



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

TEMA:

**“OPTIMIZACIÓN DE TRAYECTORIA DE POZOS DIRECCIONALES
USANDO EL SOFTWARE COMPASS”**

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO
“CASO PRÁCTICO”**

AUTOR:

JOSUÉ ANTONIO ZÚÑIGA MUÑOZ

TUTOR:

ING. ROMEL ÁNGEL ERAZO BONE, MSC.

LA LIBERTAD, ECUADOR

2022

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

**FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

TEMA:

**“OPTIMIZACIÓN DE TRAYECTORIA DE POZOS
DIRECCIONALES USANDO EL SOFTWARE COMPASS”**

**PROYECTO PRÁCTICO DEL EXAMEN COMPLEXIVO
“CASO PRÁCTICO”**

AUTOR:

JOSUÉ ANTONIO ZÚÑIGA MUÑOZ

TUTOR:

ING. ROMEL ÁNGEL ERAZO BONE, MSC.

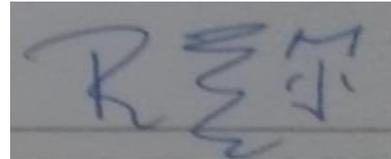
LA LIBERTAD – ECUADOR

2022

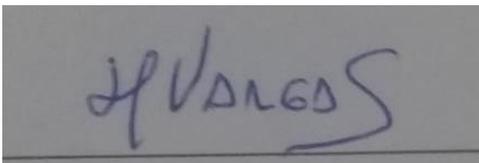
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



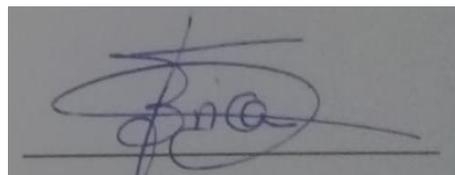
**MARLLELIS GUTIÉRREZ
HINESTROZA, PHD.
DIRECTOR DE CARRERA**



**ROMEL ÁNGEL ERAZO BONE,
MSC.
DOCENTE TUTOR**



**XAVIER VARGAS GUTIERREZ,
MSC.
DOCENTE ESPECIALISTA**



**ERICA LORENZO GARCÍA,
PHD.
SECRETARIA DEL TRIBUNAL**

DEDICATORIA

A Dios que me dio la fortaleza,
salud y sabiduría, a mis
padres, hermano, mujer e hija.

Santa Elena, 30 de Enero 2022

CARTA DE ORIGINALIDAD

Ing. Marllelis Gutiérrez Hinestroza, PhD

Directora de la Carrera de Petróleos

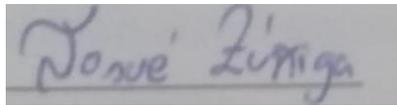
Universidad Estatal Península de Santa Elena

Cumpliendo con los requisitos exigidos, envío a Uds. La Tesina Titulada “**OPTIMIZACIÓN DE TRAYECTORIA DE POZOS DIRECCIONALES USANDO EL SOFTWARE COMPASS**”, para que se considere la Sustentación, señalando lo siguiente:

1. La investigación es original.
2. No existen compromisos ni obligaciones financieras con organismos estatales ni privados que puedan afectar el contenido, resultados o conclusiones de la presente Investigación.
3. Constatamos que la persona designada como autor es el responsable de generar la versión final de la investigación.
4. El Tutor certifica la originalidad de la investigación y el desarrollo de la misma cumpliendo con los principios éticos.

Autor: Josué Antonio Zúñiga Muñoz

Firma:



N° de cedula 0953753159

Correo: josue.zunigamunoz@upse.edu.ec

Tutor: Ing. Romel Ángel Erazo Bone MSC.

Firma



N° de Cedula 0802990838

Correo raerazo@upse.edu.ec

AGRADECIMIENTOS

Primeramente, agradezco a Dios todo poderoso por darme la fortaleza, sabiduría, salud y por guiarme a lo largo de mi vida universitaria y permitirme alcanzar esta meta que es muy importante para mí y mi familia.

A mis padres Marco Zúñiga e Ingrid Muñoz por apoyarme en mis estudios, a mi hermano Aarón Zúñiga que me inspiró a seguir estudiando y me enseñó a ser fuerte en esta vida. Mi mujer e hija que son mi motor para seguir adelante y lograr todo lo que me proponga.

A la Universidad Estatal Península de Santa Elena por abrirme las puertas para poder estudiar, brindándome conocimientos y aprendizajes para lograr ser un gran profesional llenos de buenos valores y principios.

A mi tutor el ingeniero Romel Erazo que con sus conocimientos y experiencias me ayudo a desarrollar este caso práctico, a los docentes de la Facultad de Ingeniería que fueron mi guía para lograr mi formación profesional.

Por último, agradezco también a mis amigos y futuros colegas que la universidad me dio y que estuvieron conmigo en las buenas y en las malas siempre apoyándome en todo, por eso muchas gracias amigos.

CONTENIDO

Pág.

DEDICATORIA	iii
CARTA DE ORIGINALIDAD	iv
AGRADECIMIENTOS	v
LISTA DE FIGURAS	viii
LISTA DE TABLAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
CAPITULO I: EXPOSICIÓN DEL CASO PRÁCTICO	14
1.1 PROBLEMÁTICA DETECTADA	14
1.2 OBJETIVOS	15
1.2.1 Objetivo General.....	15
1.2.2 Objetivos Específicos.	15
1.3 ALCANCE.....	16
1.4 VARIABLES	16
1.4.1 Variables Dependientes.	16
1.4.2 Variables Independientes.....	16
1.5 MARCO TEORICO	16
1.5.1 Pozos direccionales.....	16
1.5.2 Tipos de pozos direccionales.	18
1.5.3 Aplicaciones de pozos direccionales.	24
1.5.4 Método de mínima curvatura.....	25
CAPITULO II: RESOLUCIÓN DEL CASO PRÁCTICO	26
2.1 METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA RESOLUCION.....	26
2.1.1 Antecedentes.....	26
2.1.2 Población.	26
2.1.3 Muestra.	26

2.2	RESOLUCION DEL CASO PRÁCTICO.....	27
2.2.1.	Cálculos de surveys, azimut y ángulo de inclinación.....	35
2.2.2.	Desarrollo de trayectorias.....	48
CAPITULO III: ANALISIS DE RESULTADOS		58
3.1	EVALUACIÓN DE LAS TRAYECTORIAS.....	58
3.1.1.	Trayectorias del pozo tipo J.....	58
3.1.2	Trayectorias del pozo tipo S.....	59
CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		61
4.1	CONCLUSIONES	61
4.2	RECOMENDACIONES.....	62
BIBLIOGRAFÍA		63
ANEXOS		64

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Trayectoria de un pozo tipo J (Herbert)	18
Figura 2. Diseño de trayectoria de un pozo tipo J (Mario Flores).....	18
Figura 3. Trayectoria de un pozo tipo S (Herbert).....	20
Figura 4. Diseño de trayectoria de un pozo tipo S (Mario Flores)	21
Figura 5. Trayectoria de un pozo horizontal (Urdaneta).....	23
Figura 6. Tipos de pozos horizontales (Urdaneta).....	24
Figura 7. Creando una nueva compañía (Software COMPASS)	27
Figura 8. Propiedades de la compañía (Software COMPASS).....	27
Figura 9. Selección de cálculos predeterminados (Software COMPASS)	28
Figura 10. Crear un nuevo proyecto (Software COMPASS)	28
Figura 11. Propiedades del proyecto (Software COMPASS).....	28
Figura 12. Selección del sistema de referencia geográfico (Software COMPASS).....	29
Figura 13. Crear un nuevo sitio (Software COMPASS).....	29
Figura 14. Propiedades del sitio (Software COMPASS)	29
Figura 15. Ingreso de datos de localización (Software COMPASS)	30
Figura 16. Crear un nuevo pozo (Software COMPASS)	30
Figura 17. Propiedades del pozo (Software COMPASS)	30

Figura 18. Crear un nuevo plan de diseño (Software COMPASS)	31
Figura 19. Propiedades del plan de diseño (Software COMPASS).....	31
Figura 20. Plan de diseño de pozo (Software COMPASS).....	31
Figura 21. Ingreso de datos para el diseño del pozo tipo J (Software COMPASS).....	32
Figura 22. Diseño de targets (Software COMPASS)	32
Figura 23. Ingreso de datos del objetivo (Software COMPASS).....	33
Figura 24. Crear un nuevo plan (Software COMPASS).....	33
Figura 25. Ingreso de datos para el diseño del pozo tipo S (Software COMPASS)	34
Figura 26. Trayectoria del pozo tipo J pesimista en 3D (Software COMPASS).....	48
Figura 27. Trayectoria del pozo tipo J pesimista en 2D (Software COMPASS).....	49
Figura 28. Proyección horizontal del pozo tipo J pesimista (Software COMPASS)	49
Figura 29. Trayectoria del pozo tipo J real en 3D (Software COMPASS).....	50
Figura 30. Trayectoria del pozo tipo J real en 2D (Software COMPASS).....	50
Figura 31. Proyección horizontal del pozo tipo J real (Software COMPASS)	51
Figura 32. Trayectoria del pozo tipo J optimista en 3D (Software COMPASS).....	51
Figura 33. Trayectoria del pozo tipo J optimista en 2D (Software COMPASS).....	52
Figura 34. Proyección horizontal del pozo tipo J optimista (Software COMPASS)	52
Figura 35. Trayectoria del pozo tipo S pesimista en 3D (Software COMPASS).....	53
Figura 36. Trayectoria del pozo tipo S pesimista en 2D (Software COMPASS).....	53
Figura 37. Proyección horizontal del pozo tipo S pesimista (Software COMPASS)....	54
Figura 38. Trayectoria del pozo tipo S real en 3D (Software COMPASS)	54
Figura 39. Trayectoria del pozo tipo S real en 2D (Software COMPASS)	55

Figura 40. Proyección horizontal del pozo tipo S real (Software COMPASS).....	55
Figura 41. Trayectoria del pozo tipo S optimista en 3D (Software COMPASS)	56
Figura 42. Trayectoria del pozo tipo S optimista en 2D (Software COMPASS)	56
Figura 43. Proyección horizontal del pozo tipo S optimista (Software COMPASS)....	57

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Coordenadas geográficas y profundidad del objetivo.....	15
Tabla 2. Resultados del pozo tipo J pesimista (Software COMPASS).....	35
Tabla 3. Resultado del pozo tipo J real (Software COMPASS).....	37
Tabla 4. Resultado del pozo tipo J optimista (Software COMPASS).....	39
Tabla 5. Resultados del pozo tipo S pesimista (Software COMPASS)	41
Tabla 6. Resultado del pozo tipo S real (Software COMPASS).....	44
Tabla 7. Resultado del pozo tipo S optimista (Software COMPASS).....	46

“OPTIMIZACIÓN DE TRAYECTORIA DE POZOS DIRECCIONALES USANDO EL SOFTWARE COMPASS”

Autor: Zúñiga Muñoz Josué Antonio

Tutor: Erazo Bone Romel Ángel

RESUMEN

En el presente caso práctico se realizara tres trayectorias tanto para pozos direccionales tipo J y tipo S, en el cual se utilizara el software COMPASS que se encuentra instalado en el laboratorio de petróleo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena. Se realizara estas trayectorias para llegar a los reservorios que se encuentran debajo de una zona restringida ecológicamente en el Oriente Ecuatoriano.

El software COMPASS es una herramienta empleada para el diseño de pozos direccionales, con las coordenadas de superficie y del objetivo que el problema nos da, ingresamos estos datos en el software y nos calcula los surveys, azimuth y el ángulo de inclinación, también nos da la trayectoria que tendrá el pozo para llegar a los reservorios.

Una vez calculado y obtenido las tres trayectorias del pozo tipo J y del pozo tipo S nos dimos cuenta que es más rentable perforar un pozo tipo J para llegar a los reservorios ya que tiene pocas estaciones y su profundidad medida es la más pequeña de todas las trayectorias que diseñamos y calculamos en el software COMPASS.

Recordemos que a la hora de perforar debemos tener en cuenta muchos gastos para perforar un pozo, como el alquiler de una torre de perforación es por eso que se debe planificar que trayectoria nos conviene a la hora de perforar un pozo petrolero.

PALABRAS CLAVE: Pozos direccionales – Software COMPASS – Surveys – Azimut – Ángulo de inclinación.

“DIRECTIONAL WELL TRAJECTORY OPTIMIZATION USING COMPASS SOFTWARE”

Autor: Zúñiga Muñoz Josué Antonio

Tutor: Erazo Bone Romel Ángel

ABSTRACT

In the present practical case, three trajectories will be carried out for both type J and type S directional wells, in which the COMPASS software that is installed in the oil laboratory of the Santa Elena Peninsula State University will be used. These trajectories will be carried out to reach the reservoirs that are below an ecologically restricted zone in the Ecuadorian East.

The COMPASS software is a tool used for the design of directional wells, with the surface and objective coordinates that the problem gives us, we enter this data in the software and it calculates the surveys, azimuth and the angle of inclination, it also gives us the trajectory that the well will have to reach the reservoirs.

Once the three trajectories of the J-type well and the S-type well were calculated and obtained, we realized that it is more profitable to drill a J-type well to reach the reservoirs since it has few stations and its measured depth is the smallest of all the wells trajectories that we design and calculate in the COMPASS software.

Let us remember that when drilling we must take into account many expenses to drill a well, such as renting a drilling tower, that is why we must plan which trajectory suits us when drilling an oil well.

KEYWORDS: *Directional Wells – COMPASS software – Surveys – Azimuth – Inclination angle.*

CAPITULO I: EXPOSICIÓN DEL CASO PRÁCTICO

1.1 PROBLEMÁTICA DETECTADA

En el Oriente Ecuatoriano hay zonas restringidas ecológicamente donde se encuentra el hidrocarburo en el subsuelo, es por eso que encontramos muchos pozos que son direccionales para poder extraer el petróleo. Un pozo direccional es aquel que se perfora a lo largo de una trayectoria planeada para atravesar el yacimiento. Para alcanzar el objetivo es necesario tener el control del ángulo y la dirección del pozo (Antonio, 2011).

Para realizar una trayectoria se necesita conocer la profundidad vertical total, las dimensiones del objetivo y el desplazamiento horizontal, se debe considerar una inclinación y la profundidad donde se comenzara hacer la desviación, debemos conocer las características geológicas de las formaciones a perforar. Conocer la trayectoria de los pozos es muy importante a la hora de iniciar la perforación, ya que nos ayuda a perforar más rápido porque ya sabemos hasta que profundidad cambia la trayectoria del pozo (Tellez, 2017).

De acuerdo con los datos del yacimiento, en el campo petrolero de Loreto ubicado en el Oriente cerca de una zona restringida ecológica 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	COORDENADAS DE SUPERFICIE		COORDENADAS 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

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General.

Optimizar las trayectorias de pozos direccionales en zonas restringidas ecológicamente mediante el uso de software COMPASS para minimizar los costos a la hora de perforar un pozo petrolero.

1.2.2 Objetivos Específicos.

- Calcular los surveys, azimut y el ángulo de inclinación con datos del problema en el software COMPASS.
- Desarrollar las trayectorias tipo J y trayectorias tipo S en el software COMPASS.
- Evaluar las trayectorias obtenida en el software COMPASS y escoger la trayectoria más rentable.

1.3 ALCANCE

Este trabajo se realizará con datos de coordenada de superficie y coordenadas del objetivo que el problema nos da y con el software COMPASS haremos los 3 diseños que son el pesimista, real y el optimista tanto para las trayectorias del tipo J y tipo S para poder llegar al objetivo que se encuentra debajo de una zona restringida ecológicamente en el Oriente Ecuatoriano. Evaluaremos estas trayectorias y escogeremos la trayectoria más rentable para optimizar los costos a la hora de perforar un pozo direccional.

1.4 VARIABLES

1.4.1 Variables Dependientes.

- Coordenadas de superficie
- Punto de arranque (KOP)
- Azimut
- Angulo de inclinación
- Trayectoria del pozo
- Costo de perforación

1.4.2 Variables Independientes.

- Coordenadas del objetivo
- Zona ecológica

1.5 MARCO TEORICO

1.5.1 Pozos direccionales.

Los pozos direccionales son desviaciones intencionales de un pozo con respecto a la trayectoria de un pozo vertical (Herbert, 2020).

Estos pozos comienzan como pozos verticales hasta una profundidad dada después se desvía la trayectoria mediante el incremento de su inclinación para comenzar con la sección de incremento angular. Para esto se utiliza un ensamblaje de fondo (BHA) para cambiar el ángulo ya sea para aumentar o disminuir dicho ángulo. Durante la planeación del pozo se debe considerar la severidad de pata de perro (DLS), la tasa de cambio de la

trayectoria de pozo y las capacidades del BHA, la sarta de perforación, las herramientas de adquisición de registros y la tubería de revestimiento para pasar a través de los cambios angulares (Mantle, 2016).

Existen muchas razones para desviar un pozo como, por ejemplo: evitar una pesca, que es cuando una herramienta se ha quedado en el agujero, una pega de tubería y desprendimiento de la sarta de perforación (Cesar, 2019).

Para planear una trayectoria de pozos direccionales se debe tener en cuenta lo siguientes parámetros (Cesar, 2019):

- **Inclinación:** La inclinación es el ángulo entre la vertical local y la tangente al eje del pozo en un punto determinado en un registro de trayectoria.
- **Azimut:** El azimut es la dirección del pozo sobre el plano horizontal y es medido como un ángulo en sentido de las manecillas del reloj a partir del norte de referencia.
- **Desplazamiento horizontal:** El desplazamiento horizontal es la distancia total en el plano horizontal del conductor del pozo al objetivo del mismo.
- **Punto de arranque:** El punto de arranque es la profundidad del pozo donde se coloca la herramienta de deflexión inicial y se comienza el desvío del pozo.
- **Velocidad de incremento de ángulo:** La velocidad de incremento de ángulo es la rapidez con la cual se modifica el incremento angular hasta alcanzar la inclinación deseada.
- **Pata de perro:** La pata de perro es la curvatura total del pozo entre dos estaciones de registro direccional.
- **Severidad de la pata de perro:** La severidad de la pata de perro es la magnitud de la pata de perro por lo general es de 100 ft o 30 m.

Los pozos direccionales ahorran tiempo y costo, disminuye el impacto ambiental, reduce el número de plataforma.

1.5.2 Tipos de pozos direccionales.

- **Pozo tipo J.** El pozo tipo J su desviación comienza a una poca profundidad después comienza a desviarse y el ángulo promedio de inclinación se mantiene constante hasta llegar al objetivo. Esta trayectoria se usa por lo general cuando existen una falla geológica, un domo salino y pozos profundos con un amplio desplazamiento horizontal. Tiene un KOP, tiene una sección de construcción y una sección tangente (Herbert, 2020).



