



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**TEMA:**

**“REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA DETERMINAR  
CARTAS DINAMOMÉTRICAS PARA EL CAMPO GUSTAVO  
GALINDO VELASCO”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**EDDIE FRANCISCO TANDAZO FLORES**

**HENRY NELSON ASECNCIO VILLÓN**

**TUTORA:**

**ING. MARLLELIS DEL VALLE GUTIÉRREZ HINESTROZA, PhD.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2021**

**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**

**FACULTAD CIENCIAS DE LA INGENIERÍA**

**CARRERA INGENIERÍA EN PETRÓLEO**

**TEMA:**

**“REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA DETERMINAR  
CARTAS DINAMOMÉTRICAS PARA EL CAMPO GUSTAVO  
GALINDO VELACO”**

**TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR**

**AUTORES:**

**EDDIE FRANCISCO TANDAZO FLORES**

**HENRY NELSON ASENCIO VILLÓN**

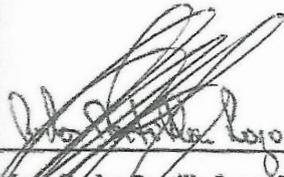
**TUTORA:**

**ING. MARLLELIS DEL VALLE GUTIÉRREZ HINESTROZA, PhD.**

**LA LIBERTAD – ECUADOR**

**2022**

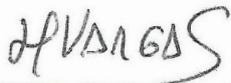
# TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



**Ing. Carlos Portilla Lazo, PhD.**  
DIRECTOR DE LA CARRERA  
DE PETROLEOS



**Ing. Marlelis Gutiérrez Hiestroza, PhD.**  
DOCENTE TUTOR



**Ing. Xavier Vargas Gutiérrez, PhD.**  
DOCENTE ESPECIALISTA



**Lcda. Erica Lorenzo García, PhD.**  
SECRETARIA DEL TRIBUNAL

## DEDICATORIA

*A **Dios**, por darme fortaleza, sabiduría, paciencia, por guiarme, bendecirme y enriquecer mi alma.*

*A **mi querido Padre**, por tanto, sacrificio, apoyo y confianza que me ha dado por todos estos años lejos de él, por ese cariño, por de alguna manera sacarme adelante a pesar de tantas adversidades que hemos cruzado, gracias por nunca perder la confianza, gracias a ti querido padre.*

*A **mis queridos ángeles, Maurita, Eduardo Ramón, Abuelito Eddie y Tía Judith Efigenia**, por su cariño y amor que me han brindado, este logro es para ustedes.*

*A una persona en especial, la vida hizo lo suyo en ponerla en mi camino, gracias por tanto cariño, paciencia y amor en los momentos más difíciles que tuve, gracias, **Joselyn Anthonella**.*

*Eddie Francisco Tandazo Flores*

*Dedico el presente trabajo de investigación a **Dios**, por darme la vida, sabiduría, salud, paciencia y perseverancia para culminar mi etapa universitaria.*

*A mi **papá**, por brindarme la oportunidad de tener una educación e inculcarme la disciplina y valores que me han ayudado a desenvolverme en lo social, formando un hombre de bien, siendo mi ejemplo a seguir en lo profesional.*

*A mi **mamá**, por brindarme su apoyo y amor condicional en cada etapa de mi vida, agradecido por sus buenos consejos, enseñanzas y por estar en los momentos que más la necesitaba, motivándome seguir adelante.*

*A mi **abuelita**, por ser mi segunda mamá, la cual admiro demasiado por su fe inquebrantable hacia Dios y por ser ejemplo de superación de vida.*

*A mi **prometida**, por llegar a mi vida en un momento inesperado, brindándome su amor, cariño, comprensión y paciencia, donde gracias a sus palabras de aliento, me incentivaban a seguir en lucha, transformándose en unas de mis fuentes de inspiración para llegar hasta mi objetivo.*

*Henry Nelson Asencio Villón*

# CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO

En calidad de tutora del trabajo de investigación para titulación del tema “**Redes Neuronales Artificiales para Determinar Cartas Dinamométricas para el campo Gustavo Galindo Velasco**”, elaborado por los estudiantes Eddie Francisco Tandazo Flores y Henry Nelson Asencio Villón, egresados de la Carrera de Ingeniería en Petróleo; de la Facultad de Ciencias de la Ingeniería; me permito declarar que una vez analizado en el sistema antiplagio URKUND; luego de haber cumplido con los requerimientos exigidos de valoración, la presente tesis, se encuentra con 3% de la valoración permitida.



The screenshot shows the URKUND interface with the following details:

Document	<a href="#">Redes Neuronales-docx</a> (D127273929)
Submitted	2022-02-07 10:35 (-05:00)
Submitted by	marllelis.gutierrez (mgutierrez@upse.edu.ec)
Receiver	mgutierrez.upse@analysis.orkund.com

3% of this approx. 12 pages long document consists of text present in 3 sources.



Firmado electrónicamente por:

MARLELIS  
DEL VALLE  
GUTIERREZ  
HINESTROZA

---

**Ing. Marllelis Del Valle Gutiérrez Hinestroza**

DOCENTE TUTOR

## **DECLARACIÓN DE AUTORIA**

Yo, **Eddie Francisco Tandazo Flores** con **C.I. 0704621044**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado **“Redes Neuronales Artificiales para Determinar Cartas Dinamométricas para el campo Gustavo Galindo Velasco”**, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en Petróleo, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual correspondiente a este trabajo; a la **UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucionalmente vigente.



