9
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	4175
	Gravedad API	23,8
	GOR (SCF/BBL)	30,76
	Corte de agua (%)	86,5
	Temperatura del fluido (°F)	197
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	42,7
	Presión de yacimiento (Psia)	1640
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	88
	Cable de potencia	Cable # 2
	Motor	Power: 225 (HP)
		Voltaje: 1445 (Voltios)
Corriente: 98 (Amperios)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 48. Comportamiento de la bomba pozo UIS 3



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar lo parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

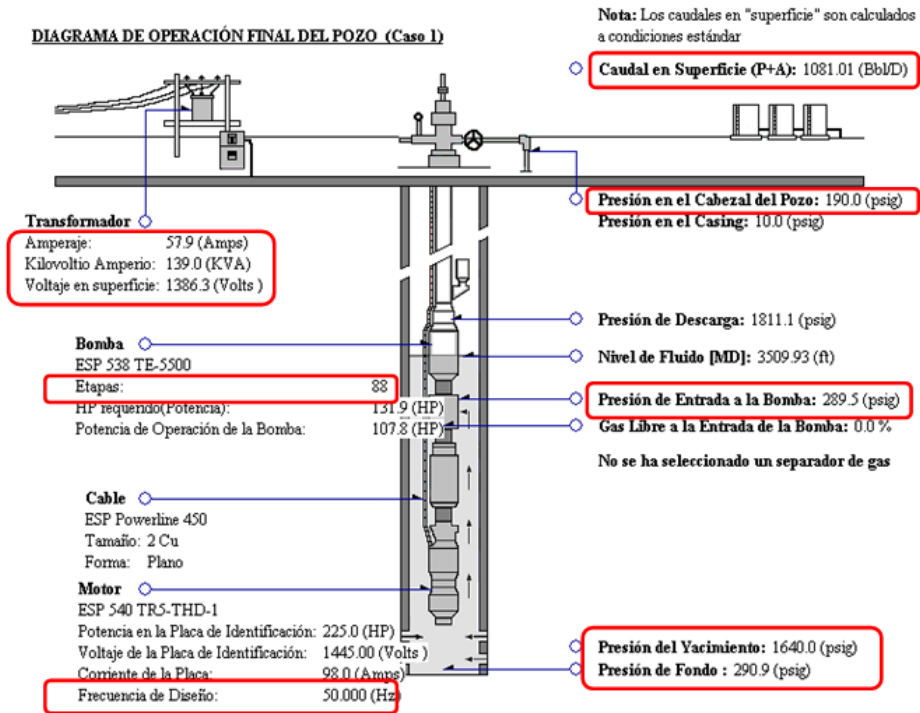
Tabla 7. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 3

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.681
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	2907,06
	Temperatura de la bomba (°F)	196.9
	Presión de cabeza (Psia)	93
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	86.5
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	23.8
	Temperatura del fluido (°F)	202
	Presión del yacimiento (Psia)	1640
	Presión de pozo fluyendo P_{wf} (psia)	1571,9
	Índice de productividad (BBL/Psia)	42.719

7.4. POZO UIS 4

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 4.

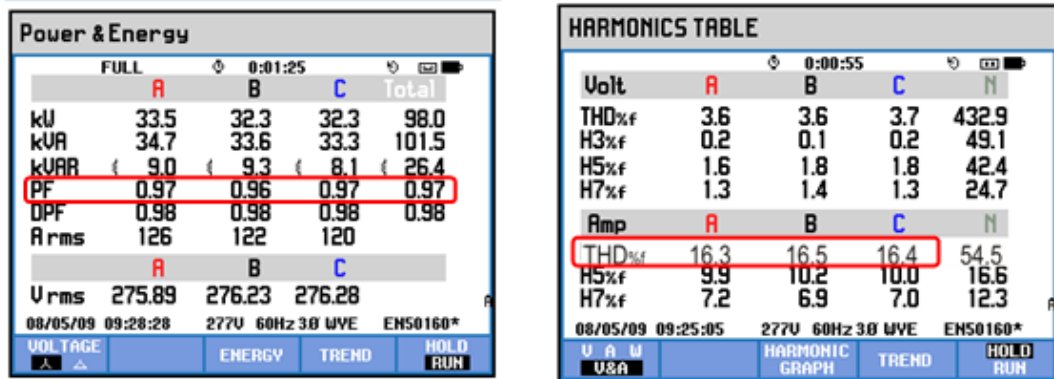
Figura 49. Diseño actual pozo UIS 4



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 50 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 50. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 4



Fuente. Wood Group ESP

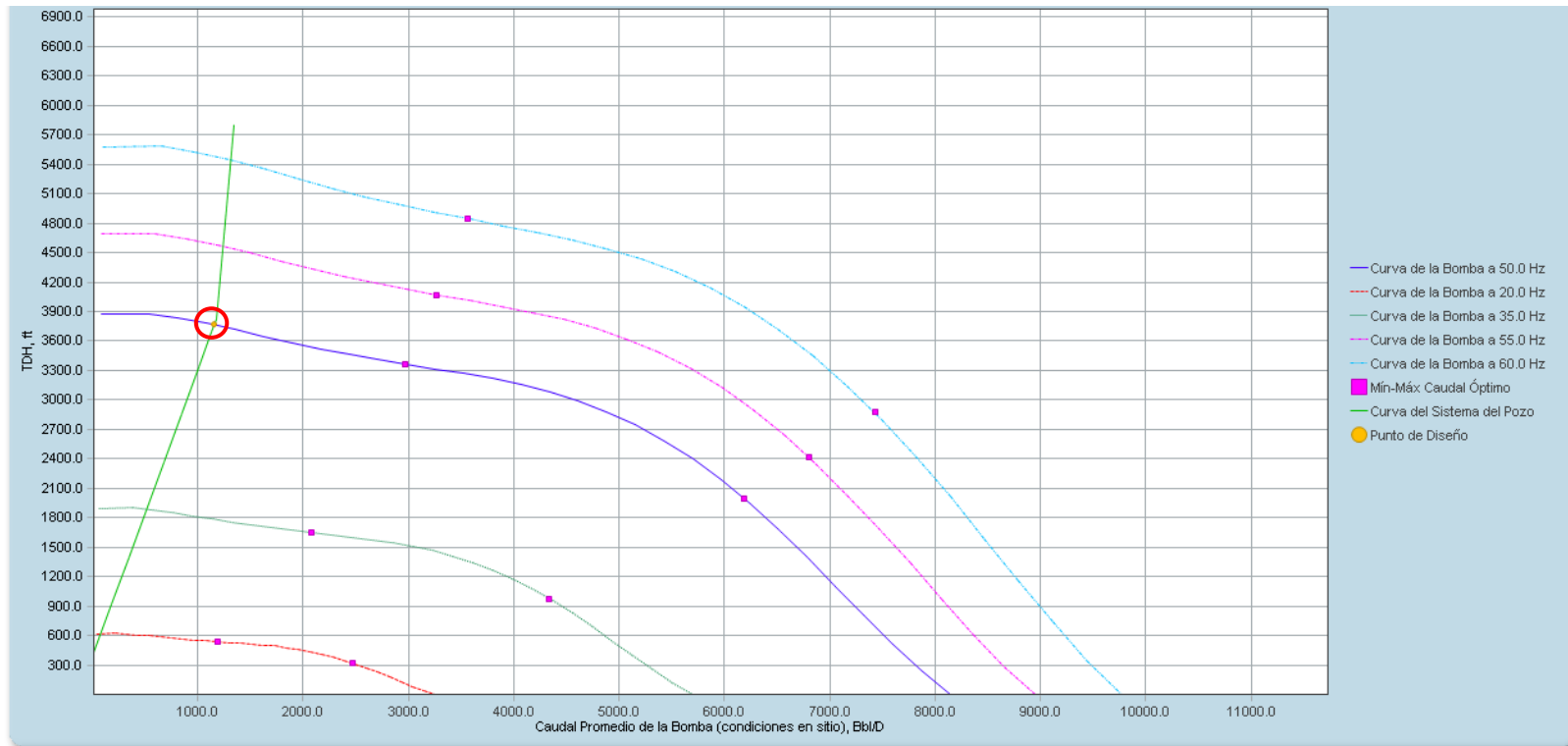
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 8. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 4

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1329
	Factor de potencia (%)	97
	Armónicos en corriente (%)	16,4
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	5001
	Gravedad API	23,7
	GOR (SCF/BBL)	16,58
	Corte de agua (%)	35
	Temperatura del fluido (°F)	209
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	0,801
	Presión de yacimiento (Psia)	1640
	Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba
Cable de potencia		Cable #2
Motor		Power: 225 (HP)
		Voltaje: 1445 (Voltios)
	Corriente: 98 (Amperios)	

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 51. Comportamiento de la bomba del pozo UIS 4



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

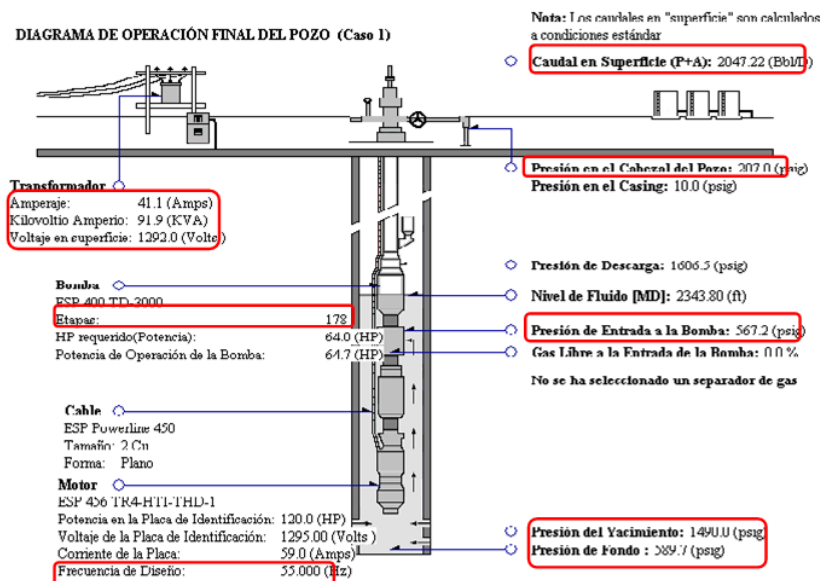
Tabla 9. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 4

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.681
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	1081,01
	Temperatura de la bomba (°F)	208.9
	Presión de cabeza (Psia)	190
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	86.5
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	23.7
	Temperatura del fluido (°F)	209
	Presión del yacimiento (Psia)	1640
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	290,9
	Índice de productividad (BBL/Psia)	0.801

7.5. POZO UIS 5

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 5.

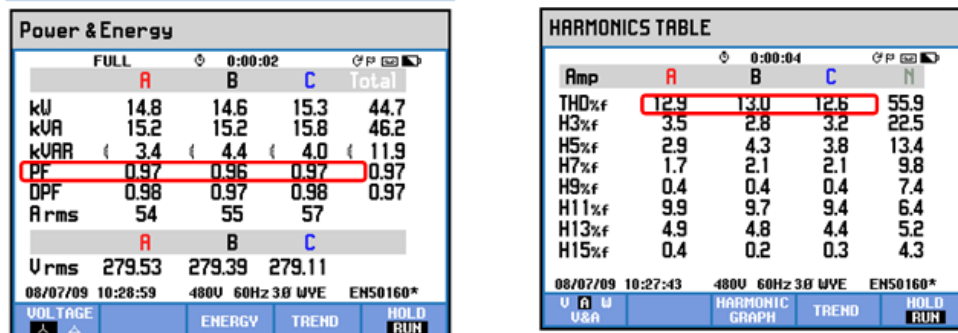
Figura 52. Diseño actual pozo UIS 5



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 53 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente

Figura 53. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 5



Fuente. Wood Group ESP

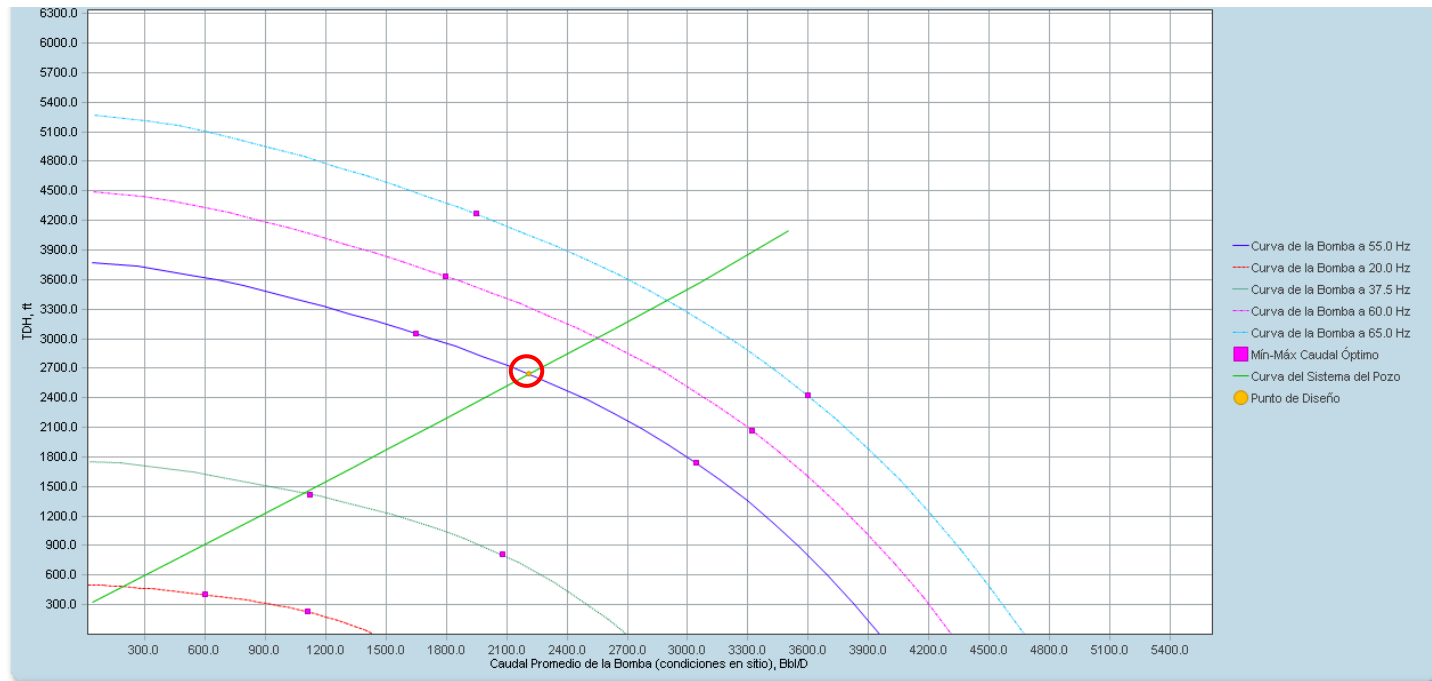
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 10. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 5

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1354	
	Factor de potencia (%)	97	
	Armónicos en corriente (%)	12,83	
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No	
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992	
	Profundidad de asentamiento (ft)	4213	
	Gravedad API	27,3	
	GOR (SCF/BBL)	17,73	
	Corte de agua (%)	9,3	
	Temperatura del fluido (°F)	186	
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	2,274	
Parámetros de Equipo	Presión de yacimiento (Psia)	1490	
	Número de etapas de la bomba	88	
	Cable de potencia	Cable #2	
	Motor	Power: 225 (HP)	
		Voltaje: 1445 (Voltios)	
Corriente: 98 (Amperios)			

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 54. Comportamiento de la bomba pozo UIS 5



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

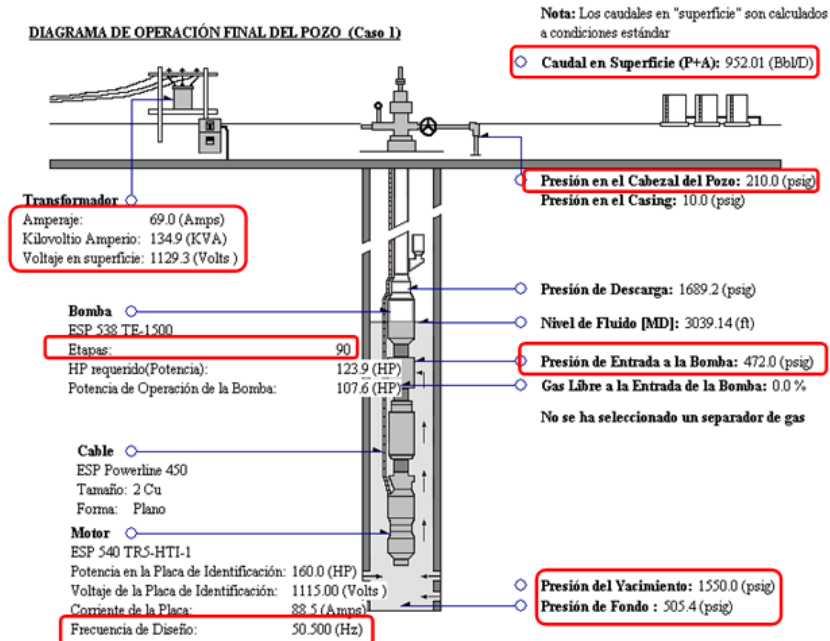
Tabla 11. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 5

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.755
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL/día)	2047,22
	Temperatura de la bomba (°F)	186.2
	Presión de cabeza (Psia)	207
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	9.3
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	27.3
	Temperatura del fluido (°F)	187
	Presión del yacimiento (Psia)	1490
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	589,7
	Índice de productividad (BBL/Psia)	2.274

7.6. POZO UIS 6

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 6.

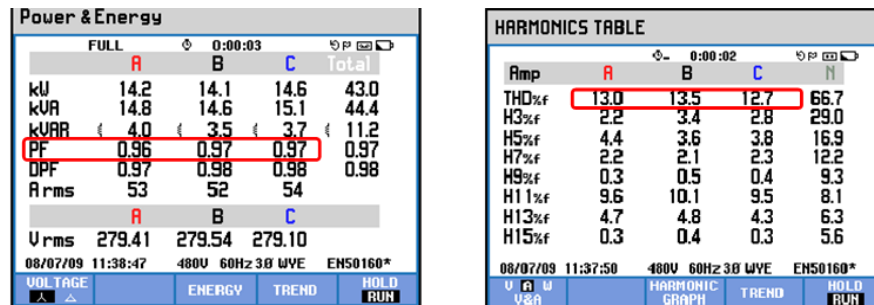
Figura 55. Diseño actual pozo UIS 6



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 56 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente

Figura 56. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 6



Fuente. Wood Group ESP

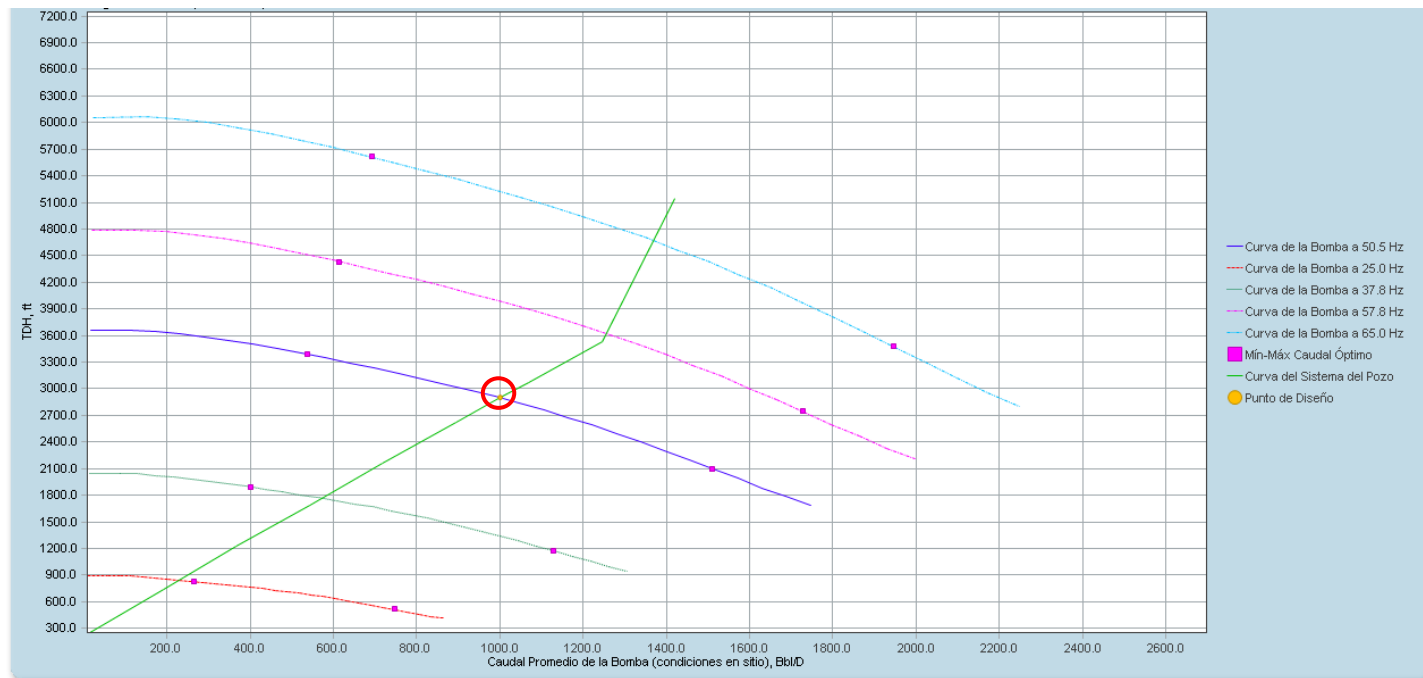
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 12. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 6

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1145
	Factor de Potencia (%)	97
	Armónicos (%)	13,06
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2.992
	Profundidad de asentamiento	4400
	Gravedad API	21.3
	GOR (scf/bbl)	14.67
	Corte de agua (%)	60.9
	Temperatura del fluido (°F)	207.1
	Índice de productividad (blpd/psi)	0.911
	Presión de yacimiento (psia)	1550
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	90
	Cable de potencia	Cable #2
	Motor	Power: 160 (HP)
		Voltaje: 1115 (Volts)
Corriente: 88.5 (Amps)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 57. Comportamiento de la bomba pozo UIS 6



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

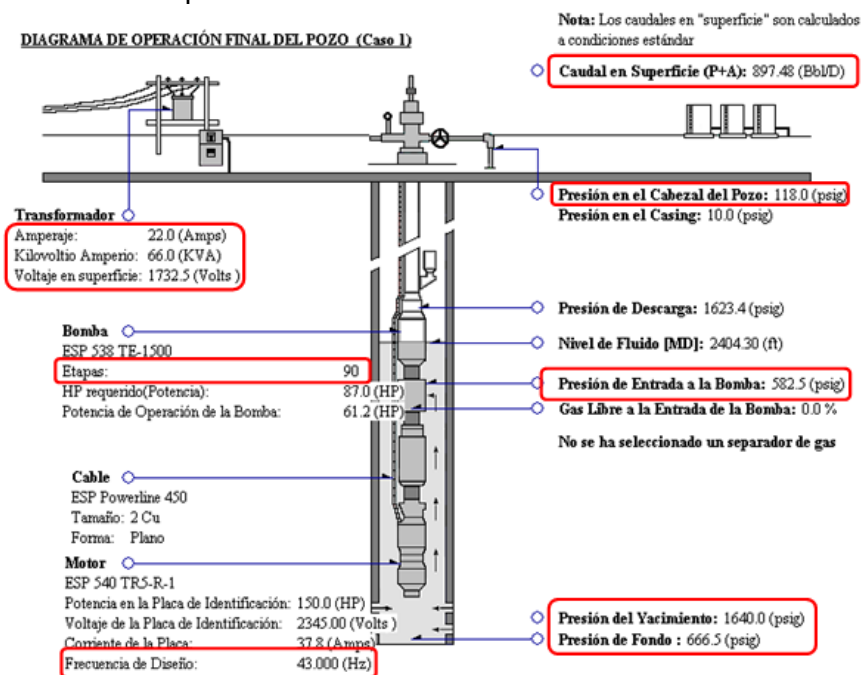
Tabla 13. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 6

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.755
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	952
	Temperatura de la bomba (°F)	207.1
	Presión de cabeza (Psia)	210
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	60.9
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	21.3
	Temperatura del fluido (°F)	209
	Presión del yacimiento (Psia)	1550
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	505.4
Índice de productividad (BBL/Psia)	0.911	

7.7. POZO UIS 7

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 7.

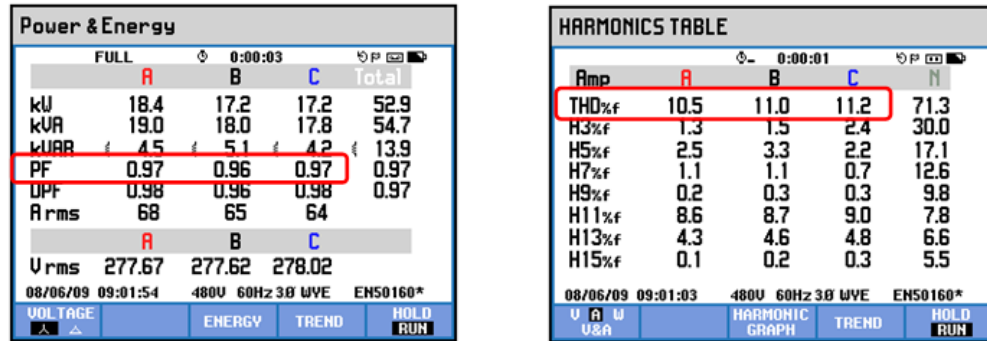
Figura 58. Diseño actual pozo UIS 7



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 57 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente

Figura 59. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 7



Fuente. Wood Group ESP

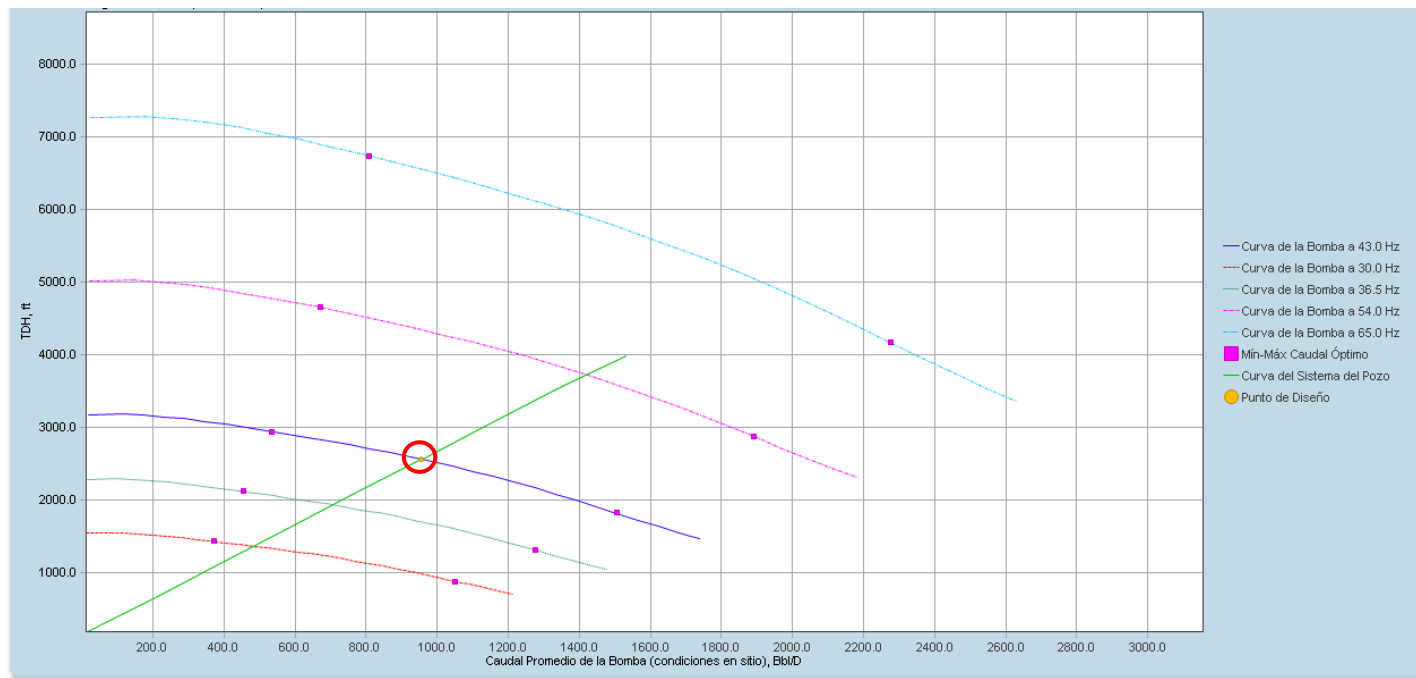
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 14. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 7

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	2436
	Factor de Potencia (%)	97
	Armónicos (%)	10.9
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2.992
	Profundidad de asentamiento	3830
	Gravedad API	24.2
	GOR (scf/bbl)	15.79
	Corte de agua (%)	30.9
	Temperatura del fluido (°F)	194
	Índice de productividad (blpd/psi)	0.922
	Presión de yacimiento (psia)	1640
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	90
	Cable de potencia	ESP Powerline 450
	Motor	Power: 150 (HP)
		Voltaje: 2345 (Volts)
Corriente: 37.8 (Amps)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 60. Comportamiento de la bomba pozo UIS 7



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

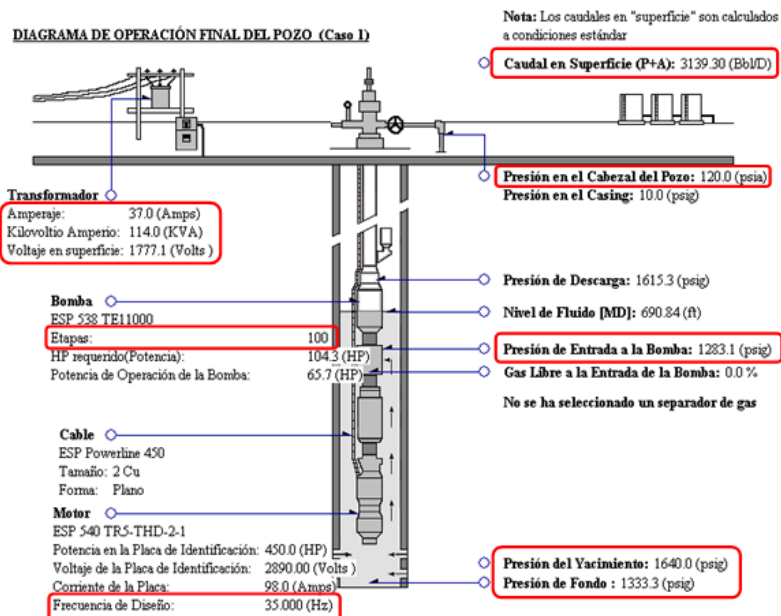
Tabla 15. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 7

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.755
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	897
	Temperatura de la bomba (°F)	194
	Presión de cabeza (Psia)	118
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	30.9
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	24.2
	Temperatura del fluido (°F)	197
	Presión del yacimiento (Psia)	1640
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	667
	Índice de productividad (BBL/Psia)	0.922

7.8. POZO UIS 8

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 8.

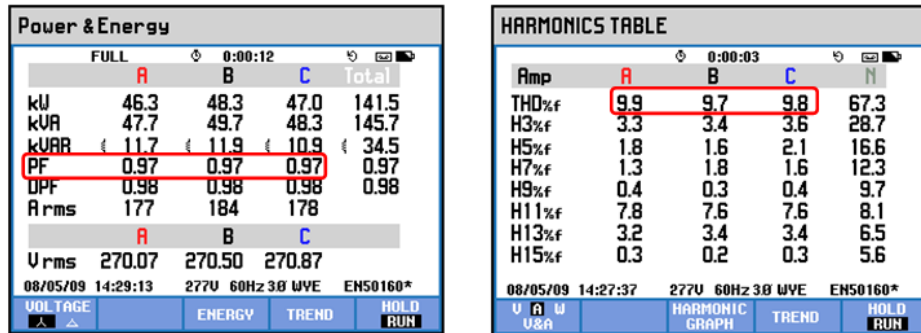
Figura 61. Diseño actual pozo UIS 8



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 62 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 62. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 8



Fuente. Wood Group ESP

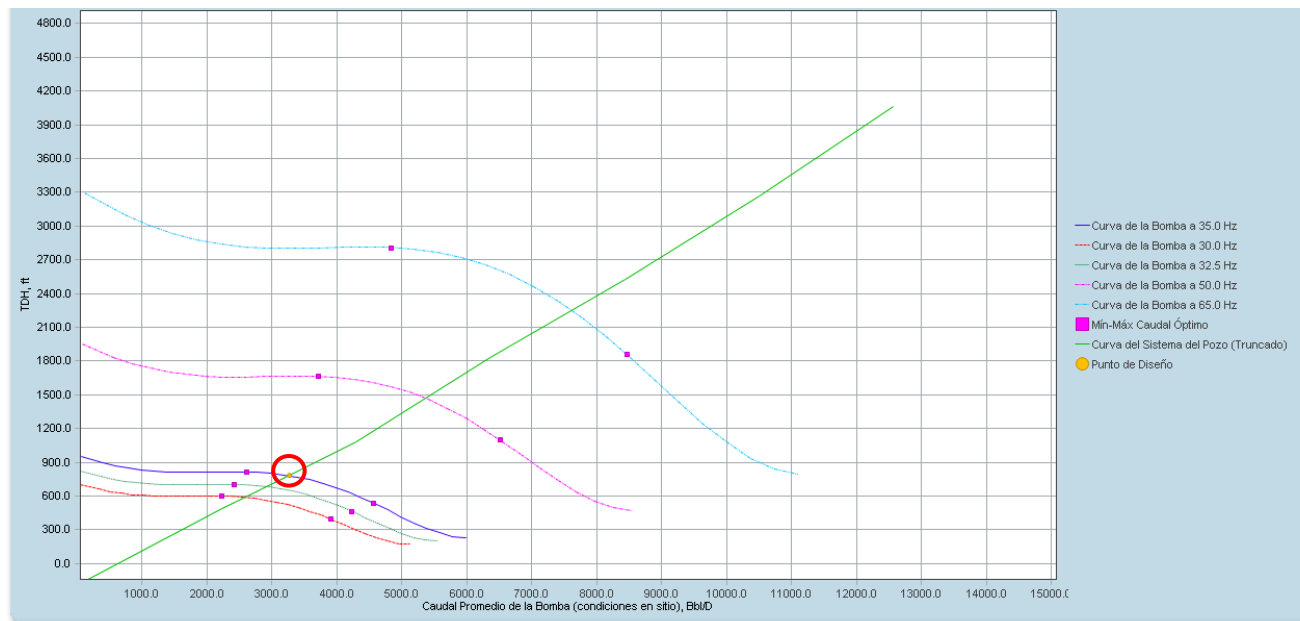
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 16. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 8

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1747	
	Factor de Potencia (%)	97	
	Armónicos (%)	9.8	
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No	
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2.992	
	Profundidad de asentamiento	4080	
	Gravedad API	23.1	
	GOR (scf/bbl)	15.93	
	Corte de agua (%)	44	
	Temperatura del fluido (°F)	179.6	
	Índice de productividad (blpd/psi)	8.582	
Parámetros de Equipo	Presión de yacimiento (psia)	1640	
	Número de etapas de la bomba	100	
	Cable de potencia	Cable #2	
	Motor	Power: 450 (HP)	
		Voltaje: 2890 (Volts)	
Corriente: 98 (Amps)			

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 63. Comportamiento de la bomba pozo UIS 8



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

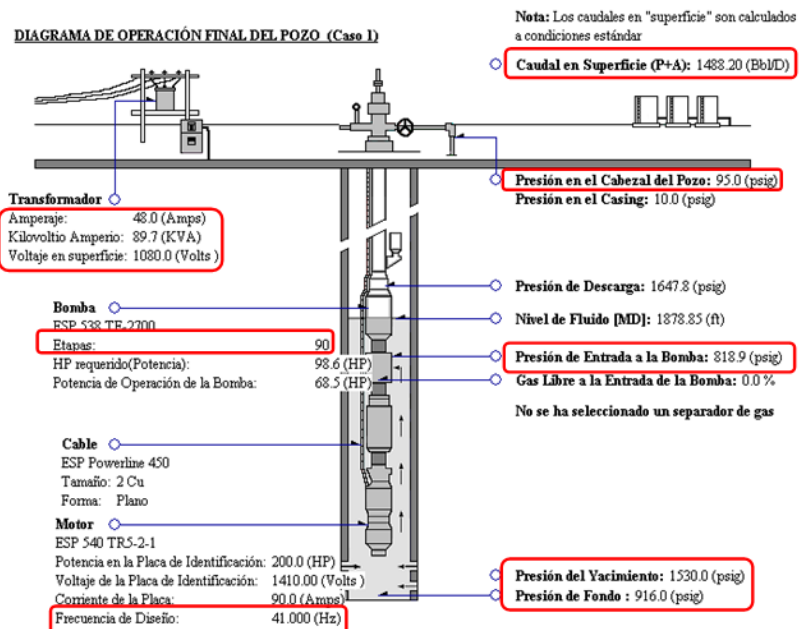
Tabla 17. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 8

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.681
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	3139.30
	Temperatura de la bomba (°F)	179.6
	Presión de cabeza (Psia)	900
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	44
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	23.1
	Temperatura del fluido (°F)	181
	Presión del yacimiento (Psia)	1640
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	1333.3
	Índice de productividad (BBL/Psia)	8.582

7.9. POZO UIS 9

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 9.

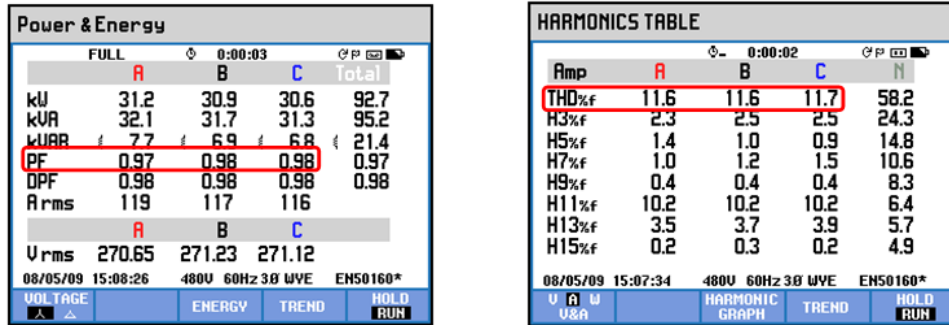
Figura 64. Diseño actual pozo UIS 9



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 65 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente

Figura 65. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 9



Fuente. Wood Group ESP

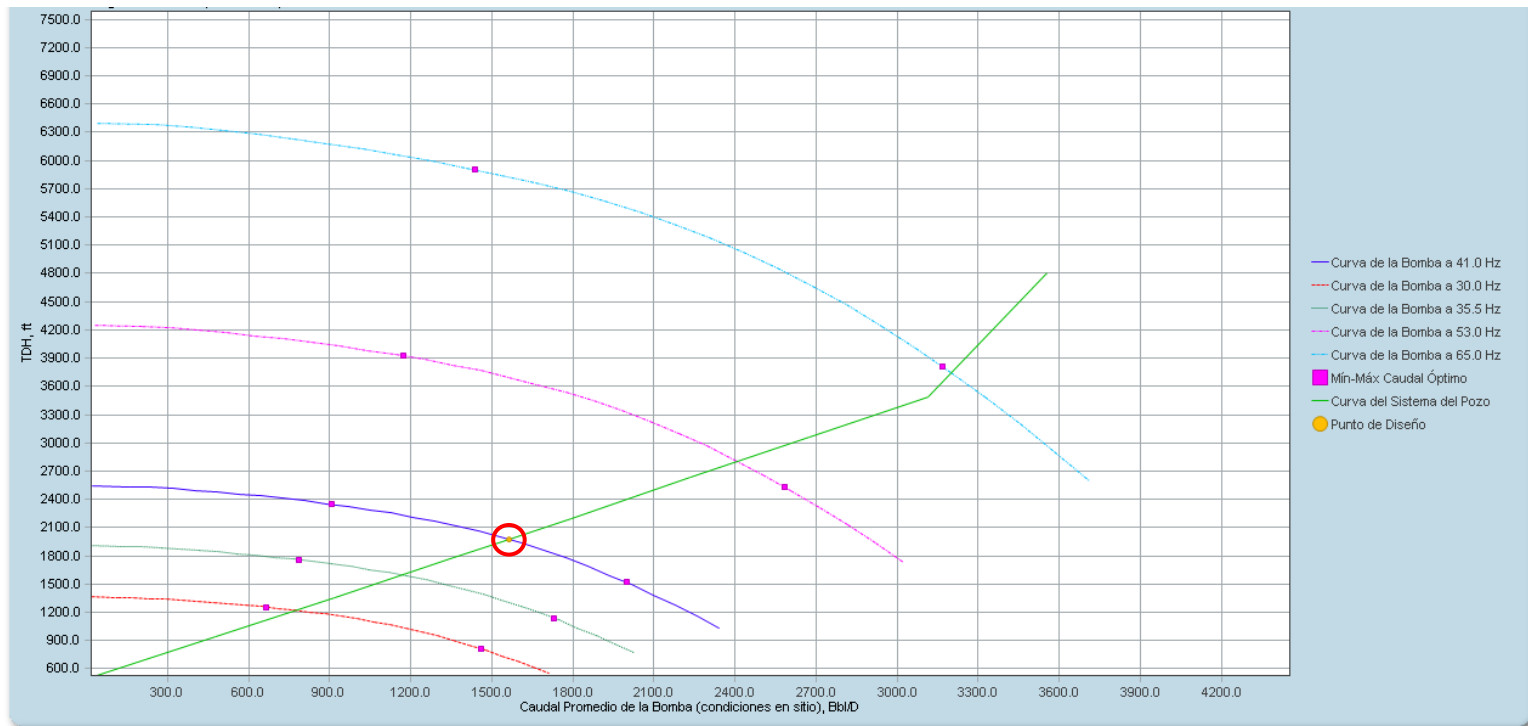
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 18. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 9

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1653
	Factor de Potencia (%)	97
	Armónicos (%)	11.63
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2.992
	Profundidad de asentamiento	3907
	Gravedad API	23.9
	GOR (scf/bbl)	15.57
	Corte de agua (%)	65
	Temperatura del fluido (°F)	198.3
	Índice de productividad (blpd/psi)	2.424
	Presión de yacimiento (psia)	1530
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	90
	Cable de potencia	Cable #2
	Motor	Power: 200 (HP)
		Voltaje: 1410 (Volts)
Corriente: 90 (Amps)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 66. Comportamiento de la bomba pozo UIS 9



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

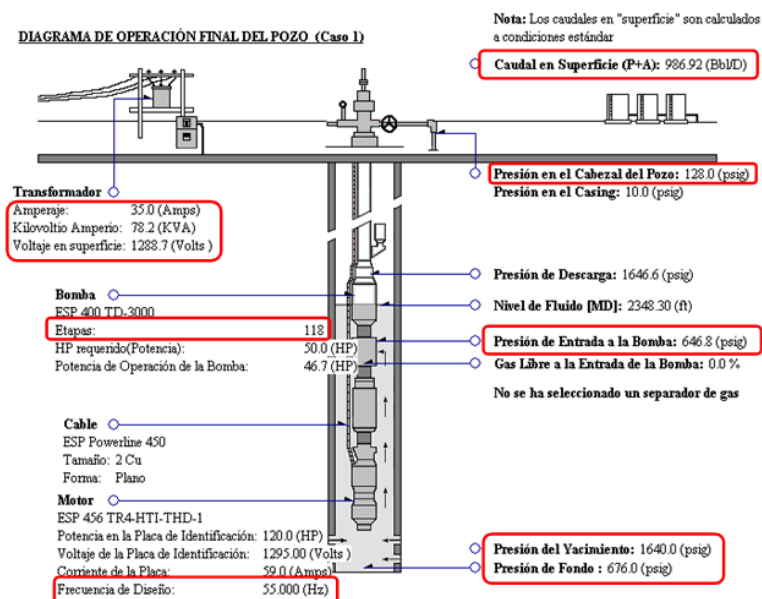
Tabla 19. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 9

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.755
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	1488
	Temperatura de la bomba (°F)	198.3
Parámetros de yacimiento	Presión de cabeza (Psia)	95
	Corte de agua (%)	65
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	23.9
	Temperatura del fluido (°F)	202
	Presión del yacimiento (Psia)	1530
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	916.1
Índice de productividad (BBL/Psia)	2.424	

7.10. POZO UIS 10

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 10.

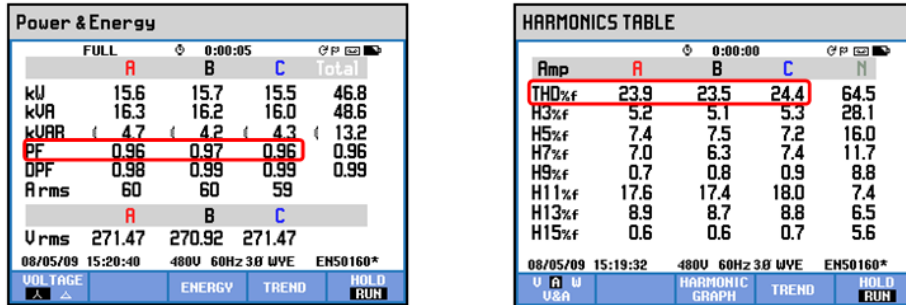
Figura 67. Diseño actual pozo UIS 10



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 68 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente

Figura 68. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 10



Fuente. Wood Group ESP

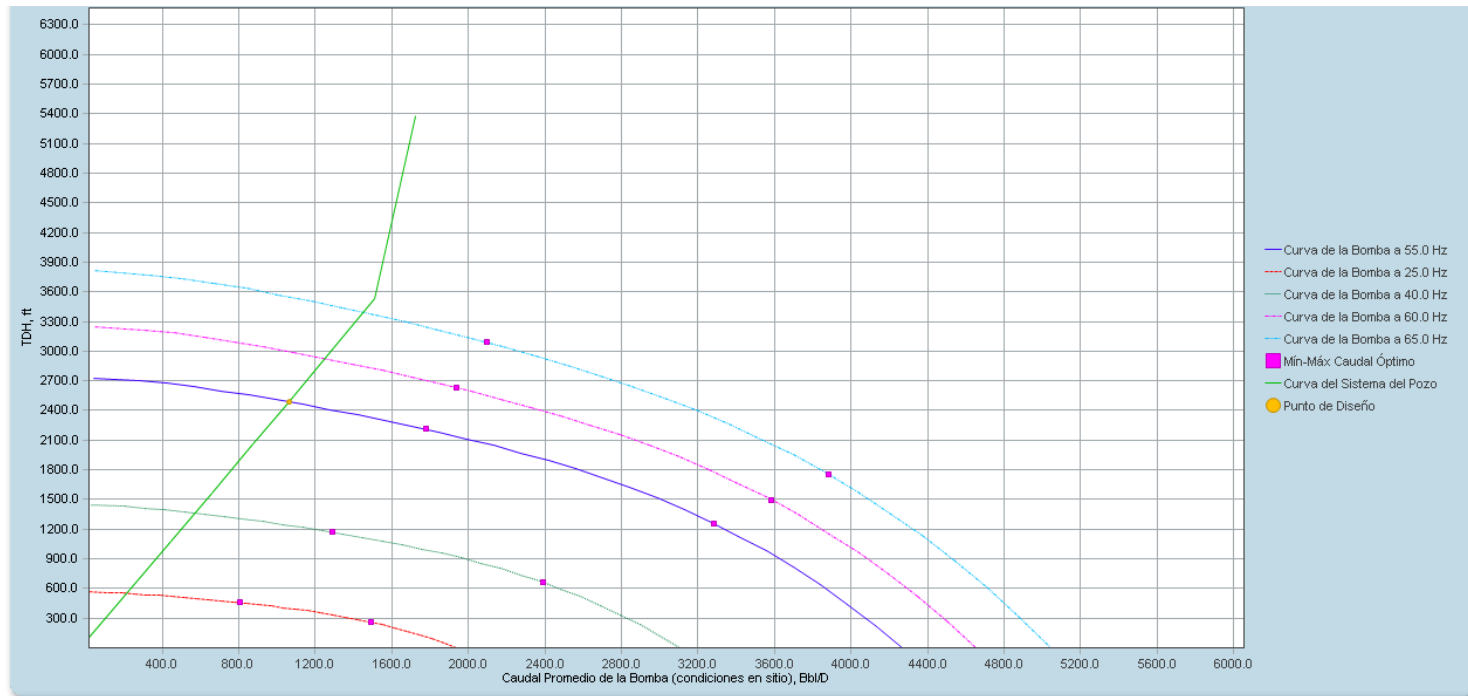
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 20. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 10

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1267
	Factor de Potencia (%)	96
	Armónicos (%)	23.93
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2.992
	Profundidad de asentamiento	4635
	Gravedad API	26.2
	GOR (scf/bbl)	16.36
	Corte de agua (%)	31.8
	Temperatura del fluido (°F)	204.4
	Índice de productividad (blpd/psi)	1.024
	Presión de yacimiento (psia)	1640
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	118
	Cable de potencia	Cable #2
	Motor	Power: 120 (HP)
		Voltaje: 1295 (Volts)
Corriente: 59 (Amps)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 69. Comportamiento de la bomba pozo UIS 10



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

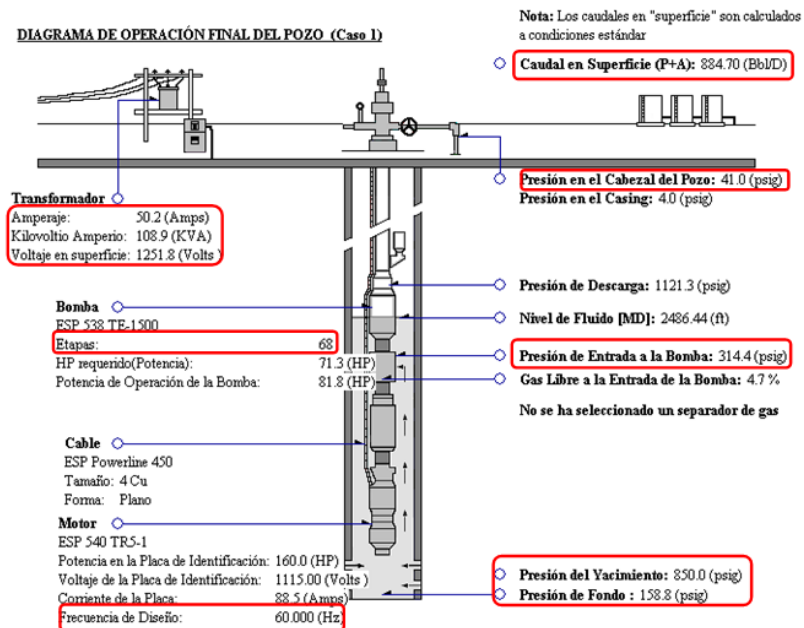
Tabla 21. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 10

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	8.755
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	987
	Temperatura de la bomba (°F)	204.4
	Presión de cabeza (Psia)	128
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	31.8
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	26.2
	Temperatura del fluido (°F)	206
	Presión del yacimiento (Psia)	1640
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	675.9
	Índice de productividad (BBL/Psia)	1.024

7.11. POZO UIS 11

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 11.

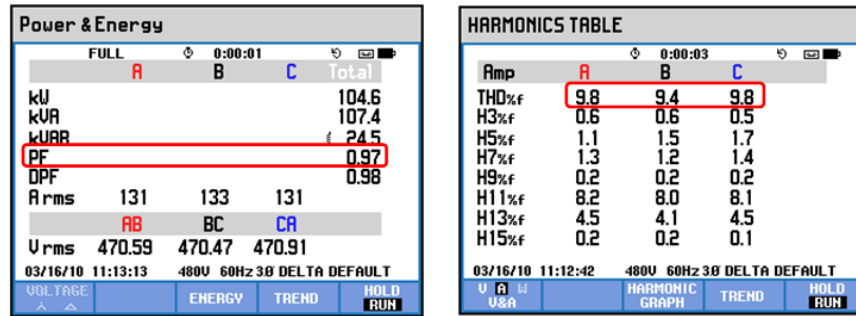
Figura 70. Diseño actual pozo UIS 11



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 71 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 71. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 11



Fuente. Wood Group ESP

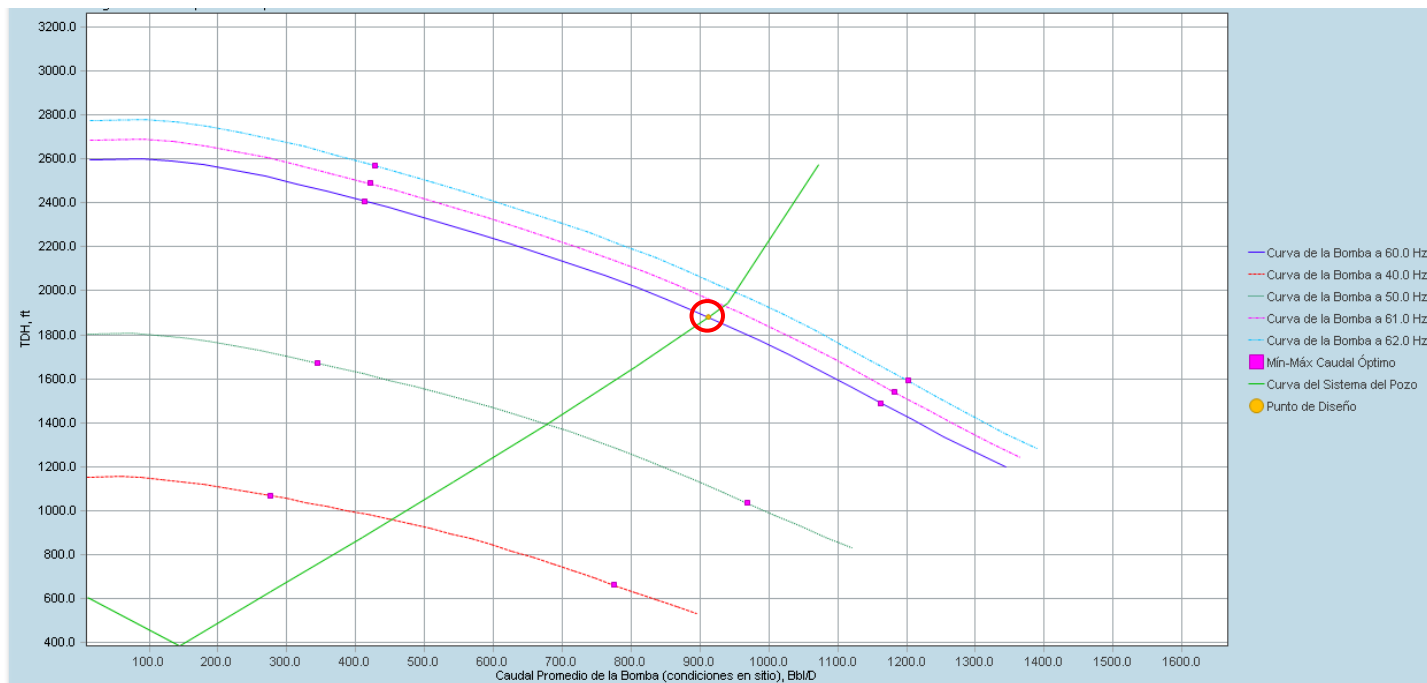
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 22. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 11

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1189
	Factor de potencia (%)	97
	Armónicos en corriente (%)	9,6
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	2922
	Gravedad API	28,5
	GOR (SCF/BBL)	800
	Corte de agua (%)	91
	Temperatura del fluido (°F)	104
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	1,28
	Presión de yacimiento (Psia)	850
	Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba
Cable de potencia		Cable # 4
Motor		Power: 160 (HP)
		Voltaje: 1115 (Voltios)
	Corriente: 88,5 (Amperios)	

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 72. Comportamiento de la bomba pozo UIS 11



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

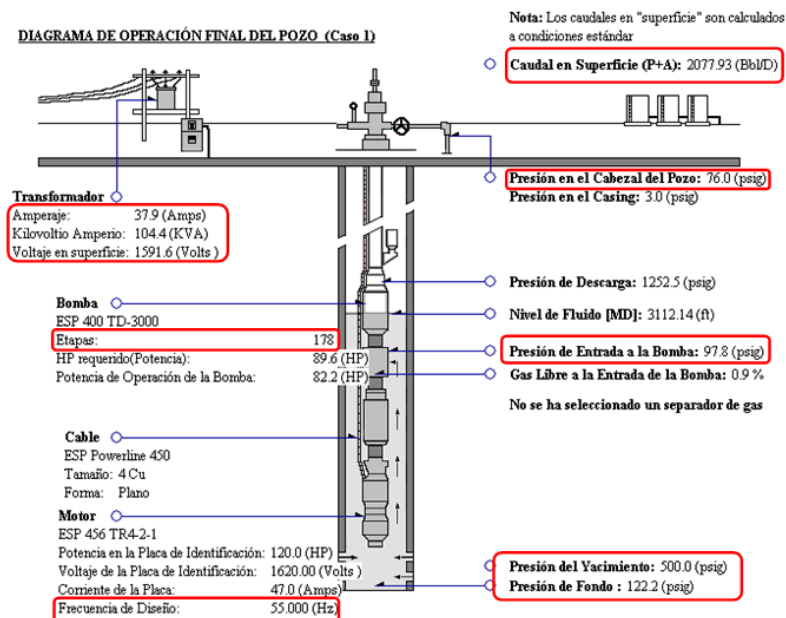
Tabla 23. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 11

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	6,366
	Diámetro interno del Tubing (in)	2,992
	Caudal de producción (BBL)	884,7
	Temperatura de la bomba (°F)	110,7
	Presión de cabeza (Psia)	45
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	91
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	4,7
	Gravedad API	28,5
	Temperatura del fluido (°F)	104
	Presión del yacimiento (Psia)	850
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	158,8
	Índice de productividad (BBL/Psia)	1,28

7.12. POZO UIS 12

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 12.

