



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Planeación y validación del  
plan direccional para pozos  
terrestres de desarrollo de  
la región norte**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Petrolero**

**P R E S E N T A**

Eduardo Antonio Martínez Olguín

**DIRECTORA DE TESIS**

M.I. María Elena Cuautli Hernández



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025**



**PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y  
HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL  
(Titulación con trabajo escrito)**



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado PLANEACION Y VALIDACION DEL PLAN DIRECCIONAL PARA POZOS TERRESTRES DE DESARROLLO DE LA REGION NORTE que presenté para obtener el título de INGENIERO PETROLERO es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

---

**EDUARDO ANTONIO MARTINEZ OLGUIN**  
Número de cuenta: 313086238

---

## RESUMEN

El presente trabajo de tesis abordará la importancia de los nuevos proyectos de perforación los cuales enfrentan el reto de diseñar, ubicar y perforar en localizaciones existentes con un alto número de pozos, lo que incrementa la complejidad en el diseño de nuevas trayectorias direccionales, especialmente en pozos de alto ángulo y alcance. Con el fin de mostrar el proceso de planeación y validación de trayectorias direccionales, abordando la documentación requerida y el trabajo multidisciplinario de las diferentes áreas involucradas en el proyecto.

La planeación es fundamental para el éxito de la perforación, integrando distintos factores para lograr un óptimo trabajo de planeación direccional, ajustándose a los nuevos retos de la industria. La perforación direccional tiene múltiples aplicaciones en situaciones donde las actividades convencionales no son adecuadas debido a diversas condicionantes. El diseño de la trayectoria requiere la determinación de coordenadas para ubicar la dirección del pozo, con una coordenada indicando el punto de inicio y otra el objetivo final, permitiendo que un pozo pueda alcanzar múltiples objetivos.

En el **Capítulo 1. Antecedentes de la Perforación Direccional** Se recopiló información histórica y aplicaciones de la perforación direccional mediante revisión de literatura técnica, artículos especializados y casos de estudio nacionales.

Dentro del **Capítulo 2. Generación de Coordenadas Objetivo** Se emplearon modelos estáticos (sísmicos, estratigráficos, petrofísicos) y dinámicos (flujo de fluidos, pronósticos de producción) para definir coordenadas superficiales y objetivos, apoyados en software de modelado.

---

---

Para el **Capítulo 3. Generación de Planes Direccionales** Se diseñaron trayectorias tipo "J", "S" y "horizontal" utilizando datos topográficos, columnas geológicas y análisis de severidad, validando con herramientas de simulación direccional.

En el **Capítulo 4. Revisión de Propuestas** Se aplicaron técnicas de evaluación de factibilidad, simulación de trayectorias y análisis de riesgos, de manera coordinada con los grupos multidisciplinarios para optimizar los planes.

Hacia el **Capítulo 5. Metodología VCD-SE** Se documentó el proceso mediante la metodología VCD-SE, integrando fases de visualización, conceptualización, definición, seguimiento y evaluación, con énfasis en matrices de riesgo y costos integrales.

Por último, en el **Capítulo 6. Planificación Estratégica** Se analizaron documentos rectores del sector energético mexicano Plan Nacional de Desarrollo, Programa Sectorial de Energía entre otros con el fin de contextualizar la importancia estratégica de la planeación en hidrocarburos.

El enfoque utilizado describe el proceso integral de planeación y validación de trayectorias direccionales en proyectos de perforación, considerando técnicas cuantitativas con enfoques cualitativos, asegurando que cada etapa del diseño y validación estuviera respaldada por datos técnicos, mejores prácticas y alineación con políticas energéticas nacionales.



---

## Abstract

This thesis addresses the importance of new drilling projects, which face the challenge of designing, locating, and drilling in existing sites with a high number of wells. This increases the complexity of designing new directional trajectories, especially in high-angle and extended-reach wells. The objective is to present the process of planning and validating directional trajectories, including the required documentation and the multidisciplinary work of the various areas involved in the project.

Planning is fundamental to the success of drilling operations, integrating various factors to achieve optimal directional planning that adapts to the new challenges of the industry. Directional drilling has multiple applications in situations where conventional activities are not suitable due to various constraints. Trajectory design requires the determination of coordinates to define the direction of the well, with one coordinate indicating the starting point and another the final target, allowing a well to reach multiple objectives.

Chapter 1: Background of Directional Drilling. Historical information and applications of directional drilling were compiled through the review of technical literature, specialized articles, and national case studies.

Chapter 2: Generation of Target Coordinates. Static models (seismic, stratigraphic, petrophysical) and dynamic models (fluid flow, production forecasts) were used to define surface coordinates and targets, supported by modeling software.

Chapter 3: Generation of Directional Plans. "J-type," "S-type," and "horizontal" trajectories were designed using topographic data, geological columns, and severity analysis, validated through directional simulation tools.

---

---

Chapter 4: Review of Proposals. Feasibility evaluation techniques, trajectory simulations, and risk analyses were applied in coordination with multidisciplinary teams to optimize the plans.

Chapter 5: VCD-SE Methodology. The process was documented using the VCD-SE methodology, integrating phases of visualization, conceptualization, definition, monitoring, and evaluation, with an emphasis on risk matrices and comprehensive cost analysis.

Finally, Chapter 6: Strategic Planning. Governing documents from the Mexican energy sector, such as the National Development Plan and the Sectoral Energy Program, among others, were analyzed to contextualize the strategic importance of planning in hydrocarbons.

The approach used describes the comprehensive process of planning and validating directional trajectories in drilling projects, considering quantitative techniques alongside qualitative approaches, ensuring that each stage of design and validation is supported by technical data, best practices, and alignment with national energy policies.

---

---

### Dedicatoria

A mi madre, cuyo amor, esfuerzo y cariño me dieron las herramientas para construir una vida digna.

A mi hermana, por ser mi apoyo constante y demostrarme, con su ejemplo, todo lo que pueden alcanzar el esfuerzo y la disciplina.

A mi abuelo, cuyas enseñanzas me guiaron para convertirme en el hombre que soy hoy.

---

# CONTENIDO

|                                                                              |    |
|------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN.....                                                            | 17 |
| Justificación .....                                                          | 17 |
| Objetivo Principal.....                                                      | 18 |
| Objetivos Secundarios.....                                                   | 18 |
| Hipótesis.....                                                               | 18 |
| Metodología .....                                                            | 19 |
| CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LA PERFORACIÓN DIRECCIONAL.....                  | 20 |
| 1.1 Historia de la Perforación Direccional.....                              | 20 |
| 1.2 Aplicaciones de la Perforación Direccional .....                         | 22 |
| 1.3 Conceptos Básicos Direccionales.....                                     | 28 |
| 1.4 Tipos de Pozos según su Trayectoria.....                                 | 31 |
| 1.4.1 Trayectoria de Pozo Tipo Vertical.....                                 | 32 |
| 1.4.2 Trayectoria de Pozo Tipo J .....                                       | 33 |
| 1.4.3 Trayectoria de Pozo Tipo S .....                                       | 34 |
| 1.4.4 Trayectoria de Pozo Tipo Horizontal.....                               | 35 |
| CAPÍTULO 2. GENERACIÓN DE COORDENADAS OBJETIVO Y SUPERFICIALES .....         | 36 |
| 2.1 Información Requerida para la Generación de la Coordenada Objetivo ..... | 36 |
| 2.2 Modelo de Datos .....                                                    | 37 |
| 2.3 Modelo de Estático .....                                                 | 37 |
| 2.3.1 Modelo Sísmico-Estructural.....                                        | 37 |
| 2.3.2 Modelo Estratigráfico.....                                             | 39 |
| 2.3.3 Modelo Sedimentológico.....                                            | 40 |
| 2.3.4 Modelo Petrofísico .....                                               | 41 |
| 2.3.5 Modelo de Fracturas.....                                               | 41 |
| 2.3.6 Modelo Geomecánico.....                                                | 42 |
| 2.3.7 Modelo Geocelular.....                                                 | 43 |
| 2.4 Modelo de Dinámico.....                                                  | 44 |
| 2.4.1 Flujo de trabajo Caracterización Dinámica de Yacimientos.....          | 44 |
| 2.4.2 Comportamiento de Producción .....                                     | 45 |

---

---

|                                                                                                |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.4.3 Cuerpos Productores.....                                                                 | 46        |
| 2.4.4 Modelado de Fluidos.....                                                                 | 46        |
| 2.4.5 Modelado de Presiones.....                                                               | 47        |
| 2.4.6 Áreas de Drene .....                                                                     | 48        |
| 2.4.7 Pronostico de Producción Ajuste de Declinación.....                                      | 48        |
| <b>CAPÍTULO 3. GENERACIÓN DE PROPUESTAS DE PLANES DIRECCIONALES .....</b>                      | <b>49</b> |
| 3.1 Datos Necesarios para Generar un Plan Direccional.....                                     | 49        |
| 3.1.1 Base de Usuario, Plano Topográfico y Ubicación del Objetivo .....                        | 51        |
| 3.1.2 Datos de la Localización.....                                                            | 52        |
| 3.1.3 Columna Geológica Probable y Características de la Formación.....                        | 53        |
| 3.1.4 Desplazamiento Horizontal de la Trayectoria y Profundidad Vertical del Objetivo<br>..... | 53        |
| 3.1.5 Inicio de la Construcción de Angulo KOP.....                                             | 53        |
| 3.1.6 Severidad .....                                                                          | 54        |
| 3.1.7 Análisis Anticolisión .....                                                              | 54        |
| 3.2 Generación de Propuestas de Planes Direccionales.....                                      | 56        |
| 3.2.1 Ejemplo de un Plan Direccional con una Trayectoria Tipo 'J' .....                        | 59        |
| 3.2.1.1 Primera Sección de la Trayectoria Tipo 'J' .....                                       | 59        |
| 3.2.1.2 Segunda Sección de la Trayectoria Tipo 'J' .....                                       | 59        |
| 3.2.1.3 Tercera Sección de la Trayectoria Tipo 'J' .....                                       | 60        |
| 3.2.1.4 Survey Planeado para la Trayectoria Tipo 'J' .....                                     | 60        |
| 3.2.1.5 Trayectoria Tipo 'J' Graficada .....                                                   | 62        |
| 3.2.1.6 Análisis Anticolisión Tipo 'J' .....                                                   | 63        |
| 3.2.2 Ejemplo de un Plan Direccional con una Trayectoria Tipo 'S' .....                        | 66        |
| 3.2.2.1 Primera Sección de la Trayectoria Tipo 'S' .....                                       | 66        |
| 3.2.2.2 Segunda Sección de la Trayectoria Tipo 'S' .....                                       | 67        |
| 3.2.2.3 Tercera Sección de la Trayectoria Tipo 'S' .....                                       | 67        |
| 3.2.2.4 Cuarta Sección de la Trayectoria Tipo 'S' .....                                        | 67        |
| 3.2.2.5 Quinta Sección de la Trayectoria Tipo 'S' .....                                        | 68        |
| 3.2.2.6 Survey Planeado para la Trayectoria Tipo 'S' .....                                     | 68        |

---

---

|                                                                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.2.2.7 Trayectoria Tipo “S” Graficada.....                                                               | 70        |
| 3.2.2.8 Análisis Anticolisión Tipo ‘S’ .....                                                              | 72        |
| 3.2.3 Ejemplo de un Plan Direccional con una Trayectoria Tipo ‘Horizontal’ .....                          | 75        |
| 3.2.3.1 Primera Sección de la Trayectoria Tipo ‘Horizontal’ .....                                         | 75        |
| 3.2.3.2 Segunda Sección de la Trayectoria Tipo ‘Horizontal’ .....                                         | 76        |
| 3.2.3.3 Tercera Sección de la Trayectoria Tipo ‘Horizontal’ .....                                         | 76        |
| 3.2.3.4 Survey Planeado para la Trayectoria Tipo ‘Horizontal’ .....                                       | 77        |
| 3.2.3.5 Trayectoria Tipo “Horizontal” Graficada.....                                                      | 78        |
| 3.2.3.6 Análisis Anticolisión Tipo ‘Horizontal’ .....                                                     | 79        |
| <b>CAPÍTULO 4. REVISIÓN DE LAS PROPUESTAS DE PLANES DIRECCIONALES .....</b>                               | <b>82</b> |
| 4.1 Recepción del Plan Direccional .....                                                                  | 82        |
| 4.1.1 Revisión Inicial.....                                                                               | 82        |
| 4.1.2 Verificación de Datos .....                                                                         | 85        |
| 4.1.3 Coordinación entre Equipos.....                                                                     | 87        |
| 4.2 Validación Técnica .....                                                                              | 88        |
| 4.2.1 Evaluación de Factibilidad .....                                                                    | 88        |
| 4.2.2 Simulación de la trayectoria .....                                                                  | 89        |
| 4.2.3 Análisis de riesgos .....                                                                           | 90        |
| 4.3 Optimización del Plan .....                                                                           | 92        |
| 4.3.1 Revisión de la Trayectoria.....                                                                     | 92        |
| <b>CAPÍTULO 5. PROCESO DE DOCUMENTACIÓN DEL PLAN DIRECCIONAL MEDIANTE LA<br/>METODOLOGÍA VCD-SE .....</b> | <b>93</b> |
| 5.1 Antecedentes Metodología VCD .....                                                                    | 93        |
| 5.2 Metodología VCDSE .....                                                                               | 94        |
| 5.2.1 Fase de Visualización.....                                                                          | 96        |
| 5.2.1.1 Opciones de Estados Mecánicos Preliminares .....                                                  | 97        |
| 5.2.1.2 Tipos de Terminaciones Consideradas .....                                                         | 98        |
| 5.2.1.3 Matriz de Identificación de Riesgos e Incertidumbres Identificadas en el<br>Proyecto.....         | 99        |
| 5.2.2 Fase de Conceptualización.....                                                                      | 102       |

---

---

|                                                                                                  |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.2.2.1 Selección del Escenario Factible Perforación / Terminación .....                         | 102 |
| 5.2.2.2 Resumen de Geociencias .....                                                             | 104 |
| 5.2.2.3 Programa de Perforación Direccional Preliminar .....                                     | 105 |
| 5.2.2.4 Resumen de Tiempos Optimo y Limite Técnico por Etapa.....                                | 106 |
| 5.2.2.5 Grafica de Avance de Profundidad contra Tiempo.....                                      | 107 |
| 5.2.2.6 Costo Integral.....                                                                      | 108 |
| 5.2.2.7 Evaluación Económica del Escenario Ganador .....                                         | 109 |
| 5.2.3 Fase de Definición .....                                                                   | 111 |
| 5.2.3.1 Especificaciones Técnicas Geociencias .....                                              | 112 |
| 5.2.3.2 Pronósticos de Producción .....                                                          | 113 |
| 5.2.3.3 Estado Mecánico Programado y Tuberías de Revestimiento .....                             | 114 |
| 5.2.3.4 Plan Direccional.....                                                                    | 115 |
| 5.2.3.5 Programa de Cementaciones por Etapas .....                                               | 116 |
| 5.2.3.6 Cronograma de Suministro de Equipos, Materiales y Servicios.....                         | 117 |
| 5.2.3.7 Ingeniería de Detalle de la Terminación .....                                            | 118 |
| 5.2.3.8 Identificación de Riesgos Potenciales.....                                               | 119 |
| 5.2.3.9 Costo Integral del Proyecto .....                                                        | 120 |
| 5.2.4 Fase de Seguimiento .....                                                                  | 122 |
| 5.2.4.1 Datos de Perforación.....                                                                | 123 |
| 5.2.4.2 Estado Mecánico Real .....                                                               | 124 |
| 5.2.4.3 Resumen de la Perforación .....                                                          | 125 |
| 5.2.4.4 Reporte de Cementación por Etapa .....                                                   | 126 |
| 5.2.4.5 Costos Reales Estimados de la Perforación por Etapas .....                               | 127 |
| 5.2.5 Fase de Evaluación .....                                                                   | 129 |
| 5.2.5.1 Objetivos Geológicos de la Perforación.....                                              | 129 |
| 5.2.5.3 Producción Programada contra Real .....                                                  | 131 |
| 5.2.5.4 Cumplimiento de los Perfiles de Geopresiones y de Asentamiento de TR<br>Programados..... | 132 |
| 5.2.5.5 Cumplimiento de los Tiempos.....                                                         | 133 |
| 5.2.5.6 Análisis Comparativo de los Costos Programados contra Reales .....                       | 134 |

---

---

|                                                                                                                                                        |            |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>CAPÍTULO 6. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DEL SECTOR<br/>HIDROCARBUROS COMO EJE CENTRAL DEL DESARROLLO ENERGÉTICO EN MÉXICO .....</b> | <b>136</b> |
| 6.1 Planificación Estratégica Energética.....                                                                                                          | 136        |
| 6.2 Documentos Rectores.....                                                                                                                           | 137        |
| 6.2.1 Plan Nacional de Desarrollo .....                                                                                                                | 137        |
| 6.2.2 Programa Sectorial de Energía .....                                                                                                              | 138        |
| 6.2.3 Plan de Negocios.....                                                                                                                            | 139        |
| 6.2.4 Plan de Desarrollo .....                                                                                                                         | 139        |
| 6.2.5 Plan de Explotación.....                                                                                                                         | 140        |
| 6.3 Oportunidad de Mejora en la Escala de Trabajo .....                                                                                                | 142        |
| <b>Conclusión.....</b>                                                                                                                                 | <b>143</b> |
| <b>Referencias.....</b>                                                                                                                                | <b>145</b> |



---

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1.1 Operación de Reentrada de un pozo Sidetrack.....                                                                                                 | 18 |
| Figura 1.2. Zonas Pobladas e Inaccesibles y Pozo Direccional.....                                                                                           | 19 |
| Figura 1.3 Perforación Direccional en Objetivos Múltiples.....                                                                                              | 20 |
| Figura 1.4 Perforación en Domos Salinos.....                                                                                                                | 21 |
| Figura 1.5 Pozo de Alivio.....                                                                                                                              | 22 |
| Figura 1.6 Pozo Multidireccional .....                                                                                                                      | 23 |
| Figura 1.4.1 Trayectoria Pozo Vertical. ....                                                                                                                | 28 |
| Figura 1.4.2 Trayectoria Pozo Tipo J. ....                                                                                                                  | 29 |
| Figura 1.4.3 Trayectoria Pozo Tipo S. ....                                                                                                                  | 30 |
| Figura 1.4.4 Trayectoria Pozo Tipo Horizontal. ....                                                                                                         | 31 |
| Figura 2.1 Modelo de datos para establecer la Coordenada Objetivo. ....                                                                                     | 32 |
| Figura 2.3.1 Líneas Sísmicas con sus respectivas fallas y estructura del anticlinal interpretadas.<br>.....                                                 | 34 |
| Figura 2.3.1.2 Interpretación Sísmica-Estructural. ....                                                                                                     | 34 |
| Figura 2.3.2 Columna Estratigráfica de Tampico-Misantla. ....                                                                                               | 35 |
| Figura 2.3.3 Modelo Sedimentario. ....                                                                                                                      | 36 |
| Figura 2.3.4 Evaluación del Modelo Petrofísico, resultado de núcleos.....                                                                                   | 37 |
| Figura 2.3.5 Perfil de Geopresiones. ....                                                                                                                   | 38 |
| Figura 2.3.6 Modelo Geocelular, con los limites definidos y la integración de los submodelos.<br>.....                                                      | 39 |
| Figura. 2.4.1 Flujo de Trabajo Caracterización Dinámica. ....                                                                                               | 40 |
| Figura. 2.4.2 Comportamiento de Producción de los Cuerpos de Interés. ....                                                                                  | 41 |
| Figura. 2.4.2.1 Comportamiento de Producción del Cuerpo C-10, ya que es el intervalo que<br>ha presentado mayor producción en comparación a los demás. .... | 41 |
| Figura. 2.4.3 Tabla comparativa de los Cuerpos de Productores. ....                                                                                         | 42 |
| Figura. 2.4.4 Características principales del Fluido. ....                                                                                                  | 42 |

---

---

|                                                                                                                                                                               |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura. 2.4.5 Comportamiento de Presión, en azul se encuentran resaltados los pozos análogos que se utilizaron de Referencia. ....                                            | 43 |
| Figura. 2.4.5.1 Relación Presión-Producción Acumulada. ....                                                                                                                   | 43 |
| Figura. 2.4.6 Áreas de Drene. ....                                                                                                                                            | 44 |
| Figura. 2.4.7 Pronostico de Producción, gasto de aceite contra tiempo. ....                                                                                                   | 44 |
| Figura 3.1 Flujo de Trabajo para la Generación de un Plan Direccional. ....                                                                                                   | 46 |
| Figura 3.2 Plano Topográfico de la Localización. ....                                                                                                                         | 53 |
| Figura 3.3 Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. ....                                                                                                                           | 57 |
| Figura 3.4 Vista de Araña de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. ....                                                                                                      | 58 |
| Figura 3.5 Análisis Centro a Centro de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. ....                                                                                            | 59 |
| Figura 3.6 Factor de Separación de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. ....                                                                                                | 59 |
| Figura 3.7 Vista 3D Araña trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. ....                                                                                                            | 60 |
| Figura 3.8 Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'. ....                                                                                                                           | 65 |
| Figura 3.9 Vista de Araña de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'. ....                                                                                                      | 67 |
| Figura 3.10 Análisis Centro a Centro de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'. ....                                                                                           | 68 |
| Figura 3.11 Factor de Separación de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'. ....                                                                                               | 68 |
| Figura 3.12 Vista 3D Araña trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'. ....                                                                                                           | 69 |
| Figura 3.13 Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'. ....                                                                                                                 | 73 |
| Figura 3.14 Vista de Araña de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'. ....                                                                                            | 74 |
| Figura 3.15 Análisis Centro a Centro de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'. ....                                                                                  | 75 |
| Figura 3.16 Factor de Separación de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'. ....                                                                                      | 75 |
| Figura 3.17 Vista 3D Araña trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'. ....                                                                                                  | 76 |
| Figura 4.1 Sección Sísmica en tiempo, Registros y Cuerpos de Interés localización PUMA-1663. ....                                                                             | 80 |
| Figura 4.2 Visualización 3D de la estructura del yacimiento del Campo PUMA-1663, donde se muestra la estrategia en el diseño de trayectorias para ubicar la perforación. .... | 84 |
| Figura 4.3 Matriz de Evaluación de Riesgos. ....                                                                                                                              | 85 |
| Figura 4.4 Flujo de Trabajo de la Revisión de las Propuestas de Planes Direccionales. ....                                                                                    | 86 |

---

---

---

|                                                                                                                   |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figura 5.1 Elementos del VCDSE. ....                                                                              | 88  |
| Figura 5.2 Escenarios de Diseño de Estados Mecánicos Preliminares. ....                                           | 91  |
| Figura 5.3 Escenarios de Terminaciones Preliminares. ....                                                         | 92  |
| Figura 5.4 Matriz de riesgos de la perforación en cada escenario. ....                                            | 93  |
| Figura 5.5 Matriz de Identificación de Riesgos de las Opciones de Diseño de Terminación para cada Escenario. .... | 94  |
| Figura 5.6 Fase de Visualización. ....                                                                            | 95  |
| Figura 5.7 Estado Mecánico propuesto con contingencias.....                                                       | 99  |
| Figura 5.8 Fase de Conceptualización.....                                                                         | 104 |
| Figura 5.9 Estado Mecánico Programado anexando tabla de Objetivo por Etapa de Tuberías de Revestimiento. ....     | 108 |
| Figura 5.10 Diagrama del Cabezal y Medio Árbol de Válvulas.....                                                   | 111 |
| Figura 5.11 Estado Mecánico de la Terminación Programada.....                                                     | 112 |
| Figura 5.12 Fase de Definición.....                                                                               | 115 |
| Figura 5.13 Estado Mecánico Real.....                                                                             | 118 |
| Figura 5.14 Fase de Seguimiento.....                                                                              | 122 |
| Figura 5.15 Estado Mecánico Programado contra Real de la Perforación. ....                                        | 124 |
| Figura 5.16 Modelo Geomecánico y Asentamiento de TR's Real contra Programado.....                                 | 126 |
| Figura 5.17 Avance Diario de Operaciones Programado contra Real.....                                              | 127 |
| Figura 5.18 Fase de Evaluación.....                                                                               | 129 |
| Figura 6.1 Documentos Rectores.....                                                                               | 135 |

---

---

---

## LISTA DE TABLAS

|                                                                                                  |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 3.1 Ficha de Identificación del Pozo.....                                                  | 52 |
| Tabla 3.2 Ubicación, Coordenadas y Especificaciones del Terreno.....                             | 52 |
| Tabla 3.3 Columna Geológica Probable. ....                                                       | 53 |
| Tabla 3.4 Profundidad de los Objetivos de la Trayectoria Pozo Tipo 'J' .....                     | 54 |
| Tabla 3.5 Primera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'J' .....                                  | 54 |
| Tabla 3.6 Segunda Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'J' .....                                  | 55 |
| Tabla 3.7 Tercera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'J' .....                                  | 55 |
| Tabla 3.8 Survey Planeado de la Trayectoria Pozo Tipo 'J' .....                                  | 56 |
| Tabla 3.9 Profundidad de los Objetivos de la Trayectoria Pozo Tipo 'S' .....                     | 61 |
| Tabla 3.10 Primera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S' .....                                 | 61 |
| Tabla 3.11 Segunda Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S' .....                                 | 62 |
| Tabla 3.12 Tercera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S' .....                                 | 62 |
| Tabla 3.13 Cuarta Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S' .....                                  | 63 |
| Tabla 3.14 Quinta Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S' .....                                  | 63 |
| Tabla 3.15 Survey Planeado de la Trayectoria Pozo Tipo 'S' .....                                 | 64 |
| Tabla 3.16 Profundidad de los Objetivos de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal' .....           | 70 |
| Tabla 3.17 Primera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal' .....                        | 70 |
| Tabla 3.18 Segunda Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal' .....                        | 71 |
| Tabla 3.19 Tercera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal' .....                        | 71 |
| Tabla 3.20 Survey Planeado de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal' .....                        | 72 |
| Tabla 4.1 Columna Geológica, Profundidad, Espesor, Inclinación y Azimuth Tipo 'J' .....          | 78 |
| Tabla 4.2 Columna Geológica, Profundidad, Espesor, Inclinación y Azimuth Tipo 'S' .....          | 78 |
| Tabla 4.3 Columna Geológica, Profundidad, Espesor, Inclinación y Azimuth Tipo 'Horizontal' ..... | 79 |
| Tabla 5.1 Columna geológica probable para el Proyecto. ....                                      | 97 |

---

---

---

|                                                                                            |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tabla 5.2 Columna geológica probable para el Proyecto (Ejemplo del Plan direccional) ..... | 98  |
| Tabla 5.3 Estado Mecánico propuesto con contingencias. ....                                | 100 |
| Tabla 5.4 Costo Integral de la Perforación.....                                            | 102 |
| Tabla 5.5 Costo Integral de la Terminación. ....                                           | 102 |
| Tabla 5.6 Premisas Económicas del Escenario Ganador. ....                                  | 103 |
| Tabla 5.7 Profundidad Programada.....                                                      | 106 |
| Tabla 5.8 Profundidad y Coordenadas de los Objetivo.....                                   | 106 |
| Tabla 5.9 Producción estimada para el pozo UNAM.....                                       | 107 |
| Tabla 5.10 Resumen de Puntos Relevantes de la Trayectoria del Proyecto.....                | 109 |
| Tabla 5.11 Resumen de Puntos Relevantes de la Trayectoria del Proyecto.....                | 110 |
| Tabla 5.12 Identificación de Riesgos Potenciales por Etapa.....                            | 113 |
| Tabla 5.13 Costo Total del Proyecto.....                                                   | 114 |
| Tabla 5.14 Datos de Perforación del Pozo.....                                              | 117 |
| Tabla 5.15 Resumen de Puntos Relevantes de la Trayectoria del Pozo.....                    | 119 |
| Tabla 5.16 Resumen de Cementaciones.....                                                   | 120 |
| Tabla 5.17 Costo Directo Real por Etapa.....                                               | 121 |
| Tabla 5.18 Objetivos de la Perforación.....                                                | 123 |
| Tabla 5.19 Producción Programada contra Real para el Pozo UNAM.....                        | 125 |
| Tabla 5.20 Costo Directo por Etapa Programado contra Real.....                             | 120 |

---

---

---

## INTRODUCCIÓN

La industria petrolera en México enfrenta desafíos históricos derivados de factores internos y externos que han limitado su crecimiento operativo y administrativo. A pesar de su potencial, la escasez de recursos, la falta de infraestructura moderna y las condiciones geológicas complejas han restringido el desarrollo de nuevos prospectos, impactando la eficiencia productiva y el crecimiento económico nacional. En este contexto, los proyectos de perforación actuales deben operar en localizaciones con alta densidad de pozos existentes, lo que exige el diseño de trayectorias direccionales precisas como pozos de alto ángulo y alcance. Para evitar colisiones, maximizar la recuperación de hidrocarburos y reducir costos. Esta tesis aborda la importancia de la planeación estratégica y la validación técnica en este escenario, integrando herramientas multidisciplinarias para garantizar operaciones seguras y eficientes.

### Justificación

La perforación direccional se ha convertido en una solución indispensable ante las limitaciones de la perforación vertical convencional, especialmente en áreas con infraestructura saturada o restricciones geográficas. Sin embargo, su implementación requiere una integración rigurosa de datos geológicos, operativos y tecnológicos, así como la colaboración entre disciplinas como geociencias, ingeniería de yacimientos y perforación. La falta de metodologías estandarizadas para diseñar y validar trayectorias incrementa riesgos como colisiones entre pozos, desviaciones no planificadas o costos operativos elevados. Esta investigación se justifica al proponer un marco estructurado que optimice la toma de decisiones, reduzca incertidumbres y contribuya a la sostenibilidad del sector energético mexicano, alineado con políticas nacionales como el Plan Nacional de Desarrollo y el Programa Sectorial de Energía.

---

## Objetivo Principal

Demostrar el proceso integral de planeación y validación de trayectorias direccionales en proyectos de perforación terrestre, mediante la integración de documentación técnica, modelos predictivos y trabajo multidisciplinario, para optimizar la operación y garantizar el éxito técnico-económico bajo los retos actuales de la industria.

## Objetivos Secundarios

1. Integrar datos geológicos, geofísicos y operativos para diseñar trayectorias seguras y eficientes en ambientes con alta densidad de pozos.
2. Implementar metodologías anticolidión mediante análisis de proximidad, simulación de trayectorias y herramientas de modelado 3D.
3. Validar las propuestas de trayectorias utilizando modelos estáticos (sísmicos, estratigráficos) y dinámicos (flujo de fluidos, pronósticos de producción).
4. Documentar el proceso bajo la metodología VCD-SE (Visualización, Conceptualización, Definición, Seguimiento, Evaluación) para estandarizar prácticas y reducir riesgos.

## Hipótesis

La aplicación de un enfoque multidisciplinario en la planeación y validación de trayectorias direccionales, sustentado en modelos, herramientas de simulación y protocolos anticolidión, permitirá optimizar la perforación en áreas complejas, reducir costos operativos y mitigar riesgos técnicos, asegurando así la viabilidad de proyectos petroleros en México.

---

## Metodología

El trabajo se estructuró en seis etapas clave:

1. **Revisión histórica y teórica** (Capítulo 1): Análisis de antecedentes técnicos e históricos sobre casos de estudio de la perforación direccional.
2. **Modelado Geociencias** (Capítulo 2): Generación de coordenadas objetivo a partir de modelos estáticos, sísmicos, estratigráficos y dinámicos flujo de fluidos, presión de yacimientos entre otros.
3. **Diseño de trayectorias** (Capítulo 3): Creación de perfiles tipo "J", "S" y "Horizontal" mediante herramientas de simulación direccional, considerando datos topográficos, columnas litológicas y análisis de severidad.
4. **Validación técnica** (Capítulo 4): Evaluación de factibilidad operativa mediante simulación de trayectorias, análisis de riesgos y coordinación interdisciplinaria.
5. **Documentación VCD-SE** (Capítulo 5): Implementación de la metodología para estandarizar procesos, incluyendo matrices de riesgo, cronogramas y costos integrales.
6. **Contextualización estratégica** (Capítulo 6): Análisis de documentos rectores del sector energético mexicano para alinear el proyecto con políticas nacionales.



---

# CAPÍTULO 1. ANTECEDENTES DE LA PERFORACIÓN DIRECCIONAL

## 1.1 Historia de la Perforación Direccional

Durante el siglo XIX se perforaron una gran cantidad de pozos petroleros, los cuales en su mayoría se suponía que eran pozos verticales, sin embargo en ese momento los perforadores no disponían de un método con cual pudieran medir la inclinación o dirección en la cual se dirigía el pozo, habían estado perforando sin tener conocimiento de ellos, llegando a tener pozos de hasta más de 50° de inclinación debido a causas como los esfuerzos de la formación, su dureza, el peso sobre la barrena, fallas, etc. Las cuales cambiaron el resultado de los procesos de ese momento.<sup>1</sup>

La perforación direccional se desarrolló por primera vez en California, Estados Unidos, en el año de 1930 el cual se utilizó para iniciar la explotación de un campo marino. Posterior en el año de 1934 se tuvo la necesidad de realizar una perforación direccional para realizar un pozo de alivio, con el objetivo de controlar el reventón de un pozo, en Texas, Estados Unidos.<sup>2</sup>

Desde entonces se comenzó a usar diseños de aparejé de fondo compuestos con lastra barrenas para peso y rigidez, con estabilizadores ubicados para proporcionar control de la inclinación durante la perforación, sin embargo, se tenía poco control en la generación de la severidad requerida.

---

<sup>1</sup> UPMP-Pemex, *Cien años de la perforación en México*, Capítulo IX, 2001.

<sup>2</sup> Ídem

---

---

---

En 1970 las herramientas magnéticas direccionales también comenzaron a ser utilizadas para medir la dirección, desvió y la recolección de datos direccionales del fondo del pozo en tiempo real.<sup>3</sup>

Al principio de los años 80 las herramientas MWD comenzaron a ser de uso común por su mayor precisión y se han seguido usando hasta la actualidad, las cuales otorgan diversos beneficios como la evaluación en tiempo real de la trayectoria, permitiendo tener mayor control del Dogleg, su severidad y en la desviación de la trayectoria. Las diferentes causas y aplicaciones desde sus inicios de esta técnica, ha hecho que se desarrolle significativamente hasta la actualidad.<sup>4</sup>

---

<sup>3</sup> Ibidem

<sup>4</sup> Baker Hughes, *Manual de ingeniería*, 1998.

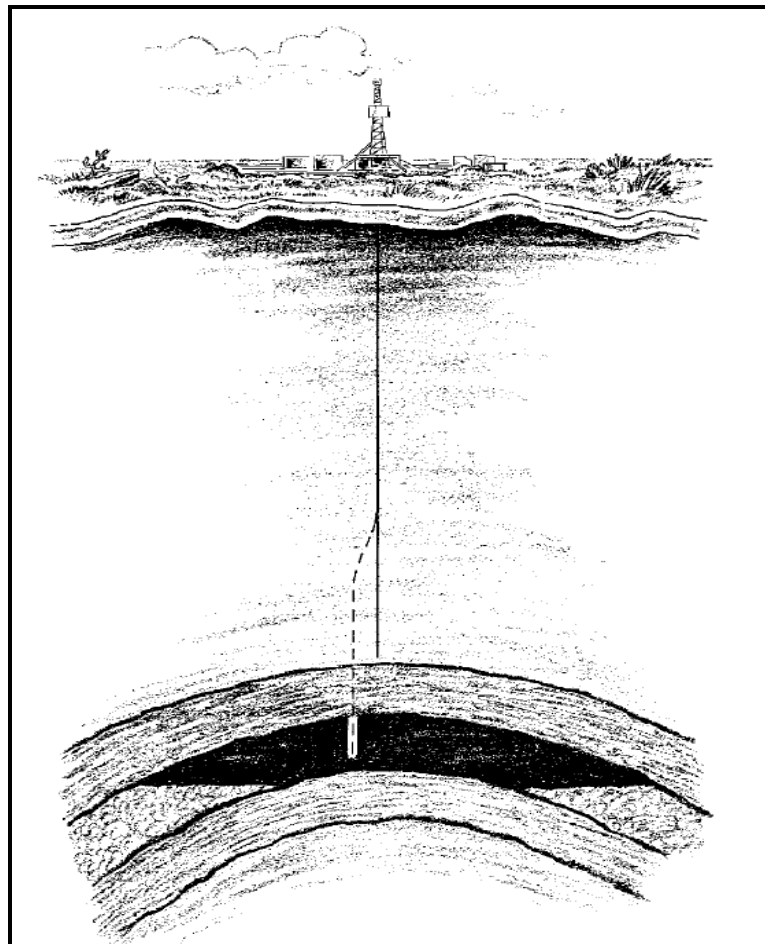
---

---

## 1.2 Aplicaciones de la Perforación Direccional

La perforación direccional posee distintas aplicaciones para casos en los cuales la perforación vertical convencional queda superada por una amplia gama de condicionantes. A continuación, se mencionarán algunas de las principales causas y aplicaciones de la perforación direccional, las cuales son:

**Operaciones de reentrada (Sidetrack):** Es la acción de desviar un pozo para iniciar uno nuevo por encima de la parte ya perforada del pozo<sup>5</sup>. Como se muestra en la siguiente figura 1.1.



**Figura 1.1** Operación de Reentrada de un pozo Sidetrack (PetroAcademy, 2018).

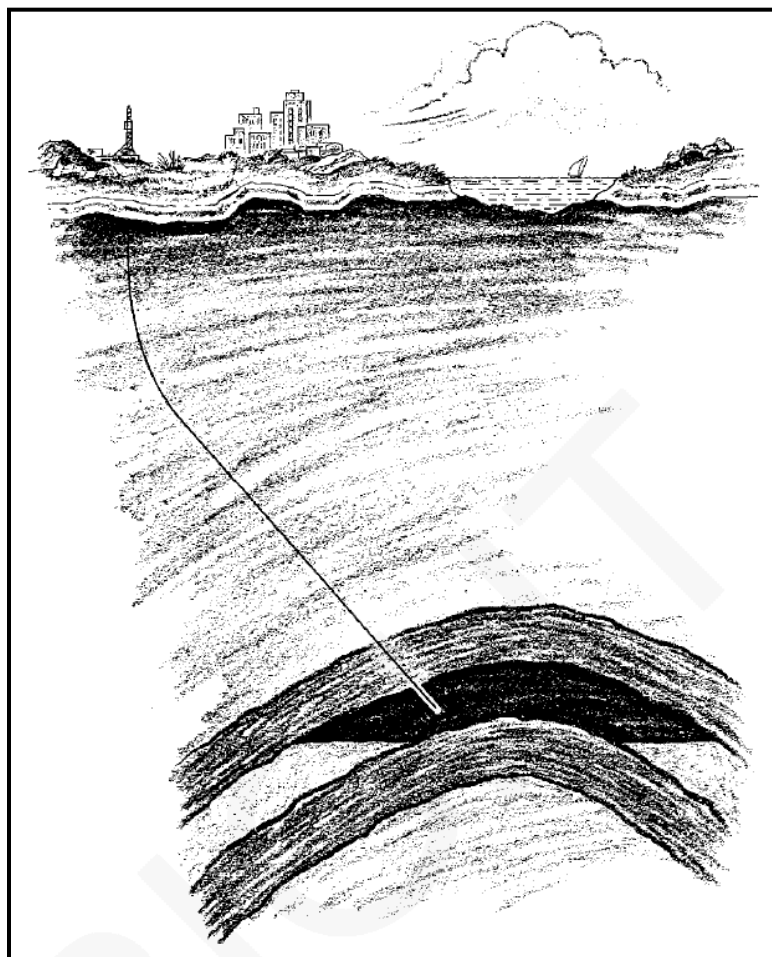
---

<sup>5</sup> Richard S. Carden. Horizontal and Directional Drilling Manual. Petro Skills (2007).

---

---

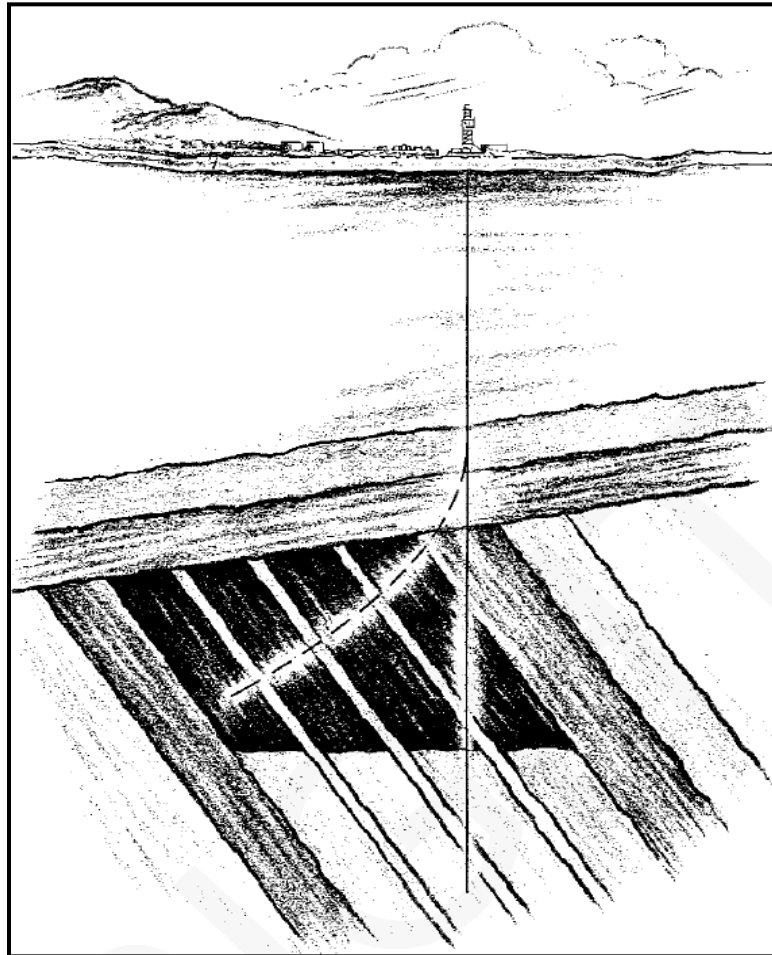
**Evitar Zonas Pobladas e inaccesibles:** Este caso aplica cuando la zona objetivo se encuentra verticalmente debajo de zonas residenciales, ríos, montañas, puertos, carreteras, ciudades, u otras instalaciones fijas. La cuales no permitirán ubicarse el equipo y los aditamentos necesarios en la superficie, por lo tanto, se tiene que desplazar el punto más cercano para alcanzar el objetivo con una perforación direccional Figura 1.2.



**Figura 1.2** Zonas Pobladas e Inaccesibles y Pozo Direccional (PetroAcademy, 2018).

---

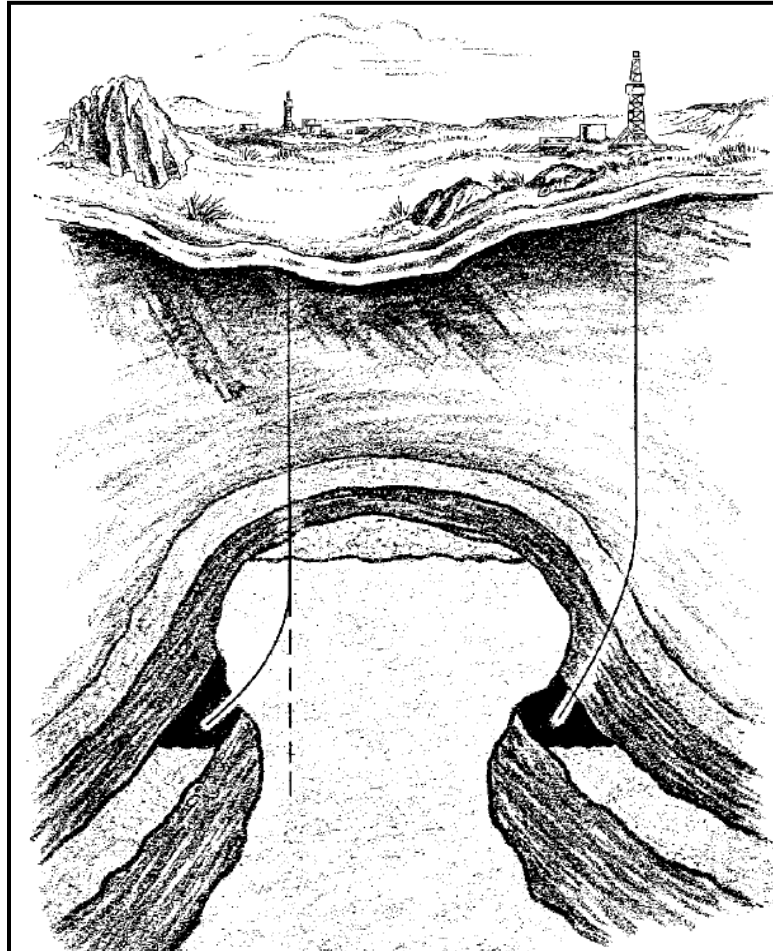
**Perforación de objetivos múltiples:** Se utiliza cuando se identifican varios objetivos con potencial, pero no pueden ser perforados de manera vertical, por lo tanto, se tiene que perforar a través del primer objetivo para posteriormente alterar la dirección del pozo ya desarrollado para llegar al siguiente objetivo. Un ejemplo emblemático es la perforación en campos maduros, donde pozos existentes se reorientan para acceder a yacimientos adyacentes no explotados. Esta metodología también es crítica en yacimientos no convencionales, donde la navegación horizontal dentro de la zona de interés optimiza el contacto con fracturas naturales o inducidas.



