

Optimización de trayectorias de pozos direccionales usando el software COMPASS en el oriente ecuatoriano

Optimization of directional well trajectories using COMPASS software in the eastern Ecuadorian region

Otimização da trajetória de poços direcionais utilizando o software COMPASS no leste do Equador

Zúñiga Muñoz, Josué Antonio
Universidad Estatal Península de Santa Elena
josue.zunigamunoz@upse.edu.ec
<https://orcid.org/0009-0005-6115-7006>



Villegas Salabarría, José Ballardo
Universidad Estatal Península de Santa Elena
jvillegas@upse.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-3664-445X>



 DOI / URL: <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n2/595>

Como citar:

Zúñiga Muñoz, J. A., & Villegas Salabarría, J. B. (2024). Optimización de trayectorias de pozos direccionales usando el software COMPASS en el oriente ecuatoriano. *Código Científico Revista De Investigación*, 5(2), 1488–1515. <https://doi.org/10.55813/gaea/ccri/v5/n2/595>.

Recibido: 30/11/2024

Aceptado: 17/12/2024

Publicado: 31/12/2024

Resumen

Este estudio se centró en los cálculos y diseño de trayectorias tanto para pozos direccionales tipo J y tipo S con el objetivo de alcanzar 2 reservorios que se encuentran ubicado bajo una zona ecológicamente protegida en el Oriente Ecuatoriano. Teniendo los datos como las coordenadas de superficie y del objetivo, usamos el software COMPASS que es una herramienta empleada para el diseño de pozos direccionales, nos calcula los surveys, el azimut, el ángulo de inclinación de manera rápida y nos desarrolla las trayectorias de pozos para definir la trayectoria más rentable. Con todos los cálculos necesario que se realizó concluimos que la trayectoria tipo J era la opción más rentable, ya que nos basamos en dos factores principales: primero el número de estaciones requeridas y segundo la profundidad medida para alcanzar los 2 reservorios. La trayectoria tipo J es la opción más económica y viable para alcanzar los reservorios, considerando las restricciones ambientales del área.

Palabras clave: Coordenadas, Surveys, Azimut, Inclinación, Estaciones.

Abstract

This study focused on the calculation and design of trajectories for both directional wells type J and type S with the objective of reaching 2 reservoirs that are located under an ecologically protected area in the Ecuadorian Oriente. Having the data as the surface and target coordinates, we use the COMPASS software which is a tool used for the design of directional wells, it calculates the surveys, the azimuth, the angle of inclination in a fast way and develops the well trajectories to define the most profitable trajectory. With all the necessary calculations we concluded that the J-type trajectory was the most profitable option, since we based on two main factors: first the number of stations required and second the depth measured to reach the 2 reservoirs. The J-type trajectory is the most economical and feasible option to reach the reservoirs, considering the environmental constraints of the area.

Keywords: Coordinates, Surveys, Azimuth, Inclination, Stations.

Resumo

Este estudo centrou-se no cálculo e conceção de trajectórias para poços direccionais do tipo J e do tipo S, com o objetivo de atingir dois reservatórios localizados sob uma área ecológicamente protegida no Oriente equatoriano. Tendo os dados como as coordenadas da superfície e do alvo, utilizamos o software COMPASS que é uma ferramenta utilizada para o desenho de poços direccionais, calcula os levantamentos, o azimute, o ângulo de inclinação de uma forma rápida e desenvolve as trajectórias do poço para definir a trajetória mais rentável. Com todos os cálculos necessários efectuados, concluimos que a trajetória do tipo J era a opção mais rentável, uma vez que nos baseámos em dois factores principais: em primeiro lugar, o número de estações necessárias e, em segundo lugar, a profundidade medida para atingir os 2 reservatórios. A trajetória tipo J é a opção mais económica e viável para atingir os reservatórios, tendo em conta as restrições ambientais da zona.

Palavras-chave: Coordenadas, Levantamentos, Azimute, Inclinação, Estações.

Introducción

En la exploración y explotación de hidrocarburos, la perforación de pozos direccionales en zonas ecológicamente sensibles presenta un desafío significativo para la industria petrolera, ya que se requiere un equilibrio entre la explotación eficiente de los recursos y la minimización del impacto ambiental. Según Almeida Campaña & Cárdenas Cárdenas(2010) la optimización de las trayectorias de pozos direccionales es un factor clave para maximizar la eficiencia y productividad de los yacimientos, además es esencial para reducir costos, tiempo de perforación y riesgos operacionales, mientras que Estrada Flores et al.(2014) en su trabajo describió las ventajas y desventajas de las aplicaciones de pozos direccionales. El uso de software petroleros ha demostrado ser fundamental a la hora de perforar un pozo direccional, el software COMPASS se ha consolidado como una herramienta eficaz para el diseño preciso de trayectorias, permitiendo cumplir con las restricciones impuestas en áreas protegidas. Rey Márquez & others (2004) trabajo en la empresa Petroproducción y desarrollo una planificación en el campo Sacha se trata de un pozo direccional SACHA-140D, debido a que un reservorio se encontraba debajo del pueblo Sacha. Debido a la complejidad que implica perforar un pozo direccional es muy importante realizar tres tipos de trayectorias el real, el pesimista y optimista según, Huamán Maldonado (2016).

Este artículo tiene como objetivo general optimizar las trayectorias de pozos direccionales en dichas zonas mediante el uso de COMPASS, enfocándose en la reducción de costos y tiempos operacionales. Los objetivos específicos incluyen el cálculo de los surveys, azimut y ángulos de inclinación a partir de las coordenadas de superficie y objetivo, el desarrollo de tres trayectorias tipo J y S, y la evaluación de estas trayectorias para garantizar su cumplimiento con las restricciones ambientales. La pregunta o hipótesis que nos planteamos para realizar este trabajo es la siguiente: ¿Es posible optimizar las trayectorias de pozos direccionales en el oriente ecuatoriano usando el software COMPASS? Con los datos y usando

el software COMPASS se desarrollará las trayectorias de pozos de manera rápida y exacta. Calculando el azimut, surveys y el ángulo de inclinación, podemos obtener dichas trayectorias para poder analizar cada una y seleccionar la trayectoria más rentable a la hora de perforar un pozo direccional. Calvete Molina (2018) propuso un modelo de un pozo direccional con el fin de mejorar la eficiencia de producción en un campo de Ecopetrol S.A. usando el software COMPASS.

Franco Gonzabay & De La Rosa Liriano (2023) analizó el diseño de trayectorias de pozos horizontales en el campo Sacha del Oriente Ecuatoriano usando el software COMPASS, para determinar el pozo de producción más rentable. León Paladines & Velasco Godoy (2023) realizó el diseño de trayectorias en el campo Yuca utilizando el software COMPASS, los resultados obtenidos en la simulación fueron de un pozo vertical y dos laterales del pozo multilateral. Asencio Suárez & Gómez Borbor (2018) usó el software COMPASS para optimizar cada trayectoria del pozo con los parámetros del punto de arranque (KOP) y el ángulo de construcción (BUR). A través de esta investigación, se busca no solo mejorar la eficiencia operativa, sino también contribuir a la protección del entorno ecológico en el oriente ecuatoriano.

Metodología

La optimización de trayectorias de pozos direccionales se realizó en el Oriente ecuatoriano, zona donde se encuentra la mayor reserva de hidrocarburo que posee el Ecuador. Esta área presenta restricciones de perforación debido a la preservación de ecosistemas y las regulaciones ambientales locales.

De acuerdo con los datos del yacimiento, en el campo petrolero de Dayuma ubicado en el Oriente cerca de una zona restringida ecológicamente hay dos importantes reservorios M-1

Y M-2, reservorios con una gran cantidad de hidrocarburos, por lo que la posición del objetivo de ambos reservorios a perforar se muestra en la tabla 1.

Tabla 1

Coordenadas Geográficas y Profundidad del Objetivo

OBJETIVO	COORDENADA DE SUPERFICIE		COORDENADA DE OBJETIVO		OBJETIVO DE PROFUNDIDAD ESPERADO
	m. E	m. N	m. E	m. N	PIES
M-1 Reservorio	427738,5	9879004,8	429738,5	9879004,8	4820
M-2 Reservorio	427738,5	9879004,8	429738,5	9879004,8	5126

Nota: Autores (2024).

Se utilizo el software COMPASS para el diseño y el análisis de las trayectorias de pozos direccionales. Según Ávila Macías (2021) esta herramienta genera las trayectorias óptimas con las coordenadas de superficie y objetivo, calculando los surveys, azimut y el ángulo de inclinación requerido para cada sección del pozo.