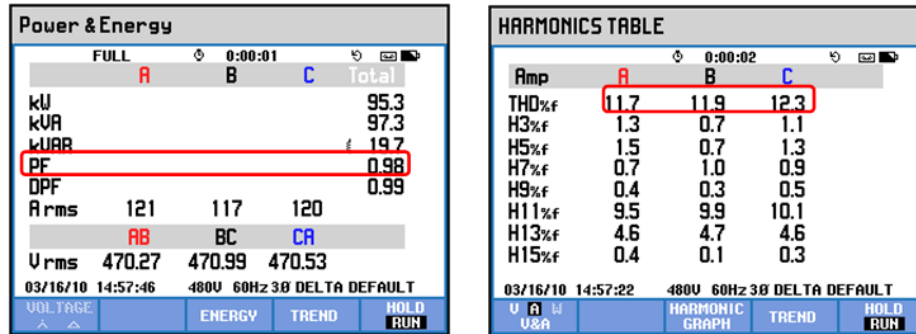
Figura 73. Diseño actual pozo UIS 12



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 74 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 74. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 12



Fuente. Wood Group ESP

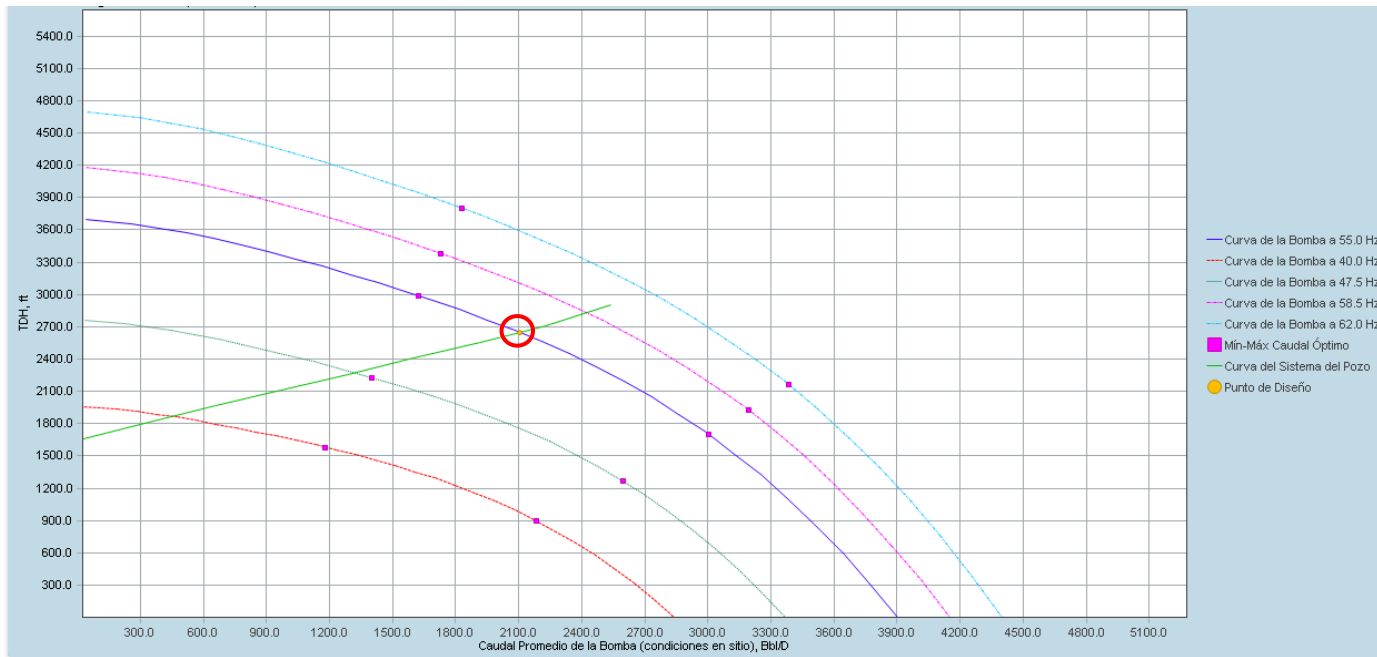
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 24. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 12

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1692
	Factor de potencia (%)	98
	Armónicos en corriente (%)	11,9
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	3172
	Gravedad API	28,8
	GOR (SCF/BBL)	52
	Corte de agua (%)	89
	Temperatura del fluido (°F)	105
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	5,5
	Presión de yacimiento (Psia)	500
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	178
	Cable de potencia	Cable # 4
	Motor	Power: 120 (HP)
		Voltaje: 1620 (Voltios)
	Corriente: 47 (Amperios)	

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 75. Comportamiento de la bomba pozo UIS 12



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

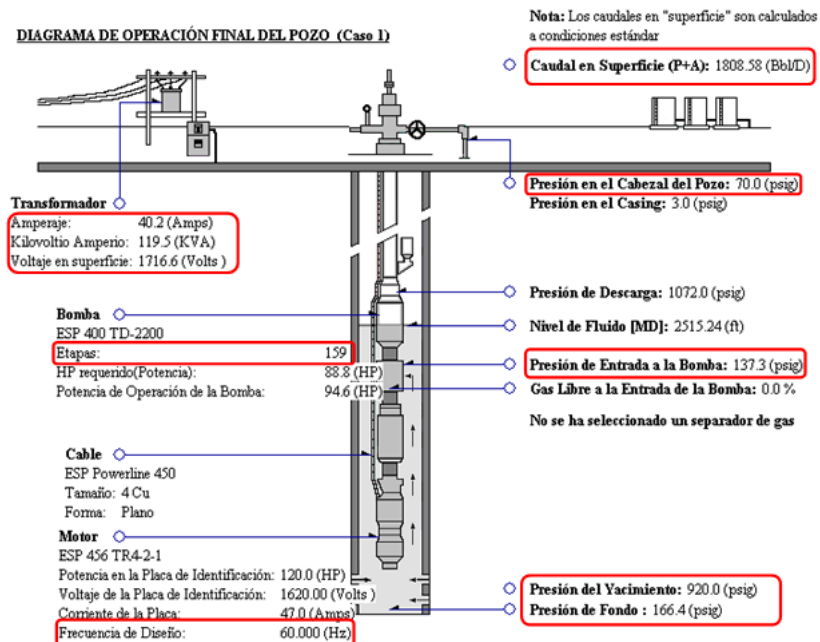
Tabla 25. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 12

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	6,366
	Diámetro interno del Tubing (in)	2,992
	Caudal de producción (BBL)	2077,9
	Temperatura de la bomba (°F)	107,6
	Presión de cabeza (Psia)	76
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	89
	Gravedad Específica del agua	1,02
	Fracción libre de gas	0,9
	Gravedad API	28,8
	Temperatura del fluido (°F)	105
	Presión del yacimiento (Psia)	500
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	122,2
Índice de productividad (BBL/Psia)	5,5	

7.13. POZO UIS 13

En la siguiente figura se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 13.

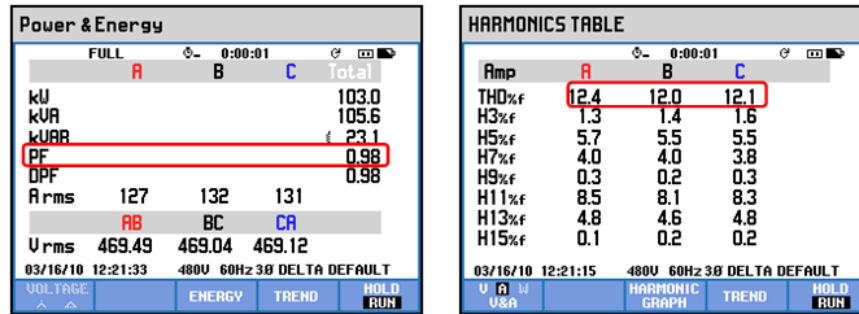
Figura 76. Diseño actual pozo UIS 13



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 77 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 77. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 13



Fuente. Wood Group ESP

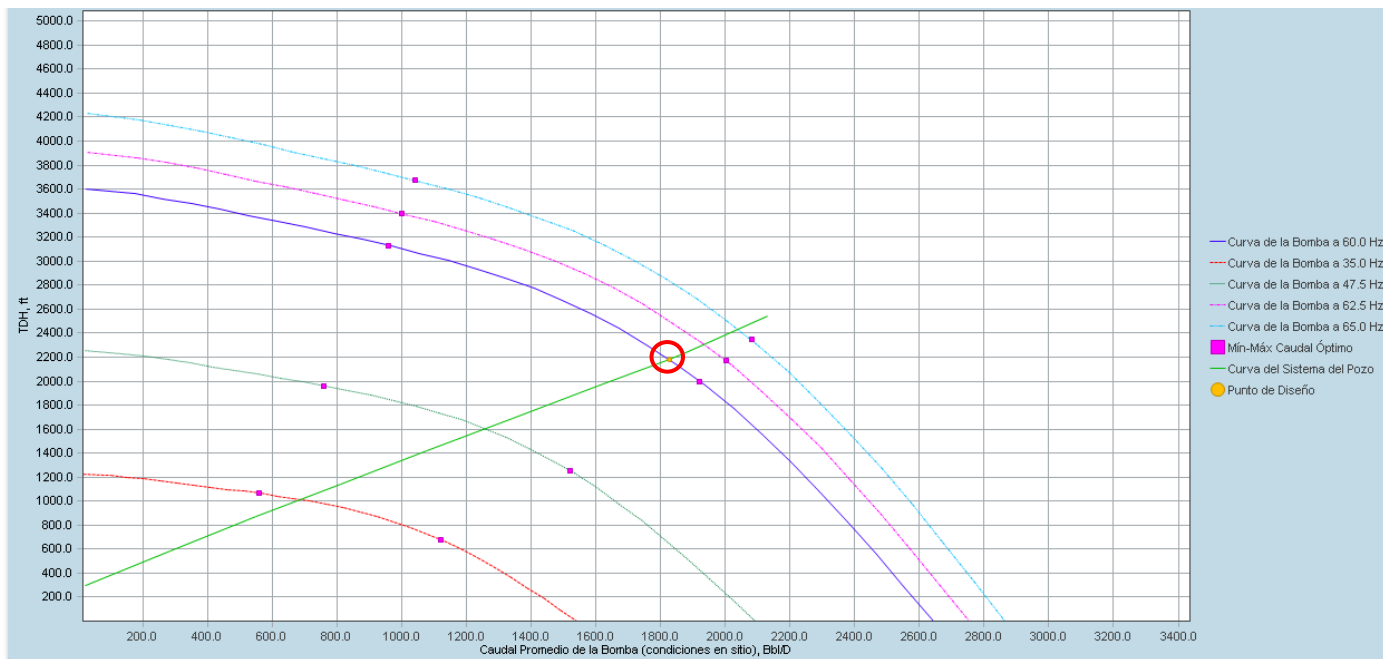
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 26. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 13

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1730
	Factor de potencia (%)	98
	Armónicos en corriente (%)	12,1
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	2766
	Gravedad API	28,5
	GOR (SCF/BBL)	34,13
	Corte de agua (%)	88,6
	Temperatura del fluido (°F)	105
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	2,4
	Presión de yacimiento (Psia)	920
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	159
	Cable de potencia	Cable # 4
	Motor	Power: 120 (HP)
		Voltaje: 1620 (Voltios)
Corriente: 47 (Amperios)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 78. Comportamiento de la bomba pozo UIS 13



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

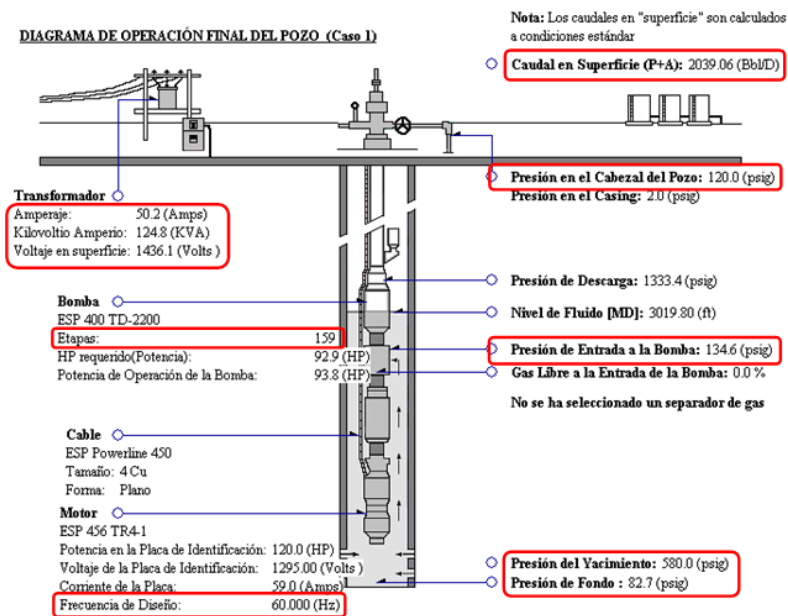
Tabla 27. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 13

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	6,366
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	1808,58
	Temperatura de la bomba (°F)	106,1
	Presión de cabeza (Psia)	73
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	88,6
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	28,5
	Temperatura del fluido (°F)	105
	Presión del yacimiento (Psia)	920
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	166,4
Índice de productividad (BBL/Psia)	2,4	

7.14. POZO UIS 14

En la siguiente gráfica se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 14.

Figura 79. Diseño actual pozo UIS 14



Fuente. Wood Group ESP

La entrada del variador del pozo UIS 14 no pudo ser medida, ya que por seguridad no se podía conectar el equipo a la salida del variador, debido a esto en el análisis no se verá datos para este pozo.

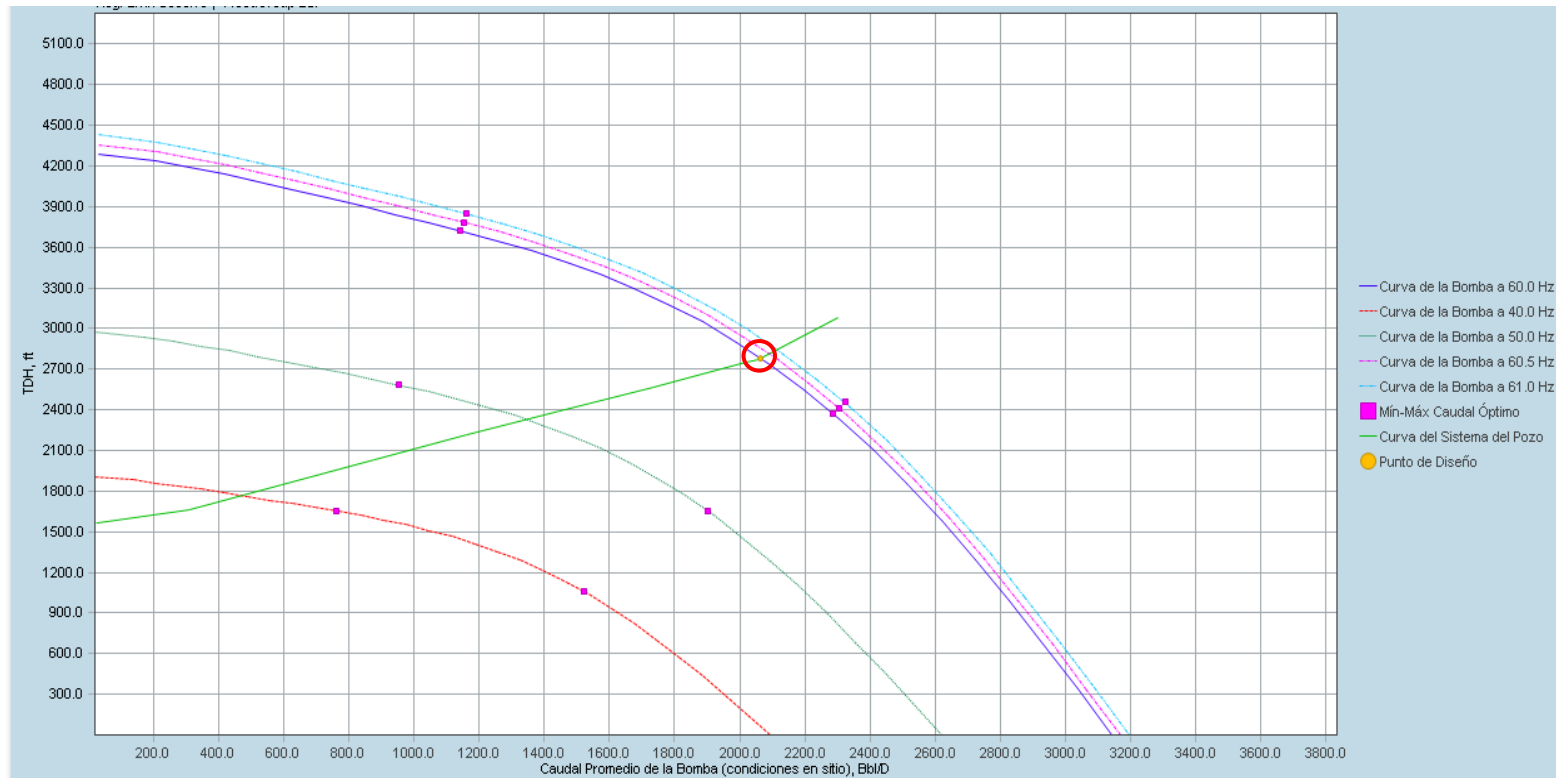
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 28. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 14

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1305
	Factor de potencia (%)	-
	Armónicos en corriente (%)	-
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	3200
	Gravedad API	28,1
	GOR (SCF/BBL)	23,63
	Corte de agua (%)	79
	Temperatura del fluido (°F)	105,3
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	4,1
	Presión de yacimiento (Psia)	580
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	159
	Cable de potencia	Cable # 4
	Motor	Power: 120 (HP)
		Voltaje: 1295 (Voltios)
Corriente: 59 (Amperios)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 80. Comportamiento de la bomba pozo UIS 14



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

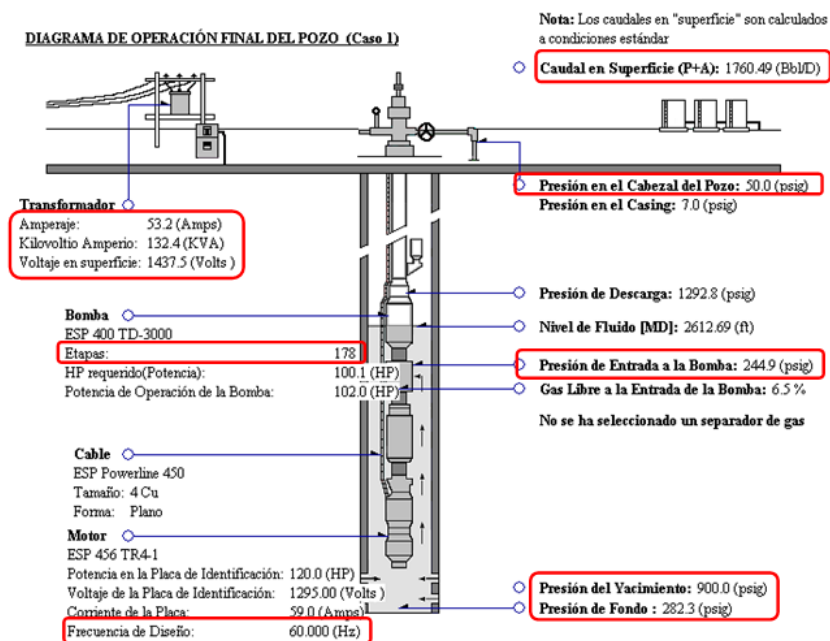
Tabla 29. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 14

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	6,366
	Diámetro interno del Tubing (in)	2.992
	Caudal de producción (BBL)	2039,06
	Temperatura de la bomba (°F)	105,3
	Presión de cabeza (Psia)	82
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	79
	Gravedad Especifica del agua	1,02
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	28,1
	Temperatura del fluido (°F)	105,3
	Presión del yacimiento (Psia)	580
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	82,7
Índice de productividad (BBL/Psia)	4,1	

7.15. POZO UIS 15

En la siguiente gráfica se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 15.

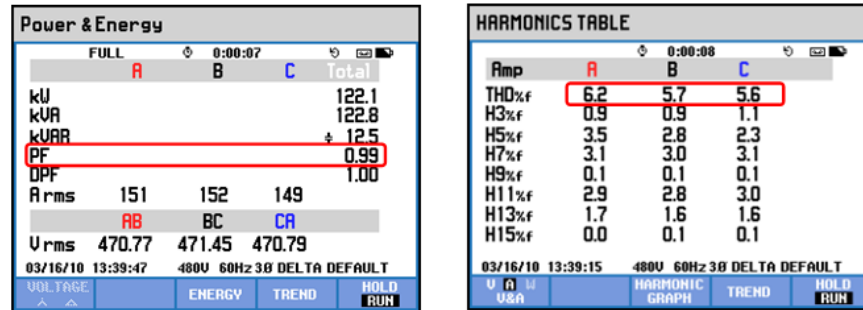
Figura 81. Diseño actual pozo UIS 15



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 82 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 82. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 15



Fuente. Wood Group ESP

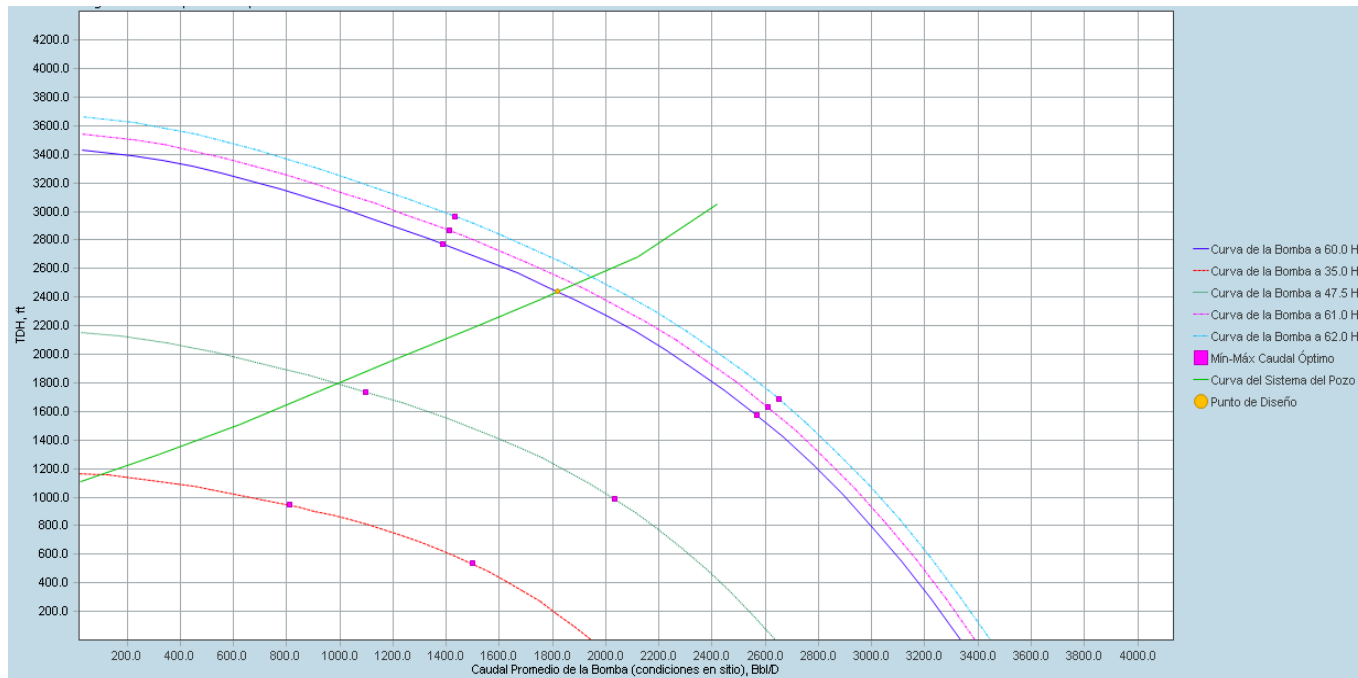
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 30. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 15

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1494
	Factor de potencia (%)	99
	Armónicos en corriente (%)	5,83
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	2700
	Gravedad API	30,1
	GOR (SCF/BBL)	735
	Corte de agua (%)	92,2
	Temperatura del fluido (°F)	114,2
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	2,85
	Presión de yacimiento (Psia)	900
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	178
	Cable de potencia	Cable # 4
	Motor	Power: 120 (HP)
		Voltaje: 1295 (Voltios)
Corriente: 59 (Amperios)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 83. Comportamiento de la bomba pozo UIS 15



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

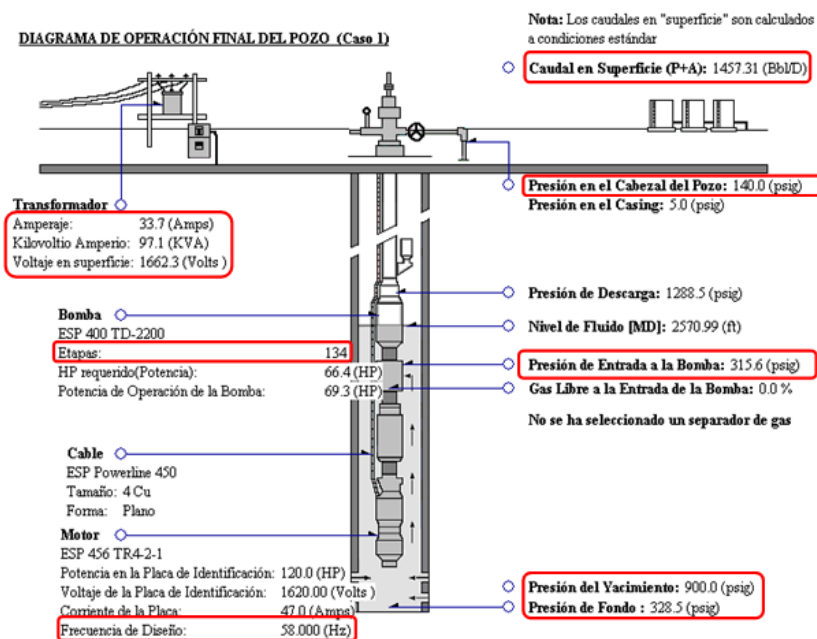
Tabla 31. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 15

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	6,366
	Diámetro interno del Tubing (in)	2,992
	Caudal de producción (BBL)	1760,49
	Temperatura de la bomba (°F)	114,2
	Presión de cabeza (Psia)	50
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	92,2
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0,065
	Gravedad API	30,1
	Temperatura del fluido (°F)	114,2
	Presión del yacimiento (Psia)	900
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	282,3
	Índice de productividad (BBL/Psia)	2,85

7.16. POZO UIS 16

En la siguiente gráfica se puede observar el diseño actual del equipo electrosumergible en el pozo UIS 16.

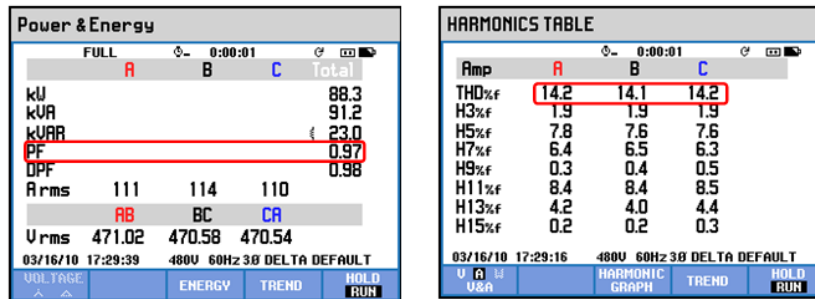
Figura 84. Diseño actual pozo UIS 16



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 85 se observa el factor de potencia y la distorsión armónica total en corriente.

Figura 85. Factor de potencia (izquierda) y Armónicos (derecha) del pozo UIS 16



Fuente. Wood Group ESP

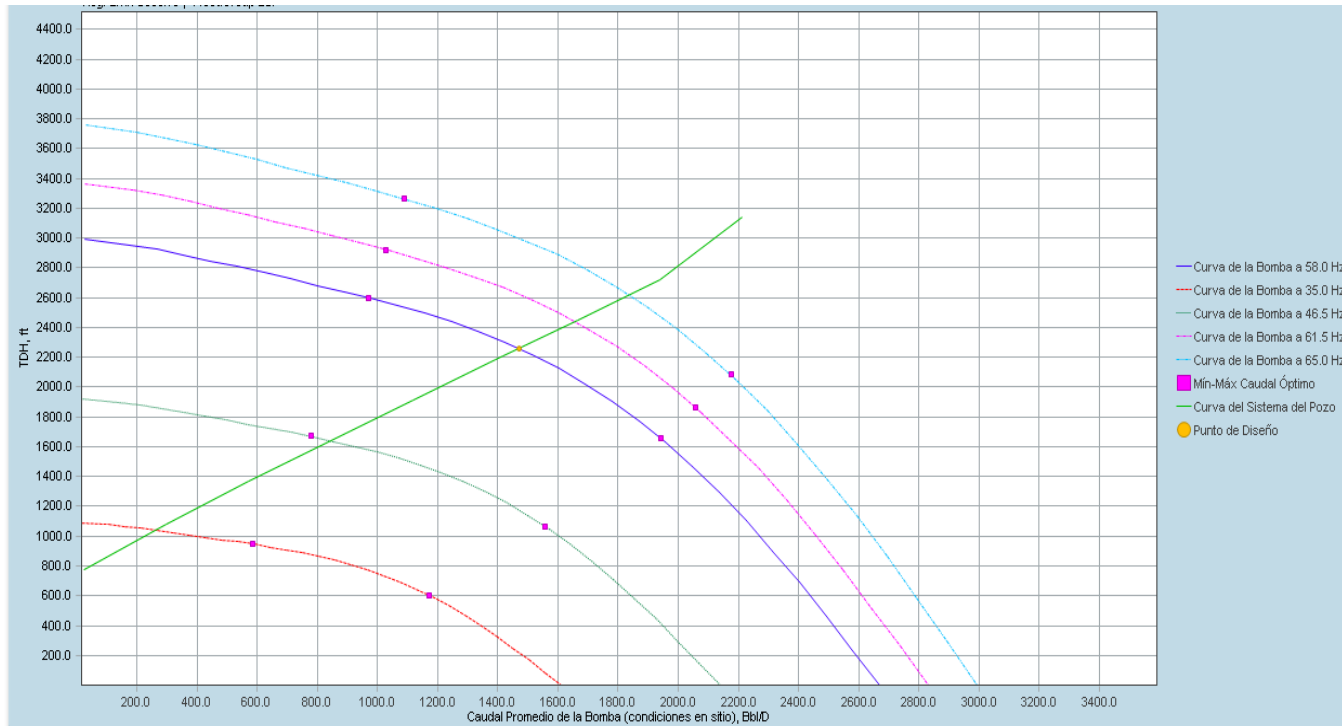
En la siguiente tabla se observa los parámetros que afectan el consumo eléctrico del sistema de bombeo electrosumergible.

Tabla 32. Parámetros que afectan el consumo del sistema BES pozo UIS 16

Parámetros de Superficie	Voltaje de motor (TAP)	1704
	Factor de potencia (%)	97
	Armónicos en corriente (%)	14,16
Parámetros de yacimiento	Cambio de diámetro	No
	Diámetro interno de la tubería de producción (in)	2,992
	Profundidad de asentamiento (ft)	3080
	Gravedad API	26,5
	GOR (SCF/BBL)	46,92
	Corte de agua (%)	92,6
	Temperatura del fluido (°F)	109,6
	Índice de productividad (BLPD/PSI)	2,55
	Presión de yacimiento (Psia)	900
Parámetros de Equipo	Número de etapas de la bomba	134
	Cable de potencia	Cable # 4
	Motor	Power: 120 (HP)
		Voltaje: 1620 (Voltios)
Corriente: 58 (Amperios)		

En la siguiente figura se presenta la eficiencia de la bomba electrosumergible a las condiciones actuales de diseño.

Figura 86. Comportamiento de la bomba pozo UIS 16



Fuente. Wood Group ESP

En la siguiente tabla se puede observar los parámetros que intervienen en el análisis nodal para reducir el consumo eléctrico.

Tabla 33. Parámetros que intervienen en el análisis nodal pozo UIS 16

Parámetros de pozo	Diámetro interno del Casing (in)	6,276
	Diámetro interno del Tubing (in)	2,992
	Caudal de producción (BBL)	1457,31
	Temperatura de la bomba (°F)	109,6
	Presión de cabeza (Psia)	140
Parámetros de yacimiento	Corte de agua (%)	92,6
	Gravedad Específica del agua	1
	Fracción libre de gas	0
	Gravedad API	26,5
	Temperatura del fluido (°F)	109,6
	Presión del yacimiento (Psia)	900
	Presión de pozo fluyendo (Pwf)	328,5
	Índice de productividad (BBL/Psia)	2,55

La tabla 34 se presenta de manera resumida los parámetros de interés del estudio de calidad y energía para poder realizar las comparaciones respectivas.

La configuración del TAP en el SUT, el voltaje entregado por el SUT, el voltaje de salida de variador, frecuencia y la potencia a la salida del variador, se toman del anexo 1 Predictivos del campo A y B, que consiste en tomas eléctricas que se hace a cada pozo periódicamente y los Kilo vatios (Kw) consumidos se toman de la figura de factor de potencia de cada pozo.

Tabla 34. Resumen parámetros de interés del estudio de calidad y energía

POZOS	CONFIGURACION TAP (SUT)	VOLTAJE ENTREGADO POR EL SUT (V)	VOLTAJE DE DISEÑO EN EL SUT (V)	FACTOR DE POTENCIA ENTRADA DEL VARIADOR	ARMONICOS A LA ENTRADA DEL VARIADOR (%)	FRECUENCIA (Hz)	VOLTAJE SALIDA DE VARIADOR (V)	POTENCIA A LA SALIDA DEL VARIADOR (KVA)	KW CONSUMIDOS (Kw)	KW DE DISEÑO (Kw)
UIS 1	1542	1384,6	1556,8	0,97	8,2	55	441	176,1	153,5	175
UIS 2	1375	1326	1374,4	0,98	10,06	65	473	132,4	113,4	129,4
UIS 3	1218	727,3	821	0,98	10,9	30	290	114,7	83,7	38,9
UIS 4	1329	1305	1386,3	0,97	16,4	49	469	118,5	98	115,9
UIS 5	1354	923	1292	0,97	12,83	41	331	89,1	44,7	69,6
UIS 6	1145	1000	1129,3	0,97	13,06	50,5	404	54,7	43	115,2
UIS 7	2436	1624	1732,5	0,97	10,9	40,5	322	66,5	52,9	54,9
UIS 8	1747	1547	1777,1	0,97	9,8	60,4	450	170,3	141,5	80,5
UIS 9	1653	1054	1080	0,97	11,63	41	310	111,3	92,7	73,5
UIS 10	1267	1223	1288,7	0,96	23,93	55	465	76,1	46,8	51,9
UIS 11	1189	1118	1251,8	0,97	9,6	58	451	123,9	104,6	90,2
UIS 12	1692	1638	1591,6	0,98	11,9	60	464	118	95,3	83,3
UIS 13	1730	1280	1716,6	0,98	12,1	48	355	124,3	103	96,2
UIS 14	1305	1230	1436,1	-	-	60	452	125	105,2	100,4
UIS 15	1494	1380	1437,5	0,99	5,83	60	442	141,2	122,1	106,9
UIS 16	1704	1633	1662,3	0,97	14,16	58	464	103,7	88,3	74,8

En la tabla 35 se observa un resumen de los parámetros para los rediseños del equipo BES.

Tabla 35. Resumen parámetros para rediseño

Pozos	Caudal (BBL/día)	GOR (SCF/BBL)	Corte agua (%)	Presión entrada a la bomba (PIP) (Psig)	Profundidad de asentamiento (ft)	Fuera de Rango de diseño	Levantamiento de la bomba (TDH) (ft)	Numero de etapas	Kilo watts de diseño (Kw)	Tubería de producción
UIS 1	4126,47	20,2	67	1341	4858	Si	1532,2	88	175	3 ½"
UIS 2	2101,59	17,98	51,2	658,7	4100	Si	2724,84	68	129,4	3 ½"
UIS 3	2907,06	30,76	86,5	1478,3	4175	Si	616,68	88	38,9	3 ½"
UIS 4	1081,01	16,58	35	289,5	5001	Si	3766,48	88	115,9	3 ½"
UIS 5	2047,22	17,73	9,3	567,2	4213	No	2641,06	178	69,6	3 ½"
UIS 6	952,01	18,27	60,9	472	4400	No	2898,38	90	115,2	3 ½"
UIS 7	897,48	17,44	30,9	582,5	3830	No	2564,51	90	54,9	3 ½"
UIS 8	3139,3	17,97	44	1283,1	4080	No	782,72	100	80,5	3 ½"
UIS 9	1488,2	19,98	65	818,9	3907	No	1976,11	90	73,5	3 ½"
UIS 10	986,92	17,61	31,8	646,8	4635	Si	2489,36	118	51,9	3 ½"
UIS 11	884,7	800	91	314,4	2922	No	1887,85	68	90,2	3 ½"
UIS 12	2077,93	52	89	97,8	3172	No	2650,86	178	83,3	3 ½"
UIS 13	1808,58	34,14	88,6	137,3	2766	No	2174,19	159	96,2	3 ½"
UIS 14	2039,06	23,63	79	134,6	3200	No	2770,53	159	100,4	3 ½"
UIS 15	1760,49	735	92,2	244,9	2700	No	2389,75	178	106,9	3 ½"
UIS 16	1457,31	46,92	92,6	315,6	3080	No	2210,29	134	74,8	3 ½"

8. ANÁLISIS DE DATOS

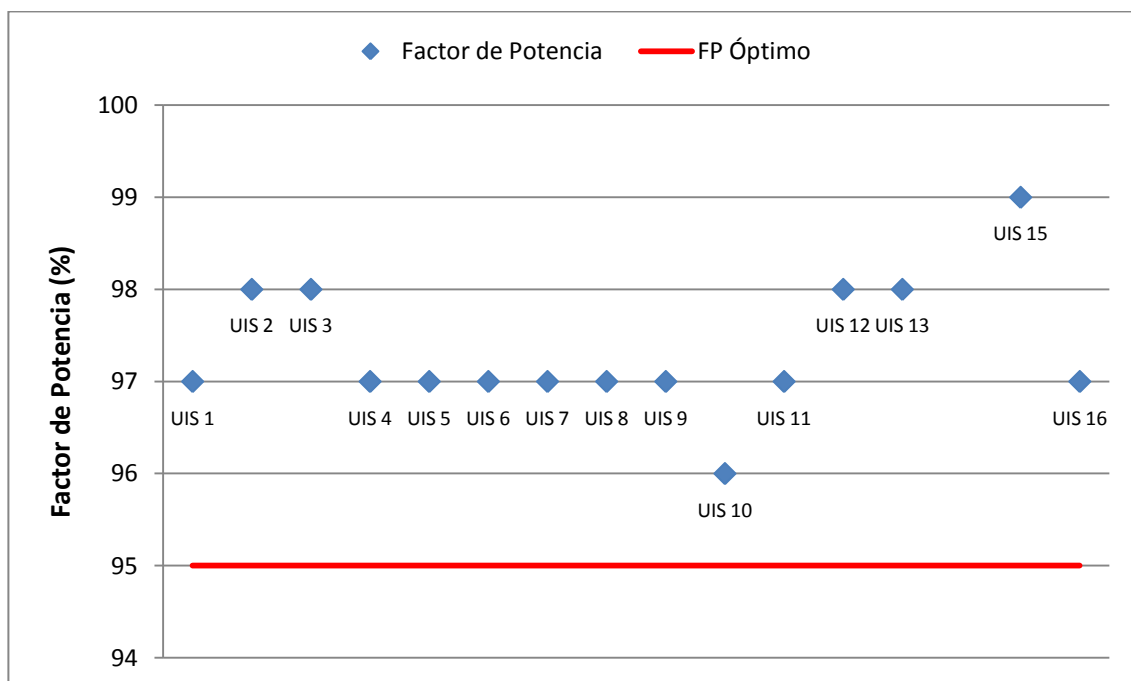
8.1. OPTIMIZACION DESDE SUPERFICIE (MANTENIENDO EL EQUIPO EN FONDO)

En esta parte del análisis se estudiará el comportamiento de los equipos en superficie para observar cómo se está aprovechando la energía eléctrica.

8.1.1. Factor de potencia

En la siguiente gráfica se recopilaron los factores de potencia de cada uno de los pozos obtenidos de la tabla de parámetros y se evaluaron con respecto al mínimo permisible que es del 95% para los variadores 12 pulsos.

Figura 87. Factor de potencia de los pozos



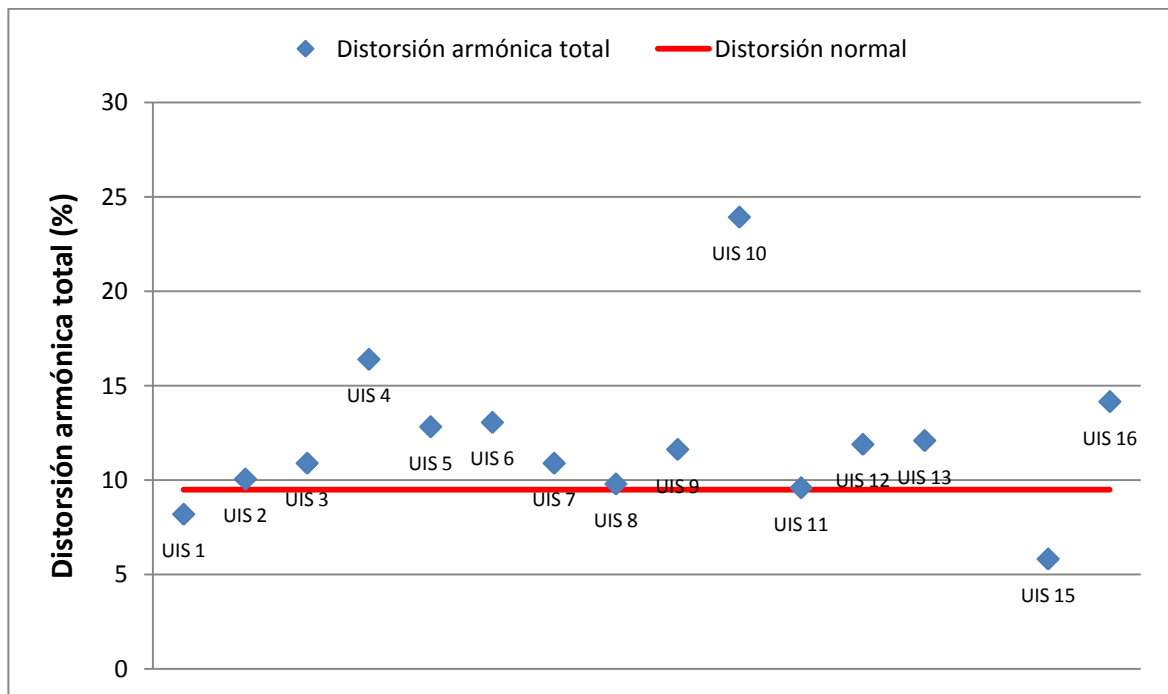
Fuente. Los Autores

En la figura 87 se observa que el 100% de los pozos de los dos campos, los factores de potencia se encuentran por encima del rango mínimo permitido, esto nos indica que la energía entregada por la fuente o generador está siendo eficientemente aprovechada.

8.1.2. Armónicos

En la siguiente figura se recopilaron los datos de armónicos obtenidos de la tabla de parámetros de los pozos y se evaluaron con respecto al mínimo permisible que es del 9.5% para los variadores 12 pulsos.

Figura 88. Distorsión armónica total de los pozos



Fuente. Los Autores

En la figura 88 se observa que solo los pozos UIS 1 y UIS 15 se encuentra por debajo del máximo permitido, lo cual nos indica que los 14 pozos restantes exceden el mínimo permisible, esto quiere decir que en el 86% de los pozos se puede presentar una disminución en el factor de potencia debido a la distorsión armónica, lo cual se ve reflejada en recalentamiento del equipo, esto eleva el consumo de electricidad lo que genera más gasto en consumo de energía. Para mejorar esto, analizaremos la carga del variador, obteniendo un porcentaje de carga que se calculará de la siguiente manera:

$$\% \text{ DE CARGA} = X \text{ KVA} * \frac{100 \%}{Y \text{ KVA}}$$

Ecuación 5

Donde:

X = Potencia a la salida del variador (KVA)

Y = Potencia del variador (KVA)

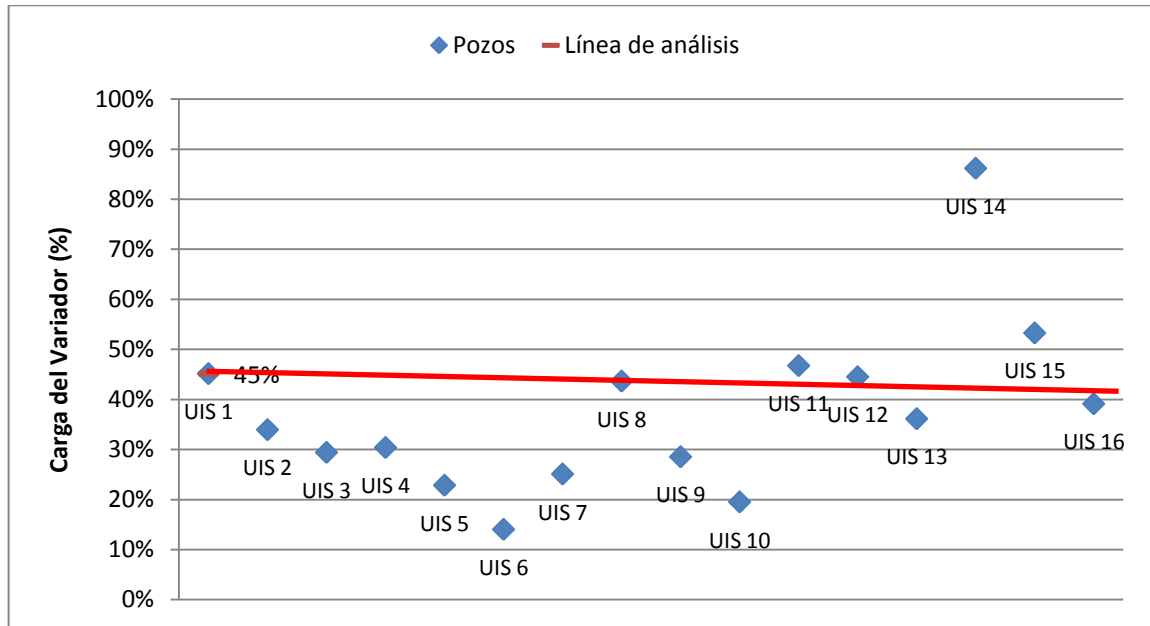
En la tabla 36 tabulan los datos de las cargas a la salida del variador de los pozos con sus respectivos porcentajes de carga.

Tabla 36. Cargas de los variadores

POZOS	POTENCIA DEL VARIADOR (KVA)	POTENCIA A LA SALIDA DEL VARIADOR (KVA)	Porcentaje de carga (%)
UIS 1	390	176,1	45
UIS 2	390	132,4	34
UIS 3	390	114,7	29
UIS 4	390	118,5	30
UIS 5	390	89,1	23
UIS 6	390	54,7	14
UIS 7	265	66,5	25
UIS 8	390	170,3	44
UIS 9	390	111,3	29
UIS 10	390	76,1	20
UIS 11	265	123,9	47
UIS 12	265	118	45
UIS 13	344	124,3	36
UIS 14	145	125	86
UIS 15	265	141,2	53
UIS 16	265	103,7	39

En la siguiente figura se observa la dispersión de los porcentajes de carga.

Figura 89. Carga del variador de los pozos



Fuente. Los Autores

En la figura se observa que los pozos UIS 1, UIS 8, UIS 11 y UIS 15 están cerca al 45 % de carga y su distorsión armónica total en corriente es menor o cercano al 9,5 %, que es el valor aceptado para los variadores 12 pulsos, se analizó una línea de tendencia entre los variadores del pozo UIS1 y UIS 8 que son de los equipos con más alta carga y con menor porcentaje de armónicos lo que puede indicar que al subir la carga de los demás variadores por encima de esta línea que está cerca al 45 % podría llevar el resto de los equipos a disminuir el porcentaje de armónicos por debajo de lo establecido para este tipo de variadores, se recomienda verificar estos valores.

8.1.3. Voltaje

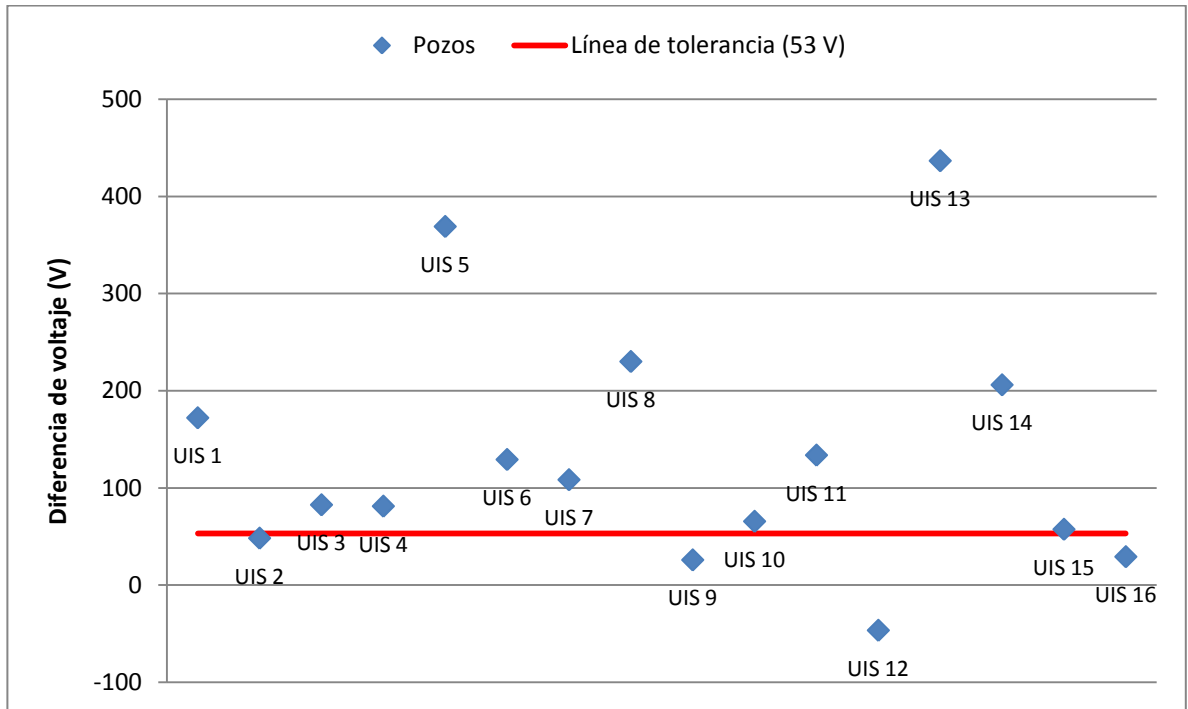
En la siguiente tabla se recopilaron los datos de configuración del TAP, voltajes entregados por el SUT, voltajes de diseño en el SUT y la diferencia entre estos dos últimos para cada uno de los pozos de los dos campos. . El valor de 53 voltios se toma como el valor permisible entre el voltaje entregado por el SUT y el voltaje de diseño.

Tabla 37. Datos de voltaje en superficie

POZOS	CONFIGURACION TAP (SUT)	VOLTAJE ENTREGADO POR EL SUT (V)	VOLTAJE DE DISEÑO EN EL SUT (V)	DIFERENCIA VOLTAJE ENTREGADO Y DEL DISEÑO (V)
UIS 1	1542	1384,6	1556,8	172,2
UIS 2	1375	1326	1374,4	48,4
UIS 3	1218	727,3	810	82,7
UIS 4	1329	1305	1386,3	81,3
UIS 5	1354	923	1292	369
UIS 6	1145	1000	1129,3	129,3
UIS 7	2436	1624	1732,5	108,5
UIS 8	1747	1547	1777,1	230,1
UIS 9	1653	1054	1080	26
UIS 10	1267	1223	1288,7	65,7
UIS 11	1189	1118	1251,8	133,8
UIS 12	1692	1638	1591,6	-46,4
UIS 13	1730	1280	1716,6	436,6
UIS 14	1305	1230	1436,1	206,1
UIS 15	1494	1380	1437,5	57,5
UIS 16	1704	1633	1662,3	29,3

En la siguiente gráfica se evalúan las diferencias entre el voltaje entregado por el SUT y el voltaje de diseño del SUT para los pozos a analizar, con respecto a la diferencia mínima de 53 voltios.

Figura 90. Diferencia de voltaje de los pozos



Fuente. Los Autores

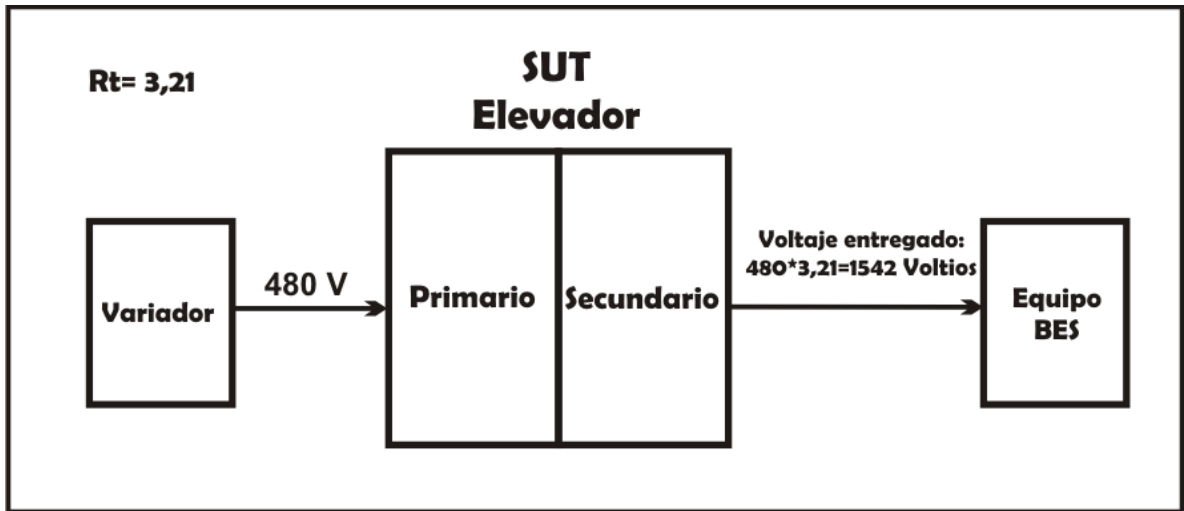
En la figura 90 se observa que los pozos UIS 2, UIS 9 y UIS 16 son los únicos que su diferencia de voltajes se encuentra dentro del rango de voltaje de TAP establecido, el pozo UIS 12 tiene un valor de voltaje negativo por eso se ve debajo de la línea cero. Esto nos conlleva a optimizar el valor del TAP para disminuir la diferencia de voltajes del resto de pozos.

Esto se hace utilizando la relación de transformación, que es el valor del TAP sobre el voltaje máximo del variador, en este casos los voltajes para todos los variadores de los pozos analizados es 480 Voltios.

$$R_t = \frac{\text{Valor TAP}}{480} \qquad \text{Ecuación 6}$$

En la siguiente imagen se puede observar el proceso de elevación de voltaje.

Figura 91. Proceso de elevación del voltaje



Fuente. Adaptado del artículo componentes del sistema de bombeo electrosumergible.

Donde el variador entrega un voltaje de salida al SUT y este por medio de la relación de transformación eleva el voltaje multiplicando el voltaje de salida del variador por la relación de transformación y así se determina el voltaje que debe llegar al equipo de bombeo electrosumergible.

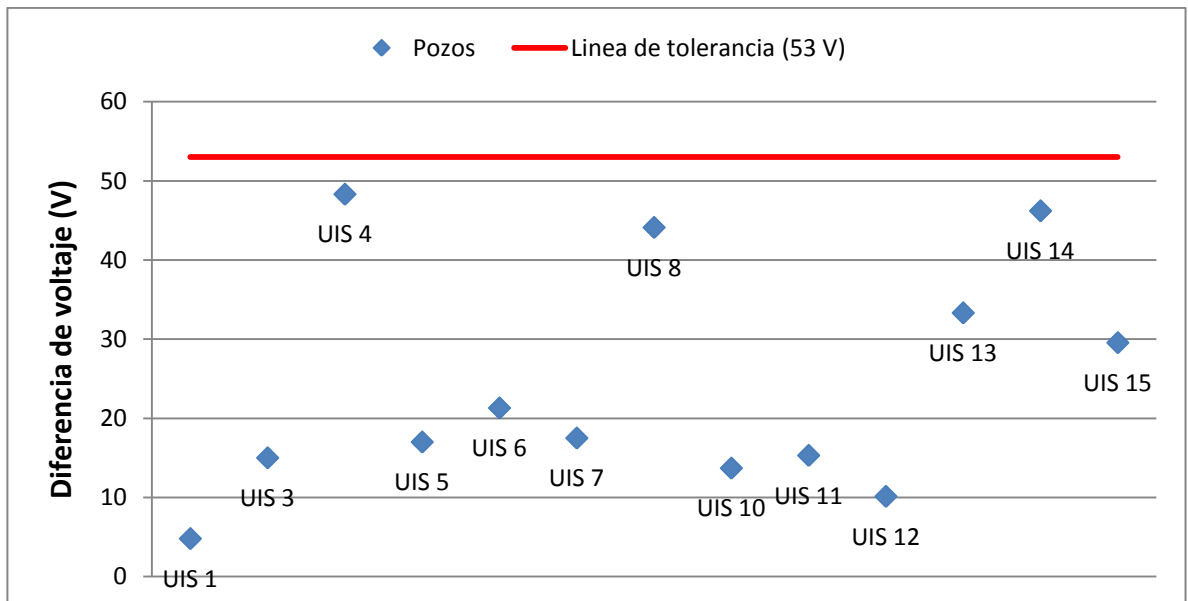
En la siguiente tabla se hacen recalculos en los TAP's para llevar a que la diferencia de voltaje de diseño y del voltaje real este dentro de la diferencia mínima de 53 voltios. El valor del TAP sugerido se obtiene del anexo 2 Tabla de valores de TAP.

Tabla 38. TAP recalculado en el transformador elevador

POZO	TAP Sugerido	Relacion transformación	Voltaje salida VSD (V)	Voltaje Calculado (V)	Voltaje diseño (V)	Diferencia de voltajes (V)
UIS 1	1689	3,52	441	1552	1556,8	5
UIS 3	1316	2,74	290	795	810	15
UIS 4	1369	2,85	469	1338	1386,3	48
UIS 5	1849	3,85	331	1275	1292	17
UIS 6	1316	2,74	404	1108	1129,3	21
UIS 7	2556	5,33	322	1715	1732,5	18
UIS 8	1849	3,85	450	1733	1777,1	44
UIS 10	1316	2,74	465	1275	1288,7	14
UIS 11	1316	2,74	451	1236	1251,8	15
UIS 12	1636	3,41	464	1581	1591,6	10
UIS 13	2276	4,74	355	1683	1716,6	33
UIS 14	1476	3,08	452	1390	1436,1	46
UIS 15	1529	3,19	442	1408	1437,5	30

En la siguiente figura se muestra la optimización realizada para los pozos a analizar.

Figura 92. Optimización en recalculos de los TAP's



Fuente. Los Autores

En la figura 92 se observan que todos los pozos se optimizaron de manera eficiente, para que la diferencia de voltajes se encuentre dentro del rango establecido.

8.2. REDISEÑAR EL EQUIPO DE FONDO

Para realizar el rediseño del equipo de fondo, se analizó las figuras de comportamiento de la bomba electrosumergible de cada pozo, se mira que la curva del sistema del pozo (línea verde) se encontrará dentro de los puntos demarcados de caudal mínimo y máximo a las diferentes frecuencias, estos puntos forman un tornado que se denota tornado de eficiencia, aquellas figuras que se encontraran por fuera del tornado de eficiencia aplican para rediseño.

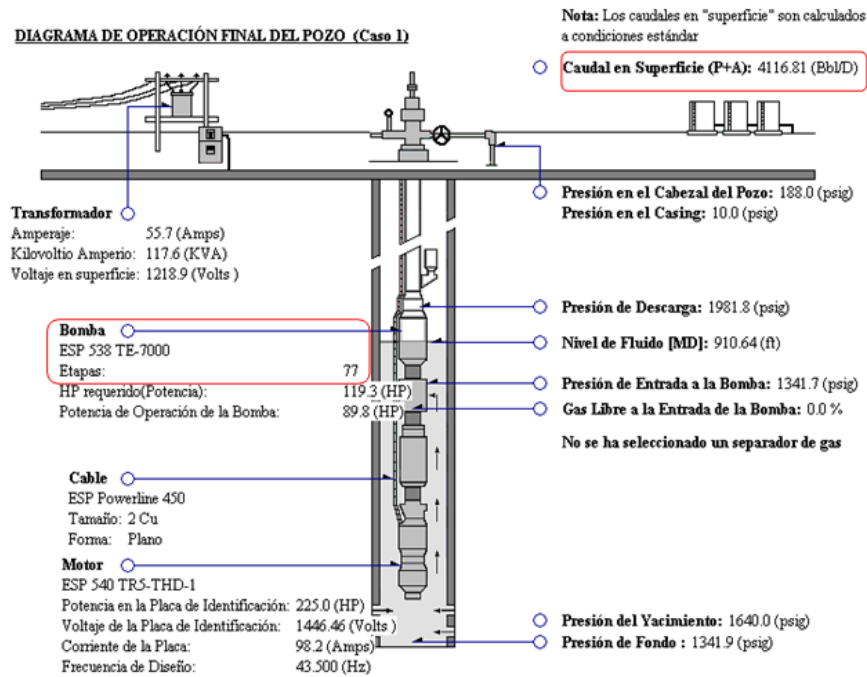
Observamos de la tabla 35 que en los pozos UIS1, UIS2, UIS3, UIS4 Y UIS10, la figura de eficiencia de la bomba electrosumergible se encuentra fuera de las condiciones de diseño actuales, para lo cual se requiere efectuar un rediseño mediante una simulación, variando, tipo de bomba, número de etapas y tipo de cable. En el rediseño se busca disminuir la frecuencia de diseño de 35 a 40 Hertz obteniendo el mismo caudal de producción para que a futuro se pueda aumentar la frecuencia y así aumentar la producción.

