



Instituto
Europeo
de Posgrado

SISTEMA IA PARA OPTIMIZACIÓN DE PRODUCCIÓN EN POZOS PETROLEROS

Trabajo fin de estudio presentado por:	Joe Alexander Guerrero Merino
Tipo de trabajo:	Proyecto final
Director/a:	Fabricio Echeverría
Fecha:	25-03-2026

Índice

1	Resumen	3
2	Abstract	3
3	Introducción	4
3.1	Objetivo General	4
3.2	Objetivos Específicos	4
3.3	Metodología	4
3.3.1	Identificación y Análisis del Problema	5
3.3.2	Planificación de la Solución	5
4	Identificación y descripción un problema al interior de la organización	7
4.1	Descripción de la empresa a intervenir	8
4.1.1	Misión	8
4.1.2	Visión	8
4.1.3	Mapa de procesos	8
4.1.4	Descripción del proceso a intervenir	9
4.1.5	Descripción del problema que presenta el proceso	10
5	Establecimiento de planes de acción para la solución del problema	12
5.1	Establecimiento de objetivos	12
5.2	Descripción de la solución	12
5.3	Secuencia de actividades para ejecución de la solución	13
5.4	Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución	15
6	Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos. 18	
6.1	Alcance final de la solución	18
6.2	Identificación de responsables de las actividades para ejecución	18
6.3	Cronograma de ejecución	19
6.4	Presupuesto	20
7	Referencias bibliográficas	21

1 Resumen

El proyecto busca el desarrollo y planificación de un sistema basado en inteligencia artificial que sea capaz de obtener las condiciones operativas ideales de los pozos petroleros. Actualmente, estos presentan inconvenientes con su productividad debido a distintos factores, entre los cuales se encuentra la falta de una herramienta especializada para un análisis completo de todo el entorno y variables que intervienen en el proceso. Por lo que establece la propuesta de un sistema capaz de analizar las condiciones y el contexto de operación de los pozos involucrados, y presentar como resultados los parámetros de trabajo ideales que maximizarán la producción de petróleo y reducirán el consumo energético.

La metodología del trabajo combina el ámbito operacional y el estadístico para realizar predicciones óptimas con la ayuda de modelos de machine learning para la interpretación de los datos y otras herramientas para la presentación e interpretación de los resultados.

En conclusión, este proyecto se enfoca en la aplicación de la inteligencia artificial en el sector petrolero, demostrando su potencial para transformar los procesos productivos mediante el uso estratégico de los datos y la automatización de la toma de decisiones.

Palabras clave: Petróleo, Machine Learning, Estadística

2 Abstract

The project aims the development and planning of an artificial intelligence-based system capable of improving the operational conditions of oil wells. Currently, these wells present productivity issues due to various factors, including the lack of a specialized tool that enables a comprehensive analysis of the entire operational environment and the variables involved in the process. Therefore, we establish a proposal of a system that can analyze the operating conditions and context of the wells involved, and provide as output the optimal operating parameters to enhance and maximize oil production while improving energy efficiency.

The work methodology combines both operational and statistical approaches to generate optimal predictions through the use of machine learning models for data interpretation, along with additional tools for the visualization and analysis of results.

In conclusion, this project focuses on an application of artificial intelligence in the oil and gas sector, demonstrating its potential to transform production processes through the strategic use of data and the automation of decision-making.

Keywords: Petroleum, Machine Learning, Statistics

3 Introducción

Este proyecto de aplicación en investigación-acción se centró en la identificación y resolución de las variaciones de producción de los pozos petroleros en la empresa Petrocom, permitiendo integrar teoría y práctica en un entorno real. Mediante un enfoque de investigación-acción, se desarrollaron habilidades de diagnóstico, análisis y planificación orientadas a mejorar la eficiencia y efectividad de un proceso crítico en la organización. La estructura del proyecto incluyó una revisión exhaustiva del contexto organizacional y la implementación de una solución factible que responde a las necesidades de la organización y optimiza su desempeño.

3.1 Objetivo General

El objetivo principal del proyecto fue desarrollar una solución operativa al problema de las variaciones de producción de los pozos petroleros en la empresa Petrocom. La intervención se orientó no solo a corregir el problema identificado, sino también a proporcionar una propuesta sostenible que pudiera integrarse a la estructura de la organización, elevando los niveles de eficiencia y alcanzando los estándares de desempeño requeridos en el proceso intervenido.

