

## ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

**Inteligencia artificial: solución de problemas de producción de campo en pozos petroleros con bombas sumergibles.**

**Artificial intelligence: solving field production problems in oil wells with submersible pumps.**

**DOI:** <https://doi.org/10.61154/metanoia.v11i1.3755>

Manolo Alexander Córdova Suárez <sup>1</sup>

Juan Carlos Córdova Suárez <sup>2</sup>

Rashel Jamileth Gavilanes Montalvan <sup>3</sup>

Cristyam Fabián Guzmán López <sup>4</sup>

<sup>1</sup> **E- mail:** [manolo.cordova@unach.edu.ec](mailto:manolo.cordova@unach.edu.ec) **Afiliación:** Universidad Nacional de Chimborazo, Chimborazo, Riobamba, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/000-0001-6786-7926>

<sup>2</sup> **E- mail:** [juan.cordova@bakerhughes.com](mailto:juan.cordova@bakerhughes.com) **Afiliación:** Baker Hughes, Quito, Pichincha, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0008-1464-9595>

<sup>3</sup> **E- mail:** [rashel.gavilanes@unach.edu.ec](mailto:rashel.gavilanes@unach.edu.ec) **Afiliación:** Universidad Nacional de Chimborazo, Chimborazo, Riobamba, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/0009-0006-5208-2812>

<sup>4</sup> **E- mail:** [chrystiam.guzman@bakerhughes.com](mailto:chrystiam.guzman@bakerhughes.com) **Afiliación:** Baker Hughes, Quito, Pichincha, Ecuador. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5715-3137>

Recibido: 15/09/2024

Revisado: 03/11/2024

Aprobado: 25/11/2024

Publicado:01/01/2025

## RESUMEN

La aplicación de Inteligencia Artificial en el área petrolera es factible para resolver problemas de campo y responder rápidamente a dificultades de producción con Bombas Electro Sumergibles. Se desarrolló una herramienta técnica o ChatBot utilizando técnicas de Inteligencia Artificial y procesamiento de Lenguaje Natural para apoyar al personal de campo y operaciones en el diagnóstico del comportamiento de pozos petroleros que utilizan Levantamiento Artificial con Bombas Electro Sumergibles y Variadores de Frecuencia. Se empezó recopilando datos sobre Sistemas de Levantamiento Artificial. Las soluciones recopiladas fueron de: a) dimensionamiento, b) instalación, c) puesta en marcha y d) operación. Luego se creó una matriz de comportamiento para el entrenamiento del ChatBot considerando: a) los principales problemas en el sistema y b) cambios en el Flujo, Presión y Temperatura de las partes afectadas del sistema de Bombeo Electro Sumergible. Para completar la capacitación de la herramienta ChatBot, se incluyeron soluciones en las etapas de reparación del Sistema de Variador de Frecuencia. El desarrollo de la herramienta ChatBot consideró el uso de la Plataforma Dialogflow de Google para procesamiento de Lenguaje Natural y finalmente se capacitó la herramienta ChatBot incluyendo: a) Saludo, b) Consultas, c) Sección de Variadores de Frecuencia, d) Diagnóstico del pozo y e) Inapropiado. frases. Se obtuvo una práctica herramienta ChatBot SMARTVSDbot que incluye la solución interactiva de los principales problemas de producción de petróleo en levantamiento artificial con Bombas Electro Sumergibles y actualmente es utilizada por el 84% de los usuarios de Baker Hughes.

**DESCRIPTORES:** Inteligencia Artificial, Petróleo, Bomba.

## ABSTRACT

The application of Artificial Intelligence in the oil area is feasible to solve field problems and quickly respond to production difficulties with Electro Submersible Pumps. A technical tool or ChatBot was developed using Artificial Intelligence techniques and Natural Language Processing to support field and operations personnel in diagnosing the behavior of oil wells that use Artificial Lift with Electro Submersible Pumps and Variable Frequency Drives. The first

step was to collect data on Artificial Lift Systems. The solutions collected were: a) sizing, b) installation, c) start-up and d) operation. A behavior matrix was then created for training the ChatBot considering: a) the main problems in the system and b) changes in Flow, Pressure and Temperature of the affected parts of the Electro Submersible Pumping system. To complete the training of the ChatBot tool, solutions were included in the repair stages of the Variable Frequency Drive System. The development of the ChatBot tool considered the use of Google's Dialogflow Platform for Natural Language Processing and finally the ChatBot tool was trained including: a) Greeting, b) Queries, c) Variable Frequency Drives Section, d) Well Diagnosis and e) Inappropriate phrases. A practical ChatBot SMARTVSDbot tool was obtained that includes the interactive solution of the main oil production problems in artificial lift with Electro Submersible Pumps and is currently used by 84% of Baker Hughes users.