El tipo de investigación es de carácter experimental, analítico y explicativo. Este trabajo se realizará con datos de coordenada de superficie y coordenadas del objetivo del pozo. Utilizaremos el software COMPASS para realizar tres diseños: pesimista, es cuando la profundidad medida es más extenso. Real, es cuando la profundidad medida es más corto. Optimista, es cuando la profundidad medida es más pequeña, tanto para las trayectorias del tipo J como para las del tipo S. El objetivo es alcanzar el yacimiento que se encuentra debajo de una zona restringida ecológicamente en el Oriente Ecuatoriano. Evaluaremos estas trayectorias y seleccionaremos la más rentable para optimizar los costos a la hora de perforar un pozo direccional.

Resultados

1.1. Cálculos y Diseños de Trayectorias del Pozo Tipo J

Tabla 2

Resultados del Pozo Tipo J Pesimista (Software COMPASS)

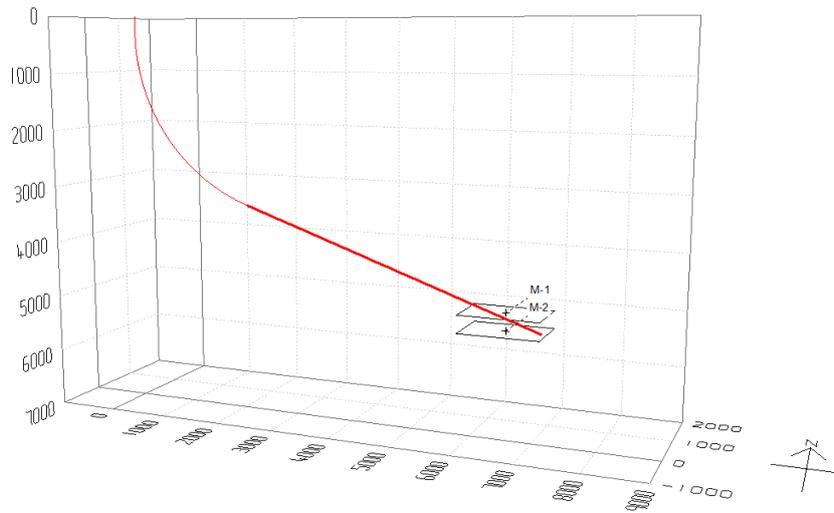
	MD (ft)	Inc. (°)	Azi (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0
5	400	1,79	90	400	0	1,6	1,6
6	500	3,59	90	499,9	0	6,3	6,3
7	600	5,38	90	599,6	0	14,1	14,1
8	700	7,18	90	699	0	25	25
9	800	8,97	90	798	0	39,1	39,1
10	900	10,77	90	896,5	0	56,2	56,2
11	1000	12,56	90	994,4	0	76,4	76,4
12	1100	14,36	90	1091,7	0	99,7	99,7
13	1200	16,15	90	1188,1	0	126	126
14	1300	17,95	90	1283,7	0	155,4	155,4
15	1400	19,74	90	1378,4	0	187,7	187,7
16	1500	21,54	90	1471,9	0	222,9	222,9
17	1600	23,33	90	1564,4	0	261,1	261,1
18	1700	25,13	90	1655,5	0	302,1	302,1
19	1800	26,92	90	1745,4	0	346	346
20	1900	28,72	90	1833,8	0	392,7	392,7
21	2000	30,51	90	1920,8	0	442,1	442,1
22	2100	32,31	90	2006,1	0	494,2	494,2
23	2200	34,1	90	2098,8	0	548,9	548,9
24	2300	35,9	90	2171,7	0	606,3	606,3
25	2400	37,69	90	2251,8	0	666,2	666,2
26	2500	39,49	90	2329,9	0	728,6	728,6
27	2600	41,28	90	2406,1	0	793,4	793,4
28	2700	43,08	90	2480,2	0	860,5	860,5
29	2800	44,87	90	2552,2	0	929,9	929,9
30	2900	46,67	90	2621,9	0	1001,6	1001,6
31	3000	48,46	90	2689,4	0	1075,4	1075,4
32	3100	50,26	90	2754,5	0	1151,3	1151,3
33	3200	52,05	90	2817,2	0	1229,1	1229,1
34	3300	53,85	90	2877,5	0	1308,9	1308,9
35	3400	55,64	90	2935,2	0	1390,6	1390,6
36	3500	57,44	90	2990,3	0	1474	1474
37	3600	59,23	90	3042,8	0	1559,1	1559,1
38	3700	61,03	90	3092,6	0	1645,8	1645,8
39	3800	62,82	90	3139,7	0	1734,1	1734,1

40	3900	64,62	90	3184	0	1823,7	1823,7
41	4000	66,41	90	3225,4	0	1914,7	1914,7
42	4100	68,21	90	3264	0	2007	2007
43	4200	70	90	3299,7	0	2100,4	2100,4
44	4300	70	90	3333,9	0	2194,4	2194,4
45	4400	70	90	3368,1	0	2288,3	2288,3
46	4500	70	90	3402,3	0	2382,3	2382,3
47	4600	70	90	3436,5	0	2476,3	2476,3
48	4700	70	90	3470,7	0	2570,2	2570,2
49	4800	70	90	3504,9	0	2664,2	2664,2
50	4900	70	90	3539,1	0	2758,2	2758,2
51	5000	70	90	3573,3	0	2852,2	2852,2
52	5100	70	90	3607,5	0	2946,1	2946,1
53	5200	70	90	3641,7	0	3040,1	3040,1
54	5300	70	90	3675,9	0	3134,1	3134,1
55	5400	70	90	3710,1	0	3228	3228
56	5500	70	90	3744,3	0	3322	3322
57	5600	70	90	3778,5	0	3416	3416
58	5700	70	90	3812,7	0	3509,9	3509,9
59	5800	70	90	3846,9	0	3603,9	3603,9
60	5900	70	90	3881,1	0	3697,9	3697,9
61	6000	70	90	3915,3	0	3791,8	3791,8
62	6100	70	90	3949,5	0	3885,8	3885,8
63	6200	70	90	3983,7	0	3979,8	3979,8
64	6300	70	90	4017,9	0	4073,8	4073,8
65	6400	70	90	4052,1	0	4167,7	4167,7
66	6500	70	90	4086,3	0	4261,7	4261,7
67	6600	70	90	4120,5	0	4355,7	4355,7
68	6700	70	90	4154,7	0	4449,6	4449,6
69	6800	70	90	4188,9	0	4543,6	4543,6
70	6900	70	90	4223,1	0	4637,6	4637,6
71	7000	70	90	4257,3	0	4731,5	4731,5
72	7100	70	90	4291,5	0	4825,5	4825,5
73	7200	70	90	4325,7	0	4919,5	4919,5
74	7300	70	90	4359,9	0	5013,4	5013,4
75	7400	70	90	4394,1	0	5107,4	5107,4
76	7500	70	90	4428,3	0	5201,4	5201,4
77	7600	70	90	4462,5	0	5295,4	5295,4
78	7700	70	90	4496,8	0	5389,3	5389,3
79	7800	70	90	4531	0	5483,3	5483,3
80	7900	70	90	4565,2	0	5577,3	5577,3
81	8000	70	90	4599,4	0	5671,2	5671,2
82	8100	70	90	4633,6	0	5765,2	5765,2
83	8200	70	90	4667,8	0	5859,2	5859,2
84	8300	70	90	4702	0	5953,1	5953,1
85	8400	70	90	4736,2	0	6047,1	6047,1

86	8500	70	90	4770,4	0	6141,1	6141,1
87	8600	70	90	4804,6	0	6235	6235
88	8700	70	90	4838,8	0	6329	6329
89	8800	70	90	4873	0	6423	6423
90	8900	70	90	4907,2	0	6517	6517
91	9000	70	90	4941,4	0	6610,9	6610,9
92	9100	70	90	4975,6	0	6704,9	6704,9
93	9200	70	90	5009,8	0	6798,9	6798,9
94	9300	70	90	5044	0	6892,8	6892,8
95	9400	70	90	5078,2	0	6986,8	6986,8
96	9500	70	90	5112,4	0	7080,8	7080,8
97	9540	70	90	5126,1	0	7118,4	7118,4

Nota: Autores (2024).

Figura 1
 Trayectoria del Pozo Tipo J Pesimista



Nota: Autores (2024).

Pozo Tipo J Pesimista

Esta trayectoria tiene 97 estaciones, cada 100 pies es una estación y una profundidad medida de 9540 pies. Desde la estación 1 hasta la estación 4 el ángulo de inclinación y el azimut es cero, esta es la sección vertical y llega hasta los 300 pies. Se observa que desde la estación 5 hasta la estación 43 el ángulo de inclinación va aumentando en 1, 79° y el azimut es 90°, esta sección es la de construcción. Desde la estación 43 hasta la estación 97 el ángulo se mantiene en 70° y el azimut sigue siendo 90°, esta es la sección tangente del pozo.