Figura 1. Trayectoria de un pozo tipo J (Herbert)

Las ecuaciones para calcular la trayectoria de un pozo tipo J son las siguientes:

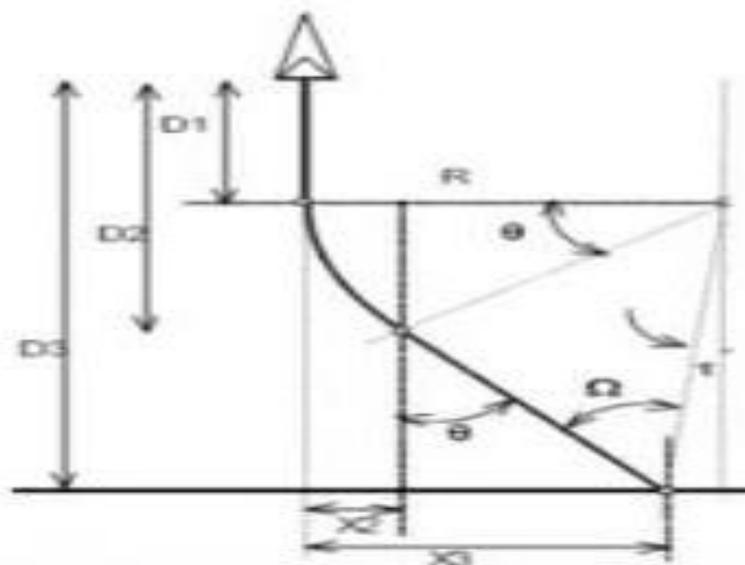


Figura 2. Diseño de trayectoria de un pozo tipo J (Mario Flores)

$$D_1 = KOP \quad (1)$$

$$R = \frac{5730}{BUR} \quad (2)$$

$$L_{arc} = \frac{\theta}{BUR/100} \quad (3)$$

$$D_2 = KOP + (R * \text{sen}\theta) \quad (4)$$

$$D_3 = TVD \quad (5)$$

$$X_2 = R(1 - \text{cos}\theta) \quad (6)$$

$$L_{tang} = \frac{D_3 - D_2}{\text{cos}\theta} \quad (7)$$

$$MD = KOP + L_{arc} + L_{tang} \quad (8)$$

Dónde:

KOP= es el punto de desvío (ft).

R= es el radio de la curva (ft).

BUR= tasa de construcción cada 100 pies (°/100 ft).

θ = máximo ángulo de inclinación (°).

TVD= profundidad vertical verdadera (ft).

MD: profundidad media (ft).

L_{arc} = longitud de arco de la curva (ft).

L_{tang} =longitud de la sección tangente (ft).

X_3 = desplazamiento horizontal total (ft).

- **Pozo tipo S.** El pozo tipo S la desviación inicia cerca de la superficie, después se desvía la trayectoria y la inclinación se mantiene. Seguidamente disminuye el ángulo de desviación hasta volver el pozo a la vertical para llegar al objetivo. Se usa en pozos profundos con un pequeño desplazamiento horizontal, reduce el ángulo de intersección en el reservorio e intercepta múltiples zonas de interés. Tiene un KOP, una sección de construcción, una sección tangente y una sección de caída (Herbert, 2020).

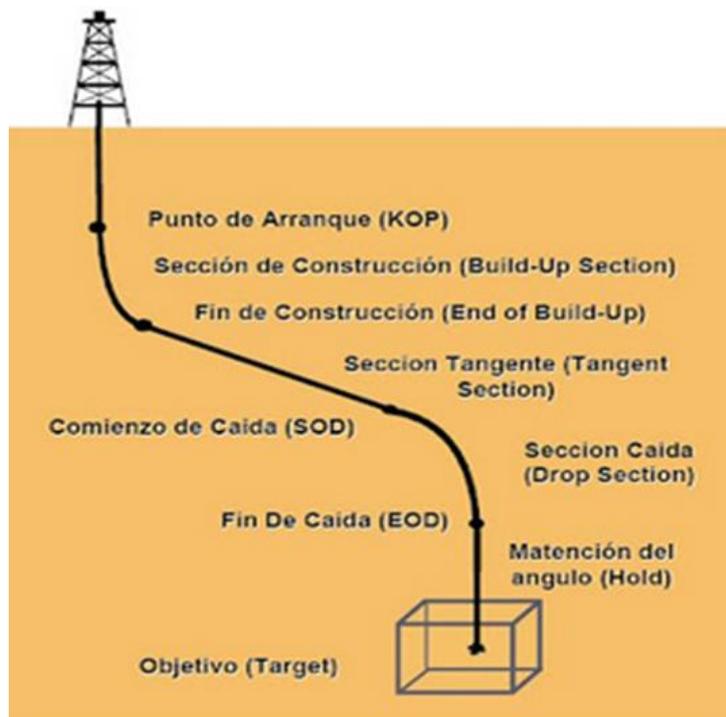


Figura 3. Trayectoria de un pozo tipo S (Herbert)

Las ecuaciones para calcular la trayectoria de un pozo tipo S son las siguientes:

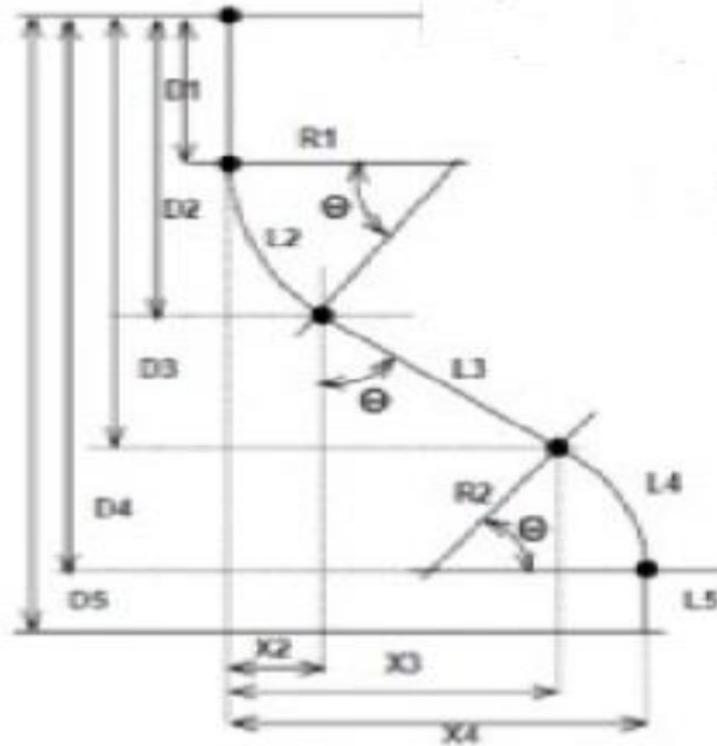


Figura 4. Diseño de trayectoria de un pozo tipo S (Mario Flores)

$$D_1 = \text{KOP} \quad (1)$$

$$R1 = \frac{5730}{\text{BUR1}} \quad (2)$$

$$R2 = \frac{5730}{\text{BUR2}} \quad (9)$$

Si $R_1 + R_2 > X_4$; se usa la siguiente ecuación:

$$\theta = \text{arc Tan} \left(\frac{D_4 - D_1}{R_1 + R_2 - X_4} \right) - \text{arc Cos} \left\{ \left(\frac{R_1 + R_2}{D_4 - D_1} \right) \text{Sen} \left(\text{arc Tan} \left(\frac{D_4 - D_1}{R_1 + R_2 - X_4} \right) \right) \right\} \quad (10)$$

Si $R_1 + R_2 < X_4$; se usa la siguiente ecuación:

$$\theta = 180 - \text{arc Tan} \left(\frac{D_4 - D_1}{R_1 + R_2 - X_4} \right) - \text{arc Cos} \left\{ \left(\frac{R_1 + R_2}{D_4 - D_1} \right) \text{Sen} \left(\text{arc Tan} \left(\frac{D_4 - D_1}{X_4 - R_1 + R_2} \right) \right) \right\} \quad (11)$$

$$D_2 = KOP + (R_1 * \text{sen}\theta) \quad (4)$$

$$L_3 = L_{\text{tang}} \quad (12)$$

$$D_3 = D_2 + (L_3 * \text{cos}\theta) \quad (13)$$

$$D_4 = D_3 + (R_2 * \text{sen}\theta) \quad (14)$$

$$D_5 = \text{TVD} \quad (15)$$

$$L_{C1} = \frac{\pi * R_1 * \theta}{180} \quad (16)$$

$$L_{C2} = \frac{\pi * R_2 * \theta}{180} \quad (17)$$

$$MD = KOP + L_{C1} + L_3 + L_{C2} \quad (18)$$

$$X_2 = R * \text{cos}\theta \quad (19)$$

$$X_3 = X_2 + (L_3 * \text{sen}\theta) \quad (20)$$

Dónde:

L_{c1} = longitud del círculo uno (ft).

L_{c2} = longitud del círculo dos (ft).

X_4 = desplazamiento horizontal total (ft).

- **Pozo tipo horizontal.** El pozo tipo horizontal tiene una mayor área de producción que los pozos verticales, la longitud de la sección horizontal depende de la extensión del yacimiento y el área a drenar. Este tipo de pozo reducen la caída de presión y retrasan los avances de los contactos agua-petróleo o gas -petróleo. Los pozos horizontales han sido aplicados en yacimientos con empuje de agua o capa de gas, yacimientos naturalmente fracturados, perforación de localizaciones inaccesibles y formaciones con baja permeabilidad (Urdaneta, 2018).

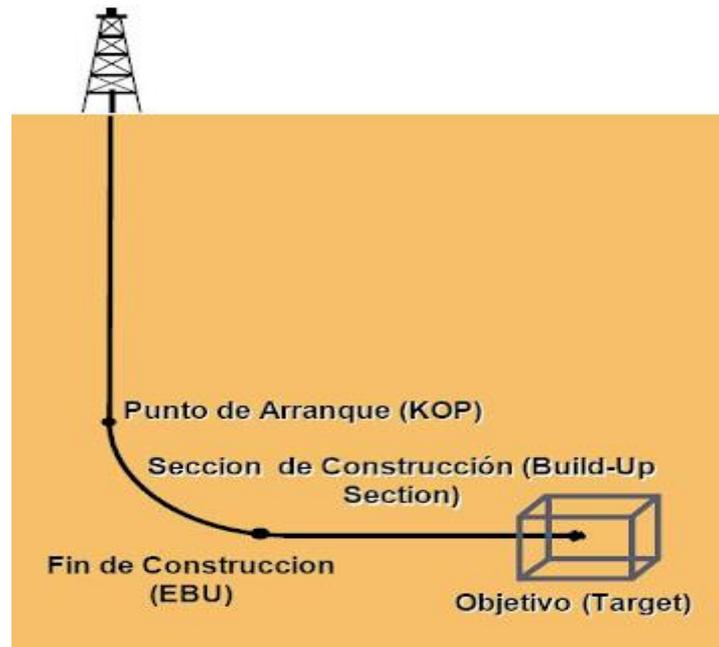


Figura 5. Trayectoria de un pozo horizontal (Urdaneta)

Los pozos horizontales se dividen en (Urdaneta, 2018):

- Pozos de radio ultra corto: el ángulo de levantamiento está entre 45 a 60 grados por pie, su radio de curvatura está entre 1 y 2 pies, las secciones horizontales son de 100 pies.
- Pozo de radio corto: el ángulo de levantamiento está entre 1 a 3 grados por pie, su radio de curvatura está entre 30 a 45 pies, las secciones horizontales son de 100 a 150 pies.
- Pozos de radio medio: el ángulo de levantamiento está entre 8 a 35 grados por cada 100 pies, su radio de curvatura está entre 300 a 700 pies.

- Pozo de radio largo: el ángulo de levantamiento esta entre 1 a 7 grados por cada 100 pies, su radio de curvatura esta entre 1000 y 3000 pies, las secciones horizontales tienen longitudes de 4000 a 6000 pies.

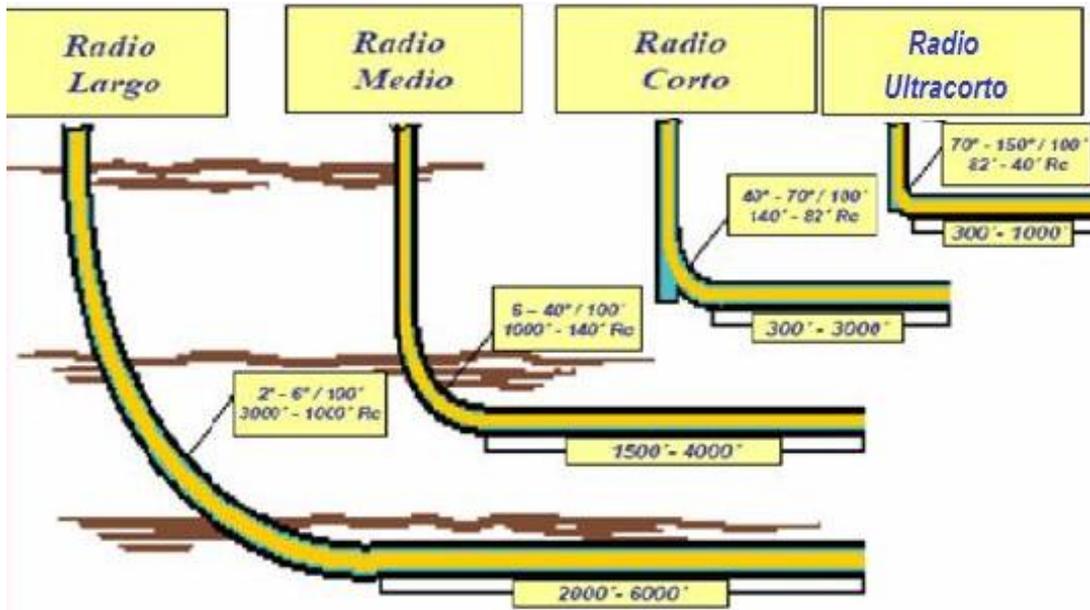


Figura 6. Tipos de pozos horizontales (Urdaneta)

1.5.3 Aplicaciones de pozos direccionales.

Las aplicaciones de pozos direccionales son las siguientes (Matinez, 2018):

- Localizaciones Inaccessibles: cuando las reservas se encuentran bajo ciudades, ríos, zonas ecológicas por lo que el equipo de perforación se debe ubicar lejos del objetivo
- Control de falla: se perfora direccionalmente para no cruzar la línea de la falla.
- Múltiples pozos exploratorios desde un solo agujero: permite la exploración de localizaciones estructurales sin la necesidad de perforar otro pozo.
- Perforación terrestre hacia localizaciones marinas: la torre de perforación está en tierra mientras se perfora direccionalmente bajo el agua hasta llegar al yacimiento. Esta técnica ahorra dinero debido a que los equipos terrestres son más económicos que las plataformas marinas.
- Perforación costa afuera de pozos múltiples: es muy económico ya que se perfora varios pozos direccionales con una sola plataforma marina.
- Pozos de alivio: son usados para matar los pozos descontrolados interceptándolos, se debe planear cuidadosamente un pozo direccional para localizar e interceptar el pozo fuera de control.

- Perforación en domos salinos: los domos tienen forma de hongo o de tapón, son trampas naturales de hidrocarburos acumulados debajo de la tapa superior del domo.

1.5.4 Método de mínima curvatura.

El método de mínima curvatura sirve para calcular la trayectoria del pozo, este método supone que el pozo es un arco esférico con un mínimo de curvatura, lo que esto quiere decir es que hay máximo radio de curvatura entre las estaciones. Es el más aplicable en cualquier pozo (Gonzalez, 2017).

Para calcular los surveys se usa las siguientes ecuaciones:

$$\theta = \cos^{-1}[\cos \alpha_1 * \cos \alpha_2 + \sin \alpha_1 * \sin \alpha_2 * \cos(\beta_2 - \beta_1)] \quad (21)$$

$$F = \frac{2}{\theta} * \left(\frac{180}{\pi}\right) * \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad (22)$$

$$\Delta V = F * \frac{L}{2} * (\cos \alpha_1 + \cos \alpha_2) \quad (23)$$

$$\Delta N = F * \frac{L}{2} * (\sin \alpha_1 * \cos \beta_1 + \sin \alpha_2 * \cos \beta_2) \quad (24)$$

$$\Delta E = F * \frac{L}{2} * (\sin \alpha_1 * \sin \beta_1 + \sin \alpha_2 * \sin \beta_2) \quad (25)$$

Dónde:

θ = ángulo de pata de perro (°).

F = factor de radio.

α = inclinación (°).

β = dirección (°).

L = longitud de cada segmento (ft).

ΔV = incrementos de distancia a lo largo de los ejes verticales (ft).

ΔN = incrementos de distancia a lo largo de los ejes norte (ft).

ΔE = incrementos de distancia a lo largo de los ejes este (ft).

CAPITULO II: RESOLUCIÓN DEL CASO PRÁCTICO

2.1 METODOLOGIA PROPUESTA PARA LA RESOLUCION

Sera una investigación experimental en el laboratorio de petróleo de la Universidad Estatal Península de Santa Elena (UPSE).

Usaremos el software COMPASS que es una herramienta empleada para el diseño de pozos direccionales, donde permite planificar con rapidez y precisión los pozos e identificar posibles problemas en etapas tempranas.

2.1.1 Antecedentes.

(TAVERA, 2014) Camila Tavera utilizo el software COMPASS para optimizar la trayectoria de un pozo horizontal. Esta herramienta optimiza rápidamente las trayectorias de perforación basadas en los costos, torque, arrastre y en análisis anticolidión. Establece alertas y notificaciones cuando los pozos convergen a las especificaciones y criterios establecidos por la compañía.

2.1.2 Población.

- Pozos direccionales ubicados en el oriente ecuatoriano.

2.1.3 Muestra.

- Pozo direccional ubicado cerca de una zona restringida ecológicamente en el oriente ecuatoriano.

2.2 RESOLUCION DEL CASO PRÁCTICO

Para resolver este problema se siguieron los siguientes pasos:

- 1) Abrimos el software COMPASS.
- 2) Le damos clic a la pestaña file, nos dirigimos a new y después le damos clic en Company.

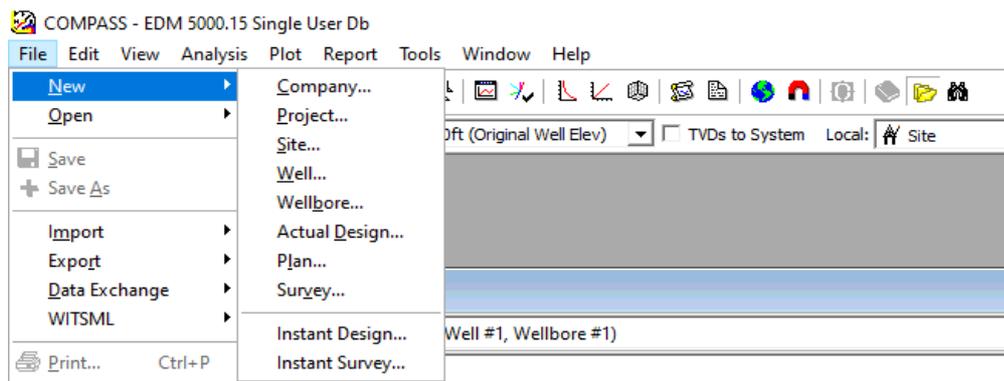


Figura 7. Creando una nueva compañía (Software COMPASS)

- 3) Nos aparece un cuadro con las propiedades de la compañía, donde ponemos en Company el nombre UPSE.