**DESCRIPTORS:** Artificial Intelligence, Oil, Bomb.

## INTRODUCCIÓN

La pérdida de producción de petróleo por paros en el funcionamiento normal de los Sistema de Levantamiento Artificial que utiliza Bombas Electro Sumergibles es muy frecuente y sus consecuencias generan pérdidas económicas considerables. Aunque el uso de Bombas Electro Sumergibles se consideran una buena alternativa por: a) su capacidad de mover grandes volúmenes de petróleo desde grandes profundidades b) fácil aplicación y c) mantener buenas tasas de producción, su configuración es vulnerable a fallos cuando el fluido incrementa la cantidad de gas y arena (Gómez Veloz et al., 2012).

El sistema de Bombeo Electro Sumergible está compuesto por equipo de subsuelo y superficie. El equipo de fondo tiene: a) sensor, b) motor eléctrico, c) protector, d) separador de gas, e) manejador de gas, f) bomba centrífuga, g) etapas, y h) cable de potencia. El equipo de superficie esta formado por: a) cabezal, b) caja de venteo, c) variador de frecuencia, d) tablero, e) generador y f) línea de distribución.

Los problemas con el equipo más relevantes durante el armado son: a) golpes y b) caídas de

elementos. Por otro lado, en el ensamblaje se puede observar los siguientes problemas: a) falta de torque en los pernos de ensamble, b) caídas de accesorios al pozo y la c) aplicación de procedimientos técnicos inadecuados. En la corrida los problemas se pueden generar por: a) partes reparadas del casings, b) secciones con alto dogleg, c) diferentes diámetros en el casings, d) daños en el sensor, e) deformaciones del equipo, f) empalmes con demasiado espesor, g) equipos complementarios mal instalados (Quintero Bravo, 2018).

En la operación puede darse problemas como: a) cortocircuitos por excesivo consumo de corriente, b) fallas eléctricas por condiciones de humedad en el motor y el cable, c) desbalance de corriente, d) operación con una fase a tierra, e) excesivo número de arranques, f) taponamiento de las etapas por sólidos de los químicos, g) corrosión e incrustaciones, h) desgaste de la bomba, i) bloqueos por gas (AYALA et al., 2020). Además, se pueden presentar muchos problemas derivados de los análisis amperimétricos (FERRO, 2020).

En suma, los problemas que se generan en operación son más complicados de solucionar ya que el cliente exige un tiempo de reacción inmediato para no parar la producción. Por lo tanto, la respuesta de los técnicos de campo debe ser coordinada con los departamentos y personas adecuadas para la toma de decisiones precisas y certeras y reintegrar el servicio. A veces los daños ocurren en horas y turnos no compartidos por el personal adecuado lo que complica la situación. Por esto muchas empresas están adoptando el uso de herramientas tecnológicas modernas basadas en Inteligencia Artificial que faciliten la solución de problemas de producción de manera positiva. Así mismo, el diseño de estas herramientas requiere de una investigación profunda de los parámetros que inciden en la respuesta deseada. Por lo tanto, se debe escoger los datos de entrada y salida en una matriz lógica de comportamiento que considere: a) los principales problemas en el sistema y b) cambios en el Flujo, Presión y Temperatura de las partes afectadas del sistema de Bombeo Electro Sumergible (Alonso et al., 2009).

Esta investigación considera el uso de la Plataforma Dialogflow de Google para procesamiento de Lenguaje Natural y campos interactivos de Inteligencia Artificial que incluya como salida: a) Saludo, b) Consultas, c) Sección de Variadores de Frecuencia, d) Diagnóstico del pozo y e)

Uso inapropiado de procedimientos en el desarrollo de una aplicación llamada ChatBot SMARTVSDbot. La base de alimentación de la herramienta fue tomada del departamento de ingeniería de Baker Hughes, así como la prueba y mejora de esta.