**Figura 1.3** Perforación Direccional en Objetivos Múltiples (PetroAcademy, 2018).

---

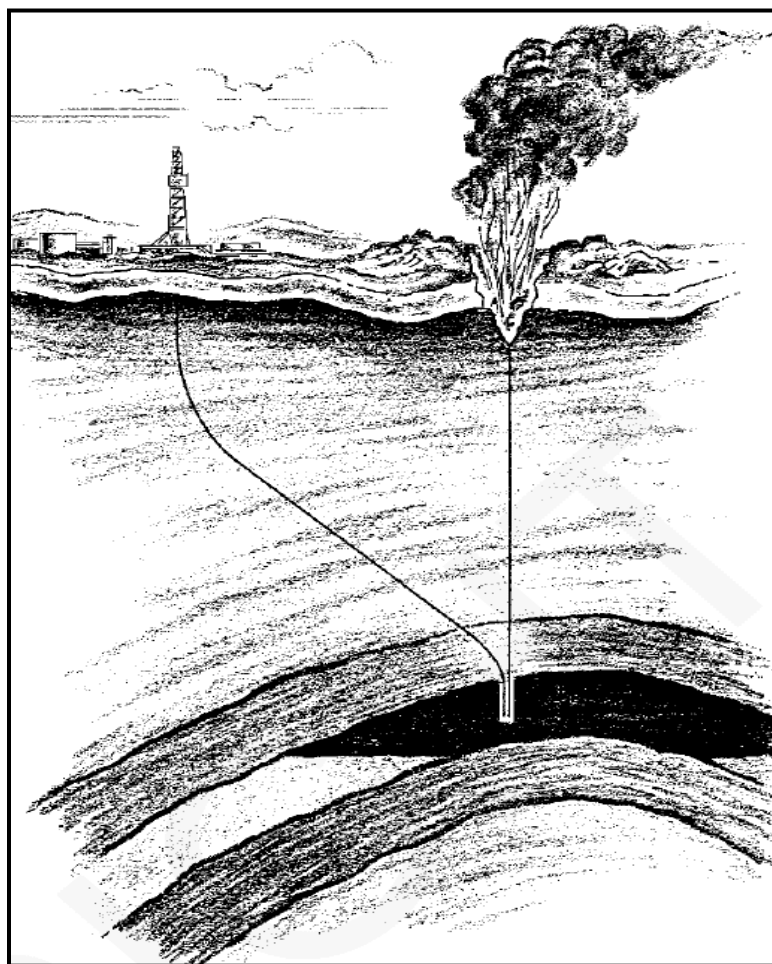
**Perforación en presencia de domos salinos:** Se puede perforar a través formaciones de sal, que pueden generar inestabilidad mecánica y presiones anómalas. La opción de perforar a través del domo aprovecha su capacidad como sello natural de trampas petroleras, pero exige revestimientos especiales y lodos de alta densidad para contrarrestar el flujo plástico de la sal, como se observa en la Figura 1.4.



**Figura 1.4** Perforación en Domos Salinos (PetroAcademy, 2018).

---

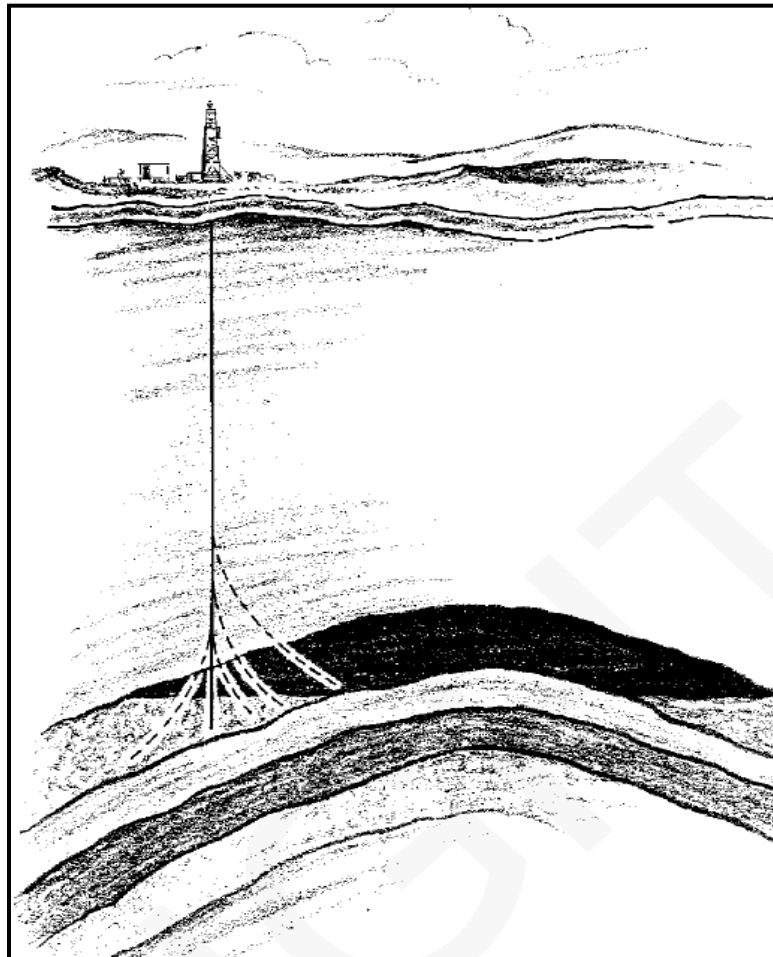
**Perforación de Pozos de alivio:** Si un pozo presenta un problema como un reventón y ya no se puede controlar o acceder desde la superficie, se perfora un pozo de alivio para interceptar la trayectoria del pozo descontrolado. Este pozo permite bombear fluidos de control directamente hacia el fondo del pozo afectado. La técnica requiere una planeación precisa y el uso de herramientas direccionales especializadas. Su ejecución es crítica para contener el incidente y minimizar riesgos ambientales y operativos, como se muestra en la Figura 1.5.



**Figura 1.5** Pozo de Alivio (PetroAcademy, 2018).

---

**Pozo Multidireccional:** Esta aplica cuando se requiere generar múltiples desvíos perforados desde un único pozo. Esta técnica permite optimizar los recursos al aprovechar una sola locación superficial. Es común en yacimientos donde se busca maximizar el contacto con la formación desde diferentes ángulos. Además, reduce el impacto ambiental y los costos asociados a la construcción de múltiples localizaciones. como se ve en la Figura 1.6.



**Figura 1.6** Pozo Multidireccional (PetroAcademy, 2018).



---

### 1.3 Conceptos Básicos Direccionales

**Profundidad Desarrollada (MD):** Es la distancia medida a lo largo de la trayectoria real del pozo, desde el punto de referencia en la superficie, hasta la profundidad total de la trayectoria, contabilizando todo el recorrido no importando la desviación o inclinación.<sup>6</sup>

**Profundidad Vertical Verdadera (TVD):** Es la distancia vertical desde el nivel de referencia superficial, hasta un punto en la profundidad de la trayectoria del pozo, solo tomando en cuenta el recorrido vertical.

**Desplazamiento Horizontal (DH):** Es la distancia total y lineal, en el plano horizontal, de la profundidad del pozo vertical al objetivo del mismo.

**Pata de perro (Dog Leg):** Es la curvatura total del pozo (la combinación de cambios en inclinación y dirección) entre una estación de registro direccional. <sup>7</sup>La pata de perro se mide en grados.

**Severidad:** Severidad, es la magnitud, referida a un intervalo estándar (por convención se ha establecido de 100 pies o 30 metros). La severidad se reporta en grados por cada 100 pies o grados por cada 30 metros.<sup>8</sup>

**Nivel del mar:** Nivel del mar, es la referencia vertical con referencia al nivel del mar.

**Desplazamiento Horizontal (DH):** El desplazamiento horizontal es básicamente la distancia horizontal que hay del punto final de la profundidad vertical verdadera con el final de la construcción de la trayectoria.

**Kick off Point (KOP):** Traducido al español como punto de arranque, pero mejor conocido como punto de inicio de la construcción, es el punto donde comenzaran

---

<sup>6</sup> IMP-Pemex, Conocimientos Básicos, (2003).

<sup>7</sup> IMP-Pemex, Especialidad en Ingeniería Petrolera: Tema 6, (2013).

<sup>8</sup> Ídem

---

---

---

las operaciones de direccionamiento, incrementando el ángulo de inclinación de manera planeada, para construir el perfil de desviación de nuestro pozo orientado a la trayectoria diseñada.

**End of Construcción (EOC):** Traducido al español como fin de la construcción, es el punto preciso en donde se finalizará la sección de incremento del ángulo.

**DROP:** Traducido al español como caída, es el punto en donde finalizara la sección de decremento del ángulo.

**Inclinación:** Definido como el ángulo en el cual el pozo se desvía de la vertical.

**Ángulo:** Conjunto de puntos determinados por 2 semirrectas, con un punto extremo en común llamado vértice.

**Sistema de Coordenadas:** En un sistema de Coordenadas rectangulares o Cartesiano se puede localizar un punto con una sola pareja de puntos (x, y) estos valores son las distancias dirigidas, partiendo del origen, desde los ejes respectivamente.

**Norte Verdadero (Dirección al polo Norte Geográfico):** Es uno de los dos lugares de la superficie de un planeta coincidente con el eje de rotación; es opuesto al Polo Sur.

**Norte Magnético (Dirección al polo Norte Magnético):** El norte magnético es la dirección que señala la del polo norte magnético, dirección que no coincide con la del Polo Norte geográfico, excepto en los puntos del hemisferio norte situados en el mismo meridiano que el norte magnético. La Tierra genera un campo magnético que se llama campo geomagnético o campo magnético terrestre.<sup>9</sup>

**Declinación Magnética:** La diferencia de ángulo entre uno y otro es la llamada declinación. La declinación varía entre 0 y 30 grados en la mayoría de las áreas

---

<sup>9</sup> Mitchell, J. Perforando sin problemas, (2008).

---

---

---

pobladas del mundo. Esta declinación puede tener unas sutiles variaciones con el tiempo por variaciones del ángulo de la tierra.<sup>10</sup>

**Azimut:** Es el ángulo en grados medido en el plano de un pozo y un Norte verdadero, la medición de dicho ángulo se realiza en sentido horario, con un compás magnético. Se hace uso de un ángulo de Azimut predefinido para el cálculo de una sección vertical, esto con el fin de conocer la dirección de la trayectoria en una vista de planta.<sup>11</sup>

**Sistemas de Coordenadas Geográficas:** Es la relación con la red geográfica trazada que forman los paralelos y meridianos, con el objetivo de definir las coordenadas geográficas que permiten ubicar con precisión, un punto específico en la superficie terrestre.

**Coordenadas UTM:** Es un sistema para la ubicación de puntos geográficos, el cual, a través del sistema de coordenadas geográfico, traducirá sus unidades, dividiendo al planeta en numerosas zonas, obteniendo coordenadas las cuales estarán representadas con metros a nivel del mar, que es la base del sistema de referencia. Es parte de los diversos métodos para la ubicación de un punto en específico sobre la superficie, diferenciado por el punto de referencia que tomara para realizar el cálculo de la localización.

---

<sup>10</sup> Ídem

<sup>11</sup> Instituto Politécnico Nacional, Planimetría aplicada: Rumbos y azimuts. (2007).

---

---

## 1.4 Tipos de Pozos según su Trayectoria

Los pozos se clasifican de dos formas: por su trayectoria y por su función operativa. En este apartado, nos enfocaremos en la primera clasificación y describiremos los diferentes tipos de trayectorias de pozos.

La perforación direccional es el proceso de dirigir el pozo a lo largo de una trayectoria específica hacia un objetivo determinado. Este proceso mantiene las características del pozo dentro de límites prescritos, definidos por varios parámetros direccionales.

Esta técnica ha demostrado ser crucial para optimizar las operaciones de perforación. Permitiendo alcanzar objetivos que no son accesibles mediante procesos convencionales ubicados bajo obstáculos naturales o artificiales, o aquellos extendidos horizontalmente. Esto maximiza la recuperación de hidrocarburos en diferentes tipos de yacimientos, lo que a su vez mejora la eficiencia del proyecto.

Además, contribuye a reducir el impacto ambiental, ya que se puede acceder a varios puntos de un yacimiento desde un solo pozo de superficie, disminuyendo así la necesidad de múltiples perforaciones y minimizando la perturbación del terreno.

En términos operativos, la implementación de técnicas de perforación direccional permite una mayor flexibilidad y control sobre el proceso, mejorando la precisión con la que se puede alcanzar el objetivo deseado. Esto es especialmente importante en yacimientos complejos donde la trayectoria del pozo debe ser ajustada en tiempo real para sortear formaciones geológicas.

Los distintos tipos de trayectorias no solo optimizan la recuperación de recursos y mejoran la eficiencia operativa, sino que también juegan un papel crucial en la implementación para un proceso óptimo. A continuación, se describirán de manera general los distintos tipos de trayectorias de pozos.

---

---

#### 1.4.1 Trayectoria de Pozo Tipo Vertical

Un pozo vertical, es aquel donde no hay variaciones en inclinación y en azimut, en otras palabras, se puede definir que la inclinación del pozo es cero, así como su desplazamiento de este también es cero. Las coordenadas de superficie son igual a las coordenadas del objetivo, en cualquier punto de su trayectoria<sup>12</sup>, lo único que se varía en cuanto a las coordenadas sería la profundidad de estas.

#### Trayectoria para un Pozo Vertical

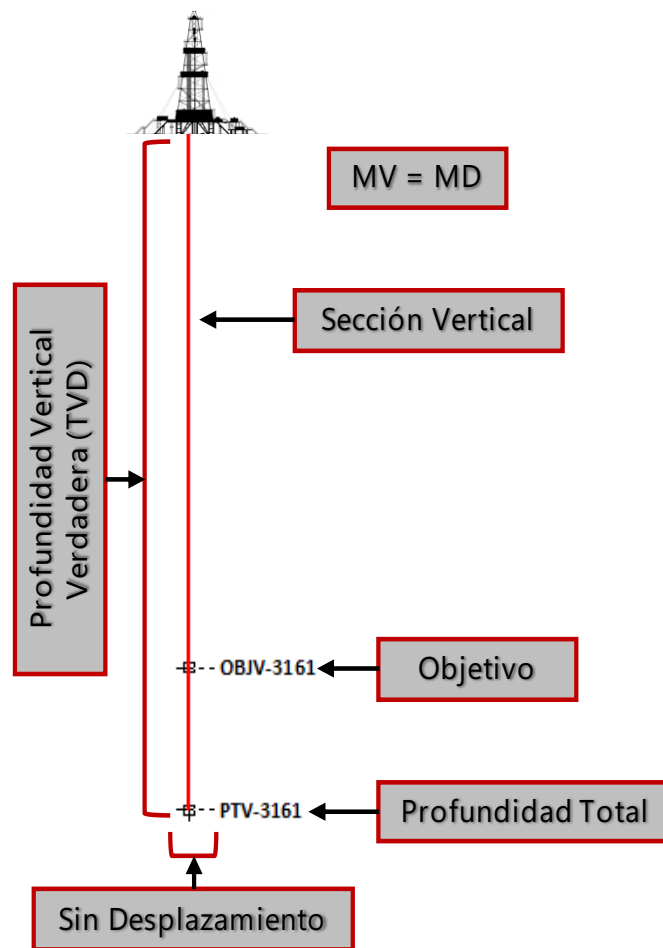


Figura 1.4.1 Trayectoria Pozo Vertical. (Fuente: Elaboración Propia)

---

<sup>12</sup> Pemex. Guía práctica para el diseño de la perforación direccional y control de la desviación. (2003).

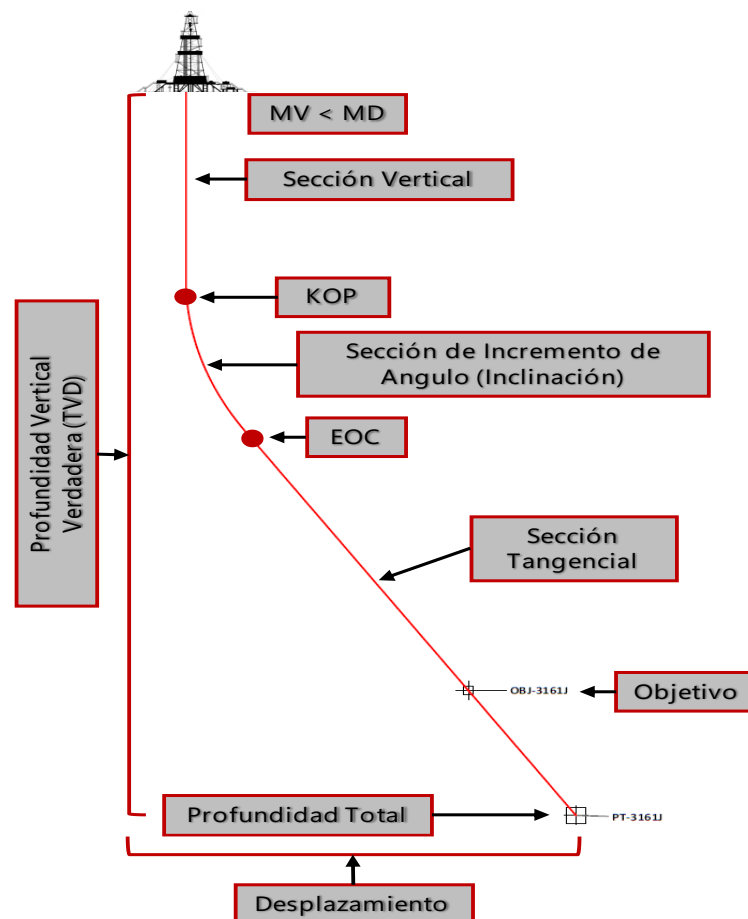
---

#### 1.4.2 Trayectoria de Pozo Tipo J

La trayectoria del pozo llamada a menudo de incrementar y mantener o tipo "J" como se observa en la figura, se realiza perforando verticalmente desde la superficie hasta el punto de inicio de la construcción KOP, el cual estará a una profundidad establecida dependiendo de las características del diseño de la trayectoria, a partir de ese punto se desviará constantemente hasta alcanzar el ángulo máximo y la dirección deseada. Posteriormente se mantiene el ángulo y la dirección que se ha establecido la cual se mantendrá a lo largo de la perforación de manera tangencial hasta llegar al objetivo.

Posteriormente se mantiene el ángulo y la dirección que se ha establecido la cual se mantendrá a lo largo de la perforación de manera tangencial hasta llegar al objetivo.

**Trayectoria para un Pozo Tipo "J"**

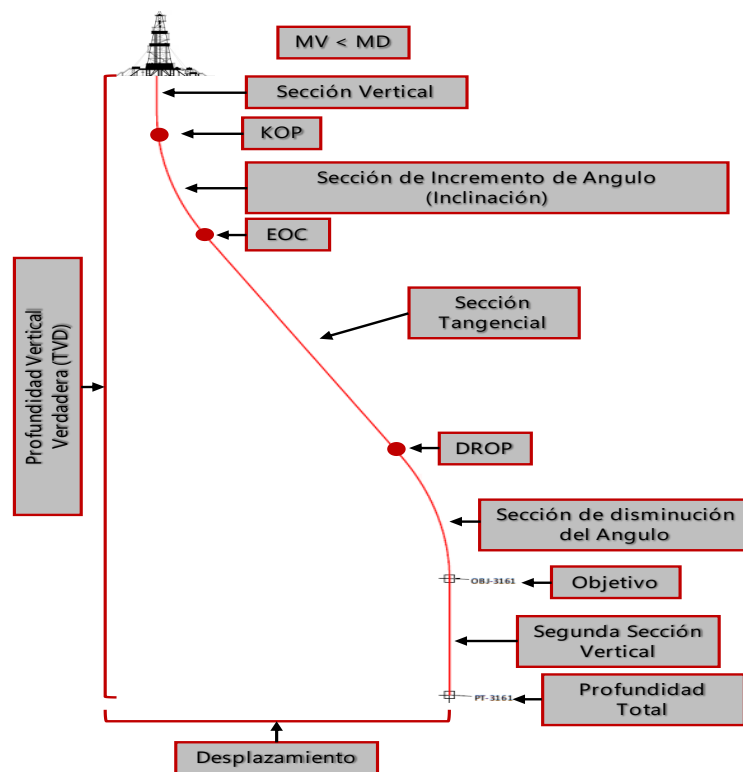


**Figura 1.4.2 Trayectoria Pozo Tipo J. (Fuente: Elaboración Propia)**

### 1.4.3 Trayectoria de Pozo Tipo S

Esta trayectoria se le conoce como tipo "S", al igual que las trayectorias anteriores esta inicia con una perforación vertical hasta llegar al primer punto de inicio de la construcción del ángulo KOP a una profundidad especificada, a partir de este punto la inclinación se incrementará hasta llegar al ángulo planeado, alcanzando el término de la construcción EOC<sup>13</sup>. Posteriormente el ángulo y la dirección se mantendrán, hasta la profundidad especificada y de la misma forma hasta alcanzar el desplazamiento horizontal deseado, una vez que se llega a esta profundidad especificada se realiza una deconstrucción del ángulo DROP, a partir de este segundo punto se comenzara a disminuir el ángulo hasta volver a tener una trayectoria vertical, manteniéndola hasta la profundidad total.

**Trayectoria para un Pozo Tipo "S"**

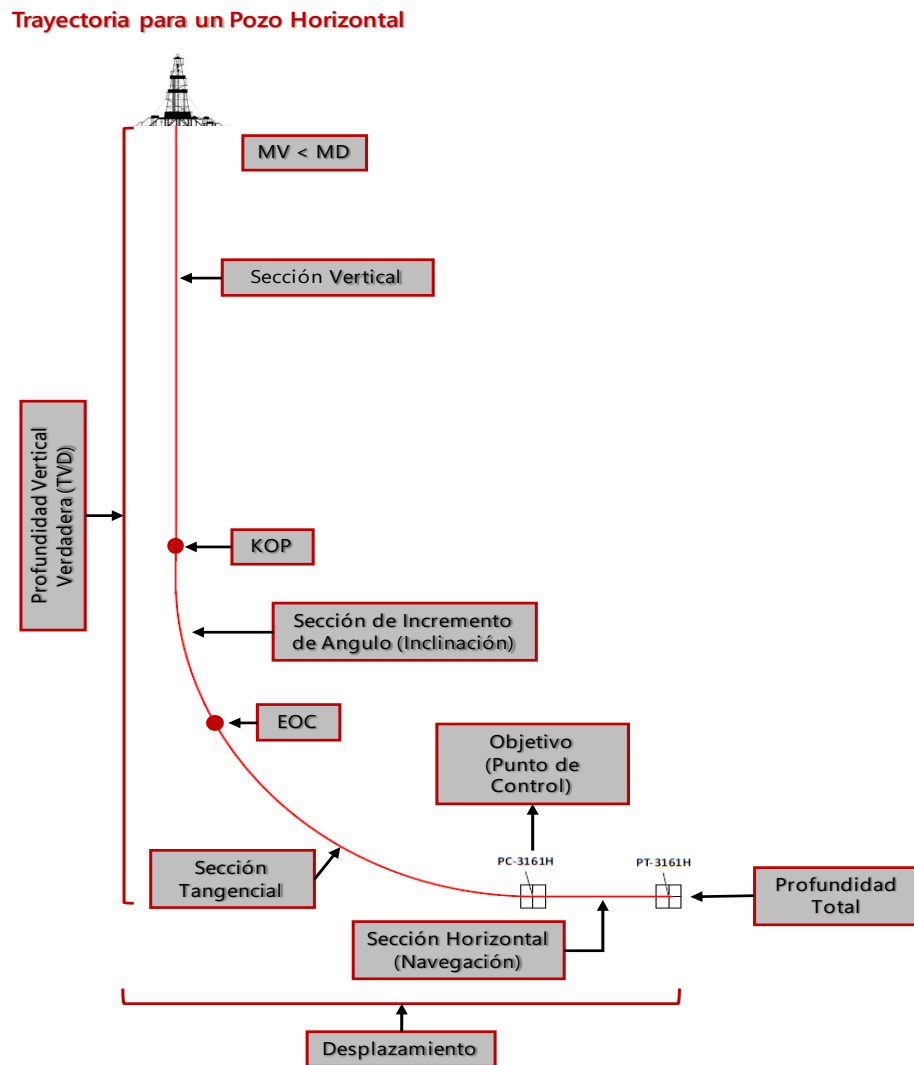


<sup>13</sup> Ídem

**Figura 1.4.3 Trayectoria Pozo Tipo S. (Fuente: Elaboración Propia)**

#### 1.4.4 Trayectoria de Pozo Tipo Horizontal

Los pozos horizontales tienen una trayectoria con una sección recta, una sección de construcción, una sección tangencial, una segunda sección de construcción y una sección horizontal. El pozo se perfora hasta un punto arriba del yacimiento entonces se desvía y se incrementa el ángulo hasta que superar o mantener los 80 grados<sup>14</sup>, su principal objetivo es el de entrar con el ángulo de inclinación deseado a la zona de interés para incrementar el área de contacto.



<sup>14</sup> Ibidem

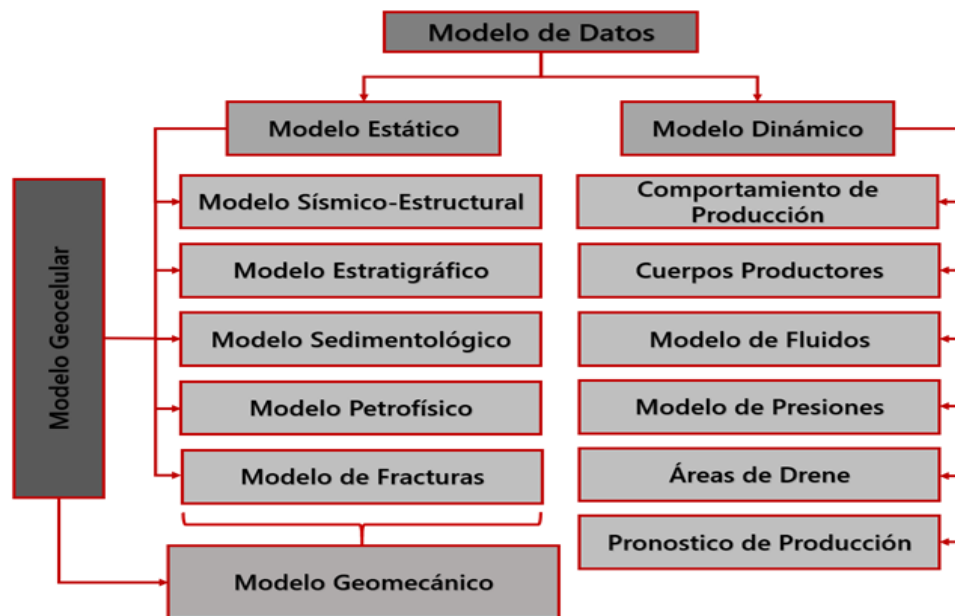


Figura 1.4.4 Trayectoria Pozo Tipo Horizontal. (Fuente: Elaboración Propia)

## CAPÍTULO 2. GENERACIÓN DE COORDENADAS OBJETIVO Y SUPERFICIALES

### 2.1 Información Requerida para la Generación de la Coordenada Objetivo

Para diseñar la trayectoria, se requiere posicionar uno o más puntos para ubicar la dirección que debe seguir un pozo. Una coordenada indicará la posición desde la cual se inicia la perforación y otra indicará el punto en el que se localiza el objetivo definiendo así si el pozo será vertical o direccional. Es posible que un pozo sea perforado para alcanzar más de un objetivo<sup>15</sup>. En este capítulo se representará de manera general la gamma de información que conllevan a la selección de los diferentes tipos de trayectorias, sustentados en base a los estudios integrales que representan cada uno.



<sup>15</sup> IMP-Pemex, Especialidad en Ingeniería Petrolera: Tema 3, (2013).

---

## Figura 2.1 Modelo de datos para establecer la Coordenada Objetivo.

(Fuente: Elaboración Propia)

### 2.2 Modelo de Datos

La generación de una coordenada objetivo conlleva el trabajo conjunto de varios modelos que determinan y apoyan con la información pertinente para la generación de la coordenada, ya que para generar la misma se emplearán una ramificación de estudios que al concatenarse darán como resultado la selección del tipo de trayectoria. La información constituye un elemento esencial en las etapas de planeación y diseño de perforación de pozos. Para aplicar los procedimientos de diseño, se requiere consultar diversas fuentes que proporcionen los datos necesarios. En secciones posteriores se especifican los insumos de información requeridos para definir la trayectoria de un pozo.

### 2.3 Modelo de Estático

El modelo estático es una representación gráfica del yacimiento, en la cual se interpretan sus propiedades, conformado mediante la integración de datos geológicos, geofísicos, petrofísicos y de ingeniería. Tiene como objetivo principal determinar las propiedades de las rocas productoras de hidrocarburos y los fluidos asociados, con el fin de cuantificar reservas y establecer un plan de desarrollo eficiente para el campo.

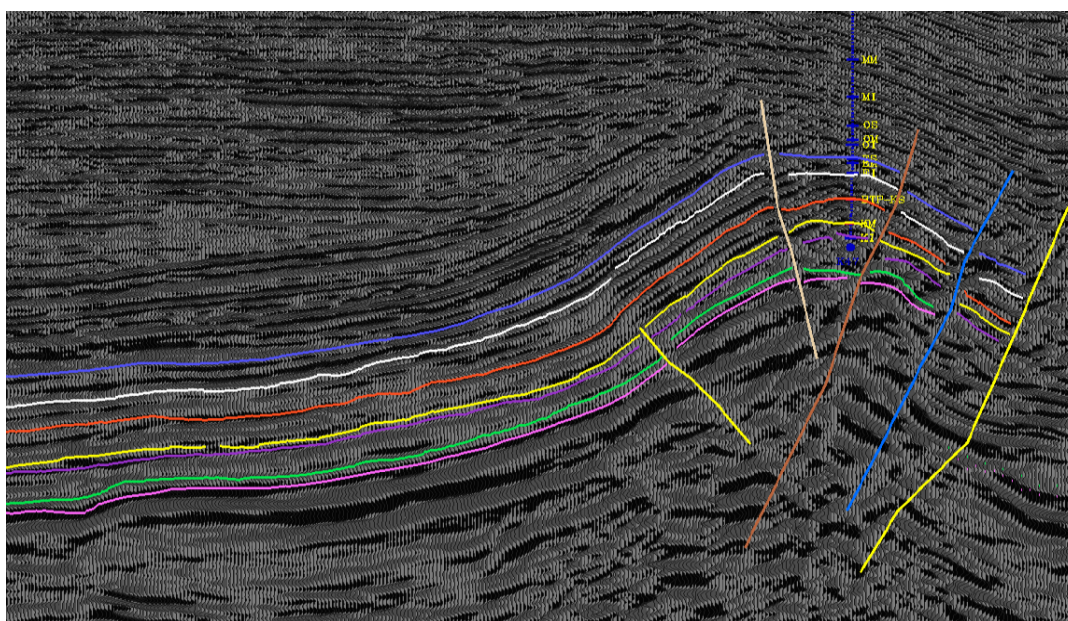
#### 2.3.1 Modelo Sísmico-Estructural

El modelo Sísmico-Estructural es la representación geométrica tridimensional de las estructuras presentes en el yacimiento como son anticlinales, sinclinales, fallas, normales, fallas inversas, domos salinos, fracturas, etc. Este modelo puede considerarse como la base del modelo estático ya que puede establecer desde un principio a través de la interpretación sísmica, la dimensión de la cima y de la base de la formación de interés, con los horizontes estratigráficos y las diferentes

---

estructuras mencionadas anteriormente.<sup>16</sup> Teniendo como resultado una definición clara de las trampas petroleras y sus características. Y que, a futuro, como los demás modelos serán integrados cada uno con sus propiedades, para generar el modelo geocelular.

Como se observa en la Figura 2.3.1, se identifican las líneas delimitadoras de las formaciones de interés. En esta representación, se destacan mediante colores diferenciados los trazos de continuidad estructural, los cuales evidencian una configuración anticlinal. Dicho horizonte se encuentra afectado por fallas geológicas interpretadas a partir de discontinuidades presentes en los trazos de los cuerpos más profundos. El análisis sísmico permite identificar cinco líneas de falla adyacentes a la estructura principal.



**Figura 2.3.1** Líneas Sísmicas con sus respectivas fallas y estructura del anticlinal interpretadas. (Centro de Estudios Regionales Norte CERN, 2022)

---

<sup>16</sup> Ponce Pacheco, A. Propuesta de plan de desarrollo de un yacimiento a partir del modelo estático. (2019).

---

### 2.3.2 Modelo Estratigráfico

Es la representación geométrica del subsuelo que permite definir las diferentes unidades o formaciones geológicas que delimitan el yacimiento, identificando los sistemas de depósito, su distribución y analizando el tipo de cuerpos presentes. Esto con la finalidad de estimar la secuencia estratigráfica, espesor y tipo de roca que puedan almacenar hidrocarburos. Como se observa en la Figura 2.3.2, correspondiente a la estratigrafía de la cuenca Tampico-Misantla, se muestran la edad, los eventos geológicos, las unidades estratigráficas y los resultados de interpretación, incluyendo el tipo de roca generadora, la clase de hidrocarburo presente y la trampa geológica asociada según corresponda.

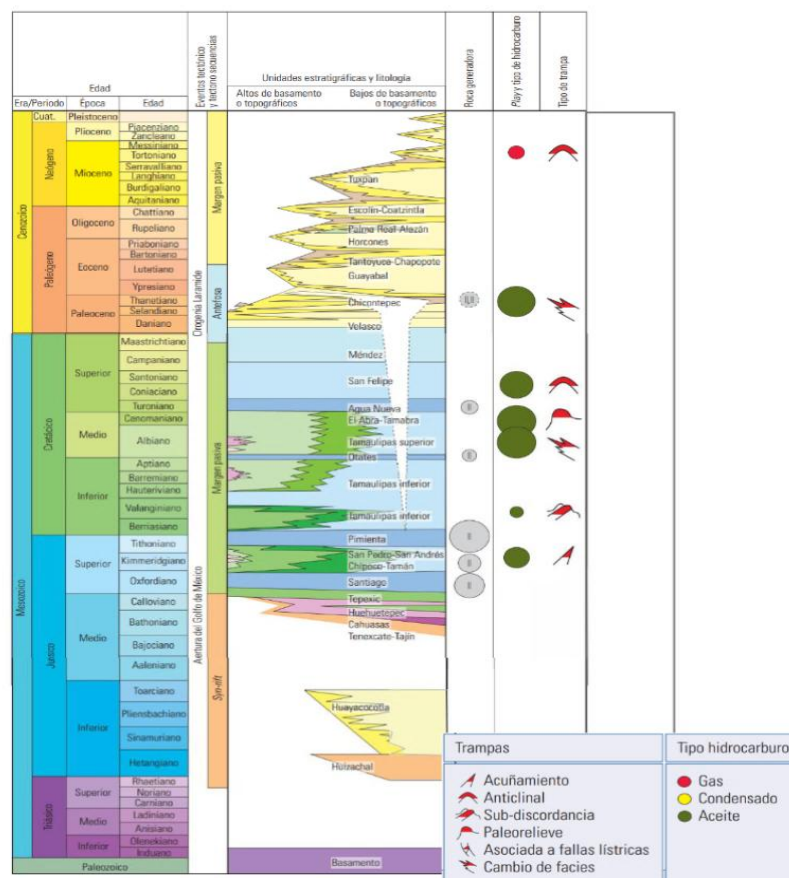


Figura 2.3.2 Columna Estratigráfica de Tampico-Misantla. (Comisión Nacional de Hidrocarburos CNH, 2015)

### 2.3.3 Modelo Sedimentológico

El modelo sedimentológico consiste en definir las unidades litológicas que conforman al yacimiento, la parte más importante de este modelo es el análisis de las facies para definir ambientes e identificar unidades sedimentarias y definir la geometría interna, además de determinar el espacio disponible para el acomodo de sedimentos y el patrón de sedimentación resultante. Como se observa en la Figura 2.3.3, se presenta una secuencia cronológica de eventos geológicos asociados a las cuencas sedimentarias, la cual documenta procesos de desplazamiento tectónico y posterior depósito de materiales en distintos cuerpos rocosos durante diversas épocas. Este registro histórico permite identificar las unidades estratigráficas de interés.

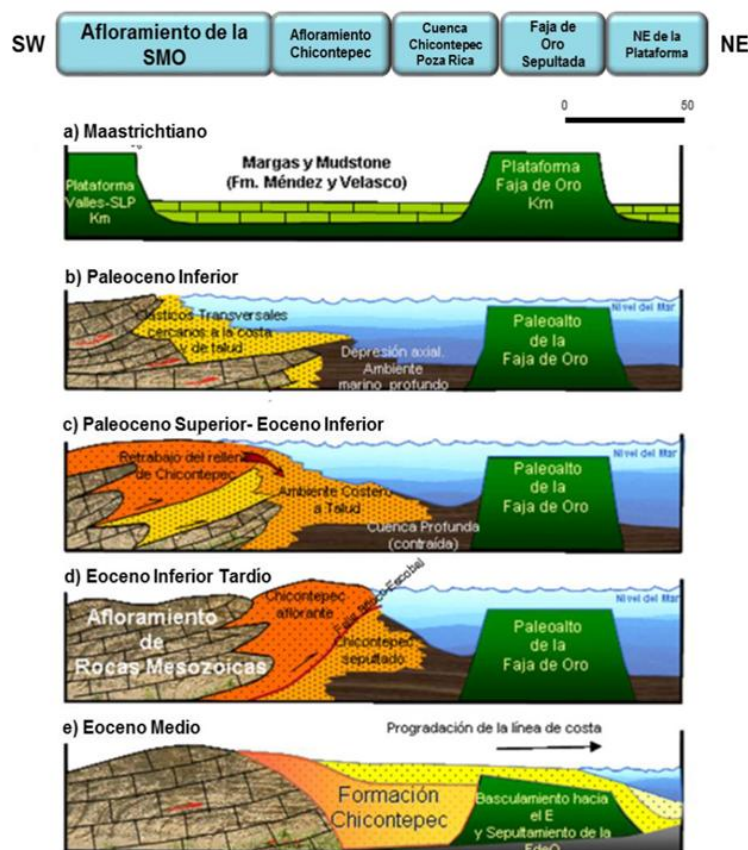


Figura 2.3.3 Modelo Sedimentario. (CNH, 2015)



---

### 2.3.4 Modelo Petrofísico

Es una representación gráfica de las propiedades de la roca-fluido, determinadas a partir de la integración e interpretación de la información obtenida de registros geofísicos, análisis de laboratorio, recortes y núcleos. Como se observa en la Figura 2.3.4, resultado de la evaluación petrofísica de un núcleo, se determinan el contenido mineralógico de la roca, la identificación de tipos de matriz, los sistemas de porosidad primaria y secundaria, los fluidos contenidos y la permeabilidad del medio poroso.

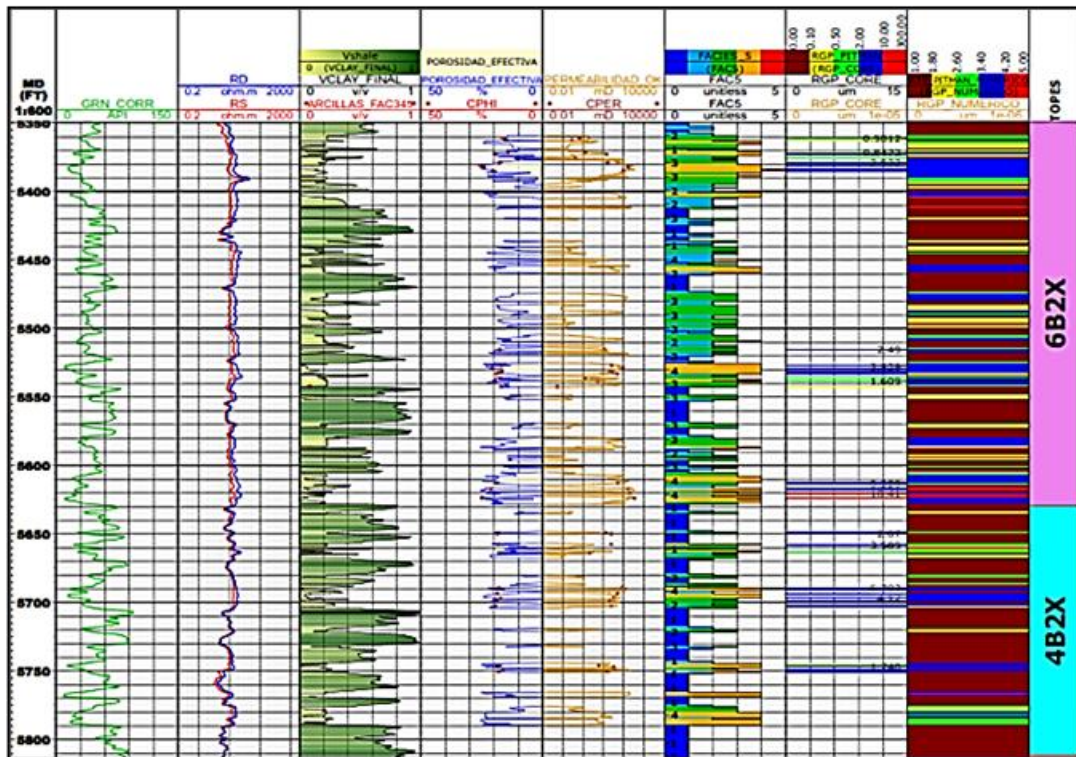


Figura 2.3.4 Evaluación del Modelo Petrofísico, resultado de núcleos. (CERN, 2015)

### 2.3.5 Modelo de Fracturas

Es una representación geométrica tridimensional del sistema de fracturas en el subsuelo que nos permite estudiar el impacto que tienen en la porosidad y permeabilidad de un yacimiento. Incluye la recopilación y análisis de datos

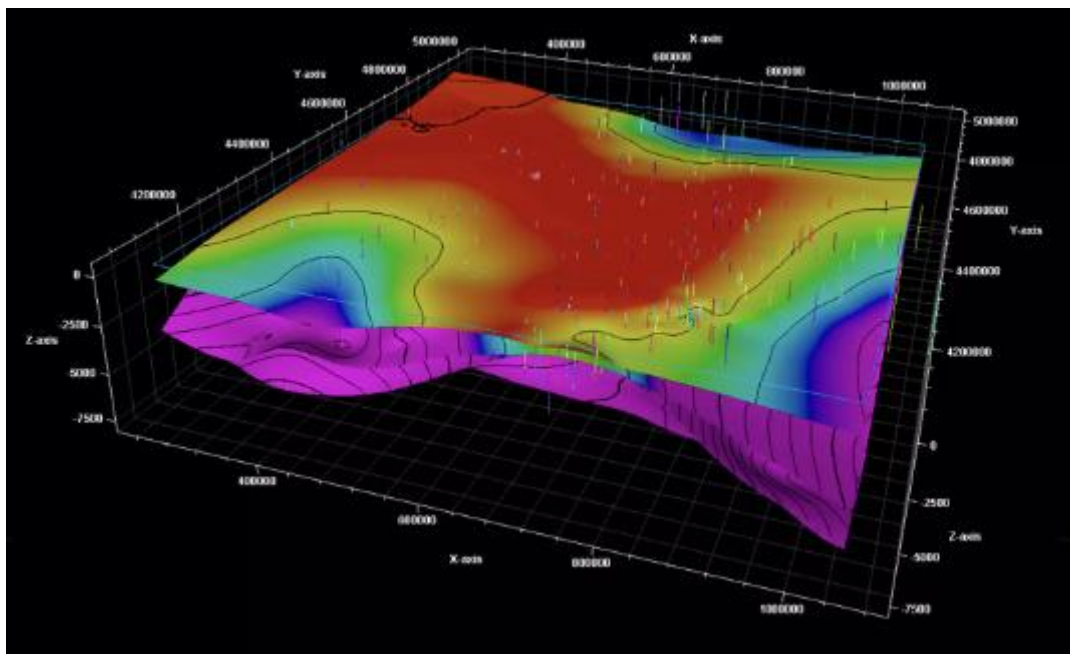
---



---

### 2.3.7 Modelo Geocelular

El Modelo Geocelular es en el cual se van a compilar los resultados de los diferentes modelos estáticos, para así tener una representación gráfica del yacimiento, donde estará delimitada la zona de interés, para así dar paso a la estimación del volumen original, así como la estimación de las reservas y poder continuar a la caracterización dinámica del yacimiento. Como se muestra en la Figura 2.3.6, el modelo geocelular integra los límites estructurales y estratigráficos definidos para generar una representación gráfica tridimensional del estado estático del yacimiento. La intensidad de color destaca las zonas de mayor concentración de hidrocarburos, variabilidad litológica o discontinuidades críticas.



**Figura 2.3.6** Modelo Geocelular, con los limites definidos y la integración de los submodelos. (CERN, 2022)



---

## 2.4 Modelo de Dinámico

El modelo dinámico es una representación del yacimiento, a partir de la incorporación del modelo geocelular y el modelo geomecánico, las propiedades dependientes de la presión y la saturación, la ubicación y geometría de los pozos, la disposición del equipo para calcular la distribución de las presiones y saturaciones, así como los perfiles de producción en función del tiempo. El objetivo del modelo dinámico es representar la interacción roca-fluidos de la zona de interés, así como sus condicionantes. Con el propósito de realizar una serie de distintas pruebas para analizar el comportamiento del yacimiento y su predicción bajo distintos escenarios.