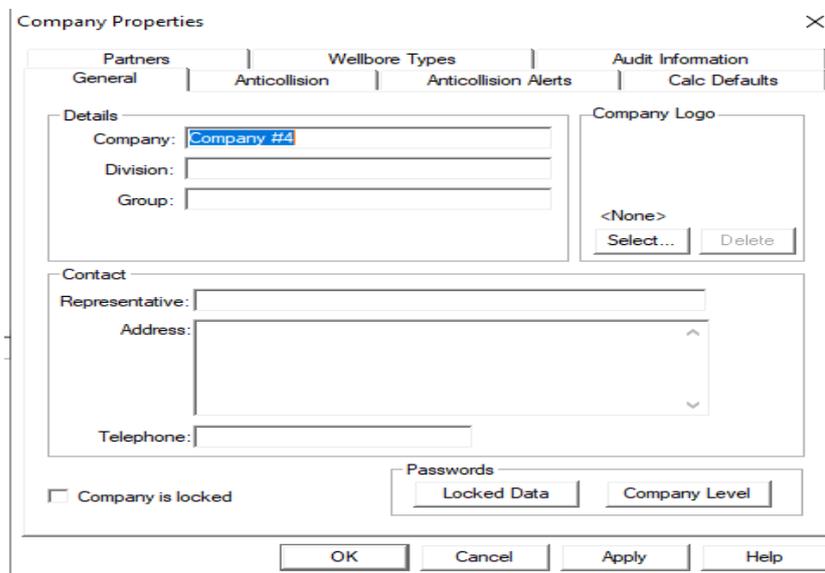


Figura 8. Propiedades de la compañía (Software COMPASS)

- 4) Le damos clic a la pestaña que dice Defaults y nos dirigimos a surveys calculation method y ponemos el minimum curvature. Le damos clic en ok.

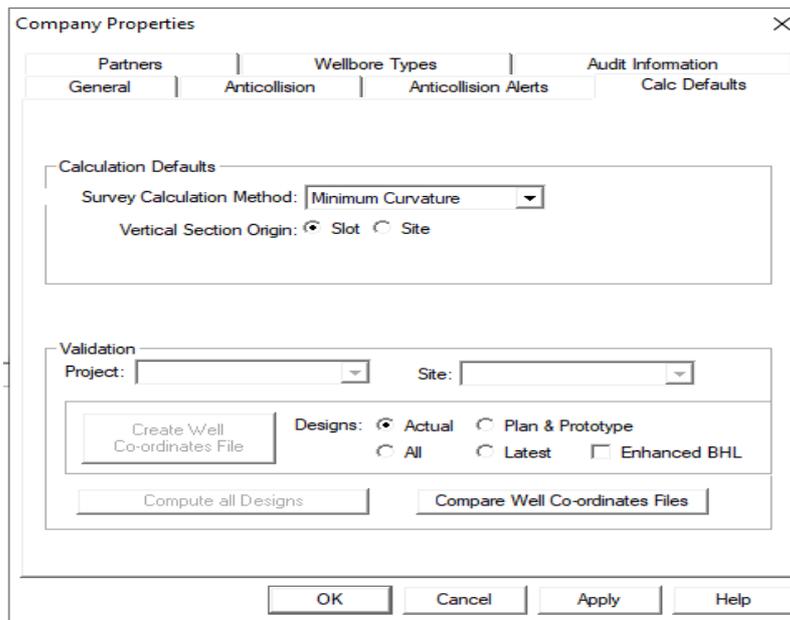


Figura 9. Selección de cálculos predeterminados (Software COMPASS)

- 5) Nos aparece un cuadro donde nos dice si queremos crear un nuevo proyecto y le damos clic en yes.

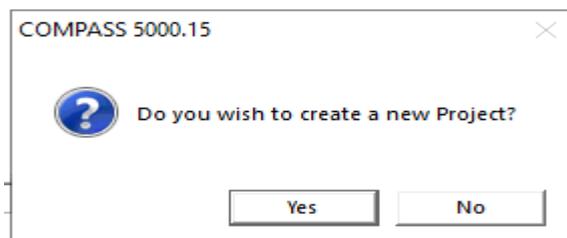


Figura 10. Crear un nuevo proyecto (Software COMPASS)

- 6) Aparece un cuadro con las propiedades del nuevo proyecto. Donde ponemos como nombre proyecto 1, en system datum description seleccionamos mean sea level y le damos clic a la pestaña map info.

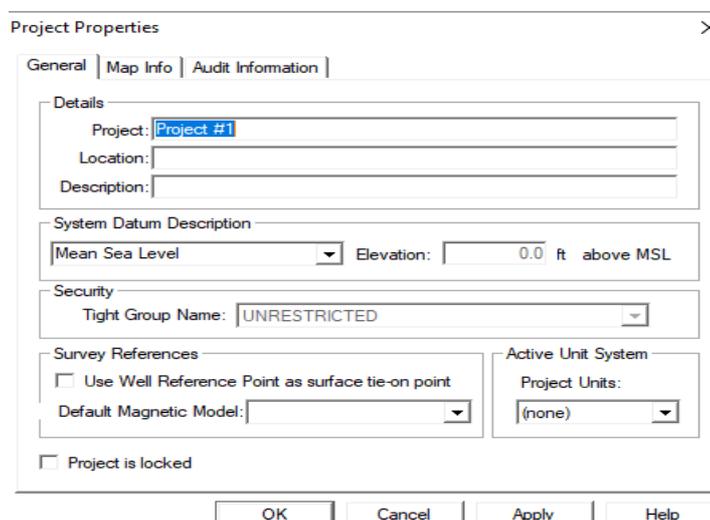


Figura 11. Propiedades del proyecto (Software COMPASS)

- 7) Aquí en geodetic System seleccionamos universal transverse mercator (UTM) y automáticamente se llena lo de abajo, después damos clic en ok.

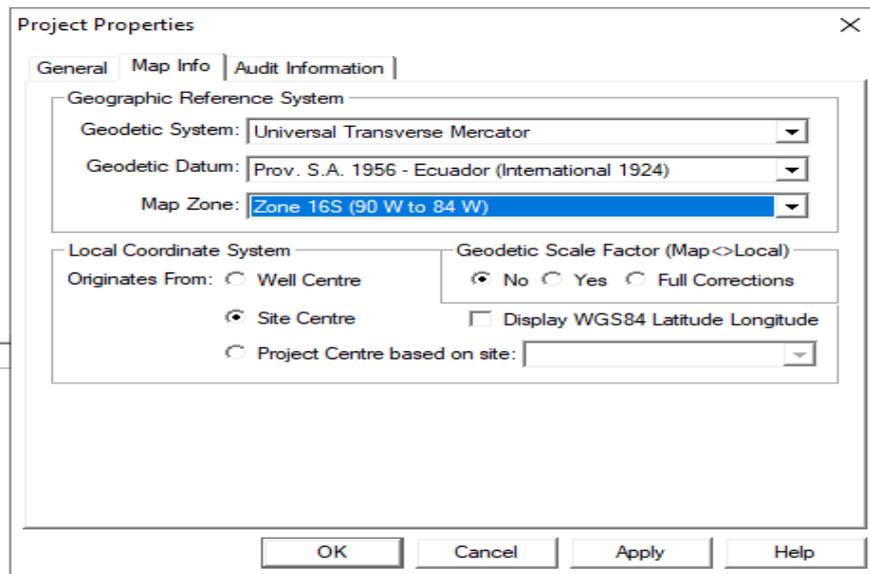


Figura 12. Selección del sistema de referencia geográfico (Software COMPASS)

- 8) Nos aparece un cuadro para crear un nuevo sitio, le damos clic en yes.

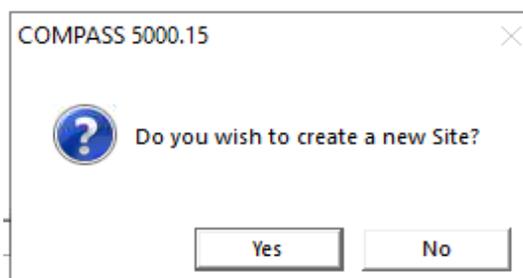


Figura 13. Crear un nuevo sitio (Software COMPASS)

- 9) Aparece un cuadro de las propiedades del sitio donde ponemos como nombre sitio 1 y en default site elevation ponemos 125.

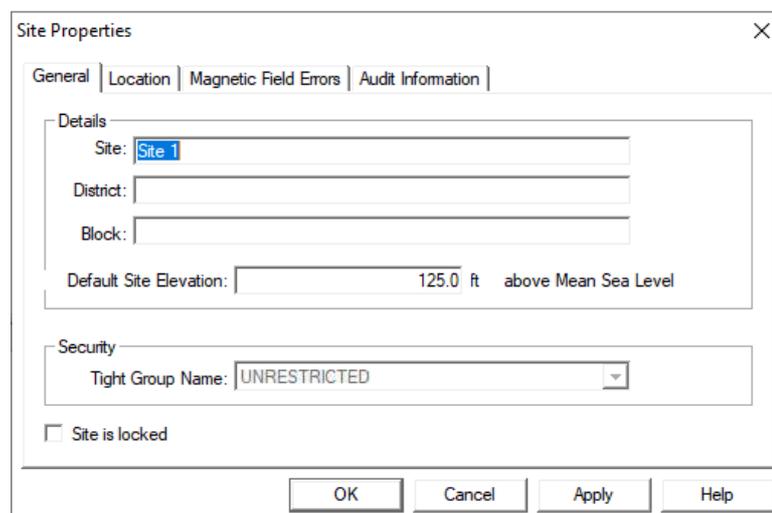


Figura 14. Propiedades del sitio (Software COMPASS)

- 10) Damos clic en la pestaña location y damos clic en map donde colocaremos en northing y easting las coordenadas de superficie que el problema nos da y por último clic en ok.

Site Properties

General | Location | Magnetic Field Errors | Audit Information

Centre Location

None Use Local Co-ordinates Only Scale Factor: 0.99966464

Map Northing: 9879004.80 m Easting: 427738.50 m

Geographic Latitude: 1° 5' 40.551 S Longitude: 87° 38' 58.107 W

Lease Line +FSL/-FNL: 0.0 ft +FWL/-FEL: 0.0 ft

Location Uncertainty

Radius of Uncertainty: 0.0 ft (2.0 sigma) Slot Radius: 13.200 in

Azimuth Reference

North Reference: True Grid Convergence Angle: 0.01 ° (from True North)

OK Cancel Apply Help

Figura 15. Ingreso de datos de localización (Software COMPASS)

- 11) Nos aparece un cuadro para crear un nuevo pozo, le damos clic en yes.

COMPASS 5000.15

Do you wish to create a new Well?

Yes No

Figura 16. Crear un nuevo pozo (Software COMPASS)

- 12) Aparece un cuadro con las propiedades del pozo donde ponemos como nombre pozo 1 y clic en ok.

Well Properties

General | Depth Reference | Location | Associated Partners | Audit Information

Details

Well (Common): Well #1

Well (Legal):

Description:

Location String:

U.W.I.:

API No.:

Security

Tight Group Name: UNRESTRICTED

Active Unit System

Well Units: API

Well is locked

OK Cancel Apply Help

Figura 17. Propiedades del pozo (Software COMPASS)

13) Nos aparece un cuadro donde damos clic en create plan.

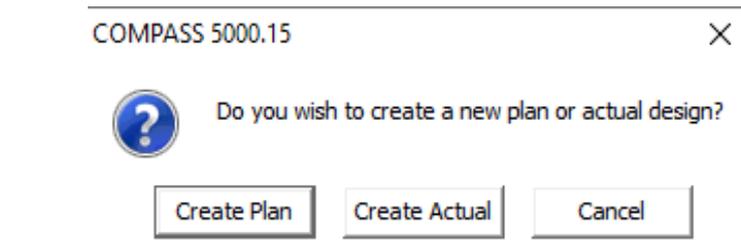


Figura 18. Crear un nuevo plan de diseño (Software COMPASS)

14) En el cuadro que aparece ponemos como nombre pozo tipo J y le damos clic en ok.

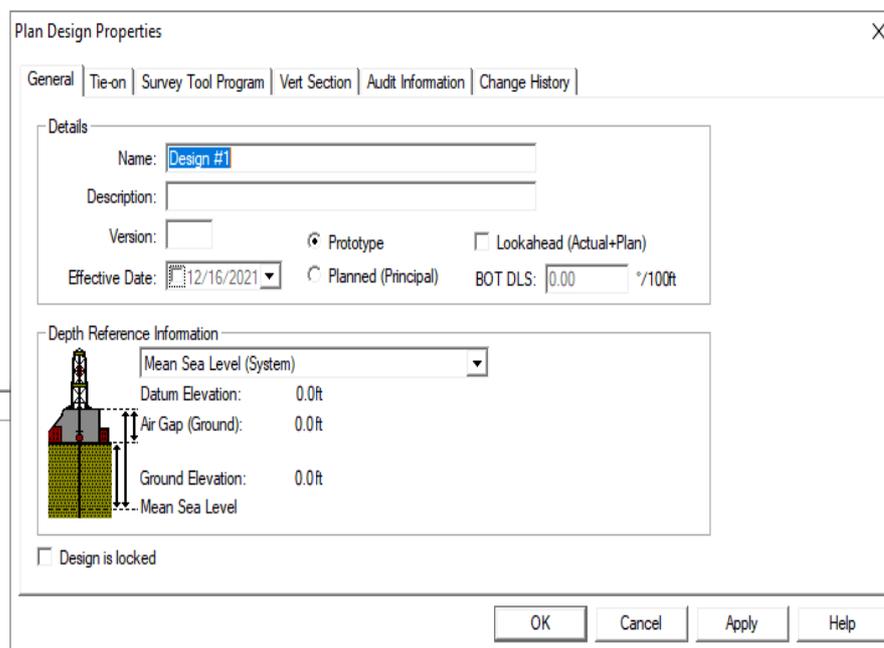


Figura 19. Propiedades del plan de diseño (Software COMPASS)

15) Aquí nos aparece una tabla donde vamos a diseñar nuestra trayectoria para llegar al objetivo.

	MD (ft)	CL (ft)	Inc (°)	Azi (°)	TVD (ft)	NS (ft)	EW (ft)	V.Sec (ft)	Dogleg (°/100ft)	T.F. (°/100ft)	Build (°/100ft)	Turn (°/100ft)	Section Type	Ta
1	0.0		0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0	0.00	0.00	Tie Line	
2													Insert Line	

Figura 20. Plan de diseño de pozo (Software COMPASS)

- 16) Colocamos en MD el KOP es decir la profundidad donde queremos que comience nuestra inclinación. En este caso comenzamos con 800 ft, en la inclinación y azimut ponemos 0 y automáticamente el software te calcula el TVD, N/S, E/W, V.Sec, dogleg, T.F, build, turn.

	MD (ft)	CL (ft)	Inc (°)	Azi (°)	TVD (ft)	NS (ft)	E/W (ft)	V.Sec (ft)	Dogleg (°/100ft)	T.F ace (°/100ft)	Build (°/100ft)	Turn (°/100ft)	Section Type	Tai
1	0.0		0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	Tie Line	
2	800.0	800.0	0.00	0.00	800.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	Inc Azi MD	
3	2973.5	2173.5	66.00	90.00	2523.7	0.0	1119.4	1119.4	3.04	90	3.04	0.00	Inc Azi MD	
4	9372.0	6398.5	66.00	90.00	5126.2	0.0	6964.7	6964.7	0.00	0.00	0.00	0.00	Inc Azi MD	
\$													Insert Line	

Figura 21. Ingreso de datos para el diseño del pozo tipo J (Software COMPASS)

- 17) Antes de seguir planificando la trayectoria debemos poner los objetivos para eso debemos dar clic derecho en wellbore y clic en target.

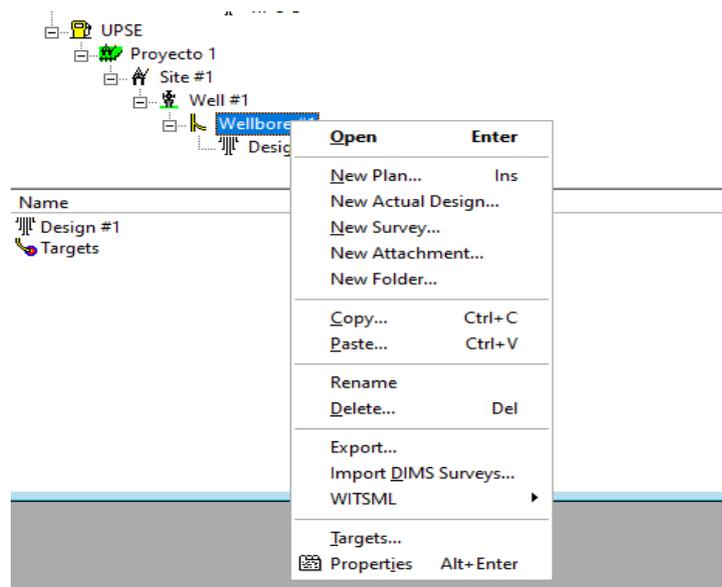


Figura 22. Diseño de targets (Software COMPASS)

- 18) Nos aparece un cuadro donde vamos a colocar las coordenadas del objetivo y el TVD. También podemos dar clic a la pestaña geometry donde podemos darles forma a los objetivos en este software podemos poner como geometría un círculo, rectángulo, punto, elipse y polígono. En este caso nosotros seleccionamos un rectángulo.

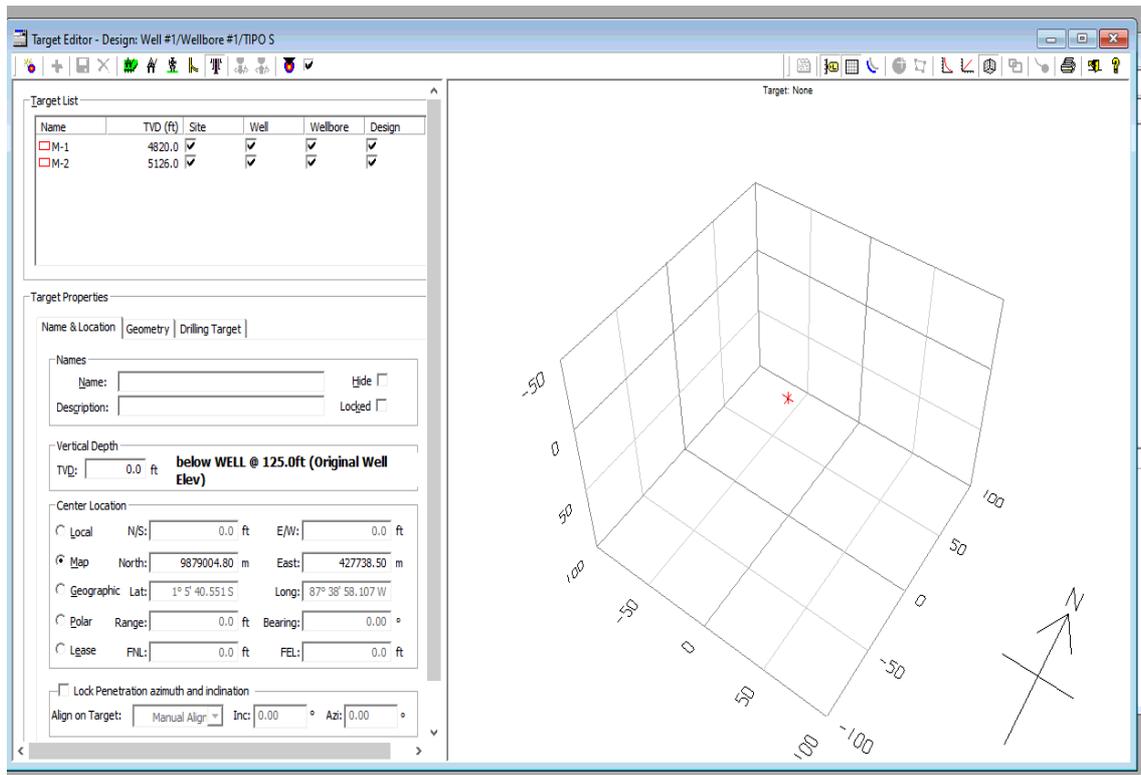


Figura 23. Ingreso de datos del objetivo (Software COMPASS)

19) Una vez terminado el plan del diseño del tipo J, determinado los objetivos nos vamos a wellbore 1, le damos clic derecho y después clic a new plan. Nos saldrá un cuadro donde pondremos de nombre pozo tipo S y clic en ok.