Al realizar el rediseño se espera una disminución en el consumo de kilo watts para lograr un ahorro económico y lograr que la bomba electrosumergible trabaje dentro de la eficiencia. Y otro concepto muy importante es el levantamiento de la bomba, para lograr un buen rediseño se debe lograr por lo menos el mismo levantamiento o mayor.

8.2.1. Rediseño UIS 1

En la figura 93 se observa el resultado de la simulación de la optimización, el rediseño se hizo a 43,5 Hertz.

Figura 93. Rediseño pozo UIS 1



Fuente. Wood Group ESP

Para el rediseño del pozo UIS1 se cambiaron los siguientes parámetros en el equipo:

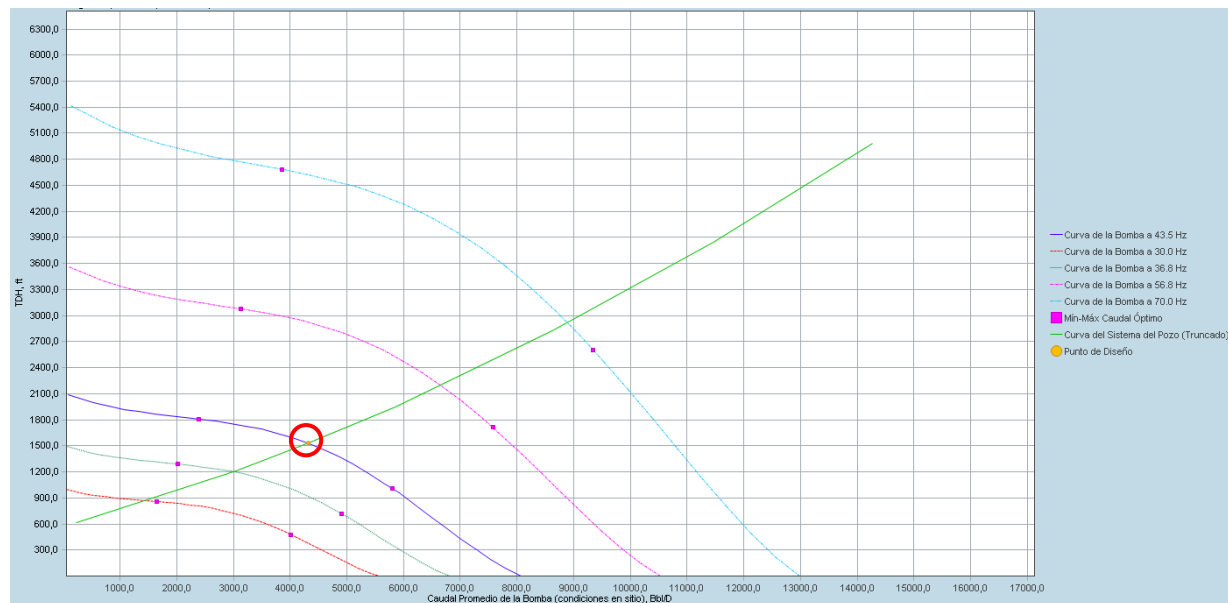
Tabla 39. Parámetros cambiados en el rediseño del pozo UIS 1

Parámetros	Antes del Rediseño	Después del Rediseño
Tipo de bomba ⁵	5500	7000
Número de etapas	88	77
Cable de potencia	# 2	# 2
Levantamiento total de la bomba (ft)	1532,2	1530,33

⁵ El número asignado al tipo de bomba se refiere a la cantidad de barriles que levanta la bomba a su máxima eficiencia, es decir que el tipo de bomba 5500, a su máxima eficiencia levantará 5500 barriles.

La siguiente figura muestra el comportamiento de la curva de eficiencia de la bomba después de los cambios realizados en el equipo del sistema de bombeo electrosumergible para el pozo UIS1.

Figura 94. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 1



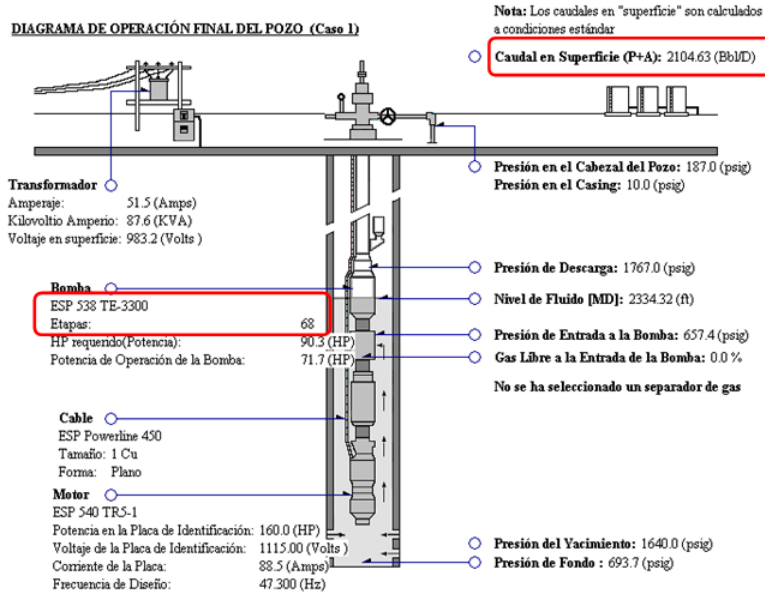
Fuente. Wood Group ESP

En la figura 94 se observa que la curva del sistema del pozo (línea verde) se encuentra dentro de los puntos de eficiencia de la bomba electrosumergible y a futuro se podrá subir la frecuencia obteniendo así más caudal y además la bomba trabajará dentro de la eficiencia deseada.

8.2.2. Rediseño UIS 2

En la figura 95 se puede observar la optimización realizada al pozo UIS 2, este rediseño se hizo a 47,3 Hertz.

Figura 95. Rediseño pozo UIS 2



Fuente. Wood Group ESP

Para el rediseño del pozo UIS2 se cambiaron los siguientes parámetros en el equipo:

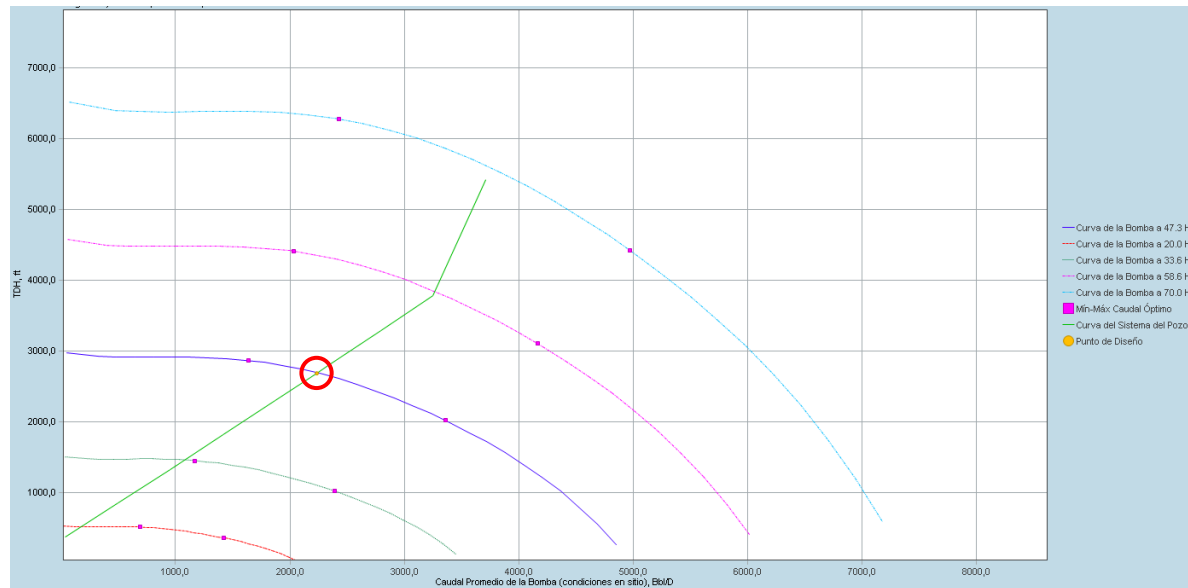
Tabla 40. Parámetros cambiados en el rediseño del pozo UIS 2

Parámetros	Antes del Rediseño	Después del Rediseño
Tipo de bomba	1500 ⁶	3300
Número de etapas	68	68
Cable de potencia	# 2	# 1
Levantamiento total de la bomba (ft)	2724,84	2689,83

⁶ El número asignado al tipo de bomba se refiere a la cantidad de barriles que levanta la bomba a su máxima eficiencia, es decir que el tipo de bomba 1500, a su máxima eficiencia levantará 1500 barriles.

La siguiente figura muestra el comportamiento de la curva de eficiencia de la bomba después de los cambios realizados en el equipo del sistema de bombeo electrosumergible para el pozo UIS 2.

Figura 96. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 2



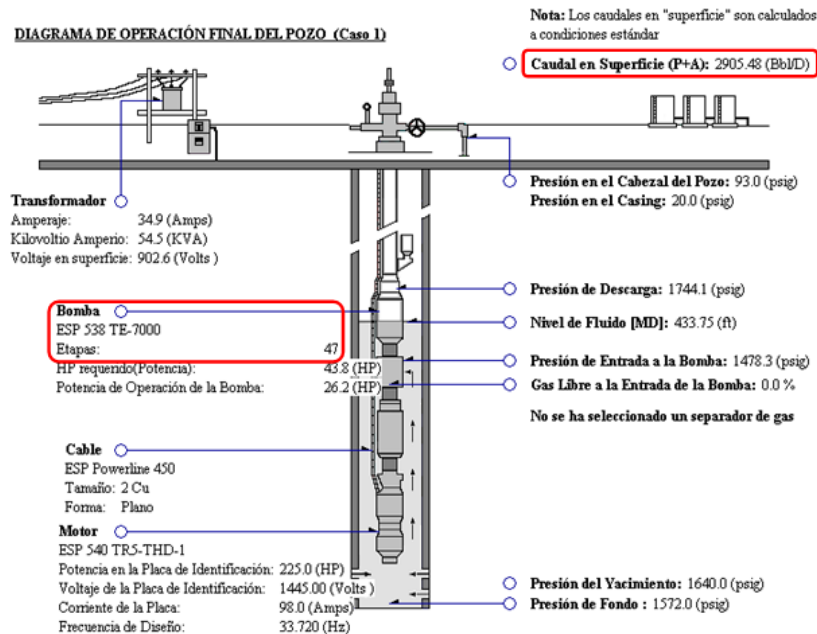
Fuente. Wood Group ESP

En la figura 96 observa que la curva del sistema del pozo (línea verde) se encuentra dentro de los puntos de eficiencia de la bomba electrosumergible y a futuro se podrá subir la frecuencia obteniendo así más caudal y además la bomba trabajará dentro de la eficiencia deseada.

8.2.3. Rediseño UIS 3

En la figura 97 se puede observar la optimización realizada al pozo UIS 3, el rediseño se realizó a 33,72 Hertz.

Figura 97. Rediseño pozo UIS 3



Fuente. Wood Group ESP

Para el rediseño del pozo UIS 3 se cambiaron los siguientes parámetros en el equipo:

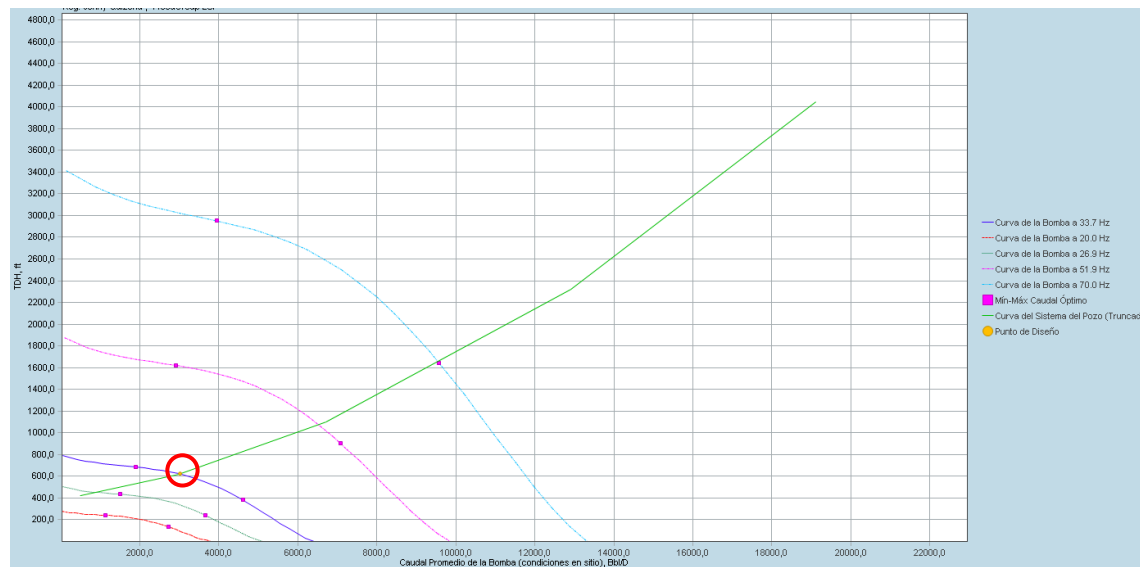
Tabla 41. Parámetros cambiados en el rediseño pozo UIS 3

Parámetros	Antes del Rediseño	Después del Rediseño
Tipo de bomba	5500 ⁷	7000
Número de etapas	88	47
Cable de potencia	# 2	# 2
Levantamiento total de la bomba (ft)	616,68	621,87

⁷ El número asignado al tipo de bomba se refiere a la cantidad de barriles que levanta la bomba a su máxima eficiencia, es decir que el tipo de bomba 5500, a su máxima eficiencia levantará 5500 barriles.

La siguiente muestra el comportamiento de la curva de eficiencia de la bomba después de los cambios realizados en el equipo del sistema de bombeo electrosumergible para el pozo UIS 3.

Figura 98. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 3



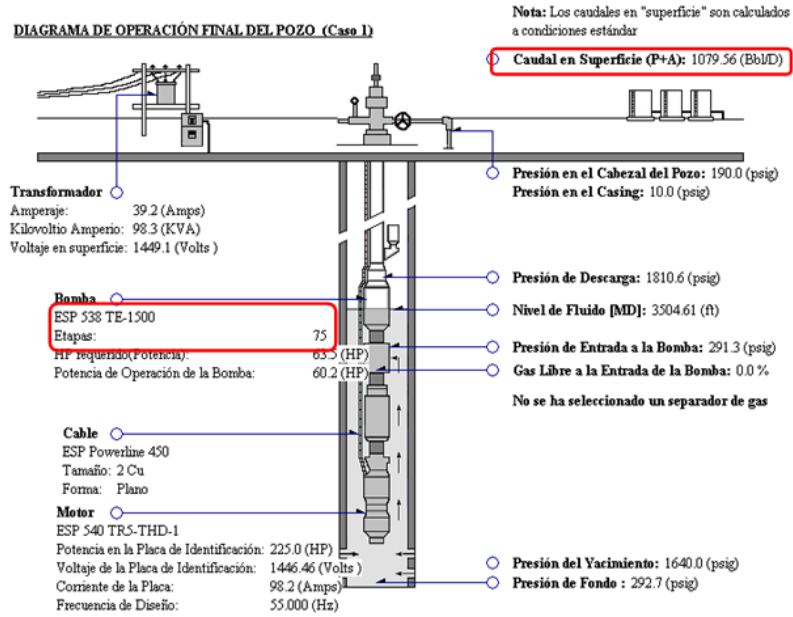
Fuente. Wood Group ESP

En la figura 98 observa que la curva del sistema del pozo (línea verde) se encuentra dentro de los puntos de eficiencia de la bomba electrosumergible y a futuro se podrá subir la frecuencia obteniendo así más caudal y además la bomba trabajará dentro de la eficiencia deseada.

8.2.4. Rediseño UIS 4

En la figura 99 se observa la optimización realizada al pozo UIS 4, el rediseño se hizo a 55 Hertz.

Figura 99. Rediseño pozo UIS 4



Fuente. Wood Group ESP

Para el rediseño del pozo UIS4 se cambiaron los siguientes parámetros en el equipo:

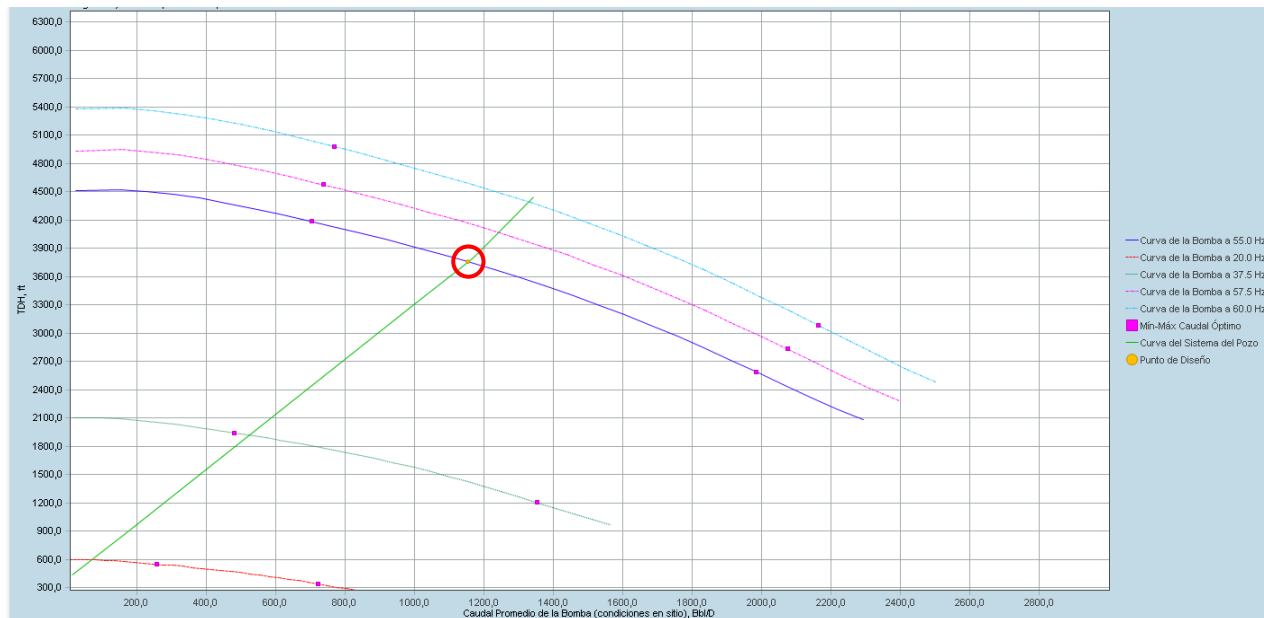
Tabla 42. Parámetros cambiados en el rediseño pozo UIS 4

Parámetros	Antes del Rediseño	Después del Rediseño
Tipo de bomba	5500 ⁸	1500
Número de etapas	88	75
Cable de potencia	# 2	# 2
Levantamiento total de la bomba (ft)	3766,48	3761,07

⁸ El número asignado al tipo de bomba se refiere a la cantidad de barriles que levanta la bomba en su máxima eficiencia, es decir tipo de bomba 5500, levantará 5500 barriles en su máxima eficiencia.

La siguiente figura muestra el comportamiento de la curva de eficiencia de la bomba después de los cambios realizados en el equipo del sistema de bombeo electrosumergible para el pozo UIS 4.

Figura 100. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 4



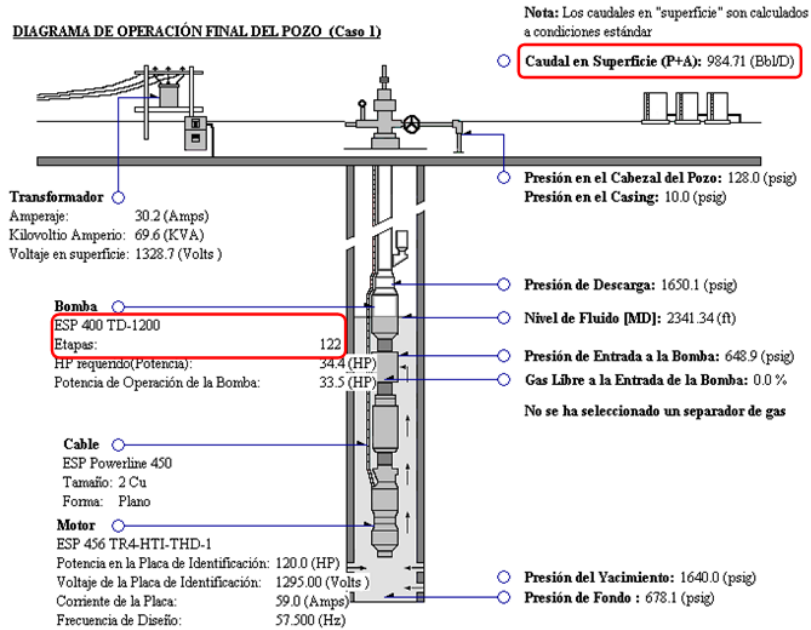
Fuente. Wood Group ESP

En la figura 100 observa que la curva del sistema del pozo (línea verde) se encuentra dentro de los puntos de eficiencia de la bomba electrosumergible y a futuro se podrá subir la frecuencia obteniendo así más caudal y además la bomba trabajará dentro de la eficiencia deseada.

8.2.5. Rediseño UIS 10

En la figura 101 se observa la optimización realizada al pozo UIS 10, el rediseño se realizó a 57,5 Hertz.

Figura 101. Rediseño pozo UIS 10



Fuente. Wood Group ESP

Para el rediseño del pozo UIS10 se cambiaron los siguientes parámetros en el equipo:

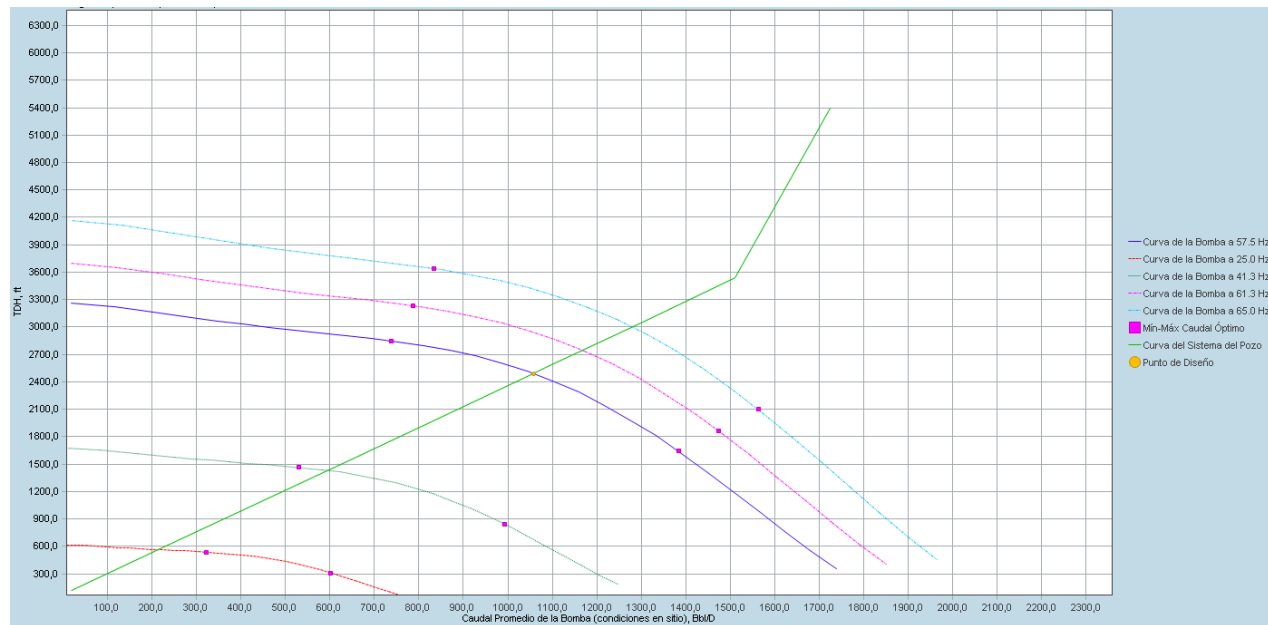
Tabla 43. Parámetros cambiados en el rediseño pozo UIS 10

Parámetros	Antes del Rediseño	Después del Rediseño
Tipo de bomba	3000 ⁹	1200
Número de etapas	118	122
Cable de potencia	# 2	# 2
Levantamiento total de la bomba (ft)	2489,36	2492,83

⁹ El número asignado al tipo de bomba se refiere a la cantidad de barriles que levanta la bomba a su máxima eficiencia, es decir que el tipo de bomba 3000, a su máxima eficiencia levantará 3000 barriles.

La siguiente figura muestra el comportamiento de la curva de eficiencia de la bomba después de los cambios realizados en el equipo del sistema de bombeo electrosumergible para el pozo UIS 10.

Figura 102. Comportamiento de la bomba después del rediseño pozo UIS 10



Fuente. Wood Group ESP

En la figura 102 observa que la curva del sistema del pozo (línea verde) se encuentra dentro de los puntos de eficiencia de la bomba electrosumergible y a futuro se podrá subir la frecuencia obteniendo así más caudal y además la bomba trabajará dentro de la eficiencia deseada.

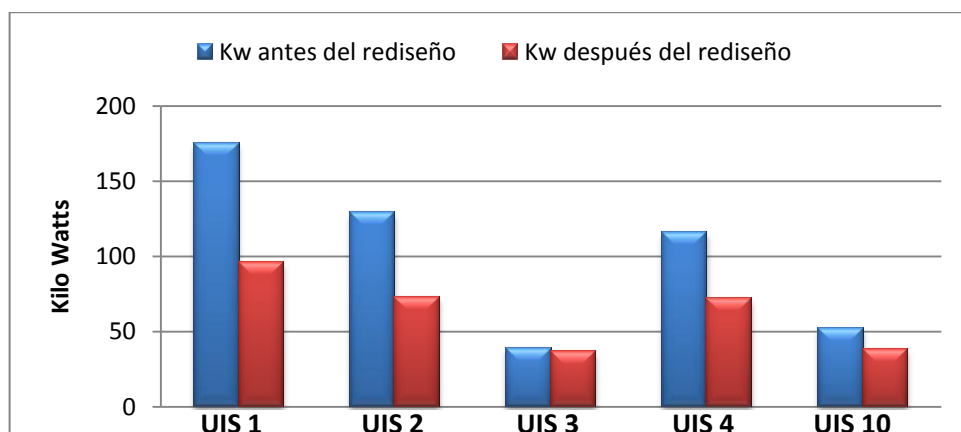
La siguiente tabla presenta un resumen de las mejoras después del rediseño en cuanto a la reducción de los Kilo Watts, rediseñando a frecuencias dentro del rango de 35 a 55 Hertz, para realizar el análisis económico se procuro que el levantamiento de fluido fuera muy similar, se tabulan los datos de frecuencia, Kilo watts antes y después del rediseño el ahorro respectivo manteniendo producción.

Tabla 44. Resumen de las variables mejoradas después del rediseño

POZOS	FRECUENCIA USADA PARA EL REDISEÑO (Hrz)	Kw ANTES DEL REDISEÑO	Kw DESPUÉS DEL REDISEÑO	AHORRO DE Kw (%)	PRODUCCIÓN ANTES DEL REDISEÑO (Bbl/D)	PRODUCCIÓN DESPUÉS DEL REDISEÑO (Bbl/D)
UIS 1	43,5	175	96,2	45%	4126,27	4116,81
UIS 2	47,3	129,4	72,9	44%	2101,59	2104,63
UIS 3	33,7	38,9	36,3	7%	2907,06	2905,48
UIS 4	55	115,9	72,1	38%	1081,01	1079,56
UIS 10	57,5	51,9	38,6	26%	986,92	984,71

En la figura 103 se puede observar la disminución en kilo watts antes y después de la mejora, se ve que en todos los pozos hubo disminución, lo cual nos representa ahorro en los consumos eléctricos.

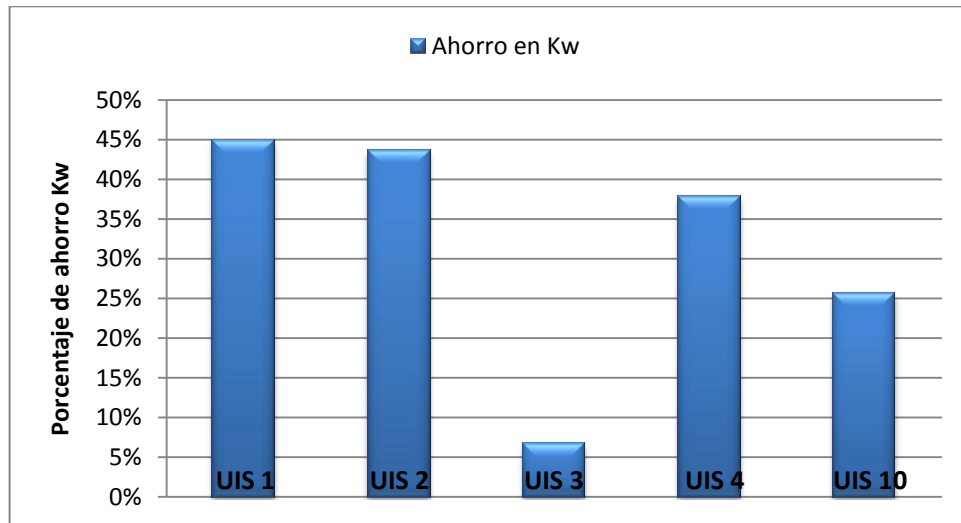
Figura 103. Disminución de Kilo watts después del rediseño



Fuente. Los Autores

En la figura 104 se observa el porcentaje de ahorro que gana cada pozo al realizar el rediseño, en todos los pozos se ahorra consumo de Kw lo cual representa un importante ahorro en cuanto a consumo eléctrico.

Figura 104. Porcentaje de ahorro de kilo watts



Fuente. Los Autores

En la tabla 45 se tabulan la relación entre los barriles producidos al día con los Kw requeridos por el equipo, obteniendo los barriles al día producidos por Kilo watt consumido.

Tabla 45. Relación barriles producidos con kilo watts consumidos

Pozo	Barriles producidos por Kw antes del rediseño	Barriles producidos por Kw después del rediseño
UIS1	23,6	42,8
UIS 2	16,2	28,9
UIS 3	74,7	80
UIS 4	9,3	15
UIS 10	19	25,5

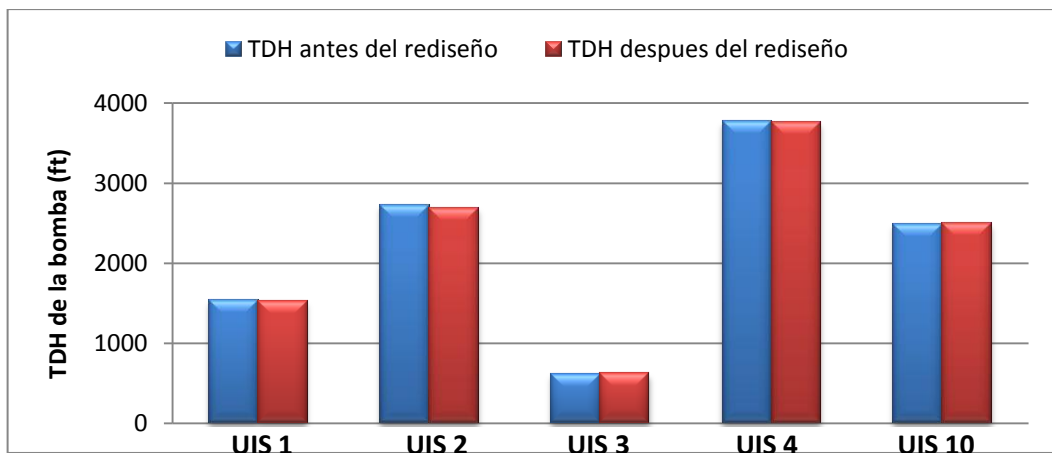
En la tabla 46 se presenta un resumen del levantamiento total de la bomba (TDH) antes y después del rediseño y del número de etapas antes y después del rediseño. También se observa como cambiaron las frecuencias.

Tabla 46. Levantamiento y número de etapas antes y después del rediseño

Pozos	TDH de la bomba antes del rediseño	TDH de la bomba después del rediseño	Número de etapas antes del rediseño	Número de etapas después del rediseño	Frecuencia antes del rediseño	Frecuencia después del rediseño
UIS 1	1532,2	1530,33	88	77	55	43,5
UIS 2	2714,84	2689,83	68	68	65	47,3
UIS 3	616,68	621,87	88	47	30	33,7
UIS 4	3766,48	3761,07	88	75	49	55
UIS 10	2489,36	2492,83	118	122	55	57,5

En la figura 105 se observa que el levantamiento total de la bomba (TDH) antes y después del rediseño son similares manteniendo la misma producción, pero en 2 de los casos el rediseño esta dado a una frecuencia más baja del diseño actual lo cual nos dará más producción a futuro cuando se aumente esta frecuencia, los pozos UIS 3, UIS 4 y UIS 10 se rediseño a una frecuencia más alta, pero aun así tiene mucho rango para subir la frecuencia.

Figura 105. Levantamiento antes y después del rediseño



Fuente. Los Autores

En la tabla 47 se observa el levantamiento por etapas antes y después del rediseño, para calcularlo se divide el levantamiento total de la bomba sobre el número de etapas.

Tabla 47. Levantamiento por etapas

Pozos	Levantamiento por etapa antes rediseño	Levatamiento por etapa despues rediseño
UIS 1	17,4	19,9
UIS 2	39,9	39,6
UIS 3	7,0	13,2
UIS 4	42,8	50,1
UIS 10	21,1	20,4

En la siguiente tabla se muestran las frecuencias y los caudales de producción para cada pozo, y adicionalmente la máxima producción que se logra aumentando la frecuencia.

Tabla 48. Frecuencias y producción de cada pozo actuales y con máximos caudales.

Pozo	Condiciones actuales		A futuro	
	Frecuencia	Caudal (BBL/día)	Frecuencia	Caudal (BBL/día)
UIS 1	43,5	4116,63	58	6500
UIS 2	47,3	2104,6	59	3120
UIS 3	33,7	2905,4	52	6800
UIS 4	55	1079,56	60	1600
UIS 5	55	2047,2	60	2540
UIS 6	50,5	952	60	1300
UIS 7	43	897,4	55	1400
UIS 8	35	3139,3	60	7000
UIS 9	41	1488,2	60	2880
UIS 10	57,5	984,7	65	1200
UIS 11	60	884,7	65	1000
UIS 12	55	2077,9	59	2500
UIS 13	60	1808,5	65	2000
UIS 14	60	2039	65	2200
UIS 15	60	1760,5	65	2200
UIS 16	58	1457,3	65	1800

8.3. WORKOVER Y REDISEÑO DE TUBERÍA POR MEDIO DE ANÁLISIS NODAL

Para realizar el rediseño de tubería se usará análisis nodal, este análisis nodal se llevará a cabo por medio de un software de análisis nodal, cuyo funcionamiento y montaje del pozo se explica en el anexo 1, este procedimiento se llevo a cabo para todos los pozos, los datos utilizados se encuentran en la tabla de parámetros que intervienen en análisis nodal de cada pozo en el capítulo 7.

El análisis nodal se realizará desde el yacimiento hasta la cabeza de pozo.

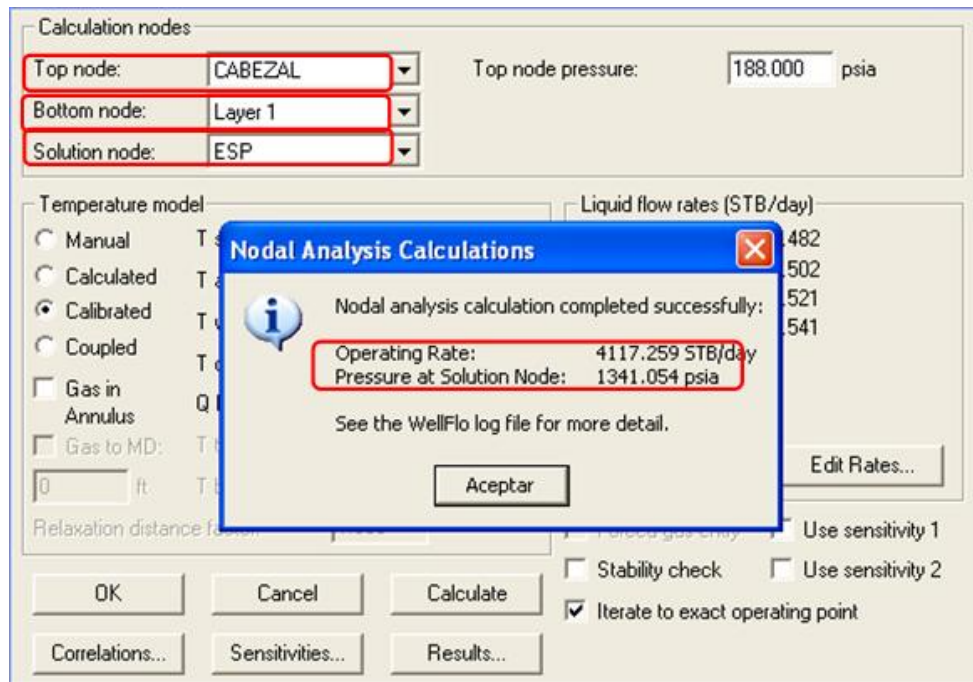
Como el análisis nodal se aplicará al sistema de bombeo electrosumergible, entonces el *top node* será la cabeza de pozo (CABEZAL), el *bottom node* será la formación productora (Layer 1) y el *solution node* será el sistema de bombeo electrosumergible (ESP) la presión del nodo solución en este caso será la presión de entrada a la bomba (PIP).

Para realizar un análisis nodal más profundo, se cambiará el parámetro del diámetro interno de la tubería de producción por tuberías de mayor diámetro 4½"(Diámetro interno 3,958) y 5½"(Diámetro interno 4,950) pulgadas, para observar como varia la producción del pozo con el mismo equipo y mirar el consumo que tiene el equipo a dichas condiciones, este consumo se obtendrá del programa que simula las bombas electrosumergibles, adicionalmente la finalidad de la tesis es lograr un ahorro en el consumo eléctrico, se simulará el pozo con el cambio de tubería y con el mismo caudal de las condiciones de diseño y se observará el ahorro en la parte eléctrica. Al final habrá dos opciones para analizar la parte económica.

8.3.1. Pozo UIS 1

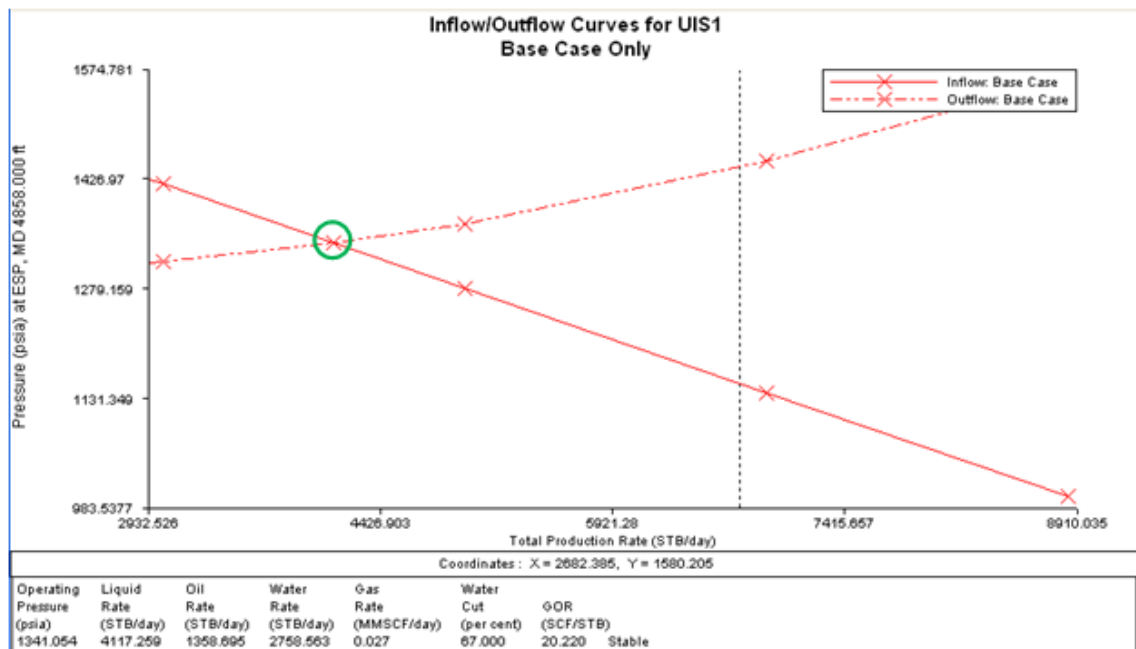
Utilizando los parámetros del rediseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 106. Resultado análisis nodal pozo UIS 1



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 107. Inflow vs Outflow pozo UIS 1



Fuente. Software de análisis nodal

En las figuras 106 y 107 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

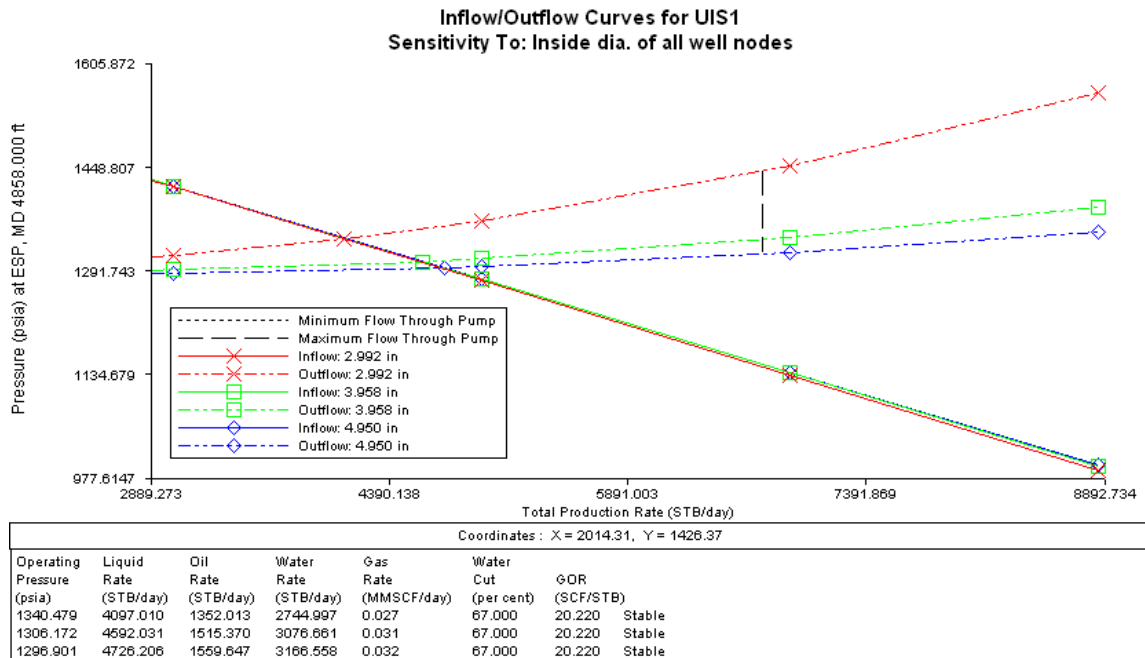
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 43,5 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 49. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 1

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	4116,8	4117,25
Presión entrada a la bomba (Psia)	1341,7	1341,05

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 108. Sensibilidades para tubería de 4 ½” y 5 ½” pozo UIS 1



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 108 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para las tuberías, se observa que a medida que aumenta el diámetro de tubería de producción, el incremento del caudal de producción es en menor proporción, esto es debido a las condiciones de la bomba ya que esta simulando a las condiciones de diseño, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 50. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 1

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	4097,01	N/A	1340,4
4 ½”	4592,03	12	1306,17
5 ½”	4726,20	15	1295,90

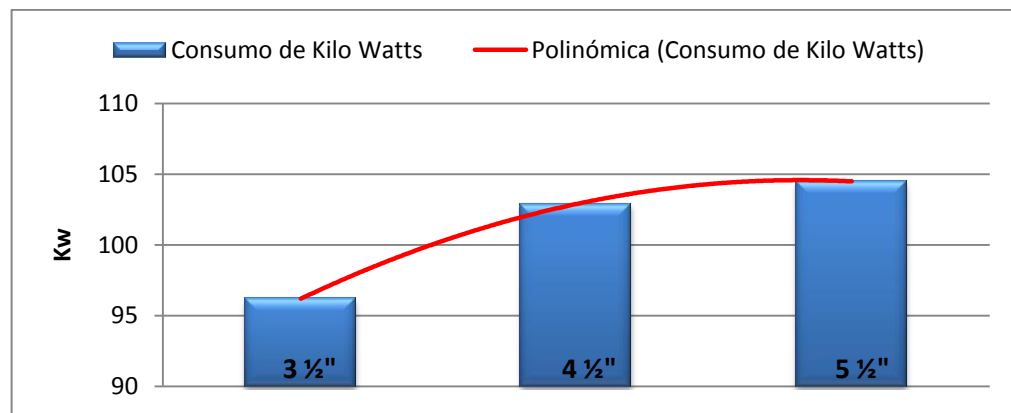
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 51. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 1

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminucion del consumo de Kw (%)
3 ½”	96,2	N/A	96,2	N/A
4 ½”	102,9	7	87,1	9
5 ½”	104,5	9	84,9	12

En la figura 109 se observa que el comportamiento del incremento de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis Nodal.

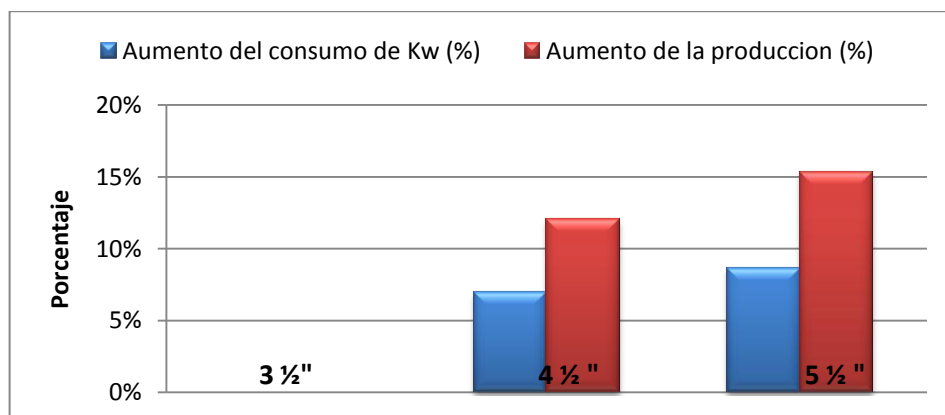
Figura 109. Consumo de kilo watts pozo UIS 1



Fuente. Los Autores

En la figura 110 se observa el aumento en porcentaje del consumo de Kw y el aumento de producción del pozo a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual.

Figura 110. Porcentaje del consumo de kilo watts y producción



Fuente. Los Autores

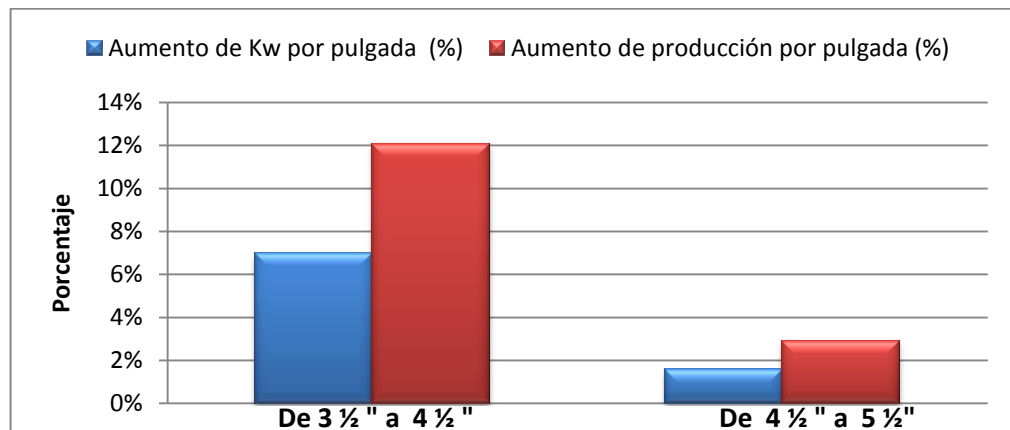
En la siguiente tabla se tabulan los aumentos de Kw y producción de un diámetro a otro.

Tabla 52. Aumento de Kw y producción de un diámetro a otro pozo UIS 1

Diámetro de tubería de producción.	Aumento de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	7	12
De 4 ½" a 5 ½"	2	3

En la figura 111 se observa el aumento en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que existe un aumento mayor del diámetro de 3½" a 4½", lo que nos indica que es más factible instalar una tubería de 4 ½" que una de 5 ½".

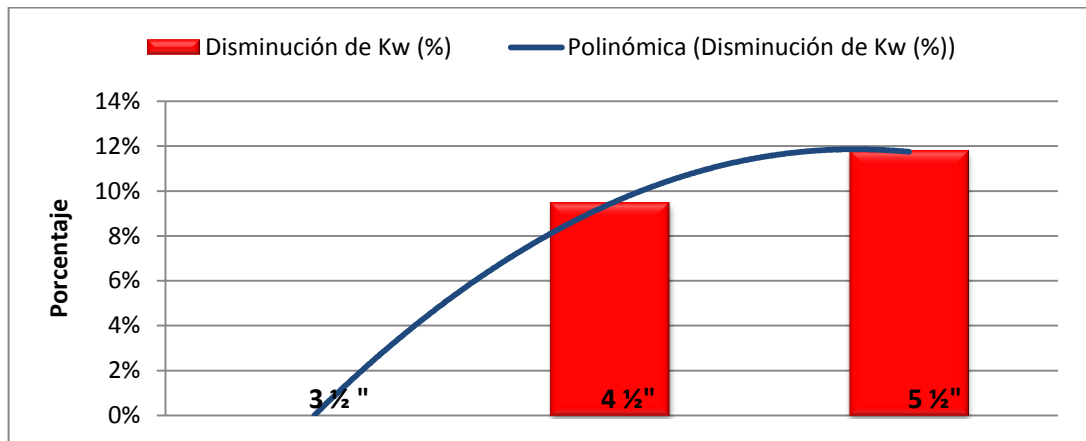
Figura 111. Aumento de Kw y producción de cambio de un diámetro a otro pozo UIS 1



Fuente. Los Autores

En la figura 112 se observa la disminución en porcentaje de kilo watts que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción.

Figura 112. Disminución del consumo de kw manteniendo producción pozo UIS 1

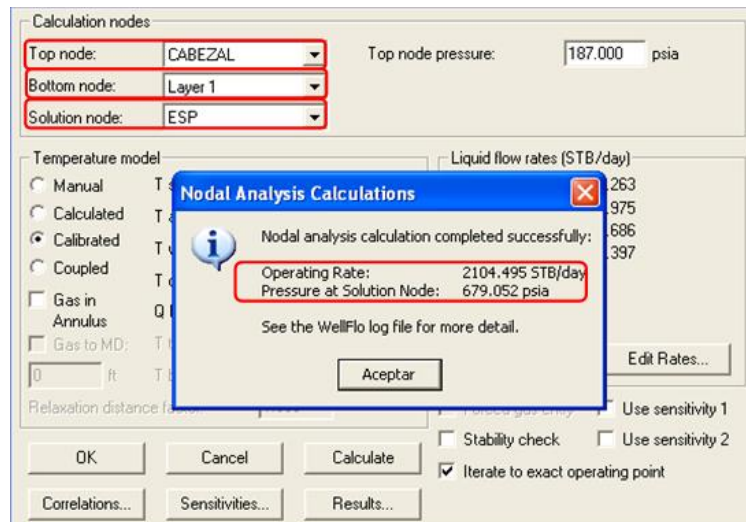


Fuente. Los Autores

8.3.2. Pozo UIS 2

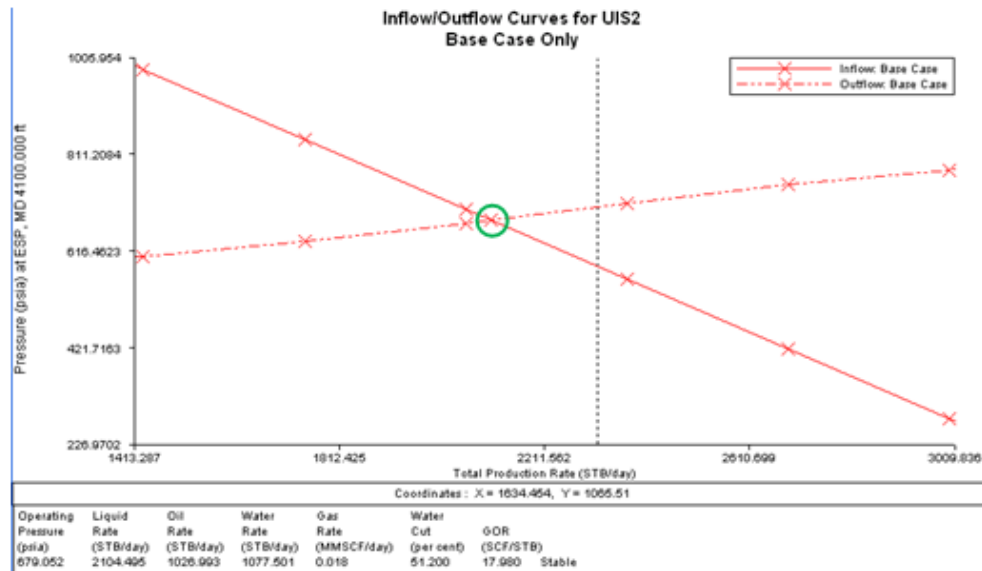
Utilizando los parámetros del rediseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 113. Resultado análisis nodal pozo UIS 2



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 114. Inflow vs Outflow pozo UIS 2



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 113 y 114 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

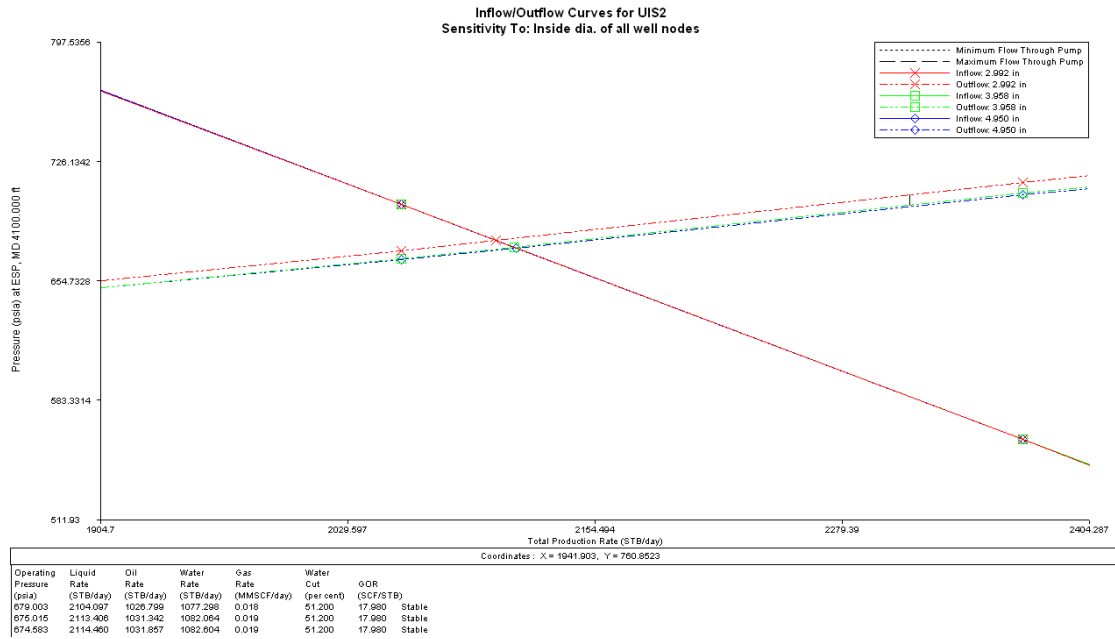
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 47,3 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 53. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 2

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	2104,63	2104,49
Presión entrada a la bomba (Psia)	657,4	679,05

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 115. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 2



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 115 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4 ½”y 5 ½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que a medida que se aumenta el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es menor, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 54. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 2

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	2104,09	N/A	679,0
4 ½”	2113,40	0	675,0
5 ½”	2114,46	0	674,5

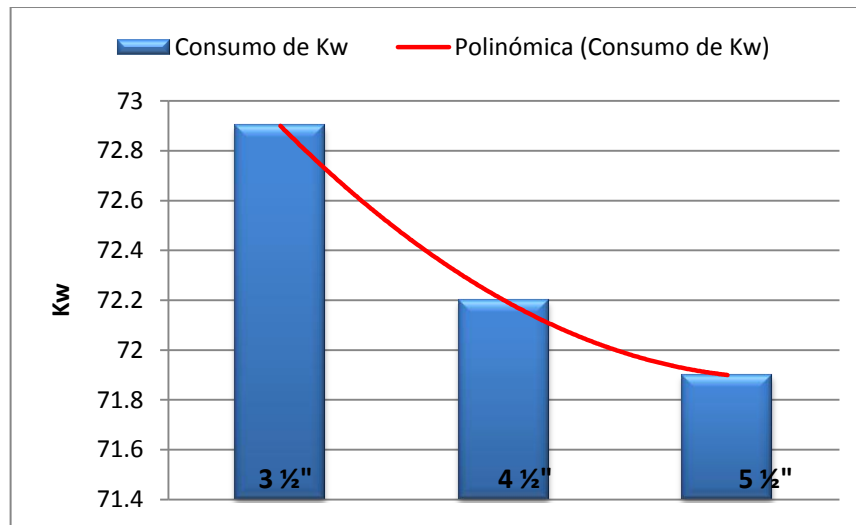
Los datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 55. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 2

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½"	72,9	N/A	72,9	N/A
4 ½"	72,2	1	71,7	2
5 ½"	71,9	1	71,4	2

En la figura 116 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

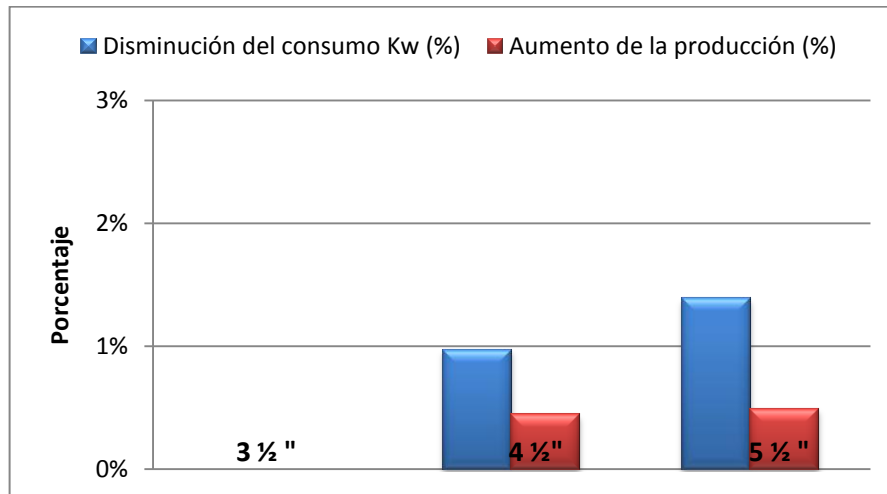
Figura 116. Consumo de kilo watts pozo UIS 2



Fuente. Los Autores

En la figura 117 se observa la disminución del consumo de kilo watts y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual que es cero %.