### 2.4.1 Flujo de trabajo Caracterización Dinámica de Yacimientos

La caracterización dinámica, nos permite identificar y evaluar aquellos elementos que afectan el flujo de los hidrocarburos en el yacimiento de estudio, mediante la realización de un análisis de variables (presión, temperatura, fluidos, fallas geológicas, etc.) las cuales afectan en el comportamiento de los cuerpos de interés.

Para iniciar la caracterización dinámica de un yacimiento se debe contar con cierta información, obtenida de las actividades realizadas durante la exploración, desarrollo y producción. La figura 2.4.1 muestra el flujo de trabajo con el cual los ingenieros de yacimientos en conjunto con los ingenieros de productividad realizan una secuencia de análisis de datos para delimitar áreas de interés y que a través de una cadena de flujo de trabajo se dividirá en 6 bloques que aporten con el marco de referencia necesario que servirá como base de la planeación.



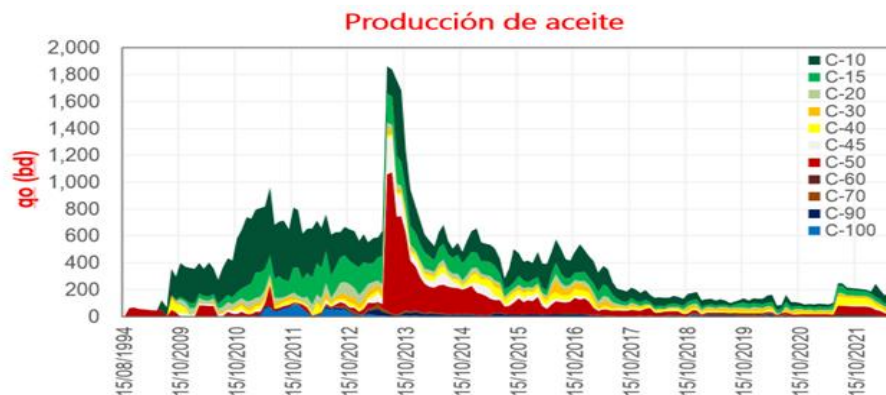
**Figura. 2.4.1** Flujo de Trabajo Caracterización Dinámica. (Fuente: Elaboración Propia con asesoría del CERN, 2022)

---

---

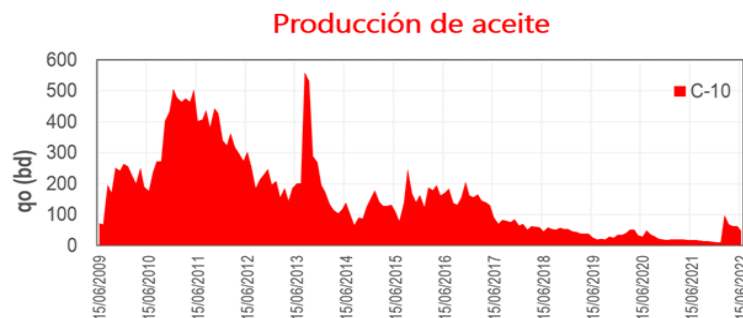
## 2.4.2 Comportamiento de Producción

Como punto de inicio se utiliza una base de usuario para obtener los datos de producción de los pozos vecinos al área de estudio. Para así tener un historial de producción de acuerdo con la zona, La figura 2.4.2 muestra el historial de producción por zona, comparando los cuerpos productores de interés diferenciados con códigos y colores según el gasto de aceite versus tiempo. Esto identifica la unidad más productiva con base en las premisas establecidas.



**Figura. 2.4.2** Comportamiento de Producción de los Cuerpos de Interés. (CERN, 2022)

La Figura 2.4.2.1, correspondiente al comportamiento de producción, presenta una gráfica exclusiva de la unidad identificada como la más productiva. Esto permite definir el intervalo de interés.



**Figura. 2.4.2.1** Comportamiento de Producción del Cuerpo C-10. (CERN, 2022)

---

### 2.4.3 Cuerpos Productores

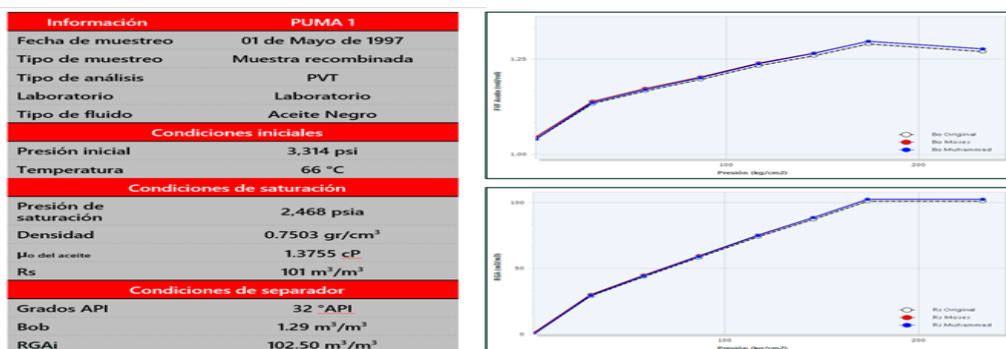
Para este segundo punto, se proyectan los cuerpos con un mayor aporte de producción, esto basado en los intervalos probados, el promedio del volumen de aceite y se hace un análisis de acuerdo con las condiciones de saturación y composición de los fluidos. Como se observa en la tabla, se identifican unidades de interés con base en el factor de producción promedio, la producción total y el número de pozos probados. Dichas unidades se destacan en la tabla.

| Unidad | Pozos Probados | Np (Mb) Total | Np (Mb) Promedio | Wp (Mb) promedio |
|--------|----------------|---------------|------------------|------------------|
| C-10   | 8              | 455           | 57               | 13               |
| C-15   | 7              | 307           | 44               | 6                |
| C-20   | 3              | 102           | 34               | 6                |
| C-30   | 5              | 83            | 17               | 2                |
| C-40   | 5              | 124           | 25               | 5                |
| C-45   | 2              | 64            | 32               | 11               |
| C-50   | 5              | 337           | 67               | 10               |
| C-60   | 2              | 8             | 4                | 1                |
| C-90   | 5              | 16            | 3                | 1                |
| C-100  | 3              | 1             | 0                | 0                |

**Tabla. 2.4.3** Tabla comparativa de los Cuerpos de Productores. (CERN, 2022)

### 2.4.4 Modelado de Fluidos

Se presenta un modelado de fluidos en el cual nos mostrara información como los tipos de muestras que se obtuvieron, se presenta un modelo de fluidos que incluye: los tipos de muestras obtenidas, las pruebas PVT realizadas y las condiciones iniciales de presión, temperatura y gradiente de presión (figura 2.4.4). Estas propiedades se emplearán posteriormente para seleccionar los equipos requeridos por los procesos, según sus parámetros operativos.



**Figura. 2.4.4** Características principales del Fluido. (CERN, 2022)

---

#### 2.4.5 Modelado de Presiones

Se realiza un gráfico comparativo del comportamiento de presión, representado en una relación de presión-producción acumulada, basados en la ecuación de balance de materia, obteniendo una línea de tendencia de acuerdo con el volumen que se espera encontrar, La figura 2.4.5 muestra los pozos análogos de referencia destacados en azul. Mediante correlación con pozos de comportamiento similar, se establece una línea de tendencia basada en el comportamiento de presión, con el objetivo de definir una referencia.



Figura. 2.4.5 Comportamiento de Presión. (CERN, 2022)

La figura 2.4.5.1 presenta una ecuación lineal basada en el factor volumétrico, volumen original y condiciones de presión (definidos con pozos de correlación), para analizar el comportamiento de la presión producción acumulada.

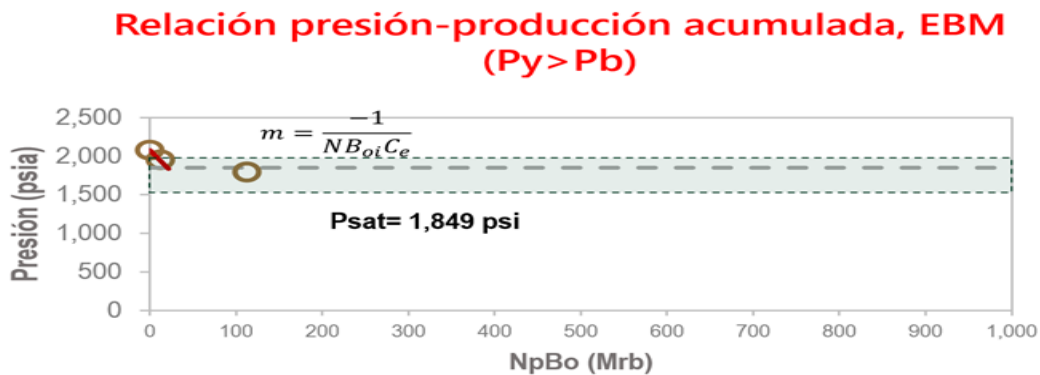


Figura. 2.4.5.1 Relación Presión-Producción Acumulada. (CERN, 2022)

---

---

#### 2.4.6 Áreas de Drene

De acuerdo con los modelos anteriormente realizados y a las características petrofísicas de los cuerpos geológicos, se determina un área de drene teórica para delimitar el espaciamiento entre los pozos vecinos. La figura 2.4.6 muestra el área de drene de la zona del cuerpo de interés, destacando en color naranja los pozos empleados para correlacionar comportamientos análogos asociados al proyecto.

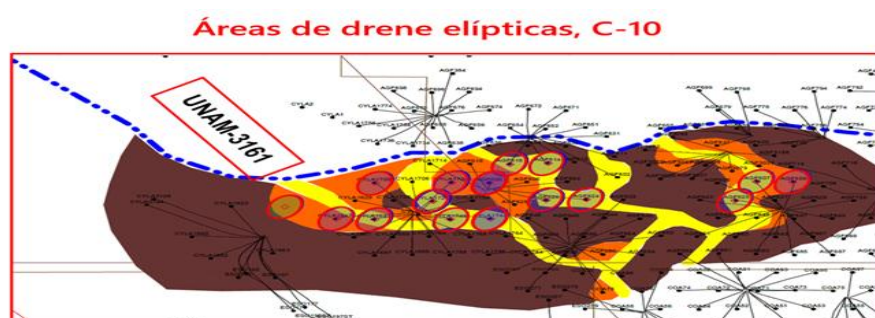


Figura. 2.4.6 Áreas de Drene. (CERN, 2022)

#### 2.4.7 Pronostico de Producción Ajuste de Declinación

Se realiza un ajuste con la normalización temporal del histórico de producción de pozos vecinos, alineando sus curvas de declinación a un "tiempo cero" común (fecha de inicio de producción), para eliminar discrepancias cronológicas y facilitar la comparabilidad. Posteriormente, se genera una curva tipo representativa mediante la aplicación de la media aritmética a los caudales normalizados, sintetizando así el comportamiento producción figura 2.4.7.

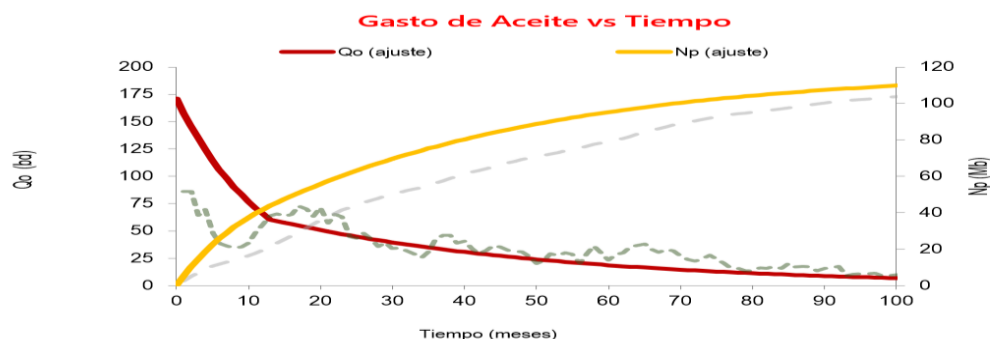


Figura. 2.4.7 Pronostico de Producción, gasto de aceite contra tiempo. (CERN, 2022)

---

---

## CAPÍTULO 3. GENERACIÓN DE PROPUESTAS DE PLANES DIRECCIONALES

### 3.1 Datos Necesarios para Generar un Plan Direccional

La información es fundamental para la planeación y diseño del plan direccional. En este punto se definen los datos necesarios para iniciar el proceso de determinación de la trayectoria de un pozo.

Toda planificación está sujeta a variables que modifican su ejecución. No obstante, debe integrar elementos de optimización operacional mediante el uso estratégico de infraestructura y tecnología disponibles, priorizando su idoneidad para el proyecto sobre el nivel de avance o practicidad.

En la figura 3.1 se presenta un flujo de trabajo en el cual engloba los pasos necesarios para generar un plan direccional. Para usos prácticos, el flujo de trabajo está basado en los parámetros que se obtuvieron de la planeación de la trayectoria de pozos actuales, en la actualidad debido a la necesidad de perforar diversos pozos de una misma macropera, se debe tener sumo cuidado en la planeación de una trayectoria que permita evadir colisiones con pozos vecinos.

La etapa inicial de planificación de un pozo direccional consiste en definir la trayectoria requerida para interceptar los objetivos establecidos. Este proceso debe integrar las restricciones geológicas, operacionales y económicas asociadas a la perforación. Este capítulo explica la generación y desarrollo de un plan direccional posterior al análisis de los datos obtenidos de la formación, que se abordaron en el capítulo 2.

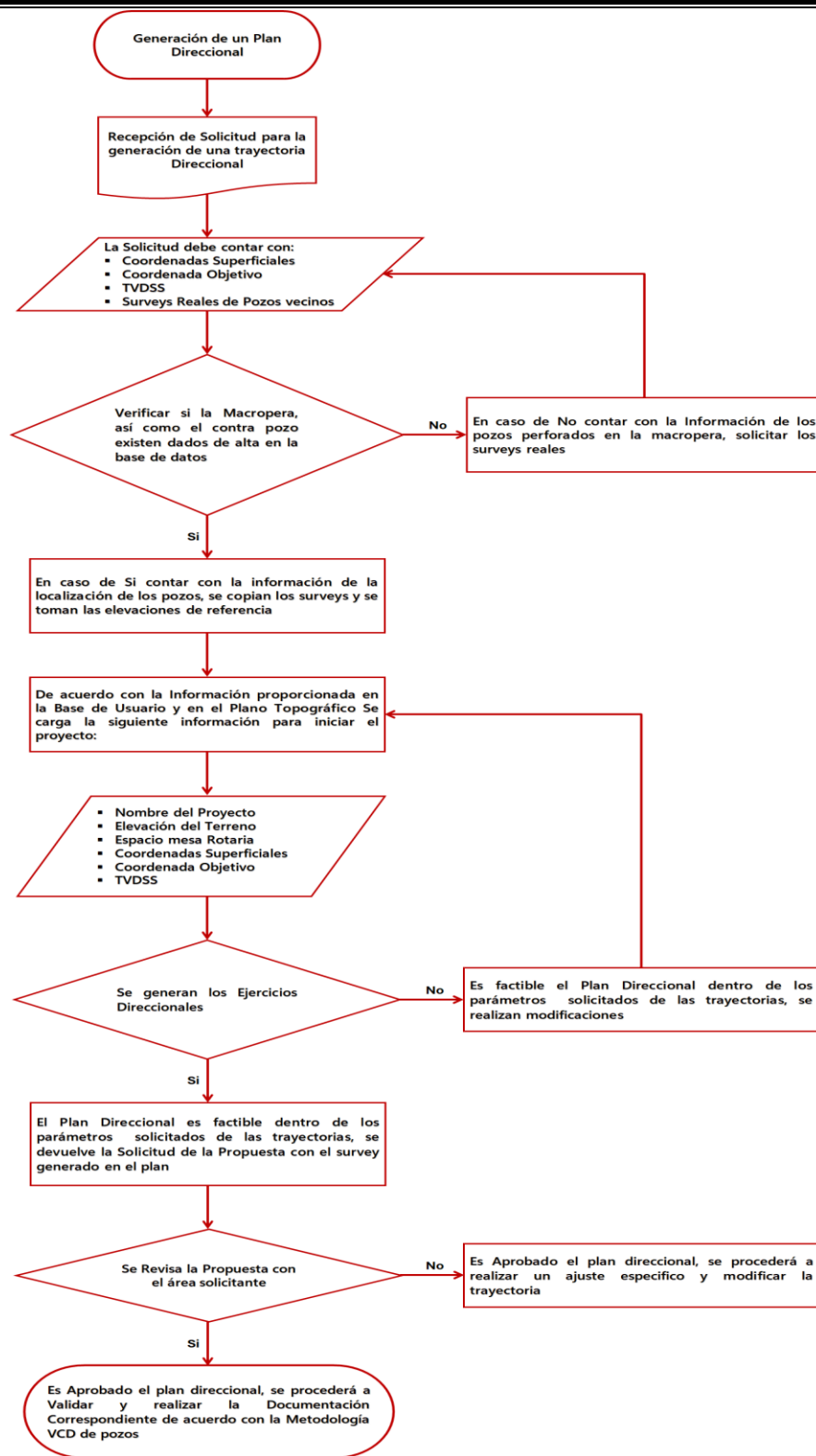


Figura 3.1 Flujo de Trabajo para la Generación de un Plan Direccional. (Elaboración Propia).

---

### 3.1.1 Base de Usuario, Plano Topográfico y Ubicación del Objetivo

Uno de los criterios más importantes para la trayectoria es la ubicación tanto de las localizaciones, así como de los objetivos, los cuales se nos proporcionan por medio de coordenadas, para así partir de un punto inicial en el desarrollo del plan direccional.

Dependiendo del área geográfica, así como de las condiciones que se dispongan del terreno, serán uno de los factores que afecten la selección entre los diversos tipos de trayectoria.

Es posible introducir más de un objetivo, dependiendo de la zona de interés, ya que de acuerdo con el Plan Direccional que se utilizará se podría tener diferente número de objetivos, así como puntos de control.

Para comenzar el desarrollo del plan direccional se proporcionará la base de usuario y el plano topográfico, en los cuales vendrá la información pertinente para comenzar el diseño de la trayectoria.

**Base de Usuario:** Es la información proporcionada por el área interesada en el desarrollo del proyecto, acerca de las necesidades y características que debe cumplir el programa para el desarrollo adecuado del proyecto.

**Plano Topográfico:** Es un mapa que muestra las principales características físicas del terreno, tales como la construcción de las instalaciones, dirección del norte geográfico, coordenadas geográficas del área de interés, coordenadas UTM, elevación del terreno y caminos.

Para el desarrollo de este trabajo se toma como ejemplo el pozo PUMA-3161, el cual se ubica en la macropera PUMA-1663 nombrada así, conforme al campo y al número del primer pozo que se perforó en la localización.



---

### 3.1.2 Datos de la Localización

Se necesita tener una base de datos en la cual se permita cargar información necesaria para iniciar el proyecto como:

- **Asignación:** Porción del territorio la cual es administrada para realizar actividades de exploración y/o extracción de hidrocarburos.
- **Activo:** División cuyo objetivo es el de explorar y producir petróleo crudo y gas, así como el de descubrir nuevos yacimientos de petróleo, administrando la producción de sus campos petroleros.<sup>18</sup>
- **Campo:** Área geográfica superficial en la que un numero de pozos de petróleo y gas producen de una misma reserva probada.<sup>19</sup>
- **Macropera:** Localización de perforación diseñada o acondicionada para la realización de las actividades de perforación o producción de dos o más pozos terrestres.<sup>20</sup>
- **Unidades de Trabajo:** Sistema de unidades en el cual se va a trabajar.
- **Nombre del Proyecto:** Nombre oficial relacionado, al campo donde su ubicara el proyecto.

Partiendo de la información anterior se utilizarán datos que se nos proporcionan a través de la base de usuario y el plano topográfico, los cuales son:

- Localización de la Macropera
- Localización del Contrapozo
- Elevación del Terreno
- Coordenadas de los Objetivos
- Profundidad vertical de los objetivos por debajo de nivel del mar o conocida por sus siglas en inglés como TVDSS

---

<sup>18</sup> Secretaría de Energía. Glosario de términos petroleros. (2014).

<sup>19</sup> Ídem

<sup>20</sup> Ibidem

---

---

### 3.1.3 Columna Geológica Probable y Características de la Formación

Con el estudio sísmico, y los datos geológicos obtenidos de los pozos vecinos perforados, se correlaciona y obtiene la columna geológica que se espera atravesar en la intervención del pozo a perforar.<sup>21</sup> El conocimiento de estas formaciones geológicas permitirá determinar la existencia de formaciones que podrían complicar las operaciones al momento de ser atravesadas durante la perforación. Su conocimiento es crítico ya que podría afectar todas las fases de la operación.

### 3.1.4 Desplazamiento Horizontal de la Trayectoria y Profundidad Vertical del Objetivo

Al tratarse de una trayectoria direccional se debe tener en cuenta el desplazamiento el cual es la distancia horizontal que hay desde el punto de inicio de la desviación con el final de la construcción de la trayectoria.

La profundidad vertical del objetivo es la distancia vertical de referencia al cuerpo de interés, el cual no toma en cuenta los cambios direccionales si no que es el punto de interés al que se quiere llegar.

La profundidad del objetivo es un parámetro que se puede obtener con los diferentes estudios realizados en la zona. La correcta caracterización de las formaciones por atravesar constituye el factor básico para la selección de la trayectoria.

### 3.1.5 Inicio de la Construcción de Angulo Kick-Of-Point

El KOP debe determinarse tomando en cuenta las características de las formaciones que se van a perforar, este se determina también a la relación de la distancia entre el objetivo con la profundidad vertical y el desplazamiento horizontal, ya que entre más arriba este el inicio de la desviación, se incrementará la longitud del

---

<sup>21</sup> Comisión Nacional de Hidrocarburos. Atlas geológico. (2016).

---

---

---

desplazamiento tangencial lo cual dificultara operaciones futuras, por lo cual se decide hacerlo en longitudes no tan amplias y se mantiene una tangente más manejable de acuerdo a las necesidades operativas y de alcance del objetivo.

### 3.1.6 Severidad

De igual forma este dato se determina considerando las características de las formaciones a perforar así como del equipo que se empleará, se recomienda que la etapa de incremento de ángulo se lleve a cabo en formaciones suaves o medias suaves, para así atravesar zonas de mayor dureza con un ángulo constante, para pozos terrestres de la región norte se tiene un valor para la severidad el cual es de 0 a 3°/ 30 m, ya que si se incrementa este valor pude ocasionar problemas operativos que repercutirán en el diseño original de la trayectoria, por lo tanto es uno de los factores más importantes en el desarrollo de la construcción del ángulo.

### 3.1.7 Análisis Anticolisión

En la actualidad debido a la necesidad de perforar nuevos proyectos en localizaciones donde ya se encuentra diversos pozos, se debe tener mayor cuidado en el diseño del plan direccional, esto con el objetivo de evitar colisiones con pozos vecinos.

Con el desarrollo de campos petroleros con un número abundante de pozos y la complejidad en el diseño de la trayectoria de los mismo, surge la necesidad de realizar los análisis anticolisión los cuales son una evaluación adecuada del riesgo de colisión que puede llegar a tener una trayectoria del pozo con otro en la misma macropera o en la cercanía, de esta manera el conocimiento de este análisis nos ayudara a prever cualquier eventualidad al momento de la perforación. Para este análisis se tendrá en cuenta la evaluación del riesgo mediante:

---

**Análisis Centro a Centro:** Es la representación de la magnitud que existe entre la cercanía de un pozo a una cierta profundidad con los pozos aledaños, para su conocimiento se requiere disponer de los surveys reales de los pozos ya existentes, para tener una mayor precisión al momento de realizar una trayectoria.

**Factor de Separación:** Posterior a la elaboración del análisis centro a centro, se obtiene un factor de separación, el cual toma en cuenta la orientación y forma de la trayectoria, para generar una probabilidad en la cual, dependiendo de la reducción de este factor, incrementaran las probabilidades de la colisión con pozos cercanos durante la trayectoria del pozo.

- **Factor de Separación Mínimo  $< 3$ :** Cuando se tiene una cercanía a pozos ya existentes, pero no presenta una problemática grave, pero se necesitará inspeccionar la trayectoria de los pozos cercanos al mismo, para incrementar este factor de separación reduciendo riesgos.
- **Factor de Separación Crítico  $= 2$ :** Cuando el factor de separación marca esta medida, representa que se ha alcanzado el límite de la trayectoria del pozo en relación con los pozos cercanos, por lo cual se requiere una replanificación de la trayectoria originalmente planeada y la evaluación de otras opciones.
- **Colisión  $> = 1$ :** Este factor representa una colisión, por lo cual se traduce a un riesgo muy grande como para ser ignorado, por lo tanto, el plan direccional no puede proceder hasta que el riesgo sea reducido.

---

### 3.2 Generación de Propuestas de Planes Direccionales

La formulación de un plan direccional se fundamentará en los criterios previamente establecidos. A partir de una comprensión detallada su pertinencia en el contexto de estudio, se procederá a identificar y desarrollar los puntos clave que orientarán la planificación.

**Tabla 3.1** Ficha de Identificación del Pozo. (Modificado Petróleos Mexicanos Exploración y Producción PEP, 2022)

|                     |                                                                          |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------|
| Nombre:             | PUMA                                                                     |
| Numero:             | 3161                                                                     |
| Clasificación:      | Pozo de Desarrollo                                                       |
| Macropera:          | PUMA-1663                                                                |
| Tipo de Pozo        | Marino () Terrestre (x) Lacustre ()                                      |
| Tipo de Trayectoria | Vertical () Direccional () Horizontal () Alcance Ext. () Multilateral () |

La tabla 3.1 presenta el nombre, número, clasificación, tipo de pozo y trayectoria, constituyendo la ficha técnica de identificación del proyecto.

**Tabla 3.2** Ubicación, Coordenadas y Especificaciones del Terreno. (Modificado PEP, 2022)

|                                          |                      |                       |
|------------------------------------------|----------------------|-----------------------|
| Datum Geodésico:                         | ITRF08               |                       |
| Coordenadas UTM conductor:               | X= 674,077.98        | Y= 2,279,382.77       |
| Coordenadas Geográficas conductor:       | Lat=20°36'19.8418"N  | Long= 97°19'46.4021"W |
| Datum Geodésico:                         | ITRF08               |                       |
| Coordenadas UTM objetivo:                | X= 673,990.92        | Y= 2,279,213.76       |
| Coordenadas Geográficas objetivo:        | Lat= 20°36'14.3753"N | Long= 97°19'49.4685"W |
| Tirante de agua (m):                     | No aplica            |                       |
| Elevación de Mesa Rotaria + terreno (m): | 105.75               |                       |
| Estado:                                  | Veracruz             |                       |

---

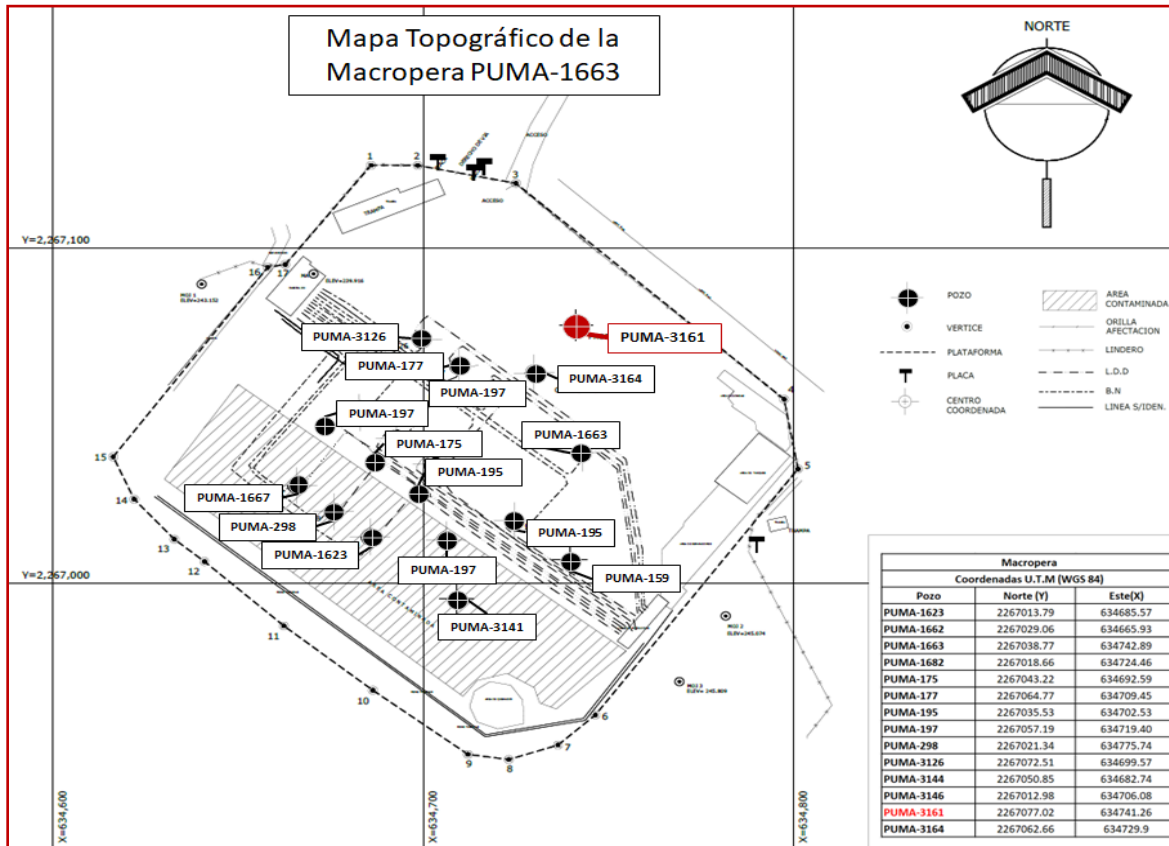
Elaborada por geociencias, la tabla 3.2 consolida la ficha técnica con el datum geodésico, coordenadas (pozo, contrapozo, objetivo), características del terreno y ubicación del proyecto.

**Tabla 3.3** Columna Geológica Probable. (Modificado PEP, 2022)

| Unidad Litologica        | Prof. Vertical<br>(m.v.b.m.r.) | Prof. Desarrollada<br>(m.d.b.m.r.) | Espesor (m) | Descripción<br>Litológica |
|--------------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------|---------------------------|
| <b>Es. Chapopote</b>     | Aflora                         | Aflora                             | 301         | Lutitas y areniscas       |
| <b>Em. Guayabal</b>      | 310                            | 315                                | 974         | Lutitas                   |
| <b>C-10</b>              | 1233                           | 1414                               | 66          | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-20</b>              | 1284                           | 1493                               | 93          | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-30</b>              | 1346                           | 1529                               | 64          | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-40</b>              | 1377                           | 1573                               | 244         | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-55</b>              | 1621                           | 1819                               | 49          | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-70</b>              | 1670                           | 1868                               | 87          | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-80</b>              | 1757                           | 1955                               | 47          | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-90</b>              | 1804                           | 2002                               | 111         | Lutitas y areniscas       |
| <b>C-100</b>             | 1915                           | 2113                               | 63          |                           |
| <b>Profundidad Total</b> | 1978                           | 2175                               | --          |                           |

Dentro de la información pertinente para conocer el área de desarrollo del proyecto, se presenta la columna geológica probable tabla 3.3, la cual servirá de referencia en base a los cuerpos de interés a alcanzar, dando información sobre el tipo de unidad litológica, la profundidad vertical y desarrollada, así como el espesor y descripción.

Figura 3.2 Plano Topográfico de la Localización. (Modificado PEP, 2022)



El plano topográfico figura 3.2 delimita el área de desarrollo del proyecto, destacando en rojo la ubicación y coordenadas del contrapozo según la configuración del terreno.

---

### 3.2.1 Ejemplo de un Plan Direccional con una Trayectoria Tipo 'J'

Con base en la información previamente definida y siguiendo los puntos directrices para el seguimiento de la trayectoria en base a los datos provistos de los cuerpos de interés Tabla 3.4, se inicia el proceso mediante la generación de un plan direccional para una trayectoria Tipo 'J'.

**Tabla 3.4** Profundidad de los Objetivos de la Trayectoria Pozo Tipo 'J'.(Modificado PEP, 2022)

| Objetivo    | Prof. Vertical<br>(m.v.b.m.r.) | Prof. Desarrollada<br>(m.d.b.m.r.) | Desplazamiento (m) | Azimut (°) |
|-------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------|
| <b>C-70</b> | 1618.16                        | 1671.96                            | 660                | 18         |
| <b>C-80</b> | 1699.81                        | 1753.62                            | 742                | 18         |
| <b>C-90</b> | 1746.35                        | 1800.17                            | 789                | 18         |

#### 3.2.1.1 Primera Sección de la Trayectoria Tipo 'J'

A partir del análisis del survey generado, se destaca que, durante la fase inicial de perforación, no se registran variaciones significativas en la inclinación ni en la dirección del pozo. Esto se traduce en una estabilidad en los valores tanto de la profundidad desarrollada como de la verticalidad tabla 3.5, los cuales permanecen constantes hasta alcanzar una profundidad de 600 metros, momento en el cual se iniciará la construcción del ángulo (KOP) .

**Tabla 3.5** Primera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'J'. (Modificado PEP, 2022)

| Primera Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 0                 | 0              | 0          | 0                 | 0        |
| 600               | 0              | 0          | 600               | 0        |

#### 3.2.1.2 Segunda Sección de la Trayectoria Tipo 'J'

La implementación de una Dog Leg de 2.5°/30 [m] marca el inicio de la construcción del ángulo tabla 3.6, se ha seguido un aumento gradual en la inclinación de la



trayectoria, con variaciones notables entre la profundidad alcanzada y la vertical, con el fin de lograr una inclinación de 34.31°.

**Tabla 3.6** Segunda Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'J'. (Modificado PEP, 2022)

| Segunda Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 630               | 2.5            | 18.36      | 629.99            | 0.62     |
| 1011.7            | 34.31          | 18.36      | 987.53            | 113.53   |

### 3.2.1.3 Tercera Sección de la Trayectoria Tipo 'J'

En esta fase, se cuenta una inclinación de 34.31°, la cual se mantendrá de manera tangencial hasta alcanzar la profundidad total necesaria para atravesar el objetivo establecido tabla 3.7. La obtención de esta inclinación es crucial, ya que permite alcanzar el objetivo, proporcionando parámetros adecuados para las tareas operativas que se llevarán a cabo durante el desarrollo de las actividades posteriores a la perforación.

**Tabla 3.7** Tercera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'J'. (Modificado PEP, 2022)

| Tercera Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 1020              | 34.31          | 18.36      | 994.39            | 117.98   |
| 2200              | 34.31          | 18.36      | 1969.09           | 749.23   |

### 3.2.1.4 Survey Planeado para la Trayectoria Tipo 'J'

El desarrollo completo de todas las secciones dará paso a la generación del *survey* planeado tabla 3.8, el cual servirá como un informe sobre el comportamiento esperado del desarrollo de la trayectoria en todas sus fases, resaltando los cuerpos de interés atravesados, las zonas de desvío, las zonas de construcción de ángulo y el alcance de los objetivos

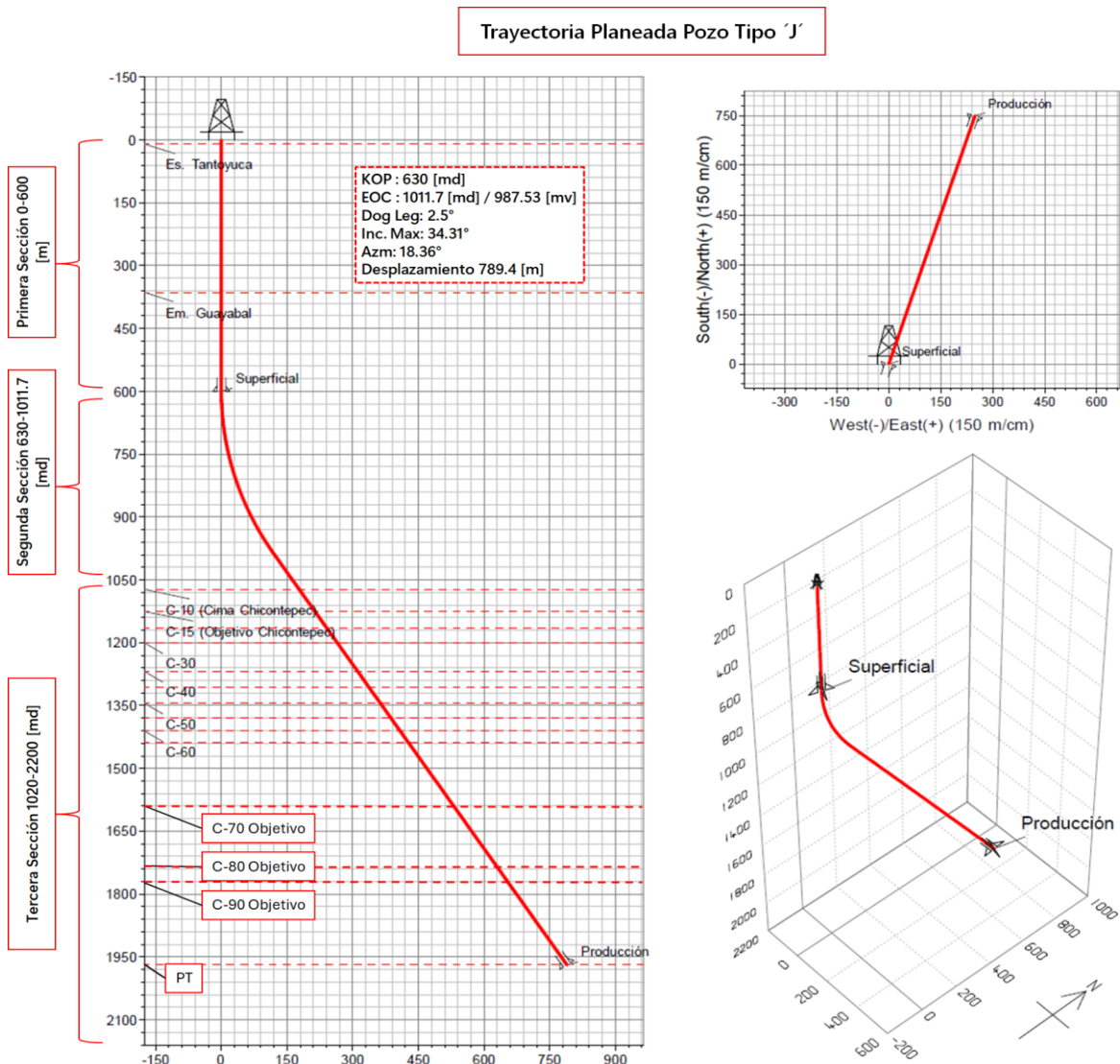
**Tabla 3.8 Survey Planeado de la Trayectoria Pozo Tipo 'J'. (Modificado PEP, 2022)**

| Planned Survey J   |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
|--------------------|-----------------|-------------|--------------------|-----------|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Measured Depth (m) | Inclination (°) | Azimuth (°) | Vertical Depth (m) | +N/-S (m) | +E/-W (m) | Vertical Section (m) | Dogleg Rate (°/30m) | Build Rate (°/30m) |
| 0                  | 0               | 0           | 0                  | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 10                 | 0               | 0           | 10                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| Es. Tantoyuca      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 30                 | 0               | 0           | 30                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 60                 | 0               | 0           | 60                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 90                 | 0               | 0           | 90                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 120                | 0               | 0           | 120                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 150                | 0               | 0           | 150                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 180                | 0               | 0           | 180                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 210                | 0               | 0           | 210                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 240                | 0               | 0           | 240                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 270                | 0               | 0           | 270                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 300                | 0               | 0           | 300                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 330                | 0               | 0           | 330                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 360                | 0               | 0           | 360                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 363.82             | 0               | 0           | 363.82             | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| Em. Guayabal       |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 390                | 0               | 0           | 390                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 420                | 0               | 0           | 420                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 450                | 0               | 0           | 450                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 480                | 0               | 0           | 480                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 510                | 0               | 0           | 510                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 540                | 0               | 0           | 540                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 570                | 0               | 0           | 570                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 600                | 0               | 0           | 600                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |

| Superficial             |       |       |         |        |        |        |     |     |
|-------------------------|-------|-------|---------|--------|--------|--------|-----|-----|
| 630                     | 2.5   | 18.36 | 629.99  | 0.62   | 0.21   | 0.65   | 2.5 | 2.5 |
| 660                     | 5     | 18.36 | 659.92  | 2.48   | 0.82   | 2.62   | 2.5 | 2.5 |
| 690                     | 7.5   | 18.36 | 689.74  | 5.58   | 1.85   | 5.88   | 2.5 | 2.5 |
| 720                     | 10    | 18.36 | 719.39  | 9.91   | 3.29   | 10.45  | 2.5 | 2.5 |
| 750                     | 12.5  | 18.36 | 748.81  | 15.47  | 5.13   | 16.3   | 2.5 | 2.5 |
| 780                     | 15    | 18.36 | 777.95  | 22.24  | 7.38   | 23.43  | 2.5 | 2.5 |
| 810                     | 17.5  | 18.36 | 806.75  | 30.2   | 10.02  | 31.82  | 2.5 | 2.5 |
| 840                     | 20    | 18.36 | 835.16  | 39.35  | 13.06  | 41.46  | 2.5 | 2.5 |
| 870                     | 22.5  | 18.36 | 863.11  | 49.67  | 16.48  | 52.34  | 2.5 | 2.5 |
| 900                     | 25    | 18.36 | 890.57  | 61.14  | 20.29  | 64.42  | 2.5 | 2.5 |
| 930                     | 27.5  | 18.36 | 917.47  | 73.73  | 24.47  | 77.69  | 2.5 | 2.5 |
| 960                     | 30    | 18.36 | 943.77  | 87.43  | 29.01  | 92.11  | 2.5 | 2.5 |
| 990                     | 32.5  | 18.36 | 969.42  | 102.2  | 33.91  | 107.68 | 2.5 | 2.5 |
| 1011.7                  | 34.31 | 18.36 | 987.53  | 113.53 | 37.67  | 119.62 | 2.5 | 2.5 |
| 1020                    | 34.31 | 18.36 | 994.39  | 117.98 | 39.15  | 124.3  | 0   | 0   |
| 1050                    | 34.31 | 18.36 | 1019.17 | 134.02 | 44.47  | 141.21 | 0   | 0   |
| 1080                    | 34.31 | 18.36 | 1043.95 | 150.07 | 49.8   | 158.12 | 0   | 0   |
| 1110                    | 34.31 | 18.36 | 1068.73 | 166.12 | 55.12  | 175.03 | 0   | 0   |
| 1114.95                 | 34.31 | 18.36 | 1072.82 | 168.77 | 56     | 177.82 | 0   | 0   |
| C-10 (Cima Chicontepec) |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1140                    | 34.31 | 18.36 | 1093.51 | 182.17 | 60.45  | 191.94 | 0   | 0   |
| 1170                    | 34.31 | 18.36 | 1118.29 | 198.22 | 65.77  | 208.85 | 0   | 0   |
| 1179.11                 | 34.31 | 18.36 | 1125.82 | 203.09 | 67.39  | 213.98 | 0   | 0   |
| C-15 (Chicontepec)      |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1200                    | 34.31 | 18.36 | 1143.07 | 214.27 | 71.1   | 225.76 | 0   | 0   |
| 1226.33                 | 34.31 | 18.36 | 1164.82 | 228.35 | 75.77  | 240.6  | 0   | 0   |
| C-20                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1230                    | 34.31 | 18.36 | 1167.85 | 230.32 | 76.42  | 242.67 | 0   | 0   |
| 1260                    | 34.31 | 18.36 | 1192.63 | 246.37 | 81.75  | 259.57 | 0   | 0   |
| 1269.91                 | 34.31 | 18.36 | 1200.82 | 251.67 | 83.51  | 265.16 | 0   | 0   |
| C-30                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1290                    | 34.31 | 18.36 | 1217.42 | 262.42 | 87.07  | 276.48 | 0   | 0   |
| 1320                    | 34.31 | 18.36 | 1242.2  | 278.46 | 92.4   | 293.39 | 0   | 0   |
| 1350                    | 34.31 | 18.36 | 1266.98 | 294.51 | 97.72  | 310.3  | 0   | 0   |
| 1352.23                 | 34.31 | 18.36 | 1268.82 | 295.71 | 98.12  | 311.56 | 0   | 0   |
| C-40                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1380                    | 34.31 | 18.36 | 1291.76 | 310.56 | 103.05 | 327.21 | 0   | 0   |
| 1397.02                 | 34.31 | 18.36 | 1305.82 | 319.67 | 106.07 | 336.81 | 0   | 0   |
| C-45                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1410                    | 34.31 | 18.36 | 1316.54 | 326.61 | 108.37 | 344.12 | 0   | 0   |
| 1440                    | 34.31 | 18.36 | 1341.32 | 342.66 | 113.7  | 361.03 | 0   | 0   |
| 1444.24                 | 34.31 | 18.36 | 1344.82 | 344.93 | 114.45 | 363.42 | 0   | 0   |
| C-50                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1470                    | 34.31 | 18.36 | 1366.1  | 358.71 | 119.02 | 377.94 | 0   | 0   |
| 1485.4                  | 34.31 | 18.36 | 1378.82 | 366.95 | 121.76 | 386.62 | 0   | 0   |
| C-55                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1500                    | 34.31 | 18.36 | 1390.88 | 374.76 | 124.35 | 394.85 | 0   | 0   |
| 1524.14                 | 34.31 | 18.36 | 1410.82 | 387.67 | 128.63 | 408.46 | 0   | 0   |
| C-60                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1530                    | 34.31 | 18.36 | 1415.66 | 390.81 | 129.67 | 411.76 | 0   | 0   |
| 1556.83                 | 34.31 | 18.36 | 1437.82 | 405.16 | 134.44 | 426.88 | 0   | 0   |
| C-65                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1560                    | 34.31 | 18.36 | 1440.44 | 406.86 | 135    | 428.67 | 0   | 0   |
| 1590                    | 34.31 | 18.36 | 1465.22 | 422.9  | 140.32 | 445.58 | 0   | 0   |
| C-70                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1620                    | 34.31 | 18.36 | 1490    | 438.95 | 145.65 | 462.49 | 0   | 0   |
| 1650                    | 34.31 | 18.36 | 1514.78 | 455    | 150.97 | 479.4  | 0   | 0   |
| 1680                    | 34.31 | 18.36 | 1539.56 | 471.05 | 156.3  | 496.31 | 0   | 0   |
| C-80                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1710                    | 34.31 | 18.36 | 1564.34 | 487.1  | 161.62 | 513.21 | 0   | 0   |
| 1740                    | 34.31 | 18.36 | 1589.12 | 503.15 | 166.95 | 530.12 | 0   | 0   |
| C-90                    |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1770                    | 34.31 | 18.36 | 1613.9  | 519.2  | 172.27 | 547.03 | 0   | 0   |
| 1800                    | 34.31 | 18.36 | 1638.68 | 535.25 | 177.6  | 563.94 | 0   | 0   |
| 1813.7                  | 34.31 | 18.36 | 1650    | 542.57 | 180.03 | 571.66 | 0   | 0   |
| 1830                    | 34.31 | 18.36 | 1663.47 | 551.3  | 182.93 | 580.85 | 0   | 0   |
| 1860                    | 34.31 | 18.36 | 1688.25 | 567.34 | 188.25 | 597.76 | 0   | 0   |
| 1890                    | 34.31 | 18.36 | 1713.03 | 583.39 | 193.58 | 614.67 | 0   | 0   |
| C-100                   |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 1920                    | 34.31 | 18.36 | 1737.81 | 599.44 | 198.9  | 631.58 | 0   | 0   |
| 1950                    | 34.31 | 18.36 | 1762.59 | 615.49 | 204.23 | 648.49 | 0   | 0   |
| 1980                    | 34.31 | 18.36 | 1787.37 | 631.54 | 209.55 | 665.4  | 0   | 0   |
| 2010                    | 34.31 | 18.36 | 1812.15 | 647.59 | 214.86 | 682.31 | 0   | 0   |
| 2040                    | 34.31 | 18.36 | 1836.93 | 663.64 | 220.2  | 699.22 | 0   | 0   |
| 2070                    | 34.31 | 18.36 | 1861.71 | 679.69 | 225.53 | 716.13 | 0   | 0   |
| 2100                    | 34.31 | 18.36 | 1886.49 | 695.74 | 230.85 | 733.04 | 0   | 0   |
| 2130                    | 34.31 | 18.36 | 1911.27 | 711.78 | 236.18 | 749.94 | 0   | 0   |
| 2160                    | 34.31 | 18.36 | 1936.05 | 727.83 | 241.5  | 766.85 | 0   | 0   |
| 2190                    | 34.31 | 18.36 | 1960.83 | 743.88 | 246.83 | 783.76 | 0   | 0   |
| PT                      |       |       |         |        |        |        |     |     |
| 2200                    | 34.31 | 18.36 | 1969.09 | 749.23 | 248.6  | 789.4  | 0   | 0   |

### 3.2.1.5 Trayectoria Tipo "J" Graficada

Las gráficas presentadas figura 3.3 muestran un esquema detallado del comportamiento de la trayectoria en relación con la profundidad, KOP, EOC, Dog Leg, ángulo de inclinación, azimuth y desplazamiento. Además, se incluye una representación en vista de planta para ofrecer una visualización más precisa de la desviación desde el origen. Proporcionando una gráfica en 3D de la sección del cuerpo de la trayectoria realizada.