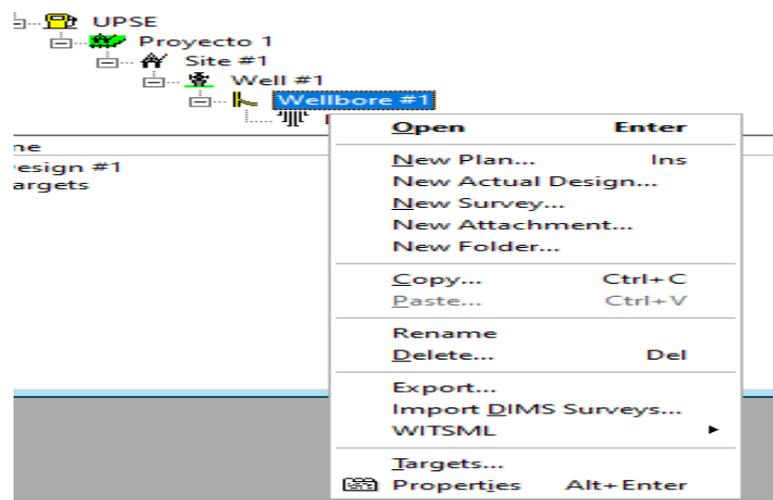


Figura 24. Crear un nuevo plan (Software COMPASS)

20) Nos saldrá una nueva tabla donde haremos nuestra planificación, pero ahora para un pozo tipo S donde ponemos como KOP 800 ft, una inclinación y azimut de 0.

	MD (ft)	CL (ft)	Inc (°)	Azi (°)	TVD (ft)	NS (ft)	EW (ft)	V.Sec (ft)	Dogleg (°/100ft)	T.F ace (°/100ft)	Build (°/100ft)	Turn (°/100ft)	Section Type	Tail
1	0.0		0.00	0.00	0.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	Tie Line	
2	800.0	800.0	0.00	0.00	800.0	0.0	0.0	0.0	0.00	0.00	0.00	0.00	Inc Azi MD	
3	2500.0	1700.0	70.00	90.00	2107.6	0.0	915.6	915.6	4.12	90	4.12	0.00	Inc Azi MD	
4	4000.0	1500.0	70.00	90.00	2620.6	0.0	2325.1	2325.1	0.00	0.00	0.00	0.00	Inc Azi MD	
5	5200.0	1200.0	70.00	90.00	3031.0	0.0	3452.7	3452.7	0.00	0.00	0.00	0.00	Inc Azi MD	
6	6100.0	900.0	70.00	90.00	3338.8	0.0	4298.5	4298.5	0.00	0.00	0.00	0.00	Inc Azi MD	
7	7800.0	1700.0	70.00	90.00	3920.3	0.0	5895.9	5895.9	0.00	0.00	0.00	0.00	Inc Azi MD	
8	8600.0	800.0	23.00	90.00	4455.6	0.0	6460.1	6460.1	5.87	18	-5.87	0.00	Inc Azi MD	
9	9289.0	689.0	0.00	0.00	5126.3	0.0	6596.5	6596.5	3.34	-1	-3.34	-13.06	Inc Azi MD	
10													Insert Line	

Figura 25. Ingreso de datos para el diseño del pozo tipo S (Software COMPASS)

21) Una vez terminado las dos tablas tanto para la trayectoria del pozo tipo J como el pozo tipo S, damos clic en la pestaña que se encuentra en la parte superior del programa que se llama save para guardar lo que hemos hecho.

22) Listo ahora abrimos la tabla de la trayectoria del pozo tipo J, damos clic al icono que se llama 3D view para poder ver la trayectoria en 3D, después damos clic al icono llamado toggle targets para poder ver los objetivos que ingresamos con los datos del problema. Con esto podemos observar la trayectoria del pozo tipo J atravesando los dos reservorios que queríamos llegar.

23) Así mismo abrimos la tabla de la trayectoria del pozo tipo S y repetimos el paso 22 y poder observar la trayectoria del pozo tipo S. También podemos observar la trayectoria del pozo en 2D.

24) Una vez terminado las 2 trayectorias J y S, procedemos hacer dos trayectorias más tanto para pozo tipo J, como para pozo tipo S siguiendo los pasos anteriores.

2.2.1. Cálculos de surveys, azimuth y ángulo de inclinación.

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

40	3900	64,62	90	3184	0	1823,7	1823,7	1,79	0
41	4000	66,41	90	3225,4	0	1914,7	1914,7	1,79	0
42	4100	68,21	90	3264	0	2007	2007	1,79	0
43	4200	70	90	3299,7	0	2100,4	2100,4	1,79	0
44	4300	70	90	3333,9	0	2194,4	2194,4	0	0
45	4400	70	90	3368,1	0	2288,3	2288,3	0	0
46	4500	70	90	3402,3	0	2382,3	2382,3	0	0
47	4600	70	90	3436,5	0	2476,3	2476,3	0	0
48	4700	70	90	3470,7	0	2570,2	2570,2	0	0
49	4800	70	90	3504,9	0	2664,2	2664,2	0	0
50	4900	70	90	3539,1	0	2758,2	2758,2	0	0
51	5000	70	90	3573,3	0	2852,2	2852,2	0	0
52	5100	70	90	3607,5	0	2946,1	2946,1	0	0
53	5200	70	90	3641,7	0	3040,1	3040,1	0	0
54	5300	70	90	3675,9	0	3134,1	3134,1	0	0
55	5400	70	90	3710,1	0	3228	3228	0	0
56	5500	70	90	3744,3	0	3322	3322	0	0
57	5600	70	90	3778,5	0	3416	3416	0	0
58	5700	70	90	3812,7	0	3509,9	3509,9	0	0
59	5800	70	90	3846,9	0	3603,9	3603,9	0	0
60	5900	70	90	3881,1	0	3697,9	3697,9	0	0
61	6000	70	90	3915,3	0	3791,8	3791,8	0	0
62	6100	70	90	3949,5	0	3885,8	3885,8	0	0
63	6200	70	90	3983,7	0	3979,8	3979,8	0	0
64	6300	70	90	4017,9	0	4073,8	4073,8	0	0
65	6400	70	90	4052,1	0	4167,7	4167,7	0	0
66	6500	70	90	4086,3	0	4261,7	4261,7	0	0
67	6600	70	90	4120,5	0	4355,7	4355,7	0	0
68	6700	70	90	4154,7	0	4449,6	4449,6	0	0
69	6800	70	90	4188,9	0	4543,6	4543,6	0	0
70	6900	70	90	4223,1	0	4637,6	4637,6	0	0
71	7000	70	90	4257,3	0	4731,5	4731,5	0	0
72	7100	70	90	4291,5	0	4825,5	4825,5	0	0
73	7200	70	90	4325,7	0	4919,5	4919,5	0	0
74	7300	70	90	4359,9	0	5013,4	5013,4	0	0
75	7400	70	90	4394,1	0	5107,4	5107,4	0	0
76	7500	70	90	4428,3	0	5201,4	5201,4	0	0
77	7600	70	90	4462,5	0	5295,4	5295,4	0	0
78	7700	70	90	4496,8	0	5389,3	5389,3	0	0
79	7800	70	90	4531	0	5483,3	5483,3	0	0
80	7900	70	90	4565,2	0	5577,3	5577,3	0	0
81	8000	70	90	4599,4	0	5671,2	5671,2	0	0
82	8100	70	90	4633,6	0	5765,2	5765,2	0	0
83	8200	70	90	4667,8	0	5859,2	5859,2	0	0
84	8300	70	90	4702	0	5953,1	5953,1	0	0
85	8400	70	90	4736,2	0	6047,1	6047,1	0	0
86	8500	70	90	4770,4	0	6141,1	6141,1	0	0
87	8600	70	90	4804,6	0	6235	6235	0	0

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

Tabla 3. Resultado del pozo tipo J real (Software COMPASS)

	MD (ft)	Inc. (°)	Azi. (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)	Dogleg (°/100 ft)	T. Face (°)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0	0	0
7	600	0	0	600	0	0	0	0	0
8	700	0	0	700	0	0	0	0	0
9	800	0	0	800	0	0	0	0	0
10	900	3,04	90	900	0	2,6	2,6	3,04	90
11	1000	6,07	90	999,6	0	10,6	10,6	3,04	0
12	1100	9,11	90	1098,7	0	23,8	23,8	3,04	0
13	1200	12,15	90	1197	0	42,2	42,2	3,04	0
14	1300	15,18	90	1294,2	0	65,9	65,9	3,04	0
15	1400	18,22	90	1389,9	0	94,6	94,6	3,04	0
16	1500	21,26	90	1484,1	0	128,4	128,4	3,04	0
17	1600	24,29	90	1576,2	0	167,1	167,1	3,04	0
18	1700	27,33	90	1666,3	0	210,6	210,6	3,04	0
19	1800	30,37	90	1753,8	0	258,8	258,8	3,04	0
20	1900	33,4	90	1838,7	0	311,7	311,7	3,04	0
21	2000	36,44	90	1920,7	0	368,9	368,9	3,04	0
22	2100	39,48	90	1999,6	0	430,4	430,4	3,04	0
23	2200	42,51	90	2075	0	496	496	3,04	0
24	2300	45,55	90	2146,9	0	565,5	565,5	3,04	0
25	2400	48,59	90	2215	0	638,7	638,7	3,04	0
26	2500	51,62	90	2279,2	0	715,4	715,4	3,04	0
27	2600	54,66	90	2339,1	0	795,4	795,4	3,04	0
28	2700	57,69	90	2394,8	0	878,4	878,4	3,04	0
29	2800	60,73	90	2446	0	964,4	964,4	3,04	0
30	2900	63,77	90	2492,5	0	1052,9	1052,9	3,04	0

31	2973,5	66	90	2523,7	0	1119,4	1119,4	3,04	0
32	3000	66	90	2534,5	0	1143,6	1143,6	0	0
33	3100	66	90	2575,2	0	1235	1235	0	0
34	3200	66	90	2615,9	0	1326,3	1326,3	0	0
35	3300	66	90	2656,5	0	1417,7	1417,7	0	0
36	3400	66	90	2697,2	0	1509	1509	0	0
37	3500	66	90	2737,9	0	1600,4	1600,4	0	0
38	3600	66	90	2778,5	0	1691,7	1691,7	0	0
39	3700	66	90	2819,2	0	1783,1	1783,1	0	0
40	3800	66	90	2859,9	0	1874,4	1874,4	0	0
41	3900	66	90	2900,6	0	1965,8	1965,8	0	0
42	4000	66	90	2941,2	0	2057,2	2057,2	0	0
43	4100	66	90	2981,9	0	2148,5	2148,5	0	0
44	4200	66	90	3022,6	0	2239,9	2239,9	0	0
45	4300	66	90	3063,3	0	2331,2	2331,2	0	0
46	4400	66	90	3103,9	0	2422,6	2422,6	0	0
47	4500	66	90	3144,6	0	2513,9	2513,9	0	0
48	4600	66	90	3185,3	0	2605,3	2605,3	0	0
49	4700	66	90	3226	0	2696,6	2696,6	0	0
50	4800	66	90	3266,6	0	2788	2788	0	0
51	4900	66	90	3307,3	0	2879,3	2879,3	0	0
52	5000	66	90	3348	0	2970,7	2970,7	0	0
53	5100	66	90	3388,7	0	3062,1	3062,1	0	0
54	5200	66	90	3429,3	0	3153,4	3153,4	0	0
55	5300	66	90	3470	0	3244,8	3244,8	0	0
56	5400	66	90	3510,7	0	3336,1	3336,1	0	0
57	5500	66	90	3551,3	0	3427,5	3427,5	0	0
58	5600	66	90	3592	0	3518,8	3518,8	0	0
59	5700	66	90	3632,7	0	3610,2	3610,2	0	0
60	5800	66	90	3673,4	0	3701,5	3701,5	0	0
61	5900	66	90	3714	0	3792,9	3792,9	0	0
62	6000	66	90	3754,7	0	3884,2	3884,2	0	0
63	6100	66	90	3795,4	0	3975,6	3975,6	0	0
64	6200	66	90	3836,1	0	4067	4067	0	0
65	6300	66	90	3876,7	0	4158,3	4158,3	0	0
66	6400	66	90	3917,4	0	4249,7	4249,7	0	0
67	6500	66	90	3958,1	0	4341	4341	0	0
68	6600	66	90	3998,8	0	4432,4	4432,4	0	0
69	6700	66	90	4039,4	0	4523,7	4523,7	0	0
70	6800	66	90	4080,1	0	4615,1	4615,1	0	0
71	6900	66	90	4120,8	0	4706,4	4706,4	0	0
72	7000	66	90	4161,5	0	4797,8	4797,8	0	0
73	7100	66	90	4202,1	0	4889,1	4889,1	0	0
74	7200	66	90	4242,8	0	4980,5	4980,5	0	0
75	7300	66	90	4283,5	0	5071,9	5071,9	0	0
76	7400	66	90	4324,1	0	5163,2	5163,2	0	0
77	7500	66	90	4364,8	0	5254,6	5254,6	0	0
78	7600	66	90	4405,5	0	5345,9	5345,9	0	0

79	7700	66	90	4446,2	0	5437,3	5437,3	0	0
80	7800	66	90	4486,8	0	5528,6	5528,6	0	0
81	7900	66	90	4527,5	0	5620	5620	0	0
82	8000	66	90	4568,2	0	5711,3	5711,3	0	0
83	8100	66	90	4608,9	0	5802,7	5802,7	0	0
84	8200	66	90	4649,5	0	5894	5894	0	0
85	8300	66	90	4690,2	0	5985,4	5985,4	0	0
86	8400	66	90	4730,9	0	6076,8	6076,8	0	0
87	8500	66	90	4771,6	0	6168,1	6168,1	0	0
88	8600	66	90	4812,2	0	6259,5	6259,5	0	0
89	8700	66	90	4852,9	0	6350,8	6350,8	0	0
90	8800	66	90	4893,6	0	6442,2	6442,2	0	0
91	8900	66	90	4934,3	0	6533,5	6533,5	0	0
92	9000	66	90	4974,9	0	6624,9	6624,9	0	0
93	9100	66	90	5015,6	0	6716,2	6716,2	0	0
94	9200	66	90	5056,3	0	6807,6	6807,6	0	0
95	9300	66	90	5096,9	0	6898,9	6898,9	0	0
96	9372	66	90	5126,2	0	6964,7	6964,7	0	0

Tabla 4. Resultado del pozo tipo J optimista (Software COMPASS)

	MD (ft)	Inc. (°)	Azi (°)	TVD (ft)	N/S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)	Dogleg (°/100ft)	T. Face (°)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0	0	0
7	600	2,86	90	600	0	2,5	2,5	2,86	90
8	700	5,73	90	699,7	0	10	10	2,86	0
9	800	8,59	90	798,9	0	22,4	22,4	2,86	0
10	900	11,45	90	897,3	0	39,9	39,9	2,86	0
11	1000	14,32	90	994,8	0	62,2	62,2	2,86	0
12	1100	17,18	90	1091	0	89,3	89,3	2,86	0
13	1200	20,05	90	1185,8	0	121,2	121,2	2,86	0
14	1300	22,91	90	1278,9	0	157,8	157,8	2,86	0
15	1400	25,77	90	1370	0	199	199	2,86	0
16	1500	28,64	90	1458,9	0	244,7	244,7	2,86	0
17	1600	31,5	90	1545,4	0	294,8	294,8	2,86	0
18	1700	34,36	90	1629,3	0	349,2	349,2	2,86	0
19	1800	37,23	90	1710,4	0	407,7	407,7	2,86	0
20	1900	40,09	90	1788,5	0	470,1	470,1	2,86	0
21	2000	42,95	90	1863,4	0	536,4	536,4	2,86	0
22	2100	45,82	90	1934,8	0	606,4	606,4	2,86	0
23	2200	48,68	90	2002,7	0	679,8	679,8	2,86	0
24	2300	51,55	90	2066,8	0	756,5	756,5	2,86	0
25	2400	54,41	90	2127	0	836,3	836,3	2,86	0