## **MATERIALES Y METODOS**

Diseño de la Herramienta ChatBot SMARTVSDbot con Inteligencia Artificial. La construcción de la herramienta ChatBot SMARTVSDbot empezó con la recopilación de datos sobre Sistemas de Levantamiento Artificial a partir de una base de conocimientos para resolver problemas de producción con equipos de fondo y equipos de superficie de un Sistema de Bombeo Electro Sumergible operados por Baker Hughes. Aunque los problemas se pueden dar en todas las etapas de fabricación de un sistema de levantamiento artificial, las fases que se pueden solucionar antes del traslado de los elementos preensamblados a campo para su instalación no se consideran como prioritarios. La herramienta ChatBot SMARTVSDbot se diseñó considerando un árbol de decisiones en función de la base del conocimiento. Además. Incluye el procesamiento del Lenguaje Natural mediante Google Assistant que incluye: a) traducción automática, b) Asistentes visuales, c) Reconocimiento de voz, d) Recuperación de información y e) Extracción de información y resúmenes (Moreira et al., 2021). Este asistente no solo ejecuta ordenes por comandos de voz, sino que tienen interacción con los usuarios en forma autónoma, conversaciones y en el caso presente como un sistema experto en sistemas de Levantamiento Artificial. El proceso de desarrollo de ChatBot SMARTVSDbot utiliza Dialogflow que incorpora Intents para priorizar el objetivo a alcanzar según la respuesta que espera recibir del asistente, más que a la propia intención del usuario (Reyes et al., 2019). Esto significa que ChatBot SMARTVSDbot realiza un entrenamiento en base a intentos de búsqueda o de posibles preguntas que el usuario pueda usar. Luego se verificó como ChatBot SMARTVSDbot se desempeña con los usuarios midiendo los tiempos de uso y consecuencia de preguntas. Además, ChatBot SMARTVSDbot cuenta con un apartado para mantenimiento en caso de actualización de de procedimientos, retroalimentación de usuarios o uso de nuevas tecnologías usadas por Baker Hughes.

Variables dinámicas y matriz de comportamiento. Identificados los puntos críticos derivados

de la revisión de registros de bitácoras e informes de problemas resueltos del departamento de Ingeniería, se desarrolló la matriz de comportamiento utilizando la ponderación de cada interacción con la siguiente escala: a) uno o nula afectación, b) dos o leve afectación, c) tres o comportamiento normal, d) cuatro o daño fuerte e) cinco o daño severo. En la tabla 1 se observa la tabla con las entradas de los problemas en los componentes y los parámetros de funcionamiento que afectan y que se consideró en ChatBot SMARTVSDbot.

**Tabla 1.** Matriz de comportamiento en armado y operación de Bombas Electro Sumergibles

Ítem	Q	PC	IM	PI	PD	TM	DP	TI	V
CN	CN	CN	CN	CN	CN	CN	CN	CN	CN
ER	X	X	X	X	X	X	X	CN	CN
HT	X	X	X	X	X	X	X	CN	CN
BGE	X	X	X	X	X	X	X	CN	X
BP	X	X	X	X	X	X	CN	CN	CN
ICA	X	X	X	X	X	CN	CN	X	CN
VCC	X	X	X	X	X	X	X	CN	CN
BEB	X	X	X	X	X	X	X	CN	CN
IPR	X	X	X	X	X	CN	X	CN	CN
IGB	X	X	X	X	X	X	X	CN	X
IF	X	X	X	X	X	X	X	CN	CN
VCA	X	X	CN	X	X	CN	X	CN	CN

**Nota:** CN=Comportamiento Normal, ER= Eje Roto, HT= Hueco en Tubería, BGE= Bloqueo de Gas en Entrada de Bomba, BP=Bloqueo en Perforados, ICA= Incremento Corte de Agua, VCC= Válvula de Cabezal Cerrado, BEB= Bloqueo en etapas de Bomba, IPR= Incremento Presión en Reservorio, IGB= Incremento de Gas Libre en Bomba, IF= Incremento de Frecuencia, VCA= Válvula de Cabezal Abierta. Q= Caudal, PC= Presión de Cabeza, IM= Intensidad Motor, PI=Presión Intake, PD= Presión de Descarga, TM= Temperatura de Motor, DP= Incremento Presión, TI= Temperatura Intake, V= Volumen fluido.

## RESULTADOS

Resultado de análisis de Variables dinámicas y matriz de comportamiento. Luego se la revisión de información especializada de las bitácoras de Ingeniería de Baker Hughes, en la tabla 2 se muestra las variables determinantes para solucionar problemas en el armado y operación de Sistemas de Levantamiento Artificial de petróleo, necesarias para el diseño de la herramienta ChatBot SMARTVSDbot.

