



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

# **Digitalización del análisis de pozos de correlación**

**INFORME DE ACTIVIDADES PROFESIONALES**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Petrolero**

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

Carlos Estrada Arzate

**ASESOR DE INFORME**

Dr. Fernando Samaniego Verduzco



**Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2024**

## Resumen

Este trabajo presenta los resultados de las actividades realizadas y los conocimientos adquiridos a lo largo de los nueve meses de prácticas profesionales en una compañía de servicios. La digitalización y automatización del proceso de análisis de pozos de correlación, vital para el diseño eficiente de nuevos pozos, ha recibido creciente atención en la industria petrolera.

El enfoque principal de este trabajo es la digitalización y automatización del proceso de recopilación y extracción de la información relevante de los reportes diarios de perforación, sin abordar el análisis futuro de los datos. Esta automatización, impulsada por tecnologías como la inteligencia artificial y el aprendizaje automático, busca mejorar la eficiencia en la recolección, organización y selección de los datos clave para su uso posterior.

Se destaca la importancia de la estandarización en la recopilación de datos y la clasificación de actividades durante la perforación. Los estudios previos se centran en técnicas de minería de texto y procesamiento del lenguaje natural para abordar estos desafíos, aunque la falta de uniformidad en la presentación de datos sigue siendo un obstáculo.

La implementación práctica se ha logrado mediante el desarrollo de aplicaciones, como las creadas por la compañía de servicio para la planificación de proyectos de perforación. Lo anterior para facilitar la recopilación y el análisis de datos de perforación, utilizando herramientas personalizadas desarrolladas en Excel para mejorar la eficiencia del proceso.

Un caso técnico ilustra cómo estas herramientas se aplican en la práctica, destacando la importancia del control de calidad y el conocimiento técnico para garantizar la precisión de los datos procesados. Los resultados muestran avances en el desarrollo de la aplicación y su uso en distintos países del mundo. Durante mi estancia se han logrado publicar 438 pozos, los cuales han sido utilizados para proyectos nuevos o simplemente para enriquecer la base de datos si en algún momento son requeridos.

La aplicación tiene potencial para mejorar en diversos aspectos relacionados con su aplicabilidad y uso. Asimismo, existe una significativa área de oportunidad en el entrenamiento de nuevos ingenieros, tanto en el uso de la aplicación como en la elaboración de reportes, que pueden ayudar a enriquecer la aplicación y maximizar su eficacia.

# Tabla de contenido

<b>Resumen</b> .....	I
<b>Lista de Tablas</b> .....	III
<b>Lista de Figuras</b> .....	III
<b>1. Introducción</b> .....	1
<b>2. Marco Teórico</b> .....	2
2.1 Etapas de un proyecto de perforación .....	2
2.2 Introducción al análisis de pozos de correlación .....	3
2.3 Obtención de los datos .....	5
2.4 Selección de pozos de correlación .....	8
2.5 Estimación de tiempos operativos.....	11
<b>3. Digitalización del análisis de pozos de correlación</b> .....	15
3.1 Antecedentes .....	15
3.2 Introducción a la aplicación.....	16
3.3 Implementación de la Aplicación.....	22
3.4 Caso Técnico .....	28
<b>4. Resultados</b> .....	31
<b>5. Conclusiones</b> .....	33
<b>Bibliografía</b> .....	34

## Lista de Tablas

Tabla 1. Clasificación De Actividades.....	20
Tabla 2. Clasificación De NPTs.....	21
Tabla 3. Pozos Publicados En El Periodo .....	31

## Lista de Figuras

Ilustración 1. Gráfica Tiempo vs Profundidad pozo actual y planeado .....	11
Ilustración 2. Reporte Diario De Perforación.....	18
Ilustración 3.- Ejemplo Interfaz App 1 .....	19
Ilustración 4. Ejemplo Reporte Diario De Perforación Antes Del Uso De La Macros .....	23
Ilustración 5. Programa VBA Para Procesar Actividades .....	24
Ilustración 6. Reporte Diario De Perforación Después Del Uso De La Macros.....	25
Ilustración 7. Flujo De Trabajo .....	27
Ilustración 8. Estado Mecánico Pozo Tipo.....	29
Ilustración 9. Gráfica Para KPIs De ROP Sección 17 ½” .....	30

# 1. Introducción

Las prácticas profesionales en la compañía de servicio consistieron en la implementación de una aplicación desarrollada por la empresa para crear una base de datos de pozos de correlación de distintos campos de la sección del Hemisferio Oeste, la cual clasifica las actividades obtenidas de un Reporte Diario de Perforación, digitalizando los pozos para automatizar el análisis de futuros planes de perforación.

El presente trabajo es el resultado de las actividades realizadas durante 9 meses de prácticas profesionales en una compañía de servicios. Desempeñé labores en el área de Planeación de Proyectos, la cual, se especializa en acelerar la construcción de pozos y mejorar su rendimiento. Ofrecen servicios completos de ingeniería, diseño, planificación y gestión de proyectos para alinearlos con los objetivos de los clientes. Su enfoque se centra en integrar servicios y tecnologías para optimizar la eficiencia y reducir riesgos en la construcción de pozos.

La publicación de pozos de correlación en una base de datos con la implementación de una aplicación desarrollada por la empresa fue la principal tarea. Esto consistió en procesar las actividades de los Reportes Diarios de Perforación, para posteriormente cargarlas en una aplicación que utiliza técnicas basadas en aprendizaje automático para clasificarlas en distintos niveles de actividades, como perforando, asentamiento de tuberías de revestimiento, actividades de cementación y aseguramiento del pozo. De igual manera, las actividades se clasificaban en Actividades Productivas y No Productivas.

Un control de calidad de la predicción de las actividades, colaborando con la integridad de la base de datos y con el aprendizaje continuo de la aplicación fueron responsabilidades importantes. El resultado de esta clasificación ayuda a los ingenieros de pozo a obtener métricas de perforación como el tiempo promedio de distintas actividades y la secuencia de operaciones. Esto permite obtener un estimado de tiempo para la construcción del pozo, así como un plan de mitigación de los riesgos que se pueden presentar durante las operaciones.

## 2. Marco Teórico

### 2.1 Etapas de un proyecto de perforación

Un proceso es un conjunto de acciones o actividades interrelacionadas realizadas para crear un producto, servicio o resultado preestablecido. Cada proceso se caracteriza por su información de entrada, las herramientas y técnicas que pueden ser aplicadas, y los resultados obtenidos. Los procesos de la gestión de proyectos se agrupan en cinco categorías: <sup>1</sup>

**Fase de iniciación:** En esta fase se define un nuevo proyecto o una nueva etapa de un proyecto existente, obteniendo la autorización necesaria. Se establece el alcance inicial y se asignan los recursos financieros. Además, se identifican las partes interesadas, alineando sus expectativas con los objetivos del proyecto. Esta fase proporciona una visión clara del proyecto y los requisitos necesarios para llevarlo a cabo.<sup>2</sup>

**Fase de planificación:** Durante esta fase se detalla el alcance del proyecto, se definen y refinan sus objetivos, y se elabora un plan de acción. Se crea el plan de gestión del proyecto y otros documentos clave que abordan aspectos como alcance, tiempo, costo y riesgos. La planificación es iterativa y continua, ajustándose conforme se obtiene más información del proyecto. El objetivo principal es delinear una estrategia y un curso de acción claros para completar exitosamente el proyecto.<sup>3</sup>

**Fase de ejecución:** En esta fase se completa el trabajo definido en el plan del proyecto para satisfacer sus especificaciones. Involucra la coordinación de personas y recursos, la gestión de las expectativas de las partes interesadas, y la integración de actividades conforme al plan de gestión. Los resultados de la ejecución pueden llevar a actualizaciones en la planificación inicial, afectando duraciones, recursos y el plan de gestión.<sup>4</sup>

**Fase de monitoreo y control:** Esta fase se enfoca en el seguimiento y revisión del progreso y desempeño del proyecto, identificando áreas que requieran cambios y ejecutando los cambios necesarios. Se mide y analiza el desempeño para identificar desviaciones del plan

---

<sup>1</sup> PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Project Management Processes. En: A Guide to the Project Management Body of Knowledge. 5 ed. Newtown Square, Pennsylvania: PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE, INC. 2013. p. 46.

<sup>2</sup> *Idem* p.54

<sup>3</sup> *Idem* p.54

<sup>4</sup> *Idem* p.55

original. Incluye el control de cambios, la comparación de actividades en curso con el plan, y la gestión de factores que podrían impedir cambios controlados. Este monitoreo continuo proporciona una visión de la salud del proyecto y permite implementar acciones correctivas o preventivas.<sup>5</sup>

**Fase de cierre:** En esta fase se concluyen todas las actividades de las diferentes fases del proyecto, formalizando la finalización del proyecto, etapa u obligaciones contractuales. Se verifica que todos los procesos de las otras fases hayan sido completados, estableciendo así que el proyecto o etapa ha sido terminada.<sup>6</sup>

Las actividades realizadas en las prácticas y desarrolladas a lo largo de este trabajo, pertenecen a la etapa de diseño y planeación.

## 2.2 Introducción al análisis de pozos de correlación

De acuerdo con (Adams, 1984)<sup>7</sup>, el propósito de la planificación de pozos es desarrollar, a partir de múltiples variables, un programa para la perforación de un pozo que presente las siguientes características: seguridad, costos mínimos y eficiencia. No siempre es factible lograr esto debido a limitaciones vinculadas a la geología, el equipo de perforación, problemas de estabilidad del agujero o el presupuesto.

El aspecto más crucial en la preparación del plan de perforación y la ingeniería posterior es identificar las características anticipadas y los posibles problemas que se pueden presentar en el pozo. Por lo que el ingeniero de perforación debe obtener datos que le sirvan como referencia para desarrollar un proyecto eficiente.