3.2 Objetivos Específicos

Para cumplir con el objetivo general, se establecieron tres objetivos específicos:

1. Realizar una identificación detallada del problema en su contexto organizacional, determinando causas raíz y evaluando su impacto en el desempeño general del proceso.
2. Diseñar un plan de acción estructurado con objetivos claros, actividades específicas y recursos definidos para la ejecución de la solución.
3. Establecer el alcance de la intervención, definiendo responsables, cronograma y presupuesto, para asegurar que la implementación sea organizada y efectiva.

3.3 Metodología

El proyecto se desarrolló mediante la metodología de investigación-acción, la cual facilitó la colaboración continua entre el equipo de estudiantes y docente asesor. Esta metodología permitió un enfoque sistemático para identificar problemas, formular hipótesis y aplicar soluciones en un contexto real, ajustando las estrategias conforme se avanzaba en el proyecto. La investigación-acción proporcionó un marco flexible y participativo para ejecutar el proyecto de manera estructurada, generando una intervención bien fundamentada y con alto potencial de impacto.

El desarrollo del proyecto se estructuró en tres etapas secuenciales, cada una de las cuales abordó un aspecto específico de la intervención. En la primera etapa, se identificó y analizó el problema organizacional, incluyendo una descripción detallada de la organización, su misión, visión y el proceso específico afectado. La segunda etapa se centró en la planificación de la solución, estableciendo objetivos y actividades concretas para abordar el problema. En la tercera fase, se definieron aspectos operativos como el cronograma, el presupuesto y la asignación de roles.

3.3.1 Identificación y Análisis del Problema

En la primera etapa, se realizó un análisis exhaustivo de la organización y del contexto en el cual se desarrolla el proceso afectado. Se documentó el problema identificando sus causas raíz, efectos y puntos críticos que afectaban el desempeño del proceso. Este diagnóstico inicial fue esencial para estructurar la solución y asegurar que la intervención respondiera de manera precisa a las necesidades de la organización.

Se aplicaron de manera complementaria dos enfoques metodológicos: diagnóstico operacional y diagnóstico estadístico.

En el ámbito operacional, se realizó el análisis del comportamiento productivo de los pozos mediante la revisión periódica de indicadores de operación, como la producción diaria de petróleo, la variación de la presión de fondo (BHP), la eficiencia de las bombas de fondo y los principales parámetros de operación del sistema (presión y flujo).

Con el fin de establecer resultados de manera más objetiva, se desarrolló un diagnóstico estadístico de los datos históricos de producción y variables operativas. Con ello se buscó identificar tendencias, correlaciones y posibles desviaciones en el desempeño de los pozos.

El resultado de analizar todos estos datos permitió la evaluación de la relación entre las condiciones operativas y el rendimiento productivo de los pozos. Se identificó que varios pozos operados por la empresa Petrocom presentan pérdidas significativas de producción asociadas a ineficiencias operativas y a la variabilidad en los parámetros de operación del sistema de bombeo.

3.3.2 Planificación de la Solución

En la segunda etapa, se desarrolló un plan de acción detallado que incluyó la definición de objetivos específicos y una secuencia de actividades que permitiría mitigar o resolver el problema identificado. Esta fase incluyó el diseño de una estrategia de ejecución organizada y estructurada que facilitará el logro de los objetivos propuestos y maximizará la eficiencia del proceso intervenido. La planificación detallada de actividades y recursos fue clave para asegurar una implementación precisa y efectiva.

3.3.2.1 Definición de Alcance y Recursos

La tercera etapa se enfocó en delimitar el alcance de la intervención y los recursos necesarios. Se establecieron responsables para cada actividad, y se elaboró un cronograma de ejecución para controlar el avance de la implementación. Asimismo, se desarrolló un presupuesto que detalló los costos asociados a cada fase, permitiendo optimar la asignación de recursos. Esta fase aseguró que todas las variables críticas estuvieran alineadas para una ejecución sin interrupciones.

Instituto Europeo de Posgrado ©

4 Identificación y descripción un problema al interior de la organización

Petrocom es una compañía dedicada a la explotación de petróleo en distintas locaciones de América Latina. Dentro de su estructura organizacional, el área de Operaciones de Producción es responsable de supervisar el desempeño y condiciones de trabajo de los pozos y sistemas, y garantizar la estabilidad de la producción diaria de petróleo manteniendo una elevada eficiencia.

El sistema principal utilizado para la extracción de petróleo, son las bombas electrosumergibles (ESP), las cuales permiten extraer el fluido desde el fondo del pozo hasta la superficie mediante un sistema motorizado de alta eficiencia (Takacs, 2009). El desempeño de este sistema depende de varios factores, entre ellos la frecuencia de operación de la bomba, la presión de fondo del pozo, el caudal de producción y las condiciones del fluido.