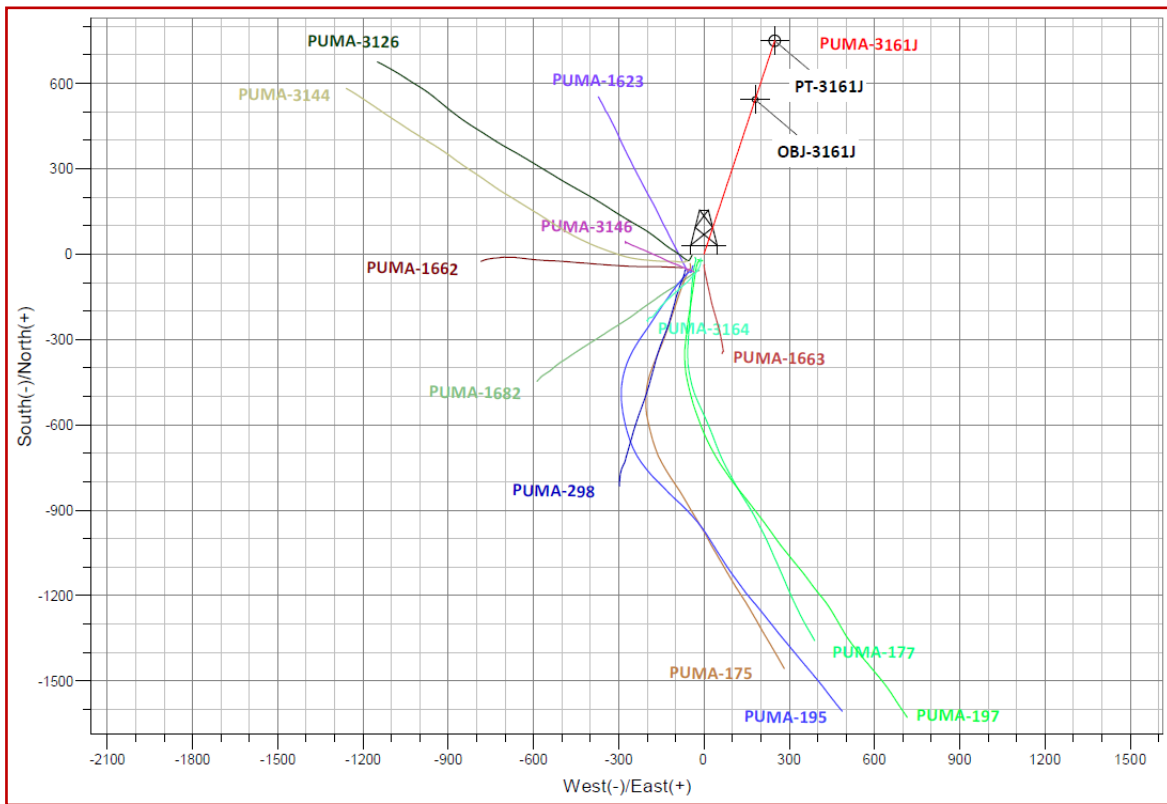


**Figura 3.3** Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

---

### 3.2.1.6 Análisis Anticolisión Tipo 'J'

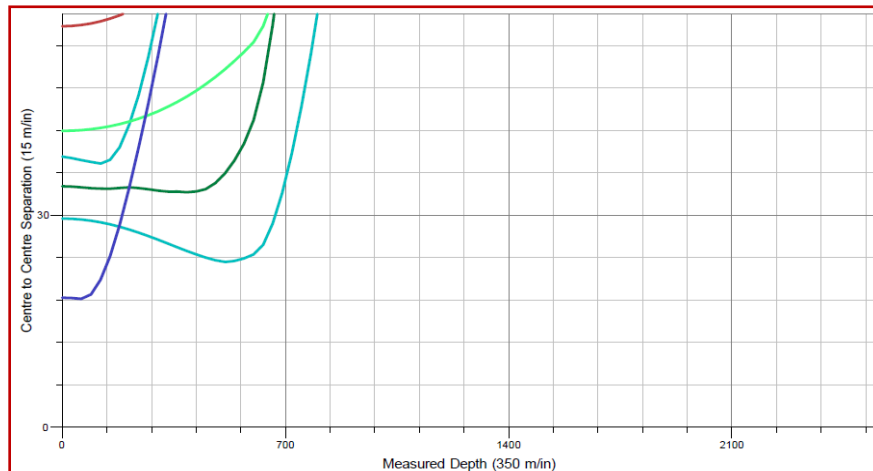
El Punto de Inicio de la Construcción (KOP) se seleccionó de manera estratégica, considerando la presencia de pozos preexistentes en la ubicación, con el propósito de reducir el riesgo de colisión. A continuación, en la figura 3.4 ilustra la distribución de los pozos existentes dentro de la localización PUMA-1663.



**Figura 3.4** Vista de Araña de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

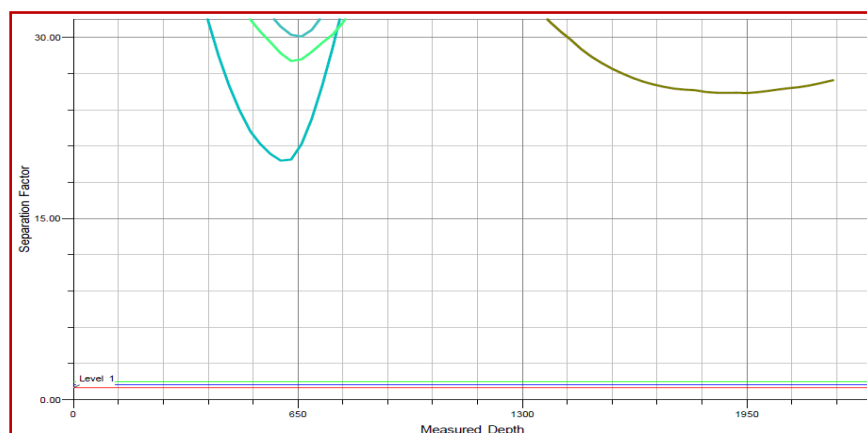
La vista de Planta de la figura 3.4 revela la trayectoria planificada para el pozo tipo 'J'. Se observa que no hay puntos críticos que puedan tener un impacto negativo en términos de colisión con pozos vecinos, lo que confirma que el diseño se ajusta de manera apropiada a los requisitos específicos establecidos.

El análisis centro a centro (Figura 3.5) muestra que el pozo vecino más cercano a nuestro proyecto se encuentra a una distancia de 22 metros, lo cual no representa ningún inconveniente para el desarrollo de nuestra trayectoria.



**Figura 3.5** Análisis Centro a Centro de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'.  
(Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

El análisis del factor de separación no presenta áreas de mejora, ya que se encuentra por encima del valor de 15, lo que proporciona un amplio margen de maniobra que no afectará el desarrollo del proyecto.

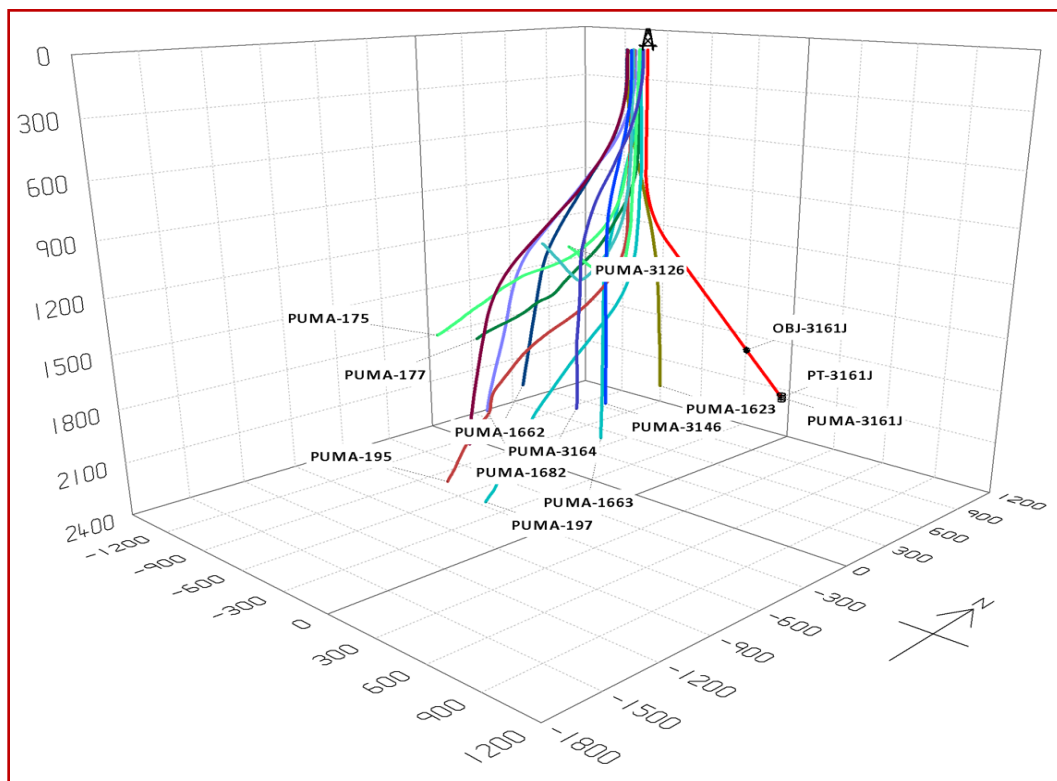


**Figura 3.6** Factor de Separación de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'.  
(Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

---

Tras el análisis anticolidión basado en la información recopilada de los pozos perforados dentro de la localización, se determinó que el pozo vecino más cercano se encuentra a una distancia por encima de los 20 metros de la trayectoria planificada. Además, se verifica un factor de separación superior al 15 por ciento, lo que descarta cualquier riesgo de colisión con el plan direccional del Pozo PUMA-3161J.

El diseño se fundamentó en un análisis anticolidión y consideró la competencia de las formaciones geológicas. Asimismo, la trayectoria se definió con el objetivo de optimizar la longitud mínima de metros direccionales a perforar como se observa en la Figura 3.7.



**Figura 3.7** Vista 3D Araña trayectoria Planeada Pozo Tipo 'J'. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

### 3.2.2 Ejemplo de un Plan Direccional con una Trayectoria Tipo 'S'

Con base en los criterios establecidos para el diseño, se inicia el proceso de planificación para un pozo tipo 'S'. Este enfoque se centra en cumplir con las características específicas asociadas. Se consideran aspectos como la necesidad de atravesar múltiples formaciones geológicas, alcanzando los objetivos deseados de manera vertical, con forme a las premisas dadas en la Tabla 3.9. El plan direccional se desarrolla con el propósito de optimizar la trayectoria del pozo, asegurando una desviación controlada y precisa para seguir la forma característica de este tipo de perforación.

**Tabla 3.9** Profundidad de los Objetivos de la Trayectoria Pozo Tipo 'S'. (Modificado PEP, 2022)

| Objetivo    | Prof. Vertical<br>(m.v.b.m.r.) | Prof. Desarrollada<br>(m.d.b.m.r.) | Desplazamiento (m) | Azimet (°) |
|-------------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------|
| <b>C-40</b> | 1226.48                        | 1380                               | 542.42             | 0          |
| <b>C-50</b> | 1346.27                        | 1500                               | 542.57             | 0          |
| <b>C-60</b> | 1436.27                        | 1590                               | 542.57             | 0          |

#### 3.2.2.1 Primera Sección de la Trayectoria Tipo 'S'

Durante la fase inicial de perforación de la trayectoria planificada, no se observan cambios significativos en la desviación del pozo. Los valores de profundidad desarrollada y vertical se mantienen estables, tal como se detalla en la tabla 3.10.

**Tabla 3.10** Primera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S'. (Modificado PEP, 2022)

| Primera Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 0                 | 0              | 0          | 0                 | 0        |
| 100               | 0              | 0          | 100               | 0        |

### 3.2.2.2 Segunda Sección de la Trayectoria Tipo 'S'

Una vez alcanzados los 100 metros perforados, se inicia la construcción del ángulo en la segunda sección del pozo, utilizando una Dog Leg de 3°/ 30 [m]. Esta tasa se mantiene constante hasta lograr un ángulo total de 33.90° a una profundidad de 438.99 [md] / 419.55 [mv] Tabla 3.11. Este cambio en la trayectoria resulta en una variación en los datos de profundidad desarrollada y vertical con un valor de 97.39 [m] de desplazamiento.

**Tabla 3.11** Segunda Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S'. (Modificado PEP, 2022)

| Segunda Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 130               | 2.0            | 0          | 100               | 0        |
| 438.99            | 33.9           | 18.36      | 419.55            | 92.43    |

### 3.2.2.3 Tercera Sección de la Trayectoria Tipo 'S'

Habiendo alcanzado el ángulo de inclinación previsto, se avanza hacia la generación de una sección tangencial hasta llegar a una profundidad de 1,114.74 [md] / 980.45 [mv] Tabla 3.12. Este tramo presenta un desplazamiento total de 474.27 [m].

**Tabla 3.12** Tercera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S'. (Modificado PEP, 2022)

| Tercera Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 438.99            | 33.9           | 18.36      | 419.55            | 92.43    |
| 1114.74           | 33.9           | 18.36      | 980.45            | 450.14   |

### 3.2.2.4 Cuarta Sección de la Trayectoria Tipo 'S'

Una vez completada la sección tangencial, se procede a realizar una desconstrucción del ángulo, siguiendo una tasa de -3°/ 30 [m]. Esta acción se realiza en concordancia con la premisa de los pozos tipo S de atravesar los objetivos de manera vertical Tabla 3.13. Se logra alcanzar una desviación de 0° a la profundidad de 1,453.73 [md] /



1,300.00 [mv]. Presentando un desplazamiento de 571.50 [m]. Este proceso de transición es crítico para asegurar una trayectoria continua y controlada del pozo, conforme se avanza hacia el objetivo final de perforación.

**Tabla 3.13** Cuarta Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S'. (Modificado PEP, 2022)

| Cuarta Sección    |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 1114.74           | 33.9           | 18.36      | 980.45            | 450.14   |
| 1453.73           | 0              | 0          | 1300              | 542.57   |

### 3.2.2.5 Quinta Sección de la Trayectoria Tipo 'S'

En la sección final, se mantiene la verticalidad de la trayectoria planificada, avanzando hasta alcanzar la profundidad total de 1,620.00 [md] / 1,466.27 [mv] Tabla 3.14. No se observan cambios en el desplazamiento del pozo, ya que se mantiene en línea recta, permitiendo así atravesar los objetivos de manera vertical según lo requerido. Este enfoque asegura la precisión y efectividad en la perforación del pozo, cumpliendo con los objetivos establecidos de manera óptima.

**Tabla 3.14** Quinta Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'S'. (Modificado PEP, 2022)

| Quinta Sección    |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 1453.73           | 0              | 0          | 1300              | 542.57   |
| 1620              | 0              | 0          | 1466.27           | 542.57   |

### 3.2.2.6 Survey Planeado para la Trayectoria Tipo 'S'

Se generó el *survey* planeado para la trayectoria tipo "S" Tabla 3.15, en el cual se destaca la descripción de las zonas de construcción a partir de los 120 metros. La ejecución de dichas operaciones genera un desplazamiento de 571 metros, manteniendo el proyecto dentro de los márgenes de desarrollo óptimo y contribuyendo al cumplimiento de los objetivos.

**Tabla 3.15 Survey Planeado de la Trayectoria Pozo Tipo 'S'. (Modificado PEP, 2022)**

| Planned Survey S        |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
|-------------------------|-----------------|-------------|--------------------|-----------|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|
| Measured Depth (m)      | Inclination (°) | Azimuth (°) | Vertical Depth (m) | +N/-S (m) | +E/-W (m) | Vertical Section (m) | Dogleg Rate (°/30m) | Build Rate (°/30m) |
| 0                       | 0               | 0           | 0                  | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 10                      | 0               | 0           | 10                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| Es. Tantoyuca           |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 30                      | 0               | 0           | 30                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 60                      | 0               | 0           | 60                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 90                      | 0               | 0           | 90                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 100                     | 0               | 0           | 100                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  |
| 120                     | 2               | 18.36       | 120                | 0.33      | 0.11      | 0.35                 | 3                   | 3                  |
| 150                     | 5               | 18.36       | 149.94             | 2.07      | 0.69      | 2.18                 | 3                   | 3                  |
| 180                     | 8               | 18.36       | 179.74             | 5.29      | 1.76      | 5.58                 | 3                   | 3                  |
| 210                     | 11              | 18.36       | 209.33             | 9.99      | 3.32      | 10.53                | 3                   | 3                  |
| 240                     | 14              | 18.36       | 238.61             | 16.15     | 5.36      | 17.02                | 3                   | 3                  |
| 270                     | 17              | 18.36       | 267.52             | 23.76     | 7.88      | 25.04                | 3                   | 3                  |
| 300                     | 20              | 18.36       | 295.96             | 32.8      | 10.88     | 34.55                | 3                   | 3                  |
| 330                     | 23              | 18.36       | 323.87             | 43.23     | 14.34     | 45.55                | 3                   | 3                  |
| 360                     | 26              | 18.36       | 351.17             | 55.04     | 18.26     | 57.99                | 3                   | 3                  |
| 373.24                  | 27.32           | 18.36       | 363                | 60.67     | 20.13     | 63.93                | 3                   | 3                  |
| Em. Guayabal            |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 390                     | 29              | 18.36       | 377.78             | 68.18     | 22.62     | 71.84                | 3                   | 3                  |
| 420                     | 32              | 18.36       | 403.62             | 82.63     | 27.42     | 87.06                | 3                   | 3                  |
| 438.99                  | 33.9            | 18.36       | 419.55             | 92.43     | 30.67     | 97.39                | 3                   | 3                  |
| 450                     | 33.9            | 18.36       | 428.69             | 98.26     | 32.6      | 103.53               | 0                   | 0                  |
| Superficial             |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 480                     | 33.9            | 18.36       | 453.6              | 114.14    | 37.87     | 120.26               | 0                   | 0                  |
| 510                     | 33.9            | 18.36       | 478.5              | 130.02    | 43.14     | 136.99               | 0                   | 0                  |
| 540                     | 33.9            | 18.36       | 503.4              | 145.9     | 48.41     | 153.73               | 0                   | 0                  |
| 570                     | 33.9            | 18.36       | 528.3              | 161.78    | 53.68     | 170.46               | 0                   | 0                  |
| 600                     | 33.9            | 18.36       | 553.2              | 177.66    | 58.95     | 187.19               | 0                   | 0                  |
| 630                     | 33.9            | 18.36       | 578.1              | 193.55    | 64.22     | 203.92               | 0                   | 0                  |
| 660                     | 33.9            | 18.36       | 603                | 209.43    | 69.49     | 220.65               | 0                   | 0                  |
| 690                     | 33.9            | 18.36       | 627.9              | 225.31    | 74.76     | 237.39               | 0                   | 0                  |
| 720                     | 33.9            | 18.36       | 652.8              | 241.19    | 80.03     | 254.12               | 0                   | 0                  |
| 750                     | 33.9            | 18.36       | 677.7              | 257.07    | 85.3      | 270.85               | 0                   | 0                  |
| 780                     | 33.9            | 18.36       | 702.6              | 272.95    | 90.57     | 287.58               | 0                   | 0                  |
| 810                     | 33.9            | 18.36       | 727.5              | 288.83    | 95.84     | 304.31               | 0                   | 0                  |
| 840                     | 33.9            | 18.36       | 752.4              | 304.71    | 101.11    | 321.04               | 0                   | 0                  |
| 870                     | 33.9            | 18.36       | 777.31             | 320.59    | 106.37    | 337.78               | 0                   | 0                  |
| 900                     | 33.9            | 18.36       | 802.21             | 336.47    | 111.64    | 354.51               | 0                   | 0                  |
| 930                     | 33.9            | 18.36       | 827.11             | 352.35    | 116.91    | 371.24               | 0                   | 0                  |
| 960                     | 33.9            | 18.36       | 852.01             | 368.23    | 122.18    | 387.97               | 0                   | 0                  |
| 990                     | 33.9            | 18.36       | 876.91             | 384.11    | 127.45    | 404.7                | 0                   | 0                  |
| 1,020.00                | 33.9            | 18.36       | 901.81             | 399.99    | 132.72    | 421.43               | 0                   | 0                  |
| 1,050.00                | 33.9            | 18.36       | 926.71             | 415.87    | 137.99    | 438.17               | 0                   | 0                  |
| 1,080.00                | 33.9            | 18.36       | 951.61             | 431.75    | 143.26    | 454.9                | 0                   | 0                  |
| 1,110.00                | 33.9            | 18.36       | 976.51             | 447.63    | 148.53    | 471.63               | 0                   | 0                  |
| 1,114.74                | 33.9            | 18.36       | 980.45             | 450.14    | 149.36    | 474.27               | 0                   | 0                  |
| 1,140.00                | 31.37           | 18.36       | 1,001.72           | 463.07    | 153.65    | 487.9                | 3                   | -3                 |
| 1,170.00                | 28.37           | 18.36       | 1,027.73           | 477.25    | 158.36    | 502.84               | 3                   | -3                 |
| 1,200.00                | 25.37           | 18.36       | 1,054.48           | 490.12    | 162.63    | 516.39               | 3                   | -3                 |
| 1,219.24                | 23.45           | 18.36       | 1,072.00           | 497.66    | 165.13    | 524.34               | 3                   | -3                 |
| C-10 (Cima Chicontepec) |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1230                    | 22.37           | 18.36       | 1081.91            | 501.64    | 166.45    | 528.53               | 3                   | -3                 |
| 1260                    | 19.37           | 18.36       | 1109.94            | 511.78    | 169.82    | 539.22               | 3                   | -3                 |
| 1,275.89                | 17.78           | 18.36       | 1,125.00           | 516.59    | 171.41    | 544.28               | 3                   | -3                 |
| C-15                    |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1290                    | 16.37           | 18.36       | 1138.49            | 520.52    | 172.71    | 548.43               | 3                   | -3                 |
| 1316.42                 | 13.73           | 18.36       | 1164               | 527.03    | 174.87    | 555.29               | 3                   | -3                 |
| C-20                    |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1320                    | 13.37           | 18.36       | 1167.48            | 527.83    | 175.14    | 556.13               | 3                   | -3                 |
| 1,350.00                | 10.37           | 18.36       | 1,196.84           | 533.69    | 177.08    | 562.3                | 3                   | -3                 |
| 1353.21                 | 10.05           | 18.36       | 1200               | 534.23    | 177.26    | 562.87               | 3                   | -3                 |
| C-30                    |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1380                    | 7.37            | 18.36       | 1226.48            | 538.08    | 178.54    | 566.93               | 3                   | -3                 |
| 1410                    | 4.37            | 18.36       | 1256.31            | 540.99    | 179.51    | 570                  | 3                   | -3                 |
| 1421.71                 | 3.2             | 18.36       | 1268               | 541.73    | 179.75    | 570.77               | 3                   | -3                 |
| C-40 (Objetivo)         |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1440                    | 1.37            | 18.36       | 1286.27            | 542.42    | 179.98    | 571.5                | 3                   | -3                 |
| 1453.73                 | 0               | 0           | 1300               | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 3                   | -3                 |
| 1458.73                 | 0               | 0           | 1305               | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| C-45                    |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1470                    | 0               | 0           | 1316.27            | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| 1497.73                 | 0               | 0           | 1344               | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| C-50 (Objetivo)         |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1500                    | 0               | 0           | 1346.27            | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| 1530                    | 0               | 0           | 1376.27            | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| 1530.73                 | 0               | 0           | 1377               | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| C-55                    |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1560                    | 0               | 0           | 1406.27            | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| 1563.73                 | 0               | 0           | 1410               | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| C-60 (Objetivo)         |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1590                    | 0               | 0           | 1436.27            | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| 1590.73                 | 0               | 0           | 1437               | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |
| PT                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |
| 1620                    | 0               | 0           | 1466.27            | 542.57    | 180.03    | 571.66               | 0                   | 0                  |

---

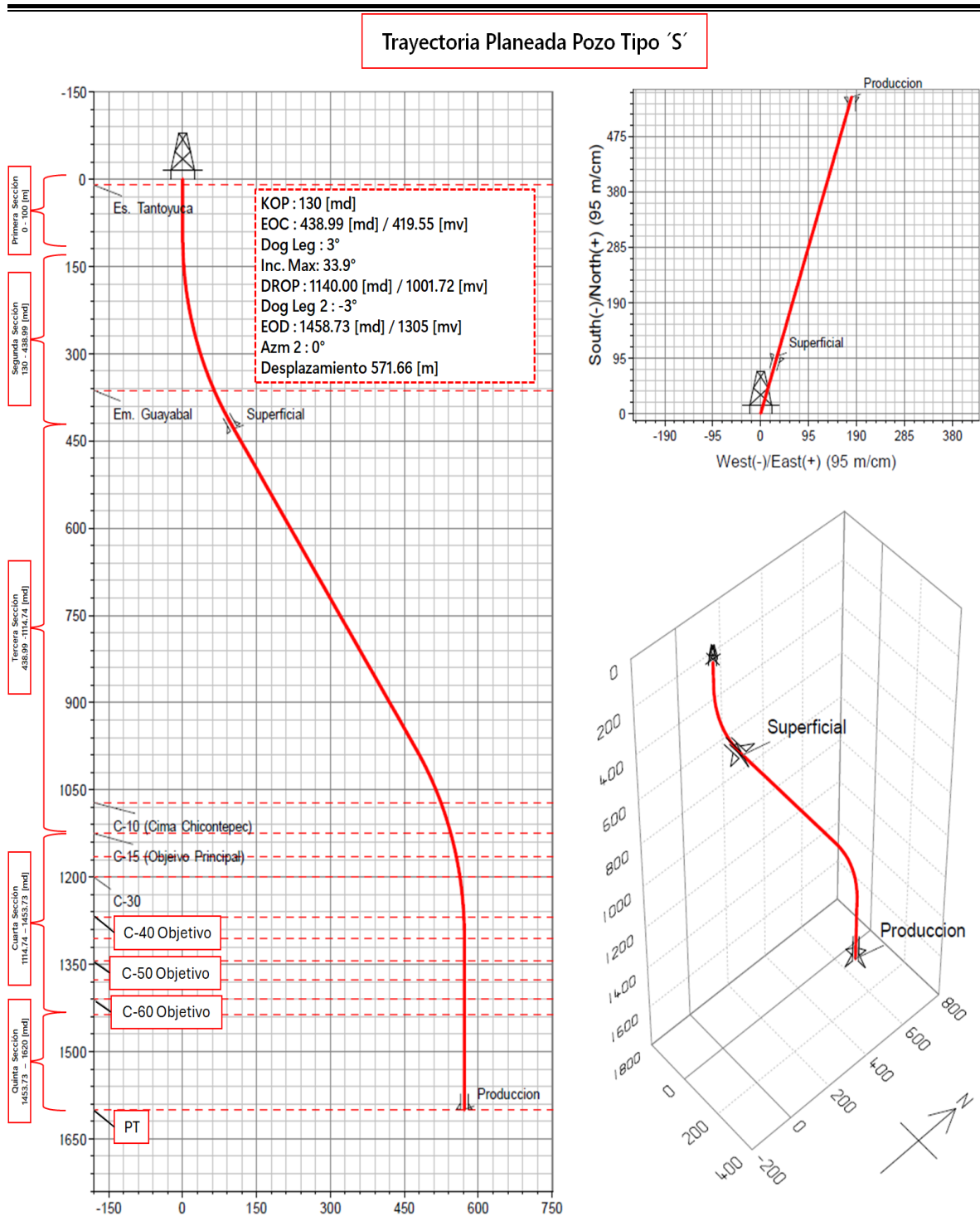
#### 3.2.2.7 Trayectoria Tipo “S” Graficada

Como se puede observar en las gráficas presentadas Figura 3.8, se realizó un ploteo de la trayectoria planeada con vista de sección, mostrando el comportamiento esperado de los atributos deseados de la trayectoria.

Comenzando por el KOP, el cual inicia a 130 [md] con el objetivo de disminuir considerablemente el desplazamiento de la construcción, logrando mantener una Dog Leg de  $3^{\circ}/30$  [m], alcanzando la inclinación máxima de  $33.9^{\circ}$ .

Posteriormente, se presenta una sección tangencial con la finalidad de lograr el desplazamiento necesario y comenzar la deconstrucción del ángulo a 1140 [md], con una tasa de deconstrucción de  $-3^{\circ}$ . De esta manera, se alcanza la completa disminución del ángulo a la profundidad de 1458.73 [md].

La vista de planta nos muestra un desplazamiento al noroeste de la localización con un azimut de  $18.36^{\circ}$ . En la gráfica 3D sencilla, se puede observar el comportamiento de la trayectoria en base a su dirección y profundidad, remarcando anticipadamente las zonas de asentamiento.



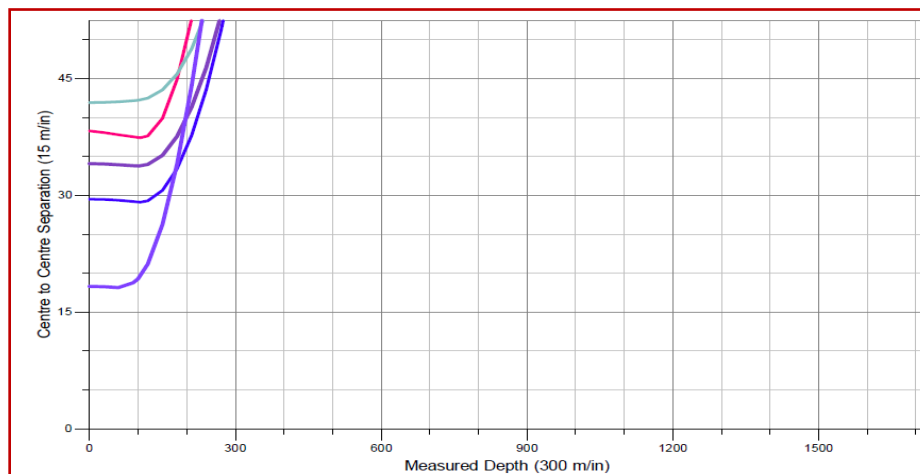
**Figura 3.8** Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)



---

contingencias técnicas como una reentrada (sidetrack). Si no se contempla una distancia adecuada para las maniobras operativas requeridas, podría causar problemas futuros en el desarrollo de las actividades. Por lo tanto, es vital siempre considerar estos eventos para garantizar una operación satisfactoria.

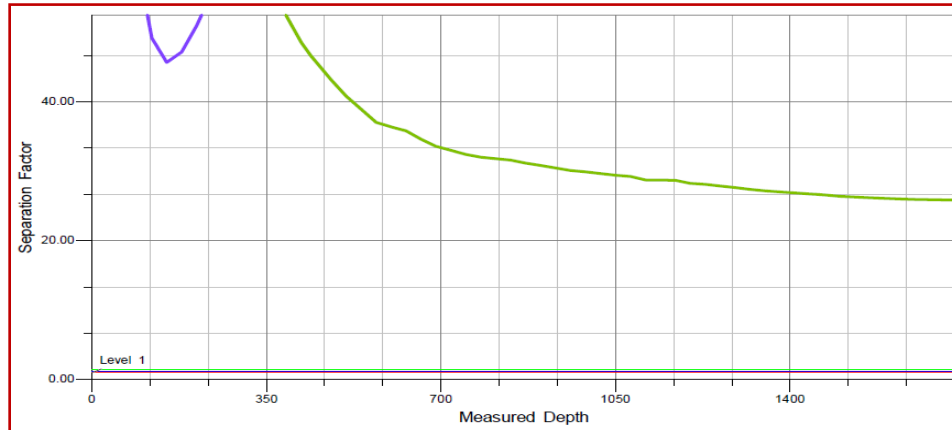
Como se observa en la Figura 3.10, el análisis centro a centro de la trayectoria del pozo tipo S muestra que el pozo más cercano se encuentra a una distancia de 18 metros, lo cual representa un espaciamiento óptimo para el desarrollo de la operación. Este espaciamiento es crucial dado el diseño de la trayectoria tipo S, que implica cambios en la dirección de perforación a diferentes profundidades.



**Figura 3.10** Análisis Centro a Centro de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'.

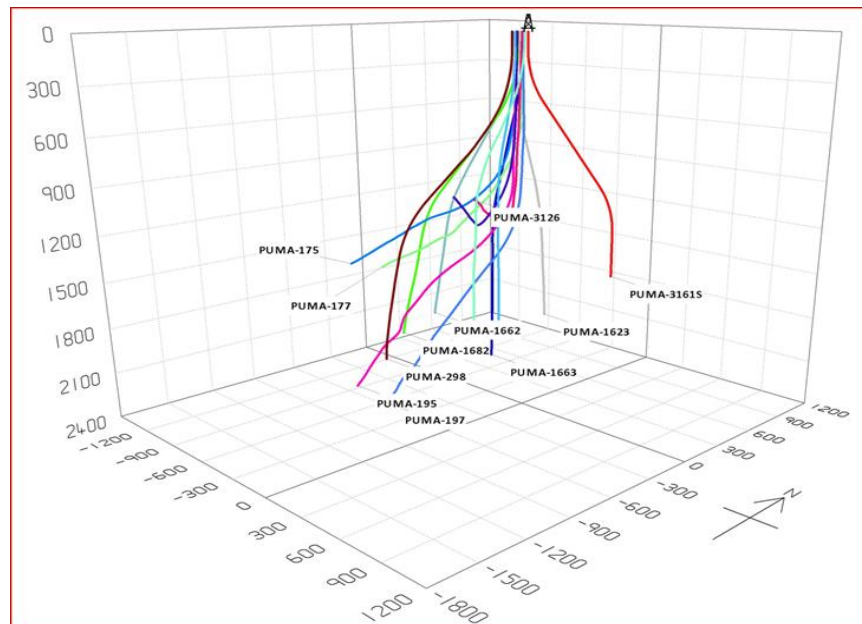
(Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

Asimismo, en la Figura 3.11, el factor de separación indica un valor superior al 20%, lo que se traduce en un riesgo casi inexistente de colisión. Estos análisis no solo confirman la viabilidad de la trayectoria planificada, sino que también servirán como base para monitorear y ajustar los parámetros requeridos al iniciar la perforación direccional, asegurando que se mantengan dentro de los límites preestablecidos para evitar contingencias durante el desarrollo de la operación.



**Figura 3.11** Factor de Separación de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'.  
(Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

Finalmente, se presenta una vista 3D simplificada de la disposición de los pozos (araña) Figura 3.12, con el fin de mostrar el comportamiento en sección de la trayectoria diseñada y verificar que no existen pozos vecinos que intercepten la dirección planeada. Esta visualización adicional refuerza la seguridad y efectividad del plan de perforación.



**Figura 3.12** Vista 3D Araña trayectoria Planeada Pozo Tipo 'S'. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

---

### 3.2.3 Ejemplo de un Plan Direccional con una Trayectoria Tipo ‘Horizontal’

Una trayectoria direccional de un pozo horizontal es la ruta planificada que sigue la perforación del pozo desde la superficie hasta su objetivo final en el subsuelo. A diferencia de los planes direccionales anteriores, las trayectorias horizontales están diseñadas específicamente para alcanzar y navegar a través de formaciones específicas, incrementando el área de contacto.

Seguidamente, se elabora un diseño preliminar del pozo, el cual considera una sección vertical desde la superficie hasta el KOP, momento en el cual comenzara la sección de construcción de ángulo, donde una vez alcanzado el ángulo adecuado, la trayectoria continúa direccionándose horizontalmente dentro de la formación productiva. Esta sección maximiza el contacto con el yacimiento, aumentando significativamente el potencial de producción del pozo Tabla 3.16.

**Tabla 3.16** Profundidad de los Objetivos de la Trayectoria Pozo Tipo ‘Horizontal’.  
(Modificado PEP, 2022)

| Objetivo | Prof. Vertical<br>(m.v.b.m.r.) | Prof. Desarrollada<br>(m.d.b.m.r.) | Desplazamiento (m) | Azimut (°) |
|----------|--------------------------------|------------------------------------|--------------------|------------|
| C-65     | 1442.04                        | 1680                               | 475.09             | 18.36      |

#### 3.2.3.1 Primera Sección de la Trayectoria Tipo ‘Horizontal’

En la primera sección de la planeación se proyecta verticalmente desde el punto de inicio hasta la profundidad de 880 [m] / 880 [md] Tabla 3.17, donde la trayectoria no presentara cambio en su inclinación y por consecuente en su dirección.

**Tabla 3.17** Primera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo ‘Horizontal’. (Modificado PEP, 2022)

| Primera Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 0                 | 0              | 0          | 0                 | 0        |
| 880               | 0              | 0          | 880               | 0        |



---

### 3.2.3.2 Segunda Sección de la Trayectoria Tipo 'Horizontal'

Una vez alcanzada la profundidad planificada basada en los parámetros establecidos en las coordenadas objetivo, se comienza la construcción de ángulo en el punto conocido como KOP, a una profundidad de 900 [md] / 900 [mv]. En esta sección, se iniciará una desviación con una tasa de construcción de 3°/30 [m] Tabla 3.18.

A partir de este punto, se continuará la construcción gradual del ángulo hasta alcanzar el punto EOC a una profundidad de 1777.02 [md] / 1450 [mv], finalizando así la segunda sección de la trayectoria.

**Tabla 3.18** Segunda Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal'. (Modificado PEP, 2022)

| Segunda Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 900               | 2.0            | 18.36      | 900               | 0.33     |
| 1777.02           | 90.17          | 18.36      | 1450              | 542.57   |

### 3.2.3.3 Tercera Sección de la Trayectoria Tipo 'Horizontal'

La trayectoria del pozo continúa de manera horizontal, manteniendo una inclinación establecida de 90.05°. Para lograr esto, se mantiene navegando a través del cuerpo de interés, desplazándose 196 [md] hasta alcanzar una profundidad de 2007.02 [md] / 1451.67 [mv] Tabla 3.19. Esta sección horizontal permite maximizar el área de contacto con la formación productiva.

**Tabla 3.19** Tercera Sección de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal'. (Modificado PEP, 2022)

| Tercera Sección   |                |            |                   |          |
|-------------------|----------------|------------|-------------------|----------|
| Measured Depth(m) | Inclination(°) | Azimuth(°) | Vertical Depth(m) | +N/-S(m) |
| 1800              | 90.05          | 18.36      | 1450              | 564.39   |
| 2007.02           | 89             | 18.36      | 1451.67           | 760.86   |

### 3.2.3.4 Survey Planeado para la Trayectoria Tipo 'Horizontal'

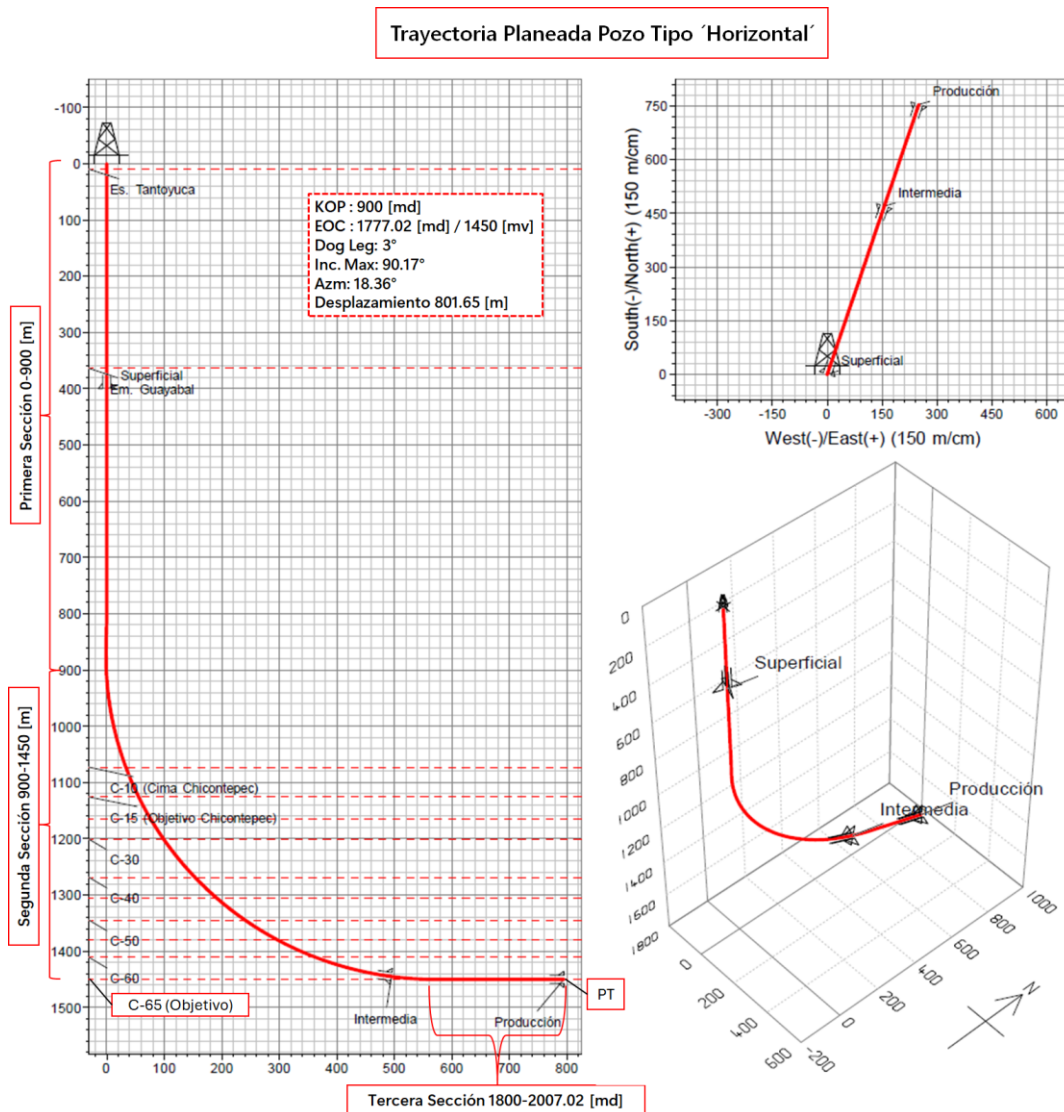
Debido a la naturaleza de la trayectoria horizontal, el inicio de la construcción de ángulo se lleva a cabo en una etapa más profunda del desarrollo del plan, con el objetivo de atender las particularidades del tipo de perforación programada y lograr el contacto con el cuerpo de interés en un mayor ángulo de intersección, como se observa en la Tabla 3.20.