26	2500	57,27	90	2183,2	0	919,1	919,1	2,86	0
27	2600	60,14	90	2235,1	0	1004,5	1004,5	2,86	0
28	2700	63	90	2282,7	0	1092,5	1092,5	2,86	0
29	2800	63	90	2328,1	0	1181,6	1181,6	0	0
30	2900	63	90	2373,5	0	1270,7	1270,7	0	0
31	3000	63	90	2418,9	0	1359,8	1359,8	0	0
32	3100	63	90	2464,3	0	1448,9	1448,9	0	0
33	3200	63	90	2509,7	0	1538	1538	0	0
34	3300	63	90	2555,1	0	1627,1	1627,1	0	0
35	3400	63	90	2600,5	0	1716,2	1716,2	0	0
36	3500	63	90	2645,9	0	1805,3	1805,3	0	0
37	3600	63	90	2691,3	0	1894,4	1894,4	0	0
38	3700	63	90	2736,7	0	1983,5	1983,5	0	0
39	3800	63	90	2782,1	0	2072,6	2072,6	0	0
40	3900	63	90	2827,5	0	2161,7	2161,7	0	0
41	4000	63	90	2872,9	0	2250,8	2250,8	0	0
42	4100	63	90	2918,3	0	2339,9	2339,9	0	0
43	4200	63	90	2963,7	0	2429	2429	0	0
44	4300	63	90	3009,1	0	2518,1	2518,1	0	0
45	4400	63	90	3054,5	0	2607,2	2607,2	0	0
46	4500	63	90	3099,9	0	2696,3	2696,3	0	0
47	4600	63	90	3145,3	0	2785,4	2785,4	0	0
48	4700	63	90	3190,7	0	2874,5	2874,5	0	0
49	4800	63	90	3236,1	0	2963,6	2963,6	0	0
50	4900	63	90	3281,5	0	3052,7	3052,7	0	0
51	5000	63	90	3326,9	0	3141,8	3141,8	0	0
52	5100	63	90	3372,3	0	3230,9	3230,9	0	0
53	5200	63	90	3417,1	0	3320	3320	0	0
54	5300	63	90	3463,1	0	3409,1	3409,1	0	0
55	5400	63	90	3508,5	0	3498,2	3498,2	0	0
56	5500	63	90	3553,9	0	3587,3	3587,3	0	0
57	5600	63	90	3599,3	0	3676,4	3676,4	0	0
58	5700	63	90	3644,7	0	3765,5	3765,5	0	0
59	5800	63	90	3690,1	0	3854,6	3854,6	0	0
60	5900	63	90	3735,5	0	3943,7	3943,7	0	0
61	6000	63	90	3780,9	0	4032,8	4032,8	0	0
62	6100	63	90	3826,3	0	4121,9	4121,9	0	0
63	6200	63	90	3871,7	0	4211	4211	0	0
64	6300	63	90	3917,1	0	4300,1	4300,1	0	0
65	6400	63	90	3962,5	0	4389,2	4389,2	0	0
66	6500	63	90	4007,9	0	4478,3	4478,3	0	0
67	6600	63	90	4053,3	0	4567,4	4567,4	0	0
68	6700	63	90	4098,7	0	4656,5	4656,5	0	0
69	6800	63	90	4144,1	0	4745,6	4745,6	0	0
70	6900	63	90	4189,5	0	4834,7	4834,7	0	0
71	7000	63	90	4234,9	0	4923,8	4923,8	0	0
72	7100	63	90	4280,3	0	5012,9	5012,9	0	0
73	7200	63	90	4325,7	0	5102	5102	0	0

74	7300	63	90	4371,1	0	5191,1	5191,1	0	0
75	7400	63	90	4416,5	0	5280,2	5280,2	0	0
76	7500	63	90	4461,9	0	5369,3	5369,3	0	0
77	7600	63	90	4507,3	0	5458,4	5458,4	0	0
78	7700	63	90	4552,7	0	5547,5	5547,5	0	0
79	7800	63	90	4598,1	0	5636,6	5636,6	0	0
80	7900	63	90	4643,5	0	5725,7	5725,7	0	0
81	8000	63	90	4688,9	0	5814,8	5814,8	0	0
82	8100	63	90	4734,3	0	5903,9	5903,9	0	0
83	8200	63	90	4779,7	0	5993	5993	0	0
84	8300	63	90	4825,1	0	6082,1	6082,1	0	0
85	8400	63	90	4870,5	0	6171,2	6171,2	0	0
86	8500	63	90	4915,9	0	6260,3	6260,3	0	0
87	8600	63	90	4961,3	0	6349,4	6349,4	0	0
88	8700	63	90	5006,7	0	6438,5	6438,5	0	0
89	8800	63	90	5052,1	0	6527,6	6527,6	0	0
90	8900	63	90	5097,5	0	6616,7	6616,7	0	0
91	8963	63	90	5126,1	0	6672,8	6672,8	0	0

- *Cálculos 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)	Dogleg (°/100 ft)	T. Face (°)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0	0	0
7	600	0	0	600	0	0	0	0	0
8	650	2,88	90	650	0	1,3	1,3	5,77	90
9	700	5,77	90	699,8	0	5	5	5,77	0
10	750	8,65	90	794,4	0	11,3	11,3	5,77	0
11	800	11,54	90	798,7	0	20,1	20,1	5,77	0
12	850	14,42	90	847,4	0	31,3	31,3	5,77	0
13	900	17,31	90	895,5	0	45	45	5,77	0
14	950	20,19	90	942,8	0	61	61	5,77	0
15	1000	23,08	90	989,3	0	79,5	79,5	5,77	0
16	1050	25,96	90	1034,8	0	100,2	100,2	5,77	0
17	1100	28,85	90	1079,1	0	123,2	123,2	5,77	0
18	1150	31,73	90	1122,3	0	148,4	148,4	5,77	0
19	1200	34,62	90	1164,2	0	175,8	175,8	5,77	0
20	1250	37,5	90	1204,6	0	205,2	205,2	5,77	0

21	1300	40,38	90	1243,5	0	236,6	236,6	5,77	0
22	1350	43,27	90	1280,7	0	270	270	5,77	0
23	1400	46,15	90	1316,2	0	305,2	305,2	5,77	0
24	1450	49,04	90	1350	0	342,1	342,1	5,77	0
25	1500	51,92	90	1381,8	0	380,6	380,6	5,77	0
26	1550	54,81	90	1411,6	0	420,8	420,8	5,77	0
27	1600	57,69	90	1439,4	0	462,3	462,3	5,77	0
28	1650	60,58	90	1465	0	505,2	505,2	5,77	0
29	1700	63,46	90	1488,5	0	594,4	594,4	5,77	0
30	1750	66,35	90	1509,7	0	594,7	594,7	5,77	0
31	1800	69,23	90	1528,6	0	641	641	5,77	0
32	1850	72,12	90	1545,1	0	688,1	688,1	5,77	0
33	1900	75	90	1559,3	0	736,1	736,1	5,77	0
34	2000	75	90	1585,2	0	832,7	832,7	0	0
35	2100	75	90	1611,1	0	929,3	929,3	0	0
36	2200	75	90	1636,9	0	1025,9	1025,9	0	0
37	2300	75	90	1662,8	0	1122,5	1122,5	0	0
38	2400	75	90	1688,7	0	1219	1219	0	0
39	2500	75	90	1714,6	0	1315,6	1315,6	0	0
40	2600	75	90	1740,5	0	1412,2	1412,2	0	0
41	2700	75	90	1766,3	0	1508,8	1508,8	0	0
42	2800	75	90	1792,2	0	1605,4	1605,4	0	0
43	2900	75	90	1818,1	0	1702	1702	0	0
44	3000	75	90	1844	0	1798,6	1798,6	0	0
45	3100	75	90	1869,9	0	1895,2	1895,2	0	0
46	3200	75	90	1895,8	0	1991,8	1991,8	0	0
47	3300	75	90	1921,6	0	2088,4	2088,4	0	0
48	3400	75	90	1947,5	0	2185	2185	0	0
49	3500	75	90	1973,4	0	2281,6	2281,6	0	0
50	3600	75	90	1999,3	0	2378,2	2378,2	0	0
51	3700	75	90	2025,2	0	2474,8	2474,8	0	0
52	3800	75	90	2051	0	2571,3	2571,3	0	0
53	3900	75	90	2076,9	0	2667,9	2667,9	0	0
54	4000	75	90	2102,8	0	2764,5	2764,5	0	0
55	4100	75	90	2128,7	0	2861,1	2861,1	0	0
56	4200	75	90	2154,6	0	2957,7	2957,7	0	0
57	4300	75	90	2180,5	0	3054,3	3054,3	0	0
58	4400	75	90	2206,3	0	3150,9	3150,9	0	0
59	4500	75	90	2232,2	0	3247,5	3247,5	0	0
60	4600	75	90	2258,1	0	3344,1	3344,1	0	0
61	4700	75	90	2284	0	3440,7	3440,7	0	0
62	4800	75	90	2309,9	0	3537,3	3537,3	0	0
63	4900	75	90	2335,7	0	3633,9	3633,9	0	0
64	5000	75	90	2361,6	0	3730,5	3730,5	0	0
65	5100	75	90	2387,5	0	3827	3827	0	0
66	5200	75	90	2413,4	0	3923,6	3923,6	0	0
67	5300	75	90	2439,3	0	4020,2	4020,2	0	0
68	5400	75	90	2465,2	0	4116,8	4116,8	0	0

69	5500	75	90	2491	0	4213,4	4213,4	0	0
70	5600	75	90	2516,9	0	4310	4310	0	0
71	5700	75	90	2542,8	0	4406,6	4406,6	0	0
72	5800	75	90	2568,7	0	4503,2	4503,2	0	0
73	5900	75	90	2594,6	0	4599,8	4599,8	0	0
74	6000	75	90	2620,4	0	4696,4	4696,4	0	0
75	6100	75	90	2646,3	0	4793	4793	0	0
76	6200	75	90	2672,2	0	4889,6	4889,6	0	0
77	6300	75	90	2698,1	0	4986,2	4986,2	0	0
78	6400	75	90	2724	0	5082,8	5082,8	0	0
79	6500	75	90	2749,9	0	5179,3	5179,3	0	0
80	6600	75	90	2775,7	0	5275,9	5275,9	0	0
81	6700	75	90	2801,6	0	5372,5	5372,5	0	0
82	6800	75	90	2827,5	0	5469,1	5469,1	0	0
83	6900	75	90	2853,4	0	5565,7	5565,7	0	0
84	7000	75	90	2879,3	0	5662,3	5662,3	0	0
85	7100	70,94	90	2908,5	0	5757,9	5757,9	4,06	180
86	7200	66,87	90	2944,5	0	5851,2	5851,2	4,06	180
87	7300	62,81	90	2987	0	5941,7	5941,7	4,06	180
88	7400	58,75	90	3035,8	0	6028,9	6028,9	4,06	180
89	7500	54,69	90	3090,7	0	6112,5	6112,5	4,06	180
90	7600	50,62	90	3151,3	0	6192	6192	4,06	180
91	7700	46,56	90	3217,5	0	6267	6267	4,06	180
92	7800	42,5	90	3288,7	0	6337,1	6337,1	4,06	180
93	7900	38,44	90	3364,8	0	6402	6402	4,06	180
94	8000	34,37	90	3445,3	0	6461,3	6461,3	4,06	180
95	8100	30,31	90	3529,7	0	6514,8	6514,8	4,06	180
96	8200	26,25	90	3617,8	0	6562,2	6562,2	4,06	180
97	8300	22,19	90	3709	0	6603,2	6603,2	4,06	180
98	8400	18,12	90	3802,8	0	6637,7	6637,7	4,06	180
99	8500	14,06	90	3898,9	0	6665,4	6665,4	4,06	180
100	8600	10	90	3996,7	0	6686,2	6686,2	4,06	180
101	8700	9,12	90	4095,3	0	6702,8	6702,8	0,88	-180
102	8800	8,24	90	4194,1	0	6717,9	6717,9	0,88	-180
103	8900	7,36	90	4293,2	0	6731,5	6731,5	0,88	-180
104	9000	6,48	90	4392,5	0	6743,5	6743,5	0,88	-180
105	9100	5,6	90	4491,9	0	6754	6754	0,88	-180
106	9200	4,72	90	4591,5	0	6763	6763	0,88	-180
107	9300	3,84	90	4691,2	0	6770,5	6770,5	0,88	-180
108	9400	2,96	90	4791	0	6776,4	6776,4	0,88	-180
109	9500	2,08	90	4891	0	6780,8	6780,8	0,88	-180
110	9600	1,2	90	4990,9	0	6783,7	6783,7	0,88	-180
111	9700	0,32	90	5090,9	0	6785	6785	0,88	-180
112	9736	0	0	5126,9	0	6785,1	6785,1	0,88	-180

Tabla 6. Resultado del pozo tipo S real (Software COMPASS)

	MD (ft)	Inc. (°)	Azi (°)	TVD (ft)	N/ S (ft)	E/W (ft)	V. Sec. (ft)	Dogleg (°/100ft)	T. Face (°)
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	100	0	0	100	0	0	0	0	0
3	200	0	0	200	0	0	0	0	0
4	300	0	0	300	0	0	0	0	0
5	400	0	0	400	0	0	0	0	0
6	500	0	0	500	0	0	0	0	0
7	600	0	0	600	0	0	0	0	0
8	700	0	0	700	0	0	0	0	0
9	800	0	0	800	0	0	0	0	0
10	900	4,12	90	899,9	0	3,6	3,6	4,12	90
11	1000	8,24	90	999,3	0	14,3	14,3	4,12	0
12	1100	12,35	90	1097,7	0	32,2	32,2	4,12	0
13	1200	16,47	90	1194,5	0	57,1	57,1	4,12	0
14	1300	20,59	90	1289,3	0	88,9	88,9	4,12	0
15	1400	24,71	90	1381,6	0	127,4	127,4	4,12	0
16	1500	28,82	90	1470,8	0	172,4	172,4	4,12	0
17	1600	32,94	90	1556,6	0	223,7	223,7	4,12	0
18	1700	37,06	90	1638,5	0	281,1	281,1	4,12	0
19	1800	41,18	90	1716,1	0	344,1	344,1	4,12	0
20	1900	45,29	90	1789	0	412,6	412,6	4,12	0
21	2000	49,41	90	1856,7	0	486,2	486,2	4,12	0
22	2100	53,53	90	1919	0	564,4	564,4	4,12	0
23	2200	57,65	90	1975,5	0	646,8	646,8	4,12	0
24	2300	61,76	90	2025,9	0	733,2	733,2	4,12	0
25	2400	65,88	90	2070	0	822,9	822,9	4,12	0
26	2500	70	90	2107,6	0	915,6	915,6	4,12	0
27	2600	70	90	2141,8	0	1009,5	1009,5	0	0
28	2700	70	90	2176	0	1103,5	1103,5	0	0
29	2800	70	90	2210,2	0	1197,5	1197,5	0	0
30	2900	70	90	2244,4	0	1291,4	1291,4	0	0
31	3000	70	90	2278,6	0	1385,4	1385,4	0	0
32	3100	70	90	2312,8	0	1479,4	1479,4	0	0
33	3200	70	90	2347	0	1573,3	1573,3	0	0
34	3300	70	90	2381,2	0	1667,3	1667,3	0	0
35	3400	70	90	2415,4	0	1761,3	1761,3	0	0
36	3500	70	90	2449,6	0	1855,3	1855,3	0	0
37	3600	70	90	2483,8	0	1949,2	1949,2	0	0
38	3700	70	90	2518	0	2043,2	2043,2	0	0
39	3800	70	90	2552,2	0	2137,2	2137,2	0	0
40	3900	70	90	2586,4	0	2231,1	2231,1	0	0
41	4000	70	90	2620,6	0	2325,1	2325,1	0	0
42	4100	70	90	2654,8	0	2419,1	2419,1	0	0
43	4200	70	90	2689	0	2513	2513	0	0
44	4300	70	90	2723,2	0	2607	2607	0	0

45	4400	70	90	2757,4	0	2701	2701	0	0
46	4500	70	90	2791,6	0	2794,9	2794,9	0	0
47	4600	70	90	2825,8	0	2888,9	2888,9	0	0
48	4700	70	90	2860	0	2982,9	2982,9	0	0
49	4800	70	90	2894,2	0	3076,9	3076,9	0	0
50	4900	70	90	2928,4	0	3170,8	3170,8	0	0
51	5000	70	90	2962,6	0	3264,8	3264,8	0	0
52	5100	70	90	2996,8	0	3358,8	3358,8	0	0
53	5200	70	90	3031	0	3452,7	3452,7	0	0
54	5300	70	90	3065,2	0	3546,7	3546,7	0	0
55	5400	70	90	3099,4	0	3640,7	3640,7	0	0
56	5500	70	90	3133,6	0	3734,6	3734,6	0	0
57	5600	70	90	3167,8	0	3828,6	3828,6	0	0
58	5700	70	90	3020	0	3922,6	3922,6	0	0
59	5800	70	90	3236,2	0	4016,5	4016,5	0	0
60	5900	70	90	3270,4	0	4110,5	4110,5	0	0
61	6000	70	90	3304,6	0	4204,5	4204,5	0	0
62	6100	70	90	3338,8	0	4298,5	4298,5	0	0
63	6200	70	90	3373	0	4392,4	4392,4	0	0
64	6300	70	90	3407,2	0	4486,4	4486,4	0	0
65	6400	70	90	3441,4	0	4580,4	4580,4	0	0
66	6500	70	90	3475,6	0	4674,3	4674,3	0	0
67	6600	70	90	3509,8	0	4768,3	4768,3	0	0
68	6700	70	90	3544	0	4862,3	4862,3	0	0
69	6800	70	90	3578,2	0	4956,2	4956,2	0	0
70	6900	70	90	3612,4	0	5050,2	5050,2	0	0
71	7000	70	90	3646,6	0	5144,2	5144,2	0	0
72	7100	70	90	3680,8	0	5238,1	5238,1	0	0
73	7200	70	90	3715	0	5332,1	5332,1	0	0
74	7300	70	90	3749,2	0	5426,1	5426,1	0	0
75	7400	70	90	3783,5	0	5520,1	5520,1	0	0
76	7500	70	90	3817,7	0	5614	5614	0	0
77	7600	70	90	3851,9	0	5708	5708	0	0
78	7700	70	90	3886,1	0	5802	5802	0	0
79	7800	70	90	3920,3	0	5895,9	5895,9	0	0
80	7850	67,06	90	3938,6	0	5942,5	5942,5	5,87	180
81	7900	64,12	90	3959,2	0	5988	5988	5,87	180
82	7950	61,19	90	3982,2	0	6032,4	6032,4	5,87	180
83	8000	58,25	90	4007,4	0	6075,6	6075,6	5,87	180
84	8050	55,31	90	4034,8	0	6117,4	6117,4	5,87	180
85	8100	52,37	90	4054,3	0	6157,8	6157,8	5,87	180
86	8150	49,44	90	4095,8	0	6196,6	6196,6	5,87	180
87	8200	46,5	90	4129,3	0	6233,7	6233,7	5,87	180
88	8250	43,56	90	4164,6	0	6269,1	6269,1	5,87	180
89	8300	40,62	90	4201,7	0	6302,6	6302,6	5,87	180
90	8350	37,69	90	4240,5	0	6334,1	6334,1	5,87	180
91	8400	34,75	90	4280,8	0	6363,7	6363,7	5,87	180
92	8450	31,81	90	4322,6	0	6391,1	6391,1	5,87	180

93	8500	28,87	90	4365,7	0	6416,4	6416,4	5,87	180
94	8550	25,94	90	4410,1	0	6439,4	6439,4	5,87	180
95	8600	23	90	4455,6	0	6460,1	6460,1	5,87	180
96	8700	19,66	90	458,8	0	6496,5	6496,5	3,34	180
97	8800	16,32	90	4643,9	0	6577,4	6577,4	3,34	180
98	8900	12,99	90	4740,6	0	6552,6	6552,6	3,34	180
99	9000	9,65	90	4838,6	0	6572,3	6572,3	3,34	180
100	9100	6,31	90	4937,7	0	6586,1	6586,1	3,34	180
101	9200	2,97	90	5037,3	0	6594,2	6594,2	3,34	180
102	9289	0	0	5126,3	0	6596,5	6596,5	3,34	-180

Tabla 7. Resultado del pozo tipo S optimista (Software COMPASS)