A partir del análisis de los datos históricos de producción, se identificó que varios pozos presentan una disminución significativa en su eficiencia productiva, la cual se evidencia con una caída drástica en la tasa de producción diaria de petróleo y un aumento en la variabilidad del desempeño operativo. Este comportamiento sugiere que los pozos y sistemas relacionados no están operando en sus condiciones óptimas.

Entre las principales causas raíz identificadas se encuentran:

- Parámetros de operación de las bombas sintonizados en función de un análisis principalmente establecido por el factor humano.
- Análisis poco profundo al no ser capaz de establecer una relación que abarque todos los factores de operación.
- Cambios en las condiciones de los pozos que no son considerados debido a factores externos.

Estas condiciones generan efectos sobre el desempeño del proceso de extracción:

- Reducción en la tasa de producción de petróleo.
- Incremento en el consumo energético del sistema de bombeo.
- Operación ineficiente de los equipos.
- Mayor desgaste de los equipos.
- Aumento del riesgo de fallas operativas.

En consecuencia, la organización experimenta pérdidas económicas asociadas a la baja producción de los pozos y al incremento en los costos operativos. Esto genera un impacto negativo en los indicadores de desempeño del área de producción y en los objetivos estratégicos de la empresa.

Por las razones mencionadas, surge la necesidad de desarrollar herramientas avanzadas de análisis que permitan identificar patrones en los datos operacionales y determinar las condiciones óptimas de operación de los pozos, con el fin de aumentar considerablemente la eficiencia del sistema de extracción y la producción de petróleo (Shawish et al., 2021; Syed et al., 2020).

4.1 Descripción de la empresa a intervenir

4.1.1 Misión

Desarrollar proyectos de exploración y producción de petróleo de manera eficiente, segura y sostenible, mediante el uso de tecnología avanzada y prácticas operativas responsables, maximizando el valor de sus recursos energéticos mediante la automatización y mejora de los procesos productivos mientras mantiene altos estándares de seguridad y cuidado ambiental.

4.1.2 Visión

Liderar la producción eficiente y sostenible de petróleo, con reconocimiento por la innovación tecnológica, el desarrollo continuo de sus procesos productivos y su compromiso con la seguridad y el cuidado ambiental. Petrocom aspira a ser un referente en la implementación de soluciones avanzadas de análisis de datos e inteligencia artificial para maximizar la eficiencia de los pozos petroleros y el valor de sus activos.

4.1.3 Mapa de procesos

En la Figura 1 se presenta el mapa de procesos de Petrocom, el cual muestra de manera estructurada las actividades principales que permiten el funcionamiento de la organización, clasificadas en tres grandes categorías: procesos estratégicos, procesos misionales y procesos de apoyo.

La sección superior del mapa de procesos presenta los procesos estratégicos que definen la dirección y las políticas de la empresa. Estos incluyen la planificación estratégica, la gestión de activos petroleros, la innovación y transformación digital, así como la gestión de seguridad y cumplimiento de normativas.

En la sección intermedia se indican los procesos misionales, que representan el ámbito comercial de la empresa y están directamente relacionados con la generación de valor.

Dentro de estos se encuentran la exploración y evaluación de reservorios, la construcción de pozos, la producción de petróleo, el transporte y manejo de crudo. En este nivel se desarrolla el proceso productivo principal de la organización.

En la sección inferior se encuentran los procesos de apoyo, que proporcionan los recursos y servicios para el correcto funcionamiento de las operaciones. Entre ellos destacan la gestión de mantenimiento de equipos, la gestión de tecnología y sistemas de información, la gestión del talento humano y la gestión financiera.

El mapa de procesos permite visualizar cómo las diferentes áreas de la organización interactúan entre sí para garantizar una operación eficiente. Esto también facilita la identificación de puntos de crecimiento dentro del proceso.

Figura 1

Mapa de procesos de Petrocom



4.1.4 Descripción del proceso a intervenir

Uno de los procesos más relevantes para que Petrocom alcance sus objetivos es la producción de petróleo en la cual interviene el área de operaciones de la empresa. Los cambios y actualizaciones buscan garantizar que los pozos petroleros operen bajo condiciones que permitan la extracción de crudo de manera óptima, manteniendo la eficiencia energética y la integridad de los equipos de producción.

Dentro de este proceso se realiza el monitoreo continuo de las variables operativas de los pozos, como la producción diaria de petróleo, la presión de fondo del pozo, la presión en cabeza, la frecuencia de operación de las bombas (ESP), el consumo energético y otros parámetros relevantes para la operación del sistema de extracción.