Tabla 3
Resultados del Pozo Tipo J Real (Software COMPASS)

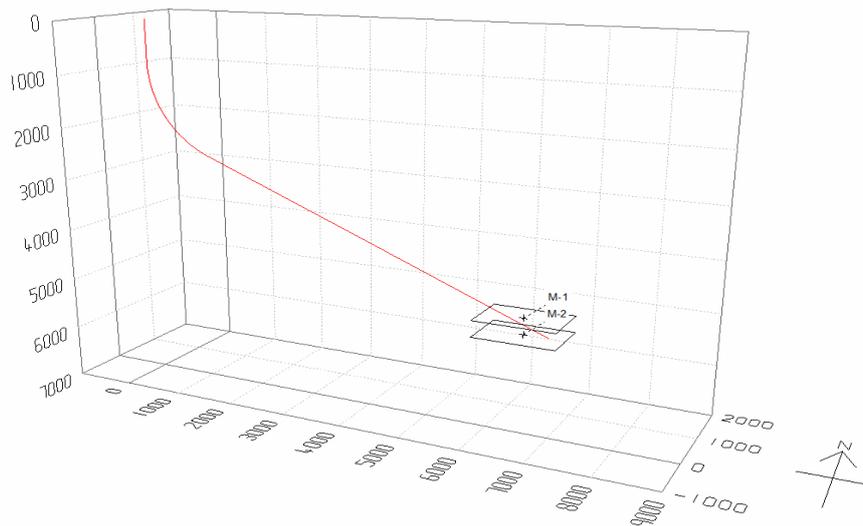
	MD (ft)	Inc. (°)	Azi. (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0
7	600	0	0	600	0	0	0
8	700	0	0	700	0	0	0
9	800	0	0	800	0	0	0
10	900	3,04	90	900	0	2,6	2,6
11	1000	6,07	90	999,6	0	10,6	10,6
12	1100	9,11	90	1098,7	0	23,8	23,8
13	1200	12,15	90	1197	0	42,2	42,2
14	1300	15,18	90	1294,2	0	65,9	65,9
15	1400	18,22	90	1389,9	0	94,6	94,6
16	1500	21,26	90	1484,1	0	128,4	128,4
17	1600	24,29	90	1576,2	0	167,1	167,1
18	1700	27,33	90	1666,3	0	210,6	210,6
19	1800	30,37	90	1753,8	0	258,8	258,8
20	1900	33,4	90	1838,7	0	311,7	311,7
21	2000	36,44	90	1920,7	0	368,9	368,9
22	2100	39,48	90	1999,6	0	430,4	430,4
23	2200	42,51	90	2075	0	496	496
24	2300	45,55	90	2146,9	0	565,5	565,5
25	2400	48,59	90	2215	0	638,7	638,7
26	2500	51,62	90	2279,2	0	715,4	715,4
27	2600	54,66	90	2339,1	0	795,4	795,4
28	2700	57,69	90	2394,8	0	878,4	878,4
29	2800	60,73	90	2446	0	964,4	964,4
30	2900	63,77	90	2492,5	0	1052,9	1052,9
31	2973,5	66	90	2523,7	0	1119,4	1119,4
32	3000	66	90	2534,5	0	1143,6	1143,6
33	3100	66	90	2575,2	0	1235	1235
34	3200	66	90	2615,9	0	1326,3	1326,3
35	3300	66	90	2656,5	0	1417,7	1417,7
36	3400	66	90	2697,2	0	1509	1509
37	3500	66	90	2737,9	0	1600,4	1600,4
38	3600	66	90	2778,5	0	1691,7	1691,7
39	3700	66	90	2819,2	0	1783,1	1783,1
40	3800	66	90	2859,9	0	1874,4	1874,4
41	3900	66	90	2900,6	0	1965,8	1965,8
42	4000	66	90	2941,2	0	2057,2	2057,2

43	4100	66	90	2981,9	0	2148,5	2148,5
44	4200	66	90	3022,6	0	2239,9	2239,9
45	4300	66	90	3063,3	0	2331,2	2331,2
46	4400	66	90	3103,9	0	2422,6	2422,6
47	4500	66	90	3144,6	0	2513,9	2513,9
48	4600	66	90	3185,3	0	2605,3	2605,3
49	4700	66	90	3226	0	2696,6	2696,6
50	4800	66	90	3266,6	0	2788	2788
51	4900	66	90	3307,3	0	2879,3	2879,3
52	5000	66	90	3348	0	2970,7	2970,7
53	5100	66	90	3388,7	0	3062,1	3062,1
54	5200	66	90	3429,3	0	3153,4	3153,4
55	5300	66	90	3470	0	3244,8	3244,8
56	5400	66	90	3510,7	0	3336,1	3336,1
57	5500	66	90	3551,3	0	3427,5	3427,5
58	5600	66	90	3592	0	3518,8	3518,8
59	5700	66	90	3632,7	0	3610,2	3610,2
60	5800	66	90	3673,4	0	3701,5	3701,5
61	5900	66	90	3714	0	3792,9	3792,9
62	6000	66	90	3754,7	0	3884,2	3884,2
63	6100	66	90	3795,4	0	3975,6	3975,6
64	6200	66	90	3836,1	0	4067	4067
65	6300	66	90	3876,7	0	4158,3	4158,3
66	6400	66	90	3917,4	0	4249,7	4249,7
67	6500	66	90	3958,1	0	4341	4341
68	6600	66	90	3998,8	0	4432,4	4432,4
69	6700	66	90	4039,4	0	4523,7	4523,7
70	6800	66	90	4080,1	0	4615,1	4615,1
71	6900	66	90	4120,8	0	4706,4	4706,4
72	7000	66	90	4161,5	0	4797,8	4797,8
73	7100	66	90	4202,1	0	4889,1	4889,1
74	7200	66	90	4242,8	0	4980,5	4980,5
75	7300	66	90	4283,5	0	5071,9	5071,9
76	7400	66	90	4324,1	0	5163,2	5163,2
77	7500	66	90	4364,8	0	5254,6	5254,6
78	7600	66	90	4405,5	0	5345,9	5345,9
79	7700	66	90	4446,2	0	5437,3	5437,3
80	7800	66	90	4486,8	0	5528,6	5528,6
81	7900	66	90	4527,5	0	5620	5620
82	8000	66	90	4568,2	0	5711,3	5711,3
83	8100	66	90	4608,9	0	5802,7	5802,7
84	8200	66	90	4649,5	0	5894	5894
85	8300	66	90	4690,2	0	5985,4	5985,4
86	8400	66	90	4730,9	0	6076,8	6076,8
87	8500	66	90	4771,6	0	6168,1	6168,1
88	8600	66	90	4812,2	0	6259,5	6259,5

89	8700	66	90	4852,9	0	6350,8	6350,8
90	8800	66	90	4893,6	0	6442,2	6442,2
91	8900	66	90	4934,3	0	6533,5	6533,5
92	9000	66	90	4974,9	0	6624,9	6624,9
93	9100	66	90	5015,6	0	6716,2	6716,2
94	9200	66	90	5056,3	0	6807,6	6807,6
95	9300	66	90	5096,9	0	6898,9	6898,9
96	9372	66	90	5126,2	0	6964,7	6964,7

Nota: Autores (2024).

Figura 2
 Trayectoria del Pozo Tipo J Real



Nota: Autores (2024).

Pozo Tipo J Real

Esta trayectoria tiene 96 estaciones y una profundidad medida de 9372 pies. Desde la estación 1 hasta la estación 9 es la sección vertical y llega hasta los 800 pies. Se observa que desde la estación 10 hasta la estación 31 el ángulo de inclinación va aumentando en $3,04^\circ$ y el azimut es 90° , esta sección es la de construcción. Desde la estación 31 hasta la estación 96 el ángulo se mantiene en 66° y el azimut sigue siendo 90° , esta es la sección tangente del pozo.