Una de las maneras más prácticas de analizar y gestionar la planeación de los pozos es por medio de la información obtenida de los pozos de correlación, los cuales se refieren a pozos existentes cerca del pozo propuesto que proporcionan información para planificar el mismo. Es importante mencionar que, aunque normalmente se utilizan los pozos cercanos para recabar la información, los pozos con perfiles, formaciones, tipo de tecnología utilizada o riesgos similares al nuevo pozo, pueden ser enriquecedores para la planeación.

---

<sup>5</sup> *Idem p.56*

<sup>6</sup> *Idem p.56*

<sup>7</sup> Adams, N. (1984). *Introduction to Well Planning*

En general el proceso de perforación incluye actividades normales con las actividades siguientes:

- **Actividades de perforación programadas:** Todas aquellas actividades que contribuyen al incremento de metros perforados. Ya sean tiempos de perforación, tiempos de viaje de la sarta o cambios de herramientas de fondo.
- **Actividades de evaluación:** Todas las actividades relacionadas con la toma de información.
- **Actividades para revestir el agujero:** Todas las actividades relacionadas con la introducción de la tubería de revestimiento, instalación de equipos para cementar, tiempo de cementación y espera de fraguado.
- **Actividades de instalación de preventores y conexiones superficiales.**

Al tomar como referencia un pozo vecino, los tiempos normales de estas actividades se toman como referencia para programar un pozo futuro. Sin embargo, en cada una de esas actividades, los tiempos se pueden incrementar por presentarse problemas en la realización de alguna de ellas, y esos tiempos se tienen que diferenciar.

Se pueden identificar actividades de perforación con problemas, actividades de evaluación con problemas, actividades de revestimiento del agujero, actividades de instalación de preventores y conexiones superficiales con problemas.

Estas últimas actividades con problemas deben analizarse para evitar en lo posible no se presenten en el pozo futuro a perforar y se deben eliminar o disminuir estos tiempos, aplicando lecciones aprendidas y mejores prácticas.

El Análisis de Pozos de correlación es una herramienta de gestión de riesgos que desempeña un papel clave en el proceso de diseño o planificación de pozos. Ayuda al ingeniero de pozos a identificar los posibles desafíos y oportunidades que se enfrentarán durante el proceso de construcción del pozo, basándose en la experiencia, y proporciona información que se tendrá en cuenta durante el diseño y la planificación del pozo. Esto permite conocer las lecciones aprendidas y las buenas prácticas en las operaciones similares a las que planean, mejorando la curva de aprendizaje a medida que se perforan más pozos.

## 2.3 Obtención de los datos

La recopilación de información es un paso muy importante en la planeación de pozos, en un caso ideal toda la información de un pozo perforado estará a disposición del ingeniero de pozos, pero muchas veces la información es confidencial y el ingeniero deberá buscar extraer la mayor cantidad de datos con la información que tiene. Las fuentes de información más comunes para la planeación de un pozo son las siguientes:

- Reportes Diarios de Perforación

El contratista de perforación mantiene un registro diario de las operaciones de perforación registradas, basado en el informe estándar de la IADC (International Association of Drilling Contractors). El reporte contiene informes horarios de operaciones de perforación, características de la sarta de perforación, propiedades del lodo, rendimiento de la barrena y desglose del tiempo para todas las operaciones. Estos informes no suelen estar disponibles para otros contratistas u operadores y, como resultado, no se pueden obtener para analizar pozos cercanos sin la cooperación de los operadores.<sup>8</sup>

- Reportes de Barrenas

Proporcionan información detallada sobre operaciones pasadas de perforación. Contiene datos clave sobre operador, contratista, ubicación del pozo y detalles de la sarta de perforación. Incluye fechas importantes y datos específicos sobre las barrenas utilizadas, como tipo de barrenas, velocidad de perforación ROP y condiciones operativas. Los comentarios en el registro tanto de barrenas como de la formación son esenciales para comprender el rendimiento pasado. Los datos de clasificación de barrenas ayudan a planificar futuras perforaciones, identificando barrenas exitosas y previniendo problemas potenciales.<sup>9</sup>

---

<sup>8</sup> *Idem p. 469*

<sup>9</sup> *Idem p.463*

- Reportes de fluidos de perforación

Describen las características físicas y químicas del sistema del fluido de perforación. Preparados diariamente por ingenieros químicos, estos informes incluyen datos actuales de perforación, propiedades del fluido de perforación y análisis químicos. La información proporciona una perspectiva sobre posibles problemas en el agujero o cambios en el entorno de perforación, como la contaminación del fluido de perforación por sal. Se prepara un resumen diario que destaca las propiedades y puede incluir comentarios sobre problemas en el agujero.<sup>10</sup>

También se pueden utilizar bases de usuario, historiales de producción, estudios sísmicos, así como bases de datos de compañías de servicios. Este paso de recopilación de información es muy importante ya que la calidad del análisis de pozos de correlación es directamente proporcional a la calidad de los datos con los que se cuentan.

El contar con la mayor cantidad posible de información es la mejor manera de planear un nuevo pozo, la información permite a los ingenieros calcular y analizar los tiempos operativos:

- **Tiempos de perforación:** Todas aquellas actividades que contribuyen con el avance en metros perforados.
- **Tiempos planos:** Todas aquellas actividades que no contribuyen en el avance de metros perforados, pero son parte de la secuencia de operaciones.
- **Tiempos productivos:** La suma de los tiempos de perforación y tiempos planos.
- **Tiempos no productivos:** Todas las interrupciones en la secuencia de operaciones que resultan en retrasos de tiempo.

Para obtener estos tiempos se deben analizar todas las actividades que se llevan a cabo en la construcción de los pozos de correlación y hacer una clasificación como la siguiente:

---

<sup>10</sup> *Idem p.468*

## **Desempeño de las actividades programadas**

### 1. Perforación:

- Avances en la formación (m/h)
- Rendimiento del BHA (Bottom Hole Assembly):
  - Sistema Rotatorio Convencional
  - Motores de fondo
  - Sistema Rotatorio Dirigible
- Tipo de barrenas, rimadoras, MWD, LWD, etc.
- Tiempos de viaje de la sarta de perforación
- Tipos de fluidos de perforación

### 2. Evaluación:

- Tiempos de instalación del equipo de registro
- Tiempos de introducción y recuperación de la sonda de registros

### 3. Cambios de etapa:

- Tiempos de corrida de tubería de revestimiento
- Desempeño de equipo para correr de tubería de revestimiento
- Operaciones de cementación: Tipos de cemento, Densidad y aditivos de cemento

## **Actividades con problemas durante la perforación**

### 1. Problemas durante la perforación:

- Tubería atrapada
- Brotes
- Pérdidas de circulación
- Reducción del diámetro del agujero
- Embolamiento de la barrena

## 2. Evaluación:

- Sonda atrapada
- Reducción del diámetro del agujero evitando el avance de la sonda

## 3. Cambio de etapa:

- Colapso de la formación causando atrapamiento de la tubería
- Cementación pobre
- Reducción del diámetro del agujero restringiendo la introducción de la tubería

## Fallas

- Equipo de perforación
- Equipos de Registros
- Equipos de Terminación

## Esperas

- Por mal tiempo
- Espera de materiales o herramientas
- Manifestaciones

## 2.4 Selección de pozos de correlación

Antes de iniciar el análisis de los pozos de correlación es necesario definir el pozo tipo y el objetivo del pozo prospectivo, para poder elegir los atributos que serán usados para seleccionar los pozos de correlación. (Salveindran, Wesley, & Pirela, 2020)<sup>11</sup>, proponen distintos métodos para seleccionar los pozos de correlación a analizar:

---

<sup>11</sup> Salveindran, A., Wesley, A. C., & Pirela, H. (2020). Smart Custom Well Design Based On Automated Offset Well Analysis.

- Tipo de trayectoria del pozo y profundidad:

Uno de los criterios fundamentales de similitud utilizados para seleccionar los pozos de correlación es la trayectoria del pozo y la profundidad perforada. Se considera crucial seleccionar pozos de correlación con profundidades y trayectorias similares a las trayectorias planeadas y a los objetivos subsuperficiales específicos, ya que estos están relacionados con restricciones críticas en el diseño del pozo, como el tipo de BHA (Ensamble de fondo), el torque y el arrastre, la severidad de la desviación, los puntos de inicio y el diseño del casing.

La clasificación del tipo de trayectorias consta de dos componentes: el perfil y la profundidad. Los perfiles de los pozos incluyen pozos verticales, pozos direccionales y pozos horizontales. El perfil del pozo en un espacio tridimensional se puede describir utilizando la inclinación, azimut y la desviación a lo largo de la trayectoria del pozo. Estas propiedades se utilizan para correlacionar los surveys de los pozos prospectivos con los surveys de los pozos de correlación, con el fin de distinguir los pozos con trayectorias más parecidas.<sup>12</sup>

- Litología, presión de poro y presiones de fractura:

Otro factor crítico en la determinación de la similitud entre pozos es el tipo de estratos geológicos y formaciones por los cuales está planificado el pozo. Características geológicas de la formación como porosidad, permeabilidad, geomecánica y mineralogía influyen en el diseño del pozo en términos de selección de revestimiento, densidades del lodo y plan de perforación. Otras características como erosión o disolución y fracturas representan riesgos potenciales durante la perforación. Es común que los geólogos cuenten con una columna de litología esperada o pronosticada para pozos prospectivos, la cual describe las formaciones que encontrará el pozo e incluye un perfil de presión esperado. Esta columna de formación pronosticada se genera mediante la comprensión del entorno deposicional y datos de otras fuentes como pozos cercanos y sísmica.<sup>13</sup>

---

<sup>12</sup> *Idem*

<sup>13</sup> *Idem*

- **Métricas de Perforación:**

Se utilizan varios indicadores de perforación para clasificar los pozos cercanos; estos indicadores capturan los aspectos de avances, costos y seguridad del diseño de perforación, sin un buen complemento a la información para encontrar los diseños de perforación más eficientes y seguros en la base de datos de pozos cercanos. Estos indicadores de perforación también pueden ser personalizados por el usuario. A continuación, se mencionan algunos indicadores comúnmente utilizados:<sup>14</sup>

### **Tiempos de perforación (m/h)**

El tiempo de perforación para los pozos cercanos se normaliza al tiempo necesario para perforar cierta profundidad. El usuario tiene la opción de elegir pozos de acuerdo con la similitud geológica y de trayectoria. Los pozos cercanos se clasifican según el tiempo real de perforación.