**Tabla 3.20** Survey Planeado de la Trayectoria Pozo Tipo 'Horizontal' (Modificado PEP, 2022)

| Planned Survey Horizontal |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
|---------------------------|-----------------|-------------|--------------------|-----------|-----------|----------------------|---------------------|--------------------|--------|
| Measured Depth (m)        | Inclination (°) | Azimuth (°) | Vertical Depth (m) | +N/-S (m) | +E/-W (m) | Vertical Section (m) | Dogleg Rate (°/30m) | Build Rate (°/30m) |        |
| 0                         | 0               | 0           | 0                  | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 10                        | 0               | 0           | 10                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| Es. Tantoyuca             |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 30                        | 0               | 0           | 30                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 60                        | 0               | 0           | 60                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 90                        | 0               | 0           | 90                 | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 120                       | 0               | 0           | 120                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 150                       | 0               | 0           | 150                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 180                       | 0               | 0           | 180                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 210                       | 0               | 0           | 210                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 240                       | 0               | 0           | 240                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 270                       | 0               | 0           | 270                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 300                       | 0               | 0           | 300                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 330                       | 0               | 0           | 330                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 360                       | 0               | 0           | 360                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 363                       | 0               | 0           | 363                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| Em. Guayabal              |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 390                       | 0               | 0           | 390                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 400                       | 0               | 0           | 400                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| Superficial               |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 420                       | 0               | 0           | 420                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 450                       | 0               | 0           | 450                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 480                       | 0               | 0           | 480                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 510                       | 0               | 0           | 510                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 540                       | 0               | 0           | 540                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 570                       | 0               | 0           | 570                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 600                       | 0               | 0           | 600                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 630                       | 0               | 0           | 630                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 660                       | 0               | 0           | 660                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 690                       | 0               | 0           | 690                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 720                       | 0               | 0           | 720                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 750                       | 0               | 0           | 750                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 780                       | 0               | 0           | 780                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 810                       | 0               | 0           | 810                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 840                       | 0               | 0           | 840                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 870                       | 0               | 0           | 870                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 880                       | 0               | 0           | 880                | 0         | 0         | 0                    | 0                   | 0                  | 0      |
| 900                       | 2.01            | 18.36       | 900                | 0.33      | 0.11      | 0.35                 | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 930                       | 5.03            | 18.36       | 929.94             | 2.08      | 0.69      | 2.19                 | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 960                       | 8.04            | 18.36       | 959.74             | 5.32      | 1.77      | 5.6                  | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 990                       | 11.06           | 18.36       | 989.32             | 10.04     | 3.33      | 10.58                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,020.00                  | 14.07           | 18.36       | 1,018.60           | 16.24     | 5.39      | 17.11                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,150.00                  | 17.09           | 18.36       | 1,047.49           | 21.88     | 7.92      | 25.16                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,075.83                  | 19.68           | 18.36       | 1,072.00           | 31.62     | 10.49     | 33.31                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-10 (Cima Chicontepec)   |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1080                      | 20.1            | 18.36       | 1075.92            | 32.96     | 10.94     | 34.73                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,110.00                  | 23.12           | 18.36       | 1,101.81           | 43.45     | 14.42     | 45.78                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1133.25                   | 25.46           | 18.36       | 1125               | 52.52     | 17.43     | 55.34                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-20                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1,200.00                  | 32.17           | 18.36       | 1,183.45           | 83.04     | 27.55     | 87.49                | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,219.77                  | 34.15           | 18.36       | 1,200.00           | 91.3      | 30.96     | 98.3                 | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-30                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1,230.00                  | 35.18           | 18.36       | 1,208.42           | 98.82     | 32.79     | 104.12               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,260.00                  | 38.2            | 18.36       | 1,232.47           | 115.83    | 38.43     | 122.04               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,290.00                  | 41.21           | 18.36       | 1,255.55           | 134.02    | 44.47     | 141.21               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,306.77                  | 42.9            | 18.36       | 1,268.00           | 144.68    | 48.01     | 152.44               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-40                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1,320.00                  | 44.23           | 18.36       | 1,277.59           | 153.34    | 50.88     | 161.56               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,350.00                  | 47.24           | 18.36       | 1,298.52           | 173.72    | 57.64     | 183.04               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,359.63                  | 48.21           | 18.36       | 1,305.00           | 184.46    | 59.89     | 190.16               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-45                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1380                      | 50.26           | 18.36       | 1318.3             | 195.13    | 64.75     | 205.59               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1410                      | 53.27           | 18.36       | 1336.86            | 217.49    | 72.17     | 229.15               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1422.11                   | 54.49           | 18.36       | 1344               | 226.78    | 75.25     | 238.93               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-50                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1440                      | 56.29           | 18.36       | 1354.16            | 240.75    | 79.88     | 253.66               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1470                      | 59.31           | 18.36       | 1370.15            | 264.84    | 87.88     | 279.04               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1483.7                    | 60.68           | 18.36       | 1377               | 276.11    | 91.61     | 290.91               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-55                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1,500.00                  | 62.32           | 18.36       | 1,384.78           | 289.7     | 96.12     | 305.23               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,530.00                  | 65.34           | 18.36       | 1,398.01           | 315.25    | 104.6     | 332.15               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,560.00                  | 68.35           | 18.36       | 1,409.80           | 341.43    | 113.29    | 359.73               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,560.54                  | 68.41           | 18.36       | 1,410.00           | 341.9     | 113.45    | 360.23               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-60                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1,590.00                  | 71.37           | 18.36       | 1,420.13           | 368.16    | 122.16    | 387.89               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,620.00                  | 74.38           | 18.36       | 1,428.96           | 395.36    | 131.19    | 416.56               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,650.00                  | 77.4            | 18.36       | 1,436.27           | 422.98    | 140.35    | 445.65               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1,653.38                  | 77.74           | 18.36       | 1,437.00           | 425.11    | 141.39    | 448.95               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| C-65                      |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 1680                      | 80.41           | 18.36       | 1442.04            | 450.91    | 149.62    | 475.09               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1710                      | 83.43           | 18.36       | 1446.26            | 479.1     | 158.97    | 504.79               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1740                      | 86.45           | 18.36       | 1448.91            | 507.46    | 168.38    | 534.67               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1770                      | 89.46           | 18.36       | 1449.98            | 535.91    | 177.82    | 564.64               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1777                      | 90.17           | 18.36       | 1450               | 542.56    | 180.03    | 571.64               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1777.02                   | 90.17           | 18.36       | 1450               | 542.57    | 180.03    | 571.65               | 3.016               | 3.016              | 3.016  |
| 1800                      | 90.05           | 18.36       | 1449.96            | 564.39    | 187.27    | 594.64               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| 1830                      | 89.9            | 18.36       | 1449.97            | 592.86    | 196.72    | 624.64               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| 1860                      | 89.75           | 18.36       | 1450.06            | 621.33    | 206.17    | 654.64               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| 1890                      | 89.59           | 18.36       | 1450.24            | 649.81    | 215.61    | 684.64               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| 1920                      | 89.44           | 18.36       | 1450.49            | 678.28    | 225.06    | 714.64               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| 1950                      | 89.29           | 18.36       | 1450.82            | 706.75    | 234.51    | 744.64               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| 1980                      | 89.14           | 18.36       | 1451.23            | 735.22    | 243.96    | 774.64               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| 2007                      | 89              | 18.36       | 1451.67            | 760.84    | 252.46    | 801.63               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |
| PT - Producción           |                 |             |                    |           |           |                      |                     |                    |        |
| 2007.02                   | 89              | 18.36       | 1451.67            | 760.86    | 252.47    | 801.65               | 0.152               | 0.152              | -0.152 |

### 3.2.3.5 Trayectoria Tipo “Horizontal” Graficada

Con base en las premisas planteadas, se realizó el diseño colocando el KOP a una profundidad de 900 [md] / 900 [mv], con una tasa de construcción de 3°/30 [m] Figura 3.13. De esta manera, la trayectoria tipo horizontal contará con una inclinación máxima de 90.17°. En las tablas 3.17, 3.18 y 3.19 se muestran los datos del plan direccional por secciones, mientras que en la figura 3.13 se presentan las distintas vistas del plan direccional.

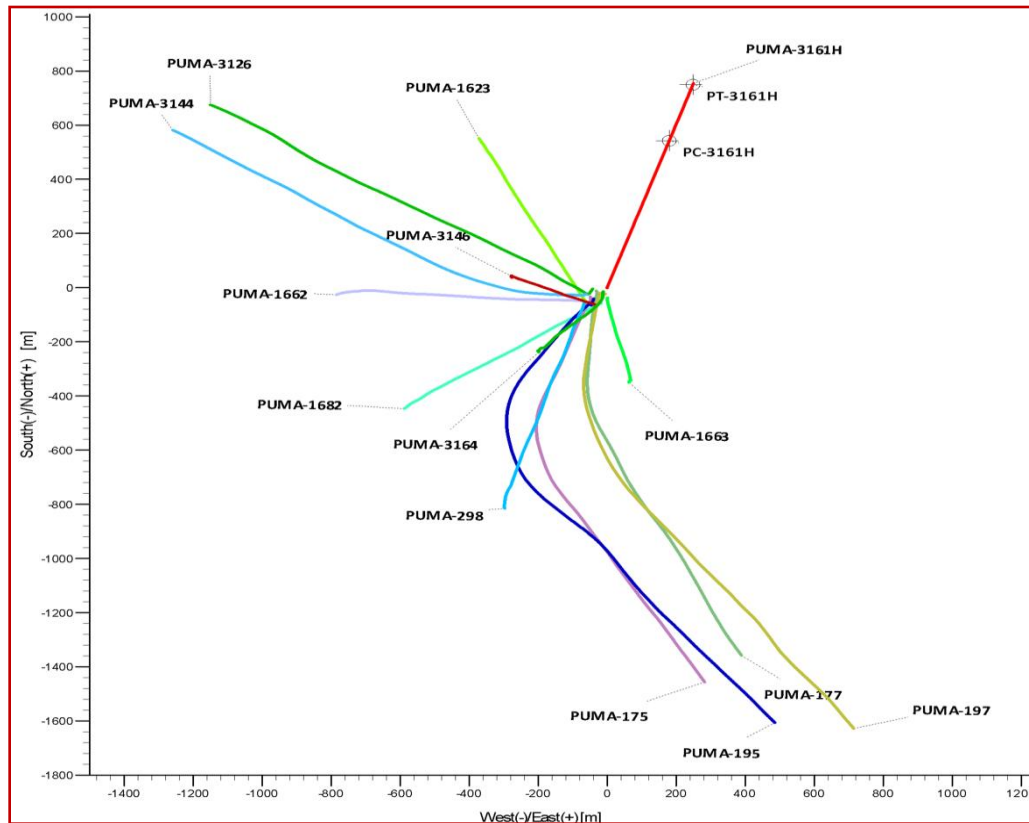


**Figura 3.13** Trayectoria Planeada Pozo Tipo ‘Horizontal’. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

---

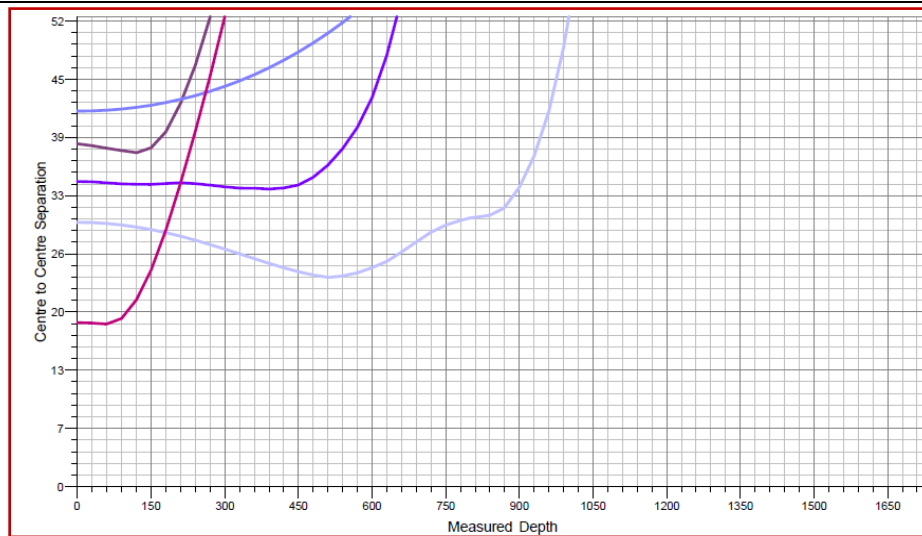
### 3.2.3.6 Análisis Anticolisión Tipo 'Horizontal'

Para el análisis anticolisión del plan direccional, se consideraron los pozos de la pera PUMA-1663, mostrados en la figura 3.14. En esta figura se observa la vista en planta, donde se muestra en color rojo el plan del PUMA-3161H.



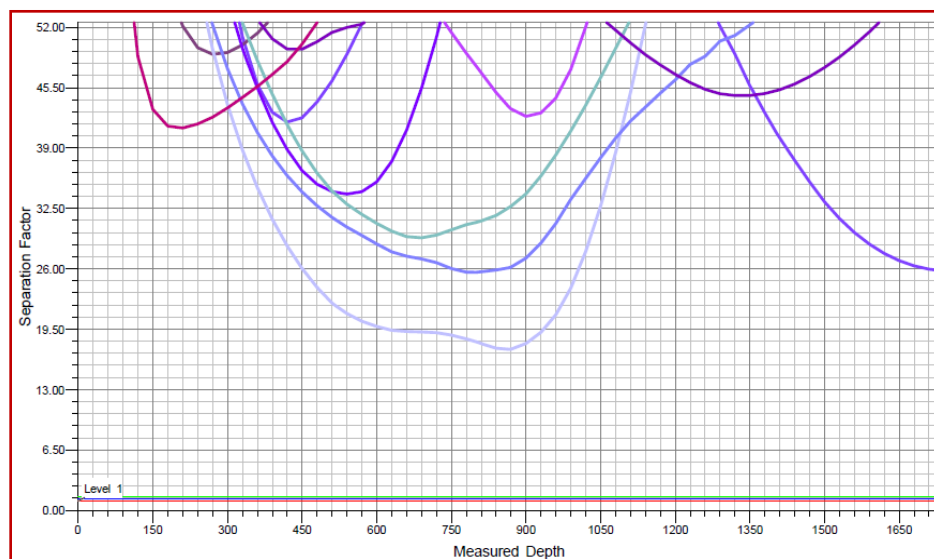
**Figura 3.14** Vista de Araña de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'.  
(Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022).

Se realizó un análisis detallado de la proximidad y posibles interferencias entre los pozos adyacentes para asegurar la seguridad y eficiencia de la trayectoria direccional. En la figura 3.15 se observa que todos los pozos vecinos del PUMA-3161H tienen una separación centro a centro mayor a 19 metros, y que a partir del KOP a 900 [md], esta distancia comienza a incrementarse, eliminando el riesgo de colisión.



**Figura 3.15** Análisis Centro a Centro de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)

De manera similar, en la figura 13.16 se muestra que ninguno de los pozos vecinos tiene un factor de separación menor a 15, garantizando así que esta trayectoria no presenta problemas de acercamiento ni colisión con ningún pozo.



**Figura 3.16** Factor de Separación de la Trayectoria Planeada Pozo Tipo 'Horizontal'. (Elaboración Propia con Datos de PEP, 2022)



---

## CAPÍTULO 4. REVISIÓN DE LAS PROPUESTAS DE PLANES DIRECCIONALES

En este capítulo se aborda la integración de los parámetros obtenidos a partir del desarrollo de los modelos, con la información derivada de la trayectoria real de los pozos de correlación. Para ello, se analizan los registros sísmicos y los datos recolectados durante las diversas etapas de perforación de los pozos más recientes desarrollados en la macropera. Con base en estos insumos, se consideran los eventos y las experiencias acumuladas, lo que permite la revisión, formulación y optimización de las propuestas para los planes direccionales.

La recepción y validación de un plan direccional es un proceso crucial que implica varios pasos para asegurar que el pozo se perforará de manera segura, eficiente y en línea con los objetivos de producción. A continuación, se describe el proceso de manera general.

### 4.1 Recepción del Plan Direccional

El equipo multidisciplinario conformado por especialistas en las diferentes disciplinas en el área de geociencias recibe el plan direccional propuesto, que incluye la trayectoria planificada del pozo, los puntos de control, las tasas de construcción, el ángulo de entrada a los objetivos y el azimuth esperado, así como las profundidades verticales y desarrolladas.

#### 4.1.1 Revisión Inicial

Se examinan aspectos críticos como la entrada a las zonas objetivo, la interacción con formaciones geológicas específicas, y la previsión de posibles desafíos operacionales, como zonas de alta presión o áreas con riesgo de inestabilidad. Durante esta fase, se realiza una verificación inicial para asegurar que todos los datos

geológicos y geofísicos, incluyendo mapas estructurales y secciones sísmicas, están alineados con los objetivos del plan y que la trayectoria propuesta es viable desde un punto de vista técnico y económico. La revisión inicial es esencial para identificar cualquier inconsistencia o área de mejora antes de proceder con las siguientes etapas de validación y optimización del plan.

Para la descripción de la trayectoria tipo "J", se presenta un resumen en formato de tabla que incluye: columna geológica, profundidad, espesor, inclinación y azimuth, resaltando los objetivos y las condiciones previstas para su alcance (Tabla 4.1). Se destaca que los objetivos fueron alcanzados a partir de los 1,620 metros, entrando en contacto con los cuerpos de interés C-70, C-80 y C-90. Manteniéndose dentro de los parámetros operativos.

**Tabla 4.1** Columna Geológica, Profundidad, Espesor, Inclinación y Azimuth Tipo 'J'.  
(Modificado CERN, 2022)

| Profundidad<br>Desarrollada (m.d.b.m.r.) | Profundidad<br>Vertical (m.v.b.m.r.) | Unidad Litológica       | Espesor (m)   | Inclinación<br>(°) | Azimuth (°)  |
|------------------------------------------|--------------------------------------|-------------------------|---------------|--------------------|--------------|
| 10                                       | 10                                   | Es. Tantoyuca           | 10            | 0°                 | 0            |
| 363.82                                   | 363.82                               | Em. Guayabal            | 353.82        | 0°                 | 0            |
| 1114.95                                  | 1072.82                              | C-10 (Cima Chicontepec) | 719           | 34.31°             | 18.36        |
| 1179.11                                  | 1125.82                              | C-15 (Chicontepec)      | 406.82        | 34.31°             | 18.36        |
| 1226.33                                  | 1164.82                              | C-20                    | 758           | 34.31°             | 18.36        |
| 1269.91                                  | 1200.82                              | C-30                    | 442.82        | 34.31°             | 18.36        |
| 1352.23                                  | 1268.82                              | C-40                    | 826           | 34.31°             | 18.36        |
| 1397.02                                  | 1305.82                              | C-45                    | 479.82        | 34.31°             | 18.36        |
| 1444.24                                  | 1344.82                              | C-50                    | 865           | 34.31°             | 18.36        |
| 1485.4                                   | 1378.82                              | C-55                    | 513.82        | 34.31°             | 18.36        |
| 1524.14                                  | 1410.82                              | C-60                    | 897           | 34.31°             | 18.36        |
| 1556.83                                  | 1437.82                              | C-65                    | 540.82        | 34.31°             | 18.36        |
| <b>1620</b>                              | <b>1490</b>                          | <b>C-70 (Objetivo)</b>  | <b>949.18</b> | <b>34.31°</b>      | <b>18.36</b> |
| <b>1710</b>                              | <b>1564.34</b>                       | <b>C-80 (Objetivo)</b>  | <b>615.16</b> | <b>34.31°</b>      | <b>18.36</b> |
| <b>1770</b>                              | <b>1613.9</b>                        | <b>C-90 (Objetivo)</b>  | <b>998.74</b> | <b>34.31°</b>      | <b>18.36</b> |
| 1920                                     | 1737.81                              | C-100                   | 739.07        | 34.31°             | 18.36        |
| 2200                                     | 1969.09                              | PT                      | 1230.02       | 34.31°             | 18.36        |

La trayectoria tipo "S" presenta una variación debido a la naturaleza de los objetivos propuestos, los cuales serán alcanzados a partir de los 1,421 metros. Se cumple con lo programado en los ejercicios direccionales, ya que, dentro de los parámetros establecidos, se contará con las características adecuadas para su manejo



operacional Tabla 4.2. Los cuales son tener una inclinación de 0 grados al momento de atravesar los cuerpos de interés C-40, C-50 Y C-60.

**Tabla 4.2** Columna Geológica, Profundidad, Espesor, Inclinación y Azimuth Tipo 'S'.  
(Modificado CERN, 2022)

| Profundidad Desarrollada (m.d.b.m.r.) | Profundidad Vertical (m.v.b.m.r.) | Unidad Litológica       | Espesor (m)   | Inclinación (°) | Azimuth (°)  |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------|-----------------|--------------|
| 10                                    | 10                                | Es. Tantoyuca           | 10            | 0°              | 0            |
| 438.99                                | 419.55                            | Em. Guayabal            | 409.55        | 33.90°          | 18.36        |
| 1,219.24                              | 1,072.00                          | C-10 (Cima Chicontepec) | 662.45        | 23.45           | 18.36        |
| 1,275.89                              | 1,125.00                          | C-15 (Chicontepec)      | 462.55        | 17.78°          | 18.36        |
| 1,316.42                              | 1,164.00                          | C-20                    | 701.45        | 13.73°          | 18.36        |
| 1,353.21                              | 1,200.00                          | C-30                    | 498.55        | 10.05°          | 18.36        |
| <b>1,421.71</b>                       | <b>1,268.00</b>                   | <b>C-40 (Objetivo)</b>  | <b>769.45</b> | <b>3.20°</b>    | <b>18.36</b> |
| 1,458.73                              | 1,305.00                          | C-45                    | 535.55        | 0.00°           | 0            |
| <b>1,497.73</b>                       | <b>1,344.00</b>                   | <b>C-50 (Objetivo)</b>  | <b>808.45</b> | <b>0.00°</b>    | <b>0</b>     |
| 1,530.73                              | 1,377.00                          | C-55                    | 568.55        | 0.00°           | 0            |
| <b>1,563.73</b>                       | <b>1,410.00</b>                   | <b>C-60 (Objetivo)</b>  | <b>841.45</b> | <b>0.00°</b>    | <b>0</b>     |
| 1,590.73                              | 1,437.00                          | C-65                    | 595.55        | 0.00°           | 0            |
| 1620                                  | 1466.27                           | PT                      | 870.72        | 0.00°           | 0            |

Por parte de la trayectoria Horizontal, el inicio de la construcción de ángulo se da a los 1075 metros muy por debajo de los ejemplos anteriores, esto con el fin de crear la inclinación necesaria, que permita la mayor área de contacto con el cuerpo productor C-65, resaltado en la Tabla 4.3. Como se obtuvo un margen adecuado dentro de los parámetros establecidos que no afectaran con operabilidad.

**Tabla 4.3** Columna Geológica, Profundidad, Espesor, Inclinación y Azimuth Tipo 'Horizontal'. (Modificado CERN, 2022)

| Profundidad Desarrollada (m.d.b.m.r.) | Profundidad Vertical (m.v.b.m.r.) | Unidad Litológica       | Espesor (m) | Inclinación (°) | Azimuth (°)  |
|---------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|-------------|-----------------|--------------|
| 10                                    | 10                                | Es. Tantoyuca           | 10          | 0°              | 0            |
| 363                                   | 363                               | Em. Guayabal            | 353         | 0°              | 0            |
| 1,075.83                              | 1,072.00                          | C-10 (Cima Chicontepec) | 719         | 19.68°          | 18.36        |
| 1,133.25                              | 1,125.00                          | C-15 (Objetivo)         | 406         | 25.46°          | 18.36        |
| 1,177.30                              | 1,164.00                          | C-20                    | 758         | 29.88°          | 18.36        |
| 1,219.77                              | 1,200.00                          | C-30                    | 442         | 34.17°          | 18.36        |
| 1,306.77                              | 1,268.00                          | C-40                    | 826         | 42.9°           | 18.36        |
| 1,359.63                              | 1,305.00                          | C-45                    | 479         | 48.21°          | 18.36        |
| 1,422.11                              | 1,344.00                          | C-50                    | 865         | 54.49°          | 18.36        |
| 1,483.70                              | 1,377.00                          | C-55                    | 512         | 60.68°          | 18.36        |
| 1,560.54                              | 1,410.00                          | C-60                    | 898         | 68.41°          | 18.36        |
| <b>1,653.38</b>                       | <b>1,437.00</b>                   | <b>C-65 (Objetivo)</b>  | <b>539</b>  | <b>77.74°</b>   | <b>18.36</b> |
| 2007                                  | 1451.67                           | PT                      | 912.67      | 89°             | 18.36        |

---

#### 4.1.2 Verificación de Datos

Se lleva a cabo una revisión exhaustiva de los datos geológicos y geofísicos que sustentan el plan direccional, asegurando la coherencia y precisión de la información. Esto incluye el análisis detallado de mapas estructurales, que proporcionan una visión clara de las formaciones subterráneas y sus características; y modelos de velocidad, que son cruciales para la interpretación precisa de los datos sísmicos y la estimación de profundidades. Además, se examinan los registros de pozos adyacentes, los cuales ofrecen información valiosa sobre las condiciones del subsuelo, como la presión de formación, la porosidad, la permeabilidad y la presencia de fracturas naturales.

También se revisan secciones sísmicas en 2D y 3D para corroborar la continuidad de las formaciones y detectar posibles anomalías geológicas que podrían afectar la perforación. Durante esta fase, se verifica que los datos estén actualizados y sean consistentes con los objetivos del plan, y se identifican posibles zonas de riesgo que requieran atención especial o ajustes en la trayectoria propuesta. La verificación de estos datos es fundamental para garantizar que la perforación se llevará a cabo de manera segura y eficiente, minimizando las incertidumbres y optimizando la producción del pozo.

En la Figura 4.1 se presenta una sección sísmica cargada con los registros de *Gamma Ray* y resistividad correspondientes a los pozos de correlación de la Localización PUMA-3161, los cuales permiten identificar el comportamiento de los cuerpos de interés y prever que los ejercicios propuestos responderán de manera similar a nuestro proyecto PUMA-1623, con base en sus condicionantes particulares.

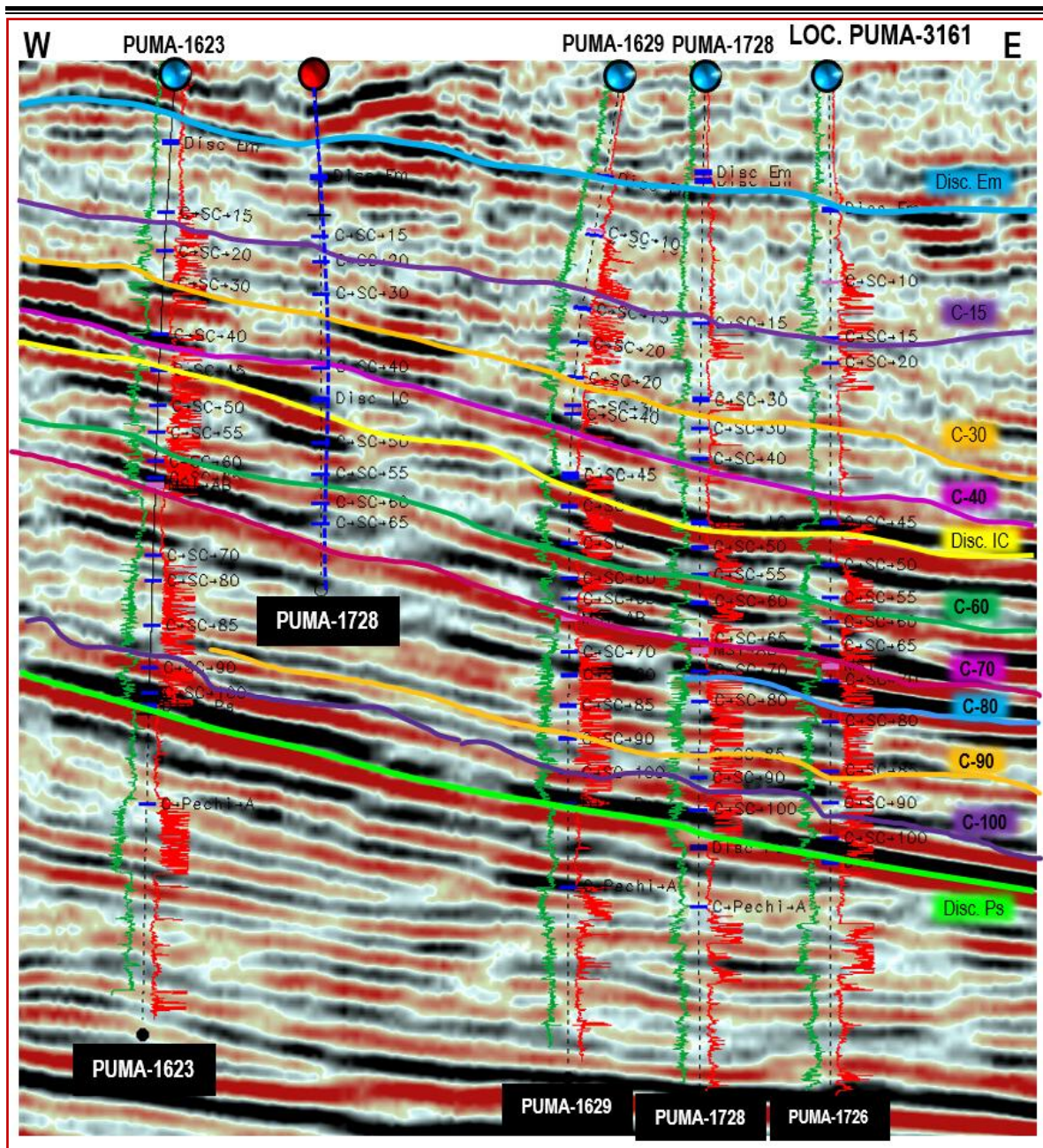


Figura 4.1 Sección Sísmica en tiempo, Registros y Cuerpos de Interés localización PUMA-1663. (Modificado CERN, 2022)

---

#### 4.1.3 Coordinación entre Equipos

Se organiza una reunión de coordinación que incluye al equipo de perforación, geólogos, ingenieros de yacimientos, ingenieros de geomecánica, y otros especialistas pertinentes para discutir en detalle el plan direccional. Durante esta reunión, se revisan los objetivos del proyecto, los desafíos anticipados y las expectativas de cada disciplina involucrada. Los geólogos y geofísicos presentan la interpretación de los datos geológicos y sísmicos, resaltando las características clave del subsuelo que podrían influir en la perforación, como zonas de alta presión, fallas o formaciones no consolidadas. Los ingenieros de yacimientos aportan información sobre las características del yacimiento, como la distribución de la porosidad, la permeabilidad y la presión de los fluidos, lo cual es crucial para optimizar la ubicación final del pozo y maximizar la recuperación de hidrocarburos.

El equipo de diseño de perforación, por su parte, revisa los aspectos técnicos del plan, incluyendo la selección del equipo, la planificación de las trayectorias, y las estrategias de mitigación de riesgos. Durante la reunión, se fomenta la colaboración interdisciplinaria para identificar posibles desafíos y desarrollar soluciones conjuntas que aseguren que la perforación se lleve a cabo según lo planificado. Se discuten también las contingencias y los planes de emergencia en caso de desviaciones o problemas durante la operación.

Esta coordinación es esencial para garantizar que todos los equipos trabajen en sinergia, alineados con los objetivos del proyecto y preparados para enfrentar cualquier eventualidad, lo que contribuye a la eficiencia y seguridad del proceso de perforación.

---

## 4.2 Validación Técnica

La validación técnica de un plan direccional es un proceso fundamental que asegura la precisión y viabilidad del diseño antes de la perforación. Este proceso involucra una revisión exhaustiva de los datos geológicos, geofísicos y de ingeniería conceptual para garantizar que el pozo siga la trayectoria planificada, minimizando riesgos operacionales y maximizando la producción.

Se evalúan aspectos críticos como la capacidad del pozo para alcanzar las zonas objetivo, la estabilidad del pozo a lo largo de la perforación, y el control de los costos asociados. Además, la validación técnica incluye la simulación de diferentes escenarios de perforación y la evaluación de posibles desvíos o ajustes necesarios durante la operación.

La tecnología avanzada, como los modelos 3D y el software de simulación direccional, juega un papel crucial en esta fase, proporcionando visualizaciones precisas y predicciones que ayudan a los ingenieros a tomar decisiones informadas. Esta validación no solo optimiza el rendimiento del pozo, sino que también garantiza la seguridad y sostenibilidad de las operaciones de perforación.

### 4.2.1 Evaluación de Factibilidad

La evaluación de la factibilidad técnica de un plan direccional es un paso crucial en la planificación de un pozo petrolero. Este análisis abarca una serie de factores, comenzando con un estudio detallado de las condiciones del subsuelo, incluyendo la estructura geológica, la presión y las características del yacimiento. Estas condiciones determinan la complejidad de la perforación y los posibles desafíos que se podrían enfrentar durante la operación. Además, se consideran las tecnologías de perforación disponibles, como el uso de herramientas de dirección y sistemas de

---

---

---

guía automatizados, que permiten mantener la trayectoria del pozo dentro de los límites de seguridad y eficiencia.

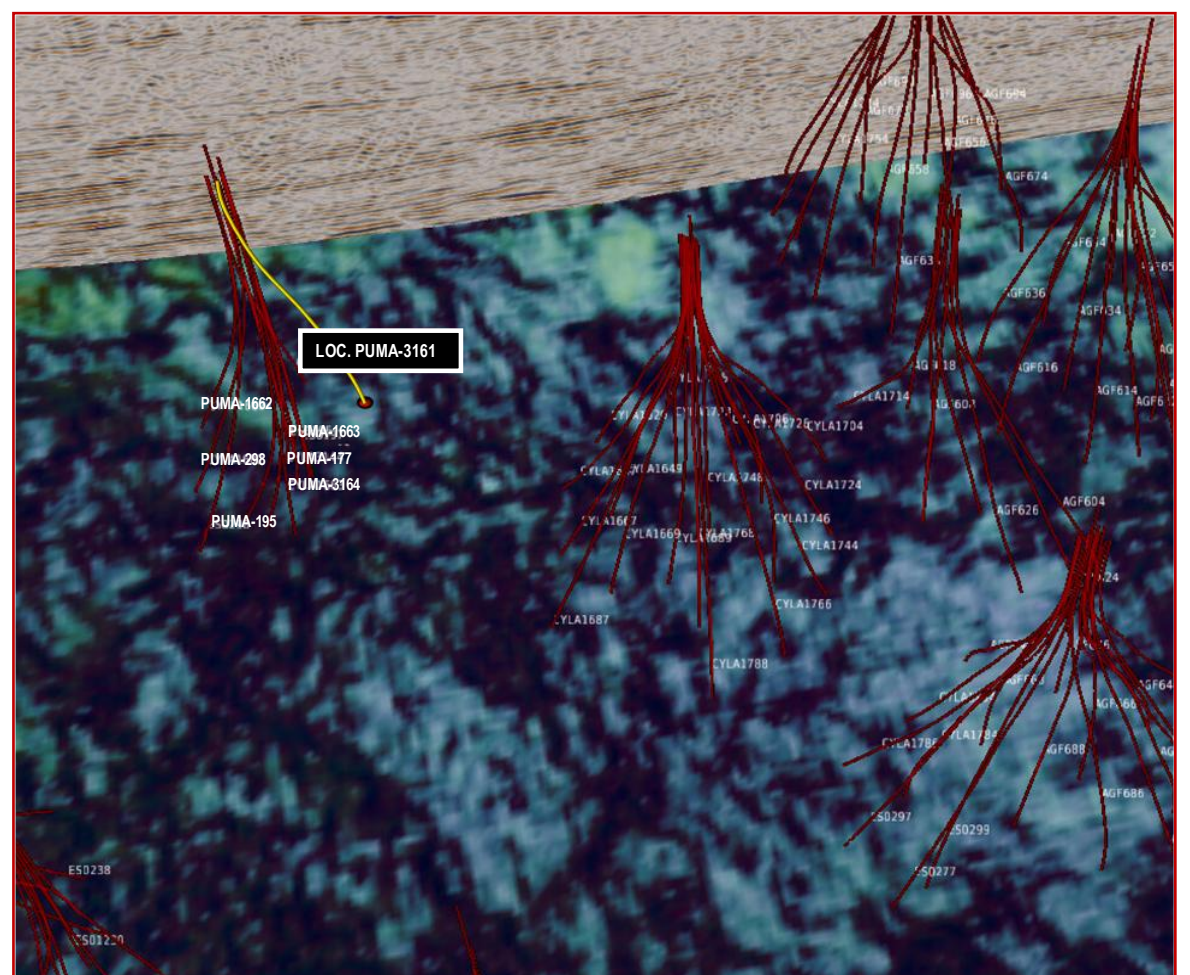
La evaluación también incluye la revisión de las capacidades del equipo de perforación, asegurando que sea adecuado para las exigencias del proyecto, tanto en términos de potencia como de precisión. Factores como la profundidad del pozo, el ángulo de perforación, y la capacidad de respuesta a imprevistos son cruciales en esta etapa. Se tienen en cuenta también las limitaciones logísticas y la disponibilidad de recursos, como el acceso a piezas de repuesto y personal calificado. Esta evaluación exhaustiva garantiza que el plan no solo sea viable, sino que también esté optimizado para maximizar la eficiencia y minimizar los riesgos operacionales y financieros.

#### 4.2.2 Simulación de la trayectoria

Es una herramienta fundamental en la planificación y ejecución de perforaciones, permitiendo anticipar y mitigar posibles desviaciones o problemas que podrían surgir a lo largo del proceso. A través de modelos matemáticos y software especializado, se recrean las condiciones geológicas y operativas del entorno, lo que permite identificar con mayor precisión las posibles trayectorias de la perforación. Esto no solo ayuda a identificar zonas de riesgo, sino también a optimizar el trayecto para reducir costos y tiempos. En función de los resultados de la simulación, se pueden realizar ajustes en el plan de perforación, garantizando una mayor precisión y seguridad en la ejecución del proyecto. Además, estas simulaciones permiten evaluar el impacto de diferentes variables, como la densidad del lodo, el ángulo de inclinación, y la presión del subsuelo, facilitando la toma de decisiones informadas para alcanzar los objetivos establecidos.



### 4.2.3 Análisis de riesgos

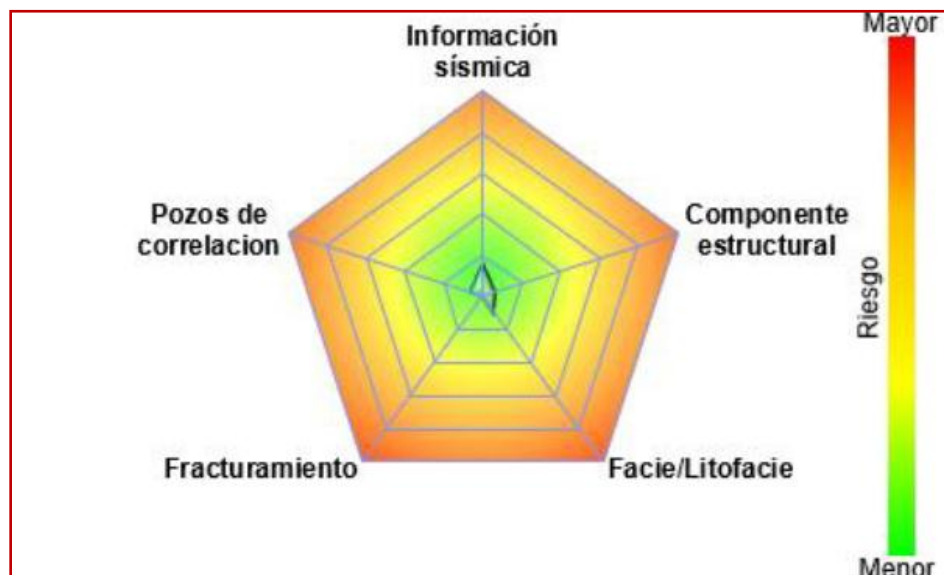


**Figura 4.2** Visualización 3D de la estructura del yacimiento del Campo PUMA-1663, donde se muestra la estrategia en el diseño de trayectorias para ubicar la perforación. (Modificado CERN, 2022)

---

Para llevar a cabo este análisis, se utilizan herramientas avanzadas de modelado y simulación que permiten visualizar y predecir las condiciones del subsuelo y las interacciones con otras estructuras Figura 4.2. Esto incluye la evaluación de datos geofísicos, históricos de perforación en la zona, y la integración de mapas de subsuelo detallados. Además, se consideran factores como la proximidad a otros pozos, la estabilidad del pozo, las propiedades de los fluidos de perforación, y las respuestas del terreno ante la perforación.

El análisis de riesgos también involucra la implementación de medidas preventivas y planes de contingencia, asegurando que se cuenten con las estrategias necesarias para minimizar la probabilidad de incidentes y mitigar las consecuencias en caso de que ocurran Figura 4.3. Este enfoque proactivo es esencial para asegurar la integridad de la perforación, optimizar los recursos, y proteger tanto al personal como al medio ambiente.



**Figura 4.3** Matriz de Evaluación de Riesgos. (CERN, 2022)



---

## 4.3 Optimización del Plan

A partir de los resultados obtenidos en las simulaciones y el análisis de riesgos, se llevan a cabo ajustes en la trayectoria del pozo con el objetivo de maximizar la seguridad y la eficiencia operativa. Este proceso no solo busca minimizar los riesgos de perforación, sino también optimizar la trayectoria en función de la geología del yacimiento, la tecnología disponible y las restricciones económicas. Las modificaciones incluyen la evaluación de ángulos de desviación, la profundidad objetivo y el análisis de interferencias potenciales con otros pozos cercanos.

### 4.3.1 Revisión de la Trayectoria

Una vez optimizada la trayectoria, se realiza una exhaustiva revisión para garantizar el seguimiento del plan durante la perforación como en su vida productiva. Este análisis contempla la evaluación de las propiedades mecánicas de las formaciones atravesadas, como la resistencia a la compresión, la porosidad y la presión de los poros, con el fin de identificar posibles zonas de inestabilidad que puedan causar contingencias indeseadas Figura 4.4. Asimismo, se utilizan modelos predictivos para prever el comportamiento de la trayectoria bajo diferentes escenarios, asegurando así la integridad estructural y reduciendo al mínimo los riesgos de fallos catastróficos.



**Figura 4.4** Flujo de Trabajo de la Revisión de las Propuestas de Planes Direccionales.

(Fuente: Elaboración Propia)

---

---

## CAPÍTULO 5. PROCESO DE DOCUMENTACIÓN DEL PLAN DIRECCIONAL MEDIANTE LA METODOLOGÍA VCD-SE

### 5.1 Antecedentes Metodología VCD

Visualización, Conceptualización y Definición (VCD) es una metodología desarrollada e implementada por la Agencia Nacional Aeronáutica de los Estados Unidos (NASA) para la optimización y definición de un proyecto. Se caracteriza por reducir el nivel de incertidumbre y nivel de riesgo, maximizar la eficiencia de la inversión al reducir costos y aumentar producción, promover el trabajo en equipo, trabajar bajo un sistema estricto y riguroso donde cada paso del proceso de planeación debe ser verificado y aprobado previo a seguir con las siguientes actividades, permitiendo una adecuada planeación y ejecución de un proyecto.

Con el paso de los años, la metodología se fue difundiendo e implementando en una gran variedad de empresas de ingeniería para la administración de proyectos. En la década de los 70's las Compañías Petroleras Internacionales (IOC's) tomarían la forma de trabajo y la mantendrían por los beneficios que les trajo. PEMEX, en 2003 empezó su implementación para los procesos de Exploración, Explotación, Pozos e Infraestructura. Para cada área se adaptó la metodología con objetivos, alcances y procedimientos específicos; no obstante, las características y beneficios se mantienen. Posteriormente la empresa expandió la metodología a VCDSE donde las últimas dos siglas refieren a Seguimiento y Evaluación.

La metodología VCD de Pozos (VCD de Perforación) el cual se aplica en los procesos de diseño, perforación, terminación, mantenimiento y abandono de pozos con el fin de maximizar la creación de valor. Su implementación se justifica con el hecho que

---

la perforación y mantenimiento de un pozo representa la inversión más importante de la industria, por lo que se requiere un método claro y riguroso que elimine las malas prácticas realizadas al construir un pozo.