Tabla 4*Resultados del Pozo Tipo J Optimista (Software COMPASS)*

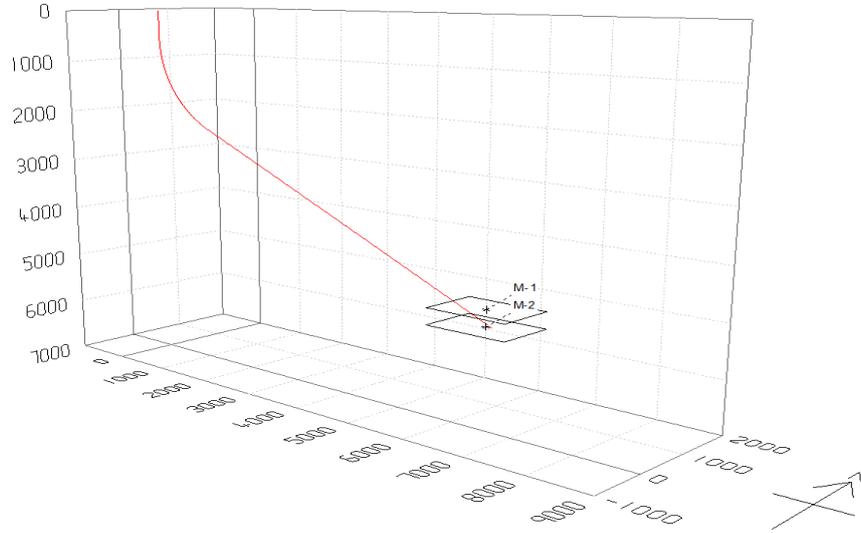
	MD (ft)	Inc. (°)	Azi (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0
7	600	2,86	90	600	0	2,5	2,5
8	700	5,73	90	699,7	0	10	10
9	800	8,59	90	798,9	0	22,4	22,4
10	900	11,45	90	897,3	0	39,9	39,9
11	1000	14,32	90	994,8	0	62,2	62,2
12	1100	17,18	90	1091	0	89,3	89,3
13	1200	20,05	90	1185,8	0	121,2	121,2
14	1300	22,91	90	1278,9	0	157,8	157,8
15	1400	25,77	90	1370	0	199	199
16	1500	28,64	90	1458,9	0	244,7	244,7
17	1600	31,5	90	1545,4	0	294,8	294,8
18	1700	34,36	90	1629,3	0	349,2	349,2
19	1800	37,23	90	1710,4	0	407,7	407,7
20	1900	40,09	90	1788,5	0	470,1	470,1
21	2000	42,95	90	1863,4	0	536,4	536,4
22	2100	45,82	90	1934,8	0	606,4	606,4
23	2200	48,68	90	2002,7	0	679,8	679,8
24	2300	51,55	90	2066,8	0	756,5	756,5
25	2400	54,41	90	2127	0	836,3	836,3
26	2500	57,27	90	2183,2	0	919,1	919,1
27	2600	60,14	90	2235,1	0	1004,5	1004,5
28	2700	63	90	2282,7	0	1092,5	1092,5
29	2800	63	90	2328,1	0	1181,6	1181,6
30	2900	63	90	2373,5	0	1270,7	1270,7
31	3000	63	90	2418,9	0	1359,8	1359,8
32	3100	63	90	2464,3	0	1448,9	1448,9
33	3200	63	90	2509,7	0	1538	1538
34	3300	63	90	2555,1	0	1627,1	1627,1
35	3400	63	90	2600,5	0	1716,2	1716,2
36	3500	63	90	2645,9	0	1805,3	1805,3
37	3600	63	90	2691,3	0	1894,4	1894,4
38	3700	63	90	2736,7	0	1983,5	1983,5
39	3800	63	90	2782,1	0	2072,6	2072,6
40	3900	63	90	2827,5	0	2161,7	2161,7
41	4000	63	90	2872,9	0	2250,8	2250,8
42	4100	63	90	2918,3	0	2339,9	2339,9

43	4200	63	90	2963,7	0	2429	2429
44	4300	63	90	3009,1	0	2518,1	2518,1
45	4400	63	90	3054,5	0	2607,2	2607,2
46	4500	63	90	3099,9	0	2696,3	2696,3
47	4600	63	90	3145,3	0	2785,4	2785,4
48	4700	63	90	3190,7	0	2874,5	2874,5
49	4800	63	90	3236,1	0	2963,6	2963,6
50	4900	63	90	3281,5	0	3052,7	3052,7
51	5000	63	90	3326,9	0	3141,8	3141,8
52	5100	63	90	3372,3	0	3230,9	3230,9
53	5200	63	90	3417,1	0	3320	3320
54	5300	63	90	3463,1	0	3409,1	3409,1
55	5400	63	90	3508,5	0	3498,2	3498,2
56	5500	63	90	3553,9	0	3587,3	3587,3
57	5600	63	90	3599,3	0	3676,4	3676,4
58	5700	63	90	3644,7	0	3765,5	3765,5
59	5800	63	90	3690,1	0	3854,6	3854,6
60	5900	63	90	3735,5	0	3943,7	3943,7
61	6000	63	90	3780,9	0	4032,8	4032,8
62	6100	63	90	3826,3	0	4121,9	4121,9
63	6200	63	90	3871,7	0	4211	4211
64	6300	63	90	3917,1	0	4300,1	4300,1
65	6400	63	90	3962,5	0	4389,2	4389,2
66	6500	63	90	4007,9	0	4478,3	4478,3
67	6600	63	90	4053,3	0	4567,4	4567,4
68	6700	63	90	4098,7	0	4656,5	4656,5
69	6800	63	90	4144,1	0	4745,6	4745,6
70	6900	63	90	4189,5	0	4834,7	4834,7
71	7000	63	90	4234,9	0	4923,8	4923,8
72	7100	63	90	4280,3	0	5012,9	5012,9
73	7200	63	90	4325,7	0	5102	5102
74	7300	63	90	4371,1	0	5191,1	5191,1
75	7400	63	90	4416,5	0	5280,2	5280,2
76	7500	63	90	4461,9	0	5369,3	5369,3
77	7600	63	90	4507,3	0	5458,4	5458,4
78	7700	63	90	4552,7	0	5547,5	5547,5
79	7800	63	90	4598,1	0	5636,6	5636,6
80	7900	63	90	4643,5	0	5725,7	5725,7
81	8000	63	90	4688,9	0	5814,8	5814,8
82	8100	63	90	4734,3	0	5903,9	5903,9
83	8200	63	90	4779,7	0	5993	5993
84	8300	63	90	4825,1	0	6082,1	6082,1
85	8400	63	90	4870,5	0	6171,2	6171,2
86	8500	63	90	4915,9	0	6260,3	6260,3
87	8600	63	90	4961,3	0	6349,4	6349,4

88	8700	63	90	5006,7	0	6438,5	6438,5
89	8800	63	90	5052,1	0	6527,6	6527,6
90	8900	63	90	5097,5	0	6616,7	6616,7
91	8963	63	90	5126,1	0	6672,8	6672,8

Nota: Autores (2024).

Figura 3
Trayectoria del Pozo Tipo J Optimista



Nota: Autores (2024).

Pozo Tipo J Optimista

Esta trayectoria tiene 91 estaciones y una profundidad medida de 8963 pies. Desde la estación 1 hasta la estación 6 es la sección vertical y llega hasta los 500 pies. Se observa que desde la estación 7 hasta la estación 28 el ángulo de inclinación va aumentando en 2, 86° y el azimut es 90°, esta sección es la de construcción. Desde la estación 28 hasta la estación 91 el ángulo se mantiene en 63° y el azimut sigue siendo 90°, esta es la sección tangente del pozo.

1.2. Cálculos y Diseños de Trayectorias del Pozo Tipo S

Tabla 5
Resultados del Pozo Tipo S Pesimista (Software COMPASS)