### **Tiempo No Productivo**

Los eventos de tiempo no productivo se clasificarán en categorías de tipos de riesgos creadas por varios usuarios expertos. Se construye un registro de riesgos basado en la combinación de datos de los registros de eventos de los informes diarios de perforación y se correlaciona con las entradas de la base de datos de tiempo, eventos y costos. El registro de riesgos consta de eventos y actividades precursoras. Luego, los riesgos se correlacionan con la sección del pozo, litología, tipo de barrena/BHA, ROP, profundidad y otros parámetros operativos similares. Los eventos precursoras se correlacionan con los eventos de riesgo permitiendo la identificación de eventos sistemáticos y aleatorios.

### **Costo por profundidad**

Se calcula el costo por pie para los pozos cercanos dentro del radio de investigación. El usuario tiene la opción de elegir pozos de tipo similar según los resultados de similitud geológica y de trayectoria. Los pozos cercanos se clasifican según el costo de perforación por longitud.

---

<sup>14</sup> *Idem*

## 2.5 Estimación de tiempos operativos

El desempeño de las operaciones en el proceso de construcción de un pozo se basa en el tiempo que calcula un ingeniero. Obtener un tiempo estimado de planeación es posible basándose en la experiencia previa a través del análisis de los pozos de correlación. El ingeniero debe comparar cómo la implementación de nuevas tecnologías puede afectar el tiempo final de construcción, por lo que debe conocer información como los ROPs esperados por sección, diferentes BHAs, tiempos promedio por operación (m/h), así como el tiempo perdido por ciertas contingencias.

La clasificación de las actividades de acuerdo con su carácter productivo ayuda a hacer un análisis exhaustivo de los problemas que se pueden presentar en los futuros pozos obteniendo un estimado del tiempo perdido y los costos relacionados con este.

El tiempo productivo o normal se refiere a todo tiempo operacional definido en la secuencia de operaciones que contribuye a la perforación y terminación de un pozo excluyendo los tiempos no productivos y las ineficiencias operativas, este es conformado por el tiempo de perforación y el tiempo plano.

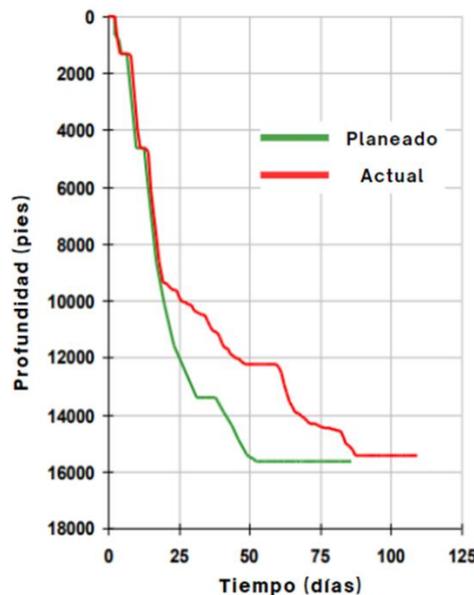


ILUSTRACIÓN 1. GRÁFICA TIEMPO VS PROFUNDIDAD POZO ACTUAL Y PLANEADO

La ilustración muestra una gráfica de profundidad contra tiempo, en donde se puede ver que el tiempo real siempre es mayor que el planeado ya que los problemas operativos o fallas no

son planeados. Los tramos con mayor inclinación son parte del tiempo de perforación y el cambio de pendiente a 0 señala el inicio de las actividades que conforman el tiempo plano, como la introducción de la TR, cementación y aseguramiento del pozo. La diferencia entre los tiempos planeados y reales son causados por ineficiencias operativas o Actividades consideradas como Tiempo No Productivo (NPT por sus siglas en inglés), el poder clasificar los Tiempos No Productivos es de gran importancia para poder centrar los esfuerzos en las áreas con más problemas para el siguiente pozo a perforar.

Muchos Reportes Diarios de Perforación incluyen en la descripción de actividades si hay algún NPT presente, pero eso depende de la empresa que los reporta, por lo que es muy importante conocer cómo se clasifican los tiempos en el equipo de trabajo. Una manera general de clasificar los Tiempos No Productivos es en dos categorías:

**Tiempo relacionado con el equipo de perforación:** incluye todas las interrupciones causadas por fallas relacionadas con el equipo, los procesos y el personal.

**Tiempos relacionados con la construcción del pozo:** engloba las fallas tanto del equipo en la superficie como del equipo o procesos en el pozo.

La clasificación que se utilizaba en la empresa dividía los Tiempos No Productivos en los siguientes grupos: Cementación, BHA, Fluidos, Problemas de estabilidad del agujero, Herramientas atrapadas, Equipo Superficial, Espera y Control del Pozo.

Estos tiempos no productivos también se pueden definir como operaciones fallidas, con problemas y con espera. En el caso de las operaciones fallidas se pueden entender como aquellas que no cumplen el propósito inicial y requieren una operación de contingencia o de remediación, como un error al seguir la trayectoria del pozo o una mala cementación. Una operación con problemas se define como una operación en la cual se alcanzó el objetivo, pero a lo largo de la operación se encontraron situaciones que causaron demoras en el tiempo, como pescados o problemas de estabilidad del agujero, finalmente las esperas son tiempos en los cuales las operaciones están suspendidas por algo ajeno a las operaciones, como puede ser mal tiempo, manifestaciones o la espera de algún equipo o material.

Para comprender el impacto que tienen los NPTs en los costos, (Santarelli, Zaho, Burrafato, Zausa, & Giacca, 1997)<sup>15</sup>, a través de un estudio determinaron que los NPTs relacionados con problemas de estabilidad del pozo representan un costo adicional del 10 al 15 por ciento.

De igual manera los pozos de correlación permiten obtener una cronología de actividades requeridas para construir el pozo desde el inicio de la perforación hasta la liberación de la plataforma, mejor conocido como la secuencia operativa. Con la secuencia operativa el ingeniero puede saber que parámetros u operaciones tuvieron el mayor impacto en la construcción del pozo, permitiendo enfocar los esfuerzos en hacerlos más eficientes por medio de nuevos procesos o tecnologías sin elevar demasiado los costos operativos.

Para mejorar el desempeño de las futuras operaciones el ingeniero puede utilizar los Indicadores de desempeño (KPIs por sus siglas en inglés) para estimar los tiempos de ciertas operaciones. Los indicadores de desempeño (KPI) son una herramienta analítica que ha adquirido una importancia creciente en la ingeniería de perforación. Su uso permite realizar una evaluación continua y detallada del rendimiento en distintos niveles de gestión dentro de la organización, lo que facilita la optimización del proyecto de perforación de pozos.

Los KPIs son la medida promedio del tiempo de una actividad en específico, por ejemplo, tiempos de perforación como el ROP (m/h), la velocidad promedio de los viajes o corrida de tubería de revestimiento, entre otros. Los KPIs son medidos por cada sección del pozo, ya que los tiempos operativos son muy diferentes en las etapas iniciales del pozo que en las finales.

Es importante que el ingeniero también conozca los KPIs con los que cuenta su cuadrilla, con esto y la secuencia de operaciones es posible calcular un estimado de tiempo el cual se puede plasmar en una gráfica de profundidad vs tiempo.

En resumen, el ingeniero debe identificar las actividades involucradas en la construcción del pozo y clasificarlas en grupos específicos, como perforación, corrida de tubería de revestimiento, cementación, entre otras operaciones. Esto es esencial, ya que diferentes grupos o contratistas pueden participar en diversas operaciones, facilitando así la identificación de áreas de mejora.

---

<sup>15</sup> Santarelli, F., Zaho, S., Burrafato, G., Zausa, F., & Giacca, D. (1997). Wellbore-Stability Analysis Made Easy and Practical.

Una vez identificadas las etapas generales de cada sección, se puede realizar un análisis más profundo para evaluar el desempeño promedio de cada operación por sección. Esto se logra mediante un recuento de las actividades por etapa y el cálculo de un promedio.

Conociendo el tiempo total y el tiempo promedio para cada operación, se procede a analizar los tiempos no productivos. Estos pueden surgir por diversas razones, y es crucial clasificarlos en grupos distintos para determinar si los retrasos se deben a problemas operativos, geológicos, logísticos u otros. Este análisis permite encontrar áreas de mejora y reducir el tiempo esperado para futuros pozos a perforar. El resultado de este análisis será el tiempo normal, calculado como la suma del tiempo total menos el tiempo no productivo. Este tiempo normal será el objetivo de tiempo para la perforación del pozo prospectivo, ya que se busca mitigar todos los tiempos no productivos, aunque es importante mencionar que lo ideal es buscar mejorar la eficiencia de las operaciones con nuevas tecnologías y aprendizaje previo para reducir el tiempo normal.

### 3. Digitalización del análisis de pozos de correlación

#### 3.1 Antecedentes

El proceso del análisis de pozos de correlación para el diseño de un nuevo pozo es un trabajo que une distintos especialistas que deben trabajar en sinergia para hacer más eficiente la perforación del nuevo pozo. Estos deben analizar todos los datos recopilados de pozos vecinos y reducir la lista de pozos existentes basándose en similitudes con el prospecto aplicando sus conocimientos, incluyendo solo los pozos que por sus características pueden enriquecer el modelo para el diseño del nuevo pozo. El modelo se aplica al pozo prospectivo y se ajusta según sea necesario para adaptarse a varios parámetros de diseño de perforación.

Finalmente, uno o más diseños o planes de viabilidad son generalmente acordados y presentados a la dirección o a los interesados para su aprobación y continuar con análisis más detallados, a medida que éste se vuelve más específico, el proceso se complica y consume una mayor cantidad de tiempo.