## 5.2 Metodología VCDSE

Pemex Exploración y Producción (PEP) decidió incorporar, dentro de la metodología VCD, las fases de Seguimiento y Evaluación, lo que dio origen a la denominación VCDSE (Visualización Conceptualización Definición Seguimiento y Evaluación) aplicada a proyectos de pozos. La Metodología VCDSE (Figura 5.1) tiene como objetivo analizar de manera puntual los requerimientos, opciones, riesgos e incertidumbres asociados a cada proyecto, con el fin de seleccionar la mejor alternativa desde los puntos de vista técnico y de rentabilidad. Además, busca reducir el número de cambios en las etapas posteriores del proyecto, lo que permite obtener resultados más predecibles y alineados con los objetivos establecidos.

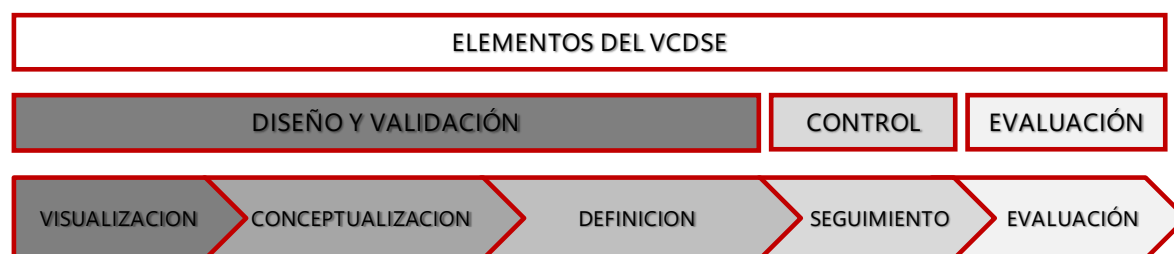


Figura 5.1 Elementos del VCDSE. (Fuente: Elaboración Propia)

La metodología VCDSE tiene como propósito principal establecer una serie de objetivos alineados con el desarrollo de proyectos exitosos. Entre los más destacados se encuentran:

- Fortalece la planeación del proyecto en sus etapas de diseño, control y ejecución dando como resultado maximizar el valor económico de la incorporación o explotación de reservas.

- 
- Asegurar la alineación entre los procesos de planeación del proyecto de inversión y el proyecto pozo con el fin de optimizar la asignación de recursos y el cumplimiento de las metas institucionales.
  - Dar respuesta a los requerimientos de información de entidades internas y externas.
  - Disminuir el tiempo entre el análisis y la toma de decisiones, tener una visión integral del proyecto y reducir riesgos y costos.
  - Evaluar de forma cuantitativa los principales riesgos e incertidumbres que ayuden a la toma de decisiones.
  - Generar planes de mitigación de riesgos e incertidumbres, para el logro de los objetivos del proyecto pozo y el cumplimiento de las metas físicas, volumétricas y financieras.
  - Reducir las desviaciones entre lo programado y ejecutado.
  - Prevenir eventos no deseados.

Por lo tanto, es necesario contar con elementos de soporte al VCDSE, los que conformaran pilares fundamentales para garantizar el éxito en la ejecución de proyectos de pozos. En primer lugar, la Administración del Proyecto describe la visión integral del proyecto dentro de la cadena de valor de los Activos de Exploración y Producción, optimizando las capacidades del recurso humano y su conocimiento, así como la incorporación de tecnología avanzada. En segundo lugar, la Elección Correcta tiene como objetivo seleccionar la mejor opción que cumpla con los objetivos técnico-económicos del proyecto, caracterizando los riesgos geológicos, de yacimientos y operacionales. Un tercer elemento clave es No Sorpresas Durante la Perforación, el cual se aplica en la etapa de planeación e integra datos de subsuelo con la perforación del pozo, identificando trayectorias óptimas y controlando eventos subsuperficiales, los cuales deben actualizarse continuamente durante la perforación. Finalmente, el Límite Técnico es un esquema de mejora continua que

---

---

---

inicia en la etapa de Definición y concluye con la evaluación del proyecto; este elemento detalla cada actividad de la ejecución y establece la metodología para llevarla a cabo, asegurando la eficiencia y efectividad en el desarrollo del proyecto.

La metodología VCDSE es muy puntual en sus 5 fases, cada una con un objetivo en específico, un alcance, una serie de pasos necesarios para su desarrollo y documentos entregables necesarios para su aprobación. De manera general, las fases son.

#### 5.2.1 Fase de Visualización

Esta fase consiste en la definición de los objetivos y el alcance general del proyecto de pozo, correspondiente a la etapa de Requerimientos Funcionales. Dichos objetivos deben estar alineados con el proyecto de inversión, lo que implica realizar un análisis detallado y la elaboración de una matriz de oportunidades. Además, se lleva a cabo la generación y evaluación técnico-económica preliminar de todas las opciones de pozos tipo que sean factibles para su ejecución, incluyendo la estimación de costos.

Paralelamente, se realiza un análisis para identificar los riesgos e incertidumbres que podrían afectar el diseño y la consecución de los objetivos del pozo. Dado el bajo grado de definición de las opciones visualizadas en esta etapa, todas aquellas que resulten técnica y económicamente viables son propuestas para avanzar a la fase de Conceptualización. Como resultado de este proceso, se genera el Documento de Soporte de Decisión de Visualización (DSD-V), el cual se pone a disposición del grupo de validación para su revisión y análisis correspondiente. El DSD-V debe incluir, de manera general, los siguientes elementos:

---

Descripción de las opciones de geometrías de pozos visualizadas, preseleccionadas y jerarquizadas en base al comportamiento yacimiento-pozo y su factibilidad de construcción.

#### 5.2.1.1 Opciones de Estados Mecánicos Preliminares

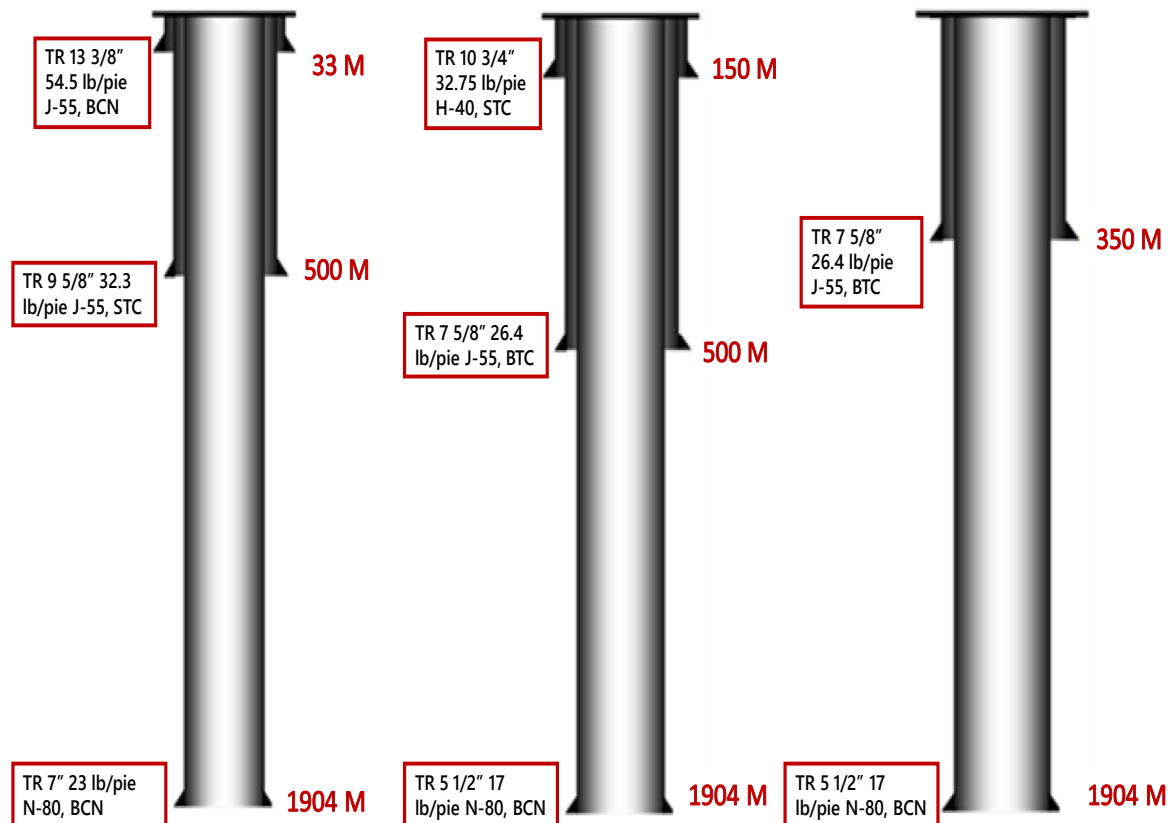


Figura 5.2 Escenarios de Diseño de Estados Mecánicos Preliminares. (Modificado PEP, 2022).

Considerar los escenarios de diseño de los estados mecánicos preliminares en la visualización del plan direccional permite optimizar su trayectoria, reducir costos y riesgos operacionales, seleccionar materiales adecuados y garantizar la integridad estructural. Además, facilita la gestión del mantenimiento, y asegura el cumplimiento de normativas, contribuyendo a un desarrollo más seguro y rentable del proyecto.

### 5.2.1.2 Tipos de Terminaciones Consideradas

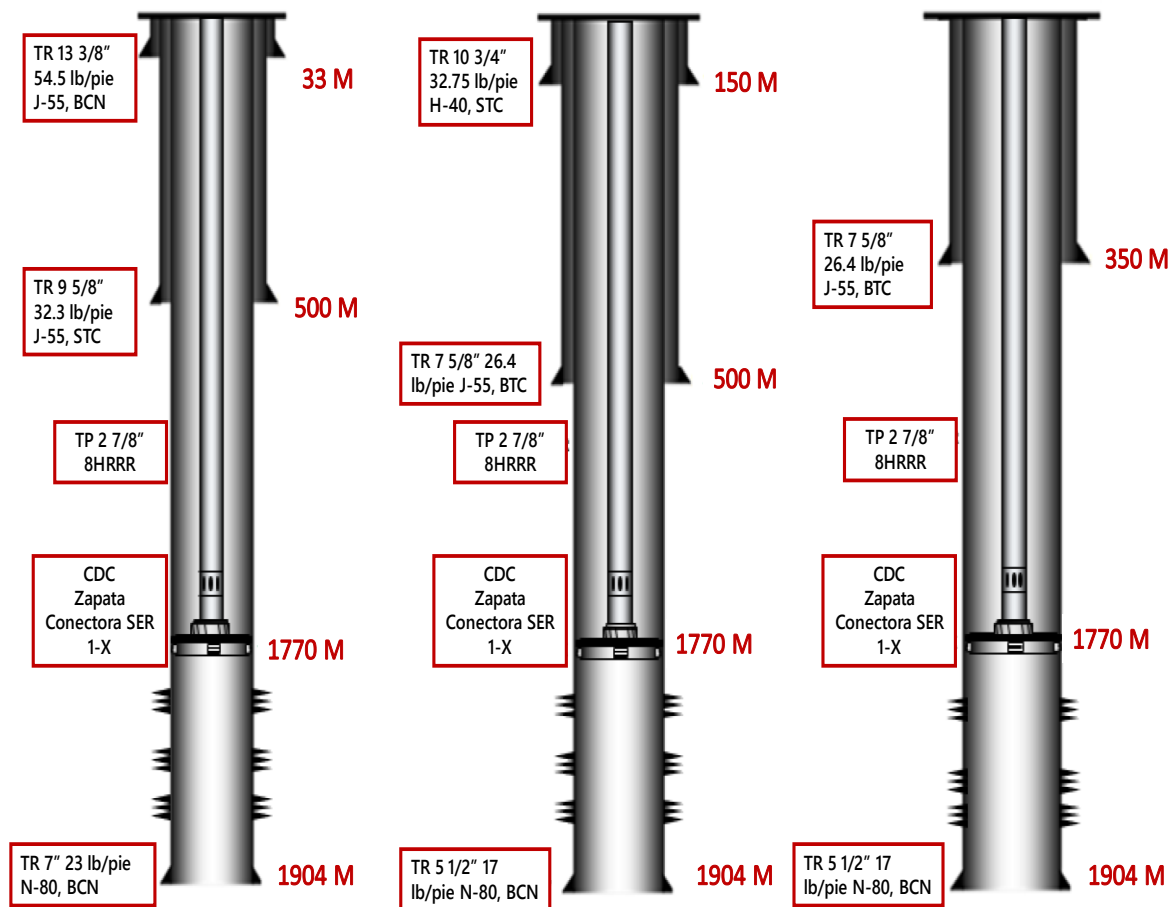


Figura 5.3 Escenarios de Terminaciones Preliminares. (Modificado PEP, 2022).

Conocer los escenarios de terminaciones preliminares en la visualización del plan direccional de un pozo petrolero permite evaluar la viabilidad de los métodos y de esta manera asimilar ventajas y desventajas, con el fin de optimizar la selección de equipos y materiales, y anticipar posibles desafíos operacionales. Esto contribuye a mejorar la eficiencia en la producción, reduciendo costos y riesgos, para garantizar la integridad del pozo y facilitar el cumplimiento del desarrollo.

5.2.1.3 Matriz de Identificación de Riesgos e Incertidumbres Identificadas en el Proyecto

Esta matriz permite evaluar de manera sistemática los posibles riesgos geológicos, operacionales, técnicos y económicos asociados a cada opción de perforación. Al analizar estos riesgos en etapas tempranas, se facilita la toma de decisiones informadas, lo que contribuye a seleccionar la alternativa más viable y robusta desde el punto de vista técnico y económico. Además, la matriz de riesgos proporciona una base sólida para diseñar estrategias de mitigación, reduciendo la probabilidad de imprevistos durante la ejecución del proyecto y optimizando la asignación de recursos. En última instancia, este proceso no solo minimiza los costos asociados a contingencias, sino que también incrementa la predictibilidad de los resultados, asegurando que el plan direccional esté alineado con los objetivos estratégicos del proyecto y con las expectativas de rentabilidad.

| FACTOR DE COMPLEJIDAD                               | DEFINICIÓN DE FACTORES                                         | BAJA                                    |                                                  |                             |                                                                                                    |                                                                 |                 | MEDIA                                                                                      |      | ALTA |     | Puntuación | Ponderación | Resultado |
|-----------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-----------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|------|------|-----|------------|-------------|-----------|
|                                                     |                                                                | 0                                       | 1                                                | 2                           | 3                                                                                                  | 4                                                               | 5               | 6                                                                                          |      |      |     |            |             |           |
| RIESGOS DE LA PERFORACIÓN - CONDICIONES DE SUBSUELO |                                                                |                                         |                                                  |                             |                                                                                                    |                                                                 |                 |                                                                                            |      |      |     |            |             |           |
| 1                                                   | TECTÓNICA                                                      | ESFUERZO VERTICAL ES EL MÁXIMO ESFUERZO |                                                  |                             | ESFUERZO VERTICAL NO ES EL MÁXIMO ESFUERZO, SIN EMBARGO SE CONOCE LA DIRECCIÓN DEL ESFUERZO MÁXIMO |                                                                 |                 | ESFUERZO VERTICAL NO ES EL MÁXIMO ESFUERZO Y NO SE CONOCE LA DIRECCIÓN DEL ESFUERZO MÁXIMO | 0    | 0    | 0.0 |            |             |           |
| 2                                                   | FRACTURAS NATURALES, FALLAS, ZONA DE BAJA PRESIÓN              |                                         |                                                  | PERDIDA DE FILTRADO         |                                                                                                    | PERDIDA DE CIRCULACIÓN                                          |                 | PERDIDA DE CIRCULACIÓN SEVERA                                                              | 4    | 0.4  | 1.6 |            |             |           |
| 3                                                   | NÚMERO FALLAS A ATRAVESAR EN LA TRAYECTORIA                    | 0                                       | 1                                                | 2                           | 3                                                                                                  | 4                                                               | 5               | >6                                                                                         | 0    |      | 0.0 |            |             |           |
| 4                                                   | PRESENCIA DE SAL                                               | SIN PRESENCIA DEL DOMO SALINO           |                                                  | DOMO SALINO > 66°C ó >2000m |                                                                                                    | DOMO SALINO > 120°C ó >3000m                                    |                 |                                                                                            | 0    |      | 0.0 |            |             |           |
| 5                                                   | GEOLOGÍA/TIPO DE ROCA DE FORMACIÓN                             | FORMACIÓN NO REACTIVA                   | ARCILLAS REACTIVAS ó FORMACIÓN DE CARBÓN < 1000m |                             |                                                                                                    | 2 Ó MÁS ARCILLAS / CARBÓN REACTIVA ó UNA FORM. REACTIVA. >1000m |                 |                                                                                            | 1    | 0.1  | 0.1 |            |             |           |
| 6                                                   | CAMBIO EN LA RESISTENCIA MECÁNICA DE LA ROCA                   | 2                                       | 3                                                | 4                           | 5                                                                                                  | 6                                                               | 7               | >8                                                                                         | 1    | 0.3  | 0.3 |            |             |           |
| 7                                                   | RIESGOS DE LA PERFORACIÓN: BROTE DE FLUIDOS DE FORMACIÓN       | SIN FLUIDOS (GAS ) SUPERFICIAL ADVERSO  | < 2% H2S, CO2, BROTE DE AGUA SALADA (NaCl)       | >2% CO2                     | BROTE DE AGUA SUPERFICIAL                                                                          | H2S > 2%                                                        | GAS SUPERFICIAL | GAS SUPERFICIAL SEVERO                                                                     | 4    |      | 0.0 |            |             |           |
| 8                                                   | VENTANA OPERACIONAL: PESO DE LODO V/S GRADIENTE DE FRACTURA    | > 0,18 gr/cc                            |                                                  | 0,12 A 0,18 gr/cc           |                                                                                                    | < 0,12 gr/cc                                                    |                 | ≤ 0,06 gr/cc                                                                               | 0    |      | 0.0 |            |             |           |
| 9                                                   | DIFERENCIAL DE PRESIÓN: PRESIÓN DE PORO V/S PESO DEL LODO      | < 1000 PSI                              | 1000-2000 PSI                                    | 2000 - 3000 PSI             | 3000 - 4000 PSI                                                                                    | 4000 - 5000 PSI                                                 | > 5000 PSI      |                                                                                            | 0    |      | 0.0 |            |             |           |
| 10                                                  | MÁXIMA PRESIÓN ANTICIPADA                                      | < 5000 PSI                              | 5000 - 7500 PSI                                  | 7500 - 10000 PSI            | 10000 - 12500 PSI                                                                                  | 12500 - 15000 PSI                                               | > 20000 PSI     |                                                                                            | 0    |      | 0.0 |            |             |           |
| 11                                                  | CAMBIO EN LA CURVA DE PRESIONES (Nº DE TR / INCLUYE CONDUCTOR) | <4                                      | 4                                                | 5                           | 6                                                                                                  | 7                                                               | 8               | >8                                                                                         | 0    |      | 0.0 |            |             |           |
| 12                                                  | MÁXIMA DENSIDAD DEL FLUIDO DE PERFORACIÓN / REPARACIÓN         | < 1,20 gr/cc                            | 1.20 A 1.50 gr/cc                                | 1.50 A 1.86 gr/cc           | 1.86 A 2.21 gr/cc                                                                                  | 2.21 A 2.51 gr/cc                                               | > 2.51 gr/cc    |                                                                                            | 1    | 0.1  | 0.1 |            |             |           |
| 13                                                  | TEMPERATURA                                                    | < 100°C                                 | 100°C A 135°C                                    | 135°C A 180°C               | > 180°C                                                                                            |                                                                 |                 |                                                                                            | 0    |      | 0.0 |            |             |           |
| RESULTADO TOTAL DE LOS RIESGOS DE PERFORACIÓN       |                                                                |                                         |                                                  |                             |                                                                                                    |                                                                 |                 |                                                                                            | 10.0 | 0.9  | 2.1 |            |             |           |

Figura 5.4 Matriz de riesgos de la perforación en cada escenario. (Fuente: Recuperado PEP, 2022).



Esta matriz facilita el análisis de riesgos técnicos, operativos y económicos relacionados con las diferentes alternativas de terminación, tales como la selección de materiales, la configuración de los equipos, las condiciones del yacimiento y los desafíos operacionales. Al identificar y cuantificar estos riesgos en una etapa temprana, se pueden tomar decisiones más informadas que optimicen el diseño de terminación, asegurando que cumpla con los objetivos de producción, rentabilidad y seguridad. Además, la matriz proporciona una base sólida para desarrollar estrategias de mitigación, reduciendo la probabilidad de fallas o imprevistos durante la ejecución del proyecto. Este proceso no solo contribuye a minimizar costos y retrasos, sino que también incrementa la confiabilidad y predictibilidad del plan direccional, alineándolo con los objetivos estratégicos del proyecto y maximizando su valor económico.

| No. | Actividad                | Riesgo identificado                                                                                            | Consecuencias                                                                                                    | Potencial |   |   |   | Control                                                                                                                                                                                                        |
|-----|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|---|---|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|     |                          |                                                                                                                |                                                                                                                  | U         | B | Z | X |                                                                                                                                                                                                                |
| 1   | Registros de correlación | Falla de sensor de la herramienta                                                                              | Incremento de tiempos programados                                                                                | 1         | 1 | 1 |   | Mantenimiento correctivo y continuo.                                                                                                                                                                           |
|     |                          | Resistencia al bajar                                                                                           | Interrupción de operaciones                                                                                      | 2         | 2 | 2 |   | Escalar TR de acuerdo a litraje.                                                                                                                                                                               |
|     |                          | Atrapamiento de la sonda                                                                                       | Pez de la sonda de registros                                                                                     | 4         | 2 | 4 |   | Supervisión de los parámetros y tensiones aplicadas en el cable                                                                                                                                                |
|     |                          | Fuga durante las pruebas                                                                                       | Cambio de conexiones                                                                                             | 1         | 2 | 1 |   | Pruebas de conexiones superficiales previo inicio de actividades.                                                                                                                                              |
| 2   | Instalación de CSC       | Cierre de válvulas con herramienta dentro del pozo                                                             | Generar pez.                                                                                                     | 4         | 1 | 4 |   | Aplicación de los candados y medidas de seguridad que indiquen las condiciones de las válvulas, así como indicar quienes serán los únicos que puedan manipular dichas válvulas.                                |
|     |                          | Falla en mecanismo de apertura y cierre                                                                        | Fuga y/o pase en los mecanismos                                                                                  | 2         | 1 | 2 |   | Verificación previa a los trabajos para certificar las condiciones de las válvulas.                                                                                                                            |
|     |                          | Fuga durante la operación, disparo, fractura, evaluación de intervalos                                         | Interrupción de operaciones por falla en el equipo                                                               | 3         | 1 | 3 |   | Contar con plan de contingencia para poder contar con una respuesta rápida y mitigar el problema, así como difundir los protocolos de trabajo y que el personal este enterado de lo que se tiene que realizar. |
| 3   | Disparos de Producción   | No detonación de pistolas                                                                                      | Viajes adicionales para realizar disparos.                                                                       | 1         | 1 | 1 |   | Verificación del sistema de detonación de pistola (sistema electrónico, estopines)                                                                                                                             |
|     |                          | Pez de la sonda de registro                                                                                    | Incremento en tiempo programado de la actividad                                                                  | 2         | 1 | 3 |   | Contar con las Herramientas necesarias para la recuperación inmediata del pez                                                                                                                                  |
|     |                          | Detonación en superficie                                                                                       | Lesiones graves a personal y equipo                                                                              | 4         | 1 | 4 |   | Manejo de detonador de seguridad (bloqueo), apagar fuentes de transmisión de datos                                                                                                                             |
|     |                          | Mal funcionamiento del equipo de control de presión                                                            | Contaminación por hidrocarburos.                                                                                 | 1         | 2 | 1 |   | Llevar a cabo mantenimientos preventivos de los equipos de control de presión                                                                                                                                  |
| 4   | Prueba de Inyección      | Mal estado de tuberías con respecto a sus espesores de pared.                                                  | Fugas de fluidos de tratamientos, contaminación en medio ambiente                                                | 1         | 1 | 1 |   | Delimitar el área y solo personal capacitado puede hacer una maniobra de líneas represionadas/control de calidad a las líneas de tratamiento y conexiones.                                                     |
|     |                          | Abatimiento de presión en la declinación de la prueba                                                          | Bajo pronóstico de productividad del pozo, lo que pone en riesgo la inversión del proyecto                       | 1         | 3 | 1 |   | Realizar análisis con respecto a los pozos de correlación para obtener parámetros del yacimiento y definir la continuidad de las operaciones.                                                                  |
| 5   | Fracturamiento Apuntado  | Baja eficiencia en los disparos de producción                                                                  | Taponamiento en la entrada de los disparos, ocasionando arenamientos prematuros y altas presiones de tratamiento | 1         | 1 | 1 |   | Bombeo de baches de arena                                                                                                                                                                                      |
|     |                          | Pérdida de fluido                                                                                              | Comprometer la operación de fracturamiento al no contactar las zonas programadas y afectar la producción         | 2         | 2 | 1 |   | Buena cementación, compatibilidad de fluidos.                                                                                                                                                                  |
|     |                          | Alto coeficiente de filtrado, ancho insuficiente de la fractura, cálculo de la reología de fluidos de fractura | El filtrado excesivo puede ocasionar un cierre prematuro de la fractura terminando en un arenamiento             | 1         | 1 | 1 |   | Realizar minifrac para identificar y evaluar los parámetros de diseño de tratamiento de fracturamiento.                                                                                                        |
|     |                          | Incremento en la presión de tratamiento debido a las fricciones generadas.                                     | Restricción en el gasto de bombeo lo que impacta directamente en la geometría de la fractura.                    | 3         | 2 | 3 |   | Realizar minifrac para identificar y evaluar los parámetros de diseño de tratamiento de fracturamiento realizando sensibilidades de gasto considerando las condiciones                                         |
|     |                          | Falla de unidades durante el bombeo                                                                            | Tener que realizar un desplazamiento prematuro.                                                                  | 3         | 1 | 2 |   | Realizar mantenimiento a las unidades y solicitar la certificación del mismo. Tener en sitio unidades de respaldo.                                                                                             |
|     |                          | Trabajo con altas presiones                                                                                    | Áreas de altas presiones con vibración de las tuberías                                                           | 2         | 1 | 3 |   | Delimitar el área y solo personal capacitado puede hacer maniobra de líneas represionadas/control de calidad a las líneas de tratamiento y conexiones.                                                         |
| 6   | Aislar Intervalo         | Flotación de la herramienta                                                                                    | Incremento en tiempo programado de la actividad                                                                  | 1         | 1 | 1 |   | Realizar un barrido con fluido para que permita que la herramienta baje.                                                                                                                                       |
|     |                          | Resistencia al bajar la canasta calibradora o tapón perforable                                                 | Activación prematura del tapón                                                                                   | 3         | 1 | 2 |   | Haber realizado una calibración previa a la TR con el molino full drift.                                                                                                                                       |
|     |                          | Desplazamiento de tapón                                                                                        | Pozo sin hermeticidad para poder continuar actividades.                                                          |           |   |   |   | Verificar presiones, revisión física y documental de los tapones                                                                                                                                               |
|     |                          | Falta de hermeticidad en el tapón                                                                              | Molienda de tapón e introducción de un segundo.                                                                  | 3         | 2 | 2 |   | Realizar las pruebas correspondiente al tapón y revisión previa antes de la introducción.                                                                                                                      |
| 7   | Molienda de Tapones      | Falta de retorno de restos de tapón                                                                            | Obstrucción de motor                                                                                             | 1         | 1 | 1 |   | Contar con fluidos que tengan la viscosidad para el acarreo correspondiente, así como el parámetro de la velocidad anular.                                                                                     |
|     |                          | Pérdida de circulación durante la molienda                                                                     | Atrapamiento de sarta de molienda (Pez de sarta de molienda)                                                     | 4         | 1 | 3 |   | Monitoreo constante de parámetros de circulación, gastos y volúmenes utilizados.                                                                                                                               |
|     |                          | Falla en URE en la parte electrónica                                                                           | Que no se active el sistema de Anclaje de Empacador                                                              | 1         | 1 | 1 |   | Realizar mantenimiento preventivo a las unidades                                                                                                                                                               |
| 8   | Bajada de Empacador      | Flotación de la herramienta                                                                                    | Incremento en tiempo programado de la actividad                                                                  | 1         | 1 | 1 |   | Realizar barrido de aceite previo verificación del fluido que aporta el pozo./No fluir pozo previo a bajar Empacador.                                                                                          |
|     |                          | Falla de anclaje de Empacador                                                                                  | Recuperación de Empacador e introducción de un segundo.                                                          | 3         | 1 | 2 |   | Revisión del empacador en superficie, previo a la introducción del mismo, definir condiciones de trabajo.                                                                                                      |
|     |                          | Anclaje en la profundidad de los intervalos                                                                    | Recuperación de Empacador y/o molienda.                                                                          | 3         | 1 | 3 |   | de debe contar con la correlación correspondiente para definición de anclaje del empacador.                                                                                                                    |
| 9   | Introducción de aparejo  | Expulsión del tapón del Empacador                                                                              | Descontrol del pozo.                                                                                             | 3         | 1 | 2 |   | La calibración de los pines de corte debe ser mayor a la presión hidrostática del pozo.                                                                                                                        |
|     |                          | Desconexión del Empacador, medio conector o TP al realizar el ajuste                                           | Generar pez.                                                                                                     | 3         | 1 | 2 |   | Realizar el apriete recomendado y el ajuste en base a la tubería que se tenga en el pozo.                                                                                                                      |
|     |                          | Prueba de hermeticidad negativa (pase en TP o Camisa)                                                          | Recuperación de aparejo.                                                                                         | 2         | 1 | 2 |   | Realizar pruebas con unidad de UPH para descartar probables fugas.                                                                                                                                             |
|     |                          | Pase del empacador                                                                                             | Recuperación de aparejo.                                                                                         | 2         | 1 | 2 |   | Pruebas correspondientes para descartar fugas en el empacador.                                                                                                                                                 |
|     |                          | Realizar ajuste con carga excesiva sobre el empacador                                                          | Pandeo de la tubería de Producción.                                                                              | 2         | 1 | 2 |   | Contar con la corrida correspondiente para definir con cuánto peso o tensión debe dejarse la tubería al realizar la conexión con el empacador.                                                                 |

Figura 5.5 Matriz de Identificación de Riesgos de las Opciones de Diseño de Terminación para cada Escenario. (Fuente: Recuperado PEP, 2022).

---

En esta primera Fase, se establecen los cimientos del proyecto al proponer y desarrollar todas las alternativas posibles para la ejecución del pozo, con el objetivo de maximizar el éxito mecánico y la obtención de volúmenes de producción. Cada opción es sometida a una evaluación técnica y económica, donde se determinan los costos asociados y se identifican los riesgos e incertidumbres que podrían afectar el diseño del pozo. Este análisis permite determinar la factibilidad de cada alternativa y jerarquizarlas según su viabilidad. La opción que resulte técnica y económicamente factible conformara la cartera de alternativas y avanzara a la siguiente fase, asegurando que el proyecto se desarrolle bajo un enfoque estructurado y optimizado.

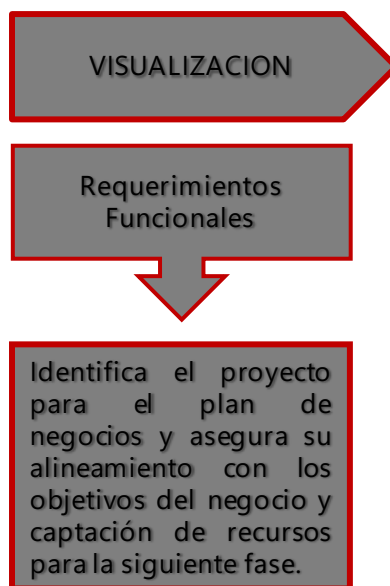


Figura 5.6 Fase de Visualización. (Fuente: Elaboración Propia)

---

### 5.2.2 Fase de Conceptualización

Esta fase consiste en una evaluación más detallada de cada una de las opciones visualizadas, correspondiente a la etapa de Ingeniería Conceptual. Durante este proceso, se incorpora nueva información relevante, como pruebas de presión-producción, datos de producción, simulaciones del comportamiento yacimiento-pozo, análisis de la productividad de los pozos y, en el caso de opciones de pozos no convencionales, análisis de modelado avanzado de pozos.

Además, se procede a cuantificar los riesgos identificados en la fase anterior y se generan planes de mitigación específicos para cada uno, con el objetivo de seleccionar la mejor opción técnico-económica para el proyecto de pozo. En esta etapa, se determina la rentabilidad del proyecto y se evalúa si el valor esperado del diseño del pozo cumple con los objetivos del negocio, utilizando estimaciones de costos Clase IV y III.

Una vez concluido este análisis, se genera el Documento de Soporte de Decisión de Conceptualización (DSD-C), el cual se somete a consideración del grupo de validación para su revisión y aprobación. Este documento debe incluir, entre otros elementos.

#### 5.2.2.1 Selección del Escenario Factible Perforación / Terminación

En la siguiente tabla, se presenta de manera estructurada la matriz de selección de escenarios factibles, donde se contrastan las distintas opciones disponibles para la trayectoria propuesta. Esta matriz tiene como objetivo evaluar de manera sistemática los riesgos y ventajas asociados a cada escenario, permitiendo una toma de decisiones fundamentada en criterios técnicos, económicos y operativos.

|                     | VARIABLES                          |                                               | EVALUACIÓN                    |       | OPCIÓN 1 |                           |      | OPCIÓN 2 |                 |  | OPCIÓN 3 |  |  |
|---------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------------------|-------|----------|---------------------------|------|----------|-----------------|--|----------|--|--|
|                     |                                    |                                               | 13 3/8" x 9 5/8" x 7 x 3 1/2" |       |          | 10 3/4" x 7 5/8" x 5 1/2" |      |          | 7 5/8" x 5 1/2" |  |          |  |  |
| ASPECTOS ECONÓMICOS | Indicadores económicos             | VPN/VPI<br>(despues de impuestos)             | 1.10                          | 57.07 | 1.12     | 57.93                     | 1.16 | 60.00    |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    |                                               |                               |       |          |                           |      |          |                 |  |          |  |  |
| ASPECTOS TÉCNICOS   | Conocimiento / información         | Madurez del Diseño                            | 40                            | 4.5   | 40       | 4.5                       | 40   | 4.5      |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Tecnología                                    | 50                            |       | 50       |                           | 50   |          |                 |  |          |  |  |
|                     | Perforación                        | Contingencias                                 | 0                             | 4     | 0        | 4                         | 0    | 3.8      |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Integridad                                    | 14                            |       | 14       |                           | 14   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Claro radial                                  | 14                            |       | 14       |                           | 14   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Requerimientos de ampliación de agujero       | 14                            |       | 14       |                           | 10   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Estabilidad del agujero                       | 14                            |       | 14       |                           | 14   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Gradiente de fractura                         | 14                            |       | 14       |                           | 14   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Complejidad de trayectoria                    | 10                            |       | 10       |                           | 10   |          |                 |  |          |  |  |
|                     | Aspectos Geológicos Relevantes     | Fallas                                        | 25                            | 4.5   | 25       | 4.5                       | 25   | 4.5      |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Domos Salinos                                 | 25                            |       | 25       |                           | 25   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Domos de Arcilla                              | 25                            |       | 25       |                           | 25   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Zona de Pérdida de Circulación                | 15                            |       | 15       |                           | 15   |          |                 |  |          |  |  |
|                     | Equipo de Perforación              | Capacidad                                     | 90                            | 5     | 90       | 5                         | 100  | 5        |                 |  |          |  |  |
|                     | Disponibilidad de Equipos,         | Equipos y Materiales (Tangibles)              | 40                            | 4.5   | 40       | 4.5                       | 35   | 4.25     |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Servicios (Intangibles)                       | 50                            |       | 50       |                           | 50   |          |                 |  |          |  |  |
|                     | Facilidad para toma de información | Posibilidad de toma de Registros Eléctricos   | 50                            | 5     | 50       | 5                         | 50   | 5        |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Posibilidad de Toma de Núcleos                | 50                            |       | 50       |                           | 50   |          |                 |  |          |  |  |
|                     | Terminación                        | Riesgo de producción de fluidos no deseados   | 33                            | 5     | 33       | 5                         | 33   | 5        |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Operaciones a través del aparejo              | 33                            |       | 33       |                           | 33   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Número de elementos /accesorios en la sarta   | 34                            |       | 34       |                           | 34   |          |                 |  |          |  |  |
|                     | Mantenibilidad                     | Tratamientos/estimulaciones (sin equipo)      | 33                            | 4.85  | 33       | 5                         | 33   | 4.6      |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Reentradas                                    | 30                            |       | 33       |                           | 25   |          |                 |  |          |  |  |
|                     |                                    | Facilidades para pesca de aparejo + empacador | 34                            |       | 34       |                           | 34   |          |                 |  |          |  |  |
|                     | TOTAL                              |                                               |                               | 94    |          | 95                        |      | 97       |                 |  |          |  |  |

Tabla 5.1 Columna geológica probable para el Proyecto. (Fuente: Recuperado PEP, 2022).

A partir de la matriz de selección, se evidencia que cada opción presenta una diferencia entre ventajas y riesgos. La Opción 1 resulta menos atractiva por su viabilidad económica, pero podría ser la más adecuada en términos de sostenibilidad a largo plazo. Por otro lado, la Opción 2, aunque menos costosa, ofrece una implementación que podría justificar la inversión inicial. Finalmente, la Opción 3 se posiciona como la más robusta en términos técnicos, lo que se refleja en viabilidad operativa y financiera.

---

### 5.2.2.2 Resumen de Geociencias

Se describirán los cuerpos de interés, así como la estructura de la formación basándose en modelos previamente desarrollados. A partir de estos, se definirán los marcadores geológicos interpretados por el área de geociencias, mediante pozos de correlación ubicados en la misma asignación, campo y en su caso macropera. Con el fin de completar la información requerida permitiendo conceptualizar las tendencias de distribución espacial de los objetivos en el yacimiento.

| Unidad Litologica | Prof. Vertical<br>(m.v.b.m.r.) | Prof. Desarrollada<br>(m.d.b.m.r.) | Espesor (m) | Descripción<br>Litológica |
|-------------------|--------------------------------|------------------------------------|-------------|---------------------------|
| Es. Chapopote     | Aflora                         | Aflora                             | 301         | Lutitas y areniscas       |
| Em. Guayabal      | 310                            | 315                                | 974         | Lutitas                   |
| C-10              | 1233                           | 1414                               | 66          | Lutitas y areniscas       |
| C-20              | 1284                           | 1493                               | 93          | Lutitas y areniscas       |
| C-30              | 1346                           | 1529                               | 64          | Lutitas y areniscas       |
| C-40              | 1377                           | 1573                               | 244         | Lutitas y areniscas       |
| C-55              | 1621                           | 1819                               | 49          | Lutitas y areniscas       |
| C-70              | 1670                           | 1868                               | 87          | Lutitas y areniscas       |
| C-80              | 1757                           | 1955                               | 47          | Lutitas y areniscas       |
| C-90              | 1804                           | 2002                               | 111         | Lutitas y areniscas       |
| C-100             | 1915                           | 2113                               | 63          |                           |
| Profundidad Total | 1978                           | 2175                               | --          |                           |

Tabla 5.2 Columna geológica probable para el Proyecto (Ejemplo del Plan direccional). (Modificado CERN, 2022).

---

### 5.2.2.3 Programa de Perforación Direccional Preliminar

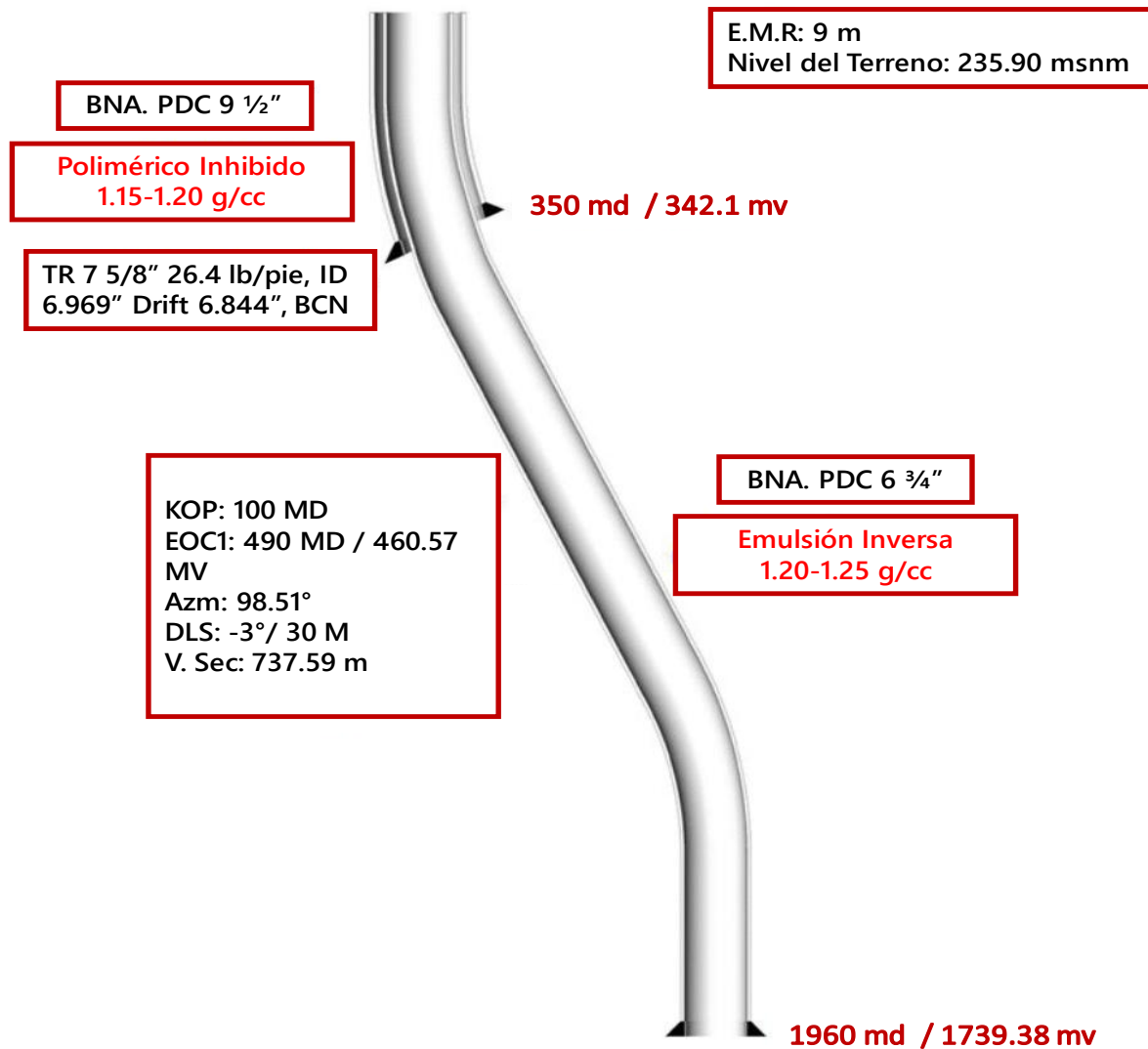


Figura 5.7 Estado Mecánico propuesto con contingencias. (Modificado PEP, 2022).

Este programa define la geometría de la trayectoria, considerando factores geológicos, geofísicos y operativos, con el objetivo de alcanzar el objetivo de manera precisa y optimizada. Además, permite anticipar desafíos como desviaciones no deseadas, colisiones con pozos adyacentes o interacciones con formaciones geológicas complejas, lo que facilita la toma de decisiones preventivas y correctivas. Sirviendo como un marco estratégico que integra datos técnicos, cálculos de ángulos de inclinación y azimuth, así como análisis de riesgos, para asegurar que la perforación

se realice de manera controlada, eficiente y alineada con los objetivos de producción y rentabilidad del proyecto.