	MD (ft)	Inc. (°)	Azi (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0

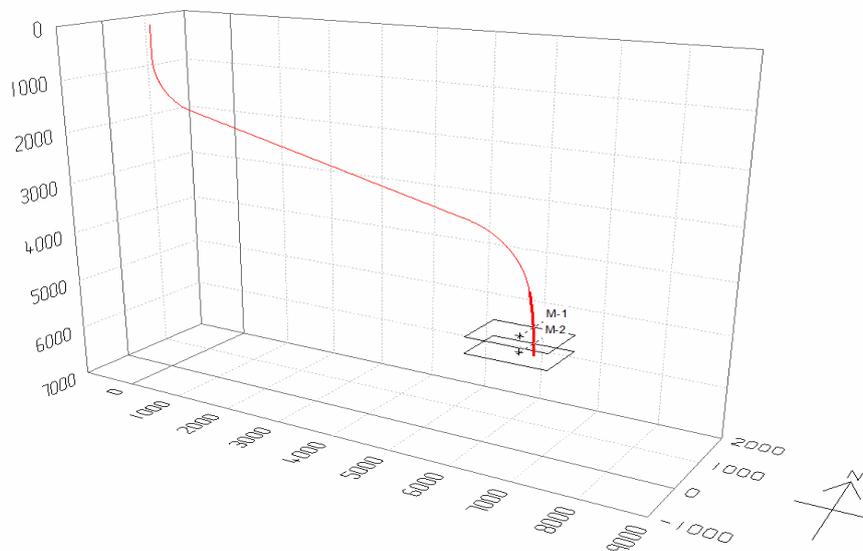
7	600	0	0	600	0	0	0
8	650	2,88	90	650	0	1,3	1,3
9	700	5,77	90	699,8	0	5	5
10	750	8,65	90	794,4	0	11,3	11,3
11	800	11,54	90	798,7	0	20,1	20,1
12	850	14,42	90	847,4	0	31,3	31,3
13	900	17,31	90	895,5	0	45	45
14	950	20,19	90	942,8	0	61	61
15	1000	23,08	90	989,3	0	79,5	79,5
16	1050	25,96	90	1034,8	0	100,2	100,2
17	1100	28,85	90	1079,1	0	123,2	123,2
18	1150	31,73	90	1122,3	0	148,4	148,4
19	1200	34,62	90	1164,2	0	175,8	175,8
20	1250	37,5	90	1204,6	0	205,2	205,2
21	1300	40,38	90	1243,5	0	236,6	236,6
22	1350	43,27	90	1280,7	0	270	270
23	1400	46,15	90	1316,2	0	305,2	305,2
24	1450	49,04	90	1350	0	342,1	342,1
25	1500	51,92	90	1381,8	0	380,6	380,6
26	1550	54,81	90	1411,6	0	420,8	420,8
27	1600	57,69	90	1439,4	0	462,3	462,3
28	1650	60,58	90	1465	0	505,2	505,2
29	1700	63,46	90	1488,5	0	594,4	594,4
30	1750	66,35	90	1509,7	0	594,7	594,7
31	1800	69,23	90	1528,6	0	641	641
32	1850	72,12	90	1545,1	0	688,1	688,1
33	1900	75	90	1559,3	0	736,1	736,1
34	2000	75	90	1585,2	0	832,7	832,7
35	2100	75	90	1611,1	0	929,3	929,3
36	2200	75	90	1636,9	0	1025,9	1025,9
37	2300	75	90	1662,8	0	1122,5	1122,5
38	2400	75	90	1688,7	0	1219	1219
39	2500	75	90	1714,6	0	1315,6	1315,6
40	2600	75	90	1740,5	0	1412,2	1412,2
41	2700	75	90	1766,3	0	1508,8	1508,8
42	2800	75	90	1792,2	0	1605,4	1605,4
43	2900	75	90	1818,1	0	1702	1702
44	3000	75	90	1844	0	1798,6	1798,6
45	3100	75	90	1869,9	0	1895,2	1895,2
46	3200	75	90	1895,8	0	1991,8	1991,8
47	3300	75	90	1921,6	0	2088,4	2088,4
48	3400	75	90	1947,5	0	2185	2185
49	3500	75	90	1973,4	0	2281,6	2281,6
50	3600	75	90	1999,3	0	2378,2	2378,2
51	3700	75	90	2025,2	0	2474,8	2474,8
52	3800	75	90	2051	0	2571,3	2571,3

53	3900	75	90	2076,9	0	2667,9	2667,9
54	4000	75	90	2102,8	0	2764,5	2764,5
55	4100	75	90	2128,7	0	2861,1	2861,1
56	4200	75	90	2154,6	0	2957,7	2957,7
57	4300	75	90	2180,5	0	3054,3	3054,3
58	4400	75	90	2206,3	0	3150,9	3150,9
59	4500	75	90	2232,2	0	3247,5	3247,5
60	4600	75	90	2258,1	0	3344,1	3344,1
61	4700	75	90	2284	0	3440,7	3440,7
62	4800	75	90	2309,9	0	3537,3	3537,3
63	4900	75	90	2335,7	0	3633,9	3633,9
64	5000	75	90	2361,6	0	3730,5	3730,5
65	5100	75	90	2387,5	0	3827	3827
66	5200	75	90	2413,4	0	3923,6	3923,6
67	5300	75	90	2439,3	0	4020,2	4020,2
68	5400	75	90	2465,2	0	4116,8	4116,8
69	5500	75	90	2491	0	4213,4	4213,4
70	5600	75	90	2516,9	0	4310	4310
71	5700	75	90	2542,8	0	4406,6	4406,6
72	5800	75	90	2568,7	0	4503,2	4503,2
73	5900	75	90	2594,6	0	4599,8	4599,8
74	6000	75	90	2620,4	0	4696,4	4696,4
75	6100	75	90	2646,3	0	4793	4793
76	6200	75	90	2672,2	0	4889,6	4889,6
77	6300	75	90	2698,1	0	4986,2	4986,2
78	6400	75	90	2724	0	5082,8	5082,8
79	6500	75	90	2749,9	0	5179,3	5179,3
80	6600	75	90	2775,7	0	5275,9	5275,9
81	6700	75	90	2801,6	0	5372,5	5372,5
82	6800	75	90	2827,5	0	5469,1	5469,1
83	6900	75	90	2853,4	0	5565,7	5565,7
84	7000	75	90	2879,3	0	5662,3	5662,3
85	7100	70,94	90	2908,5	0	5757,9	5757,9
86	7200	66,87	90	2944,5	0	5851,2	5851,2
87	7300	62,81	90	2987	0	5941,7	5941,7
88	7400	58,75	90	3035,8	0	6028,9	6028,9
89	7500	54,69	90	3090,7	0	6112,5	6112,5
90	7600	50,62	90	3151,3	0	6192	6192
91	7700	46,56	90	3217,5	0	6267	6267
92	7800	42,5	90	3288,7	0	6337,1	6337,1
93	7900	38,44	90	3364,8	0	6402	6402
94	8000	34,37	90	3445,3	0	6461,3	6461,3
95	8100	30,31	90	3529,7	0	6514,8	6514,8
96	8200	26,25	90	3617,8	0	6562,2	6562,2
97	8300	22,19	90	3709	0	6603,2	6603,2
98	8400	18,12	90	3802,8	0	6637,7	6637,7

99	8500	14,06	90	3898,9	0	6665,4	6665,4
100	8600	10	90	3996,7	0	6686,2	6686,2
101	8700	9,12	90	4095,3	0	6702,8	6702,8
102	8800	8,24	90	4194,1	0	6717,9	6717,9
103	8900	7,36	90	4293,2	0	6731,5	6731,5
104	9000	6,48	90	4392,5	0	6743,5	6743,5
105	9100	5,6	90	4491,9	0	6754	6754
106	9200	4,72	90	4591,5	0	6763	6763
107	9300	3,84	90	4691,2	0	6770,5	6770,5
108	9400	2,96	90	4791	0	6776,4	6776,4
109	9500	2,08	90	4891	0	6780,8	6780,8
110	9600	1,2	90	4990,9	0	6783,7	6783,7
111	9700	0,32	90	5090,9	0	6785	6785
112	9736	0	0	5126,9	0	6785,1	6785,1

Nota: Autores (2024).

Figura 4
 Trayectoria del Pozo Tipo S Pesimista



Nota: Autores (2024).

Pozo Tipo S Pesimista

Esta trayectoria tiene 112 estaciones y una profundidad medida es 9736 pies. Desde la estación 1 hasta la estación 7 el ángulo de inclinación y el azimut es cero, esta es la sección vertical y llega hasta los 600 pies. Se observa que desde la estación 8 hasta la estación 32 el ángulo de inclinación va aumentando en 2, 88° y el azimut es 90°, esta sección es la de construcción. Desde la estación 33 hasta la estación 84 el ángulo se mantiene en 75° y el azimut sigue siendo 90°, esta es la sección tangente del pozo. Desde la estación 85 hasta la 100 el

ángulo de inclinación se reduce en $4,06^\circ$ y desde la estación 100 hasta la estación 111 el ángulo de inclinación se reduce en $0,88^\circ$ y el azimut sigue siendo 90° . La estación 85 es el inicio de la sección caída y la estación 111 es el final de la sección caída del pozo tipo S. En la estación 112 tenemos un ángulo de inclinación y un azimut de 0° , ya que es la última estación y debe tener una trayectoria vertical.