Posteriormente, los ingenieros encargados, analizan esta información y evalúan el desempeño del pozo para determinar si los parámetros de operación deben ser ajustados. La sintonización de parámetros suele incluir modificaciones en la frecuencia de operación de la bomba, cambios en las condiciones de producción o la aplicación de estrategias operativas que permitan controlar y definir las mejores condiciones del sistema como la adición de un compresor de gas para nivelar la presión dinámica del pozo.

El análisis del personal encargado genera criterios basados en la experiencia, apoyados por herramientas básicas de monitoreo y reportes históricos de producción. Sin embargo, debido a la gran cantidad de variables involucradas y a la complejidad del sistema, la capacidad de identificar patrones en los datos y de determinar de manera precisa las condiciones óptimas de operación es limitada. Por esta razón, no se alcanza un punto óptimo de operación en los sistemas de extracción, generando pérdidas de producción, mayor consumo energético y un incremento en el desgaste de los equipos.

La implementación planteada representa una oportunidad de desarrollo mediante el uso de herramientas avanzadas de análisis de datos e inteligencia artificial, que permitan el análisis de grandes volúmenes de datos para lograr identificar patrones de comportamiento en los pozos y generar recomendaciones para la parametrización de manera objetiva y totalmente empírica (Bravo et al., 2014; Mohaghegh, 2017).

La intervención propuesta en este proyecto se enfoca en fortalecer este proceso mediante el desarrollo de modelos de inteligencia artificial que apoyen la toma de decisiones operativas (Agrawal et al., 2018), contribuyendo al incremento en la producción de los pozos y el desempeño general del sistema de producción.

4.1.5 Descripción del problema que presenta el proceso

La producción de petróleo en Petrocom presenta limitaciones que afectan el desempeño y la eficiencia al reducir de manera drástica la cantidad de barriles de petróleo generados al día. Actualmente, no existe un método de análisis de las condiciones de operación de los pozos y toma de decisiones que considere absolutamente todas las variables involucradas debido a la complejidad del sistema, por lo que las decisiones son basadas en la experiencia del personal técnico y en datos básicos de operación.

La falta de herramientas dificulta el análisis de la gran cantidad de variables que influyen en el comportamiento productivo de los pozos, tales como la presión de fondo, la frecuencia de operación de las bombas (ESP), el consumo energético, el caudal de producción y otras condiciones operativas del sistema (Takacs, 2009; Lea et al., 2008). Debido a esto, se complica identificar de manera precisa las configuraciones óptimas de operación y anticipar posibles desviaciones en el desempeño del sistema sin utilizar herramientas tecnológicas que faciliten este proceso.

En consecuencia, se genera una disminución en la eficiencia del proceso productivo que se evidencia en la reducción progresiva de la producción diaria de petróleo, el incremento en el consumo energético de los equipos y una mayor variabilidad en el desempeño de los sistemas de bombeo.

En resumen, el problema en este proceso se centra en la ausencia de mecanismos analíticos avanzados que permitan analizar de forma eficiente los datos operacionales de los pozos y apoyar la toma de decisiones para la optimización de la producción (Shawish et al., 2021).

Instituto Europeo de Posgrado ©

5 Establecimiento de planes de acción para la solución del problema

Con el fin de establecer las soluciones óptimas al problema identificado, es necesario seguir un plan de acción, el cual será desarrollado en el transcurso de esta etapa. Para ello se establecerán los distintos objetivos a alcanzar y los pasos para lograrlos, identificando los recursos necesarios y la manera de utilizarlos.

5.1 Establecimiento de objetivos

Objetivo general:

Desarrollar e implementar un sistema basado en inteligencia artificial para el análisis y definición de los parámetros de operación óptimos para la producción de los pozos petroleros a cargo de Petrocom.

Objetivos específicos:

- Establecer patrones de comportamiento de los pozos petroleros mediante el análisis de datos históricos y variables de operación.
- Establecer un modelo de inteligencia artificial capaz de realizar predicciones precisas de la producción de los pozos petroleros según los parámetros de operación establecidos.
- Desarrollar un sistema con la capacidad de establecer los parámetros óptimos de operación.
- Mediante el análisis de datos, mejorar el sistema y proceso para la toma de decisiones.
- Incrementar la producción de petróleo y reducir el consumo energético.

5.2 Descripción de la solución

Para solventar el inconveniente de la baja producción de los pozos petroleros es necesario desarrollar e implementar un sistema de análisis basado en inteligencia artificial que permita evaluar las condiciones operativas de los pozos petroleros y su desempeño, con el fin de entregar los parámetros y condiciones de operación recomendables para alcanzar un punto óptimo de eficiencia y productividad.