Es por esto por lo que la automatización de la recopilación de información y el análisis de datos es de gran utilidad para la ingeniería de pozos. La búsqueda de nuevas maneras para poder analizar los datos de pozos de correlación de manera más eficiente ha ido ganando interés a través de los últimos años con la adopción de nuevas tecnologías como inteligencia artificial en la industria, distintos autores han presentado alternativas innovadoras que reduzcan el tiempo de análisis para los ingenieros de diseño de pozos.

(Krygier, Solarin, & Orozova, 2020) realizaron un estudio donde utilizaron informes diarios no estructurados de Maersk Drilling entre 2006 y 2019 para analizar NPTs en operaciones de perforación, centrándose especialmente en problemas de estabilidad en el pozo. Emplearon herramientas de minería de texto y estadísticas para clasificar y comparar las causas de NPT registradas en los informes. (Hoffman, Mao, Wesley, & Taylor, 2018) presentaron una metodología para la recuperación de información en informes de perforación mediante procesamiento profundo del lenguaje natural. La metodología fue probada con 9670 informes de 303 pozos en un campo real.

La mayoría de los avances en la automatización del análisis de los pozos de correlación utilizando los Reportes Diarios de Perforación han sido enfocados en el área de

Procesamiento de Lenguaje Natural (por sus siglas en inglés NLP). De acuerdo con AWS el NLP es una tecnología de machine learning que brinda a las computadoras la capacidad de interpretar, manipular y comprender el lenguaje humano. Se utiliza para procesar de forma automática datos, analizando la intención o el sentimiento del mensaje y responden en tiempo real a la comunicación humana.<sup>16</sup>

El propósito de los modelos en desarrollo es identificar las palabras más comunes que se utilizan para reportar las distintas actividades que se pueden presentar en la perforación de un pozo e identificar un patrón para clasificar las mismas. En la mayoría de los trabajos para crear estos modelos se han encontrado con el mismo problema, la falta de estandarización para reportar las actividades y la distinta clasificación de NPTs que existe por compañía.

### 3.2 Introducción a la aplicación

En 2022 la compañía de servicios en la que realicé mis prácticas, comenzó a desarrollar dos aplicaciones para el área de Planeación de Proyectos. El objetivo de éstas es hacer un sistema más eficiente e integral para crear un plan de perforación de un nuevo pozo; esta serie de aplicaciones se complementan entre sí, permitiendo que los distintos grupos de trabajo efectúen sus actividades de manera más eficiente y organizada.

La primera que se creó fue la **App 1**, el objetivo de esta aplicación es crear una base de datos estandarizada y uniforme donde se encuentre toda la información de los pozos con los que cuente la compañía. En ella se categorizan todas las actividades realizadas por pozo y se clasifican en actividades productivas y no productivas, en caso de ser no productivas también cuentan con una subclasificación. La meta que tiene el equipo de trabajo, a la que pertencí, es publicar en la base de datos todos los pozos de los que se tenga registro.

El contar con una base de datos tan detallada de las actividades de los pozos es de gran utilidad para una empresa con tantos proyectos como en la compañía de servicios, ya que si en cualquier momento hay una oportunidad para perforar un nuevo pozo existe la probabilidad de que los pozos vecinos ya estén cargados en la base de datos, ahorrando los tiempos para el análisis de la información.

---

<sup>16</sup> (¿Qué es el Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)?, 2023)

La siguiente aplicación es la **App 2**, la cual se alimenta de todos los datos subidos en la **App 1**. La **App 2** permite al usuario elegir los pozos de correlación que desea analizar, en ella el usuario puede conocer de manera automática los KPIs de cada actividad, y permite dar un estimado del tiempo normal de perforación de un pozo tipo con la secuencia de operaciones, así como los posibles problemas, fallas y esperas que se pudieran presentar correlacionándolo con toda la información de los pozos de correlación seleccionados. Es por esto por lo que el tener un control de calidad en los pozos publicados es de gran importancia, ya que un error puede cambiar de manera considerable los KPIs de las operaciones o también puede haber una mala clasificación de actividades por su carácter productivo, resultando en tiempos erróneos. Para este trabajo, la explicación exhaustiva del funcionamiento de las aplicaciones se limitará a la **App 1**, la cual cumple solo con un paso en la automatización de todo el proceso de análisis de pozos de correlación, la recopilación y extracción de información estructurada de los reportes de perforación.

La **App 1** fue en la que desarrollé mi trabajo en las prácticas profesionales. Al igual que en los ejemplos anteriores, esta aplicación ayuda a analizar los pozos de correlación con la información contenida en los Reportes Diarios de Perforación. Aunque existen muchos formatos diferentes debido a su antigüedad o el país de origen, el que se muestra a continuación, es uno de los más comunes en los pozos más recientes de México y similar al de otros países.

DIVISION											
REPORTE DIARIO DE OPERACIONES DEL:					10/07/2015 Proyecto: ACTIVO DE PRODUCCION						
Equipo: Pozo		Conductor: Esp. Rot-NM:			Actividad: (PER) Inicio:						
Objetivo: JURÁSICO SUPERIOR KI		Prof. Prog. 6600/6480		Dias Prog: 191		T. Agua:		Prox. Mov: PENDIENTE			
Profund.	Desarr.	Vertical	Barrenas	Actual	Anterior	Herramienta	Cant.	Long.	Obs.		
00:00	5189	3949	Marca			T. PESADA LISA 5 1/2" C-75 26.3 LB/PIE	24	229.52	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
24:00	5189	3949	Serie			COMBINACION (R.DIF) (PC) 5 1/2" M-VAM	1	1.12	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
05:00	5189	3949	Diametro	8 1/2-8 1/2		LASTRABARRENAS CORTO 6 1/2"	3	27.23	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
Ava/Ind	Cero / 103.78		Tipo	M333		MARTILLO 61/2" HIDRAULICO-MECANICO	1	5.91	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
Ult.Cont.			Toberas	12-12-12-12-1	S/T	LASTRABARRENAS CORTO 6 1/2"	12	108.15	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
Prox.Cont.			Mts. Perf.	32		COMB. 6 1/2" 5XH (P)- 4IF (C)	1	0.81	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
Litología:			Hrs. Op.	8:35		LASTRABARRENAS CORTO 6 1/2"	1	1.80	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
			Prom x m	16.09		VALVULA DE CONTRAPRESION 6 3/4"	1	1.26	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
			3 Ult. Mts.	5-5-5		ESTAB. ALETAS INTEGRALES 6 3/4"	1	1.72	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
			Costo x m			MWD 8"	1	4.98	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
			Amp. Inic.			HERRAMIENTA DE REGISTRO PWD 8"	1	1.97	PERFORAR CON BNA PDC DE 7		
Ultima TR	9 5/8		Des. IADC	PDC		Ult. Reg.					
Prox. TR			Nucleos R.	Int. Prog.	Int.Disp.	Des'v'n	PID/Prof.	Desp. Hoz.	Prof. Vert.	Ang.	Rumbo
B.L.	7"-3984	9 5/8"-3091				Prog. -->	0/6600	517	6479.75	22° 0'	SE 48° 0'
Emp.						Real -->	5121	132.68	5104	17° 52'	NW 49° 35'
C2	COLGADOR 9 7/8" a 2087						5093	124.15	5077	17° 35'	NW 49° 2'
Lodo:							5066	115.96	5051	17° 50'	NW 45° 33'
Dens: Visc: Temp °C: %Arenas: Filtrado: Calcio: Enjarre: Alc.: Gel 0: Gel 10: Cloruros: PH: %Solidos: %Aceite: %Agua: VA: VP: YP: Emul: R.A.A.: MBT:						Pruebas Formación		Materiales			
						Prub. Goteo	Kg/cm2/m a		Diesel		1.35/27.76 m3
						Grad. Form.	Kg/cm2/m				
						Grad. Frac.	Kg/cm2/m				
						Dens.Eq.Circ.	Kg/cm2/m				
						Pres.Red:	Kg/cm2 con:		Epm		
Peso S-Bna	Tons	Rotaria	RPM	Camisas B-1	Epm						
P. Bomba	Kg/cm2	Torque	Amps	Camisas B-2	Epm						
Peso Sarta	Tons	Gasto		GPM	SIM. CONTROL BROTOS						
		V. Anular		PPM	KOOMEY						
BOPS						Hules TP: Fren/Corona: Val. Sup.: Val. Inf.: Val. Pie:					
Resumen Día Anterior		BAJAO SARTA HASTA 3062 M. TOCO CIMA PROBO B.L AVANCE 50%									
Operación		POZO:							MOVIMIENTO		51.00
00:00-01:00		(N) CON BNA PDC 8 1/2" Y SARTA ROTATORIA A 3,062 M REALIZO PRUEBA DE INTEGRIDAD A TR DE 9 5/8" 100 % BOMBEANDO CON UAP 14.1 BLS DE LODO E.I. DENSIDAD 1,60 GR/CC A U N GASTO DE 0.5 BPM ALCANZADO UNA PRESION DE 4000 PSI, PARO BOMBEO Y OBSERVO PRESION DE 4000 PSI POR 15 MINUTOS ESTATICA, DESFOGO PRESION A CERO (0) REGRESANDO 1 4.1 BLS DE LODO 1.60 GR/CC (MISMA CANTIDAD BOMBEADA) Y DESMANTELO LINEAS SUPERFICIALES DE CONTROL.							PERFORACION		50.00
01:00-04:30		(N) CON BNA PDC 8 1/2" Y SARTA ROTATORIA CON EQ PWD Y MWD REBAJO COPLE FLOTADOR DE ORIFICIO DE 3,062.12 M HASTA 3,062.76 M EN 03:15 HRS (LONGITUD 0.64 M), CONDICIONE S, PSB 5-12 TONS ROTARIA 40-60 RPM TORQUE DE 2500 HASTA 11,800 LB-PIE, EPM 108 EPM 427 GPM, PRESION 2000 PSI, OPERACION REALIZADA EN PRESENCIA DEL PERSONAL DIRECCIONAL							Total Dias:		101.00
04:30-05:30		(N) CON BNA PDC 8 1/2" Y SARTA ROTATORIA CON EQ PWD Y MWD REBAJO CEMENTO PUENTEADO DE 3,062.76 HASTA 3,096 M CONDICIONES PSB 1-2 TONS, ROTARIA 40 RPM, 2500 LB-PIE, PRESION 2000 PSI 108 EPM GASTO 427 GPM.							Total Esperas:		
05:30-11:00		(N) CONTINUO BAJANDO SARTA ROTATORIA CON BARRENA PDC 8-1/2" DESDE 3096 M HASTA 5128 M DONDE CHECO RESITENCIA FRANCA CON 5 TONS, LLENANDO POR INTERIOR DE TP CADA 500 M POR LLEVAR VCP. VOLUMEN TEORICO DESPLAZADO =151.1 BLS. VOLUMEN REAL DESPLAZADO = 150.9 BLS.							Compntes. y Eq. Aux.		F/S
11:00-14:00		(N) CON BARRENA PDC DE 8-1/2" A 5128 M CIRCULO TERMINANDO DE DESPLAZAR LODO DE 1.88 GR/CC POR LODO DE 1.60 GR/CC (3096 M - 5128 M) PARAMETROS DE CIRCULACION: EPM 50									
Resumen:		CON BNA PDC 8-1/2" PROBO INTEG DE TR 9-5/8" CON 4000 PSI OK, REB C. FLOT A 3062M, BAJO S. ROT CON BNA PDC 8-1/2" A 5128 M CIRC DESPL LODO D							KIOSCO:		
Sig. Ope:		BAJAR BARRENA PDC DE 8-1/2" Y SARTA ROTATORIA, PROBAR INTEGRIDAD DE ZAPATA 9-5/8" A 5189 M							Supte.		
Programa:		PERFORAR ETAPA CON BNA PDC DE 8-1/2" Y SARTA DIRECCIONAL EQUIPADA CON MWD Y PWD A 6218 M							Telefono		
Observ.:											
Ecología:											
Urgentes:											
Fuente:											