Figura 117. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 2



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

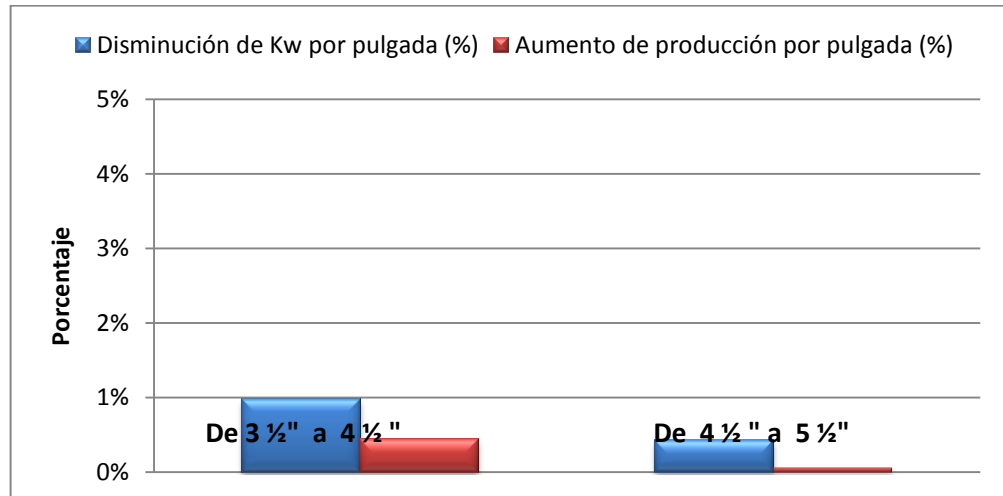
Tabla 56. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro pozo UIS2

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 1/2" a 4 1/2"	1	0
De 4 1/2" a 5 1/2"	0	0

En la figura 118 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta

en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

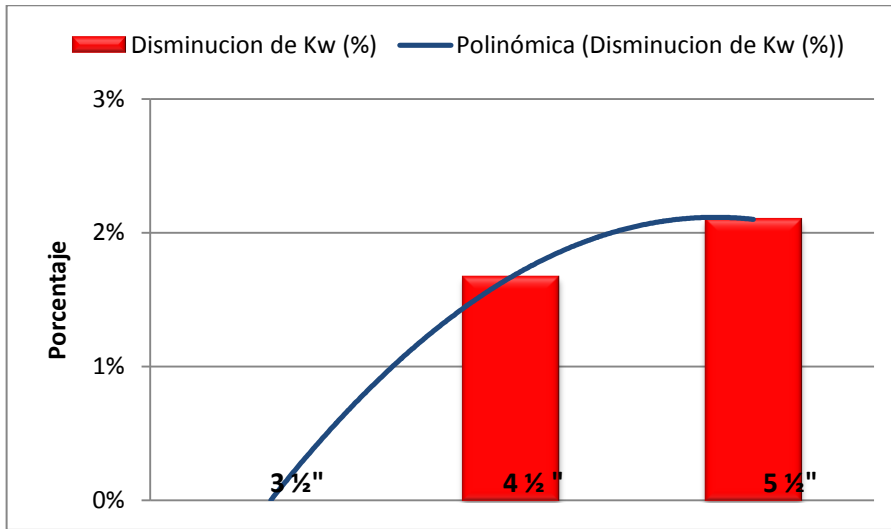
Figura 118. Comportamiento de Kw y producción de cambio de un diámetro a otro pozo UIS 2



Fuente. Los Autores

En la figura 119 se observa la disminución en porcentaje de kilo watts que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción de diseño y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente el cambio es muy poco.

Figura 119. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 2

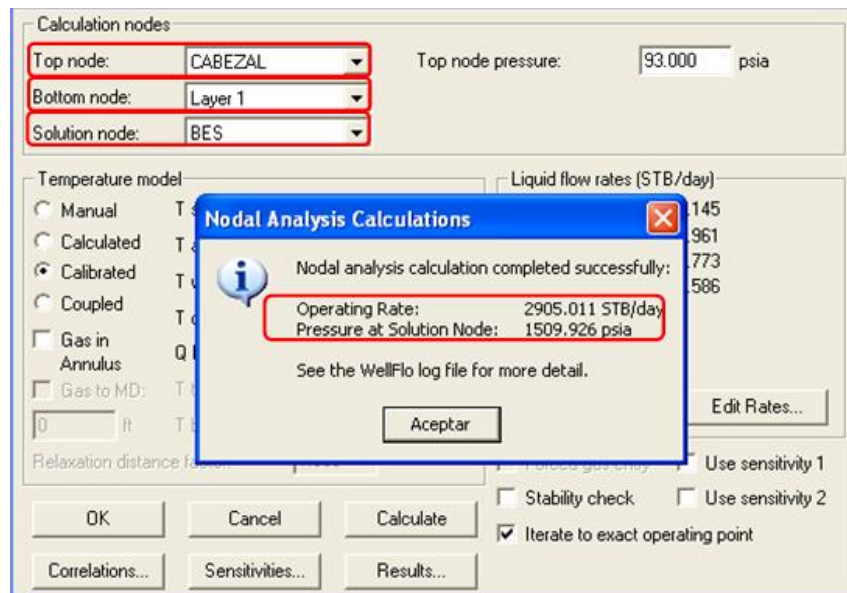


Fuente. Los Autores

8.3.3. Pozo UIS 3

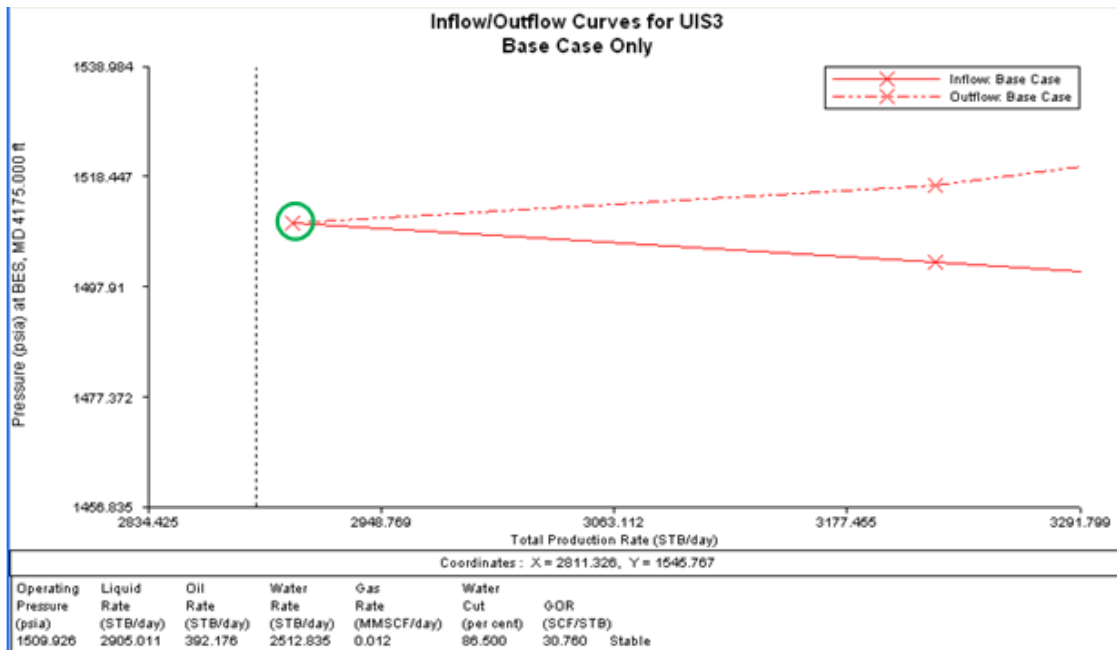
Utilizando los parámetros del rediseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 120. Resultado análisis nodal pozo UIS 3



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 121. Inflow vs Outflow pozo UIS 3



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 120 y 121 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

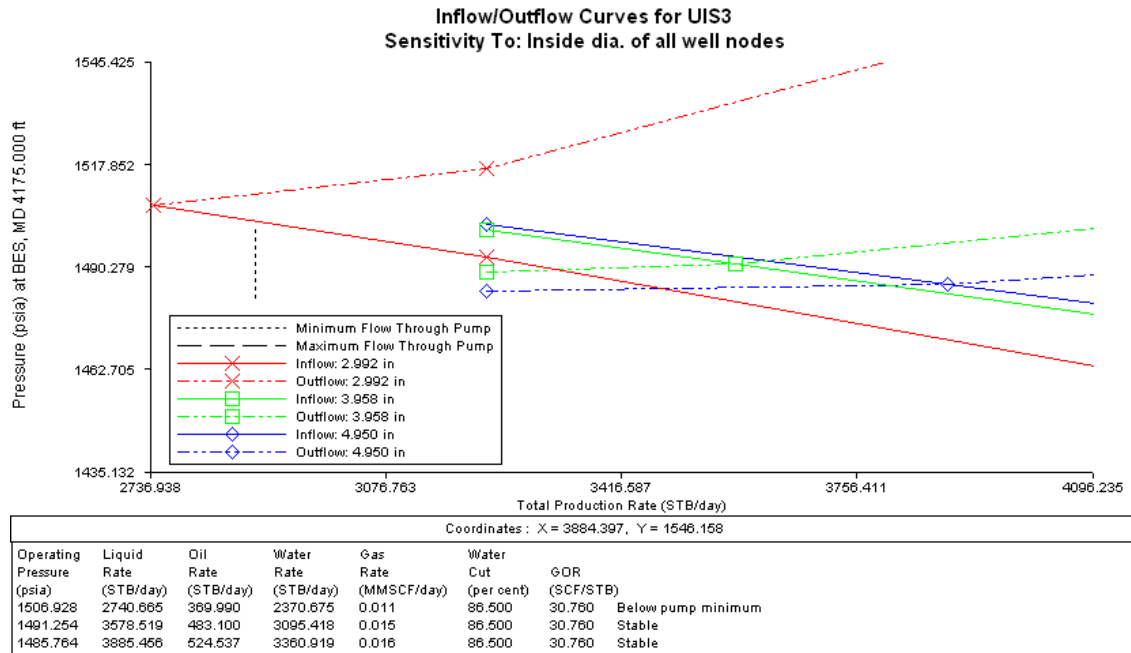
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 33,72 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 57. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 3

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	2905,48	2905,01
Presión entrada a la bomba (Psia)	1478	1509,92

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 122. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 3



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 122 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4 ½”y 5 ½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que a medida que se aumenta el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es en menor proporción, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 58. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 3

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	2905,01	N/A	1506,92
4 ½”	3578,51	23	1491,25
5 ½”	3885,45	34	1485,76

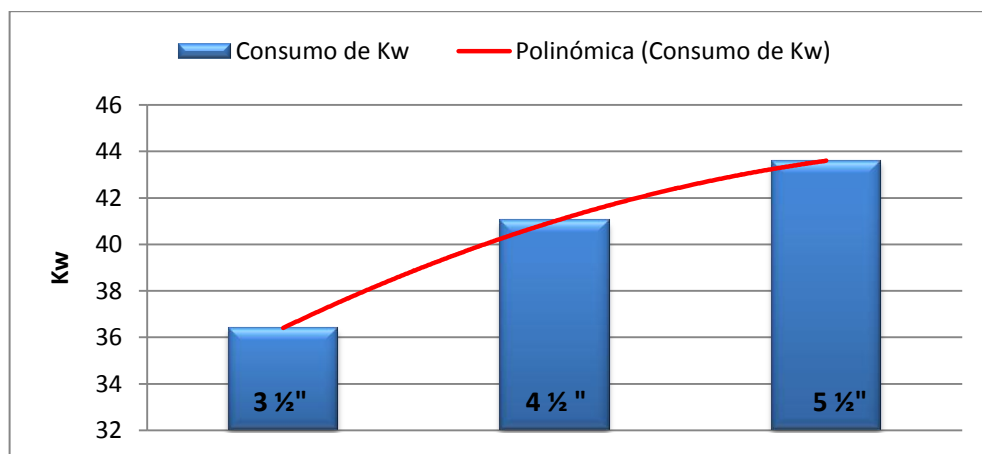
Los datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 59. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 3

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminucion del consumo de Kw (%)
3 ½"	36,3	N/A	36,3	N/A
4 ½"	40,8	12	33,5	8
5 ½"	43,6	20	32,9	9

En la figura 123 se observa que el comportamiento del incremento de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis Nodal.

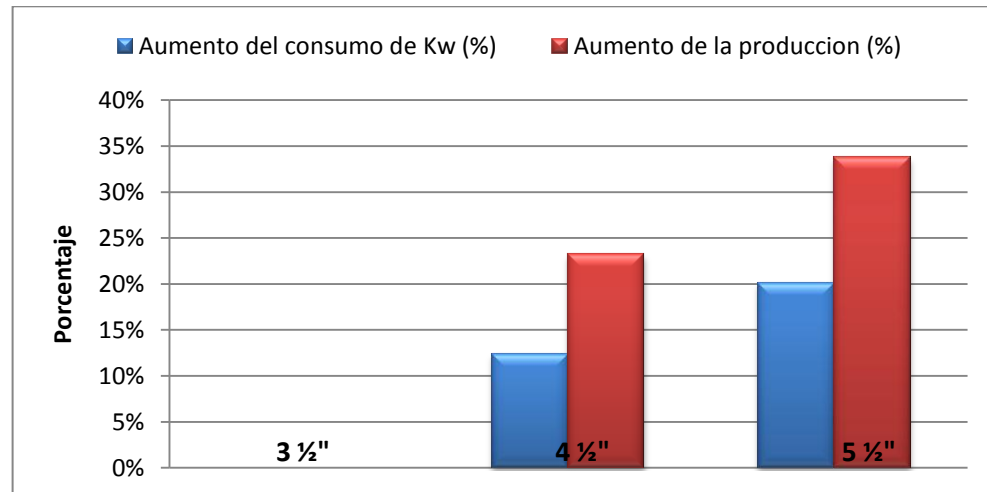
Figura 123. Consumo de kilo watts pozo UIS 3



Fuente. Los Autores

En la figura 124 se observa el aumento en porcentaje del consumo de Kw y la producción del pozo a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual que es cero %.

Figura 124. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 3



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se tabulan el aumento de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

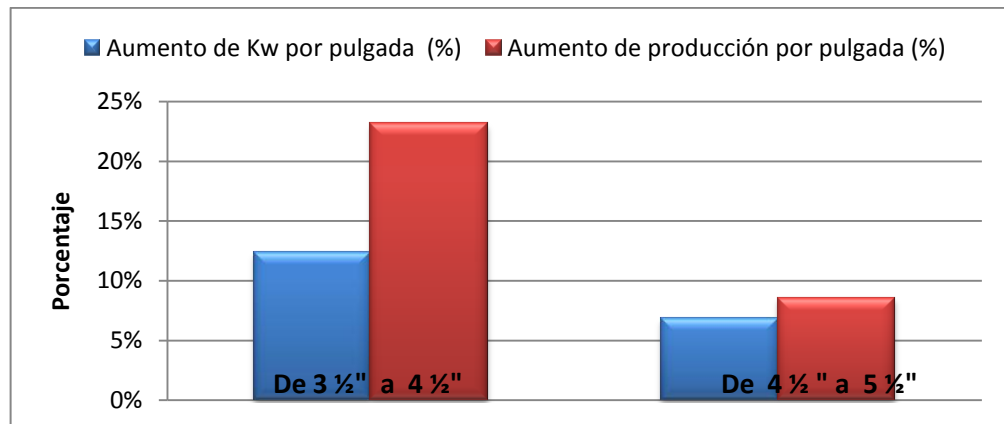
Tabla 60. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 3

Diámetro de tubería de producción.	Aumento de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 1/2" a 4 1/2"	12	23
De 4 1/2" a 5 1/2"	7	9

En la figura 125 se observa el aumento en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en

porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que existe un aumento mayor del diámetro de 3½" a 4½", lo que nos indica que es más factible instalar una tubería de 4½" que una de 5½".

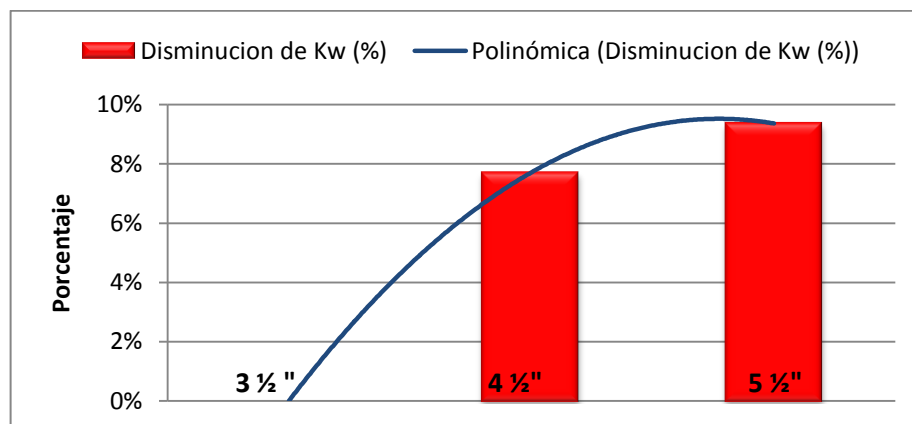
Figura 125. Comportamiento de Kw y producción de cambio de un diámetro a otro, pozo UIS 3



Fuente. Los Autores

En la figura 126 se observa la disminución en porcentaje de kilo watts que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción.

Figura 126. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 3

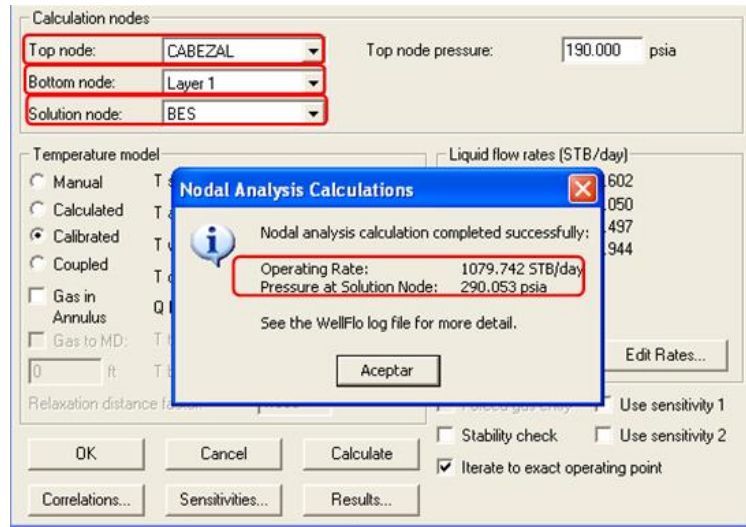


Fuente. Los Autores

8.3.4. Pozo UIS 4

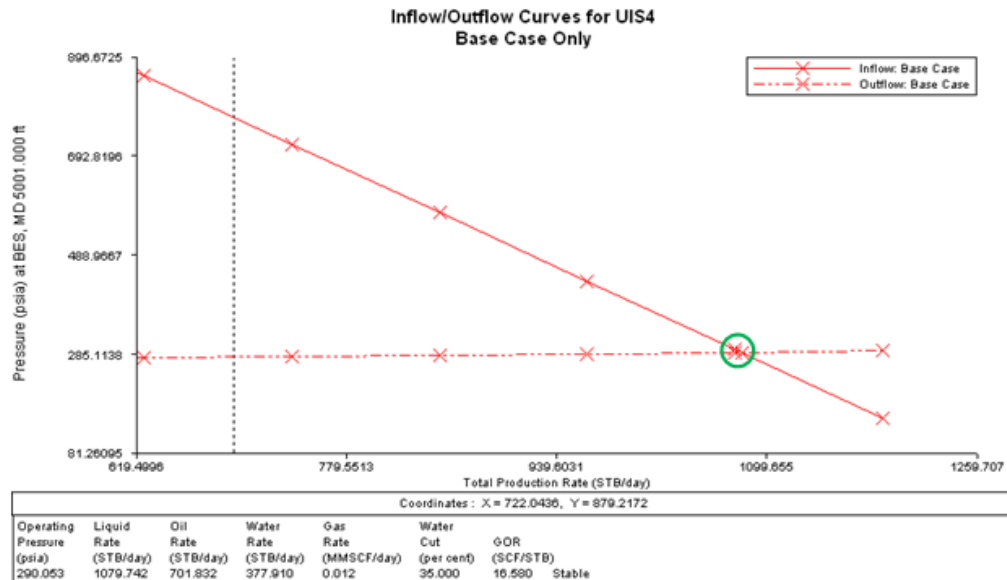
Utilizando los parámetros del rediseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 127. Resultado análisis nodal pozo UIS 4



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 128. Inflow vs Outflow pozo UIS 4



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 127 y 128 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

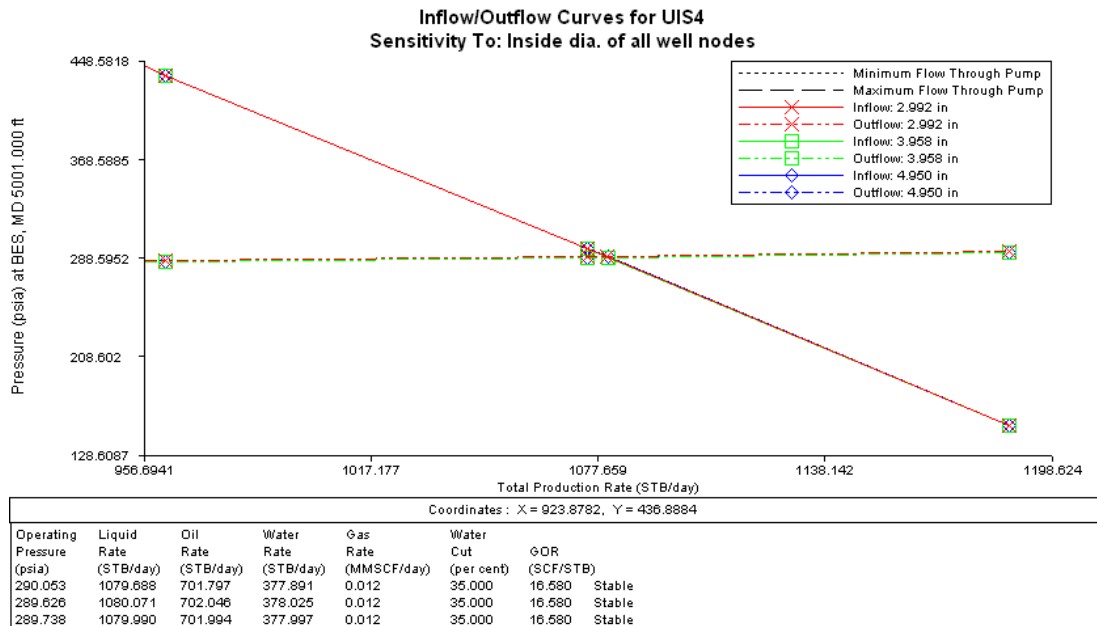
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 55 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 61. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 4

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	1079,56	1079,74
Presión entrada a la bomba (Psia)	291,3	290,05

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 129. Sensibilidades para tubería de 4 ½” y 5 ½” pozo UIS 4



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 129 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que a medida que se aumenta el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción no varía.

Tabla 62. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 4

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	1079,68	N/A	290,53
4 ½”	1080,07	0	289,62
5 ½”	1079,99	0	289,73

Los datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

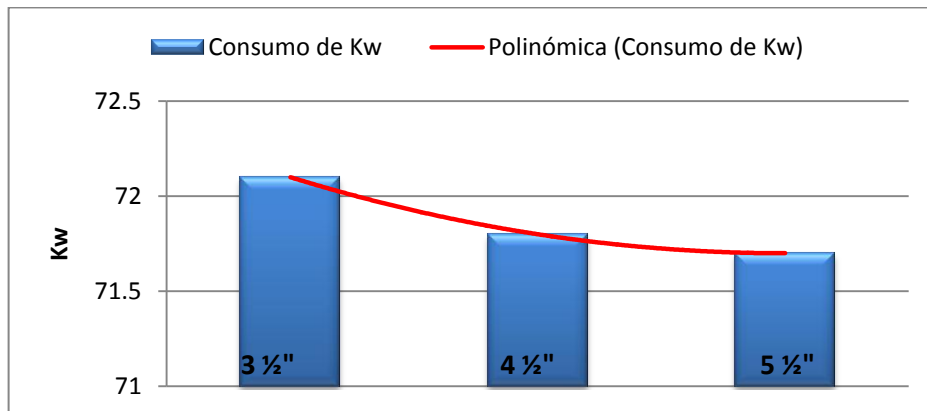
Tabla 63. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 4

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½”	72,1	N/A	72,1	N/A
4 ½”	71,8	0	71,8	1
5 ½”	71,7	1	71,7	1

En la figura 130 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis Nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy

poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

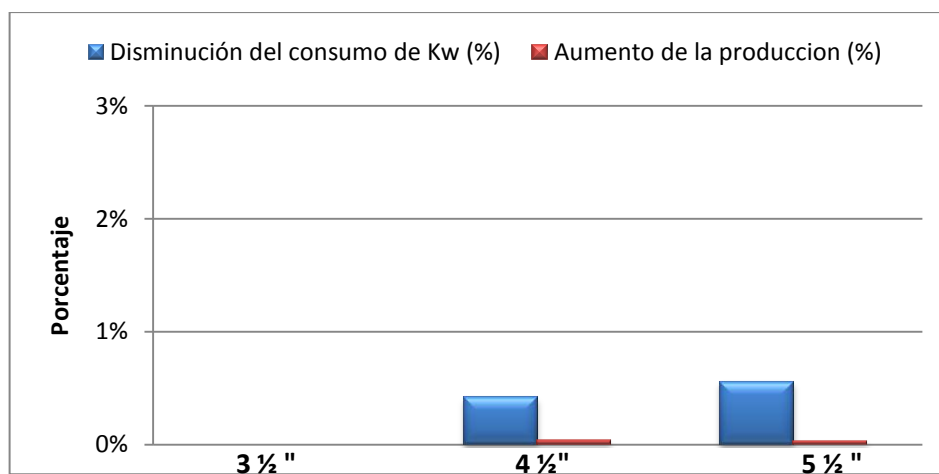
Figura 130. Consumo de Kw pozo UIS 4



Fuente. Los Autores

En la figura 131 se observa la disminución del consumo de kilo watts y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual que es cero %.

Figura 131. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 4



Fuente. Los Autores

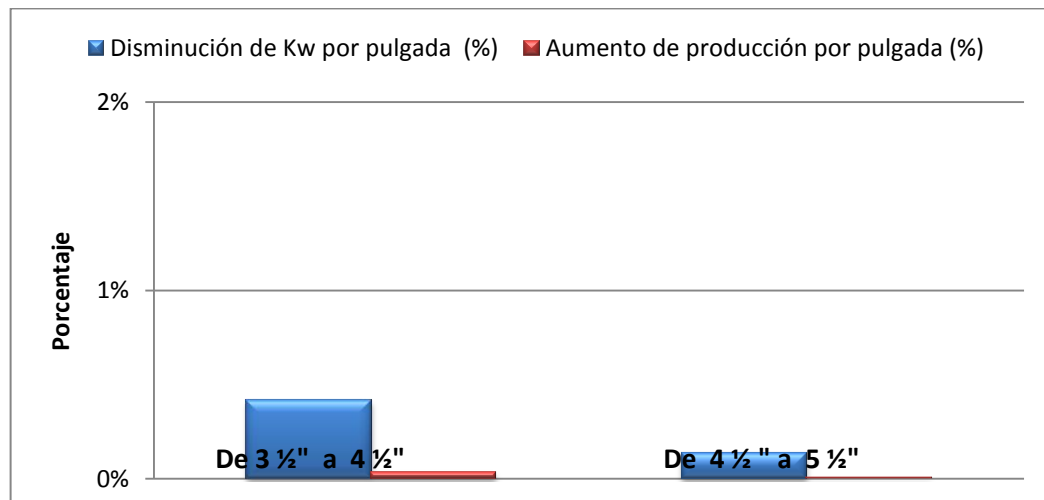
Se observa que estos valores son muy bajos por lo cual no valdría la pena realizar un cambio de tubería. En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

Tabla 64. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 4

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	0	0
De 4 ½" a 5 ½"	0	0

En la figura 132 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

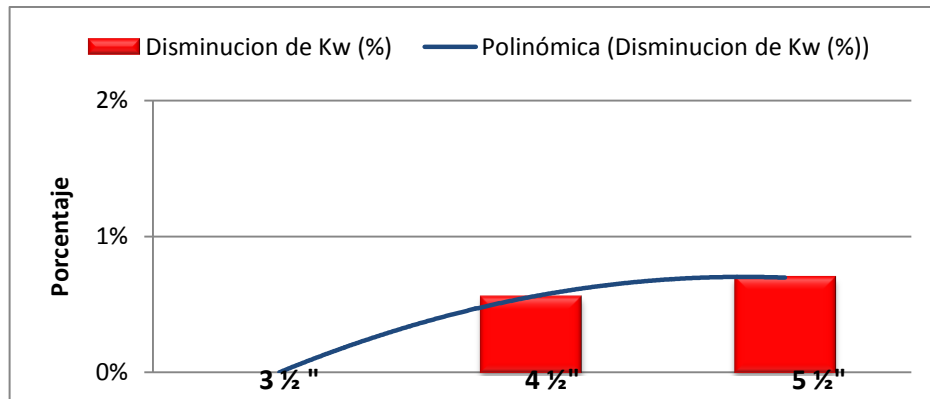
Figura 132. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 4



Fuente. Los Autores

En la figura 133 se observa la disminución en porcentaje de kilo watts que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente varía muy poco.

Figura 133. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 4

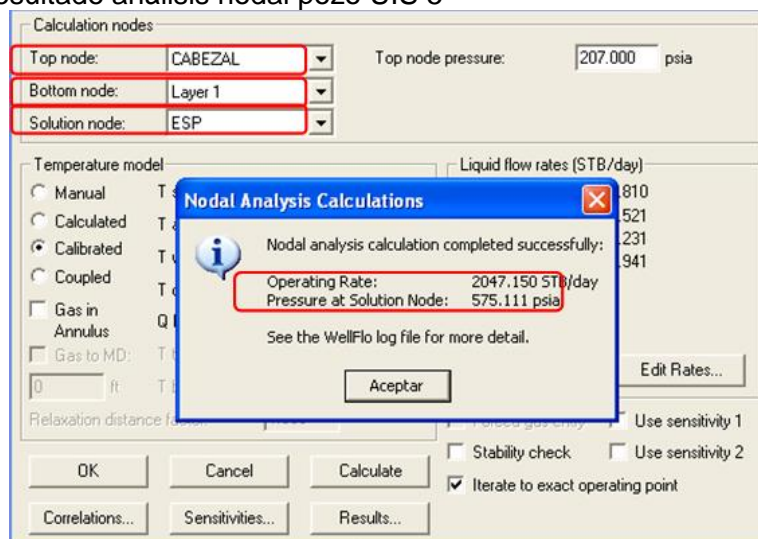


Fuente. Los Autores

8.3.5. POZO UIS 5

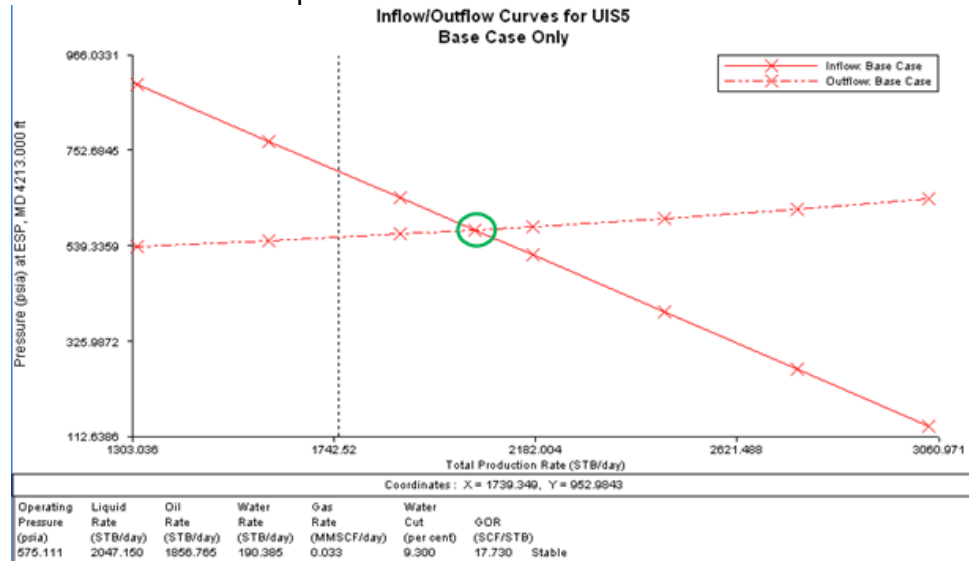
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 134. Resultado análisis nodal pozo UIS 5



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 135. Inflow vs outflow pozo UIS 5



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 134 y 135 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

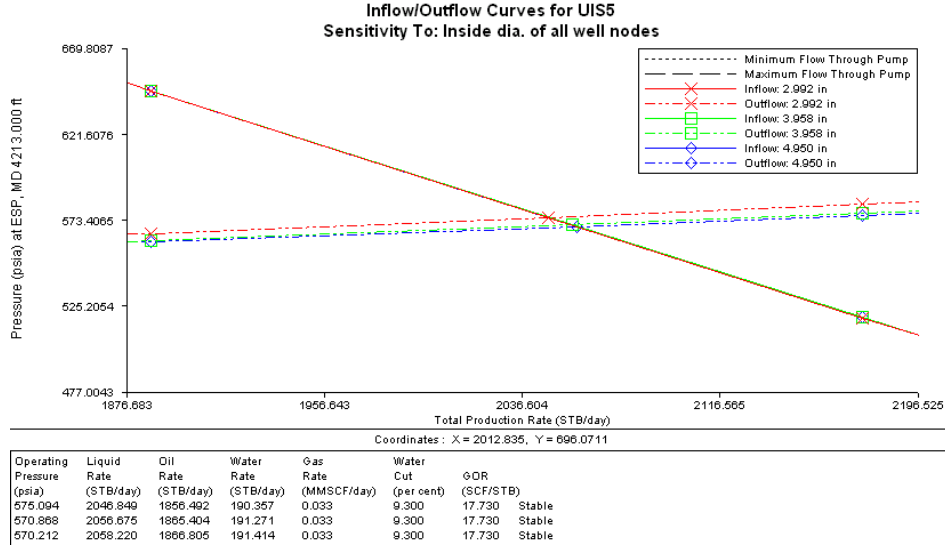
En la tabla 65 se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 55 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 65. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 5

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	2047,22	2047,15
Presión entrada a la bomba (Psia)	567,2	575,11

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 136. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 5



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 136 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4 ½”y 5 ½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que hay una disminución muy baja al aumentar el diámetro de tubería de producción.

Tabla 66. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 5

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	2046,84	N/A	575,09
4 ½”	2056,67	0	570,86
5 ½”	2058,22	1	570,21

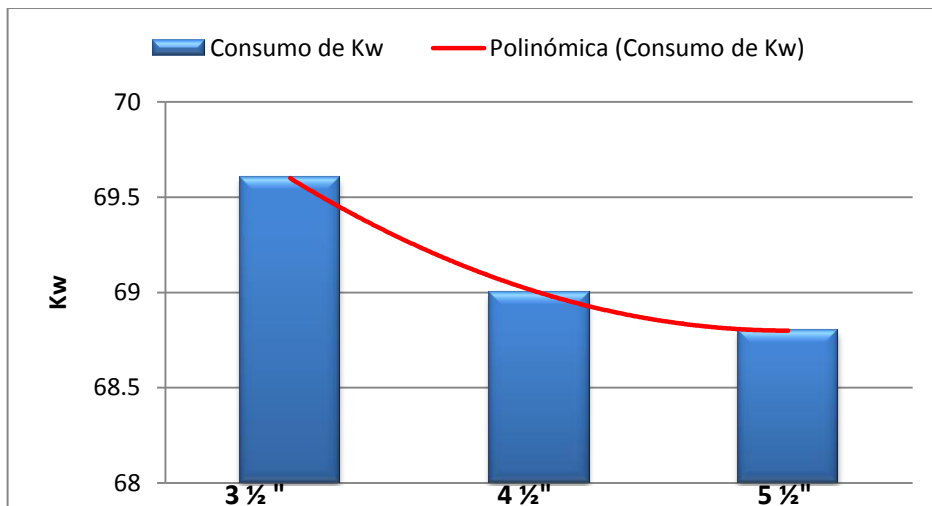
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 67. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 5

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½"	69,6	N/A	69,6	N/A
4 ½"	69	1	68,5	2
5 ½"	68,8	1	68,2	2

En la figura 137 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis Nodal, esto ocurre debido a que la producción aumenta muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

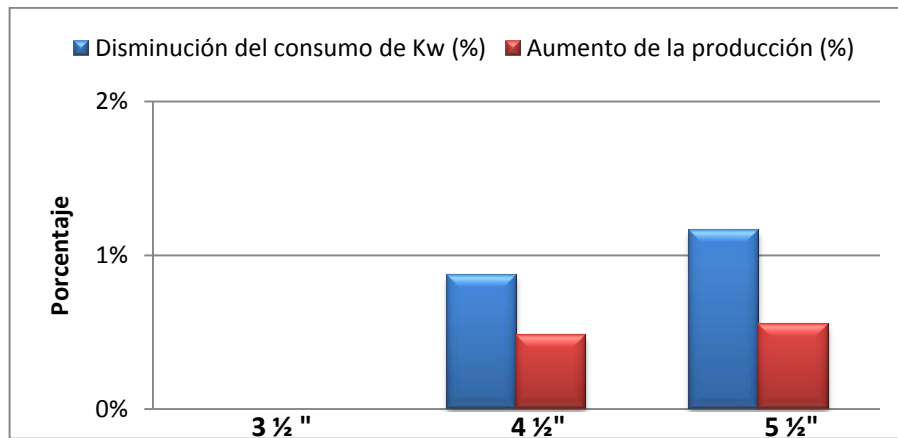
Figura 137. Consumo de Kw pozo UIS 5



Fuente. Los Autores

En la figura 138 se observa la disminución del consumo de Kw en porcentaje y la producción del pozo a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual que es cero %, este aumento es muy leve lo que indica que no vale la pena el cambio de la tubería de producción.

Figura 138. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 5



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

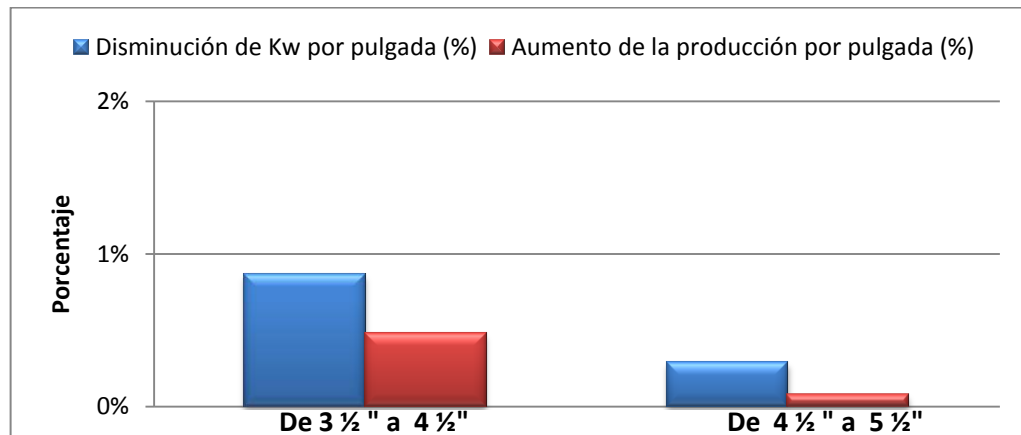
Tabla 68. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 5

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 1/2" a 4 1/2"	1	0
De 4 1/2" a 5 1/2"	0	0

En la figura 139 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una

manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

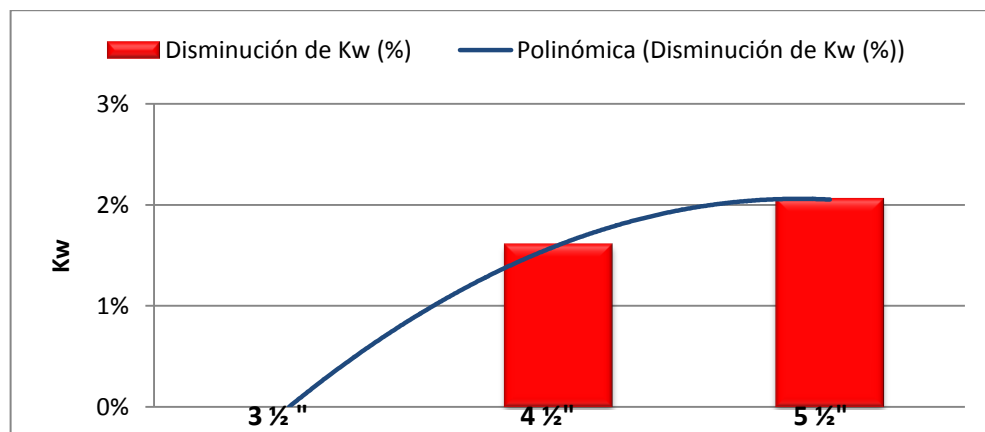
Figura 139. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 5



Fuente. Los Autores

En la figura 140 se observa la disminución en porcentaje de kilo watts que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente varía muy poco.

Figura 140. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 5

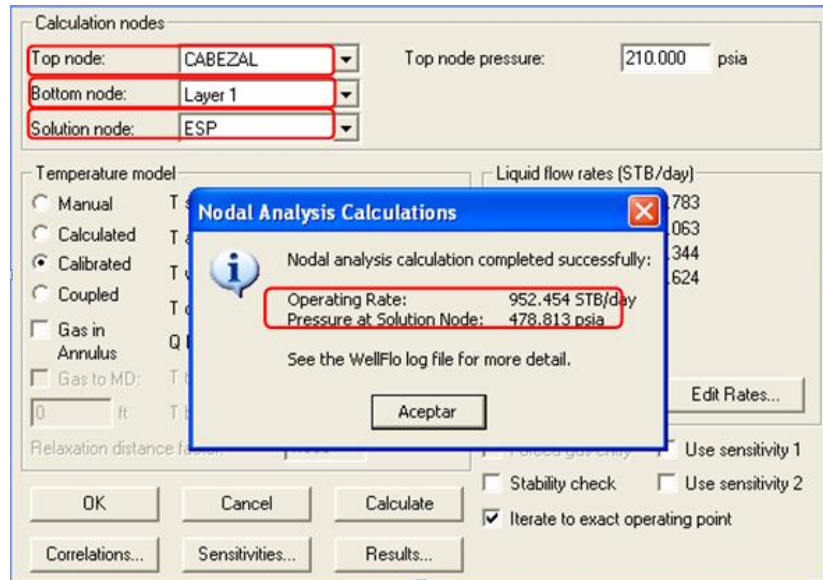


Fuente. Los Autores

8.3.6. Pozo UIS 6

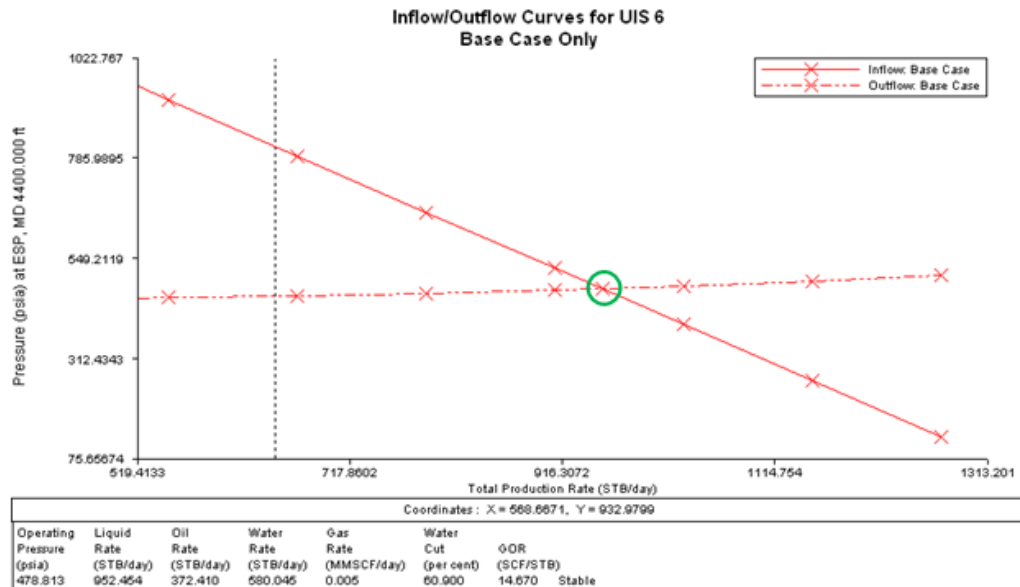
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 141. Resultado análisis nodal UIS 6



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 142. Inflow vs Outflow pozo UIS 6



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 141 y 142 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

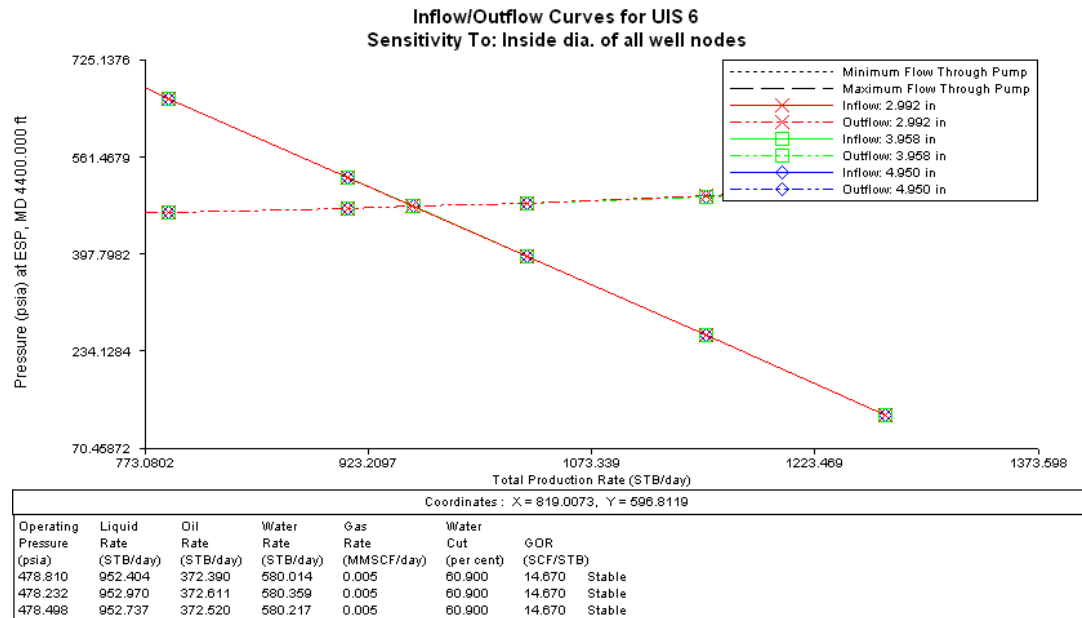
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 50,5 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 69. Caudal y presión de entrada a la bomba

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	952,01	952,454
Presión entrada a la bomba (Psia)	472	478,813

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 143. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 6



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 143 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para las tuberías, se observa que a medida que aumenta el diámetro de tubería de producción, el caudal casi no cambia, esto se debe a que para el caudal que produce el pozo no es necesario un aumento en el diámetro de la tubería de producción. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 70. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 6

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	952,40	N/A	478,810
4 ½”	952,97	0	478,232
5 ½”	952,73	0	478,498

Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

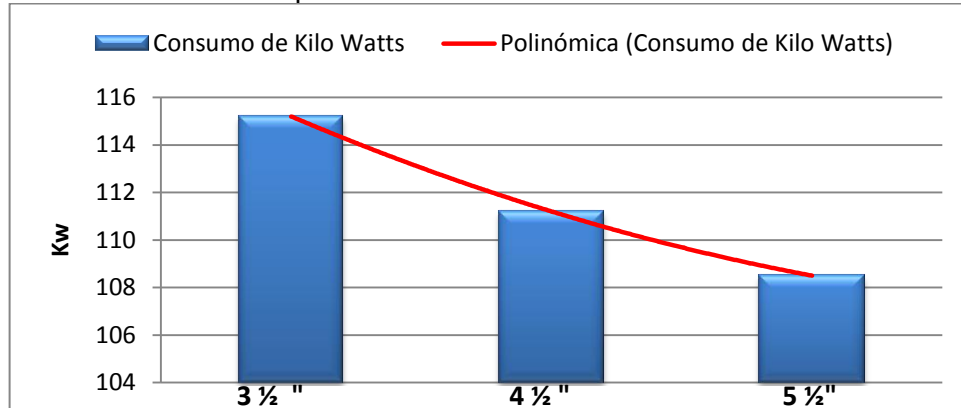
Tabla 71. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 6

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½”	115,2	N/A	115,2	N/A
4 ½”	111,2	3	111	4
5 ½”	108,5	6	108,5	6

En la figura 144 se observa que el comportamiento de la disminución de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de

producción, esto es para el caso de los caudales en el software de Análisis Nodal, esto ocurre debido a que la producción aumenta muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

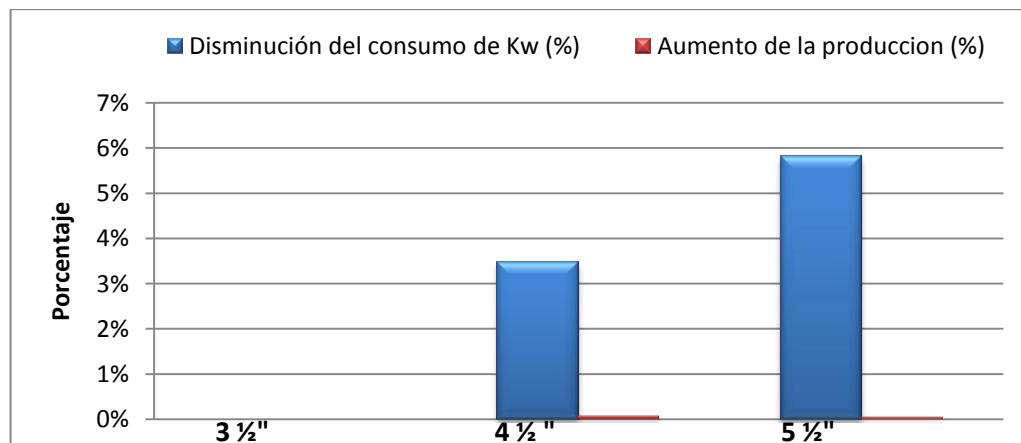
Figura 144. Consumo de Kw pozo UIS 6



Fuente. Los Autores

En la figura 145 se observa la disminución en porcentaje del consumo y la producción del pozo que permanece constante a pesar de los cambios en la tubería de producción.

Figura 145. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 6



Fuente. Los Autores

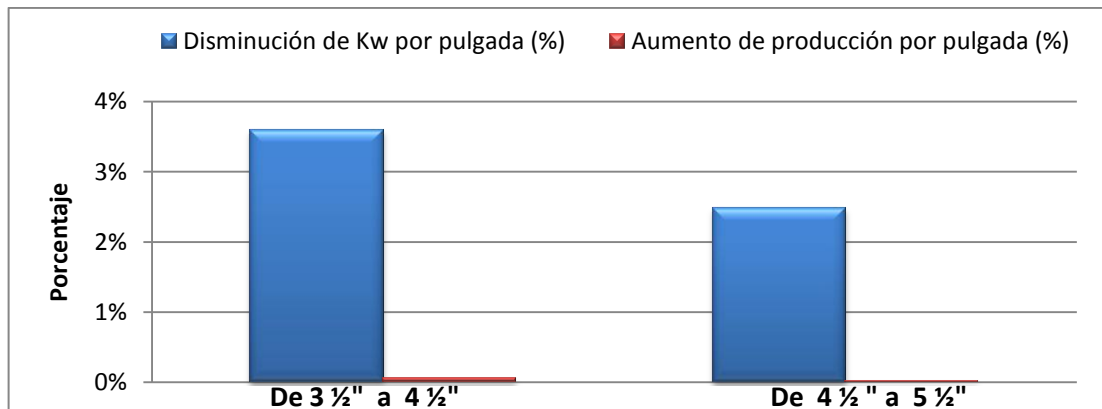
En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

Tabla 72. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 6

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	3	0
De 4 ½" a 5 ½"	2	0

En la figura 146 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

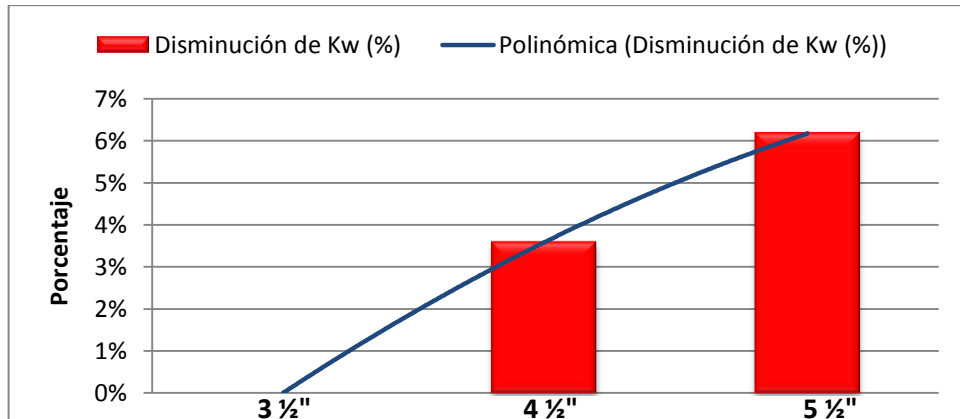
Figura 146. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 6



Fuente. Los Autores

En la figura 147 se observa la disminución en porcentaje de kilo watts que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción.

Figura 147. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 6

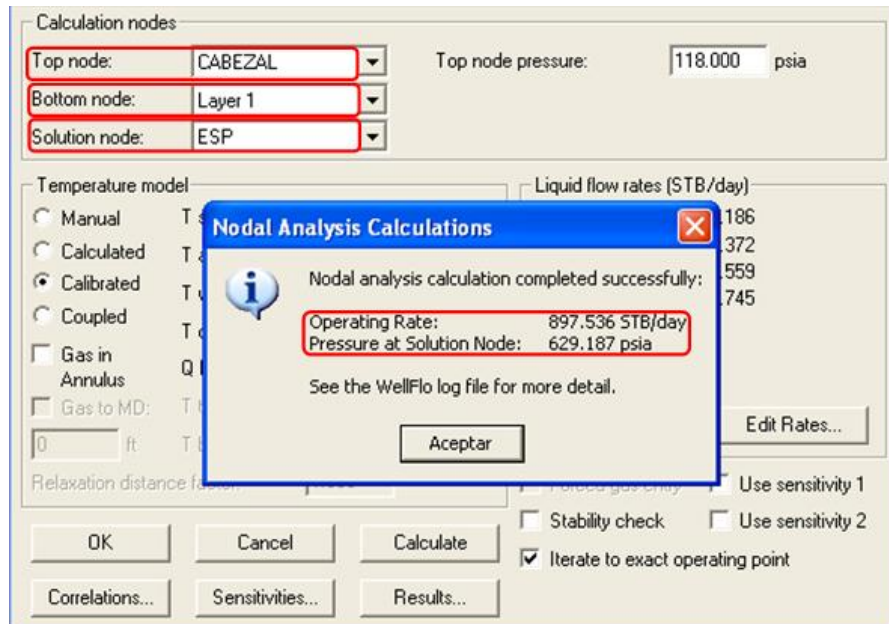


Fuente. Los Autores

8.3.7. Pozo UIS 7

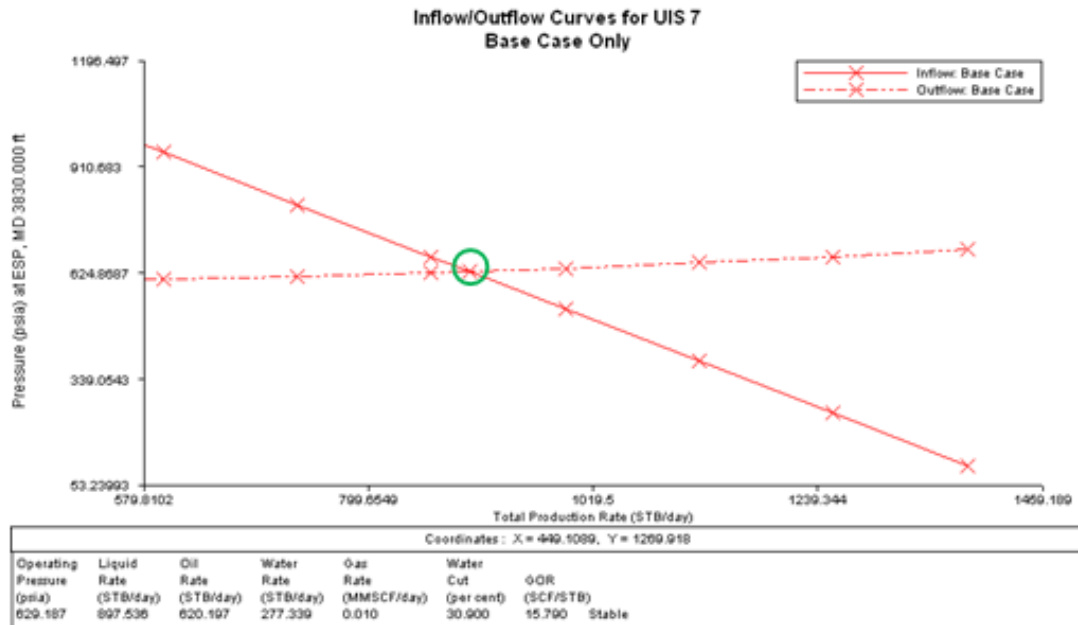
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 148. Resultado análisis nodal pozo UIS 7



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 149. Inflow vs Outflow pozo UIS 7



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 148 y 149 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

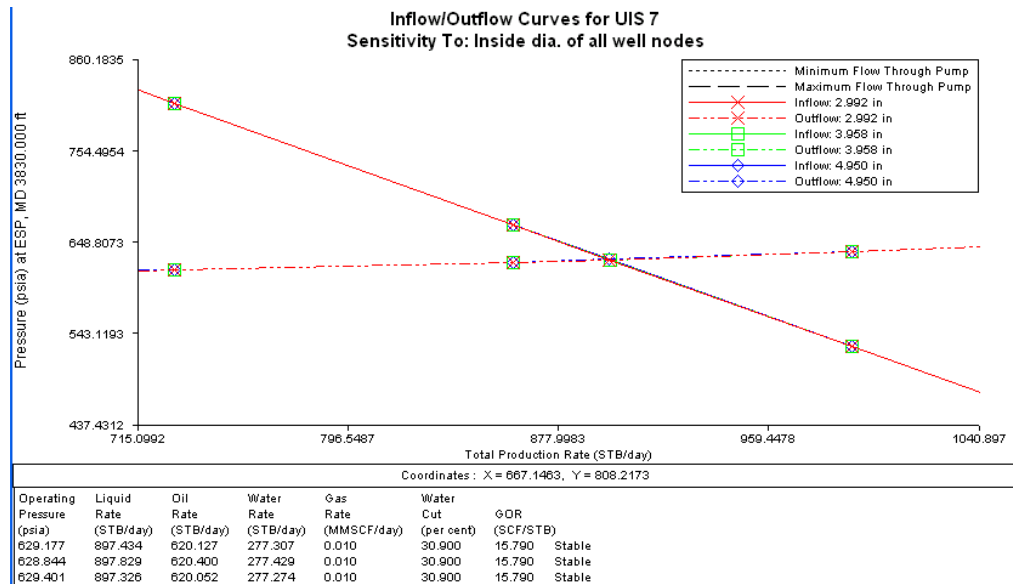
En la siguiente tabla () se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 43 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 73. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 7

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	897,48	897,53
Presión entrada a la bomba (Psia)	582,5	629,18

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 150. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 7



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 150 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para las tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el caudal casi no cambia, esto es debido a que para el caudal que produce el pozo actualmente no es necesario un aumento en el diámetro de la tubería de producción. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 74. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 7

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	897,434	N/A	629,177
4 ½”	897,829	0	628,844
5 ½”	897,326	0	629,401

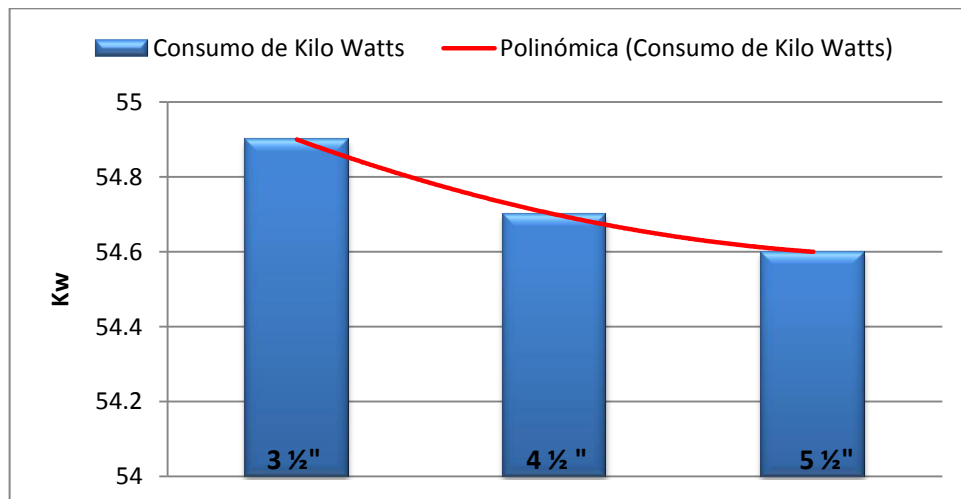
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 75. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 7

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½"	54,9	N/A	54,9	N/A
4 ½"	54,7	0	54,7	0
5 ½"	54,6	1	54,6	1

En la figura 151 se observa que el comportamiento de la disminución de kilo watts es de manera polinómica y casi despreciable a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso de los caudales en el software de Análisis Nodal, esto ocurre debido a que la producción aumenta muy poco (0 %) y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

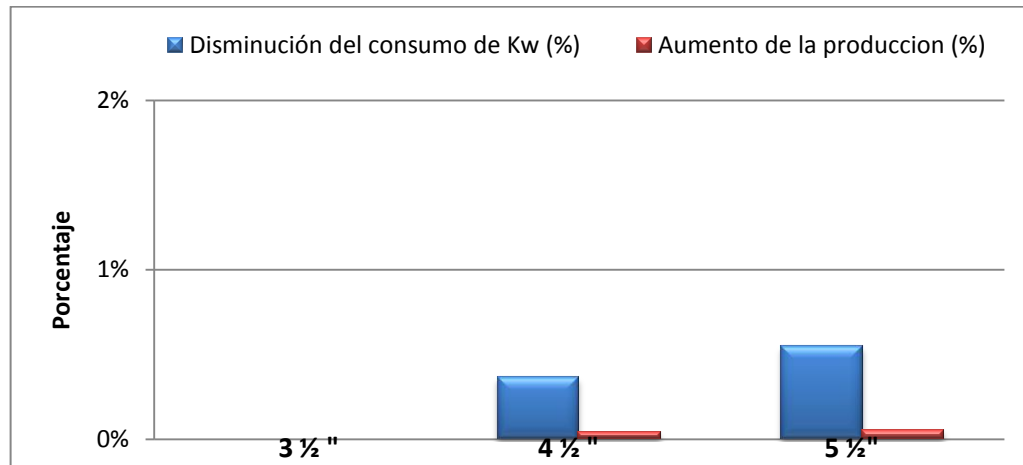
Figura 151. Consumo de Kw pozo UIS 7



Fuente. Los Autores

En la figura 152 se observa que para la tuberías de 4 ½” la reducción de los kw no llega ni al 1% en porcentaje comparada con la de 3 ½” (0%), mientras que para la tubería de 5 ½”, se presenta una reducción del 1% en su consumo de kw.