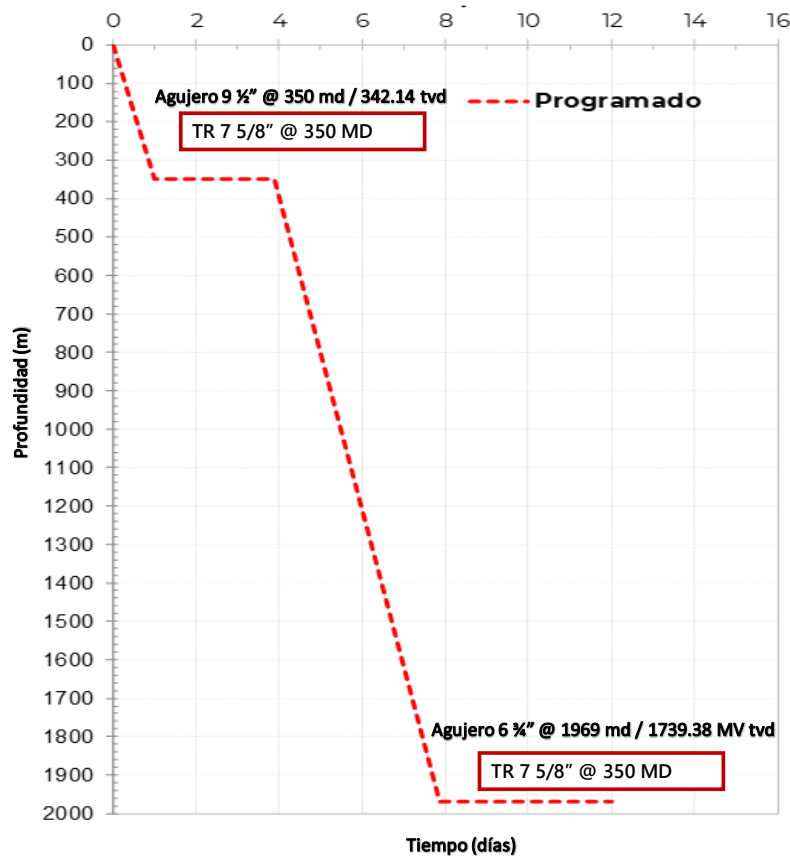
#### 5.2.2.4 Resumen de Tiempos Optimo y Limite Técnico por Etapa

Este resumen permite identificar los tiempos ideales requeridos para completar cada etapa de la perforación, basándose en datos históricos, capacidades técnicas del equipo y condiciones geológicas esperadas. Además, establece los límites técnicos, que representan los umbrales máximos de tiempo o recursos que no deben superarse para evitar incrementos en costos, riesgos operativos o retrasos en el cronograma. Al comparar el desempeño real con estos parámetros, se facilita la detección de desviaciones, la implementación de acciones correctivas y la optimización continua del proceso. En síntesis, este resumen sirve como una guía para maximizar la eficiencia, minimizar los riesgos y asegurar que la perforación se lleve a cabo dentro de los márgenes de tiempo y recursos planificados.

| TR [pg]                            | Prof. [m]   | ACTIVIDAD       | High Energy [días] |              |
|------------------------------------|-------------|-----------------|--------------------|--------------|
|                                    |             |                 | Por actividad      | Acumulado    |
| <b>Instalación</b>                 | 0           |                 | 0.00               | <b>0.00</b>  |
| <b>7 5/8</b>                       | 350         | Perforación     | 1.00               | <b>1.00</b>  |
|                                    | 350         | Cambio de Etapa | 2.88               | <b>3.88</b>  |
| <b>5 1/2</b>                       | 1969        | Perforación     | 4.00               | <b>7.88</b>  |
|                                    | 1969        | Registros       | 0.75               | <b>8.63</b>  |
|                                    | 1969        | Cambio de Etapa | 3.38               | <b>12.00</b> |
| <b>TIEMPO TOTAL DE PERFORACIÓN</b> | <b>1969</b> |                 |                    | <b>12.00</b> |

Tabla 5.3 Estado Mecánico propuesto con contingencias. (Modificado PEP, 2022).

#### 5.2.2.5 Grafica de Avance de Profundidad contra Tiempo



Grafica 5.1 Grafica de avance programado en profundidad contra tiempo.  
(Modificado PEP, 2022)

Esta gráfica relaciona la profundidad alcanzada con el tiempo transcurrido, proporcionando una línea base de rendimiento óptimo y permitiendo comparar el avance real con el planificado. Al analizar esta relación, es posible identificar desviaciones, cuellos de botella o ineficiencias en el proceso, lo que facilita la toma de decisiones oportunas para corregir problemas y mantener el proyecto dentro de los plazos establecidos. Además, la gráfica sirve como un instrumento de comunicación efectiva entre los equipos técnicos y operativos, ya que sintetiza el desempeño global del pozo y permite anticipar posibles retrasos o ajustes necesarios. En resumen, la Gráfica de Avance es fundamental para garantizar que la



perforación se realice de manera eficiente, segura y alineada con los objetivos de tiempo y profundidad definidos en la planificación inicial.

#### 5.2.2.6 Costo Integral

El costo integral es un concepto crítico en la gestión de proyectos petroleros, ya que engloba todos los gastos asociados tanto a la fase de perforación como a la terminación del pozo, proporcionando una visión completa y detallada de la inversión requerida. Además, el análisis del costo integral permite establecer comparaciones con proyectos similares, detectar desviaciones financieras y tomar decisiones informadas para controlar los gastos y maximizar la eficiencia económica. En resumen, el Costo Integral sirve como una herramienta financiera estratégica que asegura una planificación robusta, un control efectivo de los recursos y una ejecución eficiente del proyecto, garantizando que se cumplan los objetivos técnicos y económicos establecidos.

| TR                                              | COSTO DIRECTO POR ETAPA<br>(M.N.) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 0.- MOVIMIENTO EQUIPO PM-9111                   | \$916,129.17                      |
| 2.- SUPERFICIAL 7 5/8" DE SUPERFICIE A 350 MTRS | \$4,816,642.00                    |
| 4.- EXPLOTACIÓN DE 5 1/2" A 1969 MTRS           | \$14,575,003.84                   |
| <b>TOTAL</b>                                    | <b>\$ 20,307,775.01</b>           |

Tabla 5.4 Costo Integral de la Perforación. (Modificado PEP, 2022).

| CONCEPTO                                | MONTO M. N               |
|-----------------------------------------|--------------------------|
| A. MATERIALES                           | \$ 1,414,931.20          |
| B. SERVICIOS                            | \$ 2,436,232.11          |
| C. SERVICIOS INTEGRALES                 | \$ 17,058,692.301        |
| <b>COSTO INTEGRAL TERMINACIÓN (C+D)</b> | <b>\$ 20,909,855.611</b> |

Tabla 5.5 Costo Integral de la Terminación. (Modificado PEP, 2022).

---

#### 5.2.2.7 Evaluación Económica del Escenario Ganador

Este análisis evalúa indicadores clave como el Valor Presente Neto (VPN), Antes y Después de impuestos, considerando variables como los costos de perforación, terminación, producción, precios del petróleo, impuestos y regalías. Al realizar esta evaluación, se asegura que el escenario ganador no solo cumpla con los objetivos técnicos y operativos, sino que también maximice la rentabilidad y minimice los riesgos financieros. Lo cual lo hace una herramienta indispensable para garantizar que la decisión final esté respaldada por un análisis riguroso que equilibre los aspectos técnicos, operativos y financieros, asegurando el éxito económico del proyecto a largo plazo.

| PREMISAS ECONOMICAS        |  |       |  |  |  |  |  |
|----------------------------|--|-------|--|--|--|--|--|
| Precio del barril (dls/bl) |  | 67.63 |  |  |  |  |  |
| Precio del gas (dls/Mpc)   |  | 4.98  |  |  |  |  |  |
| Paridad (peso/dólar)       |  | 21.00 |  |  |  |  |  |
| Tasa de descuento anual %  |  | 7.5   |  |  |  |  |  |
| Periodo (meses)            |  | 60    |  |  |  |  |  |

| POZO | ESCENARIOS | Qoi | VPI (MM\$) | VPN A.I. (MM\$) | VPN D.I. (MM\$) | E.I.A.I. | E.I.D.I. |
|------|------------|-----|------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| UNAM | 1          | 170 | 41.22      | 49.56           | 25.81           | 1.20     | 0.63     |

Tabla 5.6 Premisas Económicas del Escenario Ganador. (Modificado PEP, 2022).

Durante la fase de conceptualización, se establecieron las bases técnicas mediante herramientas como el Programa de Perforación Direccional Preliminar, que define la trayectoria óptima del pozo, y el Resumen de Tiempos Óptimos y Límite Técnico por Etapa, que establece los parámetros de eficiencia operativa. Además, la Gráfica de Avance (Profundidad vs. Tiempo) permite monitorear el progreso del proyecto, asegurando que se mantenga dentro de los plazos planificados.

Por otro lado, el Costo Integral de Perforación y Terminación proporciona una visión completa de los recursos financieros requeridos, integrando tanto los gastos directos

---

---

como los indirectos, lo que facilita la optimización de costos y la asignación eficiente de recursos. Finalmente, la Evaluación Económica del Escenario Ganador valida la viabilidad financiera del proyecto, asegurando que el escenario seleccionado maximice la rentabilidad y minimice los riesgos.

En conjunto, estas herramientas y análisis permiten una planificación robusta, integral y alineada con los objetivos técnicos y económicos, sentando las bases para una ejecución eficiente y exitosa de las fases posteriores del proyecto. La fase de conceptualización, por tanto, no solo define el rumbo del proyecto, sino que también establece los mecanismos de control y evaluación necesarios para garantizar su sostenibilidad y competitividad en el largo plazo.

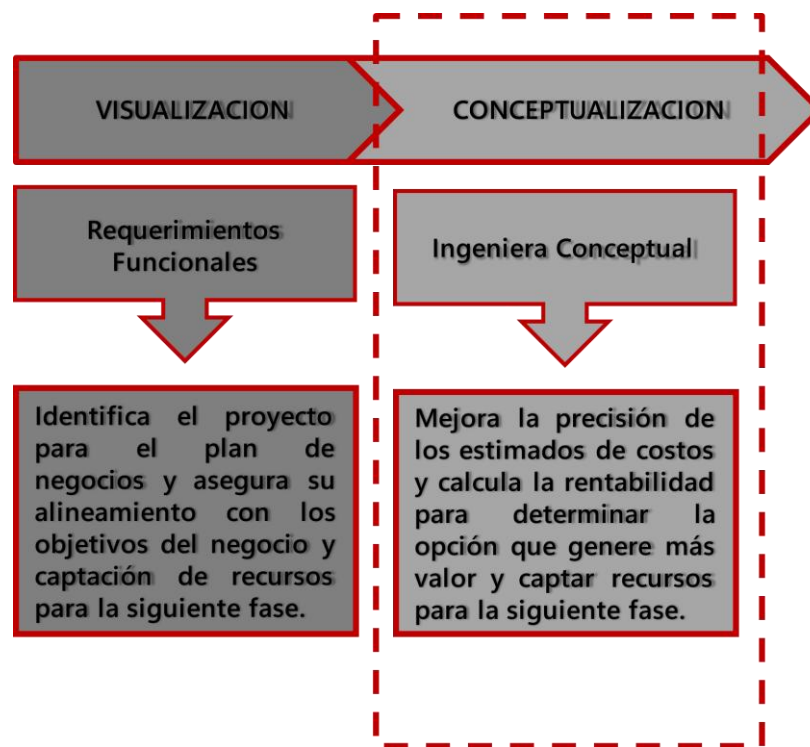


Figura 5.8 Fase de Conceptualización. (Fuente. Elaboración Propia).

---

### 5.2.3 Fase de Definición

La fase de definición constituye una etapa crítica en el desarrollo de un proyecto petrolero, ya que se enfoca en refinar y detallar todos los aspectos técnicos, operativos y económicos de la opción seleccionada durante la fase de conceptualización. En esta fase, se lleva a cabo la ingeniería de detalle, la cual profundiza en el diseño y especificaciones técnicas de la opción elegida, asegurando que se cuente con un plan robusto y ejecutable. Paralelamente, se afina el plan de mitigación de riesgos, incorporando medidas específicas para abordar los riesgos cuantificados previamente, con el objetivo de minimizar su impacto durante la ejecución del proyecto. Además, se elabora el programa de perforación con un nivel de precisión elevado, incluyendo todas las especificaciones técnicas necesarias para obtener un estimado de costos Clase II, el cual proporciona una mayor exactitud en la proyección financiera del proyecto.

Con base en estos elementos, se genera el Documento de Soporte de Decisión de Definición (DSD-D), un instrumento clave que integra los programas de perforación y terminación, así como los análisis técnicos y económicos actualizados. Este documento es presentado al grupo de validación, conformado por expertos y áreas involucradas, para su revisión y aprobación. Finalmente, la fase de definición culmina con la realización de la "Perforación en Papel", un ejercicio simulado que permite evaluar de manera integral la viabilidad operativa del proyecto, identificar posibles áreas de mejora y asegurar que todos los equipos involucrados estén alineados con los objetivos y procedimientos establecidos. Consolidando la planificación del proyecto, garantizando que se cuente con un diseño técnico sólido, un plan de mitigación de riesgos efectivo y una estimación financiera precisa, sentando las bases para una ejecución exitosa en las etapas posteriores.

### 5.2.3.1 Especificaciones Técnicas Geociencias

Estas especificaciones integran datos geológicos, geofísicos y petrofísicos, como la interpretación de sísmica, la caracterización de formaciones, la identificación de zonas de interés y la evaluación de riesgos asociados a la geología del subsuelo. Al incorporar esta información, se define la trayectoria óptima del pozo, asegurando que se eviten zonas de alta complejidad geológica, como fallas, fracturas o formaciones inestables, y que se alcancen los objetivos productivos de manera segura y eficiente. Además, las especificaciones técnicas de geociencias permiten anticipar desafíos operativos, optimizar la selección de herramientas de perforación y reducir los costos asociados a imprevistos geológicos. De esta manera tanto la profundidad programada como las coordenadas de los objetivos orientan la toma de decisiones técnicas, proporcionan la base técnica necesaria.

| Profundidad Vertical<br>(m.v.b.n.m.) | Profundidad Vertical<br>(m.v.b.m.r.) | Profundidad Desarrollada<br>(m.d.b.m.r.) |
|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------------|
| <b>-1489</b>                         | <b>1734</b>                          | <b>1904</b>                              |

Tabla 5.7 Profundidad Programada. (Modificado PEP, 2022)

| Objetivo    | Prof. Vertical<br>(m.v.b.m.r.) | Prof.<br>Desarrollada<br>(m.d.b.m.r.) | Desplazamiento<br>(m) | Azímut<br>(°) | Coordenadas (m) |                  |                   |
|-------------|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------|-----------------|------------------|-------------------|
|             |                                |                                       |                       |               | Ref.            | X (Long)         | Y (Lat)           |
| <b>C-40</b> | <b>1614</b>                    | <b>1785</b>                           | <b>641</b>            | <b>0</b>      | <b>ITRF08</b>   | <b>647006.10</b> | <b>2270784.90</b> |
| <b>C-65</b> | <b>1648</b>                    | <b>1819</b>                           | <b>641</b>            | <b>0</b>      | <b>ITRF08</b>   | <b>647006.10</b> | <b>2270784.90</b> |
| <b>C-70</b> | <b>1661</b>                    | <b>1832</b>                           | <b>641</b>            | <b>0</b>      | <b>ITRF08</b>   | <b>647006.10</b> | <b>2270784.90</b> |

Tabla 5.8 Profundidad y Coordenadas de los Objetivo. (Modificado PEP, 2022)

---

### 5.2.3.2 Pronósticos de Producción

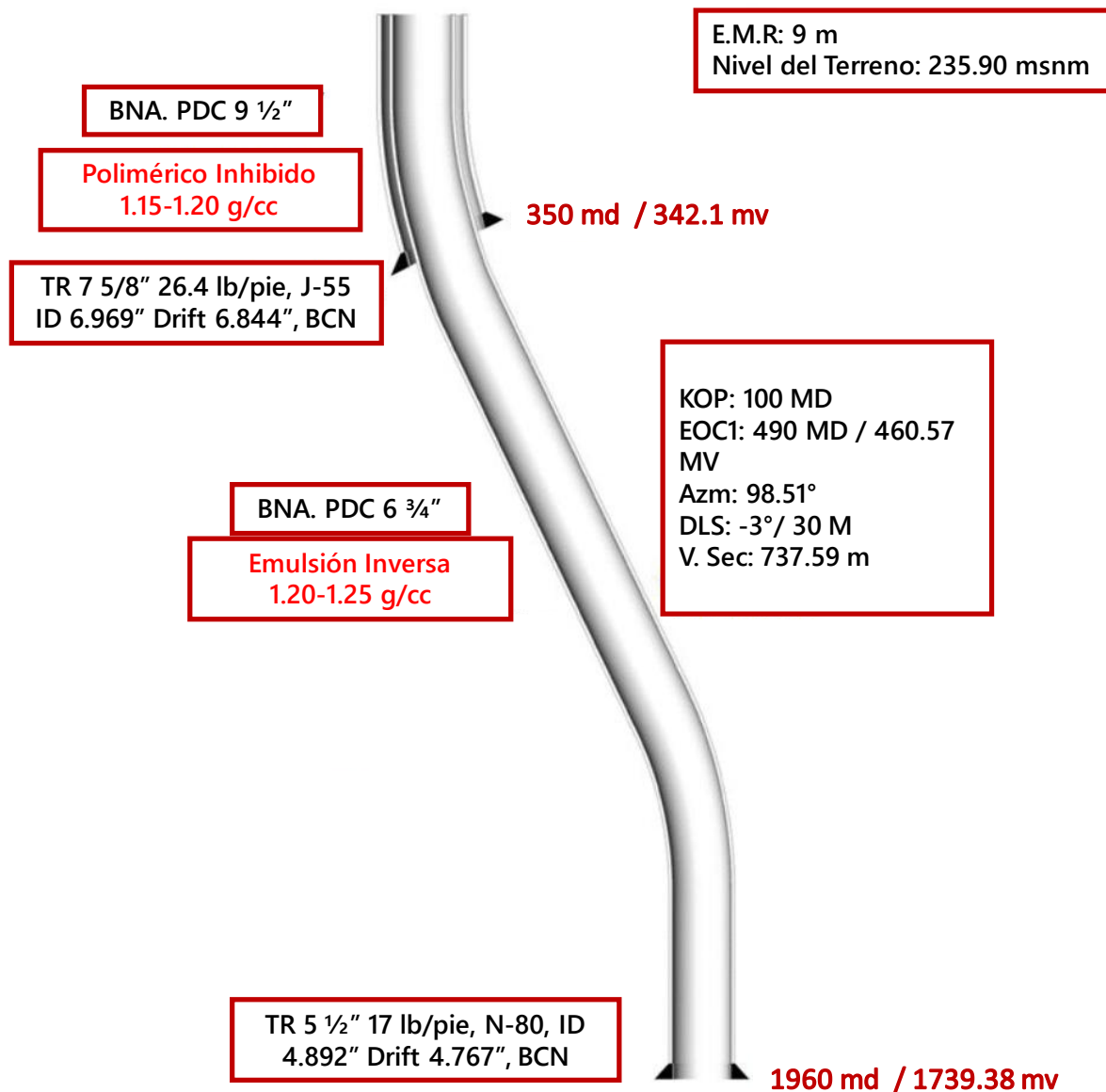
Los Pronósticos de Producción del Objetivo representan un elemento clave en la fase de definición de la planeación de la perforación de un pozo petrolero, ya que proporcionan una proyección cuantitativa del comportamiento esperado del yacimiento y su potencial productivo. Estos pronósticos se basan en el análisis integrado de datos geológicos, geofísicos y de ingeniería de yacimientos, utilizando modelos numéricos y simulaciones que consideran variables como la presión del yacimiento, la saturación de fluidos, la permeabilidad de las formaciones y las características de los hidrocarburos. Al establecer estimaciones confiables de la producción de petróleo, gas y agua, se facilita la toma de decisiones informadas sobre la viabilidad económica del proyecto, la selección de equipos de producción y la definición de estrategias de recuperación óptimas. Además, los pronósticos de producción permiten identificar posibles desafíos operativos, como declinaciones aceleradas o la presencia de fluidos no deseados, lo que contribuye a diseñar planes de mitigación y optimización desde etapas tempranas. En resumen, estos pronósticos no solo sustentan la justificación técnica y económica del proyecto, sino que también proporcionan una base sólida para la planificación operativa, asegurando que el pozo alcance su máximo potencial productivo de manera eficiente y sostenible.

| <b>Estrang.<br/>(1/64")</b> | <b>Pwh (psi)</b> | <b>Pwf(psi)</b> | <b>Qliq.(bpd)</b> | <b>Qo (bpd)</b> | <b>Qg<br/>(MMpcd)</b> |
|-----------------------------|------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-----------------------|
| <b>12</b>                   | <b>290</b>       | <b>2368</b>     | <b>142</b>        | <b>142</b>      | <b>0.03</b>           |
| <b>14</b>                   | <b>266</b>       | <b>2285</b>     | <b>178</b>        | <b>178</b>      | <b>0.04</b>           |
| <b>16</b>                   | <b>242</b>       | <b>2187</b>     | <b>212</b>        | <b>212</b>      | <b>0.04</b>           |
| <b>18</b>                   | <b>216</b>       | <b>2021</b>     | <b>241</b>        | <b>241</b>      | <b>0.05</b>           |

Tabla 5.9 Producción estimada para el pozo UNAM. (Modificado CERN, 2022)

---

### 5.2.3.3 Estado Mecánico Programado y Tuberías de Revestimiento



| TR (pg)       | Barrena (pg) | Intervalo (m) |      | Objetivo                                                                                                                                                             |
|---------------|--------------|---------------|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>7 5/8</b>  | 9 1/2"       | 0             | 350  | Tubería Superficial, Cubrir mantos freáticos, instalar conexiones superficiales de control – cabezal definitivo, Tener mayor gradiente de presión. Asentar TR 7 5/8" |
| <b>5 1/2"</b> | 6 3/4"       | 350           | 1904 | Tubería de Producción, para cubrir las formaciones productoras desde el Cretácico hasta la formación Chicontepec, Asentar TR 5 1/2"                                  |

Figura 5.9 Estado Mecánico Programado anexando tabla de Objetivo por Etapa de Tuberías de Revestimiento. (Modificado PEP, 2022).

#### 5.2.3.4 Plan Direccional

El Plan Direccional de la Trayectoria es un componente esencial en la fase de definición de la perforación, ya que establece la ruta precisa que seguirá el pozo para alcanzar los objetivos productivos de manera eficiente y segura. Este plan se desarrolla a partir de la información técnica detallada en el Capítulo 3, donde se integran datos como la interpretación sísmica, la caracterización de formaciones, la identificación de zonas de interés y la evaluación de riesgos geológicos. Con base en estos insumos, se define la geometría de la trayectoria, incluyendo ángulos de inclinación, azimuth y puntos de desviación, optimizando el recorrido para evitar zonas problemáticas, como fallas o formaciones inestables, y maximizar la exposición de los intervalos productivos. Además, el plan direccional considera aspectos operativos, como la selección de herramientas de perforación direccional y la prevención de colisiones con pozos adyacentes, asegurando que la perforación se realice de manera controlada y alineada con los objetivos técnicos y económicos del proyecto. En síntesis, el Plan Direccional no solo garantiza la precisión técnica de la perforación, sino que también contribuye a minimizar riesgos, optimizar costos y maximizar la eficiencia operativa, tal como se fundamenta en los análisis y metodologías presentados.

| Puntos relevantes | Prof. (m) | Inc. (°) | Azimuth (°) | Prof. Vertical (m) | +N/-S (m) | +E/-O (m) | Desp. (m) | Severidad (°/30m) |
|-------------------|-----------|----------|-------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Superficie        | 0         | 0        | 0           | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 |
| Zapata 1          | 350       | 20       | 259.87      | 345.96             | -6.07     | -34.02    | 34.55     | 3                 |
| Zapata 2          | 1904      | 0        | 0           | 1733.09            | -112.64   | -630.72   | 640.70    | 0                 |
|                   |           |          |             |                    |           |           |           |                   |
| KOP1              | 150       | 0        | 0           | 150                | 0         | 0         | 0         | 0                 |
| EOC1              | 480       | 33       | 259.87      | 462.06             | -16.25    | -91.00    | 92.43     | 3                 |
| DROP              | 1316.94   | 33       | 259.87      | 1163.97            | -96.39    | -539.73   | 548.27    | 0                 |
| EOC2              | 1646.94   | 0        | 0           | 1476.03            | -112.64   | -630.72   | 640.70    | 3                 |
|                   |           |          |             |                    |           |           |           |                   |
| Cima del objetivo | 1722      | 0        | 0           | 1551               | -112.64   | -630.72   | 640.70    | 0                 |
| PT                | 1904      | 0        | 0           | 1733.09            | -112.64   | -630.72   | 640.70    | 0                 |

Tabla 5.10 Resumen de Puntos Relevantes de la Trayectoria del Proyecto.  
(Modificado PEP, 2022)



---

#### 5.2.3.5 Programa de Cementaciones por Etapas

El programa de cementaciones es un elemento crítico en la fase de definición de la metodología, ya que establece el plan detallado para garantizar la integridad estructural del pozo y el aislamiento efectivo de las zonas productivas. Este programa define las especificaciones técnicas para cada etapa de cementación, incluyendo la selección de aditivos, el diseño de lechadas de cemento, los volúmenes requeridos y los procedimientos operativos, asegurando que se cumplan los objetivos de sellado y estabilidad. La importancia de este programa radica en su capacidad para prevenir problemas como la migración de fluidos entre formaciones, la contaminación de acuíferos o la pérdida de presión en el pozo, lo que podría comprometer la seguridad operativa y la eficiencia productiva. Además, un diseño adecuado de las cementaciones por etapas contribuye a prolongar la vida útil del pozo, reducir costos de mantenimiento y cumplir con normativas ambientales y regulatorias.

Por lo cual es fundamental para asegurar la integridad del pozo, sino que también juega un papel clave en la optimización operativa y la sostenibilidad del proyecto

| Diámetro TR (pg) | Profundidad (m) | Densidad de lechadas (g/cm3) | Cima Cemento (m) | Base Cemento (m) | Observaciones                                       |
|------------------|-----------------|------------------------------|------------------|------------------|-----------------------------------------------------|
| <b>7 5/8</b>     | 350             | 1.90                         | Superficie       | 350              | Fluido de desplazamiento EI de 1.20 g/cc            |
| <b>5 1/2</b>     | 1200            | 1.60                         | 800              | 1200             | Fluido de desplazamiento Agua salobre de 1.005 g/cc |
|                  | 1904            | 1.90                         | 1200             | 1904             |                                                     |

Tabla 5.11 Resumen de Puntos Relevantes de la Trayectoria del Proyecto.  
(Modificado PEP, 2022)

---

### 5.2.3.6 Cronograma de Suministro de Equipos, Materiales y Servicios

El cronograma es una herramienta esencial en la fase de definición de un proyecto de perforación petrolera, ya que permite planificar y coordinar de manera eficiente la disponibilidad de todos los recursos necesarios para la ejecución del pozo. Este cronograma detalla las fechas críticas para la adquisición, entrega y movilización de equipos especializados, materiales de perforación y servicios técnicos, asegurando que cada componente esté disponible en el momento y lugar requeridos. Su importancia radica en que evita retrasos operativos, minimiza costos asociados a tiempos de espera y optimiza la logística del proyecto. Además, al integrar las necesidades de suministro con el plan general de perforación, se garantiza una sincronización efectiva entre las actividades operativas y los recursos disponibles, lo que contribuye a mantener el proyecto dentro del cronograma establecido y a cumplir con los objetivos de tiempo y presupuesto. Derivados al área sustantiva encargada.

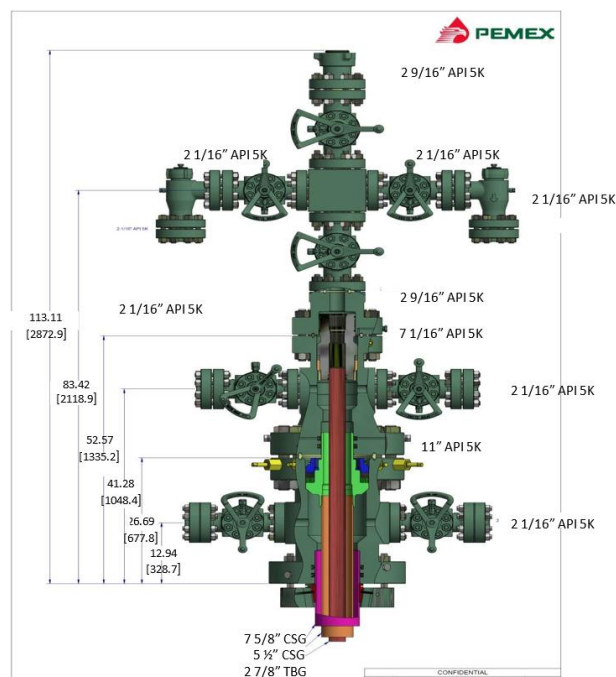


Figura 5.10 Diagrama del Cabezal y Medio Árbol de Válvulas. (Recuperado PEP, 2022)

---

---

### 5.2.3.7 Ingeniería de Detalle de la Terminación

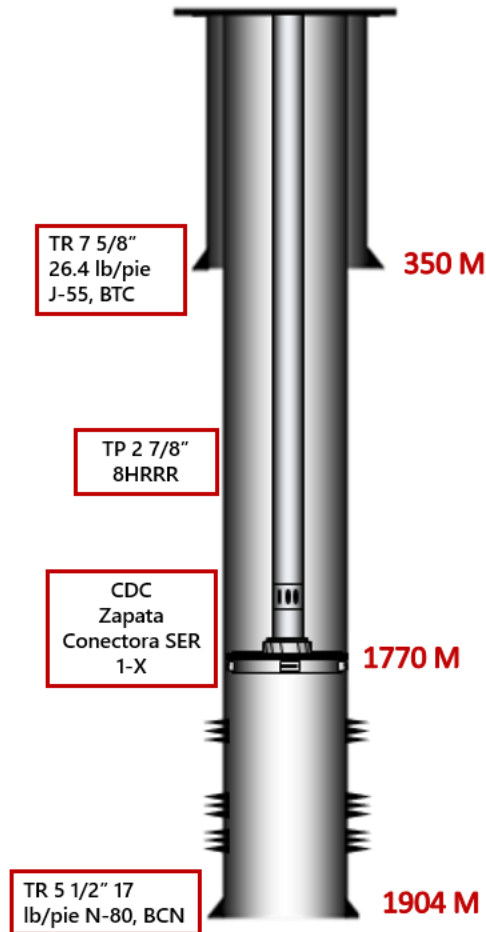


Figura 5.11 Estado Mecánico de la Terminación Programada. (Modificado PEP, 2022).

La Ingeniería de Detalle de la Terminación es una etapa crucial en la fase de definición, ya que se enfoca en diseñar y especificar todos los aspectos técnicos y operativos necesarios para preparar el pozo y ponerlo en condiciones óptimas de producción. Este proceso incluye la selección y diseño de los equipos de terminación, como tuberías de revestimiento, empacadores, válvulas y sistemas de control de flujo, así como la definición de los procedimientos para la estimulación, perforación de la tubería y conexión a las instalaciones de superficie. La importancia de la Ingeniería de Detalle de la Terminación radica en su capacidad para garantizar la integridad del pozo, maximizar la eficiencia productiva y minimizar riesgos

operativos, como fugas de fluidos o fallas en los equipos. Además, este proceso asegura que el pozo esté debidamente equipado para manejar las condiciones específicas del yacimiento, como presión, temperatura y composición de los fluidos, lo que contribuye a prolongar su vida útil y optimizar la recuperación de hidrocarburos.

#### 5.2.3.8 Identificación de Riesgos Potenciales

| Etapa TR (pg) | Diámetro Barrena (pg) | Profundidad (md) | Problemática potencial                                                                                                                                                       | Causa                                        | Alternativas de solución                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |
|---------------|-----------------------|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>7 5/8</b>  | 9 1/2                 | 350              | Empaquetamiento; Hidratación de arcilla; embolamiento y pérdida de fluido.                                                                                                   | Fluido en malas condiciones                  | <ul style="list-style-type: none"> <li>Perforar con gasto requerido.</li> <li>Estricto control de la densidad y propiedades reológicas del fluido.</li> <li>Bombear baches dispersos para generar flujo turbulento y remueva las posibles camas de recorte.</li> <li>Monitorear el volumen de los recortes de salida.</li> <li>Tener en sitio obturante para contingencia.</li> <li>Mantener el potasio libre arriba de 80,000 ppm</li> <li>Filtrado de 3-4 cm3</li> <li>Incrementar la viscosidad de 80- 100 seg</li> <li>Disponer de encapsulador de filtrado en el sistema.</li> <li>Empezar la perforación con una densidad de 1.15 y aumentarla hasta el 1.25 g/cc como máximo.</li> <li>Dejar la densidad equivalente de circulación al terminar la etapa.</li> <li>Incrementar la viscosidad de 80- 100 seg</li> </ul>                          |
| <b>5 1/2</b>  | 6 3/4                 | 1904             | Perdida de fluido de perforación; Gasificación y atrapamientos por pega diferencial, potencialmente a la entrada de la formación Chicontepec (1444 mv) de acuerdo con la BU. | Perforar el pozo con una densidad inadecuada | <ul style="list-style-type: none"> <li>Llevar la densidad mínima acorde al estudio de geomecánica y llevar el gasto óptimo para una buena limpieza de pozo.</li> <li>Tener control velocidad de viaje (suabeo y pistoneo).</li> <li>Bombeo de baches de obturante de diferente granulometría (carbonato de calcio) en caso necesario.</li> <li>En caso de gasificación circular pozo para desalojo de la burbuja de gas, en caso necesario de aumentar densidad.</li> <li>En contingencia de atrapamiento diferencial bombear bache despegador well spot y esperar 8 horas de reposo; posteriormente trabajar sarta.</li> <li>Es imperativo que la zapata y el cople sean guía y diferencial respectivamente.</li> <li>Bajar el TR a velocidad controlado con un estricto monitoreo del tanque de vias para evitar pérdidas de circulación.</li> </ul> |

Tabla 5.12 Identificación de Riesgos Potenciales por Etapa. (Modificado PEP, 2022).

---

---

La identificación de riesgos potenciales es un componente indispensable en la fase de definición de un proyecto de perforación petrolera, ya que permite anticipar, evaluar y mitigar eventos que podrían impactar negativamente en el cumplimiento de los objetivos técnicos, operativos y económicos. Este proceso sistemático se basa en la recopilación y análisis de información histórica, datos geológicos, condiciones operativas y factores externos, con el fin de detectar posibles amenazas, como fallas geológicas, problemas de estabilidad del pozo, fluctuaciones en los precios del petróleo o retrasos en la cadena de suministro. Al identificar estos riesgos de manera temprana, se pueden diseñar e implementar estrategias de mitigación efectivas, como ajustes en el diseño de la trayectoria, selección de equipos más robustos o la inclusión de contingentes en el presupuesto. Además, este proceso contribuye a la toma de decisiones informadas, reduce la incertidumbre y fortalece la planificación integral del proyecto. Ya que no solo es necesaria para garantizar la seguridad y eficiencia operativa, sino que también es fundamental para minimizar costos imprevistos, optimizar recursos y asegurar el éxito del proyecto.

#### 5.2.3.9 Costo Integral del Proyecto

Este costo integral engloba no solo los gastos directos asociados a la perforación, terminación y equipamiento del pozo, sino también los costos indirectos, como logística, permisos, seguros, contingencias y gastos administrativos. Al realizar este análisis detallado, se asegura que el presupuesto esté alineado con los objetivos técnicos y operativos, evitando subestimaciones que podrían generar sobrecostos o desviaciones financieras durante la ejecución. Además, el costo integral proporciona una base sólida para la toma de decisiones, permitiendo evaluar la viabilidad económica del proyecto, optimizar la asignación de recursos y justificar la inversión

| CONCEPTO                                 | MONTO M.N.              |
|------------------------------------------|-------------------------|
| COSTO INTEGRAL DE LA PERFORACIÓN         | \$20,055,072.46         |
| COSTO INTEGRAL DE LA TERMINACIÓN         | \$20,909,855.61         |
| COSTO INTEGRAL TAPONAMIENTO              | \$2,500,000.00          |
| <b>COSTO TOTAL INTEGRAL DEL PROYECTO</b> | <b>\$ 43,464,928.07</b> |

Tabla 5.13 Costo Total del Proyecto. (Modificado PEP, 2022).

La fase de definición representó el pilar en el cual, basándose en la metodología establecida, se consolidaron y detallaron todos los elementos técnicos, operativos y económicos necesarios para asegurar la viabilidad del proyecto. Esta etapa permitió integrar y refinar los aspectos críticos de la planificación, garantizando un diseño técnico sólido que optimiza la perforación y terminación del pozo, un plan de mitigación de riesgos efectivo que anticipa y reduce posibles contingencias, y una estimación financiera precisa que asegura la asignación eficiente de recursos. Al consolidar estos elementos, la fase de definición no solo sentó las bases para una ejecución exitosa en las etapas posteriores, sino que también estableció un marco de control y seguimiento que permite minimizar desviaciones, optimizar costos y maximizar la rentabilidad del proyecto. En resumen, esta fase fue determinante para transformar la planificación teórica en un plan ejecutable, asegurando que el proyecto cuente con los fundamentos necesarios para alcanzar sus objetivos técnicos, operativos y económicos de manera eficiente y sostenible.

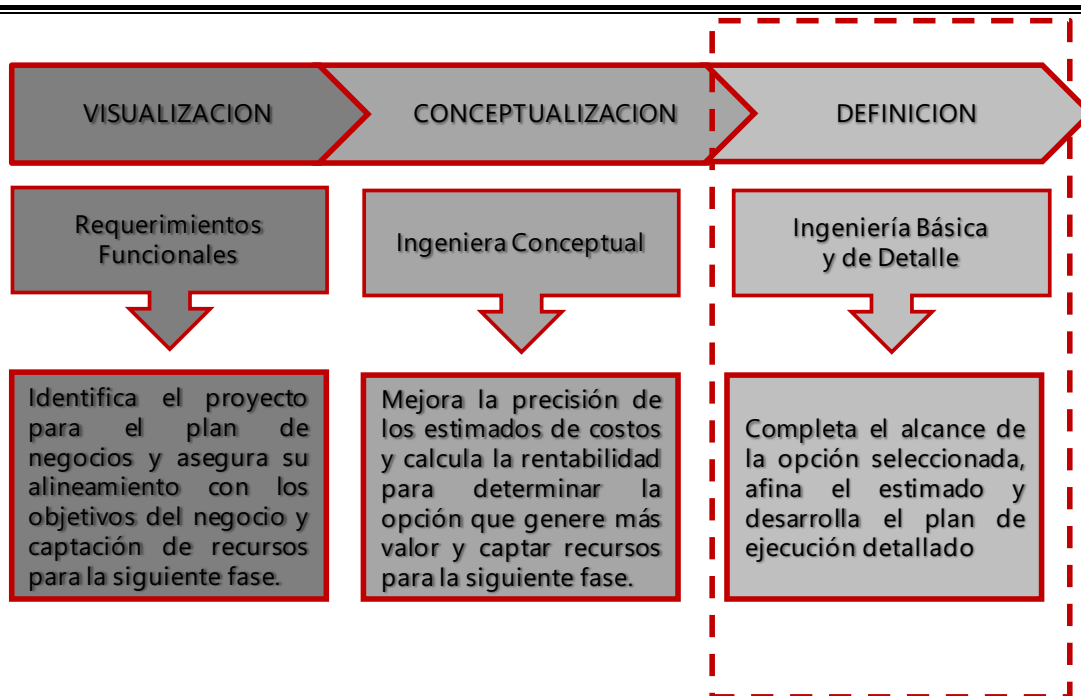


Figura 5.12 Fase de Definición. (Fuente: Elaboración Propia).

#### 5.2.4 Fase de Seguimiento

La fase de ejecución del proyecto de pozo representa la materialización de la generación de valor, donde se lleva a cabo un seguimiento estratégico al desarrollo operativo con el objetivo de tomar decisiones informadas que aseguren el cumplimiento de la estrategia programada. Durante esta etapa, se monitorea el avance del proyecto para prevenir o minimizar desviaciones respecto al plan inicial.

En caso de presentarse desviaciones no contempladas en los planes de contingencia, estas son evaluadas y resueltas por el equipo de diseño del proyecto, garantizando así la implementación de la mejor solución posible. Como parte de este proceso, se genera el Documento de Soporte de Decisión de Seguimiento (DSD-S), el cual incluye: el cumplimiento del programa de perforación definitivo y los planes de contingencia previstos, informes de validación técnica que justifican ajustes o cambios en el diseño, y la autorización correspondiente para dichas modificaciones. Este documento sirve como base para mantener el control y la transparencia en la

---

toma de decisiones, asegurando que el proyecto se desarrolle de acuerdo con los objetivos establecidos y se gestionen adecuadamente las posibles variaciones.

#### 5.2.4.1 Datos de Perforación

Es fundamental conocer y analizar los datos de perforación, ya que estos constituyen la base para evaluar el cumplimiento de los objetivos operativos y estratégicos establecidos. Estos datos permiten realizar un monitoreo preciso del avance del proyecto, identificar posibles desviaciones respecto al programa inicial y tomar decisiones informadas para corregirlas o ajustar el plan de acción. Además, el análisis de los datos de perforación facilita la validación técnica de los ajustes o cambios en el diseño, asegurando que las modificaciones implementadas estén respaldadas por información confiable y precisa. La disponibilidad de estos datos también es crucial para la elaboración del Documento de Soporte de Decisión de Seguimiento (DSD-S), ya que proporciona evidencia sólida que sustenta las decisiones tomadas durante esta fase.

|                                                     |                                                                               |
|-----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------|
| Equipo de perforación                               | UNAM - 9997                                                                   |
| Tipo de contrato de servicios                       | Discretos                                                                     |
| Compañía de servicios                               | Fluidos: PUMA<br>Barrenas: PUMA<br>A Direccional: PUMA<br>Cementaciones: PUMA |
| Inicio de etapa de perforación                      | 19/04/2022 07:00 horas                                                        |
| Término de etapa de perforación                     | 30/04/2022 00:00 horas                                                        |
| Inicio etapa de terminación                         | 12/05/2022                                                                    |
| Término de etapa de terminación                     | 21/06/ 2022                                                                   |
| Profundidad total real (m.d.b.n.m. / m.v.b.n.m.)    | 1971 mdbmr /1739.26mvmbr                                                      |
| Profundidad interior real (m.d.b.n.m. / m.v.b.n.m.) | 1970 mdbmr/1738.26mvmbr                                                       |
| Tipo de trayectoria                                 | "S"                                                                           |

Tabla 5.14 Datos de Perforación del Pozo. (Modificado PEP, 2022).



---

#### 5.2.4.2 Estado Mecánico Real

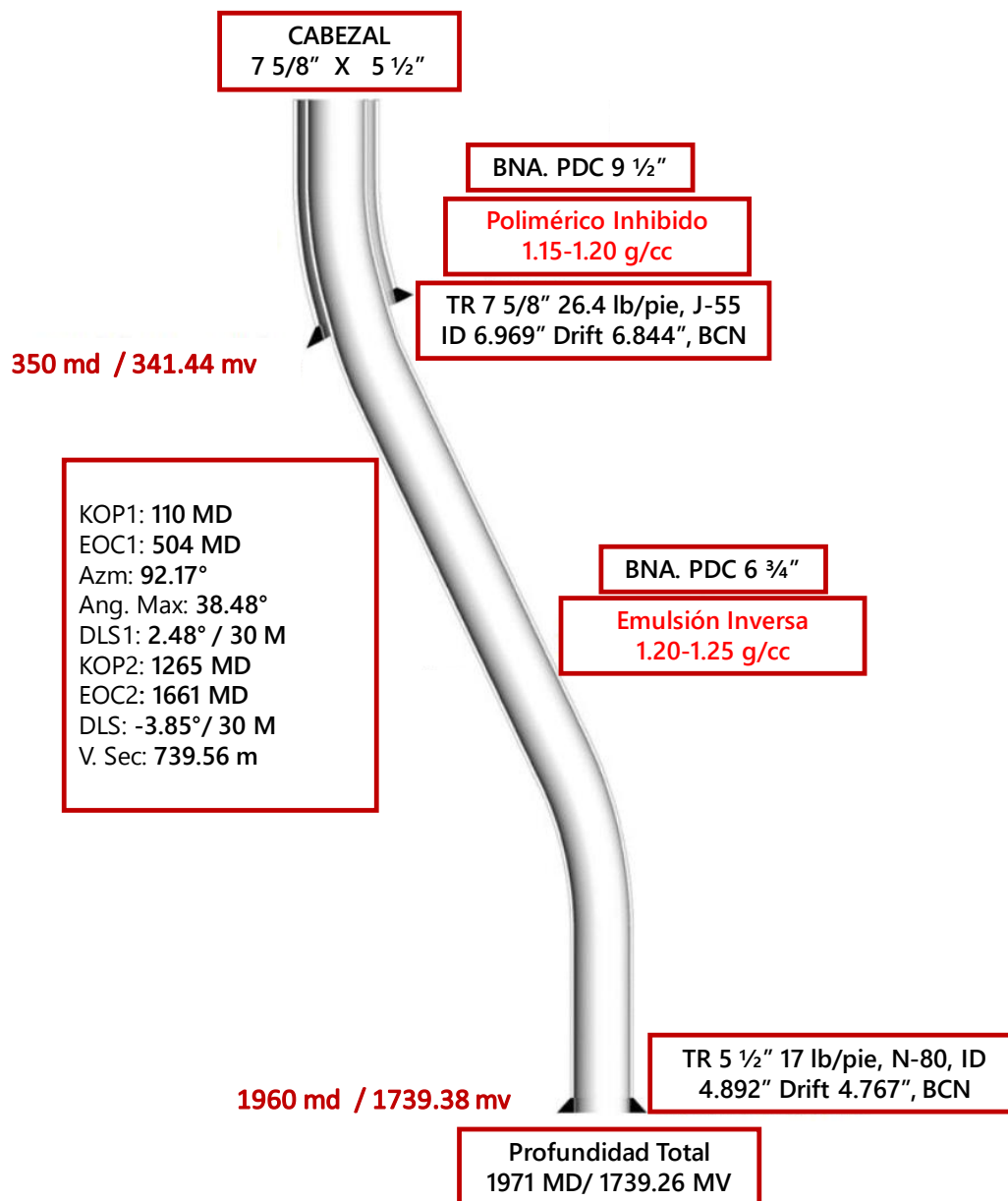


Figura 5.13 Estado Mecánico Real. (Modificado PEP, 2022).

Conocer el estado mecánico real de la perforación es de vital importancia, ya que proporciona información crítica sobre las condiciones operativas y estructurales del equipo y las herramientas utilizadas durante el proceso. Este conocimiento permite evaluar el desempeño y la integridad de los componentes mecánicos, identificando posibles fallas, desgastes o ineficiencias que podrían afectar el avance del proyecto.