Ilustración 2. Reporte Diario De Perforación

Se puede ver que el Reporte Diario de Perforación incluye mucha información útil del pozo; desde la fecha, profundidades, herramientas de fondo, litología, entre otras cosas. Pero lo único que necesita la aplicación es la descripción de las operaciones, así como su duración y fecha. De esta manera se puede recrear de inicio a fin todo lo acontecido en la perforación del pozo.

La **App 1** funciona de manera similar a los métodos anteriormente mencionados, una vez que el usuario ingresa la descripción de todas las actividades con su duración, la aplicación procesa actividad por actividad y por medio de la identificación de patrones y palabras en la descripción de las actividades hace una predicción sobre la actividad que se está realizando, la profundidad en la que se está realizando y si es tiempo productivo o no productivo. La aplicación divide la clasificación de las actividades en 3 niveles los cuales van de lo general a lo particular, cada nivel tiene distintos códigos donde se busca clasificar la actividad de la manera más acertada posible. Cuando la actividad es clasificada como tiempo no productivo existen dos niveles que clasifican el tipo de tiempo no productivo de acuerdo con una categoría y subcategoría. La ilustración 3, muestra un ejemplo de la interfaz que tiene la App 1 y muestra como clasifica cada actividad descrita en los Reportes Diarios de Perforación.

PROF. INICIAL (m)	PROF. FINAL (m)	DURACIÓN (h)	DESCRIPCIÓN DE LA ACTIVIDAD	ETAPA	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA	PT/NPT	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA
3000	1000	2	POR MAL TIEMPO SUBE SARTA A 1000 M PARA ASEGURARLA, SIGUIENDO PROTOCOLO DE SEGURIDAD	PERFORACIÓN	PERFORACIÓN	VIAJE HACIA ARRIBA	NPT	ESPERA	MAL TIEMPO

ILUSTRACIÓN 3.- EJEMPLO INTERFAZ APP 1

En la Tabla 1, se muestran los 3 niveles de la clasificación de las actividades. El primer nivel o la “etapa” es un código muy general que busca describir en que etapa de la sección se realiza la operación, ya sea cuando se está perforando, cuando se está introduciendo o cementando la TR o en el aseguramiento del pozo. En la “categoría” se busca clasificar de manera más específica, ya que a pesar de que sea una misma actividad pueden estarse llevando a cabo diferentes operaciones, como pesca, perforación o corrida con cable. En el último nivel, la subcategoría, describe de manera más precisa la actividad. La mayoría de los códigos de la subcategoría se repetían por categoría ya que se trataba de códigos muy generales como viajes, circulación, junta de seguridad, etc.

TABLA 1. CLASIFICACIÓN DE ACTIVIDADES

ETAPA	CATEGORÍA	SUBCATEGORÍA
Perforación	Perforación	Viaje hacia adentro
	Pesca	Viaje hacia afuera
	Corrida para Núcleo	Perforación
	Corrida Wireline	Circulación
Corrida de TR	Introducción de TR	Montaje
	Introducción de Liner	Desmontaje
	Introducción de Tie back	Corrida de Tubería
Cementación	Cementación de TR	Montaje
	Cementación de Liner	Desmontaje
	Cementación de Tieback	Circular lechada
Aseguramiento	Actividades de superficie	Prueba de BOP
	Actividades subsuperficiales	Instalar cabezal

Los niveles de actividades podían comprender actividades normales o con problemas, ya que el poder conocer el desempeño de las operaciones para corregir las fallas y los problemas también es de gran utilidad. El propósito de estos niveles no es clasificar la actividad como normal o con problemas, ya que la distinción se hace al momento de clasificarla como tiempo productivo o no. Es por esto por lo que dentro de la etapa de perforación se pueden encontrar categorías como pesca, considera como Tiempo No Productivo.

Como se mencionó anteriormente, una manera de clasificar los tiempos no productivos es por problemas, fallas y esperas, lo que es de gran utilidad. Pero el poder realizar una clasificación más específica con ayuda de los distintos códigos que presenta la **App 1**, es de gran utilidad para reconocer las áreas que requieren mayor atención y cambios para reducir el tiempo de construcción de los nuevos pozos. En la tabla 2, se puede apreciar la clasificación que usa la aplicación para clasificar los tiempos no productivos.

TABLA 2. CLASIFICACIÓN DE NPTs

Categoría NPT	Subcategoría NPT
Equipo de Perforación	Top Drive
	Mesa Rotaria
	Izaje
	Sistema de energía
Equipo de Superficie	Cabezal
	Terceros
Equipo de Fondo	Barrena
	Motor de Fondo
	MWD/LWD
Control de pozo	Brote/Influjo
	Reventón
Problemas de agujero	Perdida de circulación
	Derrumbe
Espera	Por mal tiempo
	De materiales

De la misma manera que la aplicación busca predecir las actividades identificando las palabras claves, realiza lo mismo para lograr detectar la profundidad inicial y final de la barrena en cada actividad, lo que permite relacionar las actividades con cada profundidad y, por lo tanto, cada sección.

La eficiencia en la predicción de las actividades va aumentando gradualmente, ya que, al ser un modelo de inteligencia artificial, a medida que aumenta la cantidad de pozos que se suben a la aplicación más va aprendiendo.

A pesar de que la App 1 predice las actividades, es necesario realizar un control de calidad de las predicciones que realiza, debido a que algunas actividades pueden tener errores de redacción o no son comprensibles. Este control de calidad permite que la aplicación siga aprendiendo y también asegura que los datos que se están subiendo sean íntegros. En gran medida los errores son derivados porque muchas de las descripciones de las actividades no son muy específicas o la manera de mencionar algunas operaciones es muy general, por lo que como ingenieros debemos usar nuestro criterio para analizar el panorama general y clasificar las actividades de manera correcta.

### 3.3 Implementación de la Aplicación

El primer paso para iniciar el análisis de los pozos en las aplicaciones desarrolladas por la empresa de servicios es el procesamiento de los Reportes Diarios de Perforación, la información que se extrae es la descripción de las actividades con su duración u hora de inicio y fin. Esta información debe ser subida a la **App 1** en un formato específico de Excel llamado template, donde el usuario introduce la descripción de cada actividad, las fechas, horas de inicio y fin, la duración de cada actividad y complementa añadiendo la sección del pozo a la que pertenece la actividad.

Uno de los mayores retos en el procesamiento de los Reportes Diarios de Perforación es que muchos de los pozos con lo que se cuentan son muy viejos y/o tienen formatos muy diferentes donde la extracción de la información es complicada. Éste paso puede durar varias horas dependiendo del formato del pozo y de la cantidad de días en los que se hayan realizado las actividades de perforación, que pueden ir desde un par de semanas hasta más de un año donde la mayoría de los días contiene más de una actividad. Para este paso no existía una herramienta que nos ayudara a hacer todo el procesamiento y el trabajo era completamente manual. Fue por lo que como practicante comencé con el desarrollo de programas en Excel que pudieran automatizar cada vez más el proceso.

Los Reportes Diarios de Perforación se encuentran en formato PDF o Excel; los que se encuentran en PDF como el ejemplo anteriormente mostrado, deben ser transformados a Excel y uno debe ser cuidadoso con las herramientas que utiliza, ya que a pesar de que hoy en día muchas herramientas creadas con Inteligencia Artificial serían capaces de extraer de manera automática las actividades y duración de los Reportes sin necesitar la limpieza del usuario, la confidencialidad de los documentos sería comprometida.

El primer paso era transformar los reportes de PDF a un archivo de Excel, esto se realizaba con la ayuda de una herramienta segura. Pero el posterior procesamiento y limpieza de esa información para que la aplicación pudiera realizar la predicción era un paso que consumía gran parte de los practicantes.

Al iniciar las prácticas la mayoría de las técnicas para procesar los Reportes Diarios de Perforación eran manuales, haciendo que el tiempo de procesamiento fuera muy lentos. Para tener un procesamiento más eficiente de los Reportes Diarios de Perforación elaboré

distintos programas en Visual Basic, los cuales reducían los tiempos de procesamiento en un 80%. Como mencioné anteriormente los formatos en los que se encontraban los pozos eran muy diferentes por lo que tuve que crear varios programas para distintos formatos en Excel y PDF.