Figura 152. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 7



Fuente. Los Autores

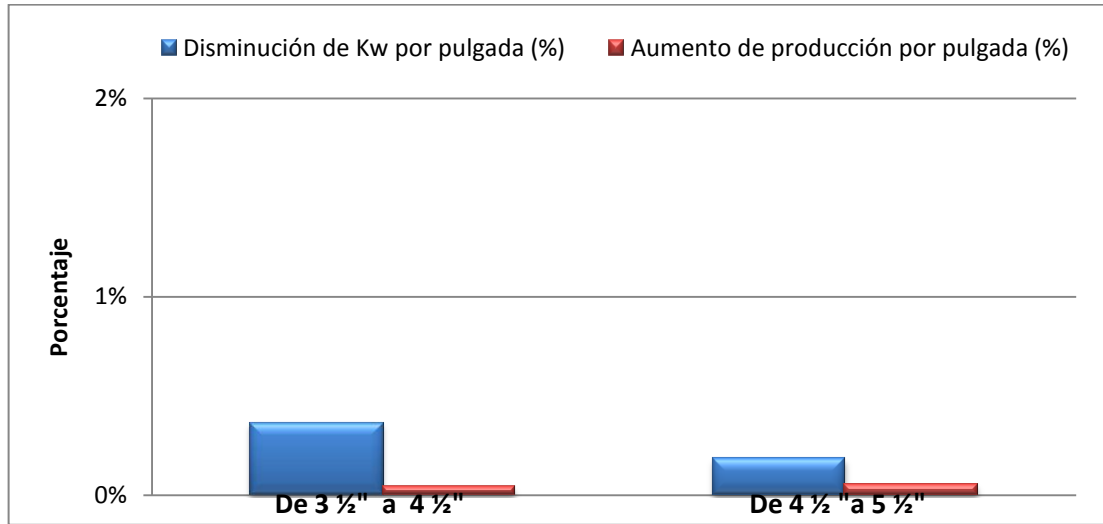
En la tabla 76 se tabulan la disminución de kw y producción de un diámetro a otro.

Tabla 76. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 7

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	0	0
De 4 ½" a 5 ½"	0	0

En la figura 153 se observa la disminución en porcentaje por pulgada de diámetro del consumo de kw y la producción del pozo que permanece constante a pesar de los cambios en el diámetro de la tubería de producción.

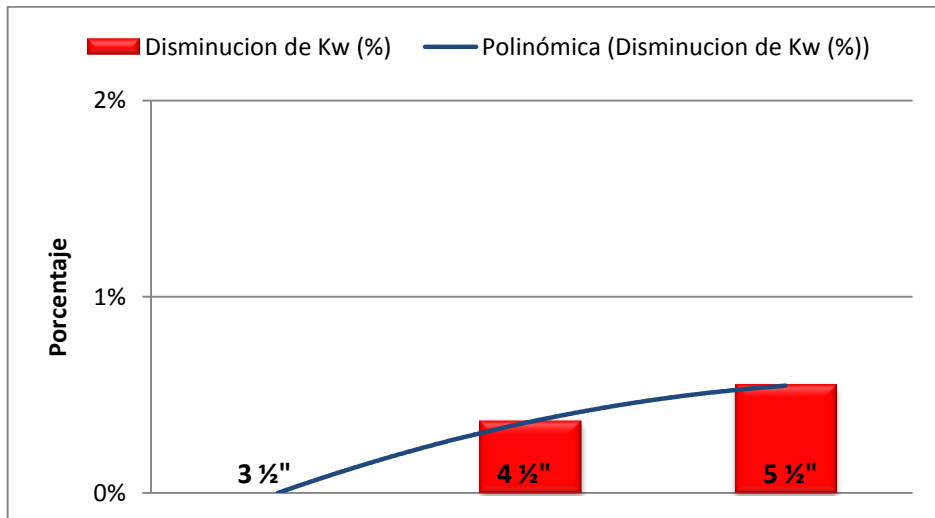
Figura 153. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 7



Fuente. Los Autores

En la figura 154 se observa que para la tubería de 5 1/2" la disminución en el porcentaje de kilo watts con respecto a la tubería actual 3 1/2" es de (1%) al aumentar el diámetro de las tuberías de producción y mantener el caudal de las condiciones de diseño.

Figura 154. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 7

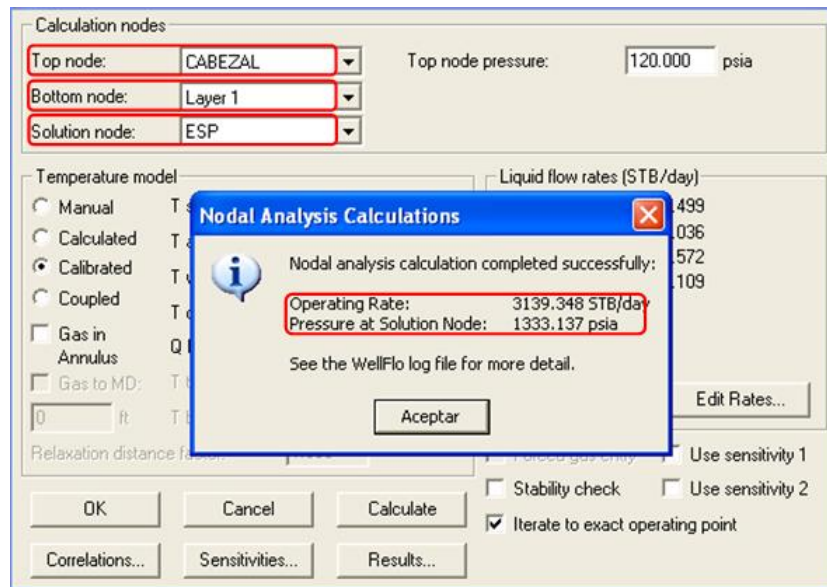


Fuente. Los Autores

8.3.8. Pozo UIS 8

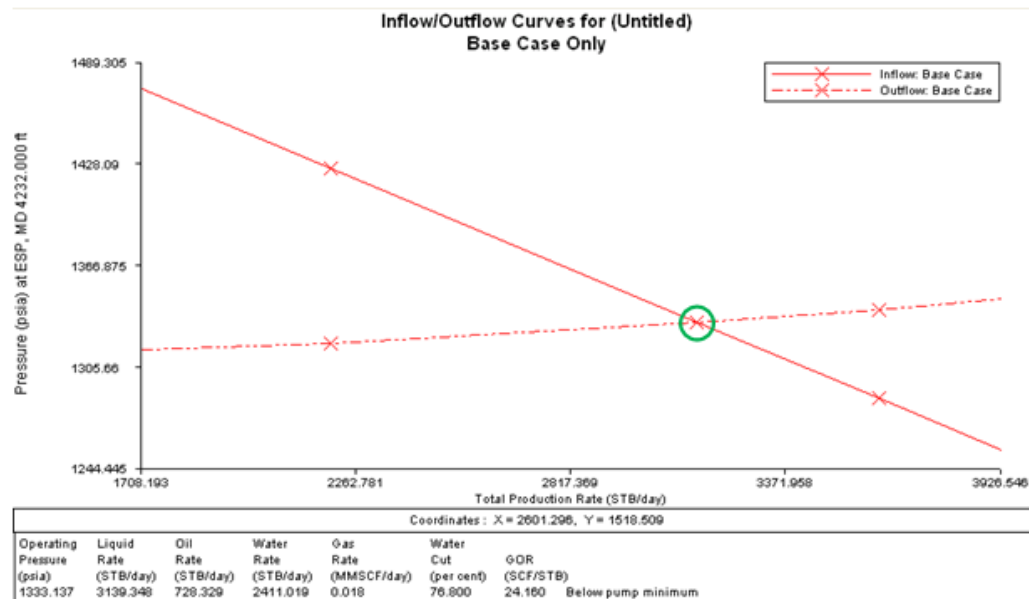
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 155. Resultado análisis nodal pozo UIS 8



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 156. Inflow vs Outflow pozo UIS 8



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 155 y 156 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

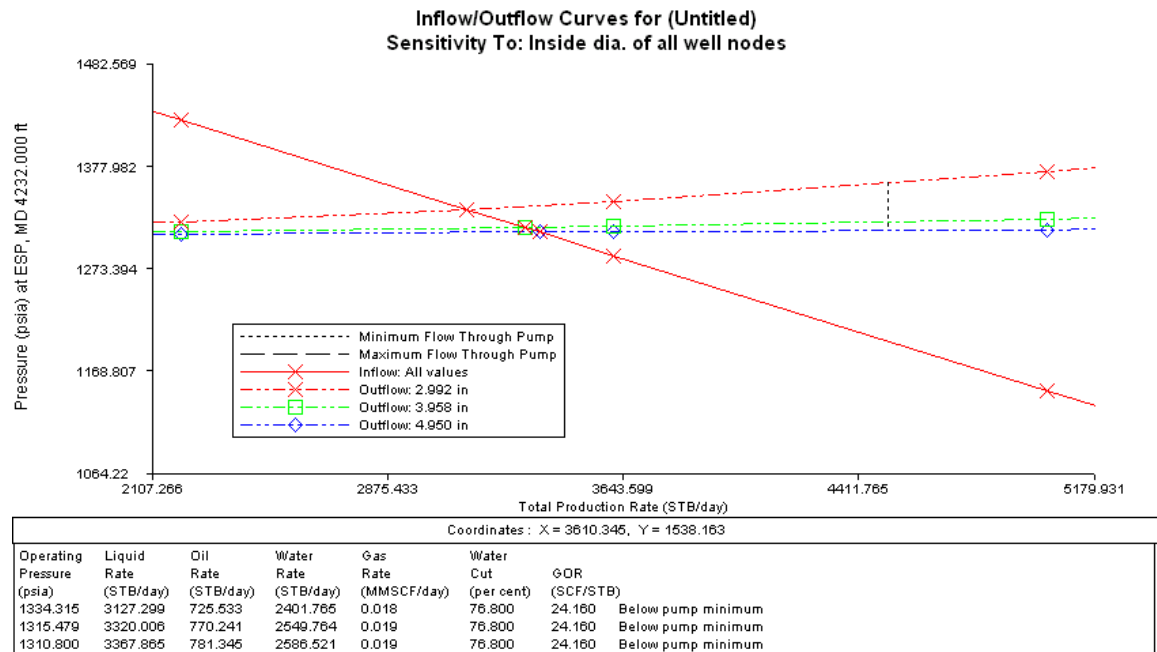
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 43 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 77. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 8

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	3139,3	3139,348
Presión entrada a la bomba (Psia)	1283,1	1333,1

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 157. Sensibilidades para tubería de 4 ½” y 5 ½” pozo UIS 8



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 157 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que a medida que se aumenta el diámetro de tubería de producción, el caudal aumenta, esto es debido a que para el caudal que produce el pozo es viable una tubería de producción de mayor diámetro para aumentar su producción. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 78. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 8

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	3127,299	N/A	1334,3
4 ½”	3320	6	1315,47
5 ½”	3367,8	8	1310,8

Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

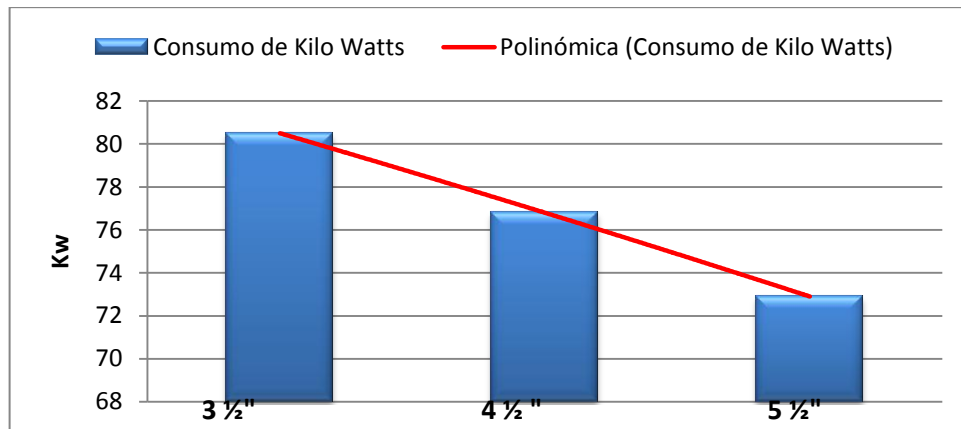
Tabla 79. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 8

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½”	80,5	N/A	80,5	N/A
4 ½”	76,8	5	70,1	13
5 ½”	72,9	9	64,7	20

En la figura 158 se observa que el comportamiento de la disminución de kilo watts es de manera polinómica casi lineal y bastante pronunciada para ambos cambios

en el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso de los caudales en el software de Análisis Nodal, esto ocurre debido a que la producción aumenta muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

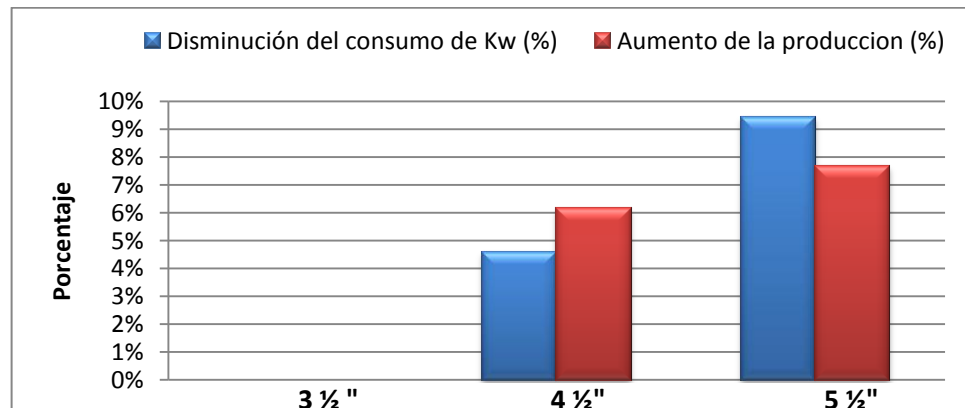
Figura 158. Consumo de Kw pozo UIS 8



Fuente. Los Autores

En la figura 159 se observa la disminución en porcentaje del consumo de kw y el aumento en la producción del pozo para las tuberías de 4 1/2" y 5 1/2" con respecto a la de 3 1/2".

Figura 159. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 8



Fuente. Los Autores

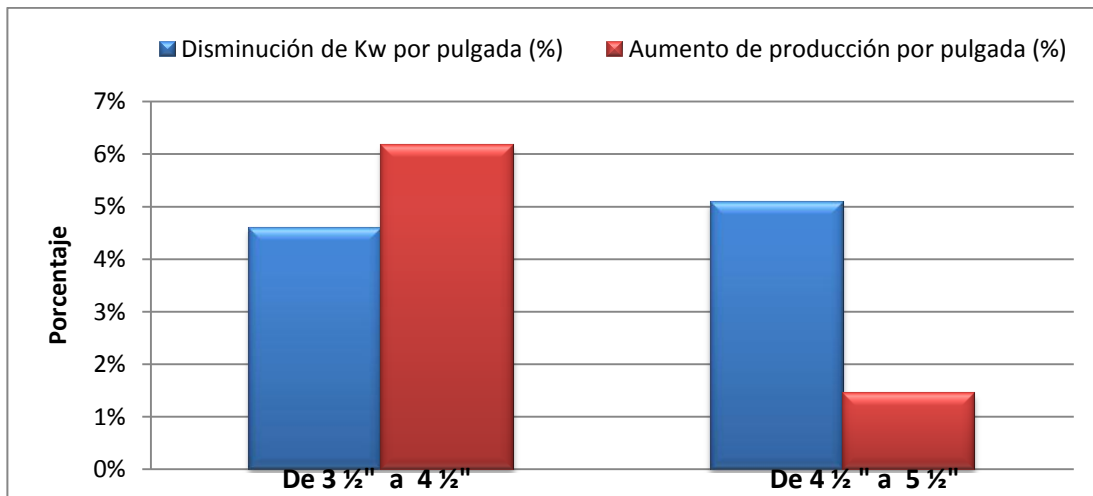
En la tabla 80 se tabulan los cambios en la disminución de kw y producción de un diámetro respecto al otro.

Tabla 80. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 8

Diámetro de tubería de producción	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento en la producción por pulgada aumentada en (%)
De 3 ½" a 4 ½"	5	6
De 4 ½" a 5 ½"	5	1

En la figura 160 se observa la disminución en porcentaje del consumo de kw y la producción del pozo entre las tuberías de 3½"y 4½"y las tuberías de 4½"y 5½" en porcentaje.

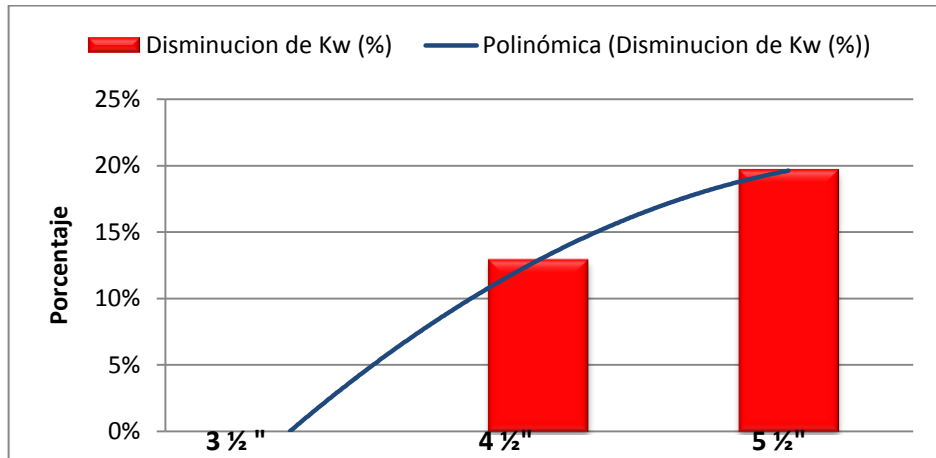
Figura 160. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 8



Fuente. Los Autores

En la figura 161 se observa la disminución en porcentaje de kilo watts que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción de diseño y aumentar el diámetro de la tubería de producción.

Figura 161. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 8

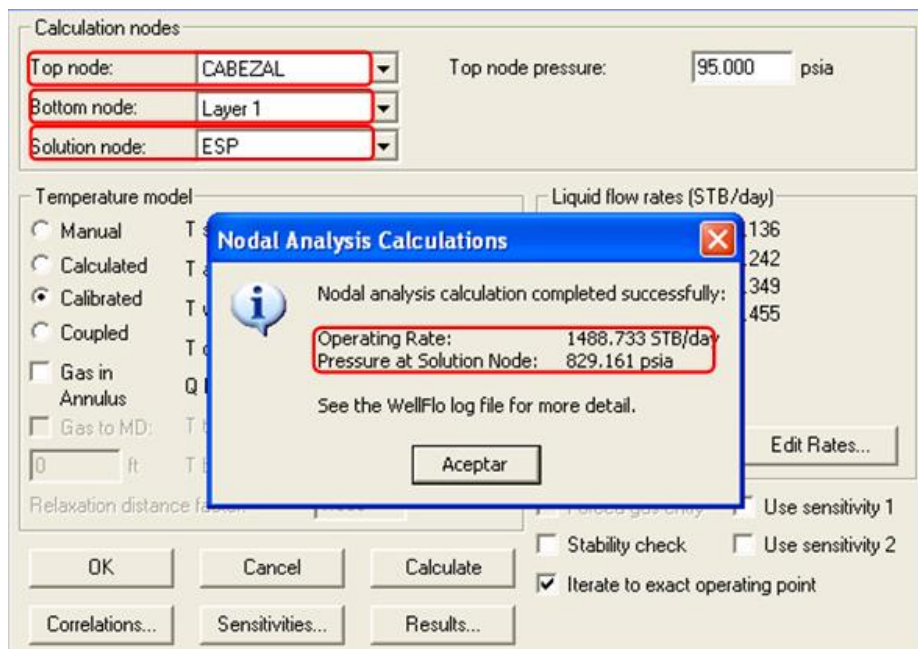


Fuente. Los Autores

8.3.9. Pozo UIS 9

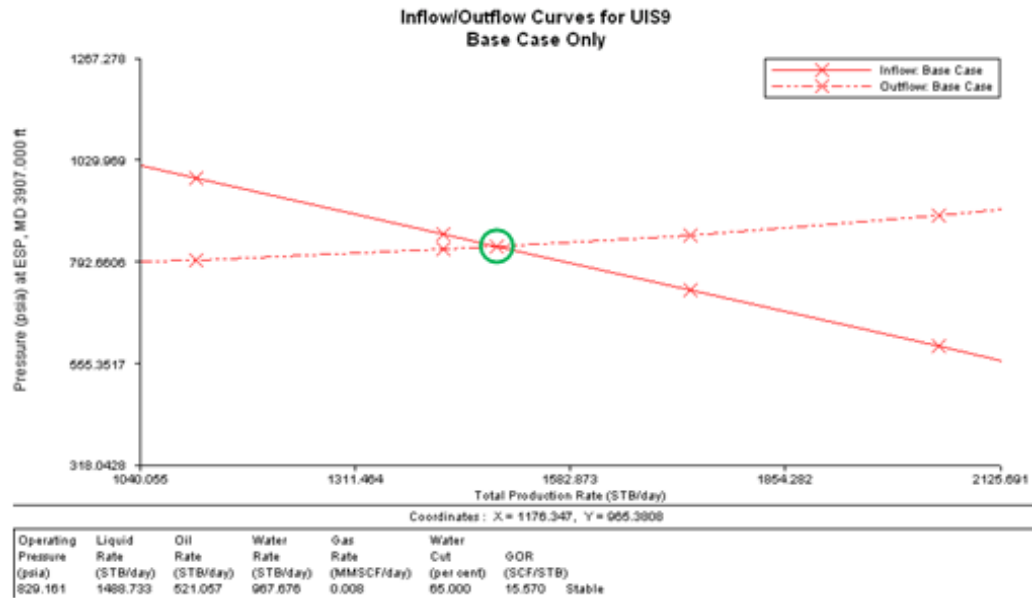
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 162. Resultado análisis nodal pozo UIS 9



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 163. Inflow vs Outflow pozo UIS 9



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 162 y 163 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

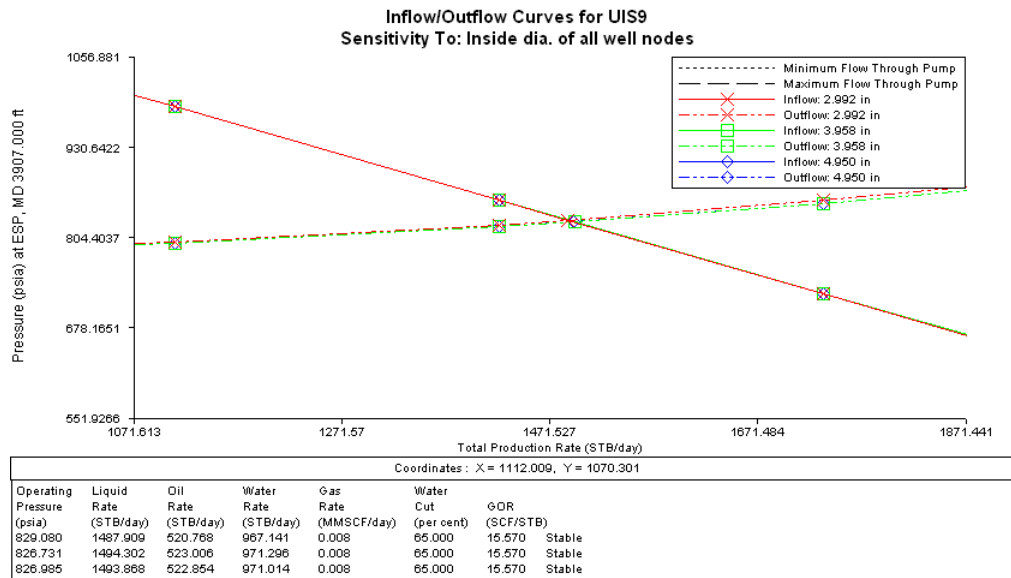
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 43 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 81. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 9

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	1488,20	1488,733
Presión entrada a la bomba (Psia)	818,9	829,161

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 164. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 9



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 164 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para las tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el caudal casi no cambia, esto es debido a que para el caudal que produce el pozo actualmente no es necesario un aumento en el diámetro de la tubería de producción. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 82. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 9

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	1487,909	N/A	829,08
4 ½”	1494,302	0	826,731
5 ½”	1493,868	0	826,985

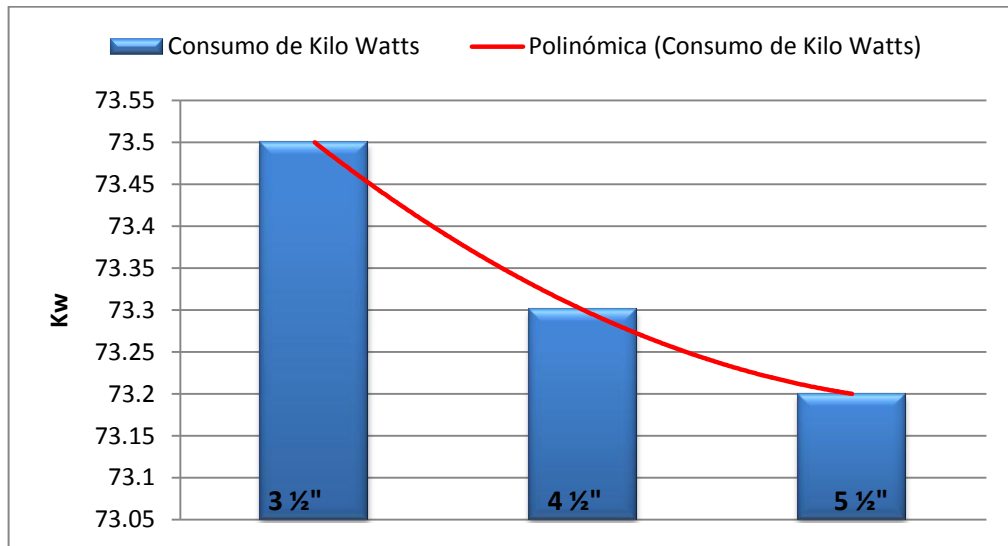
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 83. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 9

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½"	73,5	N/A	73,5	N/A
4 ½"	73,3	0	72,9	1
5 ½"	73,2	0	72,8	1

En la figura 165 se observa que el comportamiento de la disminución de kilo watts es de manera polinómica y casi despreciable a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso de los caudales en el Software de Análisis Nodal, esto ocurre debido a que la producción aumenta muy poco (0 %) y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

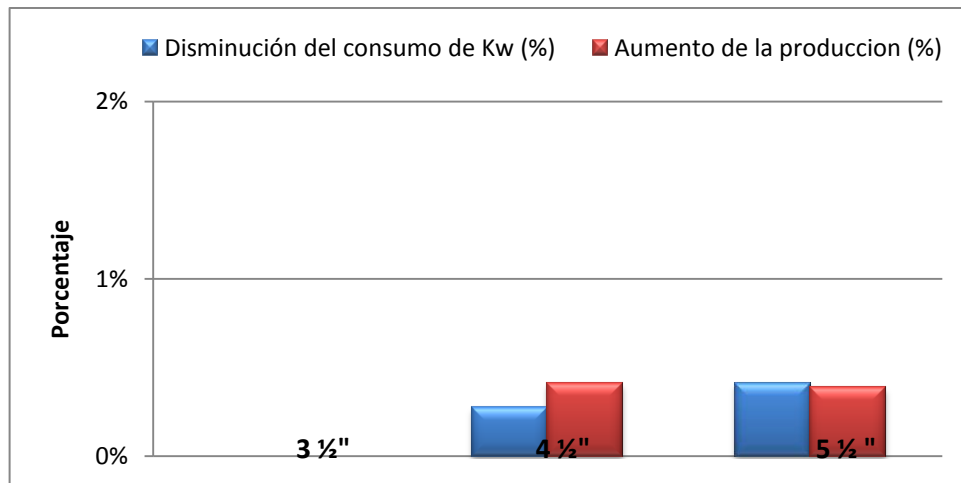
Figura 165. Consumo de Kw pozo UIS 9



Fuente. Los Autores

En la figura 166 se observa la disminución en porcentaje del consumo de kw y la producción del pozo que permanece casi constante a pesar de los cambios en el diámetro de la tubería de producción

Figura 166. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 9



Fuente. Los Autores

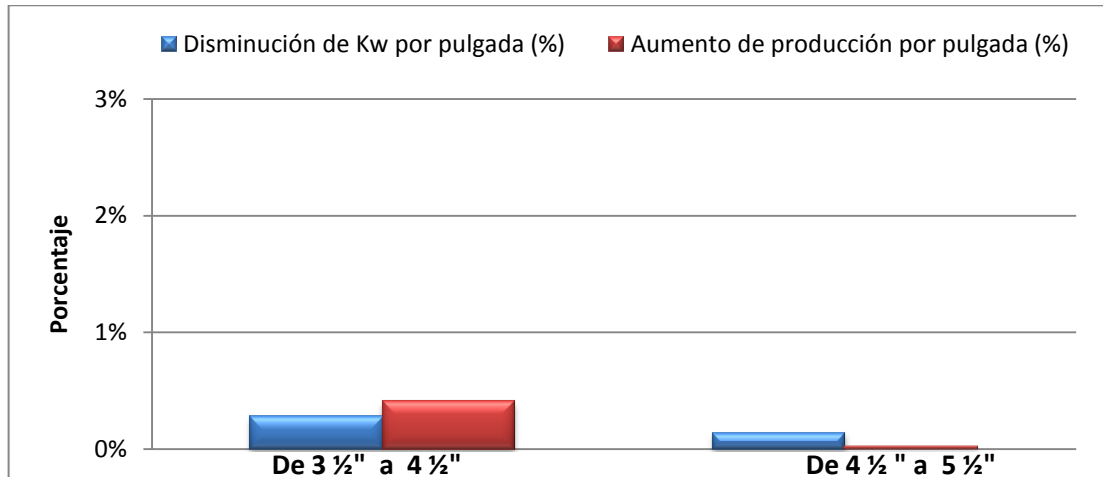
En la tabla 84 se tabulan la disminución de kw y producción de un diámetro a otro.

Tabla 84. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 9

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 1/2" a 4 1/2"	0	0
De 4 1/2" a 5 1/2"	0	0

En la figura 167 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

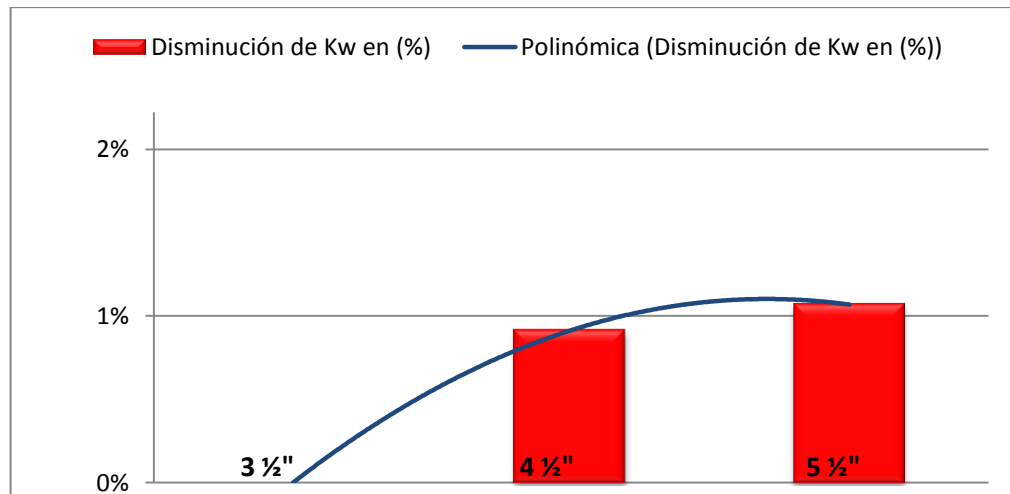
Figura 167. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 9



Fuente. Los Autores

En la figura 168 se observa que para las tuberías de 4 1/2" y 5 1/2" la disminución en porcentaje de kilo watts es de casi 1% al aumentar el diámetro de las tuberías de producción con respecto a la tubería de 3 1/2", manteniendo en los tres casos la producción de diseño.

Figura 168. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 9

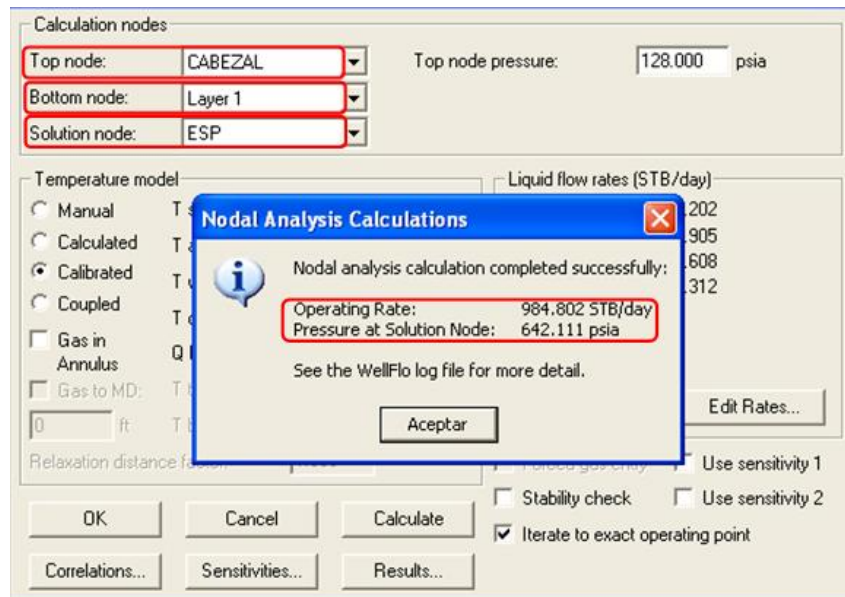


Fuente. Los Autores

8.3.10. Pozo UIS 10

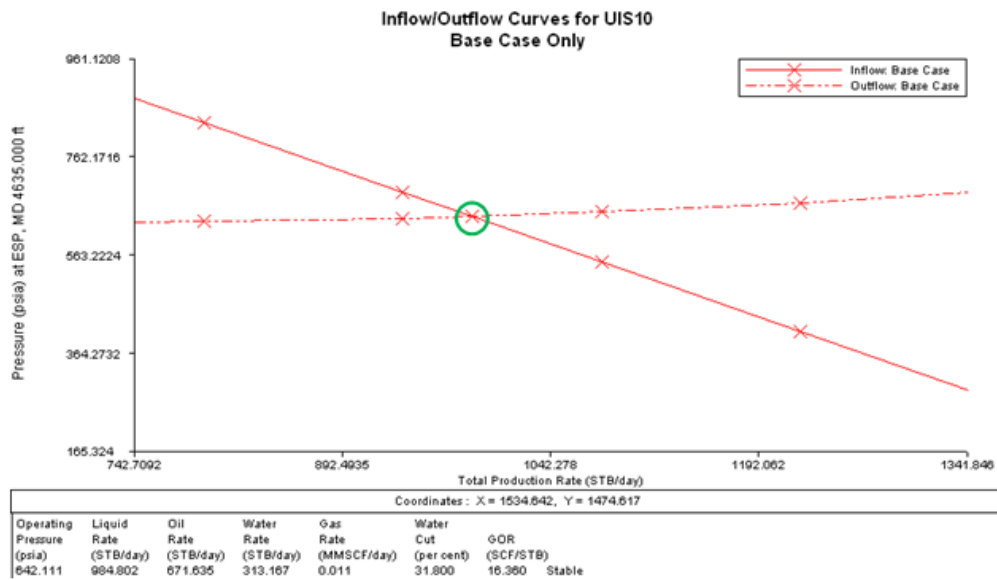
Utilizando los parámetros del rediseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 169. Resultado análisis nodal pozo UIS 10



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 170. Inflow vs Outflow pozo UIS 10



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 169 y 170 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

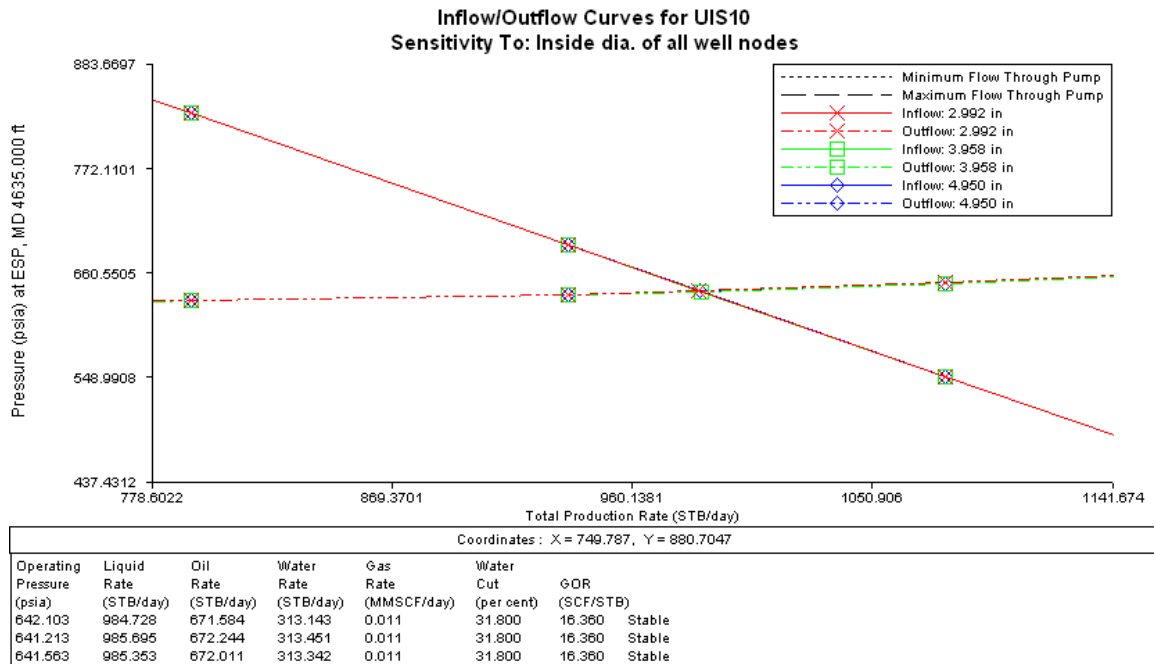
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 57,5 Hertz, se observa que son muy similares.

Tabla 85. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 10

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	984,71	984,802
Presión entrada a la bomba (Psia)	648,9	642,111

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 171. Sensibilidades para tubería de 4 ½” y 5 ½” pozo UIS 10



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 171 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el caudal casi no cambia, esto es debido a que para el caudal que produce el pozo actualmente no es necesario un aumento en el diámetro de la tubería de producción. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 86. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 10

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	984,728	N/A	642,103
4 ½”	985,695	0	641,213
5 ½”	985,353	0	641,563

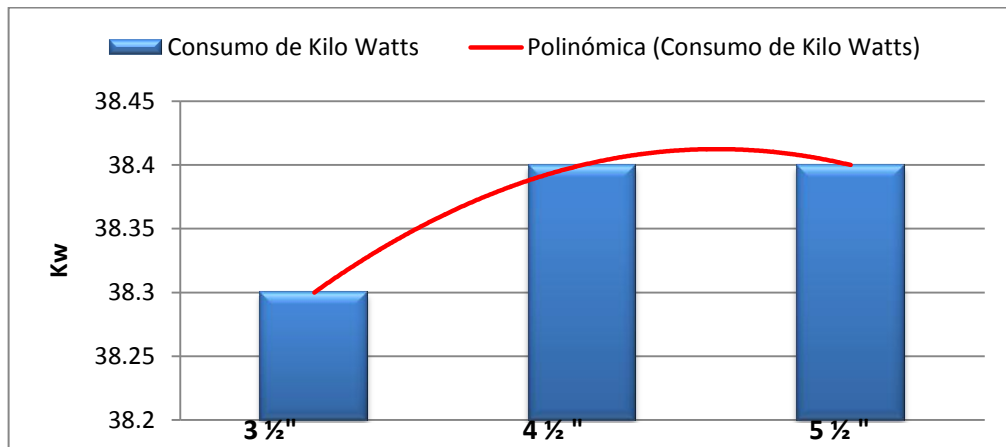
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 87. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 10

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del Software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½”	38,3	N/A	38,3	N/A
4 ½”	38,4	0	38,4	1
5 ½”	38,4	0	38,3	1

En la figura 172 se observa que el comportamiento del aumento de kilo watts es de manera polinómica y casi despreciable a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso de los caudales en el software de Análisis Nodal.

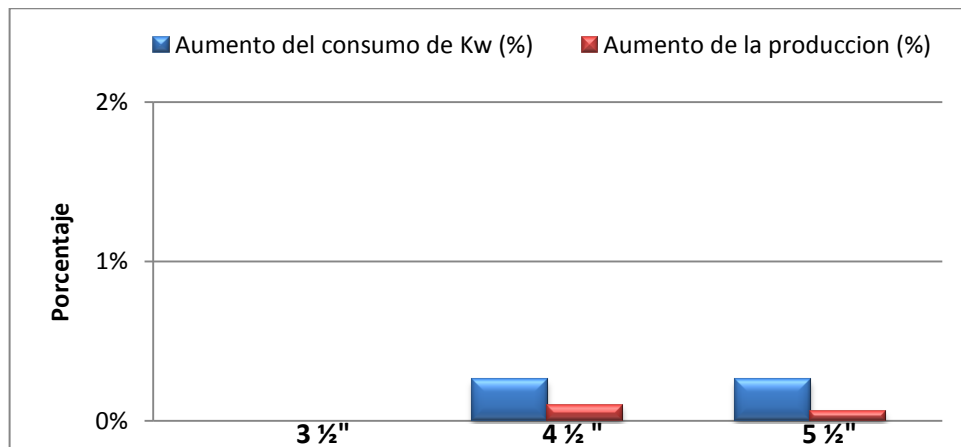
Figura 172. Consumo de Kw pozo UIS 10



Fuente. Los Autores

En la figura 173 se observa la disminución en porcentaje del consumo de kw y la producción del pozo que permanece constante a pesar de los cambios en el diámetro de la tubería de producción

Figura 173. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 10



Fuente. Los Autores

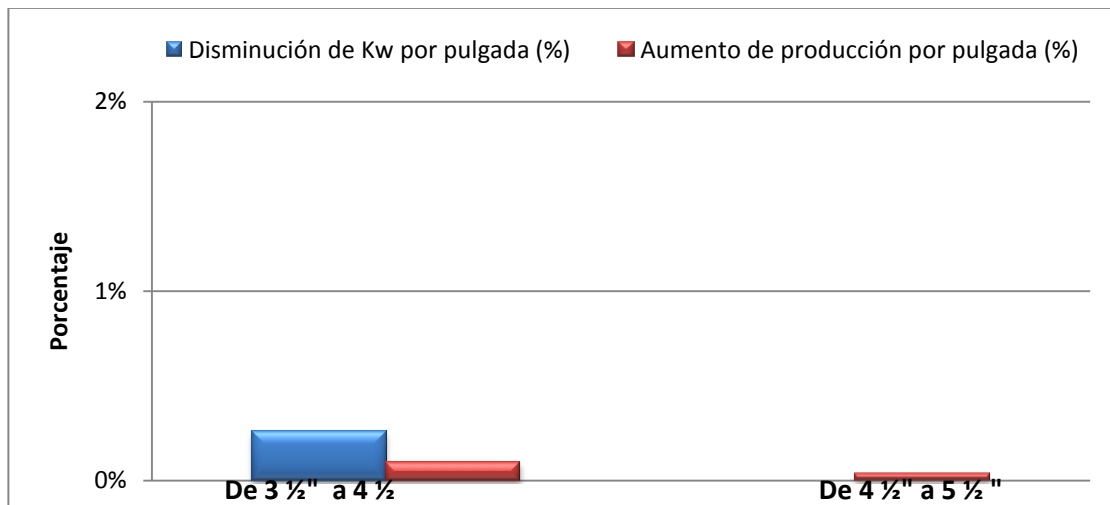
En la tabla 88 se tabulan la disminución de kw y producción de un diámetro a otro.

Tabla 88. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 10

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	0	0
De 4 ½" a 5 ½"	0	0

En la figura 174 se observa la disminución en porcentaje del consumo de kw y la producción del pozo por cambio de pulgada de diámetro en la tubería de producción donde solo se presenta disminución en un (1%) para la tubería de 4½".

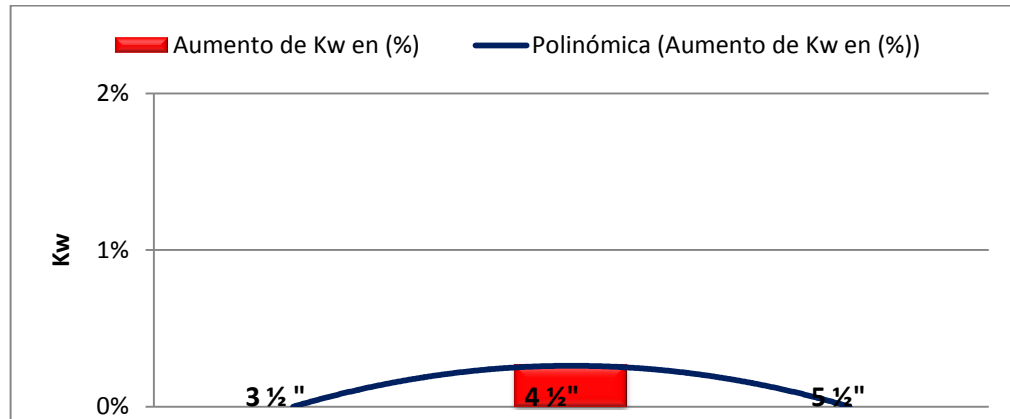
Figura 174. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 10



Fuente. Los Autores

En la figura 175 se observa que para las tuberías de 4½"y 5½" la disminución del porcentaje de kilo watts con respecto a la tubería actual 3½" es de 1% al aumentar el diámetro de las tuberías de producción y mantener el caudal a las condiciones de diseño.

Figura 175. Aumento en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 10

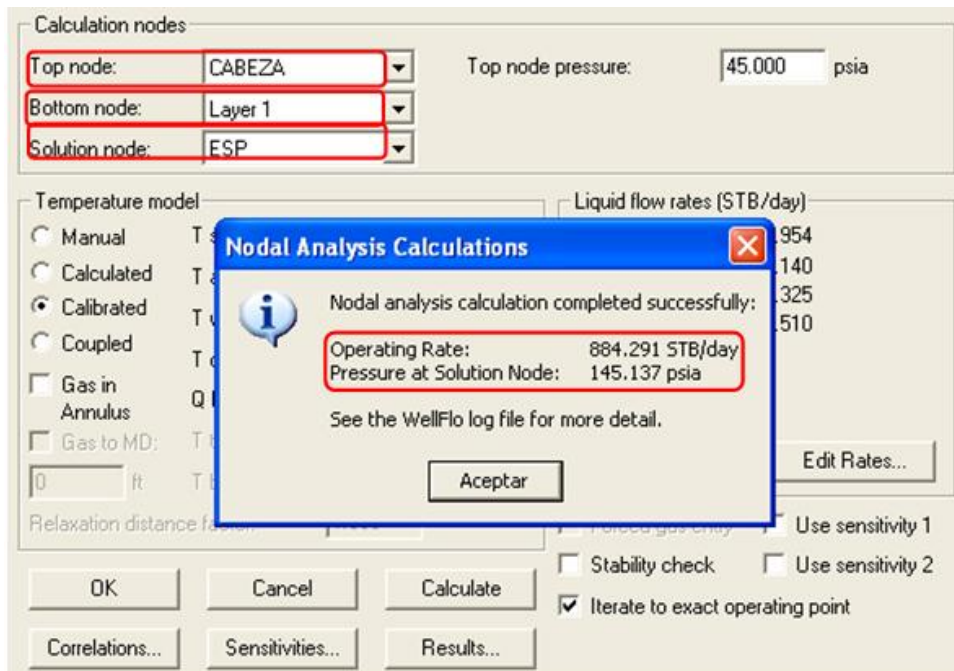


Fuente. Los Autores

8.3.11. Pozo UIS 11

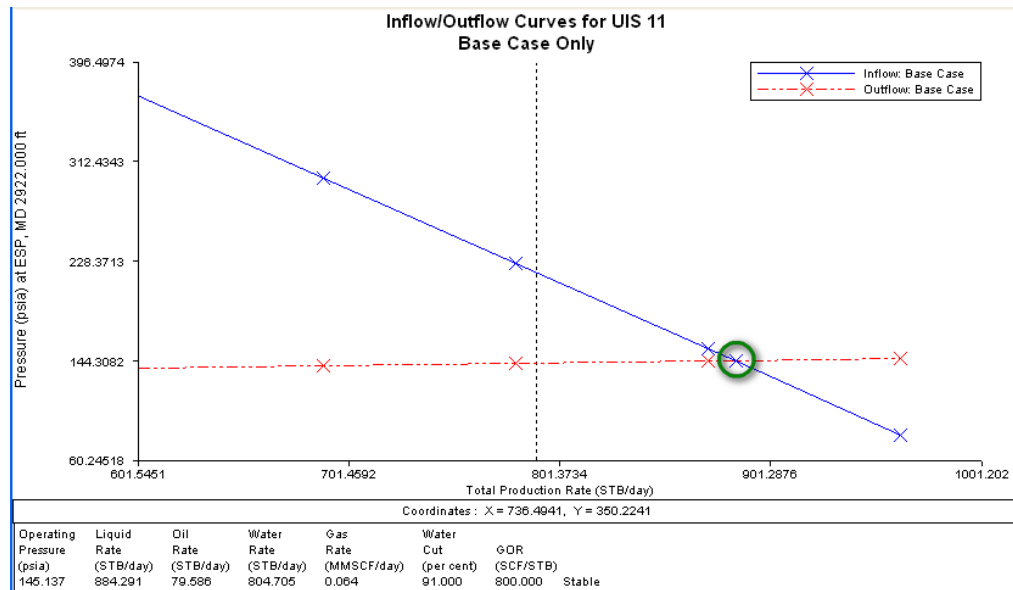
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 176. Resultado análisis nodal pozo UIS 11



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 177. Inflow vs Ourflow pozo UIS 11



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 176 y 177 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

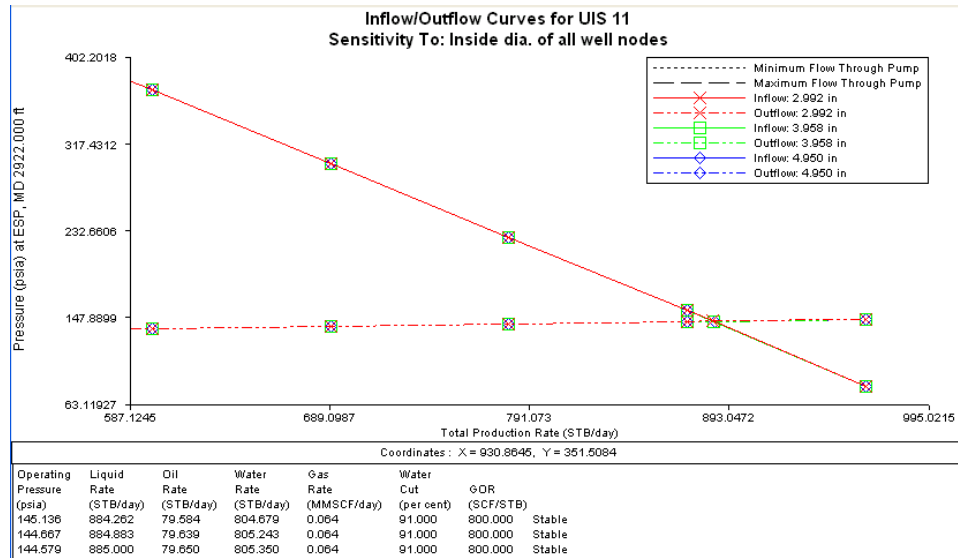
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 60 Hertz, se observa que son muy similares los datos de producción, en cambio la presión de entrada a la bomba si varía representativamente.

Tabla 89. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 11

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	884,7	884,2
Presión entrada a la bomba (Psia)	314,4	145,1

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 178. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 11



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 178 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4 ½”y 5 ½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es en menor proporción, esto es debido a las condiciones de la bomba ya que esta simulando a las condiciones de diseño, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 90. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 11

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	884,2	N/A	145,1
4 ½”	884,8	0	144,6
5 ½”	885	0	144,5

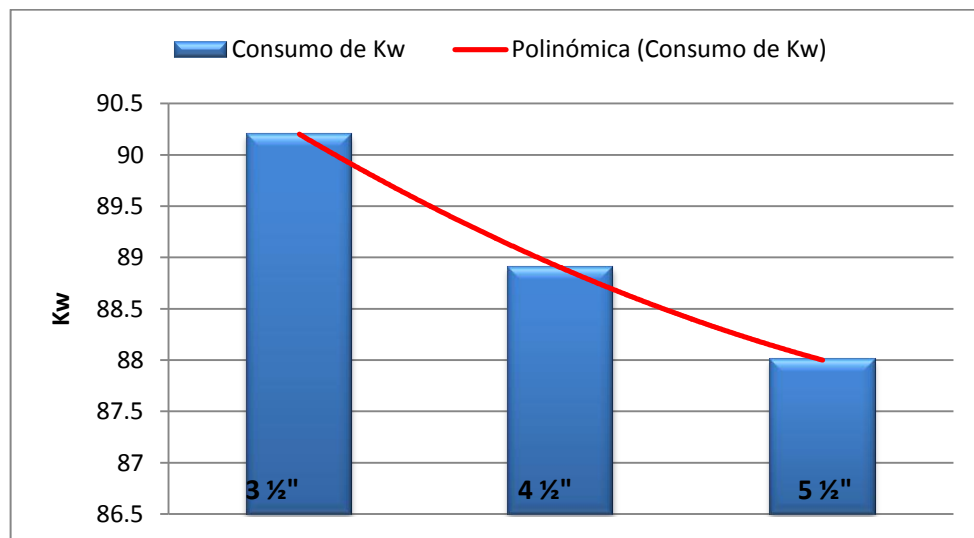
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 91. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 11

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½"	90,2	N/A	90,2	N/A
4 ½"	88,9	1	88,8	2
5 ½"	88	2	87,9	3

En la figura 179 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

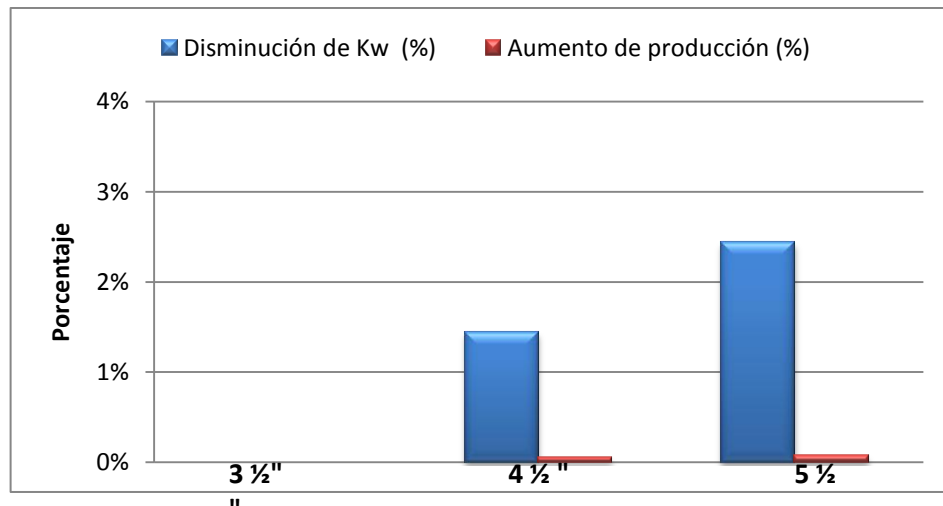
Figura 179. Consumo de Kw pozo UIS 11



Fuente. Los Autores

En la figura 180 se observa la disminución del consumo de kilo watts en porcentaje y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual.