Tabla 6*Resultados del Pozo Tipo S Real (Software COMPASS)*

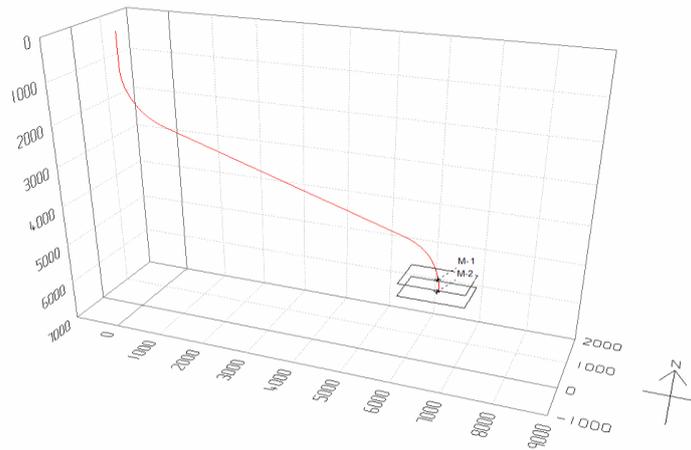
	MD (ft)	Inc. (°)	Azi (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0
7	600	0	0	600	0	0	0
8	700	0	0	700	0	0	0
9	800	0	0	800	0	0	0
10	900	4,12	90	899,9	0	3,6	3,6
11	1000	8,24	90	999,3	0	14,3	14,3
12	1100	12,35	90	1097,7	0	32,2	32,2
13	1200	16,47	90	1194,5	0	57,1	57,1
14	1300	20,59	90	1289,3	0	88,9	88,9
15	1400	24,71	90	1381,6	0	127,4	127,4
16	1500	28,82	90	1470,8	0	172,4	172,4
17	1600	32,94	90	1556,6	0	223,7	223,7
18	1700	37,06	90	1638,5	0	281,1	281,1
19	1800	41,18	90	1716,1	0	344,1	344,1
20	1900	45,29	90	1789	0	412,6	412,6
21	2000	49,41	90	1856,7	0	486,2	486,2
22	2100	53,53	90	1919	0	564,4	564,4
23	2200	57,65	90	1975,5	0	646,8	646,8
24	2300	61,76	90	2025,9	0	733,2	733,2
25	2400	65,88	90	2070	0	822,9	822,9
26	2500	70	90	2107,6	0	915,6	915,6
27	2600	70	90	2141,8	0	1009,5	1009,5
28	2700	70	90	2176	0	1103,5	1103,5
29	2800	70	90	2210,2	0	1197,5	1197,5
30	2900	70	90	2244,4	0	1291,4	1291,4
31	3000	70	90	2278,6	0	1385,4	1385,4
32	3100	70	90	2312,8	0	1479,4	1479,4
33	3200	70	90	2347	0	1573,3	1573,3

34	3300	70	90	2381,2	0	1667,3	1667,3
35	3400	70	90	2415,4	0	1761,3	1761,3
36	3500	70	90	2449,6	0	1855,3	1855,3
37	3600	70	90	2483,8	0	1949,2	1949,2
38	3700	70	90	2518	0	2043,2	2043,2
39	3800	70	90	2552,2	0	2137,2	2137,2
40	3900	70	90	2586,4	0	2231,1	2231,1
41	4000	70	90	2620,6	0	2325,1	2325,1
42	4100	70	90	2654,8	0	2419,1	2419,1
43	4200	70	90	2689	0	2513	2513
44	4300	70	90	2723,2	0	2607	2607
45	4400	70	90	2757,4	0	2701	2701
46	4500	70	90	2791,6	0	2794,9	2794,9
47	4600	70	90	2825,8	0	2888,9	2888,9
48	4700	70	90	2860	0	2982,9	2982,9
49	4800	70	90	2894,2	0	3076,9	3076,9
50	4900	70	90	2928,4	0	3170,8	3170,8
51	5000	70	90	2962,6	0	3264,8	3264,8
52	5100	70	90	2996,8	0	3358,8	3358,8
53	5200	70	90	3031	0	3452,7	3452,7
54	5300	70	90	3065,2	0	3546,7	3546,7
55	5400	70	90	3099,4	0	3640,7	3640,7
56	5500	70	90	3133,6	0	3734,6	3734,6
57	5600	70	90	3167,8	0	3828,6	3828,6
58	5700	70	90	3020	0	3922,6	3922,6
59	5800	70	90	3236,2	0	4016,5	4016,5
60	5900	70	90	3270,4	0	4110,5	4110,5
61	6000	70	90	3304,6	0	4204,5	4204,5
62	6100	70	90	3338,8	0	4298,5	4298,5
63	6200	70	90	3373	0	4392,4	4392,4
64	6300	70	90	3407,2	0	4486,4	4486,4
65	6400	70	90	3441,4	0	4580,4	4580,4
66	6500	70	90	3475,6	0	4674,3	4674,3
67	6600	70	90	3509,8	0	4768,3	4768,3
68	6700	70	90	3544	0	4862,3	4862,3
69	6800	70	90	3578,2	0	4956,2	4956,2
70	6900	70	90	3612,4	0	5050,2	5050,2
71	7000	70	90	3646,6	0	5144,2	5144,2
72	7100	70	90	3680,8	0	5238,1	5238,1
73	7200	70	90	3715	0	5332,1	5332,1
74	7300	70	90	3749,2	0	5426,1	5426,1
75	7400	70	90	3783,5	0	5520,1	5520,1
76	7500	70	90	3817,7	0	5614	5614
77	7600	70	90	3851,9	0	5708	5708
78	7700	70	90	3886,1	0	5802	5802
79	7800	70	90	3920,3	0	5895,9	5895,9

80	7850	67,06	90	3938,6	0	5942,5	5942,5
81	7900	64,12	90	3959,2	0	5988	5988
82	7950	61,19	90	3982,2	0	6032,4	6032,4
83	8000	58,25	90	4007,4	0	6075,6	6075,6
84	8050	55,31	90	4034,8	0	6117,4	6117,4
85	8100	52,37	90	4054,3	0	6157,8	6157,8
86	8150	49,44	90	4095,8	0	6196,6	6196,6
87	8200	46,5	90	4129,3	0	6233,7	6233,7
88	8250	43,56	90	4164,6	0	6269,1	6269,1
89	8300	40,62	90	4201,7	0	6302,6	6302,6
90	8350	37,69	90	4240,5	0	6334,1	6334,1
91	8400	34,75	90	4280,8	0	6363,7	6363,7
92	8450	31,81	90	4322,6	0	6391,1	6391,1
93	8500	28,87	90	4365,7	0	6416,4	6416,4
94	8550	25,94	90	4410,1	0	6439,4	6439,4
95	8600	23	90	4455,6	0	6460,1	6460,1
96	8700	19,66	90	458,8	0	6496,5	6496,5
97	8800	16,32	90	4643,9	0	6577,4	6577,4
98	8900	12,99	90	4740,6	0	6552,6	6552,6
99	9000	9,65	90	4838,6	0	6572,3	6572,3
100	9100	6,31	90	4937,7	0	6586,1	6586,1
101	9200	2,97	90	5037,3	0	6594,2	6594,2
102	9289	0	0	5126,3	0	6596,5	6596,5

Nota: Autores (2024).

Figura 5
Trayectoria del Pozo Tipo S Real



Nota: Autores (2024).

Pozo Tipo S Real

Esta trayectoria tiene 102 estaciones y una profundidad medida de 9289 pies. Desde la estación 1 hasta la estación 9 es la sección vertical y llega hasta los 800 pies. Se observa que desde la estación 10 hasta la estación 26 el ángulo de inclinación va aumentando en 4, 12° y el

azimut es 90°, esta sección es la de construcción. Desde la estación 26 hasta la estación 79 el ángulo se mantiene en 70° y el azimut sigue siendo 90°, esta es la sección tangente del pozo. Desde la estación 79 hasta la 95 el ángulo de inclinación se reduce en 2, 94° y desde la estación 95 hasta la estación 101 el ángulo de inclinación se reduce en 3, 34° y el azimut sigue siendo 90°. La estación 79 es el inicio de la sección caída y la estación 101 es el final de la sección caída del pozo tipo S. La estación 102 es la sección vertical y final de la trayectoria.