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

31	3000	73	90	1893,3	0	1844,9	1844,9	0	0
32	3100	73	90	1922,5	0	1940,6	1940,6	0	0
33	3200	73	90	1951,8	0	2036,2	2036,2	0	0
34	3300	73	90	1981	0	2131,8	2131,8	0	0
35	3400	73	90	2010,2	0	2227,5	2227,5	0	0
36	3500	73	90	2039,5	0	2323,1	2323,1	0	0
37	3600	73	90	2068,7	0	2418,7	2418,7	0	0
38	3700	73	90	2098	0	2514,4	2514,4	0	0
39	3800	73	90	2127,2	0	2610	2610	0	0
40	3900	73	90	2156,4	0	2705,6	2705,6	0	0
41	4000	73	90	2185,7	0	2801,2	2801,2	0	0
42	4100	73	90	2214,9	0	2896,9	2896,9	0	0
43	4200	73	90	2244,1	0	2992,5	2992,5	0	0
44	4300	73	90	2273,4	0	3088,1	3088,1	0	0
45	4400	73	90	2303,6	0	3183,8	3183,8	0	0
46	4500	73	90	2331,9	0	3279,4	3279,4	0	0
47	4600	73	90	2361,1	0	3375	3375	0	0
48	4700	73	90	2390,3	0	3470,7	3470,7	0	0
49	4800	73	90	2419,6	0	3566,3	3566,3	0	0
50	4900	73	90	2448,8	0	3661,9	3661,9	0	0
51	5000	73	90	2478	0	3757,6	3757,6	0	0
52	5100	73	90	2507,3	0	3853,2	3853,2	0	0
53	5200	73	90	2536,5	0	3948,8	3948,8	0	0
54	5300	73	90	2565,8	0	4044,4	4044,4	0	0
55	5400	73	90	2595	0	4140,1	4140,1	0	0
56	5500	73	90	2624,2	0	4235,7	4235,7	0	0
57	5600	73	90	2653,5	0	4331,3	4331,3	0	0
58	5700	73	90	2682,7	0	4427	4427	0	0
59	5800	73	90	2711,9	0	4522,6	4522,6	0	0
60	5900	73	90	2741,2	0	4618,2	4618,2	0	0
61	6000	73	90	2770,4	0	4713,9	4713,9	0	0
62	6100	73	90	2799,6	0	4809,5	4809,5	0	0
63	6200	70,76	90	2830,7	0	4904,5	4904,5	2,24	180
64	6300	68,53	90	2865,5	0	4998,3	4998,3	2,24	180
65	6400	66,29	90	2903,9	0	5090,6	5090,6	2,24	180
66	6500	64,06	90	2945,9	0	5181,4	5181,4	2,24	180
67	6600	61,82	90	2991,4	0	5270,4	5270,4	2,24	180
68	6700	59,59	90	3040,3	0	5357,6	5357,6	2,24	180
69	6800	57,35	90	3092,6	0	5442,8	5442,8	2,24	180
70	6900	55,12	90	3148,2	0	5526	5526	2,24	180
71	7000	52,88	90	3207	0	5606,9	5606,9	2,24	180
72	7100	50,65	90	3268,8	0	5685,4	5685,4	2,24	180
73	7200	48,41	90	3333,8	0	5761,5	5761,5	2,24	180
74	7300	46,18	90	3401,6	0	5835	5835	2,24	180
75	7400	43,94	90	3472,2	0	5905,7	5905,7	2,24	180
76	7500	41,71	90	3545,5	0	5973,7	5973,7	2,24	180
77	7600	39,47	90	3621,5	0	6038,8	6038,8	2,24	180
78	7700	37,24	90	3699,9	0	6100,8	6100,8	2,24	180

79	7800	35	90	3780,7	0	6159,7	6159,7	2,24	180
80	7900	35	90	3862,6	0	6217,1	6217,1	0	0
81	8000	35	90	3944,5	0	6274,5	6274,5	0	0
82	8100	35	90	4026,4	0	6331,8	6331,8	0	0
83	8200	30	90	4110,7	0	6385,5	6385,5	5	-180
84	8300	25	90	4199,4	0	6431,7	6431,7	5	-180
85	8400	20	90	4291,8	0	6470	6470	5	-180
86	8500	15	90	4387,1	0	6500	6500	5	-180
87	8600	10	90	4484,7	0	6521,6	6521,6	5	-180
88	8700	5	90	4583,8	0	6534,7	6534,7	5	-180
89	8800	0	0	4683,7	0	6539,1	6539,1	5	-180
90	8900	0	0	4783,7	0	6539,1	6539,1	0	0
91	9000	0	0	4883,7	0	6539,1	6539,1	0	0
92	9100	0	0	4983,7	0	6539,1	6539,1	0	0
93	9200	0	0	5083,7	0	6539,1	6539,1	0	0
94	9243	0	0	5126,7	0	6539,1	6539,1	0	0

2.2.2. Desarrollo de trayectorias.

- *Trayectorias del pozo tipo J.*

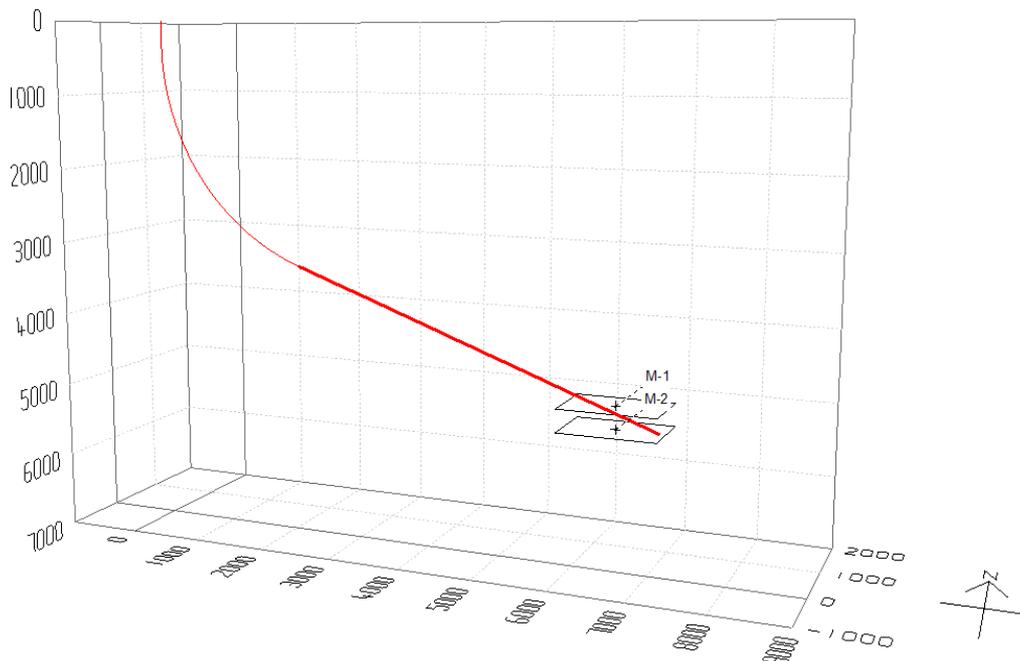


Figura 26. Trayectoria del pozo tipo J pesimista en 3D (Software COMPASS)

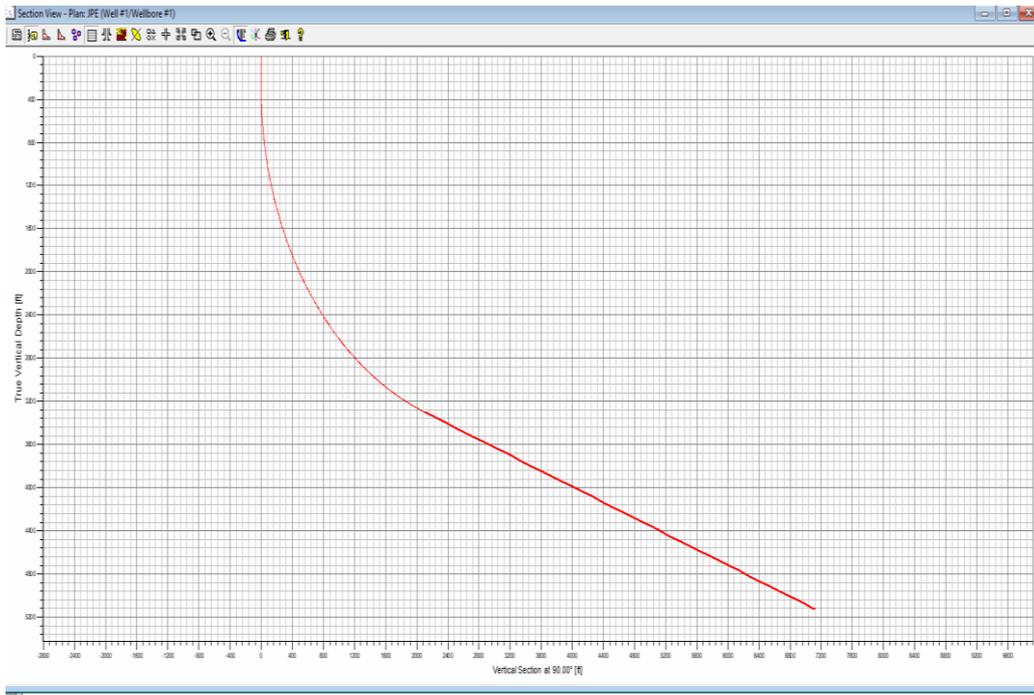


Figura 27. Trayectoria del pozo tipo J pesimista en 2D (Software COMPASS)

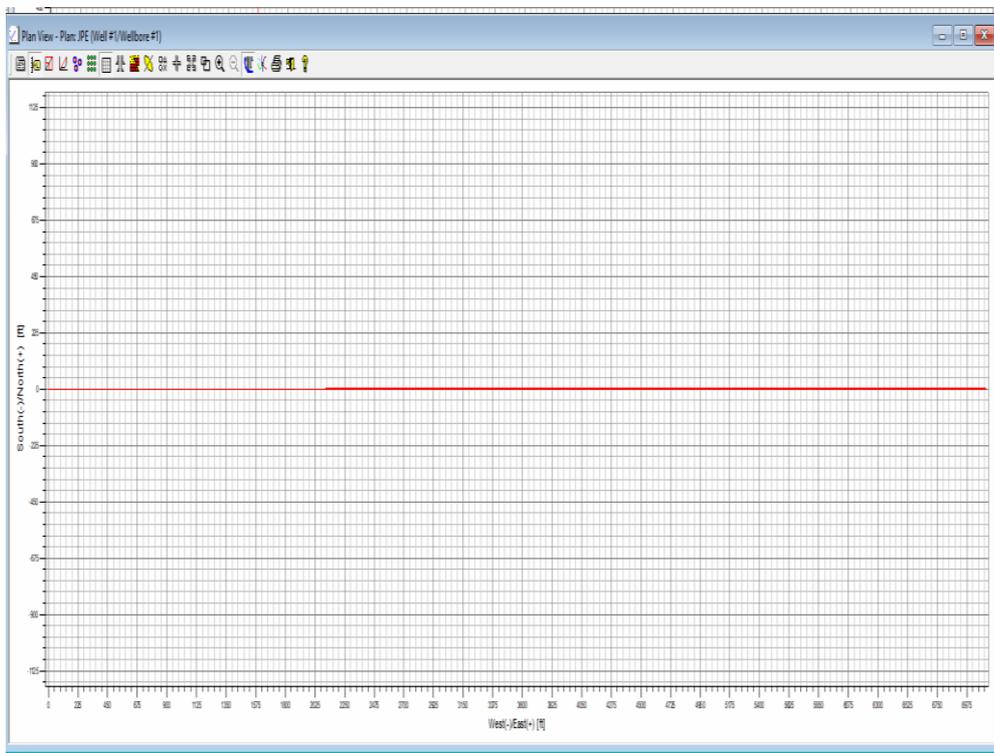


Figura 28. Proyección horizontal del pozo tipo J pesimista (Software COMPASS)

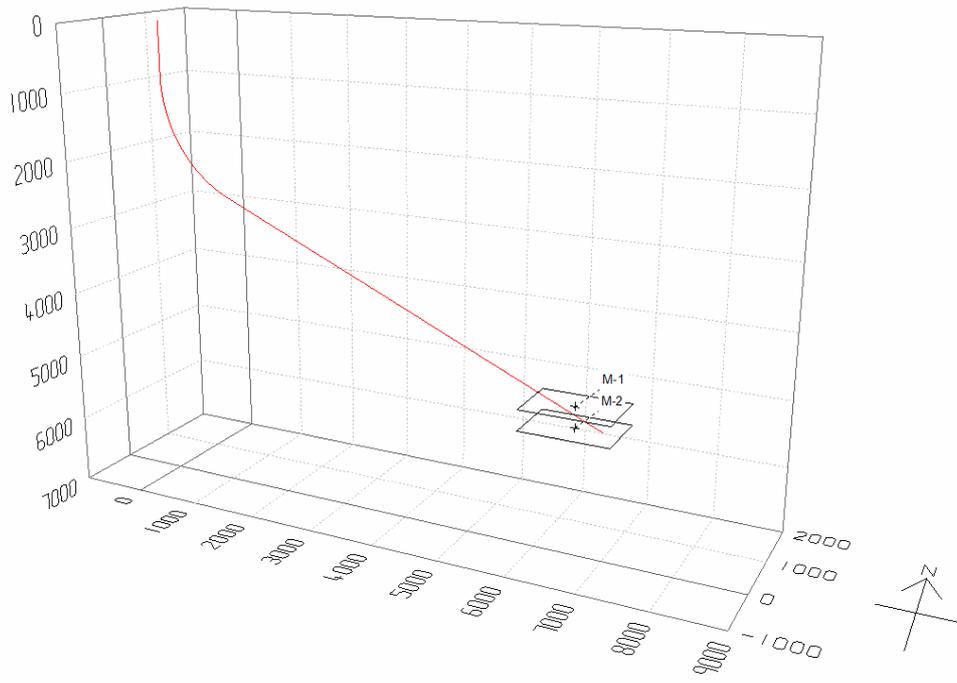


Figura 29. Trayectoria del pozo tipo J real en 3D (Software COMPASS)

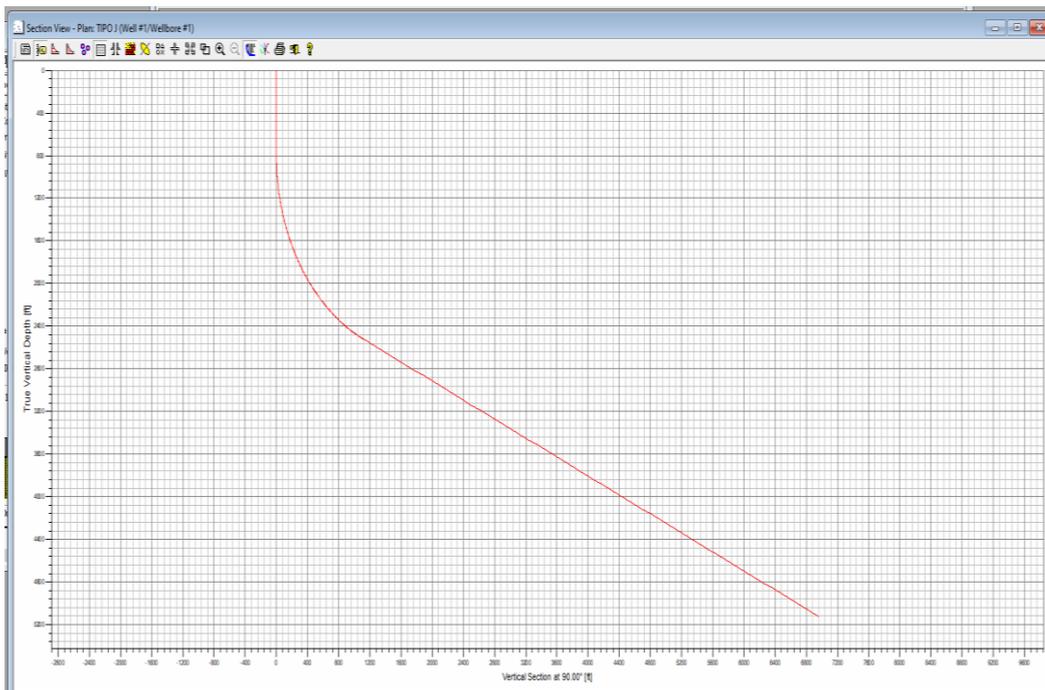


Figura 30. Trayectoria del pozo tipo J real en 2D (Software COMPASS)

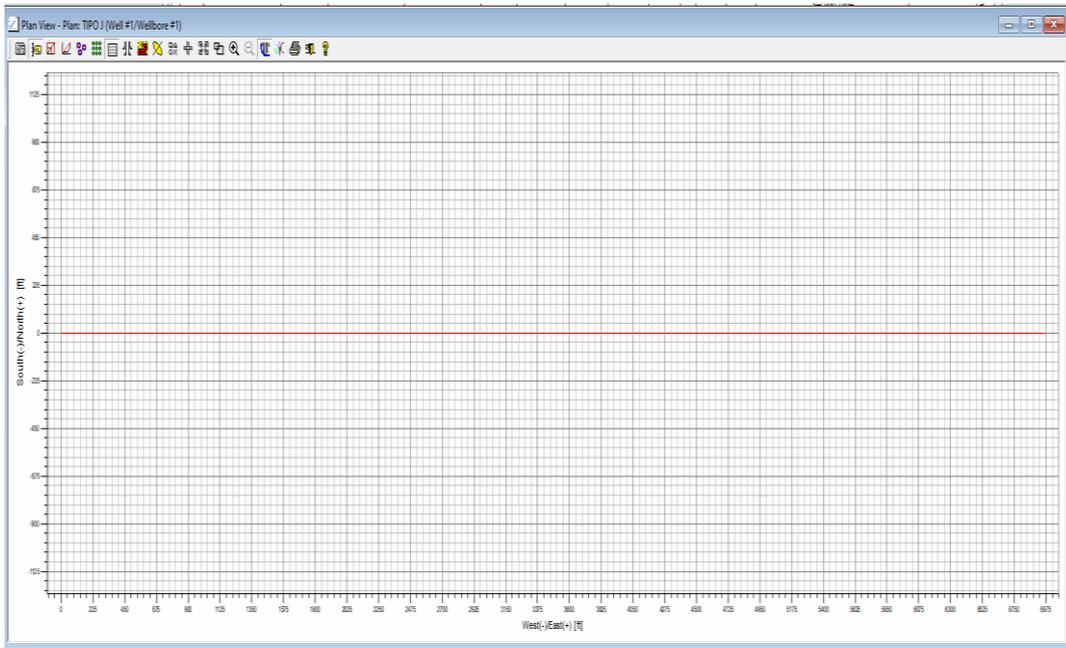


Figura 31. Proyección horizontal del pozo tipo J real (Software COMPASS)