Figura 180. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 11



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

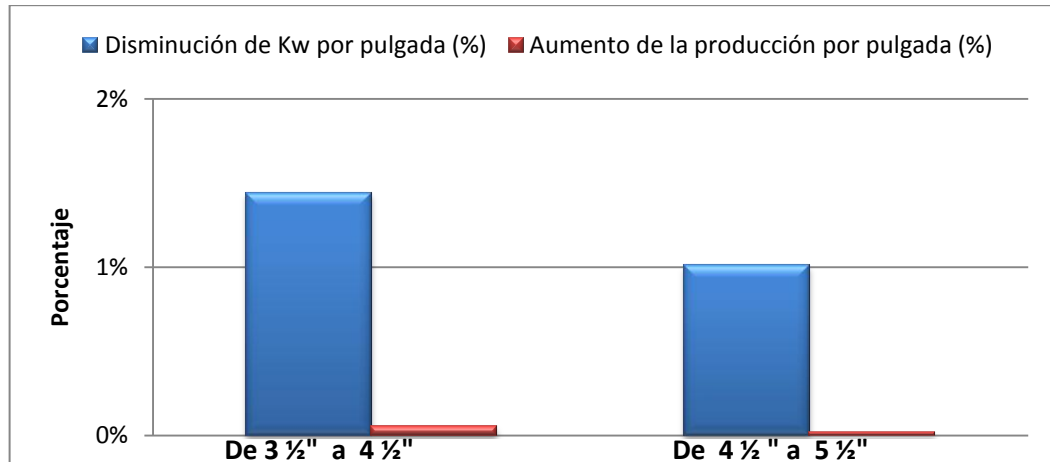
Tabla 92. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 11

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 1/2" a 4 1/2"	1	0
De 4 1/2" a 5 1/2"	1	0

En la figura 181 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una

manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

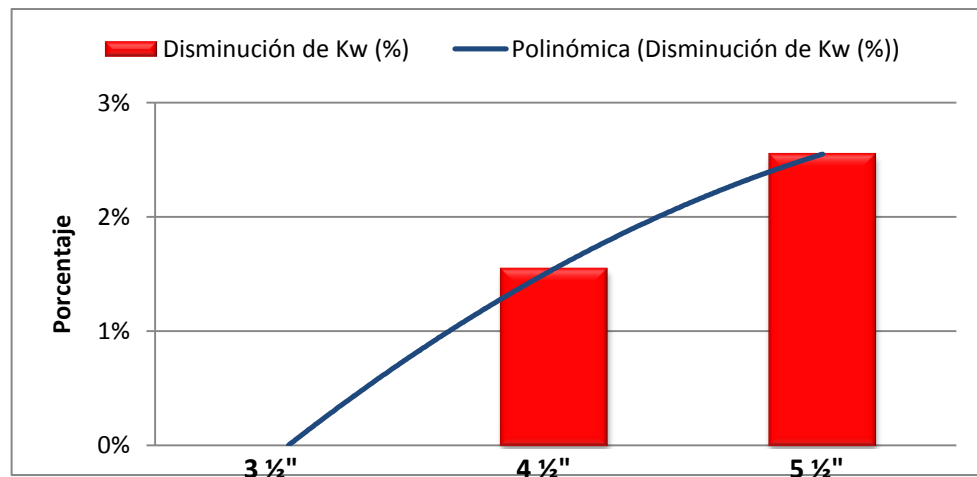
Figura 181. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 11



Fuente. Los Autores

En la figura 182 se observa la disminución en porcentaje de Kw que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente el cambio es muy poco.

Figura 182. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 11

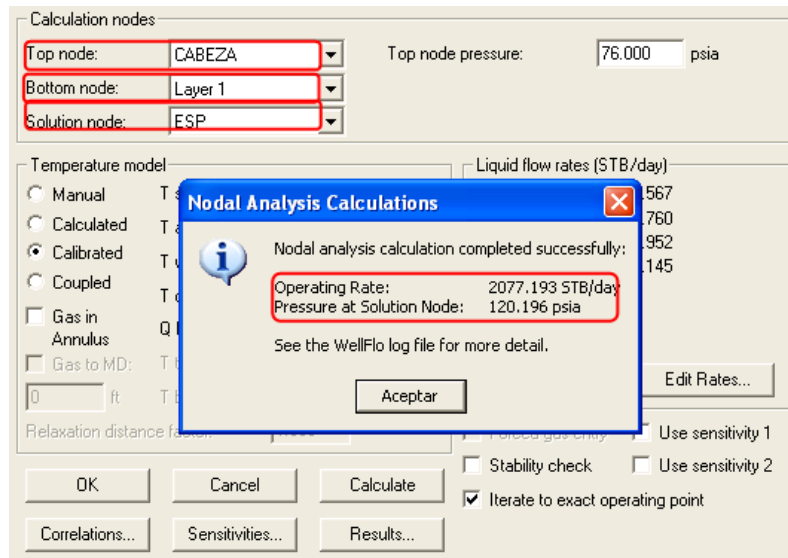


Fuente. Los Autores

8.3.12. Pozo UIS 12

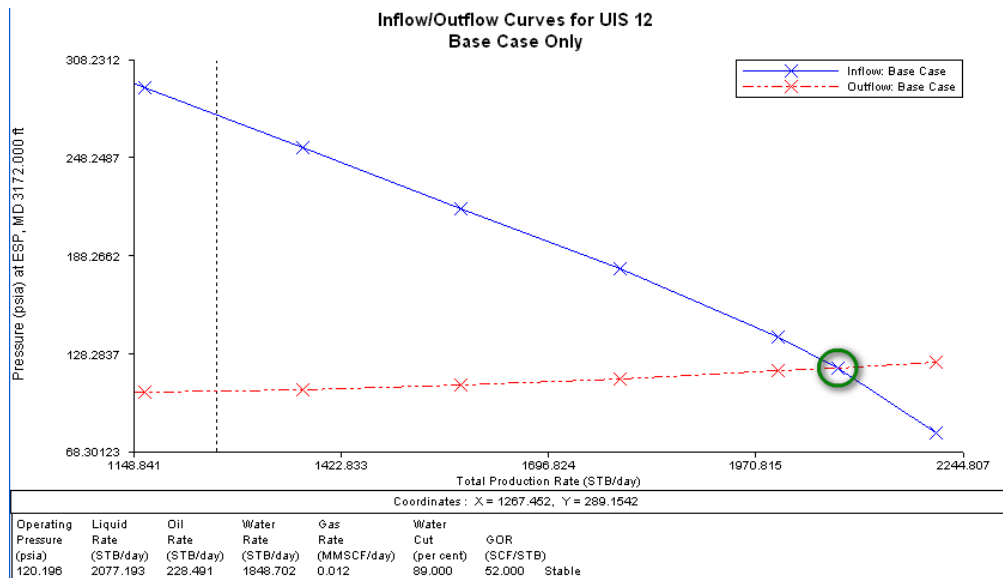
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 183. Resultado análisis nodal pozo UIS 12



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 184. Inflow vs Outflow pozo UIS 12



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 183 y 184 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

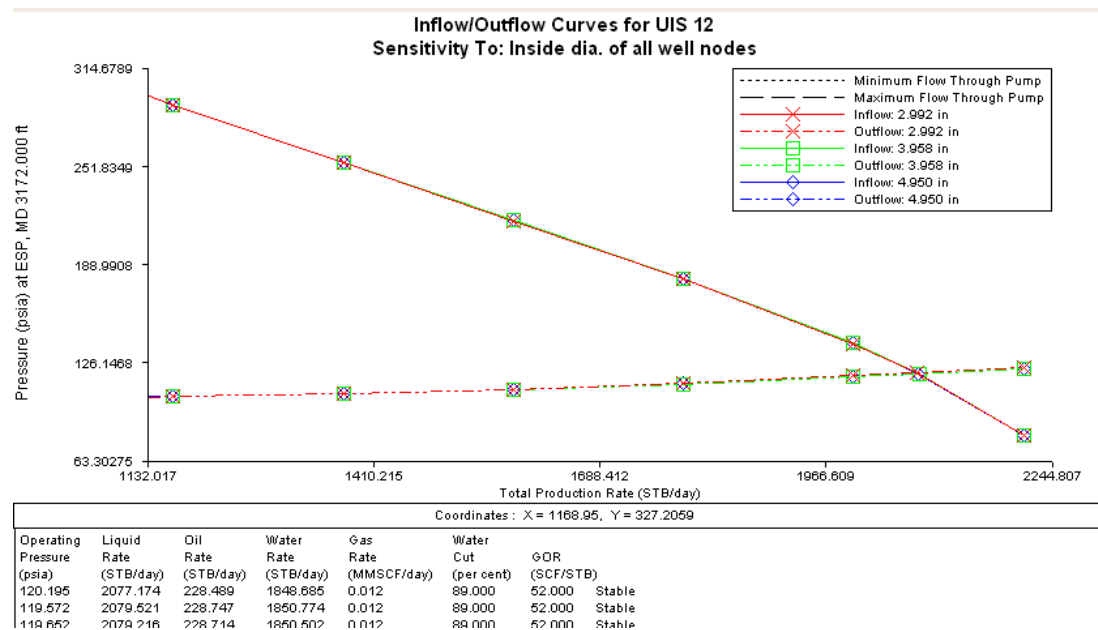
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 55 Hertz, se observa que son muy similares los datos de producción, en cambio la presión de entrada a la bomba varía cerca de un 20%.

Tabla 93. Caudal y presión a la entrada de la bomba pozo UIS 12

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	2077,9	2077,1
Presión entrada a la bomba (Psia)	97,8	120,1

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 185. Sensibilidades para tubería de 4 ½” y 5 ½” pozo UIS 12



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 185 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es en menor proporción, esto es debido a las condiciones de la bomba ya que esta simulando a las condiciones de diseño, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 94. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 12

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	2077,1	N/A	120,1
4 ½”	2079,5	0	119,5
5 ½”	2079,2	0	119,6

Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

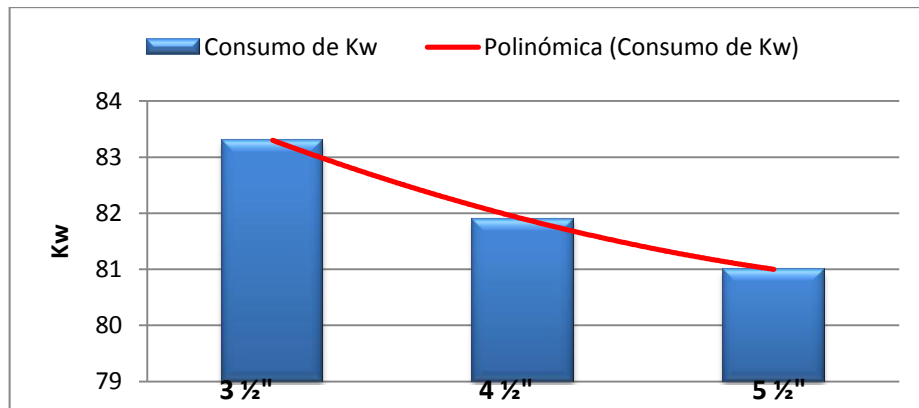
Tabla 95. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 12

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½”	83,3	N/A	83,3	N/A
4 ½”	81,9	2	81,5	2
5 ½”	81	3	80,5	3

En la figura 185 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la

tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

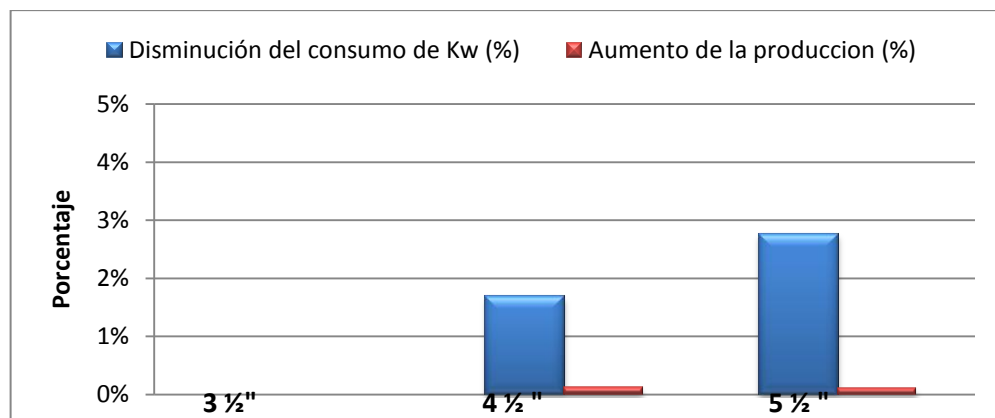
Figura 186. Consumo de Kw pozo UIS 12



Fuente. Los Autores

En la figura 187 se observa la disminución del consumo de kilo watts en porcentaje y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual.

Figura 187. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 12



Fuente. Los Autores

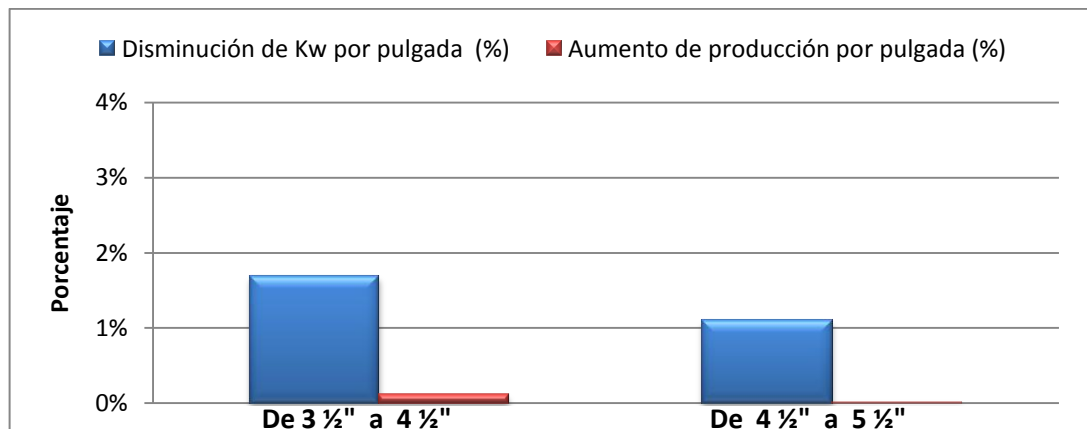
En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

Tabla 96. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 12

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	2	0
De 4 ½" a 5 ½"	1	0

En la figura 188 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

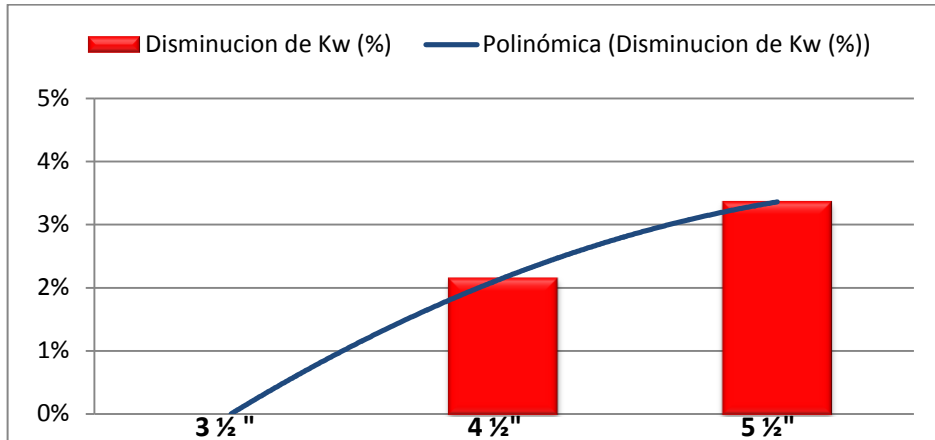
Figura 188. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 12



Fuente. Los Autores

En la figura 189 se observa la disminución en porcentaje de Kw que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente el cambio es muy poco.

Figura 189. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 12

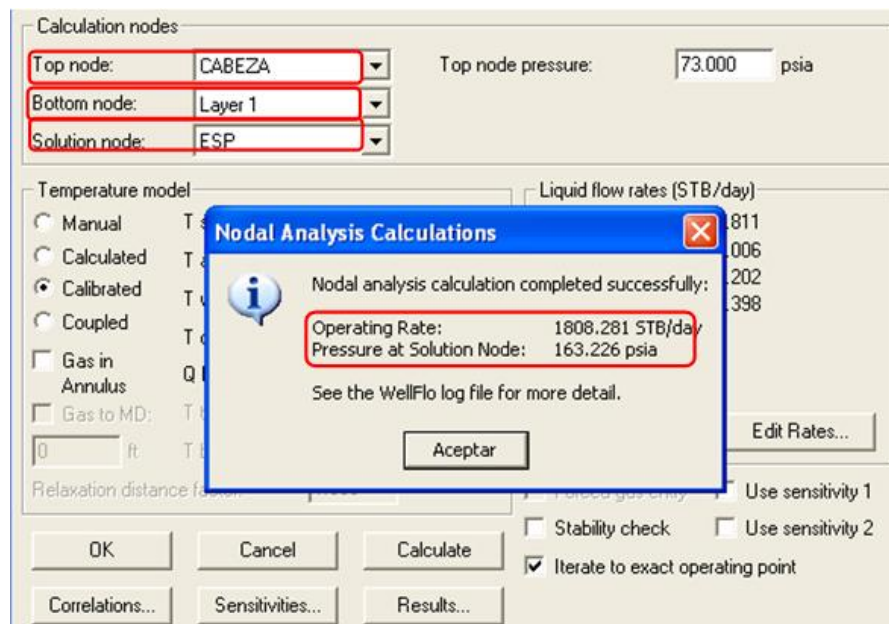


Fuente. Propia

8.3.13. Pozo UIS 13

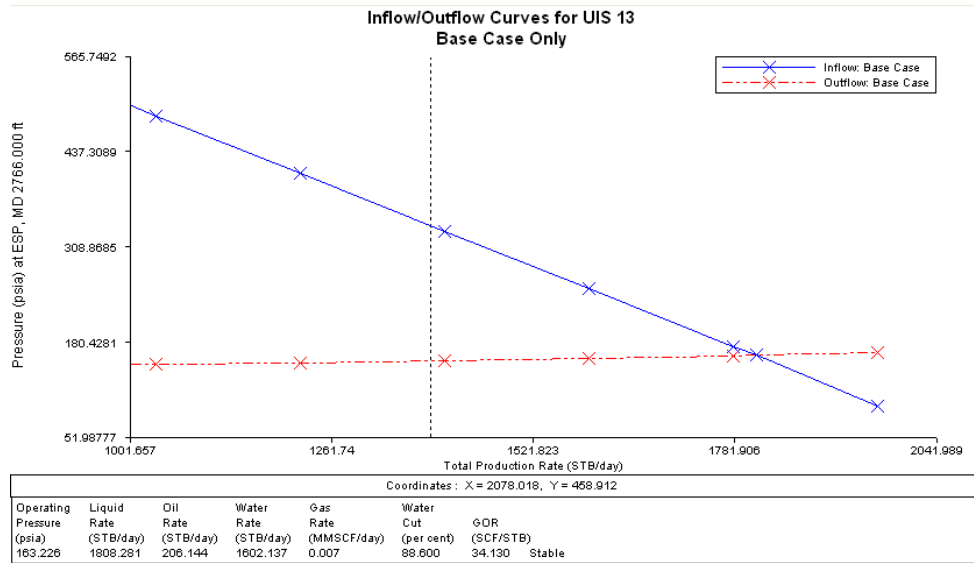
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 190. Resultado análisis nodal pozo UIS 13



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 191. Inflow vs Outflow pozo UIS 13



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 190 y 191 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

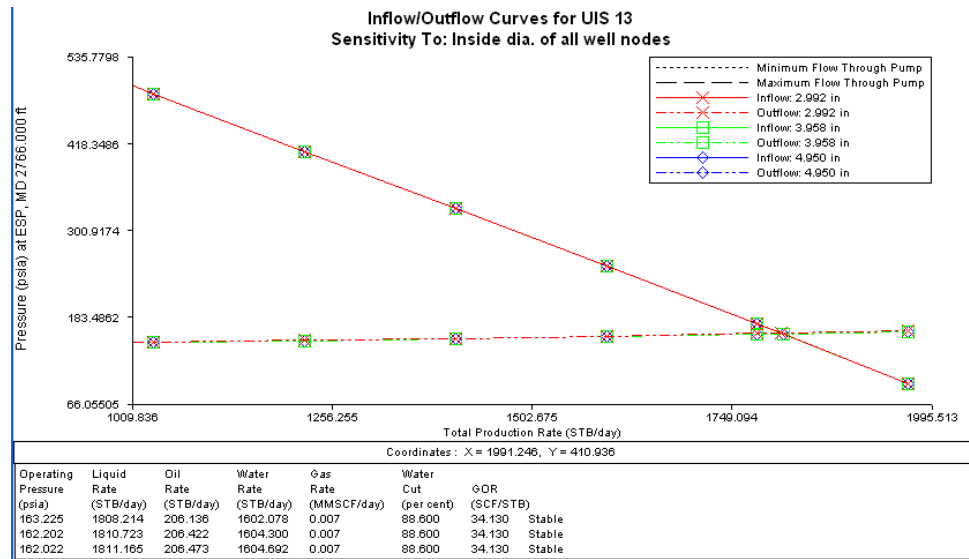
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 60 Hertz, se observa que son muy similares los datos de producción, en cambio la presión de entrada a la bomba varía cerca de un 18%.

Tabla 97. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 13

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	1808,58	1808,2
Presión entrada a la bomba (Psia)	137,3	163,2

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 192. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 13



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 192 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4 ½”y 5 ½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es en menor proporción, esto es debido a las condiciones de la bomba ya que esta simulando a las condiciones de diseño, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 98. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 13

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	1808,2	N/A	163,22
4 ½”	1810,7	0	162,2
5 ½”	1811,1	0	162

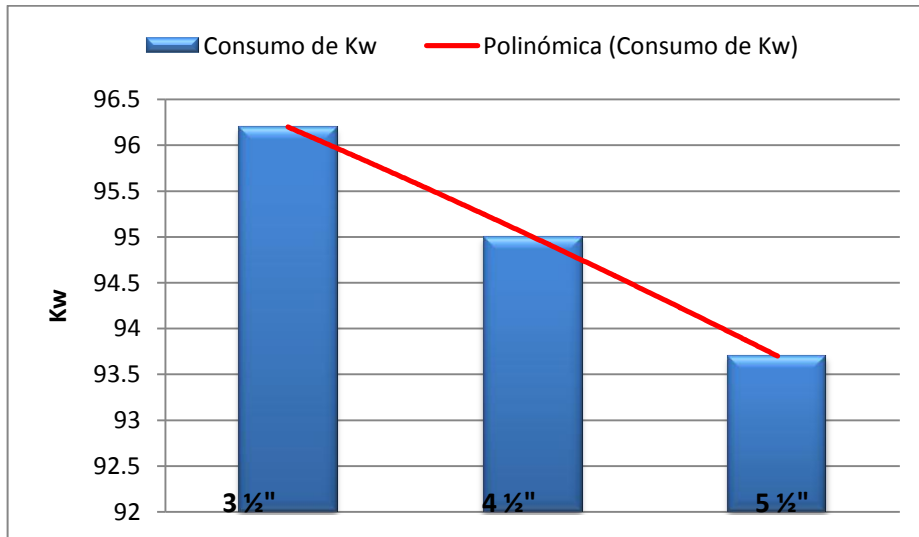
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 99. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 13

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½"	96,2	N/A	96,2	N/A
4 ½"	95	1	94,2	2
5 ½"	93,7	3	93	3

En la figura 193 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

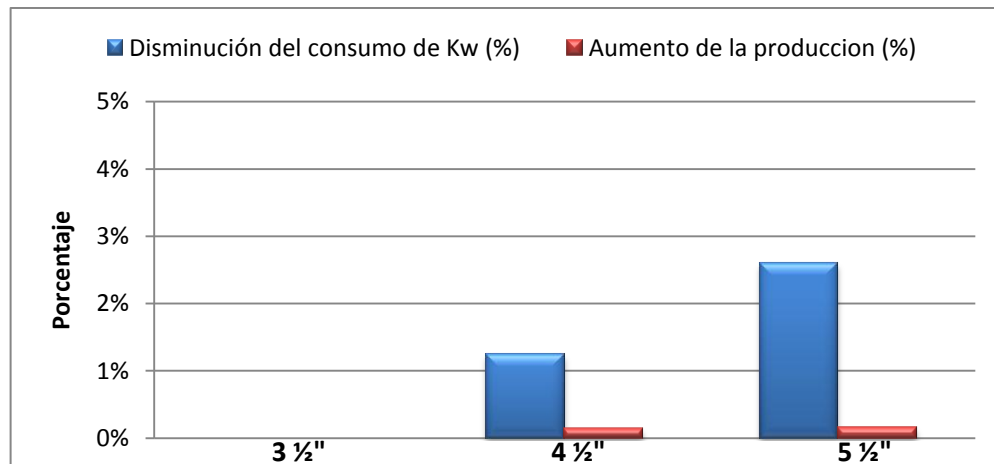
Figura 193. Consumo de Kw pozo UIS 13



Fuente. Los Autores

En la figura 194 se observa la disminución del consumo de kilo watts en porcentaje y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual.

Figura 194. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 13



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

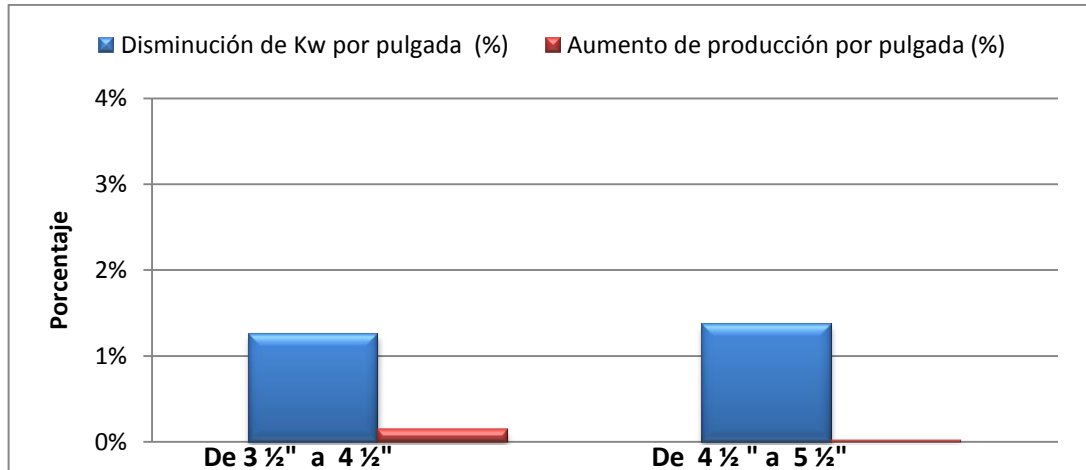
Tabla 100. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 13

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 1/2" a 4 1/2"	1	0
De 4 1/2" a 5 1/2"	1	0

En la figura 195 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una

manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

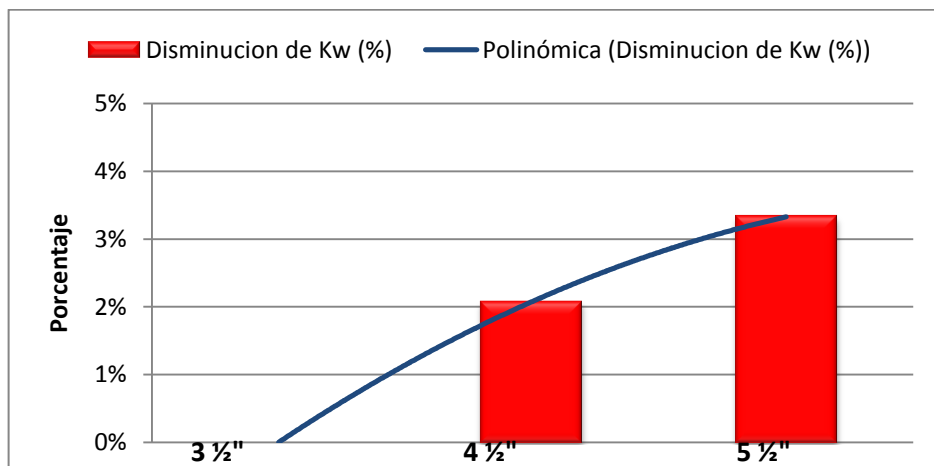
Figura 195. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 13



Fuente. Los Autores

En la figura 196 se observa la disminución en porcentaje de Kw que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente el cambio es muy poco.

Figura 196. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 13

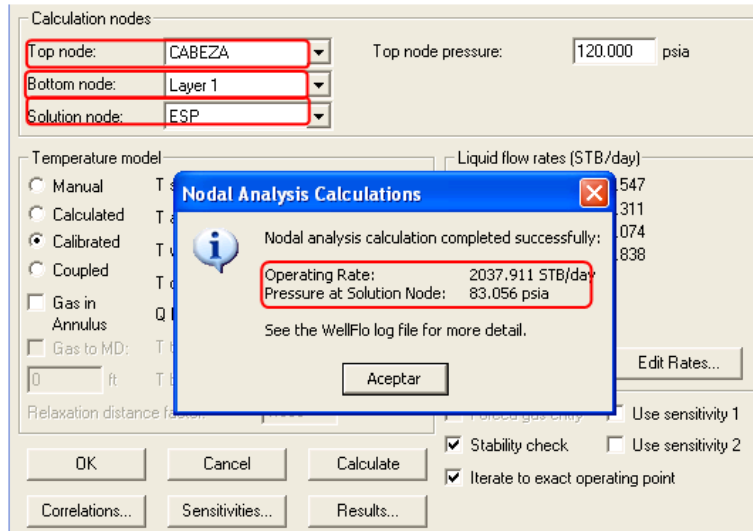


Fuente. Los Autores

8.3.14. Pozo UIS 14

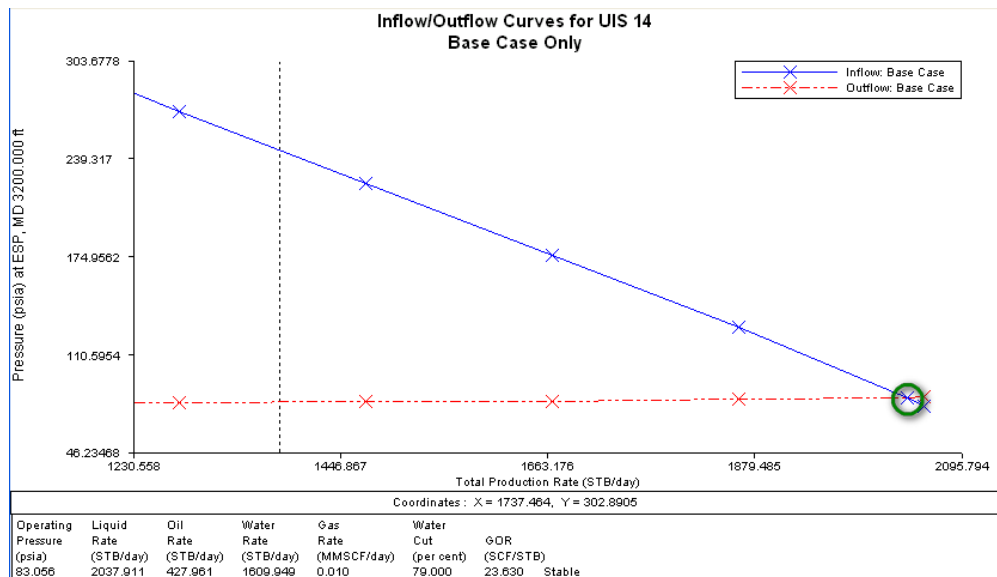
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 197. Resultado análisis nodal pozo UIS 14



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 198. Inflow vs Outflow pozo UIS 14



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 197 y 198 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

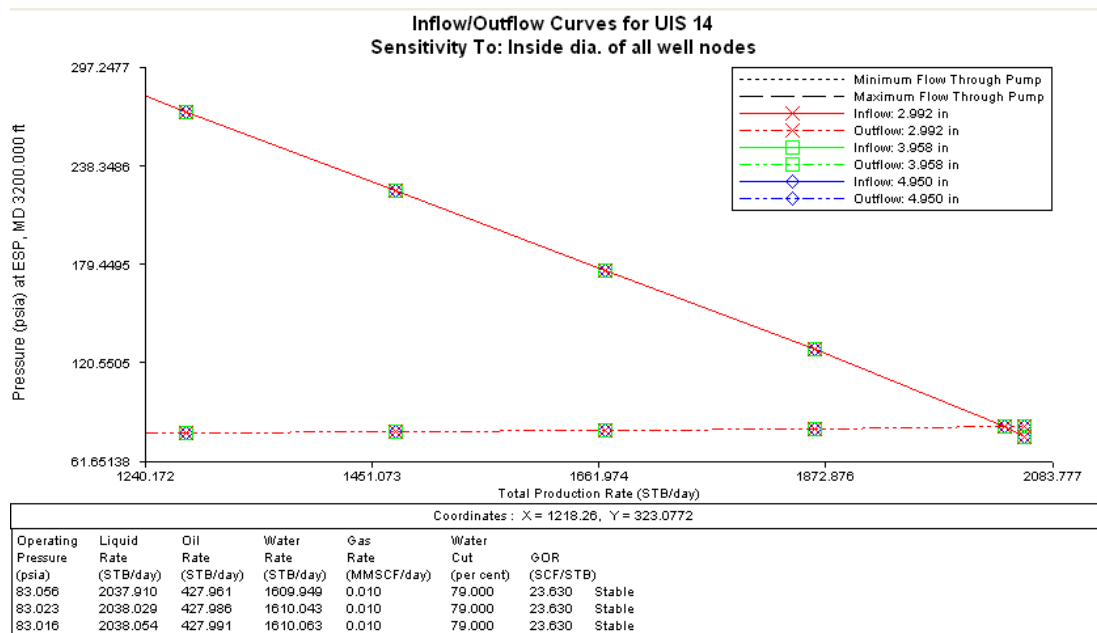
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 60 Hertz, se observa que son muy similares los datos de producción, en cambio la presión de entrada a la bomba varía.

Tabla 101. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 14

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	2039	2037,9
Presión entrada a la bomba (Psia)	134,6	83,05

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 199. Sensibilidades para tubería de 4 ½” y 5 ½” pozo UIS 14



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 199 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa al aumentar el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es en menor proporción, esto es debido a las condiciones de la bomba ya que esta simulando a las condiciones de diseño, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 102. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 14

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	2037,9	N/A	83,05
4 ½”	2038,02	0	83,02
5 ½”	2038,05	0	83,01

Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

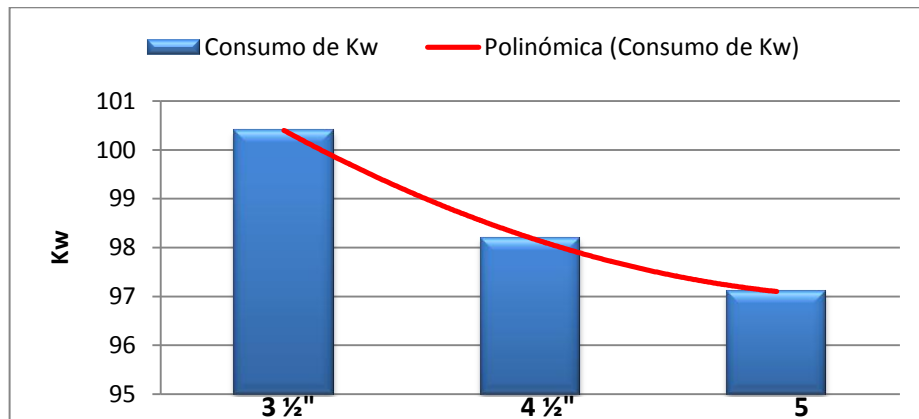
Tabla 103. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 14

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½”	100,4	N/A	100,4	N/A
4 ½”	98,2	2	98,2	2
5 ½”	97,1	3	97,1	3

En la figura 200 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el

software de Análisis nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

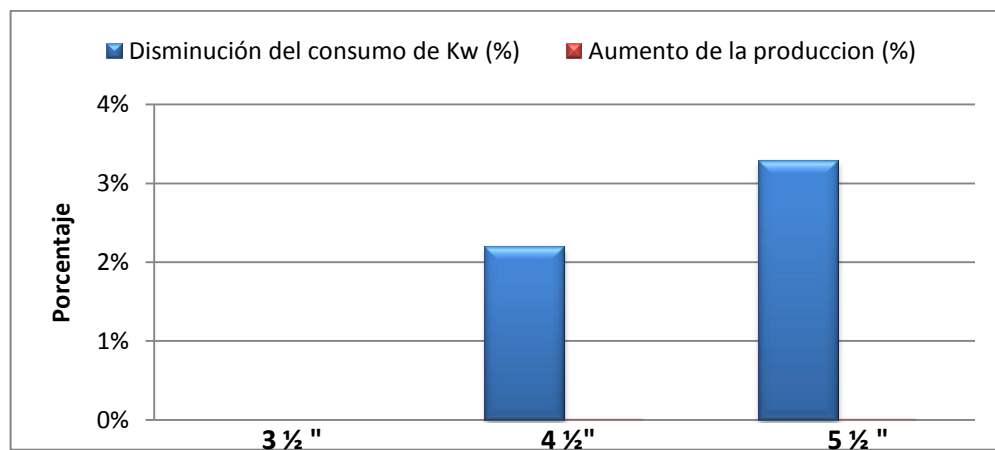
Figura 200. Consumo de Kw pozo UIS 14



Fuente. Los Autores

En la figura 201 se observa la disminución del consumo de kilo watts en porcentaje y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual.

Figura 201. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 14



Fuente. Los Autores

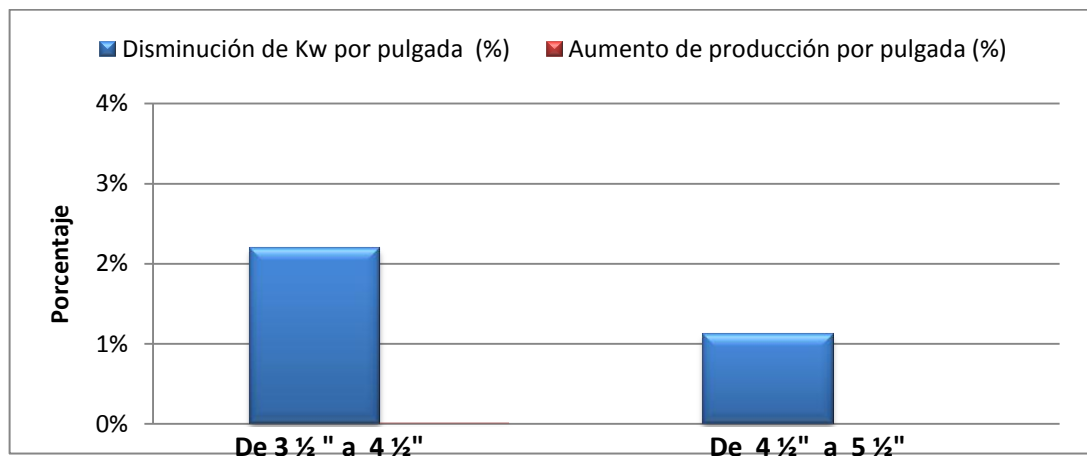
En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

Tabla 104. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 14

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	2	0
De 4 ½" a 5 ½"	1	0

En la figura 202 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Estos valores varían de manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

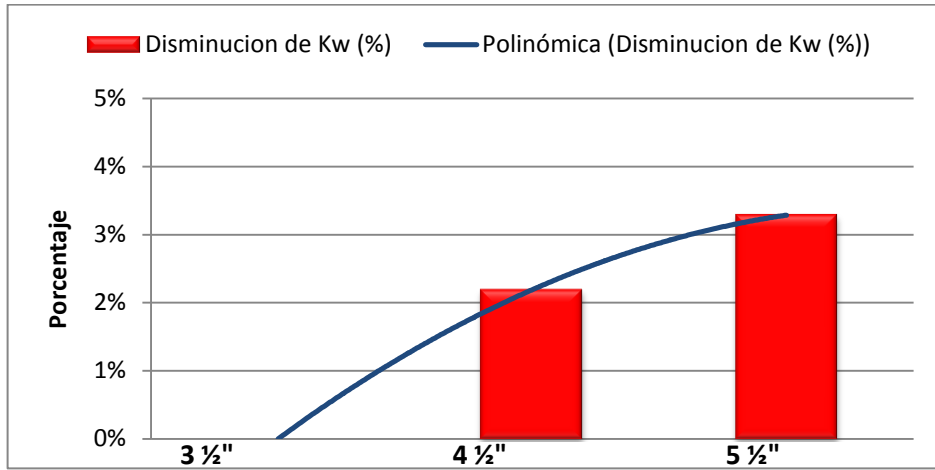
Figura 202. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 14



Fuente. Los Autores

En la figura 203 se observa la disminución en porcentaje de Kw que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente el cambio es muy poco.

Figura 203. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 14

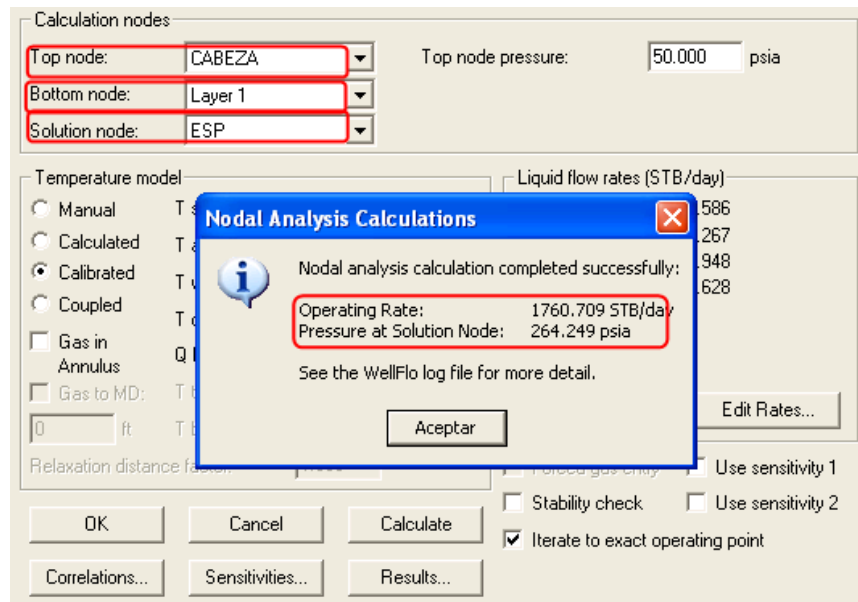


Fuente. Los Autores

8.3.15. Pozo UIS 15

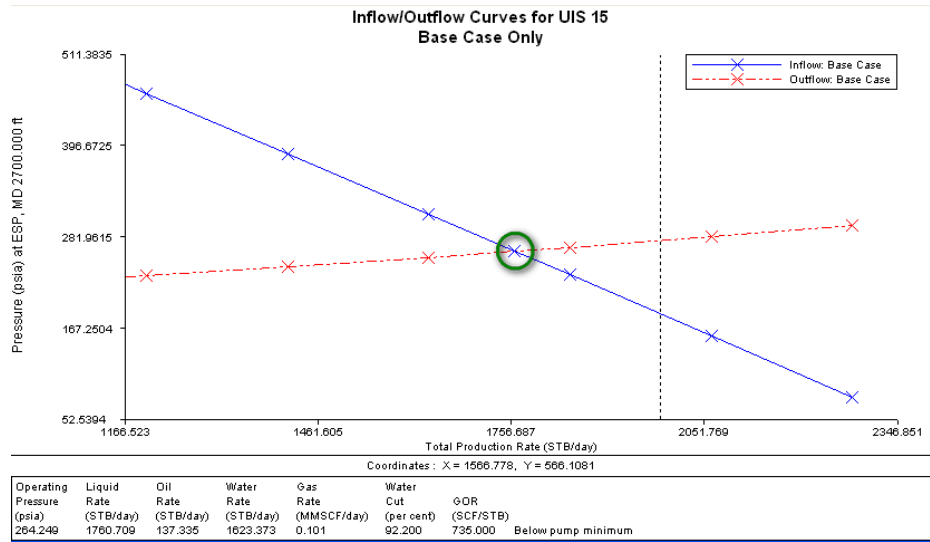
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 204. Resultado análisis nodal pozo UIS 15



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 205. Inflow vs Outflow pozo UIS 15



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 205 y 205 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

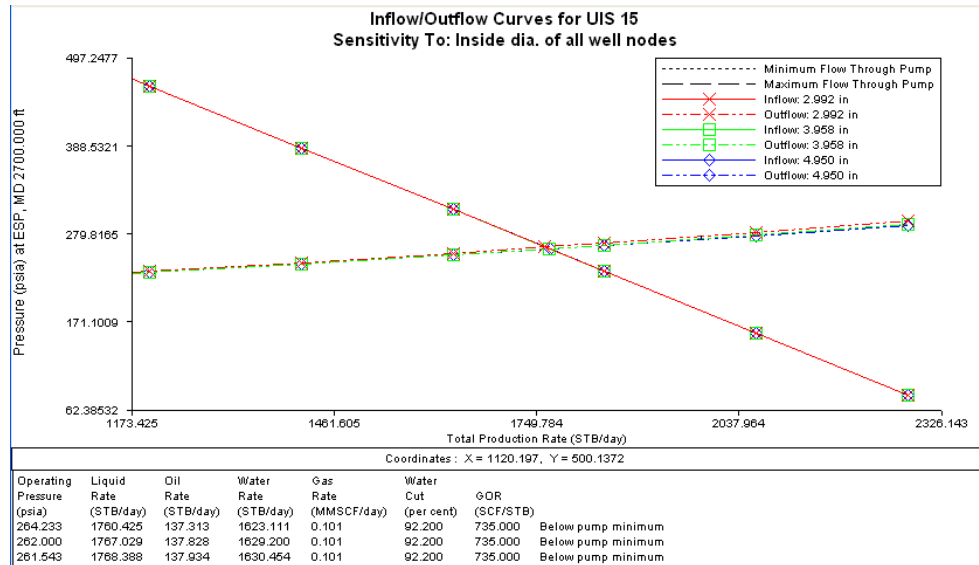
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 60 Hertz, se observa que son muy similares los datos de producción, en cambio la presión de entrada a la bomba varía.

Tabla 105. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 15

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	1760,49	1760,7
Presión entrada a la bomba (Psia)	244,9	264,2

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 206. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 15



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 206 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4 ½”y 5 ½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es en menor proporción, esto es debido a las condiciones de la bomba ya que esta simulando a las condiciones de diseño, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 106. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 15

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	1760,7	N/A	264,2
4 ½”	1767	0	262
5 ½”	1768,3	0	261,5

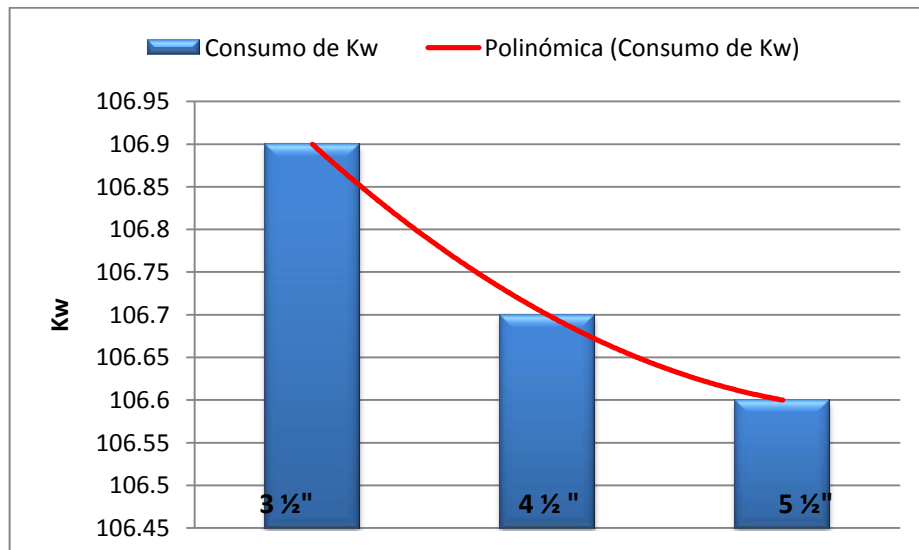
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 107. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 15

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½"	106,9	N/A	106,9	N/A
4 ½"	106,7	0	106,5	0
5 ½"	106,6	0	106,4	0

En la figura 207 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

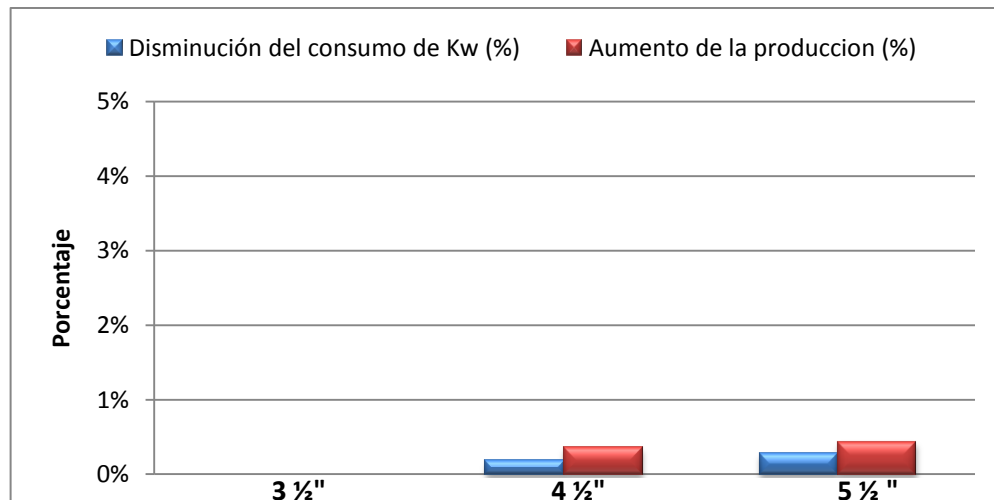
Figura 207. Consumo de Kw pozo UIS 15



Fuente. Los Autores

En la figura 208 se observa la disminución del consumo de kilo watts en porcentaje y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual.

Figura 208. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 15



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

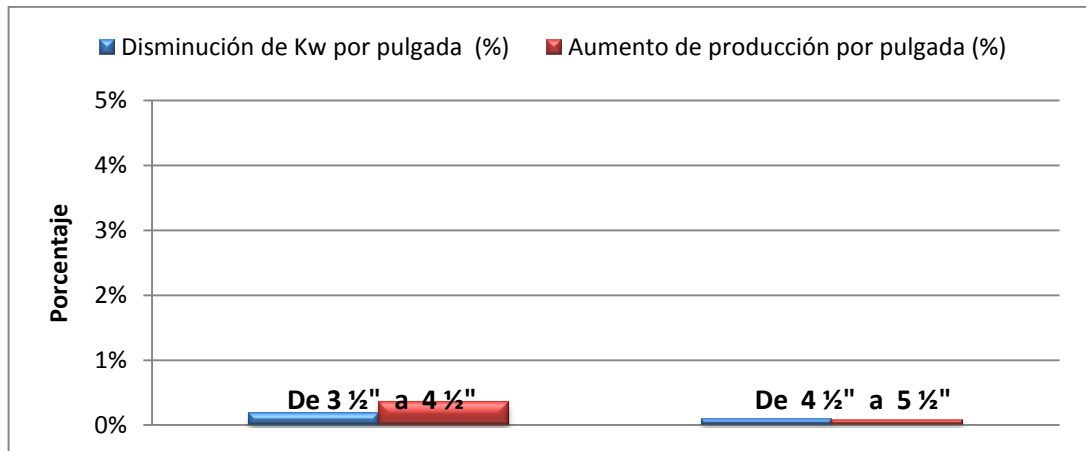
Tabla 108. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 15

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 1/2" a 4 1/2"	0	0
De 4 1/2" a 5 1/2"	0	0

En la figura 209 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una

manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

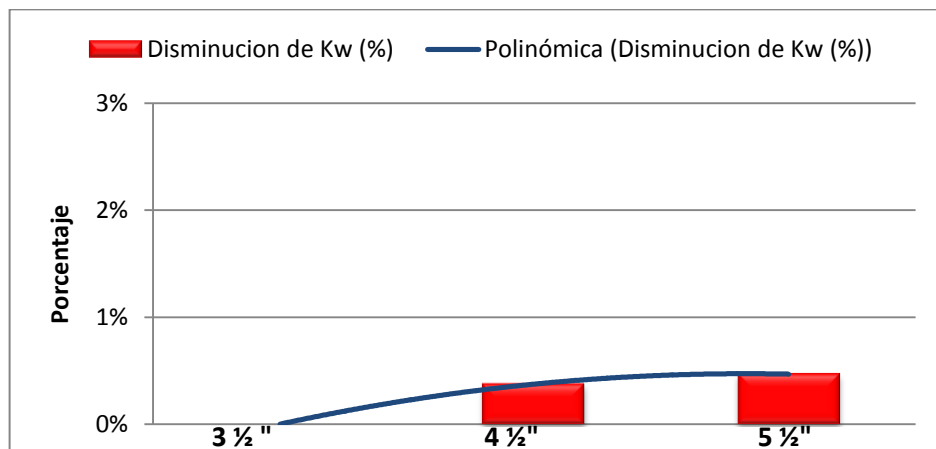
Figura 209. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 15



Fuente. Los Autores

En la figura 210 se observa la disminución en porcentaje de Kw que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente el cambio es muy poco.

Figura 210. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 15

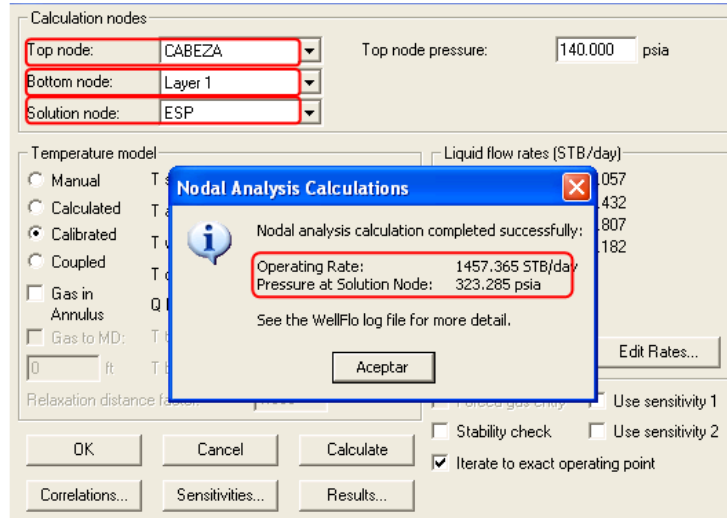


Fuente. Los Autores

8.3.16. Pozo UIS 16

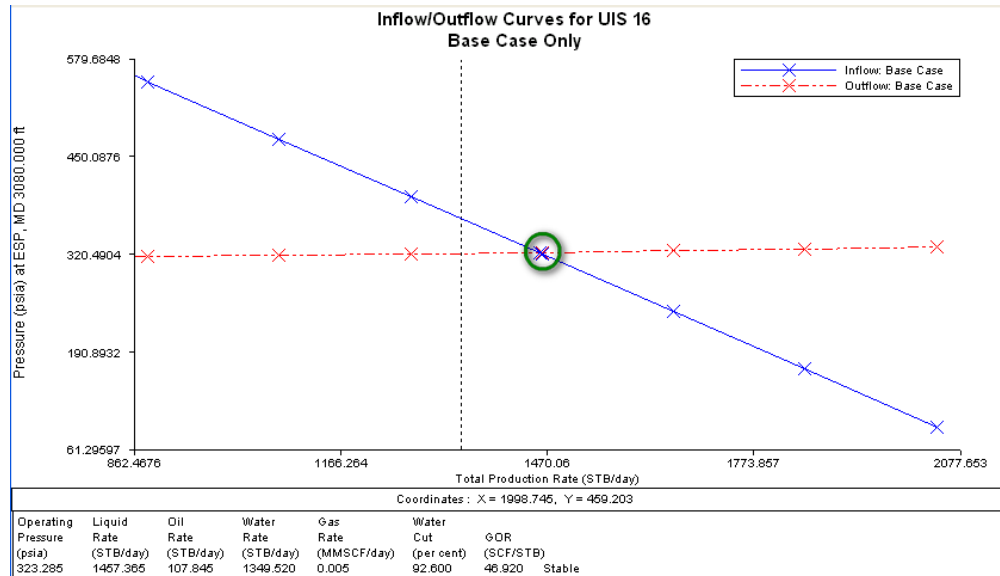
Utilizando los parámetros del diseño, se obtienen los siguientes resultados para el análisis nodal.

Figura 211. Resultado análisis nodal pozo UIS 16



Fuente. Software de análisis nodal

Figura 212. Inflow vs Outflow pozo UIS 16



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 211 y 212 se observa la presión del nodo solución y el caudal de operación tanto en el resultado como en la intersección del *Inflow* y *Outflow*.

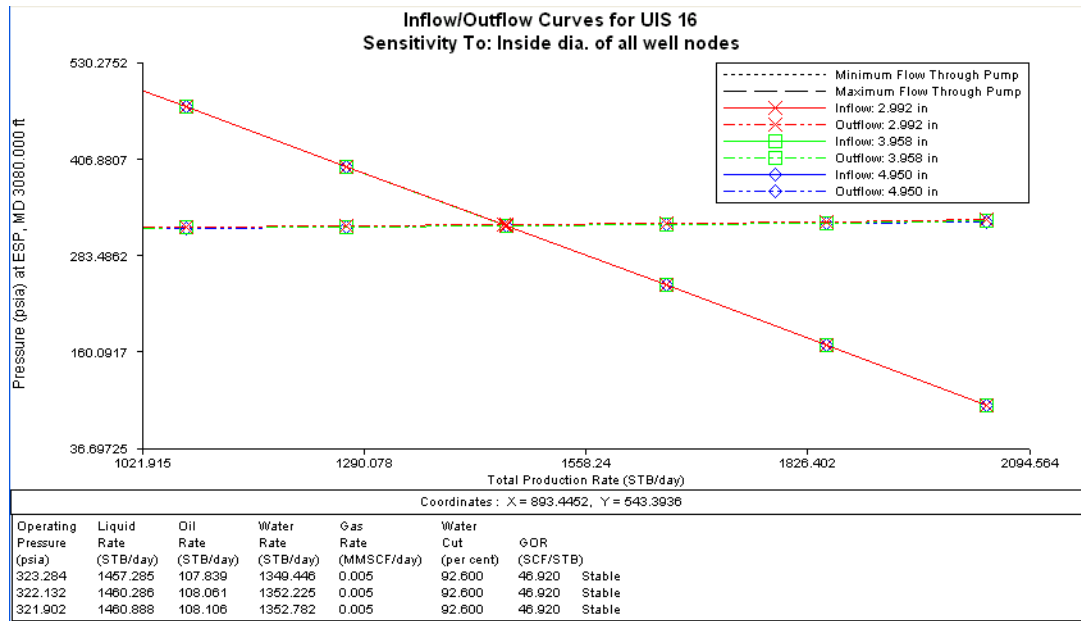
En la siguiente tabla se observa el caudal y la presión de entrada a la bomba para las condiciones de diseño y las del análisis nodal a 58 Hertz, se observa que son muy similares los datos de producción, en cambio la presión de entrada a la bomba varía.

Tabla 109. Caudal y presión de entrada a la bomba pozo UIS 16

Parámetro	Condiciones de diseño	Análisis nodal
Caudal (BBL/día)	1457,3	1457,3
Presión entrada a la bomba (Psia)	315,6	323,2

Ahora se analizará la mejor tubería para las condiciones del pozo donde se obtenga mejores ganancias según el consumo eléctrico y la producción.