**Tabla 2.** Resultado Matriz de comportamiento en armado y operación de Bombas Electro Sumergibles

Ítem	Q	PC	IM	PI	PD	TM	DP	TI	V
CN	3	3	3	3	3	3	3	3	3
ER	1	1	1	5	1	2	5	3	3
HT	2	2	2	4	2	2	1	3	3
BGE	2	2	2	4	2	2	1	3	4
BP	2	2	4	2	2	2	3	3	3
ICA	2	2	4	4	4	3	3	4	3
VCC	1	5	5	5	5	2	5	3	3
BEB	2	2	2	4	2	2	2	3	3
IPR	4	2	2	4	4	3	2	3	3
IGB	2	2	2	4	2	2	2	3	
IF	5	5	5	1	5	5	5	3	3
VCA	5	1	3	1	1	3	1	3	3

**Nota:** CN=Comportamiento Normal, ER= Eje Roto, HT= Hueco en Tubería, BGE= Bloqueo de Gas en Entrada de Bomba, BP=Bloqueo en Perforados, ICA= Incremento Corte de Agua, VCC= Válvula de Cabezal Cerrado, BEB= Bloqueo en etapas de Bomba, IPR= Incremento Presión en Reservorio, IGB= Incremento de Gas Libre en Bomba, IF= Incremento de Frecuencia, VCA= Válvula de Cabezal Abierta. Q= Caudal, PC= Presión de Cabeza, IM= Intensidad Motor, PI=Presión Intake, PD= Presión de Descarga, TM= Temperatura de Motor, DP= Incremento Presión, TI= Temperatura Intake, V= Volumen fluido.

En la Tabla 3 se muestran los resultados de las fallas o alarmas identificables en el Variador de Frecuencia consideradas en el desarrollo de la herramienta ChatBot SMARTVSDbot.

**Tabla3.** Fallas de Variadores de Frecuencia consideradas en ChatBot SMARTVSDbot.

Alarma	Descripción	Comentario
Phases B Pos IOT	Falla por IOT	Cambio de tarjeta
Motor STALL	Falla cable de superficie	Falla de cable superficie
Converter fault RCB2	Shutdown por Generación	Falla en generador
Under Voltage Shutdown	Shutdown por Generación	Shutdown generador

En la figura 1 se observa el resultado de ChatBot SMARTVSDbot en uso. La imagen muestra la interacción con el agente, el usuario solicita el soporte para diagnosticar el comportamiento de un pozo dando un valor sugerido a las variables según la matriz de comportamiento, llegando a un diagnóstico en este caso de hueco en tubería, por que presenta una baja producción, incremento de la Pip, aumento en la temperatura del motor.

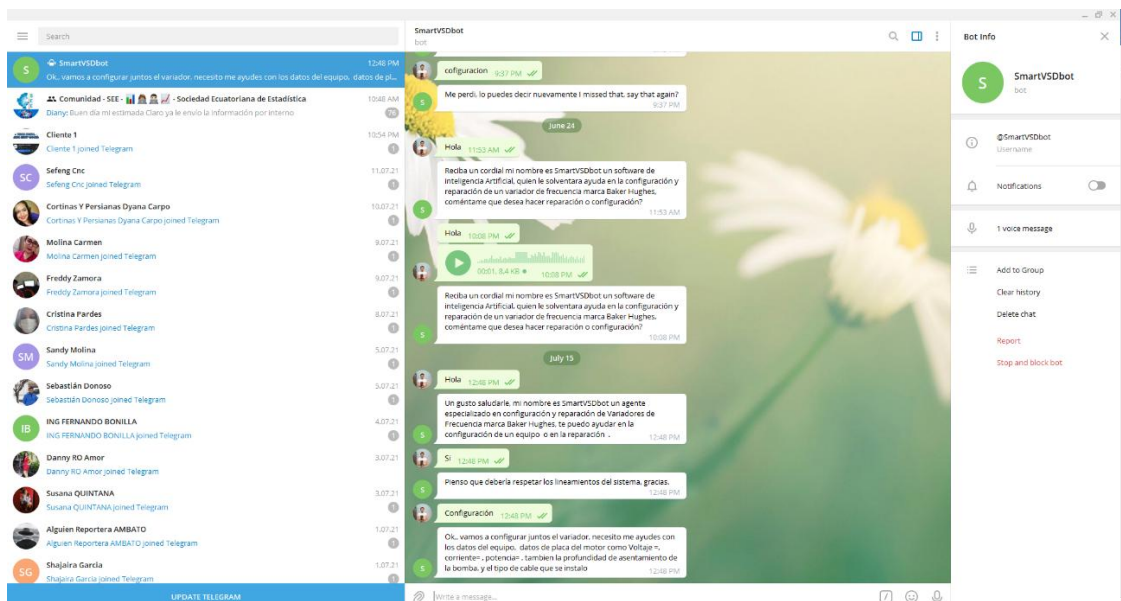


Figura1. ChatBot SMARTVSDbot. Adaptado de Baker Hughes (2023)

El registro de interacciones entre usuarios y ChatBot SMARTVSDbot muestra como resultados



una ecuación lineal:  $Y = 0.264 + 0.9546X$ , siendo Y las sesiones y X las interacciones con ChatBot SMARTVSDbot.