El monitoreo del estado mecánico real contribuye a la toma de decisiones proactivas, facilitando la implementación de medidas correctivas o preventivas que minimicen riesgos operativos y eviten retrasos costosos. Además, esta información es esencial para validar la eficacia de los planes de contingencia y, en caso de ser necesario, realizar ajustes técnicos que aseguren la continuidad y seguridad de las operaciones.

#### 5.2.4.3 Resumen de la Perforación

El resumen de la perforación sintetiza de manera concisa y estructurada los aspectos más relevantes del proceso operativo. Ya que recopila datos clave, como el avance alcanzado, las condiciones geológicas encontradas, los tiempos de operación, los recursos utilizados y las incidencias registradas, proporcionando una visión global del estado actual del proyecto. Permitiendo identificar tendencias, evaluar el cumplimiento de los plazos establecidos y contrastar los resultados obtenidos con los objetivos programados, facilitando la detección temprana de desviaciones o problemas que puedan afectar el desarrollo del proyecto. Además, sirve como base para la toma de decisiones informadas, ya que ofrece una perspectiva clara y documentada del progreso operativo, lo que es esencial para ajustar estrategias, optimizar recursos y garantizar la eficiencia en la ejecución.

| Puntos relevantes | Prof. (m) | Inc. (°) | Azimuth (°) | Prof. Vertical (m) | +N/-S (m) | +E/-O (m) | Desp. (m) | Severidad (°/30m) |
|-------------------|-----------|----------|-------------|--------------------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| <b>Superficie</b> | 0         | 0        | 0           | 0                  | 0         | 0         | 0         | 0                 |
| <b>Zapata 1</b>   | 350       | 24.33    | 98.88       | 341.44             | -22.18    | 132.17    | 60.21     | 2.717             |
| <b>Zapata 2</b>   | 1970      | 2.76     | 283.90      | 1738.26            | -130.07   | 803.07    | 739.72    | 0.245             |
| <b>KOP1</b>       | 110       | 4.63     | 116.06      | 109.94             | -12.46    | 74.94     | 2.16      | 2.742             |
| <b>EOC1</b>       | 504       | 38.48    | 92.17       | 472.56             | -29.32    | 211.80    | 139.95    | 2.482             |
| <b>KOP2</b>       | 1265      | 36.86    | 97.16       | 1065.01            | -98.84    | 683.82    | 617.01    | 0.420             |
| <b>EOC2</b>       | 1661      | 1.73     | 138.04      | 1429.61            | -126.25   | 815.52    | 751.40    | 3.852             |
| <b>PT</b>         | 1971      | 2.76     | 283.75      | 1739.26            | -130.06   | 803.02    | 739.68    | 0.245             |

Tabla 5.15 Resumen de Puntos Relevantes de la Trayectoria del Pozo. (Modificado PEP, 2022).

---

#### 5.2.4.4 Reporte de Cementación por Etapa

Reporte de cementación por etapa documenta y evalúa de manera detallada el proceso de cementación, una actividad crítica para garantizar la integridad estructural del pozo y su funcionalidad a largo plazo.

Este reporte proporciona información específica sobre cada etapa de cementación, incluyendo datos como volúmenes de cemento utilizados, presiones de inyección, tiempos de fraguado y condiciones operativas, lo que permite verificar el cumplimiento de los parámetros técnicos y normativos establecidos. El análisis de este reporte es esencial para identificar posibles fallas o irregularidades en el proceso, tales como canalizaciones, mala adherencia o insuficiente aislamiento entre zonas, que podrían comprometer la seguridad y eficiencia del pozo.

Además, el Reporte de Cementación por Etapa sirve como base para la toma de decisiones informadas, ya que proporciona evidencia técnica que respalda la calidad del trabajo realizado y la necesidad de ajustes o intervenciones correctivas.

| Diámetro TR (pulg) | Profundidad (m) | Densidad de lechadas (g/cm <sup>3</sup> ) | Cima Cemento (m) | Base Cemento (m) | Observaciones |
|--------------------|-----------------|-------------------------------------------|------------------|------------------|---------------|
| <b>7 5/8</b>       | 350             | 1.90                                      | Superficie       | 350              | Ninguno       |
| <b>5 1/2</b>       | 1971            | 1.60-1.88                                 | 1775             | 1971             | Ninguno       |

Tabla 5.16 Resumen de Cementaciones. (Modificado PEP, 2022).

---

#### 5.2.4.5 Costos Reales Estimados de la Perforación por Etapas

Es una herramienta fundamental para la gestión financiera y operativa, ya que permite contrastar los costos presupuestados con los gastos reales incurridos en cada etapa del proceso. Este análisis proporciona una visión detallada y actualizada del desempeño económico del proyecto, identificando posibles desviaciones financieras y sus causas, ya sean estas relacionadas con imprevistos operativos, fluctuaciones en los precios de insumos o ineficiencias en la ejecución. La disponibilidad de estos datos facilita la toma de decisiones informadas, permitiendo ajustes presupuestarios, reasignación de recursos o implementación de medidas correctivas para mantener el control financiero del proyecto. Además, el reporte de costos reales estimados por etapas contribuye a la transparencia y rendición de cuentas, ya que documenta de manera precisa el uso de los recursos y justifica las inversiones realizadas.

| TR                                              | COSTO DIRECTO POR ETAPA<br>(M.N.) |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------|
| 0.- MOVIMIENTO EQUIPO PM-9111                   | \$ 1,062,375.45                   |
| 2.- SUPERFICIAL 7 5/8" DE SUPERFICIE A 350 MTRS | \$ 7,270,354.98                   |
| 4.- EXPLOTACIÓN DE 5 ½" A 1969 MTRS             | \$ 12,317,822.20                  |
| <b>TOTAL</b>                                    | <b>\$ 20,650,552.63</b>           |

Tabla 5.17 Costo Directo Real por Etapa. (Modificado PEP, 2022).

La fase de seguimiento dentro del desarrollo de la metodología VCDSE representa un componente necesario para garantizar el éxito integral de un proyecto de perforación. Esta etapa no solo permite monitorear el avance operativo y financiero, sino que también facilita la identificación temprana de desviaciones respecto a los planes iniciales, lo que posibilita la implementación oportuna de medidas correctivas o preventivas. A través de herramientas como el Documento de Soporte de Decisión de Seguimiento (DSD-S), el análisis de datos de perforación, el estado mecánico real, el resumen de la perforación, el Reporte de Cementación por Etapa y los Costos Reales Estimados por Etapas, se establece un sistema robusto de control y transparencia que asegura la alineación del proyecto con los objetivos estratégicos programados. Al integrar estos elementos, fortalece la toma de decisiones informadas, optimiza la gestión de recursos y minimiza riesgos operativos y financieros. En este sentido, la fase de seguimiento no solo valida la eficacia de las etapas previas de verificación y diseño, sino que también sienta las bases para una evaluación final precisa, contribuyendo así a la mejora continua de los procesos y al éxito sostenible de los proyectos de perforación.

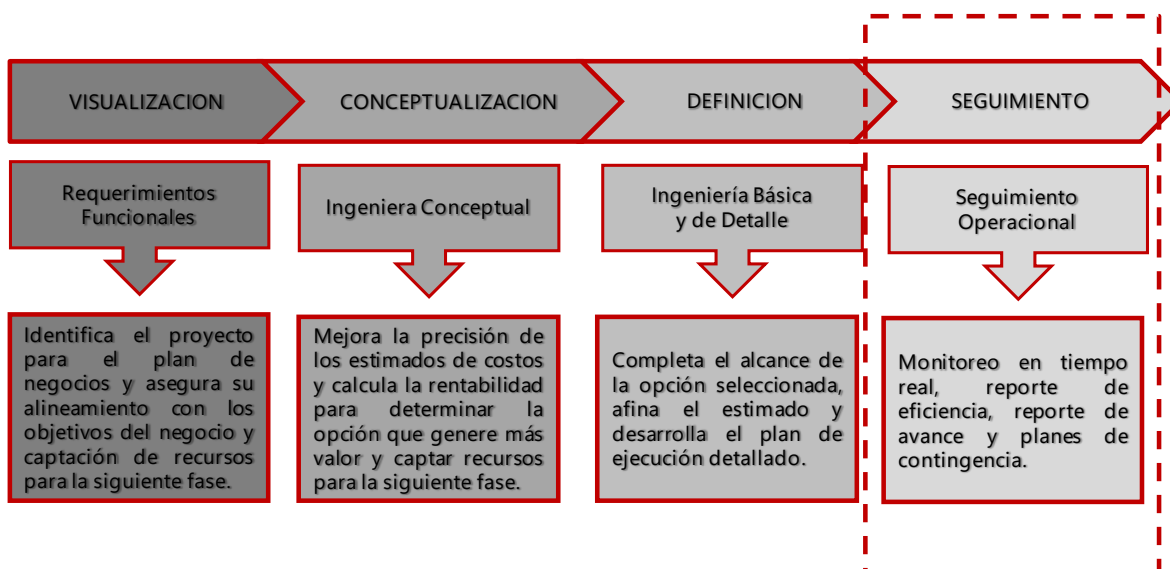


Figura 5.14 Fase de Seguimiento. (Fuente: Elaboración Propia).

---

### 5.2.5 Fase de Evaluación

La fase de evaluación constituye la etapa final en el ciclo de vida de un proyecto de perforación, ya que permite consolidar el conocimiento generado a lo largo de su ejecución y establecer un marco de referencia para futuras iniciativas. En esta fase, se documentan de manera sistemática las lecciones aprendidas, las mejores prácticas aplicadas, las innovaciones tecnológicas implementadas y las principales desviaciones entre lo programado y lo ejecutado, identificando sus causas raíz. Este proceso no solo facilita la administración del conocimiento dentro de la organización, sino que también proporciona una retroalimentación valiosa para optimizar la planificación y ejecución de nuevos proyectos de perforación. Al analizar de manera crítica los aciertos y desafíos enfrentados, se establece una base sólida para la mejora continua de los procesos, la reducción de riesgos y la maximización de la eficiencia operativa y financiera. De esta manera, la fase de evaluación se erige como un pilar esencial para garantizar la sostenibilidad y el éxito de los proyectos futuros, contribuyendo al fortalecimiento de las capacidades técnicas y estratégicas de la Institución.

#### 5.2.5.1 Objetivos Geológicos de la Perforación

Estos objetivos representan la base técnica y científica que justifica la ejecución del proyecto. Durante esta fase, se contrastan los resultados obtenidos en la perforación con los objetivos geológicos inicialmente planteados, evaluando si se logró acceder a las formaciones deseadas, obtener muestras representativas o confirmar la presencia de recursos.

| Objetivos                | Prof.<br>(mbnm) | Prof.<br>(mdbmr) | Coordenadas ITRF08 |           |
|--------------------------|-----------------|------------------|--------------------|-----------|
|                          |                 |                  | X                  | Y         |
| <b>C-40</b>              | -1388           | 1803             | 647,035            | 2,270,584 |
| <b>C-65</b>              | -1409           | 1824             | 647,035            | 2,270,584 |
| <b>C-70</b>              | -1423           | 1839             | 647,034            | 2,270,583 |
| <b>Profundidad total</b> | -1446           | 1861             | 647,034            | 2,270,583 |

Tabla 5.18 Objetivos de la Perforación. (Modificado PEP, 2022).

---

### 5.2.5.2 Estado Mecánico Programado contra Real

El realizar una comparación se podrá n contrastar las condiciones mecánicas previstas en la planificación con las condiciones reales observadas durante la ejecución del proyecto de perforación. Esta comparación no solo revela desviaciones en el desempeño de los equipos y herramientas utilizados, sino que también identifica factores críticos que pudieron afectar la eficiencia operativa, como fallas mecánicas, desgastes prematuros o limitaciones técnicas no anticipadas. Al evaluar estas diferencias, se obtiene información valiosa para mejorar los planes de mantenimiento, optimizar la selección de equipos y ajustar los protocolos operativos en futuros proyectos. Además, este análisis contribuye a la administración del conocimiento al documentar lecciones aprendidas y mejores prácticas relacionadas con la gestión del proyecto.

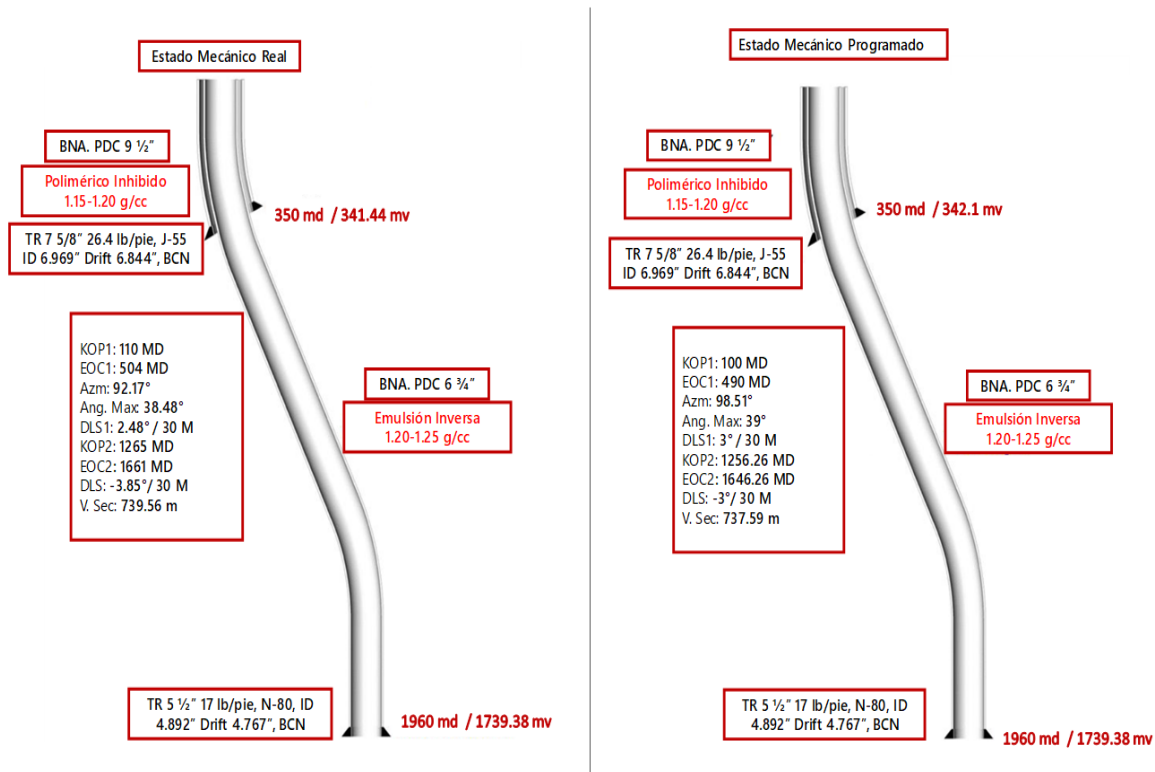


Figura 5.15 Estado Mecánico Programado contra Real de la Perforación.  
(Modificado PEP, 2022).

---

### 5.2.5.3 Producción Programada contra Real

Este contraste nos permite medir el desempeño del proyecto en términos de su capacidad para alcanzar los objetivos de producción establecidos durante la planificación. Esta comparación no solo revela desviaciones entre los volúmenes de producción esperados y los obtenidos como se observa en el caso del RGA, sino que también identifica las causas subyacentes de estas diferencias, tales como variaciones en las condiciones geológicas, limitaciones operativas o fallas en los equipos. Al evaluar estos resultados, se obtiene información valiosa para ajustar los modelos predictivos, optimizar los procesos de extracción y mejorar la eficiencia en la gestión de recursos. Además, este análisis contribuye a la administración del conocimiento al documentar lecciones aprendidas y mejores prácticas relacionadas con la gestión de la producción.

La evaluación de la Producción Programada contra Real no solo valida la efectividad de las estrategias implementadas, sino que también fortalece la capacidad de la organización para planificar y ejecutar proyectos futuros con mayor precisión y confiabilidad, asegurando el cumplimiento de los objetivos operativos y económicos dentro del marco de la metodología VCDSE.

| Producción Programada vs Real |                       |             |               |                                          |
|-------------------------------|-----------------------|-------------|---------------|------------------------------------------|
| Datos                         | Estrangulador<br>(in) | Qo<br>(bpd) | Qg<br>(mmpcd) | RGA<br>(m <sub>3</sub> /m <sub>3</sub> ) |
| <b>Programado</b>             | 14/64                 | 170         | 0.113         | 118                                      |
| <b>Real</b>                   | 12/64                 | 170         | 0.1328        | 139                                      |

Tabla 5.19 Producción Programada contra Real para el Pozo UNAM.  
(Modificado PEP, 2022).



5.2.5.4 Cumplimiento de los Perfiles de Geopresiones y de Asentamiento de TR Programados

El análisis al verificar si las condiciones geomecánicas y operativas previstas durante la planificación se alinearon con las condiciones reales encontradas durante la ejecución del proyecto. No solo evaluando la precisión de los modelos predictivos utilizados, sino que también identificando posibles desviaciones, como variaciones en las presiones de formación o dificultades en el asentamiento de las TR, que pudieron impactar la seguridad y eficiencia de las operaciones. Al contrastar los datos programados con los reales, se obtiene información valiosa para ajustar los diseños de perforación, optimizar los programas de geopresiones y mejorar los procedimientos de instalación de TR en futuros proyectos.

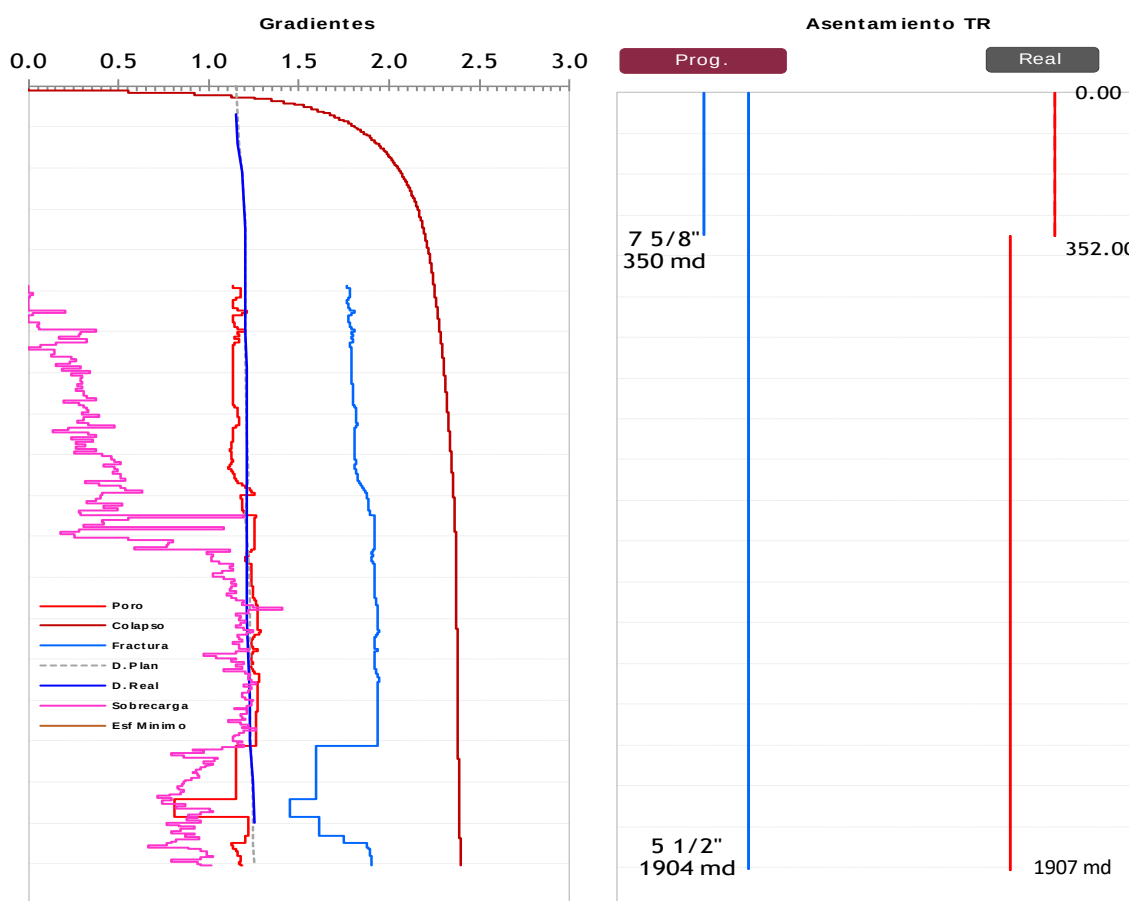


Figura 5.16 Modelo Geomecánico y Asentamiento de TR's Real contra Programado.  
(Modificado PEP, 2022).

---

#### 5.2.5.5 Cumplimiento de los Tiempos

El medir la eficiencia operativa del proyecto al comparar los plazos establecidos en la planificación con los tiempos reales de ejecución. Este análisis no solo identifica retrasos o adelantos en las actividades críticas, como la perforación, la cementación o la instalación de tuberías de revestimiento, sino que también determina las causas raíz de estas desviaciones, ya sean estas relacionadas con imprevistos técnicos, condiciones geológicas complejas o ineficiencias en la gestión de recursos. Al evaluar el cumplimiento de los tiempos, se obtiene información valiosa para optimizar la programación de actividades, mejorar la asignación de recursos y ajustar los planes de contingencia en futuros proyectos. Además, este proceso contribuye a la administración del conocimiento al documentar lecciones aprendidas y mejores prácticas relacionadas con la gestión del tiempo y la coordinación operativa.

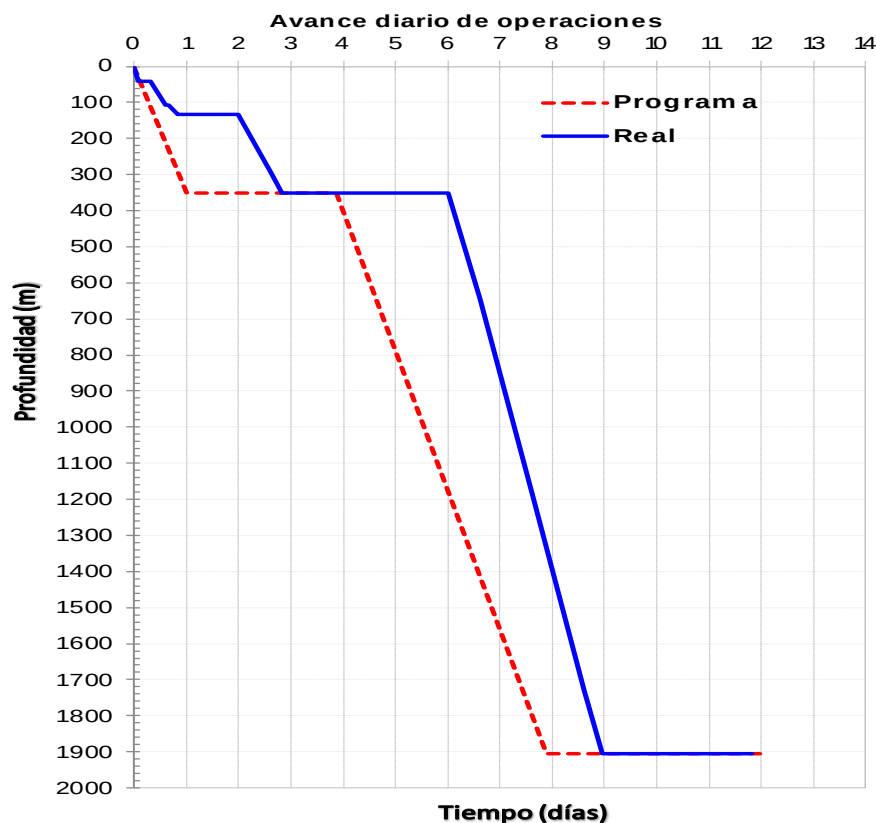


Figura 5.17 Avance Diario de Operaciones Programado contra Real. (Modificado PEP, 2022).

---

---

#### 5.2.5.6 Análisis Comparativo de los Costos Programados contra Reales

Al contrastar el presupuesto inicial con los gastos reales incurridos durante su ejecución. No solo se identifican desviaciones económicas, como sobrecostos o ahorros, sino que también determina las causas subyacentes de estas variaciones, ya sean estas relacionadas con imprevistos operativos, fluctuaciones en los precios de insumos o ineficiencias en la gestión de recursos. Al examinar estas diferencias, se obtiene información valiosa para ajustar los modelos de estimación de costos, optimizar la asignación de presupuestos y mejorar los procesos de control financiero en futuros proyectos.

Con la finalidad de fortalecer la capacidad de la organización para planificar y ejecutar proyectos con mayor precisión y control económico, asegurando la viabilidad financiera y el cumplimiento de los objetivos estratégicos.

| <b>COSTOS PROGRAMADOS PERFORACIÓN</b> | <b>COSTO DIRECTO POR ETAPA (\$ M.M)</b> |
|---------------------------------------|-----------------------------------------|
| EQUIPO PM-9111                        | 916,129.17                              |
| INTERMEDIA 7 5/8" A 350 M             | 4,816,642.00                            |
| EXPLOTACIÓN 5 ½" A 1904 M             | 14,322,301.30                           |
| <b>COSTO INTEGRAL PERFORACIÓN</b>     | <b>\$ 20,055,072.46</b>                 |

| <b>COSTOS REALES PERFORACIÓN</b>  | <b>COSTO DIRECTO POR ETAPA (\$ M.M.)</b> |
|-----------------------------------|------------------------------------------|
| EQUIPO PM-9111                    | 1,515,030.35                             |
| INTERMEDIA 7 5/8" A 351 M         | 7,946,921.04                             |
| EXPLOTACIÓN DE 5 ½" A 1907 M      | 12,938,397.28                            |
| <b>COSTO INTEGRAL PERFORACIÓN</b> | <b>\$ 22,400,348.67</b>                  |

Tabla 5.20 Costo Directo por Etapa Programado contra Real. (Modificado PEP, 2022).

La fase de evaluación representa el punto final y culminante de la metodología VCDSE, ya que integra y analiza de manera sistemática los resultados obtenidos en contraste con lo programado, permitiendo una visión integral del desempeño del proyecto. A través de análisis comparativos clave, como el cumplimiento de los objetivos geológicos, el estado mecánico programado contra real, la producción esperada contra la obtenida, los perfiles de geopresiones y asentamiento de TR, el cumplimiento de los tiempos y los costos programados contra los reales, se identifican desviaciones, se determinan sus causas raíz y se documentan lecciones aprendidas.

Estos insumos no solo validan la efectividad de las estrategias implementadas, sino que también proporcionan una base sólida para la mejora continua de procesos, la optimización de recursos y la toma de decisiones informadas en futuros proyectos. En este sentido, la fase de evaluación no solo cierra el ciclo de gestión del proyecto actual, sino que también fortalece las capacidades técnicas, operativas y financieras de la institución, consolidándose como un pilar fundamental para la sostenibilidad y el éxito de iniciativas futuras dentro del marco de la metodología VCDSE.

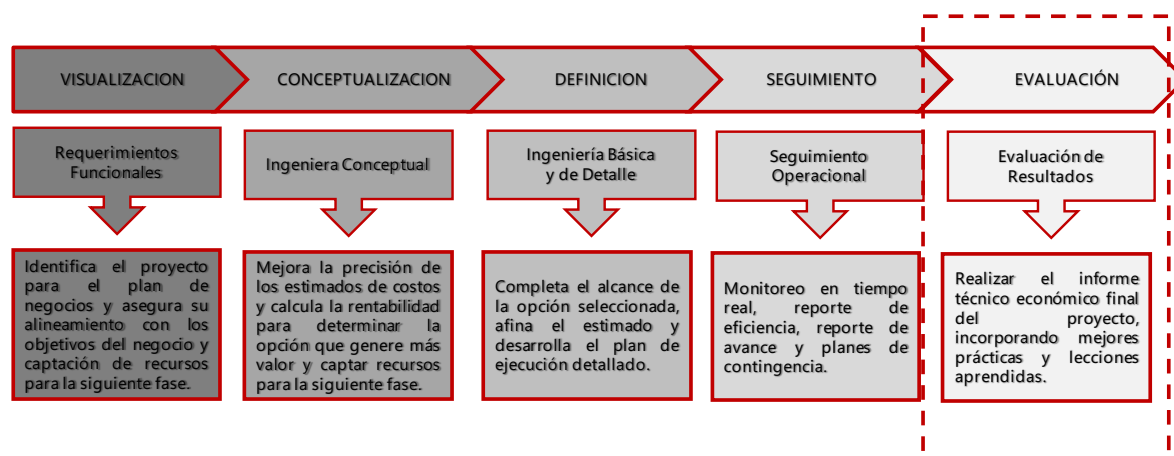


Figura 5.18 Fase de Evaluación. (Fuente: Elaboración Propia).

---

## **CAPÍTULO 6. IMPORTANCIA DE LA PLANIFICACIÓN ESTRATÉGICA DEL SECTOR HIDROCARBUROS COMO EJE CENTRAL DEL DESARROLLO ENERGÉTICO EN MÉXICO**

### **6.1 Planificación Estratégica Energética**

La planeación estratégica energética es un pilar fundamental para el desarrollo sostenible y la seguridad de una nación. Al tratarse de una herramienta esencial en la gestión de los recursos energéticos, es necesario que se diseñen e implementen planes que, de manera jerárquica y coordinada, establezcan la línea de acción que el país seguirá en el manejo de sus recursos. Estos planes no solo deben considerar las necesidades actuales, sino también anticipar los desafíos futuros, garantizando un equilibrio entre el crecimiento económico, la protección del medio ambiente y el bienestar social.

La importancia de la planeación estratégica energética radica en su capacidad para orientar las decisiones políticas, económicas y tecnológicas hacia un uso eficiente y responsable de los recursos. Esto incluye la diversificación de las fuentes de energía, la inversión en tecnologías limpias y renovables, y la reducción de la dependencia de combustibles fósiles. Además, una adecuada planificación permite fortalecer la seguridad energética del país, asegurando el abastecimiento de energía ante posibles crisis.

Para lograr estos objetivos, es crucial contar con documentos rectores que marquen las pautas de los proyectos y políticas energéticas. Estos documentos, que pueden incluir planes nacionales de energía, estrategias de transición energética y marcos

---

---

regulatorios, deben ser elaborados con una visión integral y participativa, involucrando a todos los actores relevantes, del sector público y la sociedad civil. Solo así se podrá garantizar una gestión eficaz y sostenible de los recursos energéticos, que contribuyan al progreso y la estabilidad del país a largo plazo.

## 6.2 Documentos Rectores

Los documentos rectores alineados a la política energética de una nación son herramientas fundamentales para guiar el desarrollo sostenible y eficiente del sector energético. Estos instrumentos no solo establecen los lineamientos estratégicos para el uso y gestión de los recursos, sino que también aseguran la coherencia entre las metas nacionales, a continuación, se desglosa de manera general el participar de cada uno.

### 6.2.1 Plan Nacional de Desarrollo

El Plan Nacional de Desarrollo (PND) es un documento rector que establece los objetivos, estrategias y prioridades de un país para impulsar su crecimiento económico, social y ambiental en un periodo determinado, generalmente alineado con el mandato del ejecutivo en turno. Este plan funciona como una hoja de ruta que orienta las políticas públicas, la asignación de recursos y las acciones de los diferentes sectores para alcanzar metas específicas de desarrollo.

Por parte de la política energética, el PND tiene un impacto significativo, ya que define las directrices para la gestión, explotación y transición de los recursos energéticos. Influyendo en la planificación estratégica al establecer prioridades como la diversificación de la matriz energética, la promoción de energías renovables, la eficiencia y la reducción de emisiones contaminantes. Además, el PND puede impulsar la inversión en infraestructura, fomentar la innovación tecnológica y

---

---

garantizar el acceso equitativo a la energía, contribuyendo así a la seguridad energética y al desarrollo sostenible del país.

Convirtiéndolo en un instrumento clave que alinea la política con los objetivos nacionales, permitiendo una planificación estratégica integral y coherente con las necesidades presentes y futuras de la nación.

### 6.2.2 Programa Sectorial de Energía

El Programa Sectorial de Energía de México es un instrumento de política pública que deriva del Plan Nacional de Desarrollo y se enfoca específicamente en el sector energético. Este plan establece los objetivos, estrategias y acciones que el país implementará para garantizar el suministro, la eficiencia y la sostenibilidad en el uso de los recursos energéticos. Su propósito es alinear las políticas del sector con las metas nacionales de desarrollo económico, social y ambiental.

El Programa Sectorial de Energía tiene un impacto directo en la planificación estratégica, ya que define las prioridades para la explotación de hidrocarburos, la transición hacia energías limpias, la modernización de la infraestructura energética y la promoción de la eficiencia energética. Además, establece lineamientos para fortalecer la seguridad energética, reducir la dependencia de combustibles fósiles y cumplir con los compromisos internacionales en materia de cambio climático.

Este programa es fundamental porque orienta las inversiones, las reformas regulatorias y las iniciativas tecnológicas en el sector, asegurando que las acciones estén alineadas con las necesidades del país y con una visión de largo plazo. Siendo una herramienta clave para lograr una gestión sostenible, competitiva y alineada con los objetivos de desarrollo nacional.

---

### 6.2.3 Plan de Negocios

El Plan de Negocios de Petróleos Mexicanos es un documento estratégico que define los objetivos, metas y acciones que la empresa pública implementará para garantizar su viabilidad financiera, operativa y ambiental en el corto, mediano y largo plazo. Este plan se alinea con las directrices del Plan Nacional de Desarrollo (PND) y el Plan Sectorial de Energía, y tiene como propósito fortalecer el desempeño de Pemex como pilar central de la industria energética en México.

El Plan de Negocios de Pemex tendrá un impacto significativo, ya que establecerá las estrategias para la exploración, producción, refinación y comercialización de hidrocarburos. Incluyendo medidas para modernizar la infraestructura, mejorar la eficiencia operativa, reducir emisiones contaminantes y diversificar sus actividades. Además, este plan busca fortalecer la seguridad energética del país al asegurar el abastecimiento de petróleo y gas, así como contribuir a los ingresos fiscales del gobierno.

Con este enfoque el plan de negocios de Pemex es fundamental para la planificación estratégica del sector energético, ya que no solo define el rumbo de la empresa, sino que también influye en la competitividad y sostenibilidad del sector. Al alinear sus objetivos con las políticas nacionales, se convierte en un actor clave para alcanzar las metas de desarrollo.

### 6.2.4 Plan de Desarrollo

El Plan de Desarrollo establecido es un instrumento técnico y regulatorio que define las estrategias y acciones para la exploración y extracción de hidrocarburos en México. Este plan se elabora con base en las políticas energéticas nacionales y tiene como objetivo maximizar el aprovechamiento de los recursos petroleros y gasíferos del país, garantizando su explotación eficiente, segura y sostenible.



---

---

El Plan de Desarrollo de la juega un papel crucial, ya que establece los lineamientos para la asignación de áreas de exploración, la ejecución de proyectos de extracción y la implementación de tecnologías que optimicen la producción. Además, este plan incorpora criterios ambientales y de seguridad para minimizar los impactos negativos de las actividades extractivas, alineándose con los compromisos internacionales de México en materia de cambio climático y desarrollo sostenible.

El impacto de este plan en la planificación estratégica del sector energético es significativo, ya que no solo contribuye a fortalecer la seguridad energética del país al incrementar la producción de hidrocarburos, sino que también establece metas claras y mecanismos de supervisión, dictando que las actividades de exploración y producción se realicen de manera eficiente y alineada con los objetivos nacionales de desarrollo económico y energético. Demostrando que es una herramienta esencial para garantizar el aprovechamiento responsable y estratégico de los recursos hidrocarburos de México.

#### 6.2.5 Plan de Explotación

El Plan de Explotación es un documento técnico y operativo que detalla las estrategias y acciones específicas para la extracción de hidrocarburos en un yacimiento o campo determinado. Este plan puede ser elaborado dependiendo del ámbito de competencia, y tiene como objetivo optimizar la producción de petróleo y gas, maximizando la recuperación de recursos y minimizando los costos operativos.

Alineado al contexto de la política energética, el Plan de Explotación es fundamental porque asegura que la extracción de hidrocarburos se realice de manera eficiente, segura y sostenible. Este plan incluye estudios técnicos, proyecciones de producción, inversiones en infraestructura y tecnologías, así como medidas para mitigar impactos ambientales. Además, se rige por los objetivos nacionales de seguridad energética,

contribuyendo al abastecimiento interno de hidrocarburos y a la generación de ingresos para el país.

El impacto del Plan de Explotación en la planificación estratégica del sector energético es clave, ya que permite una gestión ordenada y responsable de los recursos no renovables. Al establecer metas claras de producción y mecanismos de supervisión, este plan garantiza que las actividades de extracción se realicen de manera coordinada con las políticas energéticas nacionales, promoviendo la transparencia, la eficiencia y la sostenibilidad en el sector hidrocarburos. Generando una herramienta esencial para asegurar el aprovechamiento óptimo de los yacimientos de petróleo y gas, contribuyendo al desarrollo económico y energético de México.

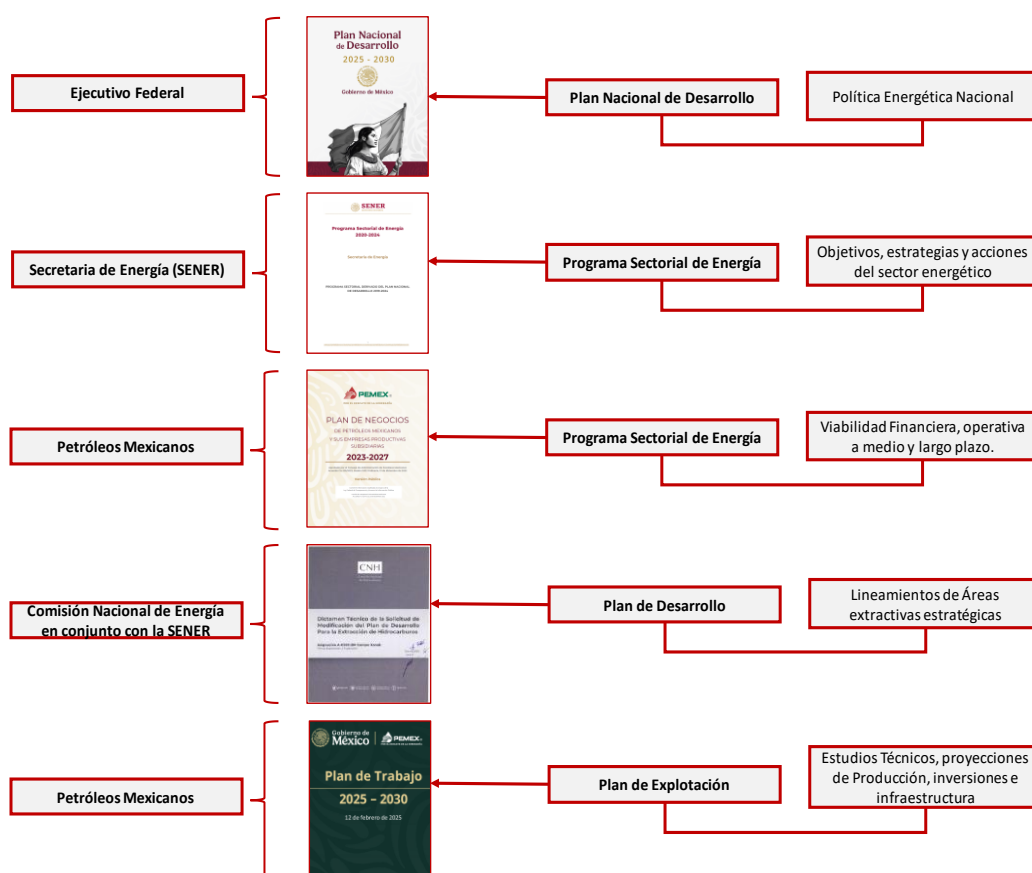


Figura 6.1 Documentos Rectores.

---

### 6.3 Oportunidad de Mejora en la Escala de Trabajo

Cada una de estas matrices de apoyo sirve como base para analizar los enfoques actuales en la gestión del sector energético, en particular el sector hidrocarburos, que es el eje central de esta tesis.

La importancia de estas herramientas radica en su capacidad para optimizar procesos que se traduzcan en productos con mayor valor agregado. Sin embargo, a lo largo de su historia, este sector ha enfrentado un déficit constante, lo que indica que los problemas deben abordarse desde un enfoque integral y particular, desglosando las problemáticas generales en áreas específicas.

Identificar las pautas críticas en estos procesos permitirá diseñar planes estratégicos alineados con los objetivos establecidos, sin perder de vista la necesidad de actualización continua en cada área de oportunidad.

No se trata solo de mantener lo que funciona, sino de buscar y modificar términos, acciones y metodologías que impulsen un crecimiento sostenible en la cadena de valor. Esto implica innovar en la gestión de recursos, mejorar la eficiencia operativa y adoptar tecnologías avanzadas que contribuyan a un manejo más eficaz y sostenible del sector hidrocarburos.

---

## Conclusión

Este trabajo logró cumplir con el objetivo principal de demostrar el proceso integral de planeación y validación de trayectorias direccionales, así como los objetivos secundarios de integración multidisciplinaria, implementación y documentación estandarizada bajo la metodología VCD-SE. La hipótesis central se validó al evidenciarse que el enfoque estructurado basado en modelos del área de geociencias, la simulación de trayectorias y análisis de riesgos. Optimiza la perforación en áreas complejas y mitiga riesgos técnicos como colisiones o desviaciones no planificadas.

No obstante, el estudio identificó que la rigidez de los estándares actuales limita la adaptabilidad a variables dinámicas, como cambios en presiones de formación, alteraciones geomecánicas o actualizaciones tecnológicas. Por ejemplo, el uso de protocolos anticolidión basados en factores de separación fijos, mostró ser insuficiente en campos ultra maduros con alta densidad de pozos, donde se requieren algoritmos predictivos ajustables. Esto subraya la necesidad de actualizar documentos rectores con la finalidad de incorporar:

1. **Integración de Nuevas Tecnologías:** Modelos de aprendizaje automático para predecir comportamientos del subsuelo y optimizar trayectorias.
2. **Enfoque sostenible:** Criterios ambientales actualizados, que mediante nuevas prácticas demuestre que el crecimiento tangible también esta alineado con las practicas sustentables sin perder valor.
3. **Atención a las Necesidades:** Trazar una ruta para evolucionar hacia estándares dinámico y adaptativos, esenciales para enfrentar los retos, sin perder la rentabilidad, seguridad operativa y responsabilidad ambiental.

Se ha demostrado que los objetivos planteados y la hipótesis fueron cumplidos, al desarrollarse una metodología integral para la planificación de trayectorias direccionales. No obstante, se identificó la necesidad de una actualización constante de las variables que influyen en estos procesos. La estandarización excesiva limita la flexibilidad para incorporar modificaciones necesarias, lo que puede derivar en resultados adversos. Por ello, es indispensable contar con una cadena de

---

---

documentos rectores coherente con la realidad actual de la industria, y que se actualice conforme a sus necesidades emergentes.

Por ello, resulta crucial adoptar las mejores prácticas y adaptarlas al contexto nacional, con el firme propósito de fortalecer el sector energético mexicano. Solo mediante una estrategia basada en la planeación, la innovación y el compromiso, será posible garantizar un desarrollo sostenible, competitivo y con valor agregado, que impulse la economía nacional y posicione a México como un referente en la gestión eficiente de sus recursos energéticos. Este trabajo sienta las bases para demostrar que un enfoque integral puede traducirse en un crecimiento tangible y duradero, en beneficio de las generaciones presentes y futuras.

---

## Referencias

1. UPMP-Pemex. (2001). Cien años de la perforación en México. Capítulo IX.
2. Campbell, J. M. (2018). Directional Drilling and Trajectory Design Core. PetroAcademy.
3. Baker Hughes. (1998). Manual de ingeniería.
4. Richard S. Carden. (2007). Horizontal and Directional Drilling, PetroSkills LLC, Tulsa Oklahoma.
5. Instituto Mexicano del Petróleo & Petróleos Mexicanos. (2003). Conocimientos básicos. Gerencia de Reparación y Terminación de Pozos.
6. Instituto Mexicano del Petróleo & Pemex Exploración y Producción. (2013). Especialidad en Ingeniería Petrolera: Tema 6. Perforación, Terminación y Reparación de Pozos.
7. Mitchell, J. (2008). Perforando sin problemas: Para tener un profundo entendimiento de los mecanismos de pegadura de tuberías. Pemex Exploración y Producción.}
8. Pemex Perforación y Mantenimiento de Pozos. (2003). Guía práctica para el diseño de la perforación direccional y control de la desviación.
9. Instituto Politécnico Nacional. (2007). Planimetría aplicada: Rumbos y azimuts.
10. Instituto Mexicano del Petróleo, & Pemex Exploración y Producción. (2016). Especialidad en Ingeniería Petrolera, Tema 3: Cuencas Petroleras de México.
11. Ponce Pacheco, A. (2019). Propuesta de plan de desarrollo de un yacimiento a partir del modelo estático. Tesis de licenciatura, Instituto Politécnico Nacional, Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura, Unidad Ticomán. Ciudad de México.
12. Comisión Nacional de Hidrocarburos. (2016). Atlas geológico: Cuenca Tampico-Misantla. Gobierno de México.

- 
13. Secretaría de Energía. (2014). Glosario de términos petroleros. Subsecretaría de Hidrocarburos, Dirección General de Exploración y Extracción de Hidrocarburos.
  14. Petróleos Mexicanos. (2023). Plan de negocios Petróleos Mexicanos 2023-2027.
  15. Gobierno de México. (2025). Plan Nacional de Desarrollo 2025-2030.