El sistema a desarrollar utilizará como objeto de análisis todos los datos históricos y operativos de los pozos petroleros (la producción diaria de petróleo, la presión de fondo del pozo, la frecuencia de operación de las bombas, el consumo energético y otras

variables relevantes). Utilizando distintos métodos de análisis y modelos de aprendizaje automático como el uso de redes neuronales (De la Cruz R., 2024; James et al., 2021), el sistema tendrá la capacidad de identificar los diferentes patrones de comportamiento y las relaciones de las variables entre sí, para lograr entregar una respuesta que optimice el proceso.

Al implementar una herramienta con las funciones mencionadas, se abordan directamente las causas detectadas para el surgimiento del problema, puesto que esta será una herramienta avanzada para el análisis y mejora de las condiciones operativas de los pozos petroleros mediante una solución inteligente que logrará abarcar todos los aspectos y variables relacionadas al sistema de producción.

5.3 **Secuencia de actividades para ejecución de la solución**

En la Tabla 1 se presenta la secuencia de actividades planteadas para alcanzar los objetivos establecidos cumpliendo con el plan de acción.

Tabla 1

Secuencia de actividades para la ejecución del plan de acción

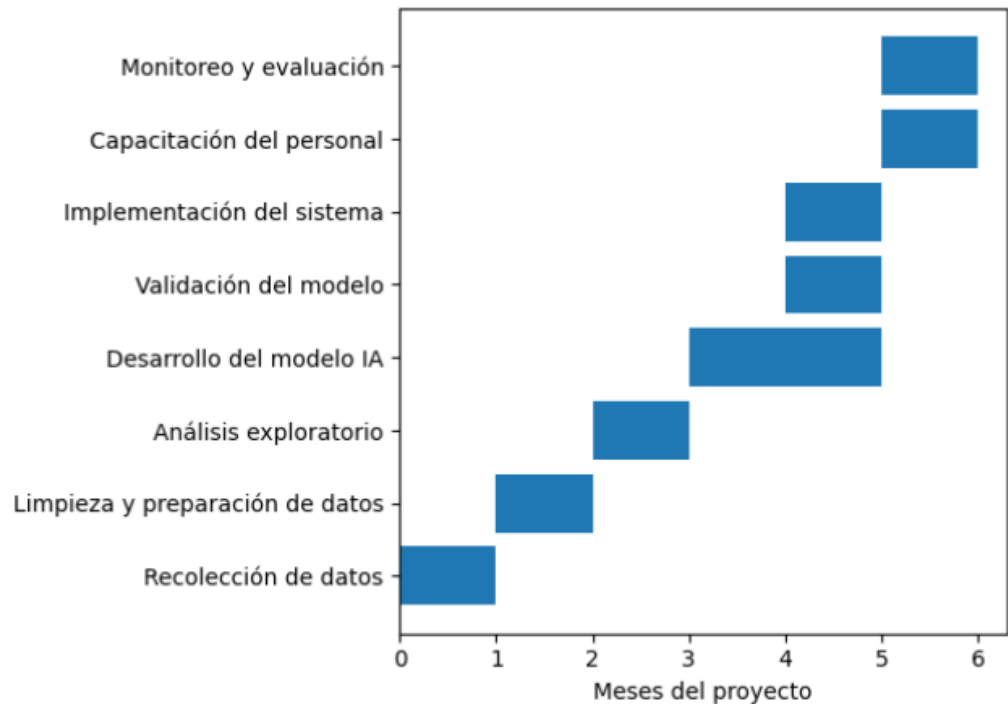
Fase	Actividad	Descripción	Recursos Humanos	Recursos Tecnológicos	Recursos Materiales/Financieros
1	Recolección de datos operativos	Recopilación de información histórica de los pozos, incluyendo producción, presión de fondo, frecuencia de operación de bombas y consumo energético.	Ingenieros de producción, analistas de datos	Bases de datos operacionales, sistemas SCADA	Infraestructura de almacenamiento de datos
2	Preparación y limpieza de datos	Depuración de los datos recopilados para eliminar inconsistencias, valores atípicos y registros incompletos.	Analistas de datos	Software de análisis de datos (Python, herramientas de ETL)	Equipos informáticos
3	Análisis exploratorio de datos	Identificación de patrones, correlaciones y tendencias entre las variables operativas y la producción de petróleo.	Científicos de datos	Herramientas de análisis estadístico y visualización	Equipos informáticos
4	Desarrollo del modelo de inteligencia artificial	Creación y entrenamiento de modelos predictivos que	Científicos de datos, ingenieros de IA	Plataformas de machine learning	Infraestructura computacional