## DISCUSIÓN

De los registros estadísticos del ChatBot SMARTVSDbot se observa que un 28% de usuarios no están acostumbrados a iniciar una conversación de manera formal con saludo inicial, sino directamente a las preguntas ya que la búsqueda de información hace que se elimine el formalismo del concepto de una conversación habitual. La literatura sobre el desarrollo de estas aplicaciones en levantamiento artificial de petróleo es limitada ya que en este mercado de servicios la información de uso de tecnología es sensible por propiedad intelectual y el posible uso de ideas de los competidores. Se encuentra trabajos sobre uso de Inteligencia artificial para detectar fallas mecánicas en equipos (Garavito Arenas), mejorar índice de producción (Camargo et al., 2007), pero no para solución de problemas en campo.

## CONCLUSIONES

La aplicación ChatBot SMARTVSDbot para solución de problemas con levantamiento artificial de petróleo muestra un 84% de usuarios que encontraron respuesta luego de su uso. La matriz de comportamiento en armado y operación de Bombas Electro Sumergibles para el desarrollo de ChatBot SMARTVSDbot como solución a problemas de campo, indica un 25,9% de interacciones con consecuencias muy fuertes y daños severos que podrían no solo causar pérdidas de producción si no también paros de producción.

Las respuestas registradas entre sesiones e interacciones de los usuarios y ChatBot SMARTVSDbot indica un comportamiento lineal y un coeficiente de correlación de 1 lo que indica que la herramienta es prometedora.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso, M. d. I. A., de la Cruz, A. V., & Barceló, G. J. I. (2009). Pronóstico para la inyección de tenso-activos en pozos de petróleo a partir de una metodología que integra técnicas de inteligencia artificial y minería de datos. *34*(10), 703-709.
- AYALA, S. A., JIJÓN, P. F., & AYALA, D. R. J. R. E. I. (2020). Análisis de operación de bombas eléctricas sumergibles (BES) para determinar su relación con fallas mecánicas por sobreproducción. *798*, 1015.
- Camargo, E., Aguilar, J., Rios, A., & Rivas, F. (2007). Instrumentación Inteligente para mejorar la producción en Pozos por Levantamiento Artificial por Gas. Congreso Iberoamericano Cusco, Perú,
- FERRO, M. D. (2020). *DESARROLLO DE UN SOFTWARE DE ANÁLISIS PREDICTIVO PARA LA DETECCIÓN TEMPRANA DE TENDENCIAS QUE OCASIONEN FALLAS Y CONSIDERACIONES PARA LA PREVENCIÓN DE ESTOS EFECTOS EN BOMBAS ELECTROSUMERGIBLES* UNIVERSIDAD DE AMÉRICA].
- Garavito Arenas, F. A. Inteligencia artificial como herramienta en la detección de fallas en los equipos de levantamiento mecánico en la industria petrolera.
- Gómez Veloz, I. P., Montilla Cedeño, A., & Regalado Morán, E. B. (2012). *Análisis de los problemas operacionales durante la corrida de un equipo electrosumergible* ESPOL. FIEC.].
- Moreira, D., Cruz, I., Gonzalez, K., Quirumbay, A., Magallan, C., Guarda, T., . . . Castillo, C. J. R. I. d. S. e. T. d. I. (2021). Análisis del Estado Actual de Procesamiento de Lenguaje Natural. (E42), 126-136.
- Quintero Bravo, M. G. (2018). *Análisis Técnico Económico Para Mejorar El Arranque De Las Bombas Electrosumergibles Después De Un Trabajo De Reacondicionamiento* Quito, 2018.].
- Reyes, R., Garza, D., Garrido, L., De la Cueva, V., & Ramirez, J. (2019). Methodology for the implementation of virtual assistants for education using Google dialogflow. *Advances in Soft Computing: 18th Mexican International Conference on Artificial Intelligence, MICAI 2019, Xalapa, Mexico, October 27–November 2, 2019, Proceedings 18*

©2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>)