A continuación, presentare un ejemplo de una situación muy común que se encontraba en los archivos transformados a Excel para ejemplificar uno de los programas que realicé para reducir los tiempos de procesamiento.

Normalmente la transformación hacía que cada actividad fuera desplazada en diferentes filas como se puede ver en la ilustración 4. Esto resultaba en un problema, ya que el template requería que cada actividad estuviera en una sola fila de Excel, por lo que se debían concatenar en una sola fila. Hacer este trabajo de concatenación puede ser rápido si el archivo procesado consta de pocas líneas, pero normalmente los archivos tenían más de mil líneas.

8149		POSICION PARA TOMAR REGISTROS CABINA Y CANASTILLAS DE HERRAMIENTAS DE CIA. GIRO			
8150		DATA, PARA CONTINUA CON OPERACION ,			
8151	01:00-04:	(N) CON PERSONAL DE CIA. GIRODATA, INSTALA EQUIPO PARA CORRER REGISTROS ELECTRICOS,			
8152		INSTALANDO EQUIPO EN CABINA, ARMANDO SONDA Y HERRAMIENTAS + INSTALANDO POLEAS EN			
8153		PISO DE PERFORACION AL 100%			
8154	04:00-07:	(N) CON PERSONAL DE CIA. GIRODATA ARMO SONDA PARA TOMAR GIROSCOPICO CON: RGS-WB -2.0			
8155		9" - HEAT SHIELD --LONG: 8.23 MTS. - PESO: 92 KG. - DIAMETRO: 2.09" - MAX. APERT			
8156		URA DE CENTRALIZADORES 14" - DIST. AL SENSOR: 4.15 MTS. - DIAMETRO DE CABLE: 5 /			
8157		16" - PUNTO DEVIL: 3393 LBS. + BAJO A 5125 MTS.			
8158	07:00-15:	(N) CON PERSONAL DE CIA. GIRODATA LEVANTO SONDA REGISTRO GIROSCOPICO, REGISTRANDO PO			
8159		R ESTACIONES DE 30M DE 5120M A SUPERFICIE CON UNA VELOCIDAD DE 30MTS/MIN. TENSI			
8160		ON DE 2100/660 LBS			
8161	15:00-17:	(N) CON PNAL DE CIA GYRODATA ELIMINO HTTA REGISTRO (USIT-CBL-VDL-CCL-RG) + EQUIPO +			
8162		POLEAS DEL PISO DE PERFORACION AL 100%			
8163	17:00-21:	(N) CON PERSONAL DE OPERACION CIA. ORO NEGRO ELIMINA 12 LINGADAS DE TP Y HNTAS ESTIB			
8164		ADAS EN CHANGUERA: 12 TRAMOS DE DC 4 3/4" + 12 TRAMOS DE TP DE 2 7/8" + 6 TRAMO			
8165		S DE TP HW 3 1/2" + 6 TRAMOS DE DC 6 1/2" , PARA HACER ESPACIO PARA ESTIBAR APAR			
8166		EJO DE PRUEBA CONBINADO 2 7/8" - 3 1/2" Y 4"			
8167	21:00-22:	(N) CON PERSONAL DE OPERACION CIA. ORO NEGRO REALIZA ACOMODO DE MATERIAL EN PATIO DE			
8168		TUBERIAS + PREPARA CABEZA DE PRUEBA DE CIA SLB.			
8169	22:00-24:	(N) CON PERSONAL DE CIA. ORO NEGRO Y CIA. SLB. REALIZA MANIOBRAS PARA ARMAR Y APRETA			
8170		R CABEZA DE PRUEBA 8" PARA APAREJO DE PRODUCCION DST, EN PISO DE PERFORACION			
8171					

ILUSTRACIÓN 4. EJEMPLO REPORTE DIARIO DE PERFORACIÓN ANTES DEL USO DE LA MACROS

En la ilustración 5, se muestra del programa que creé para concatenar de manera automática las actividades y también como se transformaba el rango de horas a duración. Para que funcionara era necesario tener alguna referencia en la primera columna de donde iniciaba la actividad, con base en eso se concatenaban las filas siguientes hasta llegar a otra hora. El programa redujo de manera considerable el procesamiento de los Reportes Diarios de Perforación y sigue siendo utilizado en el equipo de trabajo, ya que con algunos ajustes puede ser compatible con la mayoría de los Reportes Diarios de Perforación.

```
Sub ConcatenateActivities()  
    Dim LastRow As Long  
    Dim StartTime As String  
    Dim Activity As String  
  
    LastRow = Cells(Rows.Count, 1).End(xlUp).Row  
  
    For i = 2 To LastRow  
        If Cells(i, 1).Value <> "" Then  
            ' Coloca la actividad concatenada en la primera fila de la actividad anterior  
            Cells(i - 1, 2).Value = Activity  
            ' Inicia una nueva actividad  
            StartTime = Cells(i, 1).Value  
            Activity = Cells(i, 2).Value  
        Else  
            ' Concatena el valor de la columna B a la variable Activity  
            Activity = Activity & " " & Cells(i, 2).Value  
        End If  
    Next i  
  
    ' Coloca la última actividad concatenada en la comentario de la primera fila de la última actividad  
    Cells>LastRow, 2).Value = Activity  
End Sub
```

ILUSTRACIÓN 5. PROGRAMA VBA PARA PROCESAR ACTIVIDADES

En la ilustración 6 se presenta el archivo que resulta de convertir un archivo PDF a Excel, como se puede ver en el ejemplo el pozo contaba con más de ocho mil líneas y el resultado después de utilizar el programa era un pozo con 800 líneas aproximadamente, por lo que contar con una herramienta automática para concatenar la descripción en una sola fila era necesario.

1	Duración	Actividad
825	1	POSICION PARA TOMAR REGISTROS CABINA Y CANASTILLAS DE HERRAMIENTAS DE CIA. GIRODATA, PARA CONTINUAR CON OPERACIÓN
826	3	(N) CON PERSONAL DE CIA.GIRODATA, INSTALA EQUIPO PARA CORRER REGISTROS ELECTRICOS, INSTALANDO EQUIPO EN CABINA, ARMANDO SONDA Y HERRAMIENTAS + INSTALANDO POLEAS EN PISO DE PERFORACION AL 100%
827	2	(N) CON PERSONAL DE CIA.GIRODATA ARMO SONDA PARA TOMAR GIROSCOPICO CON: RGS-WB -2.0 9" -HEAT SIELD -- LONG: 8.23 MTS.-PESO 92 KG - DIAMETRO DE CABLE: 5 / 16" -PUNTO DEVIL: 3393 LBS + BAJO A 5125
828	8	(N) CON PERSONAL DE CIA. GIRODATA LEVANTO SONDA REGISTRO GIROSCOPICO, REGISTRANDO POR ESTACIONES DE 30M DE 5120 A SUPERFICIE CON UNA VELOCIDAD DE 30 MTS/MIN. TENSION DE 2100/660 LBS
829	2	(N) CON PENAL DE CIA GYRODATA ELIMINO HTTA REGISTRO (USIT-CBL-VDL-CLL-RG) + EQUIPO + POLEAS DEL PISO DE
830	4	(N) CON PERSONAL DE OPERACION CIA. ORO NEGRO ELIMINA 12 LINGADAS DE TP Y HNTAS ESTIBADAS EN CHANGUERA: 12 TRAMOS DE DC 4 3/4" + 12 TRAMOS DE TP DE 2 7/8" + 6TRAMOS DE TP HW 3 1/2" + 6 TRAMOS DE DC 6 1/2", PARA HACER ESPACIO ÁRA ESTIBAR APAREJO DE PRUEBA COMBINADO 2 7/8" - 3 1/2" Y 4"
831	1	(N) CON PERSONAL DE OPERACION CIA. ORO NEGRO REALIZA ACOMODO DE MATERIAL EN PATIO DE TUBERIAS + PREPARA CABEZA DE PRUEBA DE CIA SLB.
832	2	(N) CON PERSONAL DE CIA. ORO NEGRO Y CIA. SLB REALIZA MANIOBRAS PARA ARMAR Y APRETAR CABEZA DE PRUEBA" PARA APAREJO DE PRODUCCION DST, EN PISO DE PERFORACION

#### ILUSTRACIÓN 6. REPORTE DIARIO DE PERFORACIÓN DESPUÉS DEL USO DE LA MACROS

Ya que las actividades estaban estructuradas de manera correcta, era necesario obtener la duración de las actividades, algunos formatos lo contenían, pero algunas veces solo se tenían las horas de inicio y final. Era importante cerciorarse que las horas de todas las actividades fueran secuenciales, ya que si hay omisiones en el tiempo la aplicación no puede procesar el archivo, por lo que el usuario debía revisar que no hubiera errores en las horas reportadas.

Una vez que se tenían todas las actividades con duración, fecha y sección a la que pertenecían se podían introducir en el template. A partir de este punto es donde se comienzan a utilizar las aplicaciones desarrolladas por la empresa. El template se carga en la App 1, después de unos minutos la aplicación lo procesa y hace las predicciones de las actividades.

Ya que la App 1 ha procesado el pozo y ha realizado las predicciones, se debe de hacer el control de calidad en la misma aplicación, donde se debía revisar cada actividad cerciorando que las predicciones son correctas en la una interfaz como la mostrada en la ilustración 3, a este proceso se le llamaba codificar, debido a los códigos para clasificar previamente mostrados. En caso de que la clasificación fuera incorrecta el usuario debía seleccionar los códigos que se ajustaran a la actividad descrita, este paso era el más importante, ya que el objetivo final de la aplicación desarrollada por la compañía de servicios es que los ingenieros que usen estos pozos para su análisis puedan conocer la duración del tiempo normal, la duración de los tiempos no productivos y su clasificación, así como los indicadores de desempeño de cada actividad y un error en la clasificación cambiaría los resultados.

También es necesario contabilizar la efectividad en la predicción de la aplicación, por lo que manualmente se deben contar los errores que se encuentran en las predicciones. Este paso permite evaluar el desempeño de la aplicación a través de la cantidad de pozos cargados y ayuda a conocer la curva de aprendizaje del modelo de predicción.