Figura 213. Sensibilidades para tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 16



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 213 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 4½”y 5½”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que al aumentar el diámetro de tubería de producción, el incremento en el caudal de producción es en menor proporción, esto es debido a las condiciones de la bomba ya que esta simulando a las condiciones de diseño, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 110. Puntos de operación tubería de 4 ½”y 5 ½”pozo UIS 16

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Aumento de la producción (%)	Presión de entrada a la bomba (Psia)
3 ½”	1457,3	N/A	323,2
4 ½”	1460,2	0	322,1
5 ½”	1460,8	0	321,9

Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

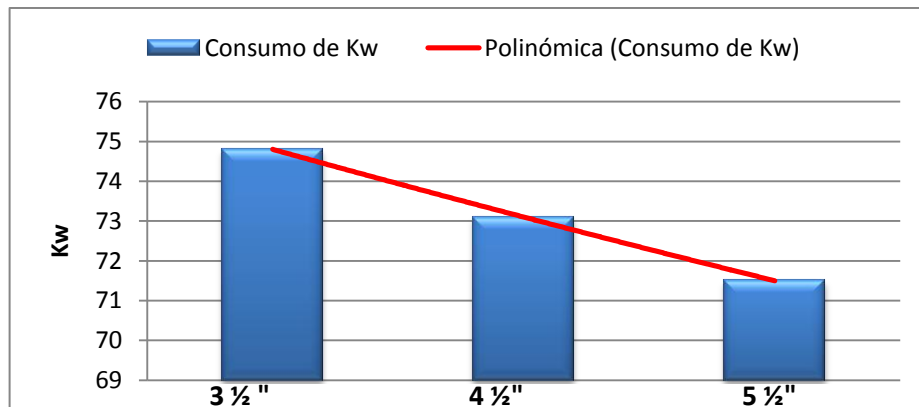
Tabla 111. Consumo de Kw en las diferentes tuberías pozo UIS 16

Diámetro de tubería	Cambia caudal y diámetro interno		Caudal permanece igual y cambia diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Disminución del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Disminución del consumo de Kw (%)
3 ½”	74,8	N/A	74,8	N/A
4 ½”	73,1	2	72,3	3
5 ½”	71,5	4	70,7	5

En la figura 214 se observa que el comportamiento de la disminución del consumo de kilo watts es de manera polinómica a medida que se aumenta el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el

software de Análisis nodal, esto ocurre debido a que los caudales aumentan muy poco y la fuerza de fricción hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

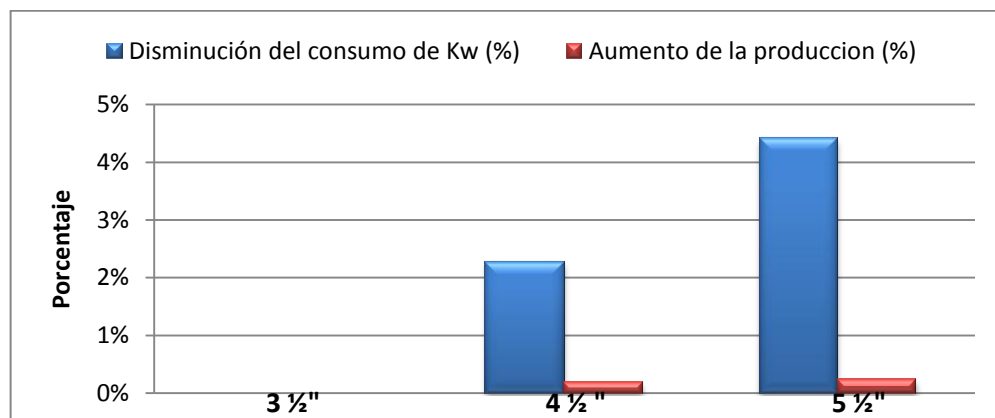
Figura 214. Consumo de Kw pozo UIS 16



Fuente. Los Autores

En la figura 215 se observa la disminución del consumo de kilo watts en porcentaje y el aumento de la producción del pozo en porcentaje a medida que se aumenta el diámetro de la tubería en comparación con la tubería actual.

Figura 215. Porcentaje consumo de kilo watts y producción pozo UIS 16



Fuente. Los Autores

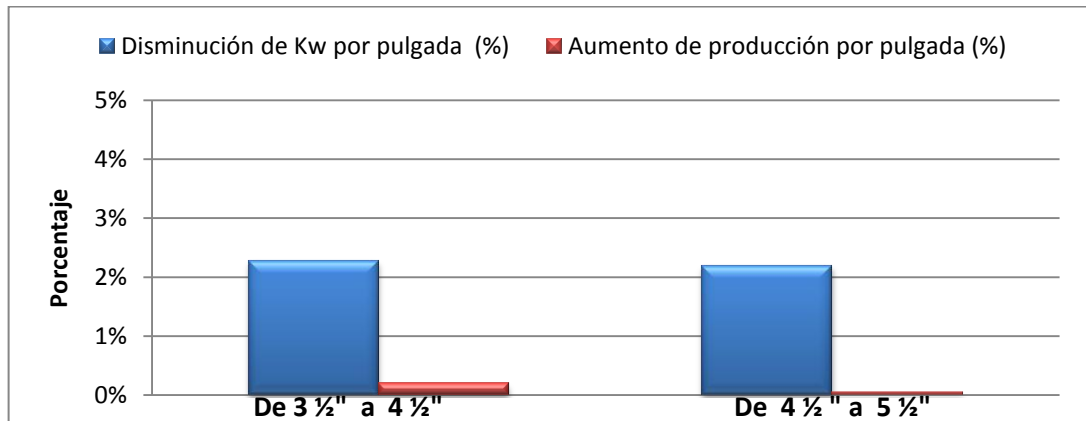
En la siguiente tabla se tabulan la disminución de Kw y el aumento de producción de un diámetro a otro.

Tabla 112. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 16

Diámetro de tubería de producción.	Disminución de Kw por pulgada aumentada (%)	Aumento de producción por pulgada aumentada (%)
De 3 ½" a 4 ½"	2	0
De 4 ½" a 5 ½"	2	0

En la figura 216 se observa la disminución en porcentaje de los Kw de un cambio de un diámetro a otro, igualmente para la producción se observa como aumenta en porcentaje de un diámetro al otro. Se observa que estos valores varían de una manera insignificante por lo que se pensaría en dejar el estado mecánico como esta.

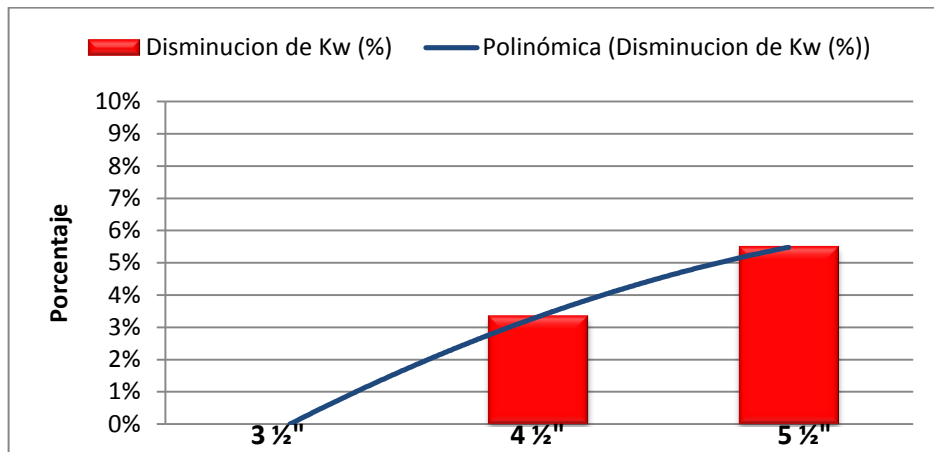
Figura 216. Comportamiento de Kw y producción al cambiar de un diámetro a otro, pozo UIS 16



Fuente. Los Autores

En la figura 217 se observa la disminución en porcentaje de Kw que presenta un comportamiento polinómico al mantener la misma producción y aumentar el diámetro de la tubería de producción, realmente el cambio es muy poco.

Figura 217. Disminución en porcentaje de Kw manteniendo caudal de diseño pozo UIS 16



Fuente. Los Autores

A continuación se presenta un resumen de los resultados del análisis nodal aplicado a los pozos.

En la tabla 113 se muestra un resumen del comportamiento de los consumos utilizando la producción obtenida con el software de análisis nodal, y además como aumento la producción y el consumo de kilo watts con un cambio del diámetro de producción de 3 1/2" a 4 1/2"y de de 4 1/2"a 5 1/2".

Tabla 113. Resumen del comportamiento de los consumos utilizando la producción obtenida con el software de análisis nodal.

CONSUMO CON PRODUCCION DEL SOFTWARE DE ANÁLISIS NODAL										
Pozo	Aumento de producción (%)		Aumento del consumo de Kw con producción del software de Análisis Nodal (%)		Disminución del consumo de Kw con producción del software de Análisis Nodal (%)		Aumento de producción por pulgada (%)		Aumento de Kw por pulgada (%)	
	4 1/2"	5 1/2"	4 1/2"	5 1/2"	4 1/2"	5 1/2"	De 3 1/2" a 4 1/2"	De 4 1/2" a 5 1/2"	De 3 1/2" a 4 1/2"	De 4 1/2" a 5 1/2"
UIS 1	12	15	7	9	N/A	N/A	12	3	7	2
UIS 2	0	0	N/A	N/A	1	1	0	0	1	0
UIS 3	23	34	12	20	N/A	N/A	23	9	12	7
UIS 4	0	0	N/A	N/A	1	1	0	0	0	0
UIS 5	0	1	N/A	N/A	1	1	0	0	1	0
UIS 6	0	0	N/A	N/A	3	6	0	0	3	2
UIS 7	0	0	N/A	N/A	0	1	0	0	0	0
UIS 8	6	8	N/A	N/A	5	9	6	1	5	5
UIS 9	0	0	N/A	N/A	0	0	0	0	0	0
UIS 10	0	0	0	0	N/A	N/A	0	0	0	0
UIS 11	0	0	N/A	N/A	1	2	0	0	1	1
UIS 12	0	0	N/A	N/A	2	3	0	0	2	1
UIS 13	0	0	N/A	N/A	1	3	0	0	1	1
UIS 14	0	0	N/A	N/A	2	3	0	0	2	1
UIS 15	0	0	N/A	N/A	0	0	0	0	0	0
UIS 16	0	0	N/A	N/A	2	4	0	0	2	2

En la tabla 114 se muestra un resumen de la disminución de los consumos de kilo watts manteniendo el caudal de diseño del pozo.

Tabla 114. Resumen de la disminución del consumo de Kw manteniendo caudal de diseño

CONSUMO MANTENIENDO LA PRODUCCION DEL DISEÑO DEL POZO		
Pozo	Disminución del consumo de Kw con producción de diseño (%)	
	4 ½"	5 ½"
UIS 1	9	12
UIS 2	2	2
UIS 3	8	9
UIS 4	1	1
UIS 5	2	2
UIS 6	4	6
UIS 7	0	1
UIS 8	13	20
UIS 9	1	1
UIS 10	1	1
UIS 11	2	3
UIS 12	2	3
UIS 13	2	3
UIS 14	2	3
UIS 15	0	0
UIS 16	3	5

Se observa de la tabla 113 que al aumentar el diámetro de la tubería de producción y lograr un aumento de producción por lo menos del 12% existe un aumento en el consumo de kilo watts ya que para lograr llevar esta producción aumentada a superficie requiere más esfuerzo el equipo, nótese que para el pozo UIS 8 el aumento de producción fue del 6% al cambiar el diámetro de la tubería de producción a 4 ½"y no aumento el consumo de kilo watts si no que disminuyo un 5%.

Para los pozos donde aumento muy poco la producción, de un cambio de diámetro al otro, hubo una disminución en el consumo de kilo watts, esto ocurre debido a la fuerza de fricción, que hace que por la tubería más amplia se requiera menos esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie, es decir menor consumo de kilo watts. Solo en el pozo UIS 15 no hubo cambio en el consumo.

Se observa de la tabla 113 que en ningún pozo del campo B aumento la producción con el análisis nodal realizado, esto debido a que los equipos se encuentran trabajando con frecuencias por encima de 55 Hertz, lo que hace trabajar el equipo con una alta capacidad de producción y adicional a eso los pozos no tiene demasiada energía, pues las presiones de fondo fluyendo son muy bajas.

Se concluye que para pozos con altos caudales como el UIS 1, UIS 3 y UIS 8, es viable el cambio de tubería de producción de 3 ½" a 4 ½" ya que se observa que un cambio de 4 ½" a 5 ½" no es significativa la variación del consumo de kilo watts y la producción luego no es viable.

Para los pozos UIS 2, UIS 4, UIS 5, UIS 6, UIS 7, UIS 9 y UIS 10, debido a su baja producción un aumento en el diámetro de la tubería de producción no es significativo, se recomienda probar una tubería de 2 7/8" y observar como varía la producción y los consumos de kilo watts.

De la tabla 34 se observa que para los pozos UIS 11, UIS 12, UIS 13, UIS 14, UIS 15 Y UIS 16, que los consumos de kilo watts reales son mayores a los consumos teóricos, esto se debe a que en la producción hay alta presencia de sólidos, lo cual hace el fluido de pozo más pesado, lo cual conlleva a aumentar el consumo de kilo watts en el equipo electrosumergible ya que requiere más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie y adicional a eso ocasiona un desgaste severo en las etapas de la bomba y la tubería de producción. En el análisis nodal realizado se observo que para los pozos anteriormente nombrados un cambio de tubería a 4 ½" y 5 ½" no es significativo lo cual se pensaría en realizar un análisis nodal con tubería de 2 7/8", pero al haber la presencia de sólidos en el fluido de pozo esto ocasionaría un desgaste severo

en la tubería de producción y reduciría la vida útil de la misma. Por lo cual no se realizará análisis nodal con tubería de 2 7/8" a los pozos UIS 11, UIS 12, UIS 13, UIS 14, UIS 15 Y UIS 16.

Se analizará el comportamiento con la tubería de 2 7/8" para los pozos UIS 2, UIS 4, UIS 5, UIS 6, UIS 7, UIS 9 y UIS 10 y así verificar si es recomendable cambiar la tubería de producción.

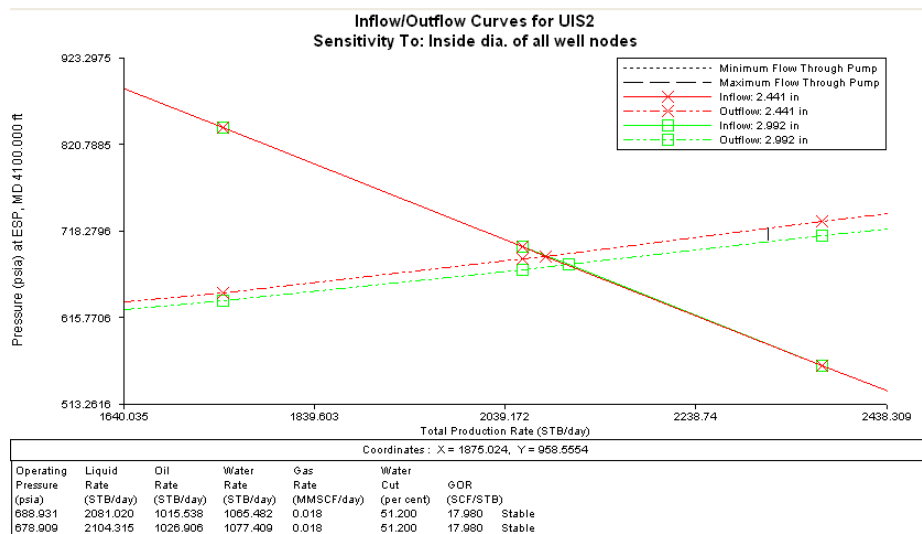
8.4. ANÁLISIS NODAL PROBANDO TUBERÍA DE 2 7/8"

El siguiente análisis se da derivado del análisis anterior ya que con las tuberías de 4 1/2" y 5 1/2" no es significativo el cambio en producción para los pozos UIS 2, UIS 4, UIS 5, UIS 6, UIS 7, UIS 9 y UIS 10, se analizará la tubería de 2 7/8" buscando el aprovechamiento de la tubería de 3 1/2" en un pozo que de verdad requiera esta tubería.

8.4.1. Pozo UIS 2

Se realizó un análisis nodal utilizando el software de Análisis Nodal para determinar el caudal y la presión de entrada a la bomba al cambiar la tubería de 3 1/2" a 2 7/8".

Figura 218. Sensibilidad con tubería de 2 7/8” pozo UIS 2



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 218 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 2 7/8” y 3 1/2”. Estas intersecciones son el punto de operación para las tuberías, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 115. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 2

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Disminución de la producción (%)
3 1/2”	2104,9	N/A
2 7/8”	2081,02	1

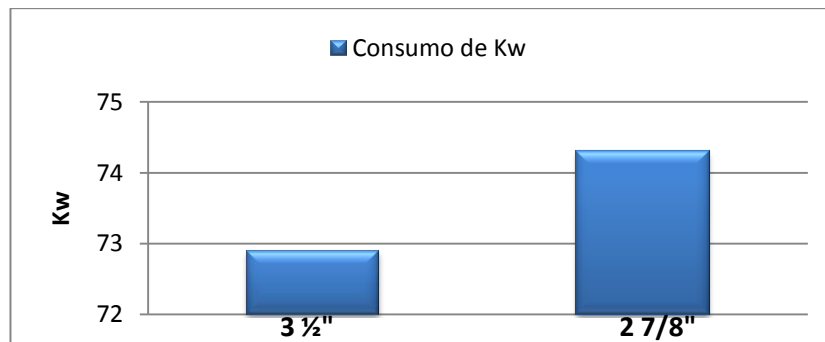
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 116. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 2

Diámetro de tubería	Cambia caudal y se disminuye diámetro interno		Caudal constante y disminuye diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Aumento del consumo de Kw (%)
3 1/2”	72,9	N/A	72,9	N/A
2 7/8”	74,3	2	75,6	4

En la figura 219 se observa el comportamiento del incremento de kilo watts cuando se disminuye el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que varían los caudales en el software de Análisis Nodal.

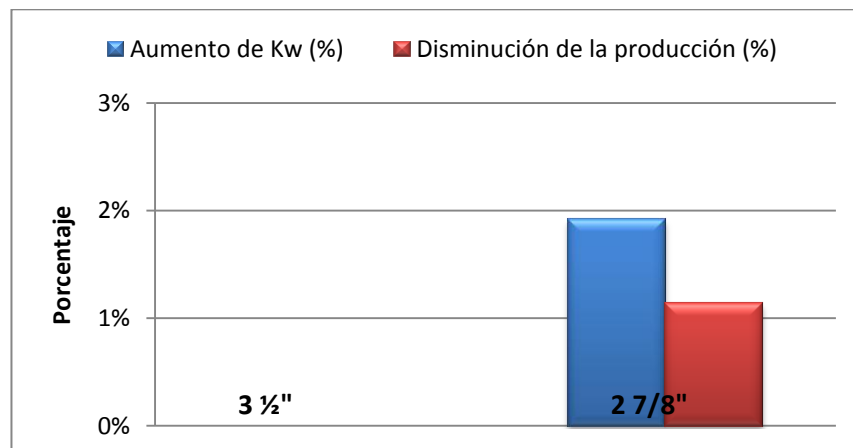
Figura 219. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 2



Fuente. Los Autores

En la figura 220 se observa el aumento en porcentaje del consumo de Kw y la disminución de la producción del pozo cuando se disminuyo el diámetro de la tubería.

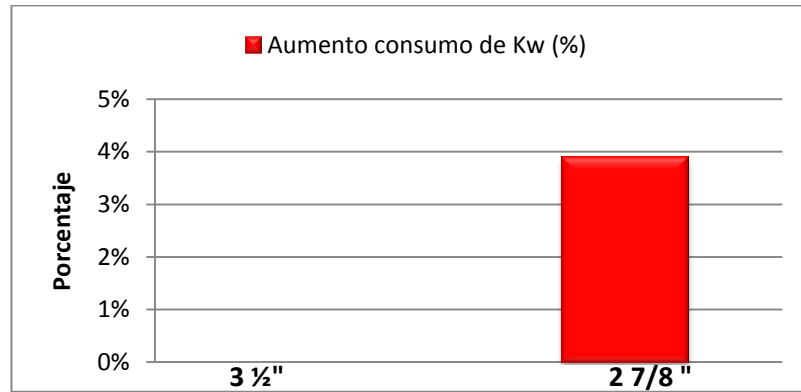
Figura 220. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 2



Fuente. Los Autores

En la figura 221 se observa el aumento en porcentaje de kilo watts al mantener la misma producción y disminuir el diámetro de la tubería de producción.

Figura 221. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 2

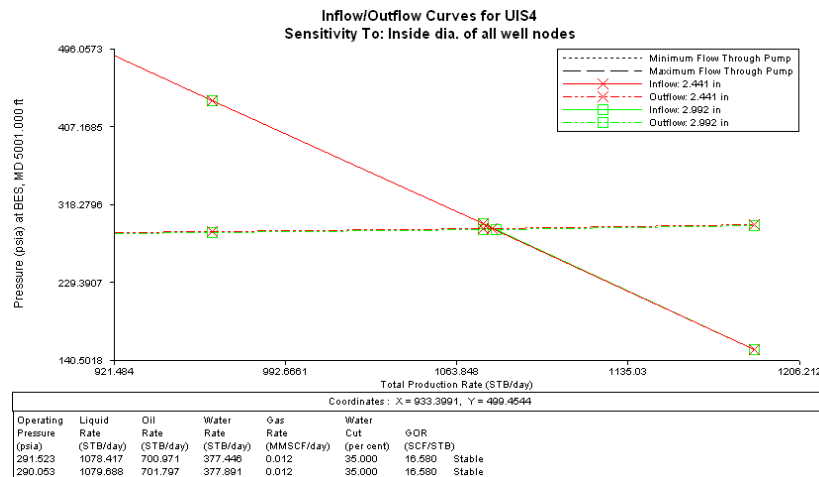


Fuente. Los Autores

8.4.2. Pozo UIS 4

Se realizó un análisis nodal utilizando el software de Análisis Nodal para determinar el caudal y la presión de entrada a la bomba al cambiar la tubería de 3 1/2" a 2 7/8".

Figura 222. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 4



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 222 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 2 7/8" y 3 1/2". Estas intersecciones son el punto de operación para las tuberías, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 117. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 4

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Disminución de la producción (%)
3 1/2”	1079,68	N/A
2 7/8”	1078,41	0

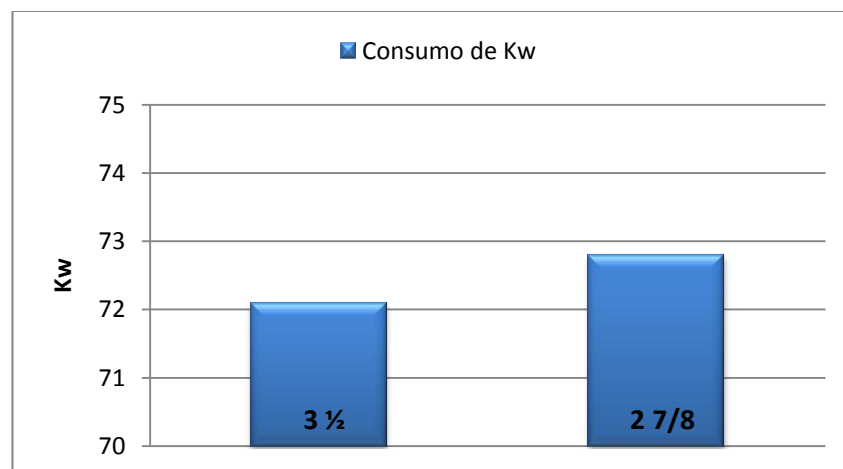
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 118. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 4

Diámetro de tubería	Cambia caudal y se disminuye diámetro interno		Caudal constante y disminuye diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Aumento del consumo de Kw (%)
3 1/2”	72,1	N/A	72,1	N/A
2 7/8”	72,8	1	72,8	1

En la figura 223 se observa que el comportamiento del incremento de kilo watts cuando se disminuye el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis Nodal.

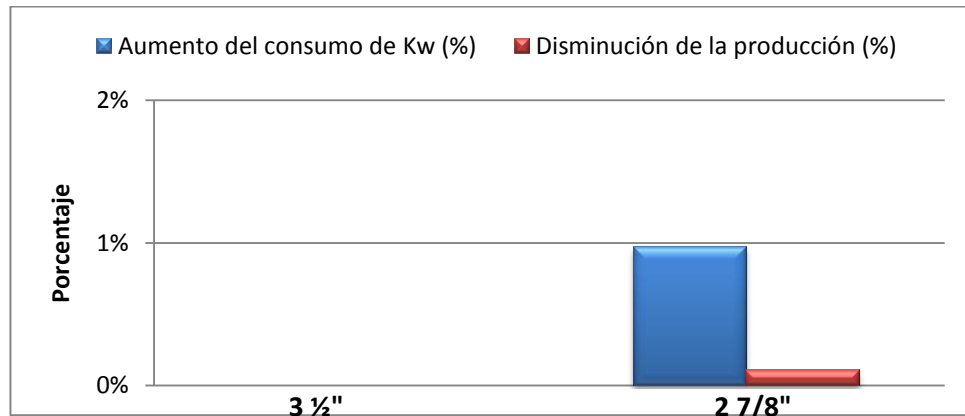
Figura 223. Consumo de Kw tubería 2 7/8” pozo UIS 4



Fuente. Los Autores

En la figura 224 se observa el aumento en porcentaje del consumo de Kw y la disminución de la producción del pozo cuando se disminuyo el diámetro de la tubería.

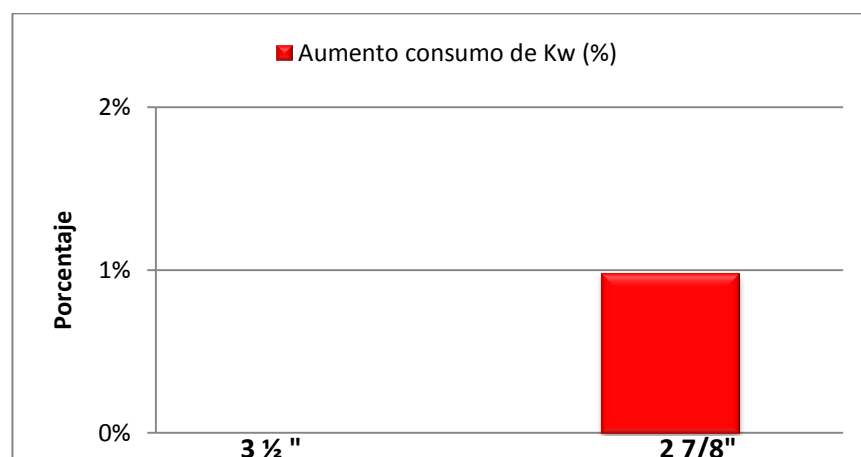
Figura 224. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 4



Fuente. Los Autores

En la figura 225 se observa el aumento en porcentaje de kilo watts al mantener la misma producción y disminuir el diámetro de la tubería de producción.

Figura 225. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 4

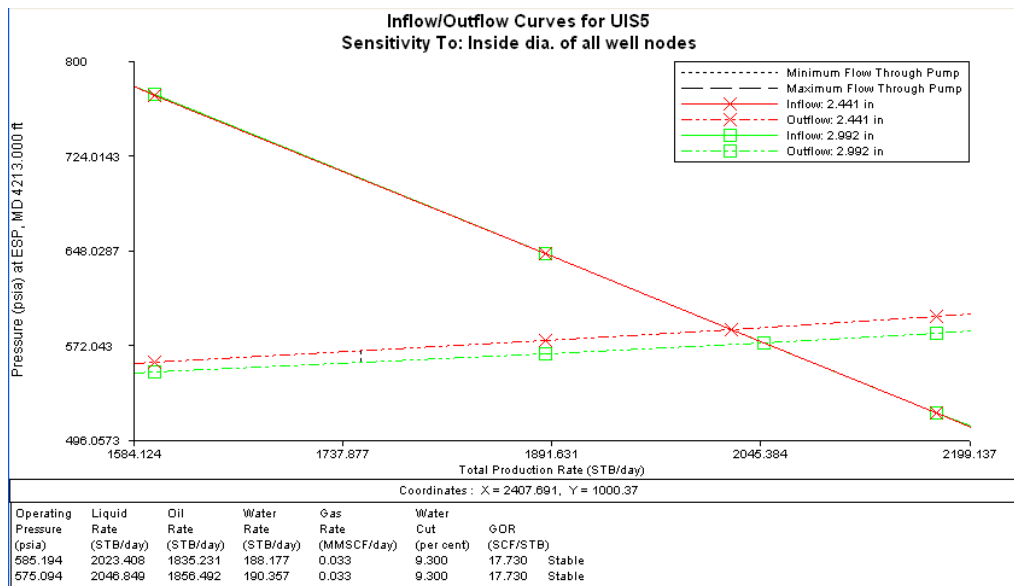


Fuente. Los Autores

8.4.3. Pozo UIS 5

Se realizó un análisis nodal utilizando el software de Análisis Nodal para determinar el caudal y la presión de entrada a la bomba al cambiar la tubería de 3 1/2" a 2 7/8".

Figura 226. Sensibilidad con tubería de 2 7/8" pozo UIS 5



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 226 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 2 7/8" y 3 1/2". Estas intersecciones son el punto de operación para las tuberías, en la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 119. Punto de operación tubería 2 7/8" pozo UIS 5

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Disminución de la producción (%)
3 1/2"	2046,8	N/A
2 7/8"	2023,4	1

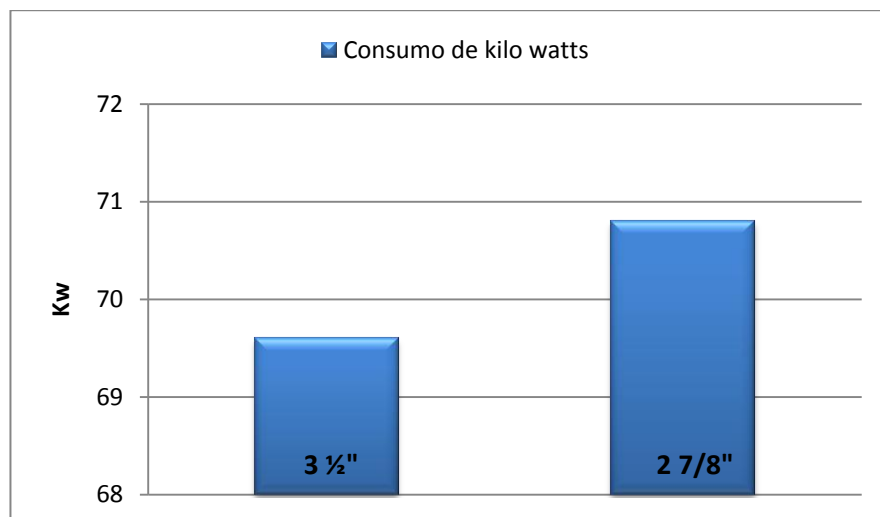
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 120. Consumo de Kw en tubería 2 7/8" pozo UIS 5

Diámetro de tubería	Cambia caudal y se disminuye diámetro interno		Caudal constante y disminuye diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Aumento del consumo de Kw (%)
3 ½"	69,6	N/A	69,6	N/A
2 7/8"	70,8	2	72,3	4

En la figura 227 se observa que el comportamiento del incremento de kilo watts cuando se disminuye el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis Nodal.

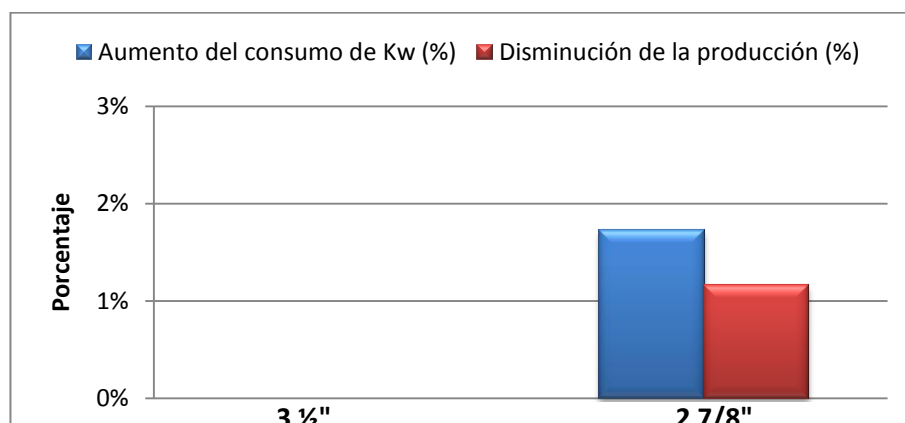
Figura 227. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 5



Fuente. Los Autores

En la figura 228 se observa el aumento en porcentaje del consumo de Kw y la disminución de la producción del pozo cuando se disminuyo el diámetro de la tubería.

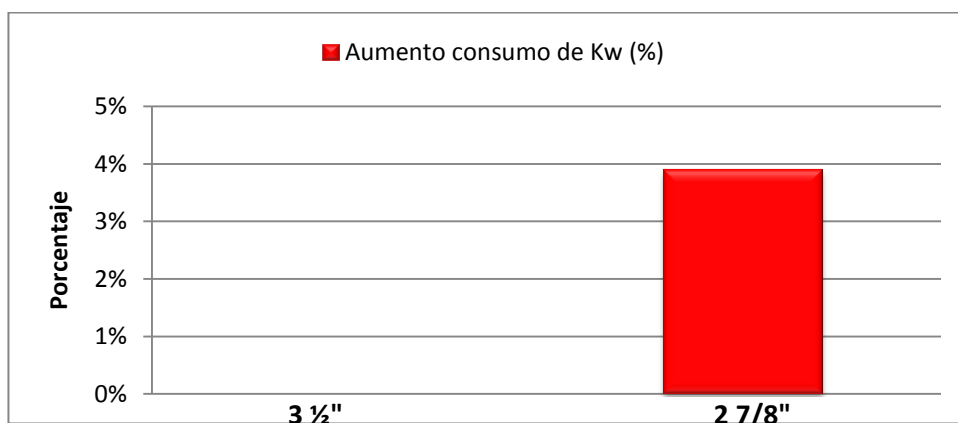
Figura 228. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 5



Fuente. Los Autores

En la figura 229 se observa el aumento en porcentaje de kilo watts al mantener la misma producción y disminuir el diámetro de la tubería de producción.

Figura 229. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 5

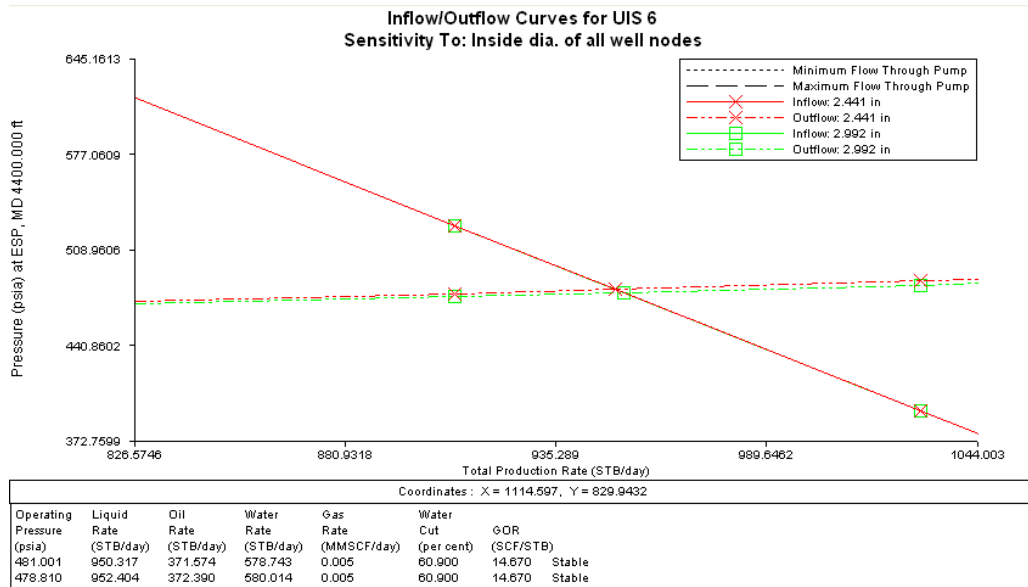


Fuente. Los Autores

8.4.4. Pozo UIS 6

Se realizó un análisis nodal utilizando el software de Análisis Nodal para determinar el caudal y la presión de entrada a la bomba al cambiar la tubería de 3 1/2" a 2 7/8".

Figura 230. Sensibilidad con tubería de 2 7/8” pozo UIS 6



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 2 7/8” y 3 1/2”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que la disminución en la tubería de producción no produce un cambio significativo en la producción. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 121. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 6

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Disminución de la producción (%)
3 1/2”	952,454	N/A
2 7/8”	950,317	0

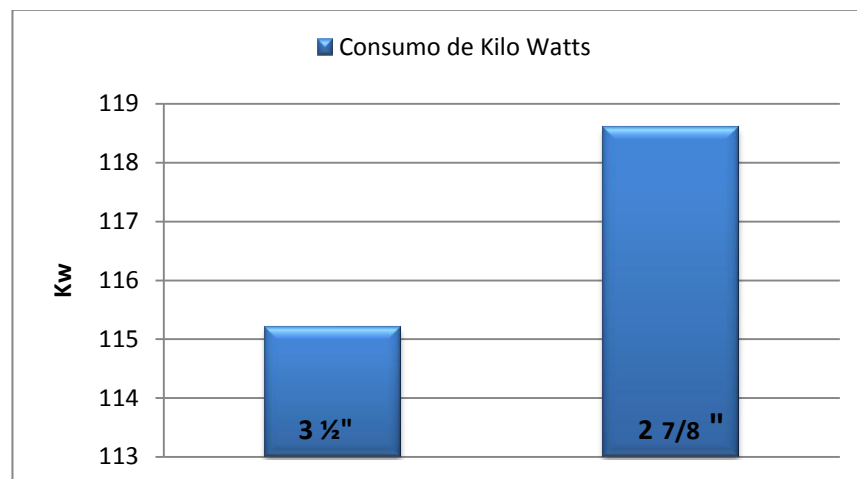
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 122. Consumo de Kw en tubería 2 7/8" pozo UIS 6

Diámetro de tubería	Cambia caudal y se disminuye diámetro interno		Caudal constante y disminuye diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Aumento del consumo de Kw (%)
3 ½"	115,2	N/A	115,2	N/A
2 7/8"	118,6	3	119	3

En la figura 231 se observa el comportamiento del incremento de kilo watts a medida que se disminuye el diámetro de la tubería de producción, esto es para el caso en que incrementan los caudales en el software de Análisis Nodal.

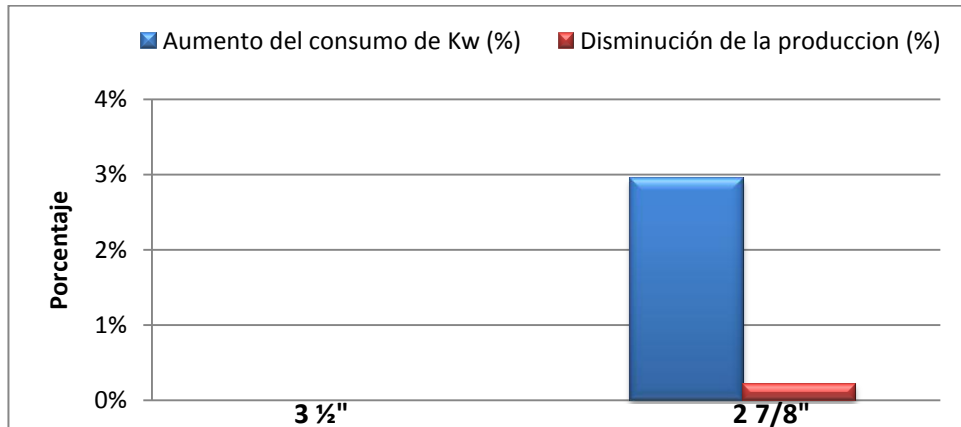
Figura 231. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 6



Fuente. Los Autores

En la figura 232 se observa el aumento en porcentaje del consumo de Kw y la reducción en la producción del pozo al reducir el diámetro de tubería de producción.

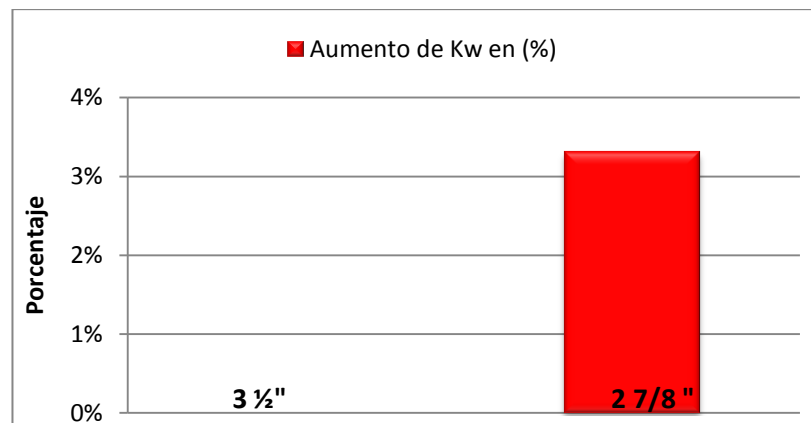
Figura 232. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 6



Fuente. Los Autores

En la figura 233 se observa el aumento en porcentaje de kilo watts al mantener la misma producción y disminuir el diámetro de la tubería de producción.

Figura 233. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 6

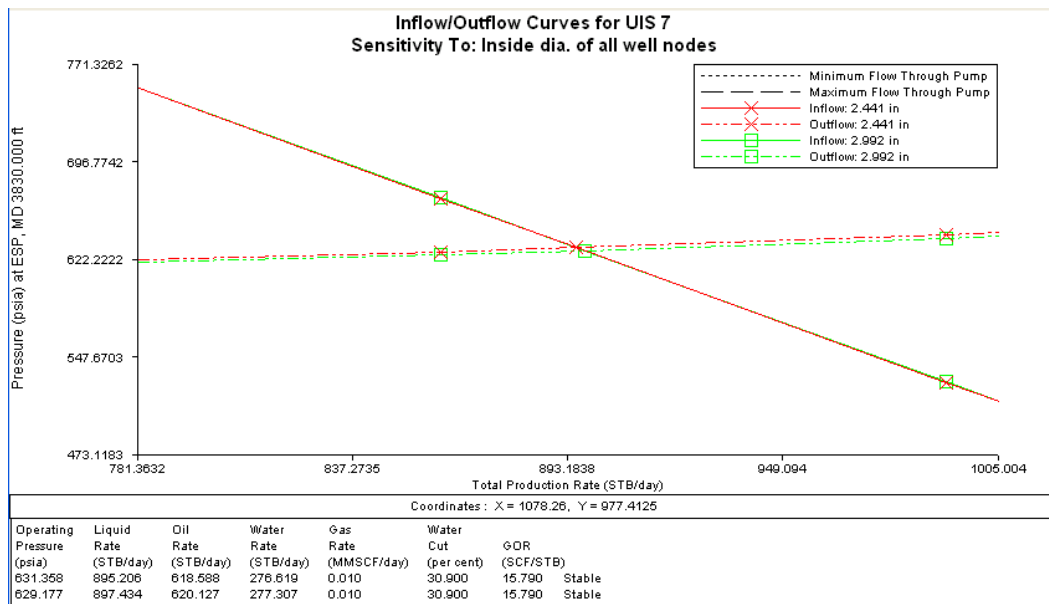


Fuente. Los Autores

8.4.5. Pozo UIS 7

Se realizó un análisis nodal utilizando el software de Análisis Nodal para determinar el caudal y la presión de entrada a la bomba al cambiar la tubería de 3 1/2" a 2 7/8".

Figura 234. Sensibilidad con tubería de 2 7/8” pozo UIS 7



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 234 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 3 1/2” y 2 7/8”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que a medida que se disminuye el diámetro de tubería de producción, el caudal casi no cambia. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 123. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 7

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Disminución de la producción (%)
3 1/2”	897,434	N/A
2 7/8”	895,206	0

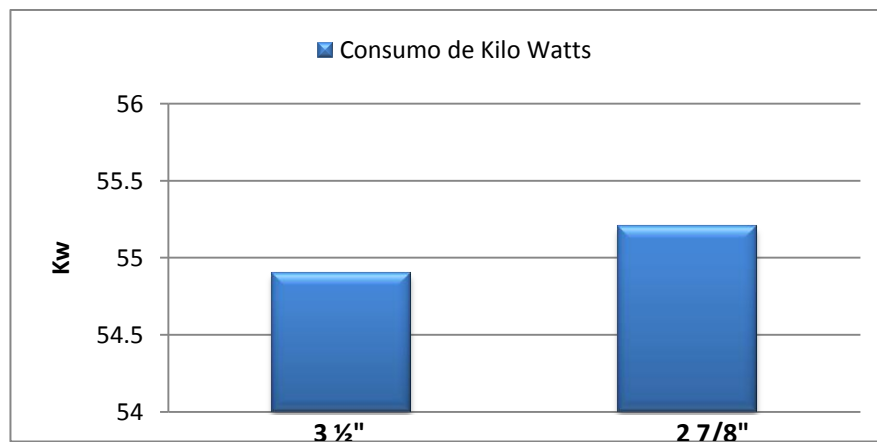
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 124. Consumo de Kw en tubería 2 7/8" pozo UIS 7

Diámetro de tubería	Cambia caudal y se disminuye diámetro interno		Caudal constante y disminuye diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Aumento del consumo de Kw (%)
3 1/2"	54,9	N/A	54,9	N/A
2 7/8"	55,2	1	55,3	1

En la figura 235 se observa el comportamiento del aumento de kilo watts al disminuir el diámetro de la tubería de producción de 3 1/2" a 2 7/8", esto es para el caso de los caudales en el software de Análisis Nodal, este aumento es debido a la fuerza de fricción que hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

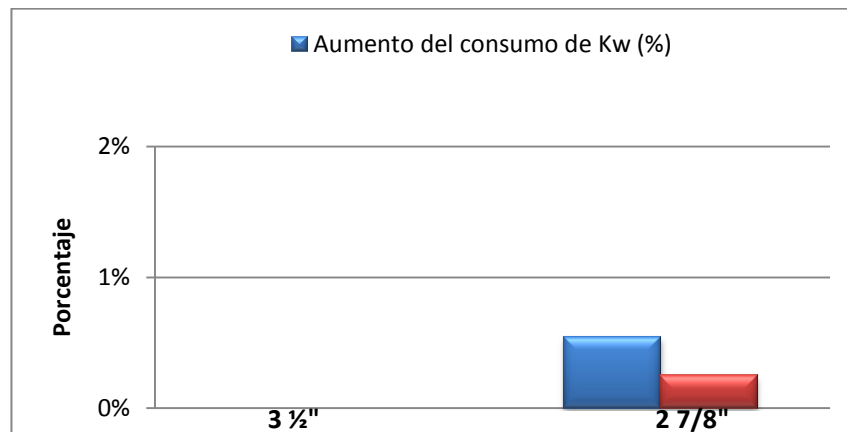
Figura 235. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 7



Fuente. Los Autores

En la figura 236 se observa que para la tubería de 2 7/8" el aumento de los kw no llega ni al 1% comparada con la de 3 1/2".

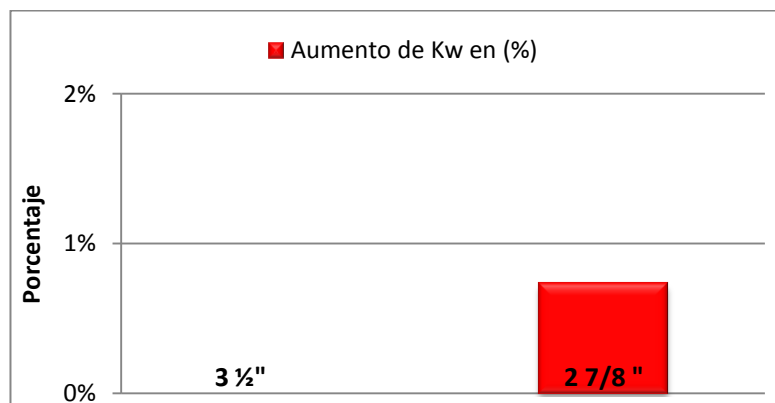
Figura 236. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 7



Fuente. Los Autores

En la figura 237 se observa que para la tubería de 2 7/8" el aumento en el porcentaje de kilo watts con respecto a la tubería actual 3 1/2" es de casi (1%) al disminuir el diámetro de las tubería de producción y mantener el caudal de las condiciones de diseño.

Figura 237. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 7

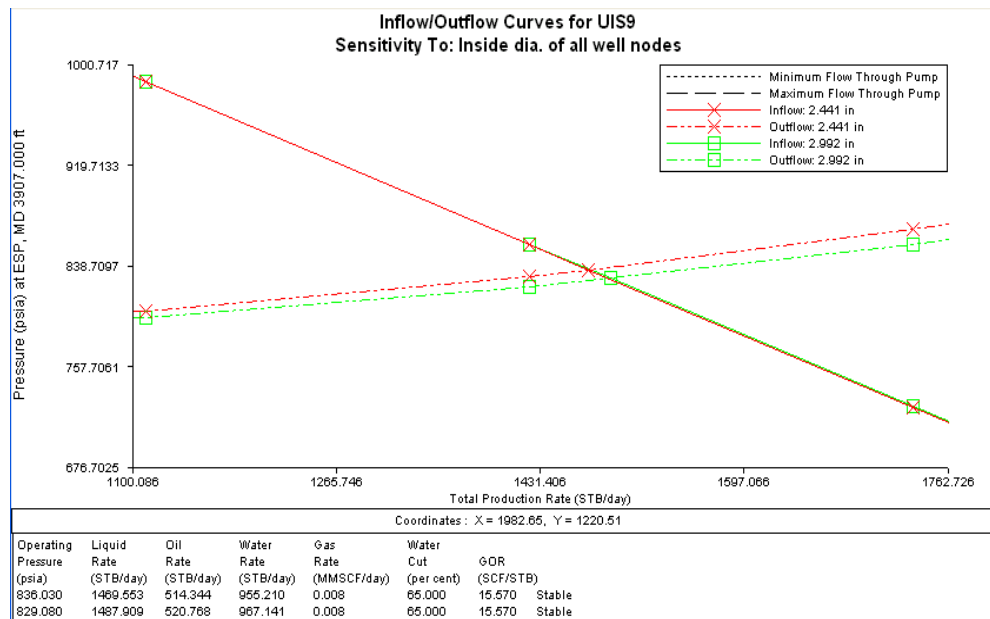


Fuente. Los Autores

8.4.6. Pozo UIS 9

Se realizó un análisis nodal utilizando el software de Análisis Nodal para determinar el caudal y la presión de entrada a la bomba al cambiar la tubería de 3 1/2" a 2 7/8".

Figura 238. Sensibilidad con tubería de 2 7/8” pozo UIS 9



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 238 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 3 1/2” y 2 7/8”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que a medida que se disminuye el diámetro de tubería de producción, el caudal casi no cambia. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 125. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 9

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Disminución de la producción (%)
3 1/2”	1487,909	N/A
2 7/8”	1469,55	1

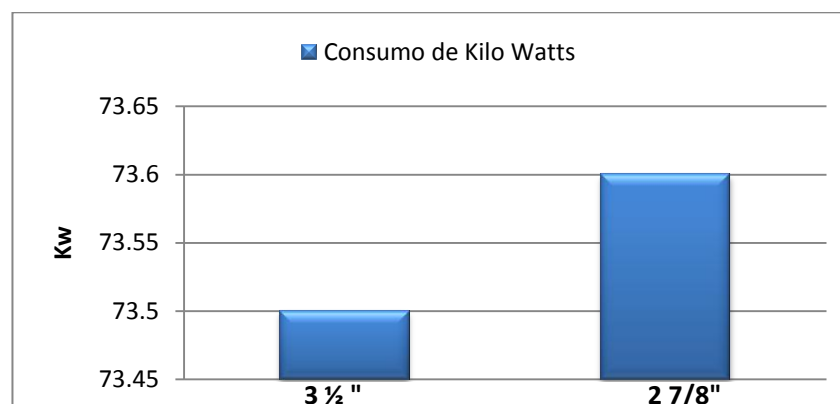
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 126. Consumo de Kw en tubería 2 7/8” pozo UIS 9

Diámetro de tubería	Cambia caudal y se disminuye diámetro interno		Caudal constante y disminuye diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Aumento del consumo de Kw (%)
3 ½”	73,5	N/A	73,5	N/A
2 7/8”	73,6	0	75	2

En la figura 239 se observa el comportamiento del aumento de kilo watts al disminuir el diámetro de la tubería de producción de 3 ½” a 2 7/8”, esto es para el caso de los caudales en el software de Análisis Nodal, este aumento es debido a la fuerza de fricción que hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

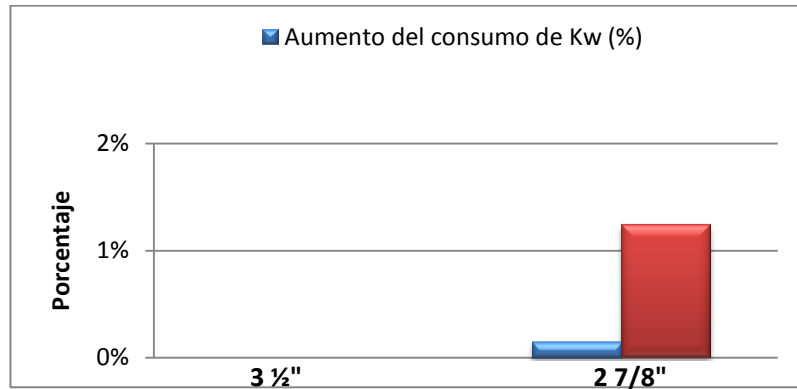
Figura 239. Consumo de Kw tubería 2 7/8” pozo UIS 9



Fuente. Los Autores

En la figura 240 se observa que para la tubería de 2 7/8” el aumento de los kw no llega ni al 1% comparada con la de 3 ½”, mientras que la disminución de la producción es un poco más del 1% con respecto a la tubería de 3 ½”.

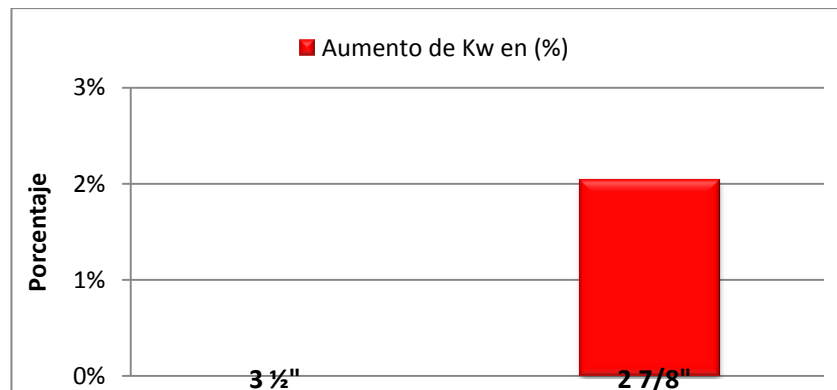
Figura 240. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 9



Fuente. Los Autores

En la figura 241 se observa que para la tubería de 2 7/8" el aumento en el porcentaje de kilo watts con respecto a la tubería actual 3 1/2" es un poco más del (2%) al disminuir el diámetro de las tubería de producción y mantener el caudal de las condiciones de diseño.

Figura 241. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 9

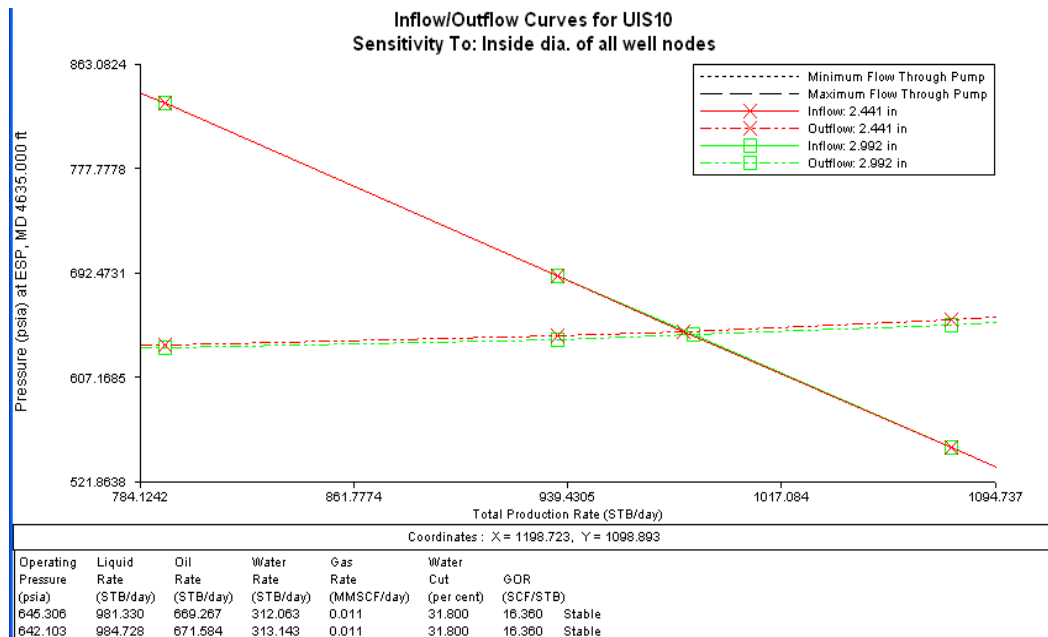


Fuente. Los Autores

8.4.7. Pozo UIS 10

Se realizó un análisis nodal utilizando el software de Análisis Nodal para determinar el caudal y la presión de entrada a la bomba al cambiar la tubería de 3 1/2" a 2 7/8".

Figura 242. Sensibilidad con tubería de 2 7/8” pozo UIS 10



Fuente. Software de análisis nodal

En la figura 242 se observa las intersecciones del *Inflow* y *Outflow* para las tuberías de 3 1/2” y 2 7/8”. Estas intersecciones son el punto de operación para dichas tuberías, se observa que a medida que se disminuye el diámetro de tubería de producción, el caudal casi no cambia. En la siguiente tabla se tabulan los datos de los puntos de operación.

Tabla 127. Punto de operación tubería 2 7/8” pozo UIS 10

Tubería de producción	Caudal (BBL/día)	Disminución de la producción (%)
3 1/2”	984,728	N/A
2 7/8”	981,33	0

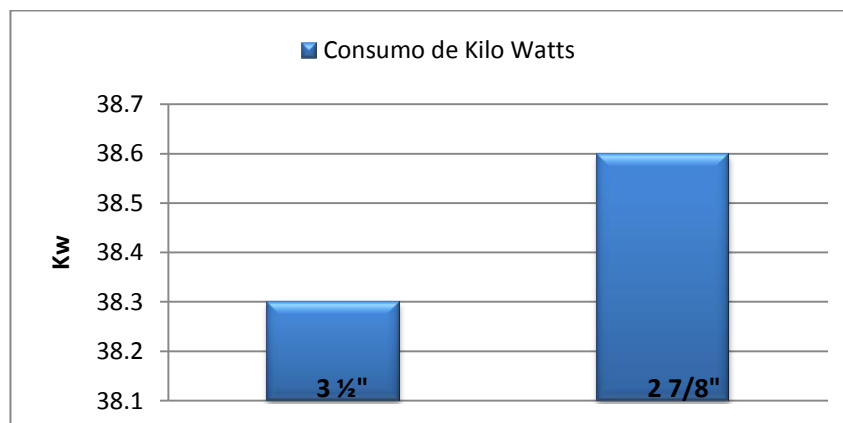
Datos obtenidos por el simulador de bombas electrosumergibles se tabulan en la siguiente tabla.

Tabla 128. Consumo de Kw en tubería 2 7/8" pozo UIS 10

Diámetro de tubería	Cambia caudal y se disminuye diámetro interno		Caudal constante y disminuye diámetro interno	
	Consumo Kw al caudal del software de Análisis Nodal	Aumento del consumo de Kw (%)	Consumo Kw al caudal de diseño	Aumento del consumo de Kw (%)
3 1/2"	38,3	N/A	38,3	N/A
2 7/8"	38,6	1	39	2

En la figura 243 se observa el comportamiento del aumento de kilo watts al disminuir el diámetro de la tubería de producción de 3 1/2" a 2 7/8", esto es para el caso de los caudales en el software de Análisis Nodal, este aumento es debido a la fuerza de fricción que hace que por la tubería más angosta se requiera más esfuerzo para levantar el fluido hasta superficie.