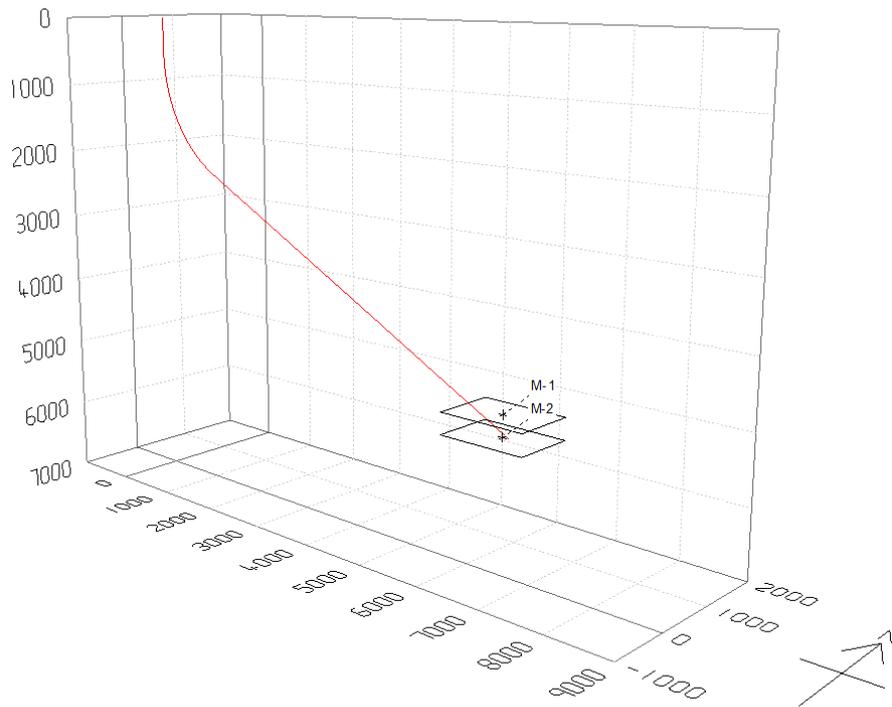


Figura 32. Trayectoria del pozo tipo J optimista en 3D (Software COMPASS)

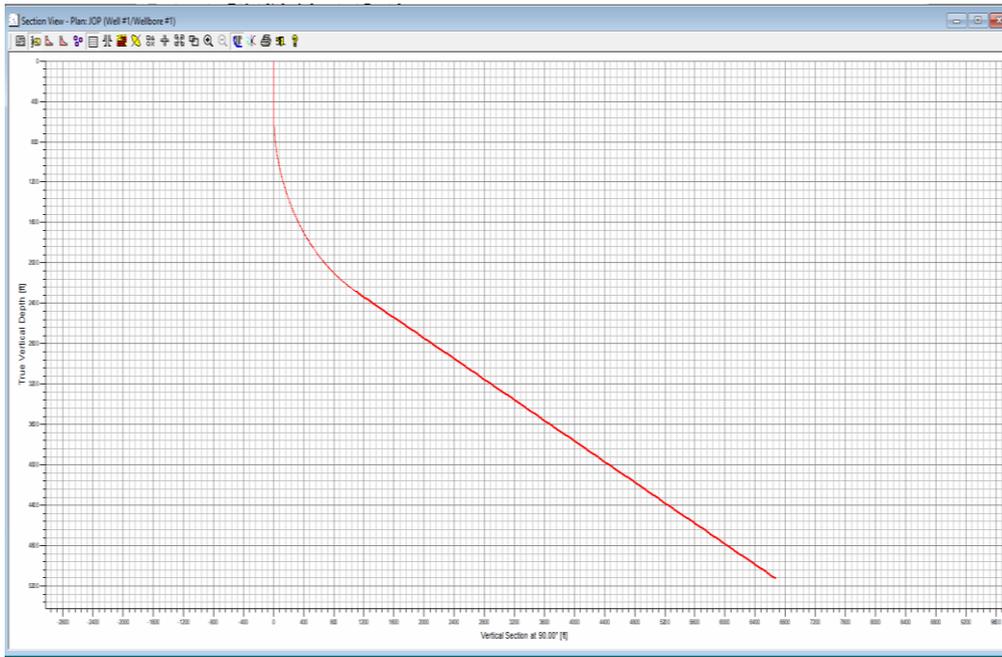


Figura 33. Trayectoria del pozo tipo J optimista en 2D (Software COMPASS)

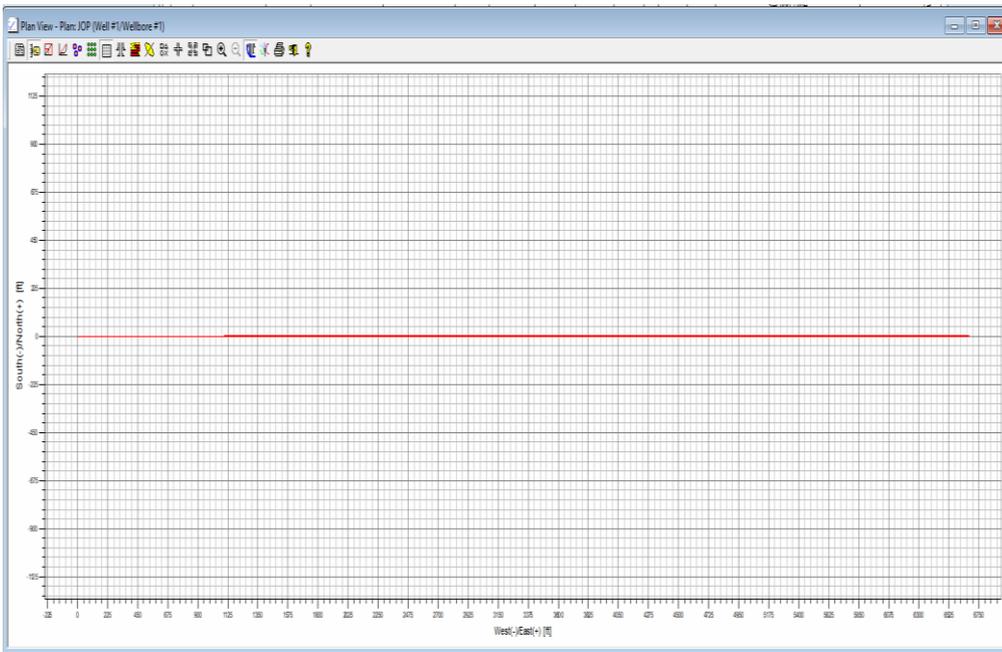


Figura 34. Proyección horizontal del pozo tipo J optimista (Software COMPASS)

- **Trayectoria del pozo tipo S.**

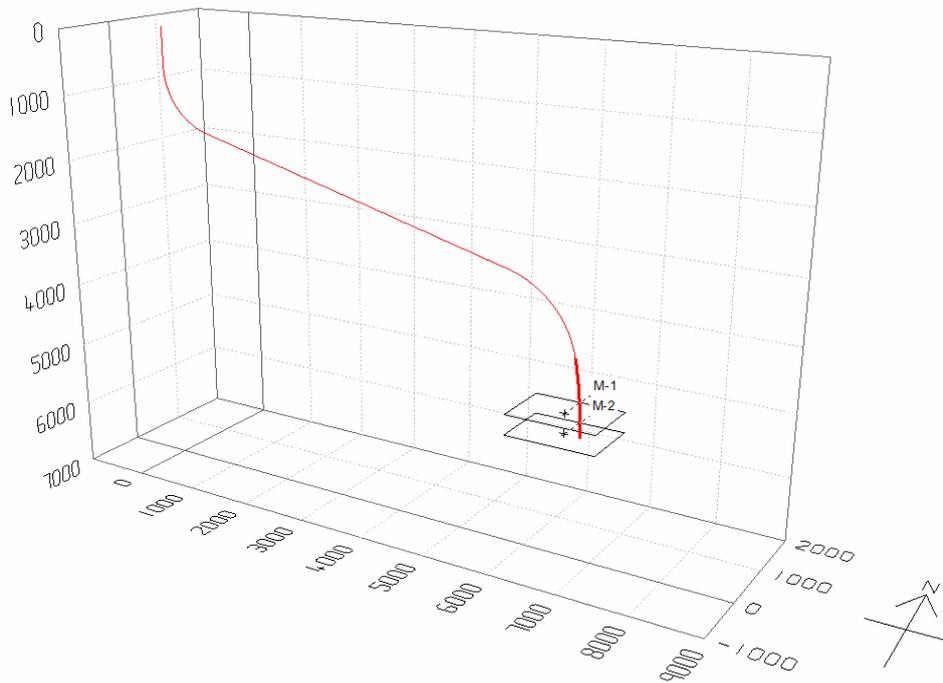


Figura 35. Trayectoria del pozo tipo S pesimista en 3D (Software COMPASS)

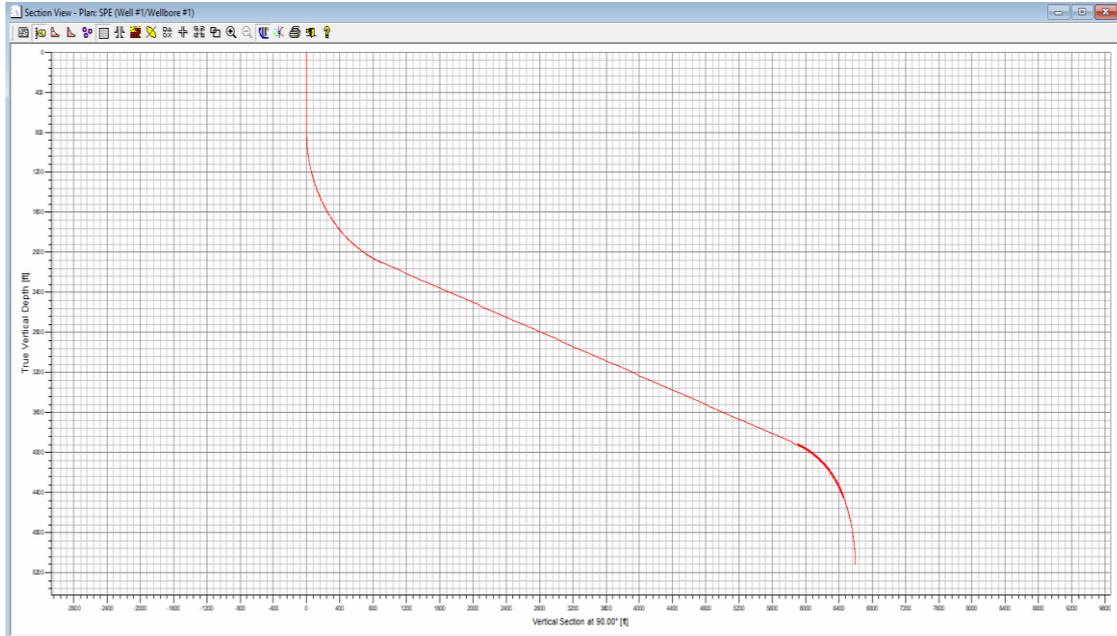


Figura 36. Trayectoria del pozo tipo S pesimista en 2D (Software COMPASS)

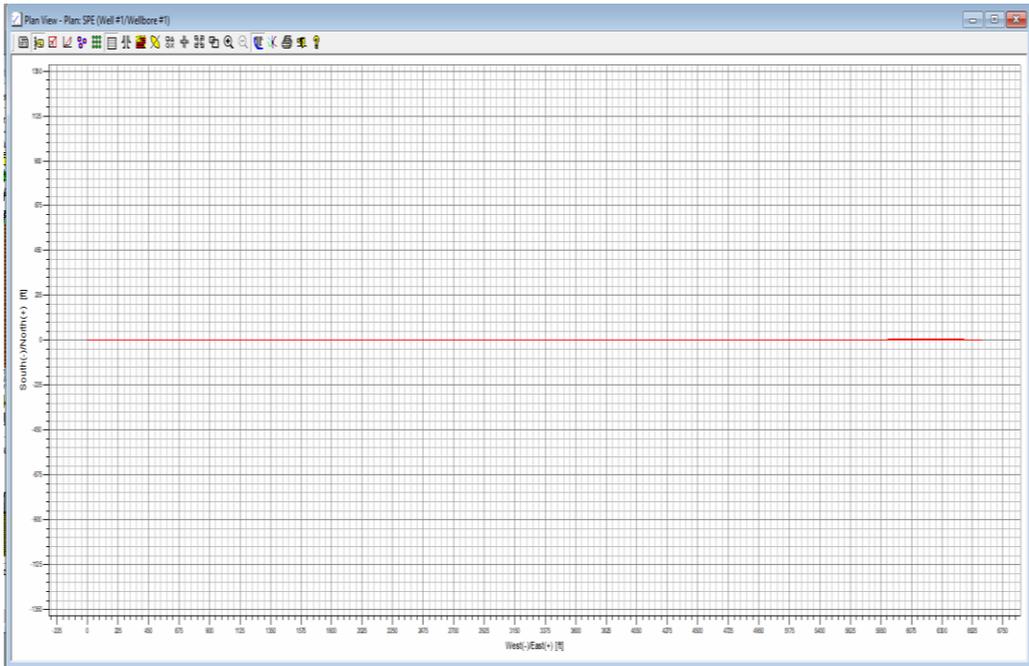


Figura 37. Proyección horizontal del pozo tipo S pesimista (Software COMPASS)

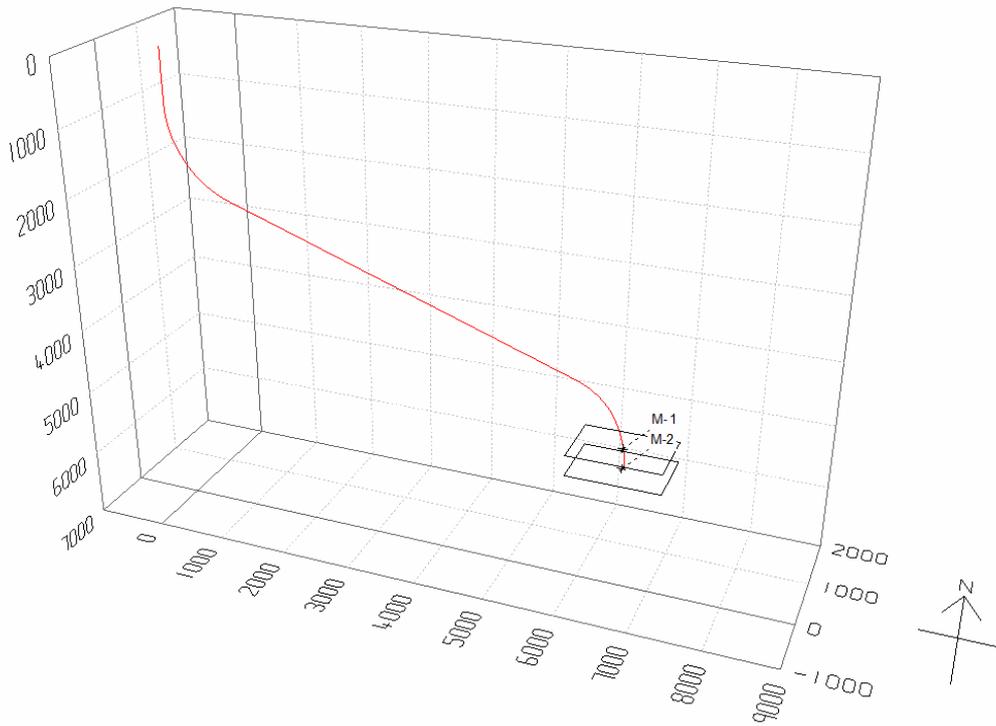


Figura 38. Trayectoria del pozo tipo S real en 3D (Software COMPASS)

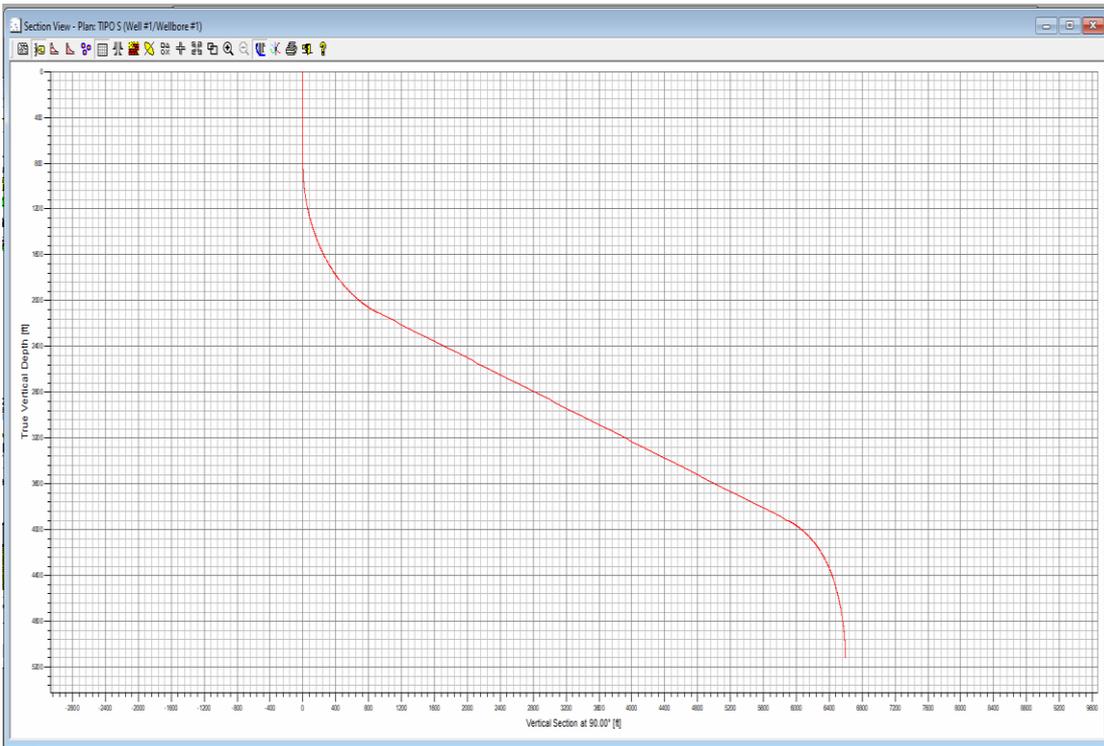


Figura 39. Trayectoria del pozo tipo S real en 2D (Software COMPASS)