El hacer el control de calidad en ocasiones era un poco difícil ya que las actividades no estaban correctamente reportadas, les faltaba mucho contexto o utilizaban términos específicos de una región. Era importante entender todas las actividades que ocurrían en el pozo para crear una imagen general de todo el proceso de construcción y poder clasificar de manera correcta todas las actividades. Es importante decir que, aunque los códigos cubrían la mayoría de las actividades había ocasiones en que lo que ocurría en el pozo era una actividad u operación muy específica por lo que no existía un código para cubrirla, en estos casos es trabajo del usuario buscar un código que se asemeje lo más posible a la operación descrita.

Como se mencionó antes, actualmente el modelo sigue entrenándose, por lo que no tiene una eficiencia perfecta. Idealmente, el modelo de predicción permitirá que en un futuro la aplicación pueda predecir con un 100% de efectividad todas las actividades, minimizando la intervención del usuario.

Después de llevar a cabo la verificación de calidad de la clasificación, es necesario ingresar ciertos datos adicionales de contexto para poder ubicar el pozo correspondiente en la base de datos o en la aplicación. Esta información contextual abarca aspectos como el campo, las coordenadas, el operador, el equipo de perforación utilizado, entre otros. Una vez que se han proporcionado estos detalles, el pozo está preparado para ser publicado en la base de datos, lo que significa que ahora cualquier usuario que tenga acceso a las aplicaciones puede acceder a el y consultar su información.

Todo el trabajo realizado en la App 1 era reflejado al usar la App 2. La App 2, permite al usuario elegir los pozos que desea analizar presentando toda la base de datos, dividiéndolos por país y campo. También indica con que equipo de perforación se realizaron las actividades, permitiendo al usuario conocer con qué condiciones técnicas se perforaron los pozos.

La App 2 permite conocer de manera automática cuales son los indicadores de desempeño de las actividades principales como perforando, viajes, entre otros, pero también permite

hacer un análisis de tiempo más profundo. La aplicación calcula cual es el tiempo normal de cada pozo y con base en la secuencia operativa permite dar un estimado del tiempo normal de la nueva operación. De la misma manera, la aplicación permite al usuario conocer el tiempo no productivo por pozo y su clasificación, lo cual es especialmente valioso para los ingenieros de diseño de pozos. Al conocer las fallas, problemas y esperas más comunes, así como el tiempo que consumen, los ingenieros pueden enfocar sus esfuerzos en las áreas que requieren mayor atención, promoviendo la mitigación de problemas y una mejora continua.

La siguiente figura representa el proceso que se lleva a cabo para hacer el análisis de pozos con la ayuda de las aplicaciones:

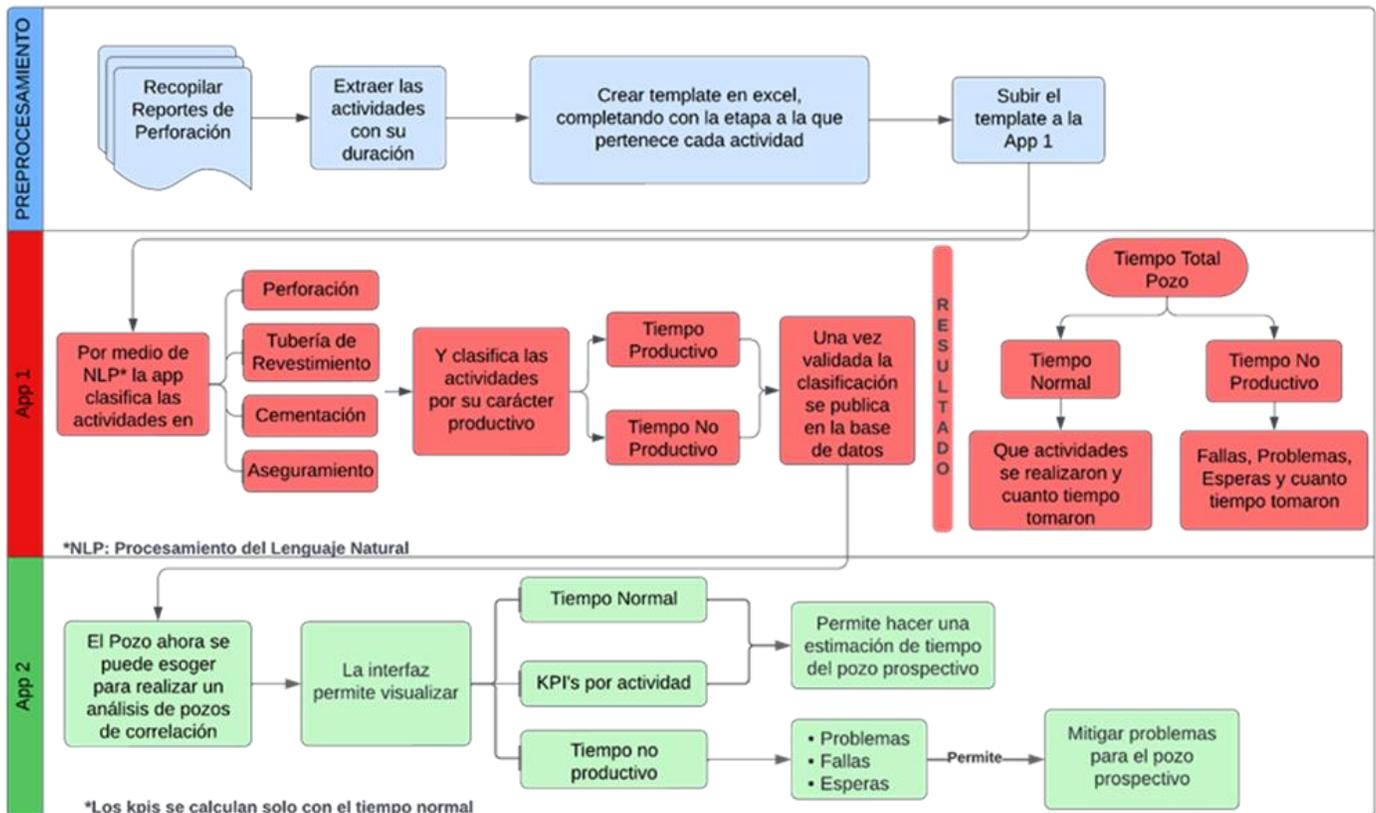


ILUSTRACIÓN 7. FLUJO DE TRABAJO

### 3.4 Caso Técnico

Como ejemplo presentaré el trabajo que realicé con un grupo de pozos pertenecientes al campo A, el cual es un campo terrestre perteneciente a la cuenca del sureste. El play pertenece a las edades Neógeno y Paleógeno, con litología principalmente formada por areniscas y el tipo de hidrocarburo es aceite ligero y gas húmedo. La formación objetivo se encuentra aproximadamente a 2600 m. Para este campo se cuenta con 16 pozos los cuales tienen reportes diarios de perforación.

Todos los reportes diarios de perforación fueron procesados por mí, todos los pozos cumplían con el mismo formato por lo que fue sencillo realizar los templates con la ayuda del programa de VBA mencionado con anterioridad. Los pozos fueron subidos a la **App 1** y codificados para proceder con su publicación, la duración de las operaciones de perforación en los pozos fue en promedio de 20 días, por lo que no tenían tantas actividades y el tiempo de validación de las predicciones fue corto.

Una vez publicados los pozos, los pozos podían ser analizados en la **App 2**. Es importante mencionar que si durante el análisis de los pozos se detectaba algún error en la clasificación o el ingeniero decide hacer un cambio en la misma, se puede realizar en la **App 1** y se reflejará en la **App 2** después de unos minutos.

En un caso real este análisis se hace con la finalidad de perforar un nuevo pozo, por lo que muchas veces el cliente proporciona un pozo tipo. En la **App 2** es esencial establecerlo, en él, se detallará el número de secciones a perforar y su diámetro, la profundidad de asentamiento de las tuberías de revestimiento, entre otras cosas.

Para este caso, he propuesto un diseño de pozo tipo estándar con el objetivo de que coincida con la mayoría de los pozos de correlación seleccionados. El pozo tipo consiste en 3 secciones, la primera sección es de 17.5" con una profundidad de asentamiento de la TR a 500 m, la segunda sección de 12 ¼" con una profundidad de asentamiento de la TR a 1300 m y última sección tiene una profundidad de 2800 m con un diámetro de 8.5". Para este ejercicio, la selección de las profundidades se realizó de manera aproximada a la del grupo de pozos, cabe recalcar que en la vida real no sucede así. Las profundidades del pozo prospectivo deben ser seleccionadas con base en la información recopilada de los registros geofísicos o proporcionada por el cliente, ya que a pesar de que los pozos sean cercanos

puede haber variaciones significantes en la profundidad de las formaciones, representando un gran riesgo operativo.

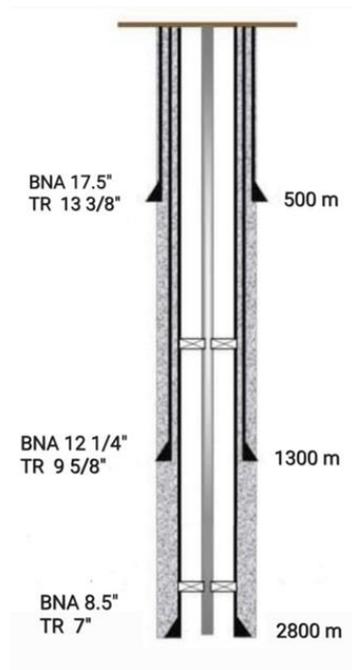


ILUSTRACIÓN 8. ESTADO MECÁNICO POZO TIPO

Una vez que el pozo tipo ha sido definido se pueden analizar los KPIs por sección. La **App 2** realiza automáticamente un promedio de todos los pozos y presenta los KPIs de ROP, velocidad de viaje, velocidad de introducción de la tubería de revestimiento, así como el tiempo promedio para el armado del BHA o el montaje de los preventores por cada sección. También, muestra en una gráfica los tiempos promedio por sección de cada pozo, lo que es una herramienta muy importante para el ingeniero de diseño de pozos, ya que permite visualizar la diferencia que existe entre los pozos de correlación seleccionados. El usuario también tiene la posibilidad de filtrar y seleccionar los pozos de referencia según los criterios de selección que mejor se adapten a los objetivos de perforación del pozo tipo.