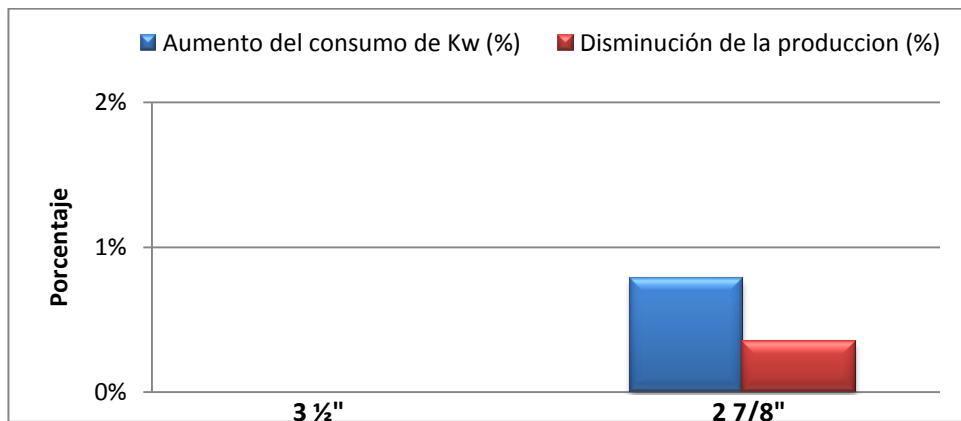
Figura 243. Consumo de Kw tubería 2 7/8" pozo UIS 10



Fuente. Los Autores

En la figura 244 se observa que para la tubería de 2 7/8" el aumento de los kw y la reducción de la producción no llegan ni al 1% comparada con la de 3 1/2".

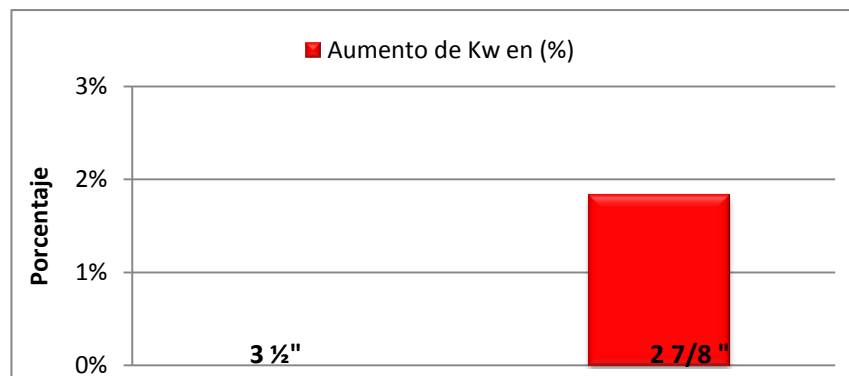
Figura 244. Porcentaje de Kw y producción tubería 2 7/8" pozo UIS 10



Fuente. Los Autores

En la figura 245 se observa que para la tubería de 2 7/8" el aumento en el porcentaje de kilo watts con respecto a la tubería actual 3 1/2" es de casi un 2% al disminuir el diámetro de las tubería de producción y mantener el caudal de las condiciones de diseño.

Figura 245. Aumento en porcentaje de Kw con caudal de diseño tubería 2 7/8" pozo UIS 10



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se presenta un resumen de la disminución de la producción en porcentaje, el aumento del consumo de kilo watts con la producción del software de Análisis Nodal, el aumento del consumo de kilo watts con la producción de diseño y la producción máxima para estos pozos cuando se eleva la frecuencia (ver tabla 141).

Tabla 129. Resumen resultados análisis nodal tubería 2 7/8"

Pozo	Disminución de la producción (%)	Aumento del consumo de Kw con producción del software de Análisis Nodal (%)	Aumento del consumo de Kw con producción de diseño (%)	Producción máxima (BBL/día)
	2 7/8"	2 7/8"	2 7/8"	
UIS 2	1	2	4	3120
UIS 4	0	1	1	1600
UIS 5	1	2	4	2540
UIS 6	0	3	3	1300
UIS 7	0	1	1	1400
UIS 9	1	0	2	2880
UIS 10	0	1	2	1200

Observando los resultados para un cambio de tubería de 2 7/8" se recomienda cambiar la tubería para los pozos UIS 4, UIS 6, UIS 7 y UIS 10 ya que se observa que para mantener el caudal de diseño el consumo de kilo watts aumenta muy poco, además el potencial de producción de dichos pozos son muy bajos, lo cual valdría la pena y la tubería de 3 1/2" podría ser usada en un pozo que realmente la necesite.

Se analizará para los pozos UIS 2, UIS 5 y UIS 9 si valdría la pena cambiar la tubería o no, ya que dichos pozos poseen un potencial de producción alto y sus consumos aumentaron están cerca al 4 %, para esto en el simulador de bombas electrosumergibles se llevará el diseño a su caudal máximo para la tubería de 3 1/2" y 2 7/8" y se observará que pasa con los consumos de kilo watts.

8.5. ANÁLISIS NODAL CON MÁXIMOS CAUDALES

En este análisis se llevará a cabo en el simulador de bombas electrosumergibles para calcular el consumo de kilo watts al llevar el pozo a su máxima producción en las tuberías de 3 ½"y 2 7/8". Se hará para los pozos UIS 2, UIS 5 y UIS 9.

8.5.1. Pozo UIS 2

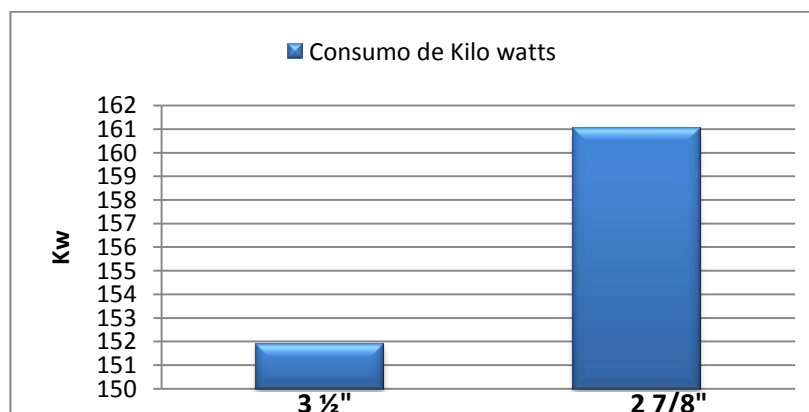
En el software de diseño de bombas electrosumergibles se diseño el sistema con tubería de 3 ½"y 2 7/8" a su máximo caudal se obtuvo lo siguientes resultados.

Tabla 130. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 2

Diámetro de tubería	Caudal máximo de diseño	Consumo de kilo watts	Aumento de Kw (%)
3 ½"	3115,28	151,9	N/A
2 7/8"	3115,28	161	6

En la figura se observa el aumento de kilo watts al disminuir el diámetro de la tubería de producción.

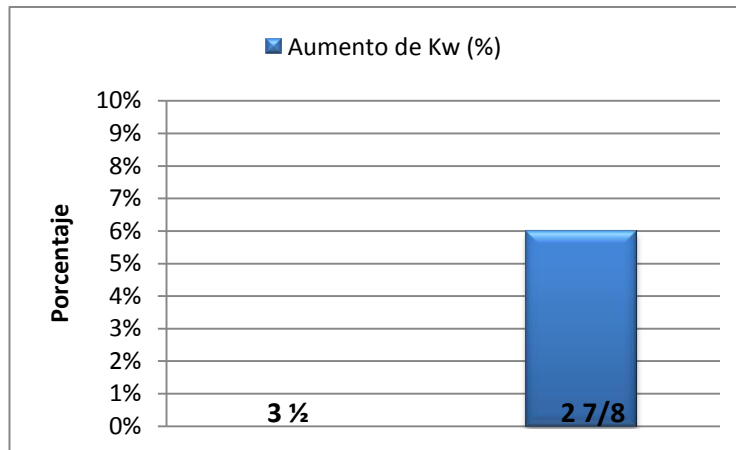
Figura 246. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 2



Fuente. Los Autores

En la figura 247 se observa el aumento de kilo watts en porcentaje al disminuir el diámetro de la tubería de producción.

Figura 247. Aumento de Kw en porcentaje a la máxima producción pozo UIS 2



Fuente. Los Autores

Se observa de la figura que el porcentaje de aumento es muy alto por lo cual se recomendaría no cambiar la tubería de producción a 2 7/8".

8.5.2. Pozo UIS 5

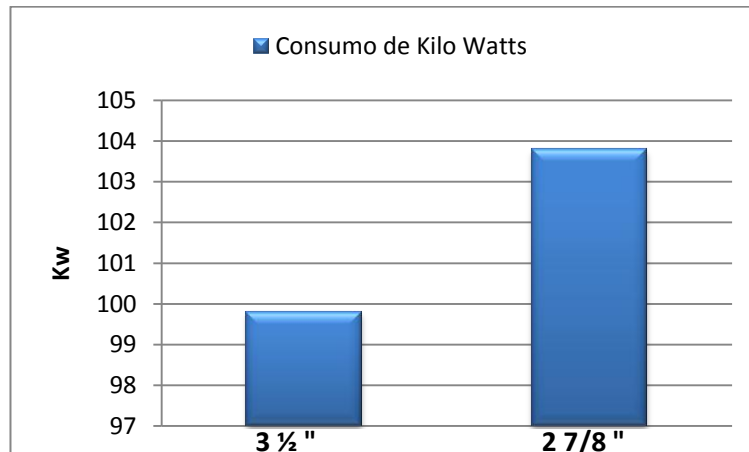
En el software de diseño de bombas electrosumergibles se diseñó el sistema con tubería de 3 1/2" y 2 7/8" a su máximo caudal se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 131. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 5

Diámetro de tubería	Caudal máximo de diseño	Consumo de kilo watts	Aumento de Kw (%)
3 1/2"	2533,7	99,8	N/A
2 7/8"	2533,7	103,8	4

En la figura se observa el aumento de kilo watts al disminuir el diámetro de la tubería de producción.

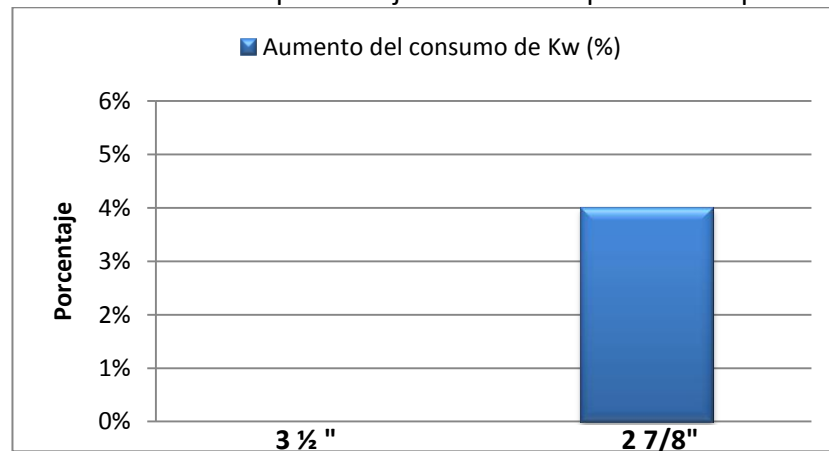
Figura 248. Consumo de Kw a la máxima producción pozo UIS 5



Fuente. Los Autores

En la figura 249 se observa el aumento de kilo watts en porcentaje al disminuir el diámetro de la tubería de producción.

Figura 249. Aumento de Kw en porcentaje a la máxima producción pozo UIS 5



Fuente. Los Autores

8.5.3. Pozo UIS 9

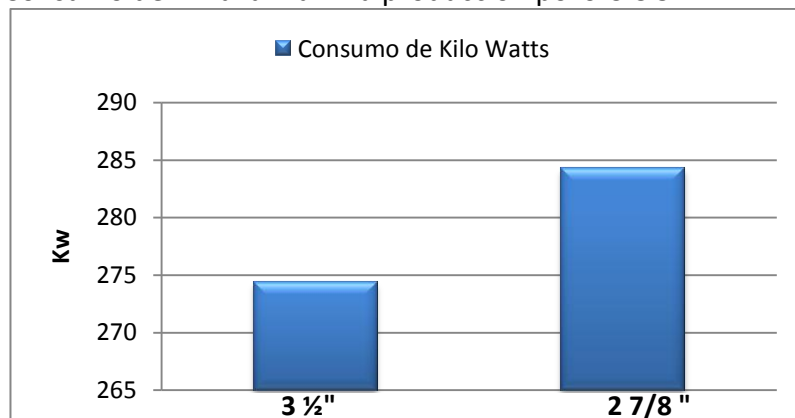
En el software de diseño de bombas electrosumergibles se diseñó el sistema con tubería de 3 1/2" y 2 7/8" a su máximo caudal se obtuvo los siguientes resultados.

Tabla 132. Consumo de Kw con máximos caudales pozo UIS 9

Diámetro de tubería	Caudal máximo de diseño	Consumo de kilo watts	Aumento de Kw (%)
3 ½"	2879,07	275,4	N/A
2 7/8"	2879,07	284,3	3

En la figura se observa el aumento de kilo watts al disminuir el diámetro de la tubería de producción.

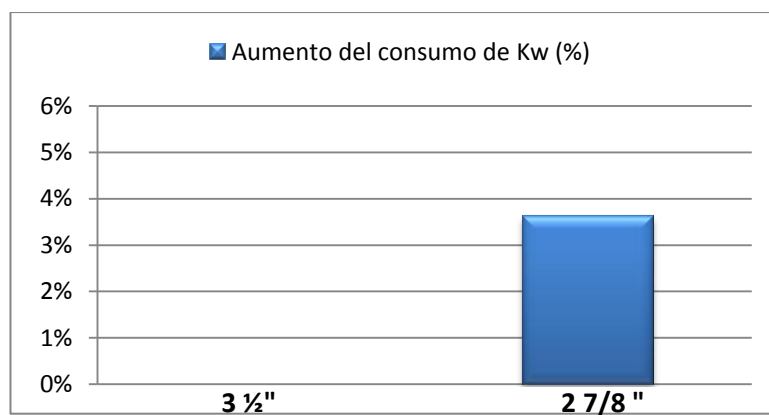
Figura 250. Consumo de Kw a la máxima producción pozo UIS 9



Fuente. Los Autores

En la figura 251 se observa el aumento de kilo watts en porcentaje al disminuir el diámetro de la tubería de producción.

Figura 251. Aumento de Kw en porcentaje a la máxima producción pozo UIS 9



Fuente. Los Autores

En la siguiente tabla se muestra un resumen del aumento de consumo de kilo watts a la producción de diseño y el aumento del consumo de kilo watts a la producción máxima para los pozos UIS 2, UIS 5 y UIS 9.

Tabla 133. Resumen de aumento del consumo de Kw a la máxima producción

Pozo	Aumento del consumo de Kw con producción de diseño (%)	Aumento del consumo de Kw con producción máxima (%)	Aumento (%)
	2 7/8"	2 7/8"	
UIS 2	4	6	2
UIS 5	4	4	0
UIS 9	2	3	1

Se observa que de la producción de diseño a la producción máxima el consumo de kilo watts en el pozo UIS 2 aumenta un 2%, en el pozo UIS 5 se mantiene constante y en el pozo UIS 9 aumenta un 1%.

Por lo que se recomendaría dejar la tubería en 3 1/2" ya que el consumo de kilo watts aumenta mucho cuando se lleva el diseño a la máxima producción, y también el valor de kilo watts es muy elevado y a largo plazo generará mucho gasto.

A continuación se dará un resumen para cada uno de los pozos después del análisis realizado.

Pozo UIS 1 se le realizó rediseño para lograr que el pozo produzca dentro de la eficiencia de la bomba, también se realizó análisis nodal variando la tubería donde se recomienda cambiar la tubería a 4 1/2"y además se recomienda elevar el TAP.

Pozo UIS 2 se le realizó rediseño para lograr que el pozo produzca dentro de la eficiencia de la bomba, con el análisis nodal realizado se recomiendo no cambiar tubería de producción y además elevar la carga del variador.

Pozo UIS 3 se le realizó rediseño para lograr que el pozo produzca dentro de la eficiencia de la bomba, también se realizó análisis nodal variando la tubería donde se recomienda cambiar la tubería a 4 ½", además se recomienda elevar el TAP y la carga del variador.

Pozo UIS 4 se le realizó rediseño para lograr que el pozo produzca dentro de la eficiencia de la bomba, del análisis nodal realizado se recomienda cambiar la tubería de producción por una de 2 7/8" de diámetro, adicional elevar el TAP y la carga del variador.

Pozo UIS 5 no se realizo rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango optimo , del análisis nodal realizado se recomienda no cambiar la tubería de producción, adicional a esto elevar la carga del variador y el TAP.

Pozo UIS 6 no se realizo rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango optimo, del análisis nodal realizado se recomienda cambiar tubería de producción por una de 2 7/8" de diámetro, adicional a esto se recomienda elevar el TAP y la carga del variador.

Pozo UIS 7 no se realizo rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango optimo, del análisis nodal realizado se recomienda cambiar la tubería de producción por una de 2 7/8" de diámetro, adicional a esto se recomienda elevar el TAP y la carga del variador.

Pozo UIS 8 no se realizo rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango optimo, del análisis nodal realizado se recomienda cambiar la tubería de producción por una de 4 ½"de diámetro, adicional a esto se recomienda elevar el TAP.

Pozo UIS 9 no se realizo rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango optimo, del análisis nodal realizado se recomienda no cambiar la tubería de producción, además se recomienda elevar la carga del variador.

Pozo UIS 10 se le realizó rediseño para lograr que el pozo produzca dentro de la eficiencia de la bomba, del análisis nodal se recomienda colocar una tubería de 2 7/8" y además elevar el TAP y la carga del variador.

Pozo UIS 11 no se realizó rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango óptimo, del análisis nodal no se recomienda cambiar la tubería de producción, además se recomienda elevar el TAP.

Pozo UIS 12 no se realizó rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango óptimo, del análisis nodal no se recomienda cambiar la tubería de producción, además se recomienda disminuir el TAP.

Pozo UIS 13 no se realizó rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango óptimo, del análisis nodal no se recomienda cambiar la tubería de producción, además se recomienda elevar el TAP y la carga del variador.

Pozo UIS 14 no se realizó rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango óptimo, del análisis nodal no se recomienda cambiar la tubería de producción, además se recomienda elevar el TAP.

Pozo UIS 15 no se realizó rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango óptimo, del análisis nodal no se recomienda cambiar la tubería de producción, además se recomienda elevar el TAP.

Pozo UIS 16 no se realizó rediseño debido a que la bomba trabaja dentro del rango óptimo, del análisis nodal no se recomienda cambiar la tubería de producción, además se recomienda elevar la carga del variador.

En el siguiente capítulo se analizará económicamente si es viable o no realizar las recomendaciones a las que se han llegado para cada pozo en el capítulo 8.

9. ANÁLISIS ECONÓMICO

Para efectuar el respectivo análisis económico, se realizaron una serie de asunciones que llevaremos a cabo para efectuar los cálculos, presentadas a continuación:

Asunciones

- ➔ Equivalencia del mes (Días) = 30,4
- ➔ Equivalencia del año (meses) = 12
- ➔ Equivalencia del año (Días) = 364,8
- ➔ Costo de mantener un kilowatt al día (US/Kw-día) = 9
- ➔ Costo de mantener un kilowatt al mes (US/Kw-mes) = 273,6
- ➔ Costo de mantener un kilowatt al año (US/Kw-año) = 3283,2
- ➔ Costo de la tubería 2 7/8" (US/ft) = 7
- ➔ Costo de la tubería 3 1/2" (US/ft) = 9
- ➔ Costo de la tubería 4 1/2" (US/ft) = 14

El análisis económico se divide en tres partes, la primera de ellas es un análisis real donde se observará el costo del consumo real que tienen los pozos, para posteriormente comparar con las mejoras.

La segunda parte del análisis consta de un análisis económico teórico, donde se tendrá en cuenta los consumos de diseño, estos valores se obtienen de la tabla 35 en el capítulo 7. Se analizará económicamente antes y después de realizar el rediseño a los pozos que lo necesitaron para ver si se justifica o no realizar los rediseños.

Este capítulo se analizará por campos para ver el comportamiento de kilowatts y de producción en cada uno.

9.1. ANÁLISIS ECONÓMICO REAL

Para realizar este análisis se toma el costo del kilowatt para los diferentes tiempos día, mes y año y se multiplica por los kilowatts consumidos por cada pozo.

A continuación se presenta una tabla con el consumo real de kw por día, mes y año de los pozos del campo A.

Tabla 134. Costo de kilo watts al día, mes y año campo A

Pozo	Kw consumidos (Kw)	Costo kw por día (\$ US/día)	Costo de kw al mes(\$ US/mes)	Costo de kw al año (\$ US/año)
UIS 1	153,5	1.381,5	41.997,6	503.971,2
UIS 2	113,4	1.020,6	31.026,24	372.314,88
UIS 3	83,7	753,3	22.900,32	274.803,84
UIS 4	98	882	26.812,8	321.753,6
UIS 5	44,7	402,3	12.229,92	146.759,04
UIS 6	43	387	11.764,8	141.177,6
UIS 7	52,9	476,1	14.473,44	173.681,28
UIS 8	141,5	1.273,5	38.714,4	464.572,8
UIS 9	92,7	834,3	25.362,72	304.352,64
UIS 10	46,8	421,2	12.804,48	153.653,76
TOTAL	870,2	7831,8	238.086,72	2'857.040,64

Se observa que el valor puntual de mantener los pozos cuesta mensualmente 238.086,72 dólares y al año tienen un valor de 2'857.040,64 dólares.

A continuación se presenta una tabla con el consumo real de kw por día, mes y año de los pozos del campo B.

Tabla 135. Costo de kilo watts al día, mes y año campo B

Pozo	Kw consumidos (Kw)	Costo kw por día (US/día)	Costo de kw al mes(US/mes)	Costo de kw al año (US/año)
UIS 11	104,6	941,4	28.618,56	343.422,72
UIS 12	95,3	857,7	26.074,08	312.888,96
UIS 13	103	927	28.180,8	338.169,6
UIS 14	105,2	946,8	28.782,72	345.392,64
UIS 15	122,1	1.098,9	33.406,56	400.878,72
UIS 16	88,3	794,7	24.158,88	289.906,56
TOTAL	618,5	5.566,5	169.221,6	2'030.659,2

Se observa que el valor puntual de mantener los pozos del campo B cuesta mensualmente 169.211,6 dólares y al año tienen un valor de 2'030.659,2 dólares.

Ahora se analizará económicamente las mejoras realizadas.

9.2. ANÁLISIS ECONÓMICO TEÓRICO

Se analizará teóricamente los costos de los consumos de kilo watts antes y después del rediseño realizado en los equipos.

9.2.1. Antes del rediseño

Para realizar este análisis se toma el costo del kilowatt para los diferentes tiempos día, mes y año y se multiplica por los kilowatts consumidos por cada pozo. En este caso los valores de kilowatts son los del diseño realizado en el software de bombas electrosumergibles.

A continuación se presenta una tabla con el consumo de diseño de kw por día, mes y año de los pozos del campo A.

Tabla 136. Costo de Kw de diseño por día, mes y año campo A

Pozo	Kw consumidos (Kw)	Costo kw por día (US/día)	Costo de kw al mes(US/mes)	Costo de kw al año (US/año)
UIS 1	175	1575	47.880	574.560
UIS 2	129,4	1.164,6	35.403,84	424.846,08
UIS 3	38,9	350,1	10.643,04	127.716,48
UIS 4	115,9	1.043,1	31.710,24	380.522,88
UIS 5	69,6	626,4	19.042,56	228.510,72
UIS 6	115,2	1.036,8	31.518,72	378.224,64
UIS 7	54,9	494,1	15.020,64	180.247,68
UIS 8	80,5	724,5	22.024,8	264.297,6
UIS 9	73,5	661,5	20.109,6	241.315,2
UIS 10	51,9	467,1	14.199,84	170.398,08
TOTAL	904,8	8.143,2	247.553,28	2970639,36

Se observa que para mantener los diez pozos del campo A cuesta mensualmente 247.553,2 US dólares y al año tienen un valor de 2'970.639,3 US dólares.

En la siguiente tabla se muestra la diferencia del consumo real con el de diseño actual en mes y en año del campo A.

Tabla 137. Diferencia de costo de Kw real vs teórico campo A

Diferencia del consumos de kilowatts Reales vs Teóricos		
Costo mensual Real (US \$)	Costo mensual teórico (US \$)	Diferencia (US \$)
238.086,72	247.553,2	9.466,56
Costo anual Real (US \$)	Costo anual teórico (US \$)	Diferencia (US \$)
2'857.040,64	2'970.639,36	11.3598,72

Se observa que la diferencia mensual del consumo de kilo watts es de 9.466,5 US dólares y al año la diferencia sería 113.598,7 US dólares.

Se observa que actualmente el costo real es menor que el teórico esto es debido a que los equipos se encuentran consumiendo menos que los

consumos de diseños o también que los equipos se encuentran trabajando a frecuencias más bajas que las de diseño. A continuación se presenta una tabla con el consumo de diseño de kw por día, mes y año de los pozos del campo B.

Tabla 138. Costo de Kw de diseño por día, mes y año campo B

Pozo	Kw consumidos (Kw)	Costo kw por día (US/día)	Costo de kw al mes(US/mes)	Costo de kw al año (US/año)
UIS 11	90,2	811,8	24.678,72	296.144,64
UIS 12	83,3	749,7	22.790,88	273.490,56
UIS 13	96,2	865,8	26.320,32	315.843,84
UIS 14	100,4	903,6	27.469,44	329.633,28
UIS 15	106,9	962,1	29.247,84	350.974,08
UIS 16	74,8	673,2	20.465,28	245.583,36
TOTAL	551,8	4.966,2	150.972,48	1'811.669,76

Se observa que para mantener los pozos del campo B cuesta mensualmente 150.972,4 US dólares y al año tienen un valor de 1'811.669,7 US dólares.

En la siguiente tabla se muestra la diferencia del consumo real con el de diseño actual en mes y en año del campo B.

Tabla 139. Diferencia de costo de Kw real vs teórico campo B

Diferencia del consumos de kilowatts Reales vs Teóricos		
Costo mensual Real (US \$)	Costo mensual teórico (US \$)	Diferencia (US \$)
169.221,6	150.972,4	-18.249,12
Costo anual Real (US \$)	Costo anual teórico (US \$)	Diferencia (US \$)
2'030.659,2	1'811.669,7	-218.989,4

Se observa que actualmente el costo real es mayor que el teórico esto es debido a que los equipos se encuentran consumiendo más que los consumos de diseños debido a la alta producción de sólidos, lo cual hace más pesado el

fluido de pozo lo que conlleva a un aumento en el consumo de Kw ya que el equipo requiere más esfuerzo para levantar el fluido.

Para lograr un ahorro en el consumo real, se debería disminuir la producción de sólidos, si se logra esta reducción los consumos de kilo watts disminuirían hasta un 40 %. A continuación se muestra una tabla con los resultados esperados.

Tabla 140. Costo de Kw logrando reducir la producción de sólidos en un 40 %

Pozo	Kw consumidos (Kw)	Disminución del consumo en un 40 % (Kw)	Costo kw por día (US/día)	Costo de kw al mes(US/mes)	Costo de kw al año (US/año)
UIS 11	104,6	62,76	564,8	17.171,1	206.053,6
UIS 12	95,3	57,18	514,6	15.644,4	187.733,4
UIS 13	103	61,8	556,2	16.908,5	202.901,8
UIS 14	105,2	63,12	568,1	17.269,6	207.235,6
UIS 15	122,1	73,26	659,3	20.043,9	240.527,2
UIS 16	88,3	52,98	476,8	14.495,3	173.943,9
TOTAL	618,5	371,1	3339,9	101.533,0	1'218.395,5

En la siguiente tabla se muestra la diferencia del consumo real con el de diseño actual en mes y en año del campo B.

Tabla 141. Diferencia de costo de Kw real vs teórico campo B

Diferencia del consumos de kilowatts Reales vs Teóricos		
Costo mensual Real (US \$)	Costo mensual teórico (US \$)	Diferencia (US \$)
101.533,00	150.972,40	49.439,40
Costo anual Real (US \$)	Costo anual teórico (US \$)	Diferencia (US \$)
1'218.395,5	1'811.669,7	593.274,2

Se observa que al lograr las reducción de producción de sólidos hasta de un 40 % se lograría que el consumo real este por debajo del consumo teórico, donde habría una diferencia de 593.274 US dólares.

9.2.2. Después del rediseño

Para realizar este análisis se toma el costo del kilowatt para los diferentes tiempos mes y año y se multiplica por los kilowatts consumidos por cada pozo. En este caso los valores de kilowatts son los del rediseño realizado en el software de bombas electrosumergibles para los pozos UIS1, UIS2, UIS3, UIS4 y UIS10, para los demás pozos se usan los mismos datos del diseño actual. A continuación se presenta una tabla con el consumo kw por mes y año de los pozos del campo A (los recuadros amarillos fueron los pozos los cuales se rediseñaron).

Tabla 142. Costo de Kw con los pozos rediseñados campo A

Pozo	Kw consumidos (Kw)	Costo de kw al mes(US/mes)	Costo de kw al año (US/año)
UIS 1	96,2	26.320,32	315.843,84
UIS 2	72,9	19.945,44	239.345,28
UIS 3	36,3	9.931,68	119.180,16
UIS 4	72,1	19.726,56	236.718,72
UIS 5	69,6	19.042,56	228.510,72
UIS 6	115,2	31.518,72	378.224,64
UIS 7	54,9	15.020,64	180.247,68
UIS 8	80,5	22.024,8	264.297,6
UIS 9	73,5	20.109,6	241.315,2
UIS 10	38,6	10.560,96	126.731,52
TOTAL	709,8	194.201,28	2'330.415,36

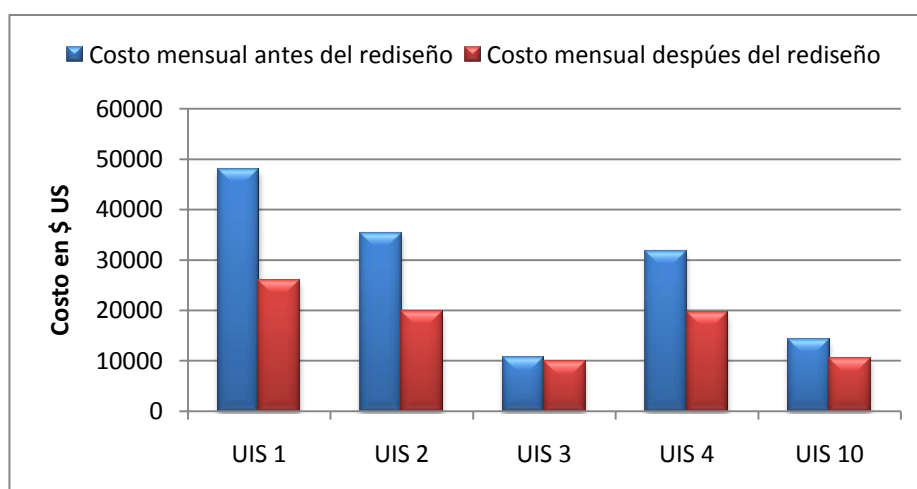
En la siguiente tabla se puede observar el ahorro mensual y anual logrado en los pozos a los cuales se le realizó rediseño.

Tabla 143. Ahorro logrado en los pozos rediseñados campo A

Pozo	Costo mensual antes del rediseño (\$ US)	Costo mensual después del rediseño (\$ US)	Ahorro mensual(\$ US)	Costo anual antes del rediseño (\$ US)	Costo anual después del rediseño (\$ US)	Ahorro anual (\$ US)
UIS 1	47.880	25.974	21.906	574.560	315.843,84	258.716,16
UIS 2	35.403,84	19.683	15.720,84	424.846,08	239.345,28	185.500,8
UIS 3	10.643,04	9.801	842,04	127.716,48	119.180,16	8.536,32
UIS 4	31.710,24	19.467	12.243,24	380.522,88	236.718,72	143.804,16
UIS 10	14.199,84	10.422	3.777,84	170.398,08	126.731,52	43.666,56
TOTAL	139.837	85.347	54.489,9	1'678.043,5	1'037.819,5	640.224

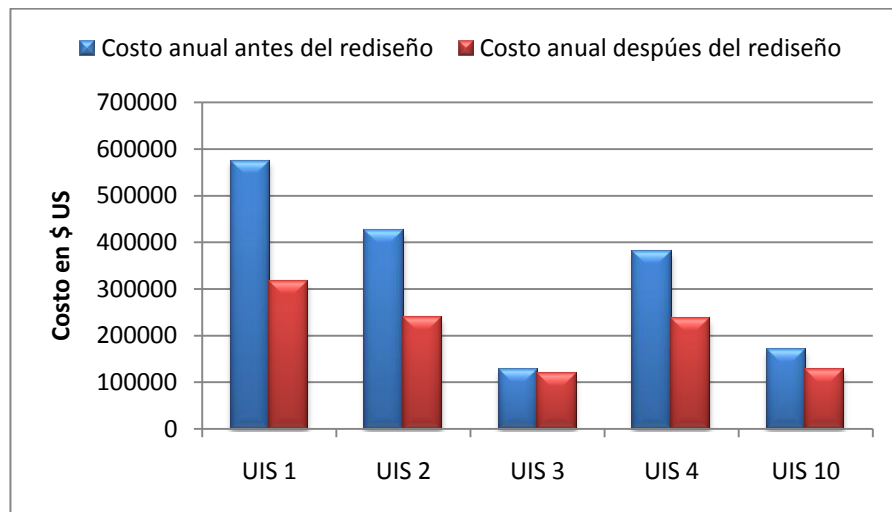
En las siguientes figuras, se observa el ahorro mensual y anual del consumo de kw en (\$ US) para los pozos a los cuales se realizó rediseño.

Figura 252. Ahorro mensual en pozos rediseñados campo A



Fuente. Los Autores

Figura 253. Ahorro anual en pozos rediseñados campo A



Fuente. Los Autores

Se observa que en todos los pozos se logra una disminución en el consumo de kilowatts, y anualmente se ahorra 640.224 US dólares.

9.3. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL ANÁLISIS NODAL

Se le efectuará análisis económico a los pozos en que después del análisis nodal realizado, se observó que se debe cambiar la tubería, esto se hace con el fin de determinar la viabilidad o no viabilidad del proyecto.

Una vez conocidas la inversión inicial y los flujos de efectivo periódicos que se espera genere el proyecto, es necesario compararlos y determinar si conviene o se debe rechazar.

Esta decisión, depende del método usado para el análisis y evaluación del proyecto: 1) *Payback* o período de recuperación; 2) Valor presente neto y 3) Tasa interna de rendimiento (TIR).

El *Payback* o período de recuperación calcula el número de años necesarios para recuperar la inversión inicial, su interés radica solamente en el tiempo de recuperación de la misma, por tanto su criterio de decisión se basa en elegir el

proyecto que recupere la inversión en el menor tiempo, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$\text{Payback} = (\text{Inversión inicial}) / (\text{Flujo de efectivo anual})$$

Luego está el Valor presente neto (VPN) considera el valor del dinero en el tiempo y compara el valor presente de los flujos de efectivo de un proyecto contra la inversión inicial, y se calcula mediante la siguiente expresión:

$$VPN = \sum_{t=1}^n \frac{Rt}{(1+i)^t} - \text{Inversión inicial}$$

Ecuación 7

Donde:

R= Flujos de Efectivo

t= Período de tiempo que va desde 1 hasta n

i= tasa de rendimiento esperada

Y por último la Tasa interna de Rendimiento (TIR), el cual considera el valor del dinero en el tiempo y determina la tasa de rendimiento en la cual el valor presente neto de un proyecto sea igual a cero, y se calculo mediante la siguiente expresión:

$$TIR = \sum_{t=1}^n \frac{Rt}{(1+i)^t} - \text{Inversión Inicial}$$

Ecuación 8

Donde:

R = Flujos de efectivo

t= períodos de tiempo que van desde 1 hasta n

i = tasa de rendimiento esperada

En la siguiente tabla se muestran los pozos y la tubería que se concluyó en el capítulo anterior, en este caso la tubería de 4 1/2", la profundidad de asentamiento, los consumos actuales y los consumos de la tubería sugerida, en donde los recuadros en amarillo nos representan los únicos pozos en los cuales su producción se redujo.

En la siguiente tabla se muestran los pozos y la tubería que se concluyó en el capítulo 8 anterior se podría cambiar con el análisis nodal efectuado, la profundidad de asentamiento, los consumos actuales y los consumos de la tubería sugerida.

Tabla 144. Pozos para cambio de tubería y consumos

Pozo	Tubería Actual (diámetro)	Tubería Sugerida (diámetro)	Profundidad asentamiento (Ft)	Consumo de Kw con tubería actual (Kw)	Consumo de kilowatts con tubería sugerida (kw)
UIS 1	3 ½"	4 ½"	4858	96,2	87,1
UIS 2	3 ½"	3 ½"	4100		
UIS 3	3 ½"	4 ½"	4175	36,3	33,5
UIS 4	3 ½"	2 7/8"	5001	72,1	72,8
UIS 5	3 ½"	3 ½"	4213		
UIS 6	3 ½"	2 7/8"	4400	115,2	119
UIS 7	3 ½"	2 7/8"	3830	54,9	55,3
UIS 8	3 ½"	4 ½"	4080	80,5	70,1
UIS 9	3 ½"	3 ½"	3907		
UIS 10	3 ½"	2 7/8"	4635	38,6	39
UIS 11	3 ½"	3 ½"	2922		
UIS 12	3 ½"	3 ½"	3172		
UIS 13	3 ½"	3 ½"	2766		
UIS 14	3 ½"	3 ½"	3200		
UIS 15	3 ½"	3 ½"	2700		
UIS 16	3 ½"	3 ½"	3080		

Los recuadros amarillos significan que no se cambiará tubería en los pozos.

En la siguiente tabla se muestra la producción de petróleo y consumo de kilowatts con la tubería actual y además el precio de la tubería sugerida.

Tabla 145. Producción de petróleo y consumo de kilo watts

Pozo	Análisis nodal		Consumo Eléctrico		Costo de tubería sugerida (\$ US)
	Producción de petróleo con tubería actual (BBL/día)	Producción de petróleo con tubería sugerida (BBL/día)	Consumo de Kw con tubería actual (Kw)	Consumo de Kw con tubería sugerida (Kw)	
UIS 1	1361,7	1515,4	96,2	102,9	68.012
UIS 3	392,5	483,1	36,3	40,8	58.450
UIS 4	702,7	701,0	72,1	72,8	35.007
UIS 6	372,2	371,6	115,2	118,6	30.800
UIS 7	620,2	618,6	54,9	55,2	26.810
UIS 8	1758,0	1859,2	80,5	76,8	57.120
UIS 10	673,1	669,3	38,6	38,6	32.445
TOTAL	5.880,3	6.218,1	493,8	505,7	308.644

En la siguiente tabla se observa la ganancia de producción y el aumento de kilo watts por día al cambiar la tubería de producción, por la tubería sugerida.

Tabla 146. Aumento de la producción y del consumo de Kw al día

Aumento de producción al día al cambiar a tubería sugerida (BBL/día)	338
Aumento de Kilo watts al día al cambiar a tubería sugerida (kw)	11,9

El análisis económico se basará en la ganancia de barriles que se obtiene al cambiar la tubería en los pozos analizados del capítulo 8, estos pozos son a los que se sugieren el cambio de tubería y se tendrá en cuenta el cambio de los consumos de kilo watts.

En la siguiente tabla se observa el costo de la inversión, el precio de la tubería se calcula multiplicando el costo por pie de la tubería sugerida por la profundidad de asentamiento.

Tabla 147. Inversión total del Proyecto

INVERSIÓN DEL PROYECTO	
Trabajo de Work Over (US dólares)	176.400
Costo total de tubería (US dólares)	308.644
Movilización de equipos (US dólares)	16.288
Campamento (US dólares)	1.000
TOTAL (US dólares)	502.332

En la siguiente tabla, describiremos los flujos de efectivo anuales, incluyendo costos por impuesto de regalías, con los cuales se determina el flujo de caja para todos los pozos en cada mes incluyendo las siguientes asunciones:

Tabla 148. Asunciones para la determinación del Flujo de caja neto

Porcentaje de regalías (%)	20
Impuesto de Renta (%)	35
Precio del barril de crudo (US dólares)	55

Tabla 149. Determinación del flujo de caja neto del análisis nodal

DETALLE	VALOR	Mes 0	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6	Mes 7	Mes 8	Mes 9	Mes 10	Mes 11	Mes 12
Aumento de Producción de Crudo (BBL/mes)			10.275	10.275	10.275	10.275	10.275	10.275	10.275	10.275	10.275	10.275	10.275	10.275
Precio del crudo (US \$)	55													
Ingresos por Ventas de crudo (US \$)			565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136
Total de Ingresos (US \$)			565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136	565.136
Aumento de Kw (US \$)			3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256	3.256
Egresos por consumo de Energía (US \$)			138.360	138.360	138.360	138.360	138.360	138.360	138.360	138.360	138.360	138.360	138.360	138.360
Egresos Totales (US \$)			141.615	141.615	141.615	141.615	141.615	141.615	141.615	141.615	141.615	141.615	141.615	141.615
Utilidad antes del Impuesto (US \$)			423.521	423.521	423.521	423.521	423.521	423.521	423.521	423.521	423.521	423.521	423.521	423.521
Impuesto de Renta (US \$)			148.232	148.232	148.232	148.232	148.232	148.232	148.232	148.232	148.232	148.232	148.232	148.232
Inversión (US \$)	502.332	-502.332												
Flujo de caja Neto (US \$)		-502.332	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288	275.288
Flujo de caja Neto acumulado (US \$)		-502.332	-227.044	48.245	323.533	598.822	874.110	1'149.398	1'424.687	1'699.975	1'975.264	2'250.552	2'525.841	2'801.129

A continuación, se dispone a evaluar el VPN y el PAYBACK del proyecto con los resultados obtenidos en la tabla anterior teniendo en cuenta:

Tabla 150. Asunciones para la determinación del VPN y el PAYBACK

Tasa De Descuento Anual (%)	10
Tasa de descuento Mensual (%)	1

Donde por las Ecuaciones vistas anteriormente se obtiene:

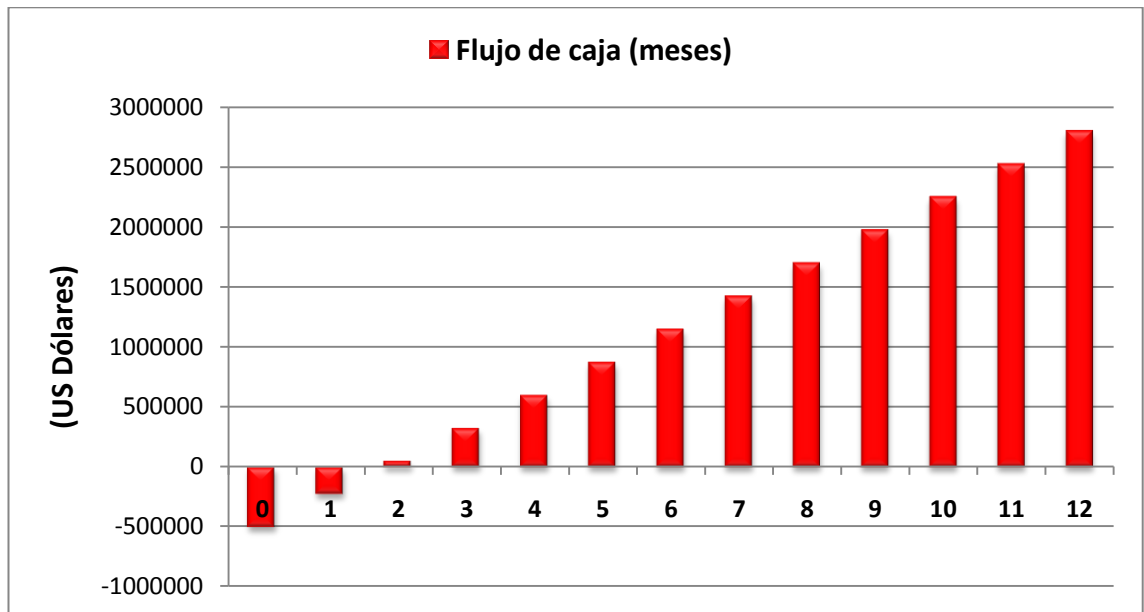
Tabla 151. VPN y PAYBACK

VPN (US dólares)	2'596.060
TIR ANUAL (%)	55
RBC	4
PAYBACK (meses)	1,95

Observamos que la Tasa Interna de Retorno anual es del 55%, superior al 10% establecido, demostrándonos la viabilidad Económica del proyecto, su relación Beneficio/Costo es de 4 y el *PAYBACK* terminando el segundo mes.

En la siguiente gráfica se aprecia de una mejor manera el *PAYBACK* obtenido al cabo de los 2 meses.

Figura 254. Flujo de caja acumulado



Fuente. Los autores

Se observa claramente que al segundo mes de probar con la tubería de producción sugerida, se recupera la inversión y comienzan las ganancias, determinando de esta manera, la viabilidad del cambio de tubería.

En la siguiente tabla se resume el análisis económico y las recomendaciones en el cambio de tubería para los pozos.

Tabla 152. Resumen análisis económico nodal y recomendaciones de cambio

Pozo	Tubería actual (ID in)	Tubería sugerida (ID in)	Recomendación de cambio
UIS 1	3 ½"	4 ½"	SI
UIS 2	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 3	3 ½"	4 ½"	SI
UIS 4	3 ½"	2 7/8"	SI
UIS 5	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 6	3 ½"	2 7/8"	SI
UIS 7	3 ½"	2 7/8"	SI
UIS 8	3 ½"	4 ½"	SI
UIS 9	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 10	3 ½"	2 7/8"	SI
UIS 11	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 12	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 13	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 14	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 15	3 ½"	3 ½"	N/A
UIS 16	3 ½"	3 ½"	N/A

Después de realizar el análisis económico del análisis nodal, se concluye que es viable el cambio de tubería en 7 pozos, UIS 1, UIS 3, UIS 4, UIS 6, UIS 7, UIS 8 y UIS 10, en el resto de pozos se recomienda dejar la tubería de 3 ½".

En los pozos UIS 5, UIS 9, UIS 11, UIS 12, UIS 13, UIS 14, UIS 15 y UIS 16 se sugiere dejarlos tal cual como están ya que los equipos se encuentran dentro de la eficiencia y además el análisis nodal no cambia en nada los consumos por ende no existen ahorros.

Para los pozos UIS 1, UIS 2, UIS 3, UIS 4 y UIS 10 se recomienda realizar el rediseño.

A continuación se muestran las conclusiones por pozo.

Pozo UIS 1 se recomienda realizar rediseño ya que se lograron ahorros y adicional a eso se sugiere cambiar la tubería a 4 ½" ya que se obtuvieron ahorros.

Pozo UIS 2 se recomienda realizar rediseño ya que se lograron ahorros.

Pozo UIS 3 se recomienda realizar rediseño ya que se lograron ahorros y adicional a eso se sugiere no cambiar la tubería a 4 ½" ya que no se logra ningún ahorro al cabo de 3 años que es la vida útil de la tubería de producción.

Pozo UIS 4 se recomienda realizar rediseño ya que se lograron ahorros y adicional a eso se sugiere cambiar la tubería a 2 7/8" ya que el consumo de kw no aumenta demasiado y el costo aumenta dentro del 3% que es valor definido para decidir si se cambia la tubería o no.

Pozo UIS 5 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Pozo UIS 6 se sugiere cambiar la tubería de producción por una de 2 7/8" ya que el consumo de kw no aumenta demasiado y el costo aumenta dentro del 3% que es valor definido para decidir si se cambia la tubería o no.

Pozo UIS 7 se sugiere cambiar la tubería de producción por una de 2 7/8" ya que el consumo de kw no aumenta demasiado y el costo aumenta dentro del 3% que es valor definido para decidir si se cambia la tubería o no.

Pozo UIS 8 se sugiere cambiar la tubería de producción por una de 4 ½" ya que se obtuvieron ahorros a lo largo de la vida útil de la tubería de producción.

Pozo UIS 9 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Pozo UIS 10 se recomienda realizar rediseño ya que se lograron ahorros y adicional a eso se sugiere cambiar la tubería a 2 7/8" ya que el consumo de kw

no aumenta demasiado y el costo aumenta dentro del 3% que es valor definido para decidir si se cambia la tubería o no.

Pozo UIS 11 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Pozo UIS 12 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Pozo UIS 13 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Pozo UIS 14 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Pozo UIS 15 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Pozo UIS 16 se sugiere dejarlo tal cual como esta, ya que el equipo de fondo no necesita rediseño y del análisis nodal se concluye que no se debe cambiar la tubería de producción.

Se recomienda realizar un estudio de control de sólidos para el campo B, pensando en la vida útil de los equipos y el ahorro energético de los consumos.

CONCLUSIONES

1. Los factores de potencia de todos los pozos se encuentran por encima del rango mínimo permitido, esto nos indica que la energía entregada por la fuente o generador está siendo eficientemente aprovechada en los dos campos estudiados.
2. La distorsión armónica en el 90% de los pozos del campo A y en el 80% de los pozos del campo B, se encuentra por encima del máximo permisible (9,5 %).
3. Solo los pozos UIS 2, UIS 9 y UIS 16 poseen una diferencia de voltajes dentro del rango de voltaje de TAP establecido (53 voltios).
4. La figura de eficiencia de la bomba electrosumergible en los pozos UIS1, UIS2, UIS3, UIS4 Y UIS10, se encuentra fuera de las condiciones de diseño actuales.
5. Se concluye que para pozos del campo A con altos caudales como el UIS 1, UIS 3 y UIS 8, es viable el cambio de tubería de producción de 3 ½" a 4 ½".
6. Observando los resultados para un cambio de tubería de 2 7/8" es viable cambiar la tubería para los pozos UIS 4, UIS 6, UIS 7, UIS 10 ya que se observa que para mantener el caudal de diseño el consumo de kilo watts aumenta muy poco lo cual valdría la pena y la tubería de 3 ½" podría ser usada en un pozo que realmente la necesite.
7. Para los pozos del campo B, donde los consumos de kilo watts reales son mayores que los consumos teóricos, al haber la presencia de sólidos en el fluido de pozo hace que el equipo de fondo requiera más potencia (mayor consumo), esta presencia de sólidos ocasionaría un desgaste severo en la

tubería de producción y reduciría la vida útil de la misma. Por lo cual se concluye que la tubería de 2 7/8" no serviría para los pozos UIS 11, UIS 12, UIS 13, UIS 14, UIS 15 Y UIS 16.

8. Al analizar los pozos UIS 2, UIS 5, UIS 9, se concluyó que no sería viable el cambio de tubería de producción de 3 1/2" a 2 7/8" ya que el consumo de kilovatios aumenta mucho cuando se lleva el diseño a la máxima producción.

9. Al efectuar el análisis económico del consumo de Kw en los pozos del campo A antes del rediseño, se observa que actualmente el costo real es menor que el teórico, esto es debido a que los equipos se encuentran consumiendo menos que los consumos de diseños o también que los equipos se encuentran trabajando a frecuencias más bajas que las de diseño.

10. Al efectuar el análisis económico del consumo de Kw a los pozos del campo A después del rediseño, se observa que en los pozos UIS 1, UIS 2, UIS 3, UIS 4 Y UIS 10 en los cuales se realizaron sus respectivos ajustes de rediseño, se logró una disminución en el consumo de kilowatts y un posterior ahorro en consumo anual y mensual.

11. Al efectuar el análisis económico del análisis nodal, se concluyó que para los pozos donde se recomendó cambio de tubería resultó ser viable presentando ganancias considerables a lo largo de un año, obteniendo un VPN de 2'596.060 US dólares.

12. Se concluye que el PAYBACK obtenido del análisis económico para el análisis nodal, es muy bueno ya que se recupera la inversión en tan solo dos meses.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda aumentar el porcentaje de carga para los pozos UIS 2, UIS 3, UIS 4, UIS 5, UIS 6, UIS 7, UIS 9, UIS 10, UIS 11, UIS 12, UIS 13, UIS 14 y UIS 15 para reducir su distorsión armónica por debajo del máximo permisible (9,5 %).
2. Se recomienda optimizar el valor del TAP para los pozos UIS 1, UIS3, UIS 4, UIS 5, UIS 6, UIS 7, UIS 8, UIS 10, UIS 11, UIS 13, UIS 14, UIS 15 para disminuir la diferencia de voltajes hasta encontrarse dentro del rango máximo permitido (53 voltios).
3. Se recomienda para los pozos UIS1, UIS2, UIS3, UIS4 Y UIS10 del campo A, efectuar un rediseño mediante una simulación, variando tipo de bomba, número de etapas y tipo de cable, para que la curva del sistema del pozo (línea verde) sea encontrada dentro de los puntos demarcados de caudal mínimo y máximo (dentro de la eficiencia).
4. Se recomienda analizar para los pozos UIS 2, UIS 5 y UIS 9 del campo A, si valdría la pena cambiar la tubería o no, debido a que el pozo posee un alto potencial de producción.
5. Se recomienda cambiar la tubería de producción para los pozos UIS 1, UIS 3, UIS 4, UIS 6, UIS 7, UIS 8 y UIS 10 por la tubería sugerida del análisis nodal, ya que presenta considerables ganancias después de efectuar el análisis económico.
6. Se recomienda realizar un estudio de control de sólidos para el campo B, pensando en la vida útil de los equipos y el ahorro energético de los consumos.

BIBLIOGRAFÍA

1. BEGGS, H. Dale, Production Optimization Using Nodal Analysis. OGCI and Petroskills Publications. Tulsa Oklahoma. Febrero de 1999.
2. BROWN, Kermit E., BEGGS, H. Dale, The Technology of Artificial Lift Methods, volume 1. Pen Well Books. Tulsa Oklahoma. 1977.
3. NIND, T. E. W., Principles of Oil Well Production. McGraw-Hill Book Company. Tren University, Ontario Canadá. 1981.
4. ECONOMIDES, Michael J., Hill, A. Daniel, EHLIG-ECONOMIDES, Christine, Petroleum Production Systems. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River, New Jersey. 1994.
5. ROJAS, Clímaco E. y SIERRA, Eder. Estudio de factibilidad del Reemplazo del sistema de Bombeo Hidráulico por bombeo Electrosumergible en el campo Cantagallo – Yariguí. Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos, 1988.
6. Manual de Diseño de Equipos Electrosumergibles. WoodGroup ESP.
7. JOSHI, S. Brigham, W. CASTANIER, I. Techno-economic and Risk Evaluation of a thermal recovery project. Department of Energy Assistant Secretary for Fossil Energy. Oklahoma, Estados Unidos. Marzo de 1996.
8. PEÑA SUESCÚN, Fredy Alonso. Proyecto de grado en la Modalidad de práctica empresarial Bombeo Electrosumergible. Descripción, Diseño y

Monitoreo. Schlumberger – WCP – Artificial Lift System. Proyecto de Grado, Universidad Industrial de Santander, Escuela de Ingeniería de Petróleos, 2005.

9. REPORTE DE SERVICIO. ESTUDIO DE CALIDAD Y ENERGÍA. WoodGroup ESP. Marzo 2010.

10. BÁNZER S., Carlos, Correlaciones Numéricas P.V.T. Edición Preliminar. Maracaibo, Enero 1996.

11. Componentes del Sistema de Bombeo Electrosumergible. WoogGroup ESP.

12. RAMÍREZ, Marto, Bombeo Electrosumergible: Análisis, Diseño, Optimización y Trouble Shooting. ESP Oil International Training Group. Maturín, Estado Monagas-Venezuela, julio 23 del 2004.

ANEXOS

Anexo 1. Predictivos campos estudiados.

DATOS GENERALES		ENTRADA AL VARIADOR											SALIDA DEL VARIADOR								
POZO	HORA	HZ	FRQ HZ	VOLTAJE F - F			VOLTAJE F - T			AMPERIOS			VOLTAJE F - F			VOLTAJE F - T			AMPERIOS		
				A-B	B-C	A-C	A-N	B-N	C-N	A	B	C	A-B	B-C	A-C	A-N	B-N	C-N	A	B	C
UIS 1	12:01 PM	55,0	60,4	483	484	484	279	279	279	207	203	202	440	441	442	293	293	292	235	259	249
UIS 2	11:23 AM	65,0	60,3	483	483	484	279	279	279	155	161	170	473	472	473	300	299	298	166	170	187
UIS 3	11:24 AM	30,0	60,5	480	480	482	277	278	278	46	45	45	290	290	290	267	267	267	103	102	109
UIS 4	5:45 PM	49,0	60,6	478	478	478	276	276	276	139	136	136	469	469	469	298	298	298	153	167	160
UIS 5	5:27 PM	41,0	60,2	484	484	485	280	280	280	52	48	50	330	331	331	290	290	290	105	93	104
UIS 6	5:46 PM	50,5	60,2	484	484	485	280	280	280	109	106	105	404	404	405	293	293	293	156	149	145
UIS 7	3:34 PM	40,5	60,4	484	484	485	279	278	280	49	47	46	322	322	322	280	279	280	91	91	91
UIS 8	3:30 PM	60,4	64,0	470	470	470	268	269	270	226	225	223	449	451	450	287	287	287	260	303	257
UIS 9	4:10 PM	41,0	60,3	470	470	470	268	269	270	226	225	223	310	310	311	278	278	278	157	149	157
UIS 10	3:11 PM	55,0	60,3	470	470	470	268	269	270	75	76	73	465	465	465	300	299	300	118	108	109

SALIDA XFMR SUT									OPTIMIZACIÓN			PRODUCCION		
VOLTAJE F - F			VOLTAJE F - T			AMPERIOS			% DESB	IDEAL VOLTS	DIFER	THP	BFPD	BSW
A-B	B-C	A-C	A-N	B-N	C-N	A	B	C						
1381	1388	1385	805	792	806	80	76	72	5,26	1491,47	-106,81	185	4286	67%
1331	1331	1318	769	764	770	65	67	61	5,18	1326,12	0,55	183	2161	53.2%
728	728	726	418	422	416	35	34	32	4,95	797,75	-70,41	93	2975	91.3%
1305	1304	1306	750	753	754	53	58	56	4,79	1309,69	-4,69	185	1071	35.8%
924	923	923	534	532	532	29	31	29	2,25	#####	#####	184	1209	7.2%
1001	1000	998	578	581	573	57	53	59	5,92	1032,97	-33,30	185	1007	58.9%
1627	1623	1622	948	926	942	17	17	17	0,00	1610,29	13,71	114	895	39%
1576	1542	1524	911	896	875	80	68	71	6,85	#####	#####	148	4357	65.1%
1053	1055	1053	608	607	605	42	41	44	3,15	824,57	229,10	82	1549	65%
1228	1220	1221	713	711	708	33	32	34	3,03	#####	#####	94	1104	26.8%

Anexo 2. Tabla de valores de TAP's.

VOLTAJE EN CONEXION Δ (DELTA)	Posiciones del TAP		VOLTAJE EN CONEXION γ (ESTRELLA)
	A	B	
1102	A	A	1909
1156	A	B	2001
1209	A	C	2094
1262	A	D	2186
1316	A	E	2279
1369	B	A	2371
1422	B	B	2463
1476	B	C	2556
1529	B	D	2648
1582	B	E	2740
1636	C	A	2833
1689	C	B	2925
1742	C	C	3018
1796	C	D	3110
1849	C	E	3202
1902	D	A	3295
1956	D	B	3387
2009	D	C	3479
2062	D	D	3572
2116	D	E	3664
2169	E	A	3757
2222	E	B	3849
2276	E	C	3941
2329	E	D	4034
2382	E	E	4126

Anexo 3. Rango de caudales según diámetro de tubería.

Diametro de tubing OD (in)	Desde (BBL)	Hasta (BBL)
2 7/8"	---	3200
3 1/2"	3200	6000
4 1/2"	6000	11000
5 1/2"	> a 11000	