Fase	Actividad	Descripción	Recursos Humanos	Recursos Tecnológicos	Recursos Materiales/Financieros
		permitan estimar el comportamiento productivo de los pozos.			
5	Validación del modelo	Evaluación del desempeño del modelo mediante pruebas con datos históricos para verificar su precisión y confiabilidad.	Científicos de datos	Herramientas de validación de modelos	Recursos computacionales
6	Implementación del sistema de recomendación	Integración del modelo desarrollado en una herramienta que permita generar recomendaciones operativas.	Ingenieros de software, ingenieros de producción	Sistemas de análisis de datos, plataformas de visualización	Desarrollo de interfaz de usuario
7	Capacitación del personal	Entrenamiento del personal técnico en el uso del sistema de análisis y en la interpretación de los resultados generados.	Especialistas en IA, ingenieros de producción	Plataformas de capacitación	Recursos para formación
8	Monitoreo y evaluación del desempeño	Seguimiento continuo del impacto del sistema implementado en la producción de los pozos.	Ingenieros de producción, analistas de datos	Sistemas de monitoreo de producción	Recursos operativos

Una vez definidas las distintas fases, es necesario establecer los tiempos en un cronograma, por lo que en la Figura 2, se presenta un diagrama de Gantt indicando tiempos aproximados para cada etapa del desarrollo del sistema de análisis inteligente.

Figura 2

Cronograma de implementación de sistema IA



5.4 Descripción de recursos necesarios para la ejecución de la solución

Para el correcto desarrollo del sistema de inteligencia artificial y seguimiento de los pasos establecidos, es necesario mantener la disponibilidad de los recursos presentados en la Tabla 1.

Los recursos humanos son fundamentales debido a la necesidad de participación de profesionales especializados en distintos campos. Además, la habilidad y experticia humana, debe ir acompañada de las herramientas tecnológicas adecuadas. Entre estas destacan Python con librerías como Scikit-learn (Pedregosa et al., 2011), XGBoost (Chen y Guestrin, 2016) y TensorFlow o PyTorch (Goodfellow et al., 2016). Para el desarrollo de este proyecto se requieren las herramientas indicadas en la Tabla 2. Finalmente, los recursos materiales y financieros completan la implementación del sistema como se muestra en la Tabla 3.

Tabla 2

Herramientas tecnológicas óptimas

Área tecnológica	Herramienta	Ventajas principales	Uso
Captura de datos industriales	AVEVA PI System	Estándar de la industria para almacenamiento de datos de procesos industriales	Almacenamiento de datos de sensores de pozos
Captura de datos industriales	Aspen InfoPlus.21	Plataforma para recopilar, almacenar y analizar grandes volúmenes de datos de procesos en tiempo real	Base de datos histórica para análisis de producción
Sistemas de monitoreo	Siemens WinCC	Supervisión y control de procesos industriales	Captura de variables operativas de los pozos
Sistemas de monitoreo	Wonderware SCADA	Integración con múltiples sistemas industriales	Monitoreo de presión, temperatura y flujo
Procesamiento de datos	Python	Amplio ecosistema para ciencia de datos y machine learning	Procesamiento y análisis de datos
Procesamiento de datos	Pandas	Manipulación eficiente de grandes conjuntos de datos	Limpieza y transformación de datos
Procesamiento de datos	NumPy	Cálculo numérico eficiente	Cálculos matemáticos y modelado
Machine Learning	Scikit-learn	Modelos predictivos fáciles de implementar	Predicción de producción
Machine Learning	XGBoost	Alto rendimiento en modelos predictivos	Optimización de parámetros de operación
Deep Learning	TensorFlow	Desarrollo de redes neuronales avanzadas	Modelos complejos de predicción
Deep Learning	PyTorch	Muy usado en investigación y desarrollo	Modelos avanzados de comportamiento del pozo
Analítica industrial	Seeq	Plataforma especializada para análisis de datos industriales y series temporales	Identificación de patrones en variables operativas
Visualización	Power BI	Dashboards interactivos	Monitoreo de producción y recomendaciones
Visualización	Tableau	Visualización avanzada de datos	Reportes para ingenieros de producción
Infraestructura cloud	Microsoft Azure Machine Learning	Implementación de modelos de IA a escala	Entrenamiento y despliegue de modelos
Infraestructura cloud	AWS SageMaker	Desarrollo y despliegue de modelos ML	Automatización de modelos predictivos

En la Tabla 3 se presenta la matriz de recursos del proyecto, en la cual se atribuyen los recursos necesarios a cada una de las actividades que se deben desarrollar para conseguir los objetivos propuestos.