Tabla 7
Resultados del Pozo Tipo S Optimista (Software COMPASS)

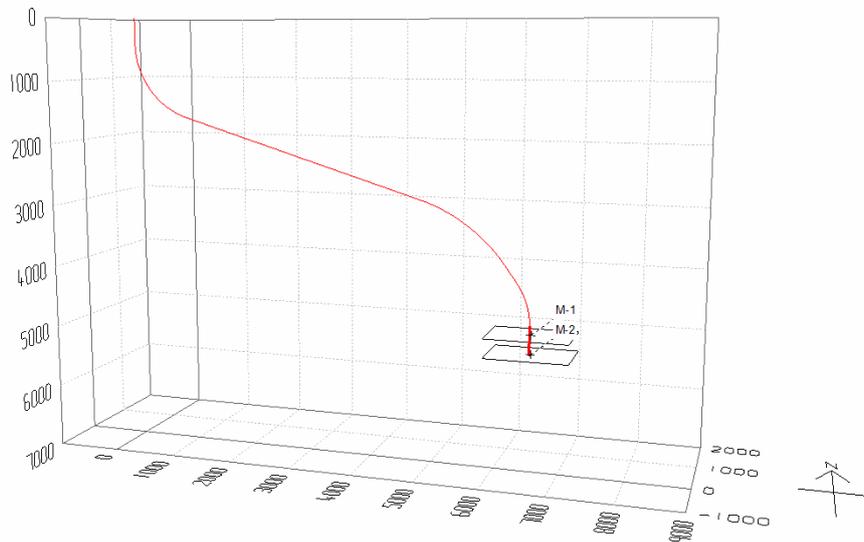
	MD (ft)	Inc. (°)	Azi (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)
1	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0
6	500	4,56	90	499,9	0	4	4
7	600	9,13	90	599,2	0	15,9	15,9
8	700	13,69	90	697,2	0	35,7	35,7
9	800	18,25	90	793,3	0	63,2	63,2
10	900	22,81	90	886,9	0	98,2	98,2
11	1000	27,37	90	977,4	0	140,6	140,6
12	1100	31,94	90	1064,3	0	190,1	190,1
13	1200	36,5	90	1147	0	246,3	246,3
14	1300	41,06	90	1224,9	0	308,9	308,9
15	1400	45,62	90	1297,6	0	377,6	377,6
16	1500	50,19	90	1364,6	0	451,7	451,7
17	1600	54,75	90	1425,5	0	531	531
18	1700	59,31	90	1479,9	0	614,9	614,9
19	1800	63,87	90	1527,5	0	702,8	702,8
20	1900	68,44	90	1567,9	0	794,3	794,3
21	2000	73	90	1600,9	0	888,6	888,6
22	2100	73	90	1630,2	0	984,3	984,3
23	2200	73	90	1659,4	0	1079,9	1079,9
24	2300	73	90	1688,6	0	1175,5	1175,5
25	2400	73	90	1717,9	0	1271,2	1271,2
26	2500	73	90	1747,1	0	1366,8	1366,8
27	2600	73	90	1776,3	0	1462,4	1462,4
28	2700	73	90	1805,6	0	1558,1	1558,1
29	2800	73	90	1834,8	0	1653,7	1653,7
30	2900	73	90	1864,1	0	1749,3	1749,3
31	3000	73	90	1893,3	0	1844,9	1844,9

32	3100	73	90	1922,5	0	1940,6	1940,6
33	3200	73	90	1951,8	0	2036,2	2036,2
34	3300	73	90	1981	0	2131,8	2131,8
35	3400	73	90	2010,2	0	2227,5	2227,5
36	3500	73	90	2039,5	0	2323,1	2323,1
37	3600	73	90	2068,7	0	2418,7	2418,7
38	3700	73	90	2098	0	2514,4	2514,4
39	3800	73	90	2127,2	0	2610	2610
40	3900	73	90	2156,4	0	2705,6	2705,6
41	4000	73	90	2185,7	0	2801,2	2801,2
42	4100	73	90	2214,9	0	2896,9	2896,9
43	4200	73	90	2244,1	0	2992,5	2992,5
44	4300	73	90	2273,4	0	3088,1	3088,1
45	4400	73	90	2303,6	0	3183,8	3183,8
46	4500	73	90	2331,9	0	3279,4	3279,4
47	4600	73	90	2361,1	0	3375	3375
48	4700	73	90	2390,3	0	3470,7	3470,7
49	4800	73	90	2419,6	0	3566,3	3566,3
50	4900	73	90	2448,8	0	3661,9	3661,9
51	5000	73	90	2478	0	3757,6	3757,6
52	5100	73	90	2507,3	0	3853,2	3853,2
53	5200	73	90	2536,5	0	3948,8	3948,8
54	5300	73	90	2565,8	0	4044,4	4044,4
55	5400	73	90	2595	0	4140,1	4140,1
56	5500	73	90	2624,2	0	4235,7	4235,7
57	5600	73	90	2653,5	0	4331,3	4331,3
58	5700	73	90	2682,7	0	4427	4427
59	5800	73	90	2711,9	0	4522,6	4522,6
60	5900	73	90	2741,2	0	4618,2	4618,2
61	6000	73	90	2770,4	0	4713,9	4713,9
62	6100	73	90	2799,6	0	4809,5	4809,5
63	6200	70,76	90	2830,7	0	4904,5	4904,5
64	6300	68,53	90	2865,5	0	4998,3	4998,3
65	6400	66,29	90	2903,9	0	5090,6	5090,6
66	6500	64,06	90	2945,9	0	5181,4	5181,4
67	6600	61,82	90	2991,4	0	5270,4	5270,4
68	6700	59,59	90	3040,3	0	5357,6	5357,6
69	6800	57,35	90	3092,6	0	5442,8	5442,8
70	6900	55,12	90	3148,2	0	5526	5526
71	7000	52,88	90	3207	0	5606,9	5606,9
72	7100	50,65	90	3268,8	0	5685,4	5685,4
73	7200	48,41	90	3333,8	0	5761,5	5761,5
74	7300	46,18	90	3401,6	0	5835	5835
75	7400	43,94	90	3472,2	0	5905,7	5905,7
76	7500	41,71	90	3545,5	0	5973,7	5973,7
77	7600	39,47	90	3621,5	0	6038,8	6038,8

78	7700	37,24	90	3699,9	0	6100,8	6100,8
79	7800	35	90	3780,7	0	6159,7	6159,7
80	7900	35	90	3862,6	0	6217,1	6217,1
81	8000	35	90	3944,5	0	6274,5	6274,5
82	8100	35	90	4026,4	0	6331,8	6331,8
83	8200	30	90	4110,7	0	6385,5	6385,5
84	8300	25	90	4199,4	0	6431,7	6431,7
85	8400	20	90	4291,8	0	6470	6470
86	8500	15	90	4387,1	0	6500	6500
87	8600	10	90	4484,7	0	6521,6	6521,6
88	8700	5	90	4583,8	0	6534,7	6534,7
89	8800	0	0	4683,7	0	6539,1	6539,1
90	8900	0	0	4783,7	0	6539,1	6539,1
91	9000	0	0	4883,7	0	6539,1	6539,1
92	9100	0	0	4983,7	0	6539,1	6539,1
93	9200	0	0	5083,7	0	6539,1	6539,1
94	9243	0	0	5126,7	0	6539,1	6539,1

Nota: Autores (2024).

Figura 6
Trayectoria del Pozo Tipo S Optimista



Nota: Autores (2024).

Pozo Tipo S Optimista

Esta trayectoria tiene 94 estaciones y una profundidad medida de 9243 pies. Desde la estación 1 hasta la estación 5 es la sección vertical y llega hasta los 400 pies. Se observa que desde la estación 6 hasta la estación 21 el ángulo de inclinación va aumentando en $4,56^\circ$ y el azimut es 90° , esta sección es la de construcción. Desde la estación 21 hasta la estación 62 el

ángulo se mantiene en 73° y el azimut sigue siendo 90° , está es la sección tangente del pozo. Desde la estación 63 hasta la 79, el ángulo de inclinación se reduce en $2, 23^\circ$ y desde la estación 79 hasta la estación 82, el ángulo de inclinación se mantiene en 35° y el azimut sigue siendo 90° . La estación 63 es el inicio de la sección caída y la estación 89 es el final de la sección caída del pozo tipo S. La estación 89 es la sección vertical y final de la trayectoria.

Discusión

La implementación de tecnologías avanzadas, como el software COMPASS, ha demostrado ser esencial en la optimización de trayectorias de pozos direccionales en áreas ecológicamente sensibles. Estudios recientes en el Oriente ecuatoriano evidencian que las trayectorias tipo J ofrecen ventajas significativas en términos de eficiencia operativa y reducción de costos, al minimizar la profundidad medida y el número de estaciones necesarias para alcanzar los reservorios. En esta línea, Zúñiga Muñoz (2022) resalta que el software COMPASS permite diseñar pozos direccionales con mayor precisión, optimizando variables clave como el ángulo de inclinación y el azimut, lo que garantiza mejores resultados económicos y operativos en contextos complejos.

El análisis de las trayectorias de pozos direccionales tipo J y S realizado mediante el software COMPASS resalta su efectividad en la optimización de diseños para alcanzar reservorios en zonas ecológicamente sensibles. Los resultados obtenidos demuestran que la trayectoria tipo J es la opción más rentable y viable para las condiciones estudiadas, en comparación con las trayectorias tipo S, debido a su menor profundidad medida y menor número de estaciones necesarias. Esto coincide con hallazgos previos, como los de Ávila Macías (2021), quien señala que el software COMPASS permite generar trayectorias precisas que reducen costos y tiempo de perforación al optimizar variables clave como el ángulo de inclinación y el azimut.