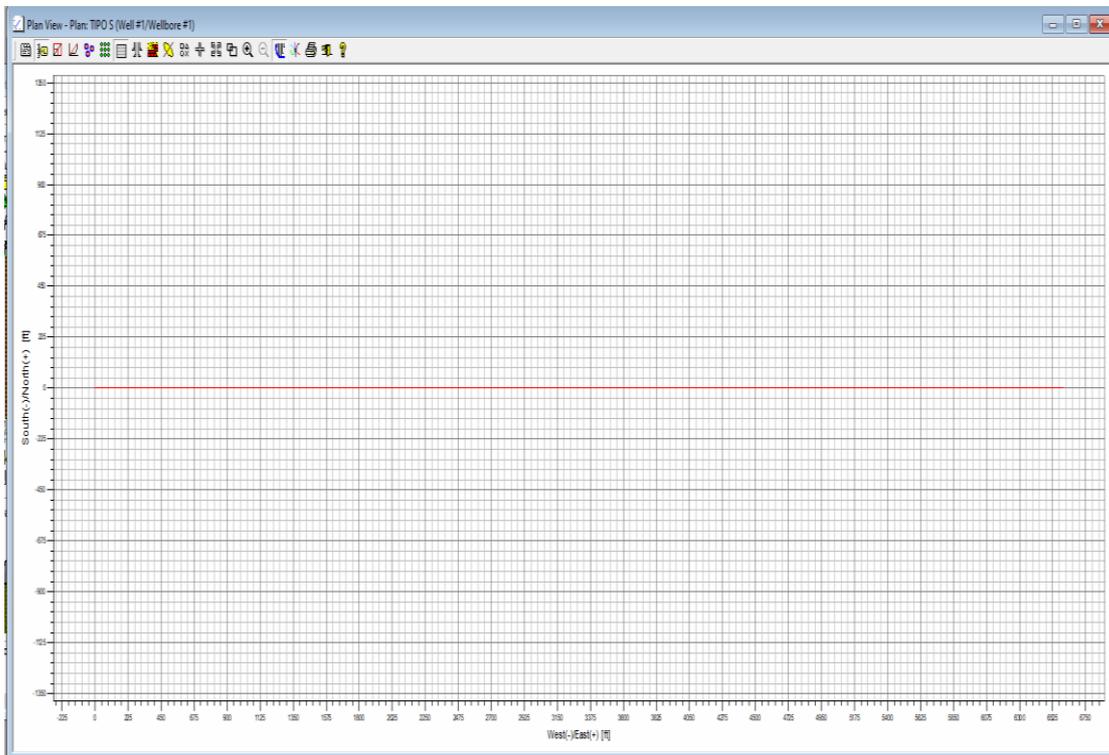


Figura 40. Proyección horizontal del pozo tipo S real (Software COMPASS)

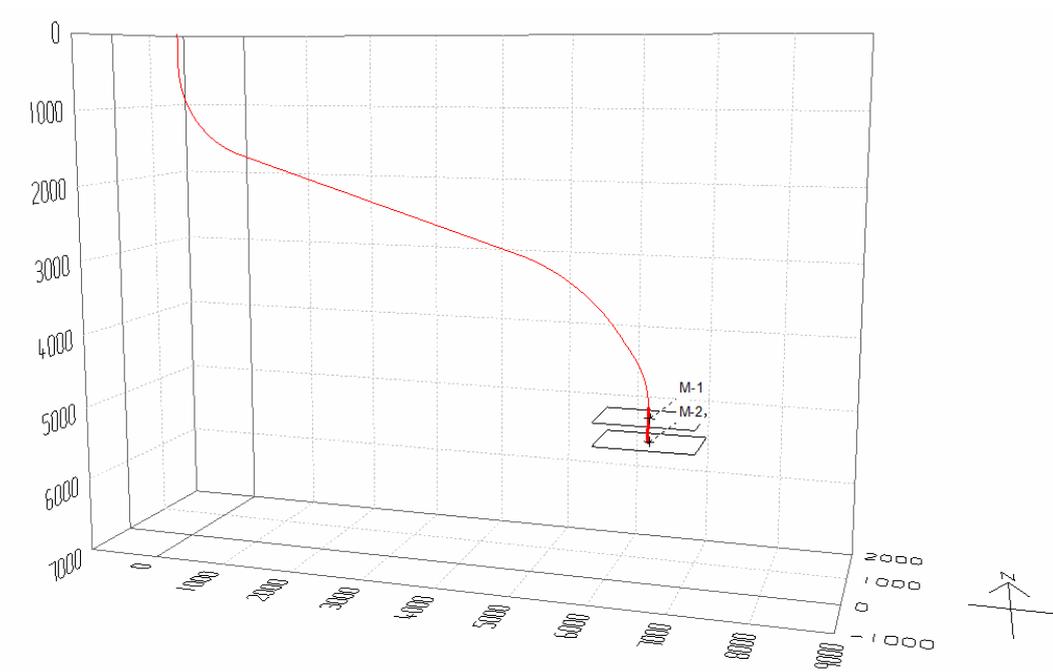


Figura 41. Trayectoria del pozo tipo S optimista en 3D (Software COMPASS)

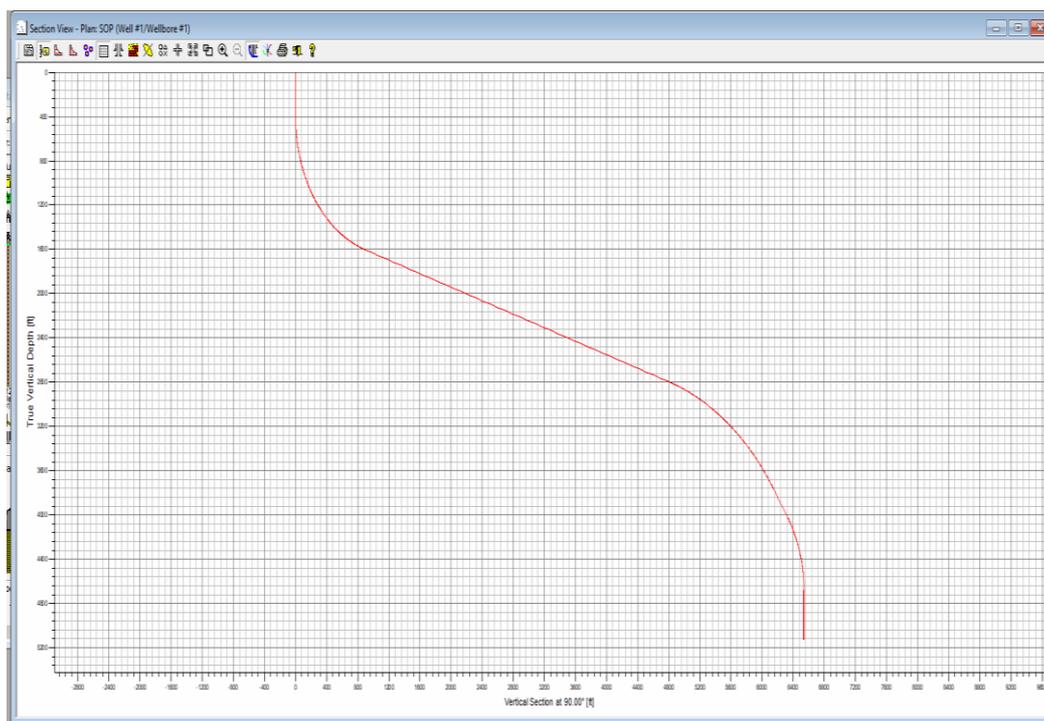


Figura 42. Trayectoria del pozo tipo S optimista en 2D (Software COMPASS)

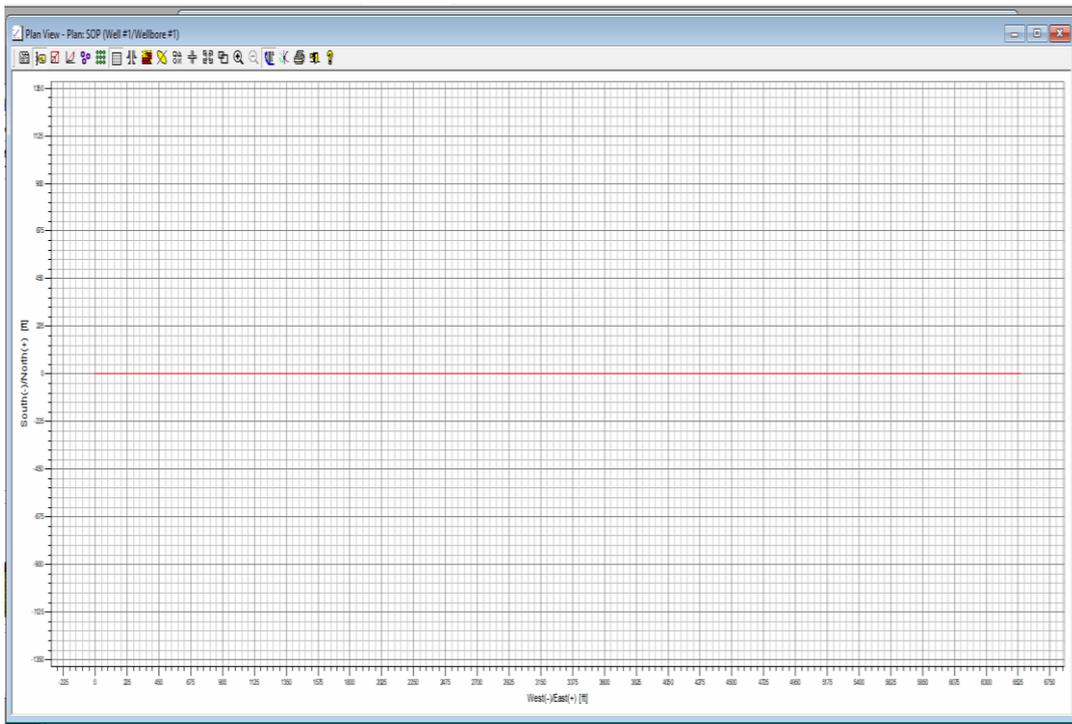


Figura 43. Proyección horizontal del pozo tipo S optimista (Software COMPASS)

CAPITULO III: ANALISIS DE RESULTADOS

3.1 EVALUACIÓN DE LAS TRAYECTORIAS

3.1.1. Trayectorias del pozo tipo J.

Para la trayectoria del pozo tipo J podemos observar en la tabla 2 que tiene 97 estaciones para llegar a los reservorios, cada estación son 100 pies. Es la trayectoria pesimista, desde la estación 1 hasta la estación 4 el ángulo de inclinación y el azimut es cero. Esta es la sección vertical del pozo y el KOP es de 300 pies. Desde la estación 5 hasta la estación 43 el ángulo de inclinación va incrementando en 1.79° y el azimut es 90° . Esta es la sección de construcción del pozo. Desde la estación 43 hasta la estación 97 el ángulo de inclinación es 70° y el azimut es 90° . Esta es la sección tangente del pozo por eso el ángulo de inclinación se mantiene hasta llegar al objetivo. Esta trayectoria tiene una profundidad media de 9540 pies.

En la tabla 3 se observa que la trayectoria del pozo tipo J tiene 96 estaciones para llegar a los reservorios. Es la trayectoria real, desde la estación 1 hasta la estación 9 el ángulo de inclinación y el azimut es cero. Esta es la sección vertical del pozo y el KOP es de 800 pies. Desde la estación 10 hasta la estación 31 el ángulo de inclinación va incrementando en 3.04° y el azimut es 90° . Esta es la sección de construcción del pozo. Desde la estación 31 hasta la estación 96 el ángulo de inclinación es de 66° y el azimut es de 90° . Esta es la sección tangente del pozo. Esta trayectoria tiene una profundidad media de 9372 pies.

En la tabla 4 se observa que la trayectoria del pozo tipo J tiene 91 estaciones para llegar a los reservorios. Es la trayectoria optimista, desde la estación 1 hasta la estación 6 el ángulo de inclinación y el azimut es cero. Esta es la sección vertical del pozo y el KOP es de 500 pies. Desde la estación 7 hasta la estación 28 el ángulo de inclinación va incrementando en 2.86° y el azimut es 90° . Esta es la sección de construcción del pozo. Desde la estación 28 hasta la estación 91 el ángulo de inclinación es de 63° y el azimut es de 90° . Esta es la sección tangente del pozo. Esta trayectoria tiene una profundidad media de 8963 pies.

3.1.2 Trayectorias del pozo tipo S.

Para la trayectoria del pozo tipo S podemos observar en la tabla 5 que tenemos 112 estaciones para llegar a los reservorios. Es la trayectoria pesimista, desde la estación 1 hasta la estación 7 el ángulo de inclinación y el azimut es cero, esta es la sección vertical del pozo y el KOP es de 600 pies. En la estación 8 hasta la estación 32 el ángulo de inclinación va incrementando en 2.88° y el azimut es 90° . Esta es la sección de construcción del pozo. Desde la estación 33 hasta la estación 84 el ángulo de inclinación es de 75° y el azimut es de 90° . Esta es la sección tangente del pozo. Desde la estación 85 hasta la 100 el ángulo de inclinación se reduce en 4.06° y de la estación 100 hasta la estación 111 el ángulo de inclinación se reduce en 0.88° el azimut es 90° . La estación 85 es el inicio de la sección de caída y el final de la sección de caída es la estación 111. En la última estación la 112 tenemos un ángulo de inclinación y un azimut de 0° para obtener una trayectoria vertical de 36 pies y llegar al objetivo que se encuentra a una profundidad de 5126 pies. Su profundidad media es de 9736 pies.

En la tabla 6 se observa que la trayectoria del pozo tipo S tiene 102 estaciones para llegar a los reservorios. Es la trayectoria real, desde la estación 1 hasta la estación 9 el ángulo de inclinación y el azimut es cero, esta es la sección vertical del pozo y el KOP es de 800 pies. En la estación 10 hasta la estación 26 el ángulo de inclinación va incrementando en 4.12° y el azimut es 90° . Esta es la sección de construcción del pozo. Desde la estación 26 hasta la estación 79 el ángulo de inclinación es de 70° y el azimut es de 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 de la estación 95 hasta la estación 101 el ángulo de inclinación se reduce en 3.34° el azimut es 90° . La estación 79 es el inicio de la sección de caída y el final de la sección de caída es la estación 101. En la última estación la 102 tenemos un ángulo de inclinación y un azimut de 0° para obtener una trayectoria vertical de 89 pies y llegar al objetivo que se encuentra a una profundidad de 5126 pies. Su profundidad media es de 9289 pies.

En la tabla 7 se observa que la trayectoria del pozo tipo S tiene 94 estaciones para llegar a los reservorios. Es la trayectoria optimista, desde la estación 1 hasta la estación 5 el ángulo de inclinación y el azimut es cero, esta es la sección vertical del pozo y el KOP es de 400 pies. En la estación 6 hasta la estación 21 el ángulo de inclinación va

incrementando en 4.56° y el azimut es 90° . Esta es la sección de construcción del pozo. Desde la estación 21 hasta la estación 62 el ángulo de inclinación es de 73° y el azimut es de 90° . Esta es la sección tangente del pozo. Desde la estación 63 hasta la 79 el ángulo de inclinación se reduce en 2.23° y de la estación 79 hasta la estación 82 el ángulo de inclinación se mantiene en 35° el azimut es 90° . Desde La estación 82 hasta la 89 el ángulo de inclinación se reduce en 5° y el azimut es de 90° . La estación 63 es el inicio de la sección de caída y el final de la sección de caída es la estación 89. Desde la estación 89 hasta la 94 tenemos un ángulo de inclinación y un azimut de 0° para obtener una trayectoria vertical de 143 pies y llegar al objetivo que se encuentra a una profundidad de 5126 pies. Su profundidad media es de 9243 pies.

CAPITULO IV: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Se realizaron tres trayectorias tanto para el pozo tipo J como el pozo tipo S, el pozo tipo J optimista tiene una profundidad medida de 8963 pies, una inclinación de 63°, un azimut de 90° y una sección vertical de 6672,8 pies. El pozo tipo J real tiene una profundidad medida de 9372 pies, una inclinación de 66°, un azimut de 90° y tiene una sección vertical de 6964,7 pies. El pozo tipo J pesimista tiene una profundidad medida de 9540 pies, una inclinación de 70° y un azimut de 90°, tiene una sección vertical de 7118,4 pies.
- La trayectoria optimista del pozo tipo S tiene una profundidad medida de 9243 pies y una sección vertical de 6539,1 pies. La trayectoria del pozo tipo S real tiene una profundidad medida de 9289 pies y tiene una sección vertical de 6596,5 pies. La trayectoria del pozo tipo S pesimista tiene una profundidad medida de 9736 pies y una sección vertical de 6785,1 pies.
- Al realizar las tres trayectorias del pozo tipo J y del pozo tipo S se determinó que la trayectoria del pozo tipo J tiene menos estaciones comparado con las estaciones del pozo tipo S, es el más rápido y sencillo para poder atravesar los dos reservorios que se encuentran debajo del subsuelo.
- Ingresando los datos de los reservorios en el programa se determinó que no se puede diseñar una trayectoria tipo horizontal debido a que un reservorio se encuentra debajo del otro por lo que hace imposible atravesar los dos reservorios.

- Usando el Software COMPASS en el laboratorio de petróleo resolvimos esta problemática ya que, ingresando los datos necesarios en el programa, nos calculó los surveys, azimut, el ángulo de inclinación, también la profundidad medida que nos ayuda saber cuánta tubería de perforación vamos a utilizar para cada trayectoria.
- El método que se usó para resolver este problema fue muy útil ya que el Software permite calcular y desarrollar las trayectorias de manera rápida y exacta para evitar mayores costos a la hora de perforar un pozo petrolero.

4.2 RECOMENDACIONES

- Verificar las coordenadas de superficie y coordenadas del objetivo antes de ingresar los datos al Software COMPASS.
- A la hora de ingresar los datos de ubicación en el software COMPASS debemos trabajar con el sistema de referencia geográfico, el mercator transversal universal (UTM) para que salga dato geodésico del Ecuador que es donde se va a perforar.
- Para optimizar las trayectorias de los pozos direccionales se debe diseñar tres trayectorias el pesimista, el real y el optimista. El pesimista es cuando la profundidad medida es más extenso, el real es cuando la profundidad medida es más corto y el optimista es cuando la profundidad medida es la más pequeña.
- Usar programas petroleros que permitan calcular las trayectorias del pozo de manera rápida y exacta.

BIBLIOGRAFÍA

- Antonio, G. (2011). *Glossary Oilfield*. Obtenido de Glossary Oilfield: https://glossary.oilfield.slb.com/es/terms/d/directional_drilling
- Cesar, G. B. (2019). *IPN Ciencias de la Tierra*. Obtenido de IPN Ciencias de la Tierra : <https://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/15730/1/Perforaci%C3%B3n%20direccional%20aplicada%20a%20la%20regi%C3%B3n%20sur.pdf>
- Gonzalez, J. (20 de Marzo de 2017). *Blogspot*. Obtenido de Blogspot : <http://juanjgonzalezv.blogspot.com/2017/03/metodos-de-calculo-de-desviacion.html>
- Herbert, J. H. (2020). *Minas UPM*. Obtenido de Minas UPM : https://oa.upm.es/62722/1/INGENIERIA_POZOS_PETROLEO_Y_GAS_Vol-4_LM1B5T4R0-20200323.pdf
- Mantle, K. (2016). *Oilfield Review*. Obtenido de Oilfield Review: <https://www.slb.com/-/media/files/oilfield-review/define-dir-drill-spanish>
- Matinez, G. (2018). *Steemit*. Obtenido de Steemit : <https://steemit.com/cervantes/@gusran/perforacion-direccional>
- TAVERA, C. G. (2014). *Tangara UIS*. Obtenido de Tangara UIS : <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/tesis/2014/155412.pdf>
- Tellez, K. (13 de Febrero de 2017). *Slideshare*. Obtenido de Slideshare: <https://es.slideshare.net/katiatellez/perforacin-direccional-63797216>
- Urdaneta, J. J. (11 de junio de 2018). *LinkedIn*. Obtenido de LinkedIn: <https://es.linkedin.com/pulse/perforaci%C3%B3n-de-pozos-horizontales-jhoan-jos%C3%A9-urdaneta>

|

ANEXO