Tabla 3

Matriz de recursos del proyecto

Actividad	Recursos humanos	Recursos tecnológicos	Recursos materiales	Recursos financieros
Recolección de datos operativos	Ingeniero de producción, analista de datos	Sistema SCADA, bases de datos industriales	Sensores de presión, flujo y temperatura	Costos de acceso y almacenamiento de datos
Limpieza y preparación de datos	Científico de datos, analista de datos	Python, Pandas, NumPy	Estaciones de trabajo	Licencias de software o herramientas de análisis
Análisis exploratorio de datos	Científico de datos	Python, herramientas de visualización (Power BI, Tableau)	Equipos informáticos	Recursos para análisis y procesamiento
Desarrollo del modelo de IA	Científico de datos, ingeniero de IA	Scikit-learn, XGBoost, TensorFlow o PyTorch	Servidores o infraestructura cloud	Costos de infraestructura computacional
Validación del modelo	Científico de datos, ingeniero de producción	Plataformas de machine learning	Equipos de cómputo	Recursos para pruebas y simulaciones
Implementación del sistema	Ingeniero de software, ingeniero de datos	APIs, Python, bases de datos SQL	Servidores, sistemas de integración	Costos de desarrollo e integración
Capacitación del personal	Especialista en IA, ingeniero de producción	Plataformas de capacitación y visualización	Material de capacitación	Costos de formación del personal
Monitoreo y evaluación	Ingeniero de producción, analista de datos	Dashboards (Power BI, Grafana)	Sistemas de monitoreo	Recursos para seguimiento operativo

6 Definición del alcance de la solución, partes interesadas, cronograma y presupuestos.

6.1 Alcance final de la solución

Con la solución implementada se espera conseguir un sistema con la capacidad de procesar y analizar los datos históricos del proceso de extracción de petróleo (Mohaghegh, 2017). Tras evaluar las condiciones que se reflejan en la información adquirida, el sistema deberá entregar la mejor configuración de parámetros operativos para alcanzar la máxima efectividad y productividad de los pozos petroleros. Estos resultados serán medibles en la tasa de producción, flujo de crudo, eficiencia y curva de trabajo de las bombas, etc.

Adicionalmente, se deberá realizar una capacitación para todas las personas que intervienen en el proceso productivo, de tal forma que sean capaces de interpretar de manera correcta la información proporcionada por el sistema y realizar las implementaciones y correcciones necesarias para cumplir con el objetivo la nueva herramienta en los procesos de producción.

Es importante aclarar que la opción propuesta no contempla modificaciones físicas en el sistema de producción, como cambios en las bombas, manejo de presión de anulares u otros cambios estructurales que complementarían al sistema proporcionado. Por lo tanto, el enfoque se establece netamente en el análisis de variables medibles.

Los resultados esperados contemplan la mejora en la productividad de los pozos, la reducción en el consumo energético y disminución en la variabilidad de las condiciones de operación de los pozos petroleros (Shawish et al., 2021; Syed et al, 2020).

6.2 Identificación de responsables de las actividades para ejecución

Para lograr que la implementación del sistema se efectúe de manera óptima, es necesaria la participación coordinada de distintas áreas y actores, cada uno con sus responsabilidades designadas.

Para una clara identificación de las actividades de cada persona, se muestra en la Tabla 4 la matriz utilizando la metodología RACI.

- R (Responsible): Responsable directo de ejecutar la actividad.
- A (Accountable): Responsable final de la actividad (toma de decisiones).
- C (Consulted): Proporciona asesoramiento o información.

- I (Informed): Debe ser informado del avance o resultados.

Tabla 4

Matriz de responsabilidades

Actividad	Gerente de operaciones	Ingeniero de producción	Científico de datos	Ingeniero de software	Analista de datos	Personal operativo
Definición del alcance	A	C	C	I	I	I
Recolección de datos	I	R	C	I	R	C
Limpieza y preparación de datos	I	C	R	I	R	I
Análisis exploratorio de datos	I	C	R	I	R	I
Desarrollo del modelo de IA	I	C	R	C	C	I
Validación del modelo	I	R	R	I	C	I
Implementación del sistema	I	C	C	R	C	I
Desarrollo de dashboard	I	C	C	R	R	I
Capacitación del personal	A	R	C	C	I	R
Monitoreo y evaluación	A	R	C	I	R	C

6.3 Cronograma de ejecución

La duración estimada del proyecto es de 6 meses, en los cuales se irán desarrollando las actividades planteadas de manera secuencial.