La evaluación de las trayectorias muestra que la configuración tipo J tiene ventajas significativas en términos de eficiencia operativa. Específicamente, en el caso optimista de la trayectoria J, se logró una profundidad medida de 8,963 pies con 91 estaciones, mientras que el caso optimista de la trayectoria tipo S requirió 9,736 pies y 112 estaciones, lo cual implica mayores costos y tiempos asociados. Estas diferencias corroboran la importancia de seleccionar trayectorias con menor complejidad en la construcción, como lo han indicado investigaciones previas en el campo Sacha y otros yacimientos del Oriente ecuatoriano (Franco Gonzabay & De La Rosa Liriano, 2023; León Paladines & Velasco Godoy, 2023).

Un aspecto destacable de esta investigación es su contribución a la sostenibilidad en la perforación direccional. El diseño de trayectorias tipo J permitió minimizar el impacto ambiental al reducir las necesidades de movimiento de tierras y el riesgo de invasión en áreas protegidas, un enfoque que está alineado con las prácticas propuestas por Almeida Campaña y Cárdenas Cárdenas (2010) para operaciones en entornos ecológicamente sensibles. De manera similar, García-Peña (2023) enfatiza cómo el uso de tecnologías avanzadas en el contexto ecuatoriano facilita la ejecución de proyectos de manera más eficiente y sostenible, asegurando un menor impacto en zonas ambientalmente restringidas.

Por otro lado, la elección entre trayectorias tipo J y S debe considerar también las condiciones específicas del yacimiento y los objetivos de producción. En algunos escenarios, las trayectorias tipo S pueden ser preferibles para alcanzar múltiples reservorios desde un único punto de perforación, como lo han explorado Rey Márquez et al. (2004) en campos con configuraciones geológicas más complejas. Además, es necesario profundizar en análisis que incorporen simulaciones tridimensionales más avanzadas, como las utilizadas por Calvete Molina (2018), para evaluar la factibilidad técnica y económica en un rango más amplio de condiciones operativas.

Asimismo, Celi-Párraga, Boné-Andrade, Mora-Olivero y Sarmiento-Saavedra (2023) destacan la importancia del modelado y análisis preciso de trayectorias mediante software especializado en la ingeniería del petróleo, ya que esto asegura no solo la optimización técnica, sino también el cumplimiento de las normativas ambientales vigentes. De igual manera, Boné-Andrade (2023) señala que el acceso a tecnologías de información y herramientas digitales en regiones como el Oriente ecuatoriano contribuye significativamente al desarrollo y la sostenibilidad de proyectos en contextos rurales y protegidos.

Además, la perforación direccional ha sido reconocida por su capacidad para disminuir el impacto ambiental en zonas protegidas. Al permitir la desviación de pozos desde una única ubicación superficial hacia múltiples objetivos subsuperficiales, se reduce la necesidad de infraestructura extensiva en superficie, preservando así la integridad de los ecosistemas locales. Como lo indica Barros Galvis (2007), la perforación direccional constituye una herramienta tecnológica clave que contribuye a una explotación más sostenible y responsable de los recursos naturales, especialmente en áreas de alto valor ecológico.

Es importante destacar que la planificación y ejecución adecuadas de estas operaciones requieren una evaluación ambiental rigurosa. La identificación de los componentes ambientales más sensibles es fundamental para gestionar eficazmente los desechos y residuos generados durante la perforación. Correa Tello (2013) señala que la aplicación de buenas prácticas en la perforación direccional, incluyendo el manejo adecuado de los materiales de desecho, garantiza que las actividades extractivas se realicen de manera sostenible y cumplan con las normativas ambientales vigentes. Esto resulta crucial para minimizar riesgos y maximizar la eficiencia en proyectos ubicados en zonas ecológicamente restringidas.

Finalmente, este estudio no solo refuerza la utilidad del software COMPASS en el diseño de trayectorias optimizadas, sino que también destaca la importancia de adoptar herramientas digitales que permitan cumplir con los estándares ambientales y operativos de

manera eficiente. En este sentido, es fundamental la integración de tecnologías avanzadas que faciliten la toma de decisiones informadas, especialmente en entornos donde la sostenibilidad y la productividad son prioritarias (García-Peña, 2023; Boné-Andrade, 2023). Futuros estudios podrían integrar otros software y metodologías comparativas, así como la incorporación de simulaciones tridimensionales más sofisticadas, con el fin de ampliar el alcance de los análisis y adaptarse a condiciones geológicas y regulatorias aún más desafiantes.

Conclusión

El análisis comparativo de las trayectorias de los pozos determino que el pozo tipo J tiene menos estaciones para atravesar los dos reservorios. Este tipo de pozo es el más eficiente en términos de tiempo y complejidad a la hora de la perforación. A la hora de ingresar los datos del reservorio en el software COMPASS, determinamos que no se puede diseñar una trayectoria tipo Horizontal debido a que los reservorios se encuentran debajo del otro, por lo que es imposible atravesar los dos reservorios de manera horizontal.

Mediante la utilización del software COMPASS se logró resolver la problemática. Ingresando los datos en el software se obtuvieron los cálculos de surveys, azimut y el ángulo de inclinación, lo que permitió calcular la profundidad medida y obtener las trayectorias. La precisión de los cálculos realizados por el software COMPASS fue fundamental para realizar los cálculos y trayectorias de pozos direccionales de manera rápida, para analizar la trayectoria más rentable.

Referencias bibliográficas

- Almeida Campaña, D. E., & Cárdenas Cárdenas, D. R. (2010). Optimización de la perforación de pozos direccionales de los principales campos de Petroproducción en la cuenca oriente en base a su caracterización litológica. QUITO/EPN/2010.
- Asencio Suárez, F. A., & Gómez Borbor, R. H. (2018). Diseño de trayectorias de pozos utilizando coiled tubing para desarrollar campos de producción marginal GGV

- utilizando pozos Slimhole. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2018.
- Ávila Macías, M. N. (2021). Desarrollo de una aplicación informática para operaciones básicas relacionadas a la perforación de pozos de petróleo. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2021.
- Barros Galvis, N. E. (2007). Perforación direccionada, la perforación del futuro hoy. Recuperado de <https://app.ingemmet.gob.pe/biblioteca/pdf/Lib-216-59.pdf>
- Blandón Ramírez, J. A., & Calvete Molina, A. S. (2018). Propuesta de un modelo de un pozo horizontal con el fin de mejorar la eficiencia de producción en un campo de Ecopetrol SA.
- Boné-Andrade, M. F. (2023). Inclusión Digital y Acceso a Tecnologías de la Información en Zonas Rurales de Ecuador. *Revista Científica Zambos*, 2(2), 1-16. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n2/40>
- Celi-Párraga, R. J., Boné-Andrade, M. F., Mora-Olivero, A. P., & Sarmiento-Saavedra, J. C. (2023). Ingeniería del Software I: Requerimientos y Modelado del Software. Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.21>
- Correa Tello, J. (2013). Perforación direccional. Recuperado de <https://1library.co/document/y6916wgy-perforacion-direccional-tesis-correa-tello-pdf.html>
- Estrada Flores, B. W., Medina Cáceres, L. G., & Moscoso Loayza, G. J. (2014). Análisis de los Procedimientos Aplicados para Perforar Pozos Direccionales.
- Franco Gonzabay, K. D., & De La Rosa Liriano, Ó. G. (2023). Análisis comparativo del diseño de trayectorias de pozos horizontales y evaluación de un fluido de perforación base agua en el campo Sacha del Oriente ecuatoriano. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena, 2023.
- García-Peña, V. R. (2023). Desarrollo y Uso de Aplicaciones Móviles en el Contexto Ecuatoriano. *Revista Científica Zambos*, 2(3), 1-15. <https://doi.org/10.69484/rcz/v2/n3/46>
- Huamán Maldonado, E. (2016). Optimización de sartas de perforación en pozos direccionales.
- León Paladines, G. A., & Velasco Godoy, G. A. (2023). Diseño y completación de trayectorias complejas en el campo Yuca. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena. 2023.
- Rey Márquez, H. D., & others. (2004). Diseño de la Trayectoria de Perforación de un Pozo Direccional en el Campo Sacha Del Oriente Ecuatoriano.
- Zúñiga Muñoz, J. A. (2022). Optimización de trayectoria de pozos direccionales usando el software COMPASS. Universidad Estatal Península de Santa Elena. Recuperado de <https://repositorio.upse.edu.ec/handle/46000/7920>