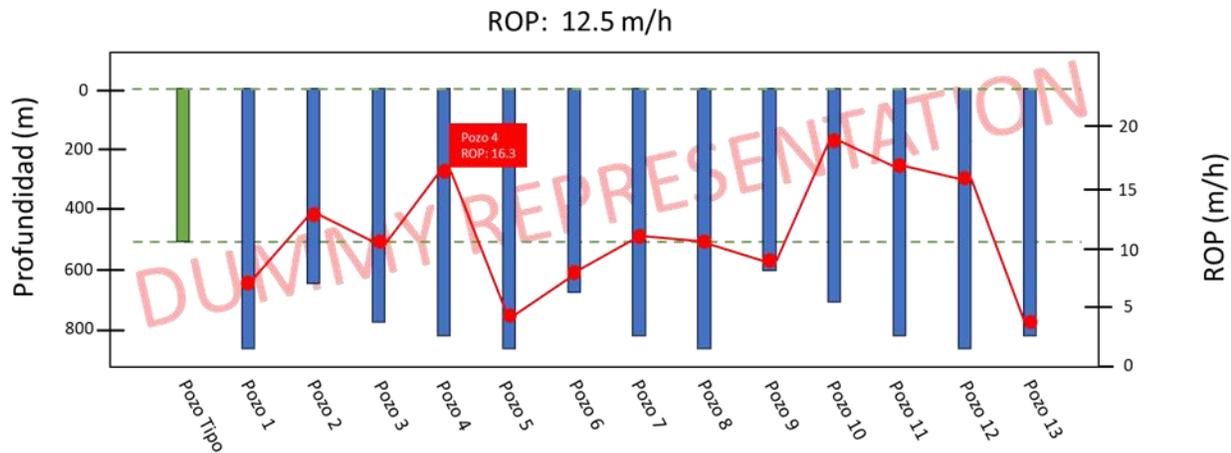


ILUSTRACIÓN 9. GRÁFICA PARA KPIs DE ROP SECCIÓN 17 ½”

En la imagen se puede apreciar la presentación de los KPIs por actividad, donde cada uno tiene una gráfica, la cual muestra la diferencia en los valores promedio por pozo. Es importante mencionar que estos cálculos han sido realizados con el percentil promedio (Pmean), pero el ingeniero puede ajustar el cálculo de los datos utilizando diferentes percentiles de acuerdo con sus necesidades.

La aplicación no solo permite analizar los KPIs, sino que también permite analizar los tiempos no productivos desglosados por categoría, crear una secuencia operativa a seguir para el pozo tipo, así como el análisis del tiempo normal y la probabilidad de la ocurrencia de determinados riesgos. La App 2, al analizar cuál es la cronología de actividades que siguen la mayoría de los pozos propone al usuario una secuencia de operaciones, la cual puede ser modificada dependiendo de las necesidades del nuevo pozo y del cliente, así como la ingeniería de detalle.

Para este caso me limité a la demostración del cálculo de los KPIs ya que los siguientes pasos para el análisis de los pozos de correlación están fuera del alcance de los trabajos que realicé.

## 4. Resultados

Durante las prácticas, se publicaron 96 pozos en español e inglés. Para cada pozo, se procesaron los reportes diarios de perforación proporcionados por distintos ingenieros del equipo. Cuando se presentaba un nuevo proyecto, las empresas contratantes ofrecían información sobre pozos vecinos o proyectos anteriores. Solo podía realizar mi trabajo si recibía los reportes diarios de perforación.

Aunque otros documentos, como los reportes de barrenas o estudios adicionales, no eran esenciales para la aplicación, revisarlos era una buena práctica. Los reportes de barrena, en particular, ayudaban a identificar problemas operativos no descritos en los reportes diarios, siendo útiles cuando estos no eran claros. La clasificación de cada pozo permitió a los ingenieros conocer los tiempos operativos y elegir los pozos más similares a un "pozo tipo" para el análisis de nuevos proyectos. No todos los pozos de un mismo proyecto eran utilizados para este análisis.

La siguiente tabla resume el progreso que tuve, donde pude publicar distintos pozos de la región de Latinoamérica, África y Europa, lo que fue una gran oportunidad para conocer la jerga con la que se conocen distintas operaciones o herramientas en otros países, así como la oportunidad de trabajar con pozos de aguas profundas donde las operaciones son más complicadas.

TABLA 3. POZOS PUBLICADOS EN EL PERIODO

País	Pozos Publicados
País 1	34
País 2	29
País 3	5
País 4	2
País 5	3
País 6	11
País 7	1
País 8	4
País 9	7
<b>Total</b>	<b>96</b>

Para poder realizar el control de calidad era necesario tener un conocimiento técnico de cuáles son las operaciones que se llevan a cabo en la perforación de un pozo, debía conocer el nombre de las herramientas y operaciones en español como en inglés. Para la mayoría de los que inician sus prácticas el reaprender los términos técnicos en inglés es un reto muy grande y un proceso que puede llevar mucho tiempo.

En lo particular, fue un gran reto publicar pozos de México. La cantidad de NPTs que se presentan es mucha, los cuales pueden ir desde pérdidas de circulación, atrapamientos de sartas o inclusive cierre de las instalaciones por manifestaciones o presencia de grupos criminales. El estar en contacto con pozos de México fue un gran enriquecimiento para muchas técnicas para resolver problemas operativos que difícilmente se abordan en la escuela y también porque el leer cada actividad me acerca un poco más a lo que es perforar un pozo en la realidad.

Este trabajo también me enseñó la importancia de conocer las herramientas y operaciones en inglés, ya que, aunque los Reportes Diarios de Perforación puedan estar en español, muchas herramientas son reportadas con su nombre en inglés.

## 5. Conclusiones

Es evidente que la sistematización de los datos es crucial para que las empresas puedan optimizar sus procesos de análisis y planeación, ayudando a los ingenieros a reducir significativamente los tiempos destinados a tareas repetitivas y de menor valor. La automatización del análisis de grandes volúmenes de información, como los reportes diarios de perforación, es una necesidad imperante en la industria, y el uso de tecnologías como la inteligencia artificial representa una oportunidad para acelerar estos procesos.

La aplicación desarrollada en este trabajo, que permite extraer automáticamente datos valiosos de los reportes de perforación, es un paso adelante en esta dirección. Sin embargo, aún queda un largo camino por recorrer, ya que muchos otros pasos del proceso, tanto previos como posteriores al uso de la aplicación, permanecen manuales.

Los ingenieros debemos seguir buscando formas de automatizar más etapas del flujo de trabajo para dedicar nuestro tiempo a tareas de mayor valor, como el análisis profundo de los datos extraídos. La adopción de nuevas herramientas y la participación de todos los integrantes de un equipo disciplinario para alcanzar la automatización son fundamentales, es por lo que comencé con la creación de programas en VBA que pudieran hacer más eficientes mis tiempos de trabajo y los de los futuros practicantes.

Finalmente, es nuestra responsabilidad colaborar estrechamente con los desarrolladores de nuevas tecnologías para mejorar y adaptar continuamente estas herramientas. Solo con este enfoque colaborativo lograremos alcanzar una operación óptima, donde la automatización de procesos se convierta en el estándar, liberando tiempo y recursos que pueden ser redirigidos hacia la innovación y la eficiencia.

## Bibliografía

¿Qué es el Procesamiento de Lenguaje Natural (NLP)? (2023). Obtenido de AWS:

<https://aws.amazon.com/es/what-is/nlp/>

Adams, N. (1984). *Introduction to Well Planning* (Vol. 2). (L. Lake, Ed.) SPE Petroleum Engineering Handbook.

Akoum, M. ,, & Kumar, P. (2019). *Big Data Insight towards Well planning, A case study*. Artículo presentado en la Abu Dhabi International Petroleum Exhibition & Conference, Abu Dhabi, UAE, Noviembre 2019. doi: <https://doi.org/10.2118/197530-MS>.

Barakat, M., Abu El Ela, M., & Khalaf, F. (2020). *Integrating risk management concepts into the drilling non-productive time*.

Hoffiman, J., Mao, Y., Wesley, A., & Taylor, A. (2018). *Sequence Mining and Pattern Analysis in Drilling Reports with Deep Natural Language Proceesing*. Artículo presentado en el SPE Annual Technical Conference and Exhibition, 24-26 Septiembre, Dallas, Texas, USA.: SPE-191505-MS. doi:10.2118/191505-MS.

Krygier, N., Solarin, A., & Orozova, I. (2020). *A Drilling Company's Perspective on Non-Productive Time NPT Due to Well Stability Issues*. Artículo presentado en la SPE Norway Subsurface Conference, Virtual, November 2020. doi: <https://doi.org/10.2118/200732-MS>.

Project Management Institute. (2013). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge* (5 ed.). Newton Square, Pennsylvania: Project Management Institute.

Salveindran, A., Wesley, A. C., & Pirela, H. (2020). *Smart Custom Well Design Based On Automated Offset Well Analysis*. Artículo presentado en la SPE Annual Technical Conference and Exhibition, Virtual, Octubre 2020. doi: <https://doi.org/10.2118/201590-MS>.

Santarelli, F., Zaho, S., Burrafato, G., Zausa, F., & Giacca, D. (1997). Wellbore-Stability Analysis Made Easy and Practical. *SPE Drill & Compl 12* , 212–218.

Sidahmed, M., Coley, C., & Shirzardi, S. (2015). *Augmenting Operations Monitoring by Mining Unstructured Drilling Reports*. Artículo presentado en la SPE Digital Energy Conference and Exhibition, The Woodlands, Texas, USA, Marzo 2015. doi: <https://doi.org/SPE-173429-MS>.