Inicialmente se realizará la adquisición de datos operativos de los distintos pozos relacionados con la implementación, para posteriormente realizar la limpieza y preparación de los datos. Con un dataset ya bien estructurado, se continuará con el análisis exploratorio para identificar los patrones de comportamiento generados.

A continuación, se desarrollará el modelo predictivo y su validación para proceder a implementarlo y capacitar al personal correspondiente. Finalmente, se llevará a cabo una etapa de monitoreo para corroborar el correcto funcionamiento del sistema implementado.

Tabla 5

Cronograma de actividades

Actividad	Mes 1	Mes 2	Mes 3	Mes 4	Mes 5	Mes 6
Definición del alcance y planificación	X					
Recolección de datos operativos	X					
Limpieza y preparación de datos		X				
Análisis exploratorio de datos			X			
Desarrollo del modelo de IA				X	X	
Validación del modelo					X	
Implementación del sistema					X	
Desarrollo de dashboard					X	
Capacitación del personal						X
Monitoreo y evaluación						X

6.4 Presupuesto

Los distintos recursos involucrados en la implementación del sistema en cuestión requieren de una inversión monetaria para lograr mantenerse, por lo que es necesario desarrollar un presupuesto como el establecido en la Tabla 6, que indica los costos relacionados a la implementación y desarrollo del proyecto.

Tabla 6

Presupuesto

Categoría	Descripción	Costo estimado (USD)
Recursos humanos	Equipo técnico especializado	12,000
Infraestructura tecnológica	Servidores / cloud	5,000
Software	Licencias y herramientas	3,000
Capacitación	Formación del personal	2,000
Integración	Desarrollo e implementación	4,000
Contingencias	Ajustes y riesgos	2,000
Total		28,000 USD

7 Referencias bibliográficas

- Agrawal, A., Gans, J., & Goldfarb, A. (2018). Prediction machines: The simple economics of artificial intelligence. Harvard Business Review Press.
- Bravo, C., Saputelli, L., Rivas, F., Pérez, A. G., Nikolaou, M., Zangl, G., De Guzman, N., Mohaghegh, S., & Nunez, G. (2014). State of the art of artificial intelligence and predictive analytics in the E&P industry: A technology survey. *SPE Journal*, 19(4), 547–563. <https://doi.org/10.2118/167996-PA>
- Chen, T., y Guestrin, C. (2016). XGBoost: A scalable tree boosting system. En *Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining* (pp. 785–794). ACM. <https://doi.org/10.1145/2939672.2939785>
- De la Cruz, R. (2024). Estudio de la aplicación de técnicas de inteligencia artificial en la optimización de procesos en la industria petrolera. Repositorio Facultad de Ingeniería. <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/RepoFi/19551>.
- Goodfellow, I., Bengio, Y., & Courville, A. (2016). Deep learning. MIT Press. <https://www.deeplearningbook.org>
- James, G., Witten, D., Hastie, T., & Tibshirani, R. (2021). An introduction to statistical learning: With applications in R (2.ª ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-0716-1418-1>
- Kemmis, S., McTaggart, R., & Nixon, R. (2014). The action research planner: Doing critical participatory action research. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-4560-67-2>
- Lea, J. F., Nickens, H. V., & Wells, M. R. (2008). Gas well deliquification: Solutions to gas well liquid loading problems (2.ª ed.). Gulf Professional Publishing.
- Mohaghegh, S. D. (2017). Shale analytics: Data-driven analytics in unconventional resources. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-48753-3>
- Pedregosa, F., Varoquaux, G., Gramfort, A., Michel, V., Thirion, B., Grisel, O., Blondel, M., Prettenhofer, P., Weiss, R., Dubourg, V., Vanderplas, J., Passos, A., Cournapeau, D., Brucher, M., Perrot, M., & Duchesnay, E. (2011). Scikit-learn: Machine learning in Python. *Journal of Machine Learning Research*, 12, 2825–2830. <https://www.jmlr.org/papers/v12/pedregosa11a.html>
- Shawish, Mohamed & Burgan, Taha & Jellah, Alfitouri. (2021). Applications of Artificial Intelligence and Machine Learning in Petroleum Engineering: A Review.
- Syed, Fahad Iqbal & Alshamsi, Mohammed & Dahaghi, Amirmasoud & Neghabhan, Shahin. (2020). Artificial lift system optimization using machine learning applications. *Petroleum*. 8. 10.1016/j.petlm.2020.08.003.

Takacs, Gabor. (2009). Electrical Submersible Pumps Manual. 10.1016/B978-1-85617-557-9.X0001-2.

Instituto Europeo de Posgrado ©