---

**Eddie Francisco Tandazo Flores**

C.I. 0704621044

Yo, **Henry Nelson Asencio Villón** con C.I. **0928414911**, declaro bajo juramento que el presente trabajo de titulación denominado “**Redes Neuronales Artificiales para Determinar Cartas Dinamométricas para el campo Gustavo Galindo Velasco**”, no tiene antecedentes de haber sido elaborado en la Facultad de Ciencias de la Ingeniería en Petróleo, lo cual es un trabajo exclusivamente inédito y perteneciente a mi autoría.

Por medio de la presente declaración cedo los derechos de autoría y propiedad intelectual correspondiente a este trabajo; a la **UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA**, según lo establecido por la ley de propiedad intelectual, por su reglamento y por la normativa institucionalmente vigente.



---

**Henry Nelson Asencio Villón**

C.I. 0928414911

# CERTIFICACIÓN DEL TUTOR

Ing. Marllelis Del Valle Gutiérrez Hinestroza; PhD.

**TUTORA DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA

En mi calidad de Tutor del presente **“Redes Neuronales Artificiales para Determinar Cartas Dinamométricas para el campo Gustavo Galindo Velasco”**, previo a la obtención del Título de Ingeniero en Petróleo, elaborado por estudiantes Eddie Francisco Tandazo Flores y Henry Nelson Asencio Villón, egresados de la Carrera de Petróleo, Facultad de Ciencias de la Ingeniería de la Universidad Estatal Península de Santa Elena, me permito declarar que luego de haber orientado, estudiado y revisado, lo apruebo en todas sus partes.



Firmado electrónicamente por:

MARLELIS  
DEL VALLE  
GUTIERREZ  
HINESTROZA

---

**Ing. Marllelis Del Valle Gutiérrez Hinestroza**

TUTORA

# CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA

Lcdo. Dennys Mauricio Panchana Yagual, Mgtr.

*Celular: 0939211033*

*Correo: [dennys.panchana@educacion.gob.ec](mailto:dennys.panchana@educacion.gob.ec)*

## CERTIFICACIÓN GRAMATICAL Y ORTOGRÁFICA

Yo, DENNYS MAURICIO PANCHANA YAGUAL, en mi calidad de LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN Y MAGÍSTER EN ADMINISTRACIÓN Y **LIDERAZGO EDUCACIONAL**, por medio de la presente tengo a bien indicar que he leído y corregido el Trabajo de Integración Curricular a la obtención del Título de Ingeniero en petróleos, denominado **“REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA DETERMINAR CARTAS DINAMOMÉTRICAS PARA EL CAMPO GUSTAVO GALINDO VELACO”**, de los estudiantes: **EDDIE FRANCISCO TANDAZO FLORES** y **HENRY NELSON ASECIO VILLÓN**.

Certifico que está redactado con el correcto manejo del lenguaje, claridad en las expresiones, coherencia en los conceptos e interpretaciones, adecuado empleo en la sinonimia. Además de haber sido escrito de acuerdo a las normas de ortografía y sintaxis vigentes.

Es cuánto puedo decir en honor a la verdad y autorizo a los interesados hacer uso del presente como estime conveniente.

Santa Elena, 03 de febrero del 2022



Lcdo. Dennys Panchana Yagual, Mgtr.

CI. 0919400176

LICENCIADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN MAGISTER EN  
ADMINISTRACION Y LIDERAZGO EDUCACIONAL

N° DE REGISTRO DE SENEYCYT 1031-2018-1947613

## **AGRADECIMIENTO**

*A Dios, por cuidar de nosotros en cada momento, por darnos fortaleza en los tiempos más difíciles, por brindarnos la sabiduría por cada decisión tomada, por darnos paz y tranquilidad de haber logrado y cumplido nuestros sueños más anhelados y deseados de nuestra carrera.*

*A nuestros queridos padres, que gracias a su sacrificio y tan incondicional apoyo hemos logrado mucho, por forjar personas de bien con grandes valores y principios, que nos caracteriza a cada uno de nosotros, por habernos dado el don de valorar las cosas y aprovechar cada oportunidad que la vida nos da y con mucho sacrificio, poder conseguir nuestras sueños y metas que nos hemos propuesto.*

*A la Ing. Marllelis Del Valle Gutiérrez Hinestroza, por ser nuestra querida profesora en el transcurso del proceso de aprendizaje y tutora con darnos esa esperanza de poder realizar nuestro trabajo bajo su experiencia de vida, por dar y brindar ese apoyo, conocimiento y sabiduría incondicional que nos ayudó en poder realizar este trabajo de investigación.*

*Al Ing. Juan Freire, por darnos la oportunidad de poder trabajar y compartir a su lado tantas experiencias y a su vez, guiarnos tanto en nuestro trabajo de investigación, también a la empresa PacifPetrol.SA por brindarnos ese lugar entre tantas personas con mucha experiencia en el campo de nuestra carrera y así poder formarnos como futuros profesionales.*

# CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
<i>TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN</i> _____	<i>i</i>
<i>DEDICATORIA</i> _____	<i>ii</i>
<i>CERTIFICADO DE ANTIPLAGIO</i> _____	<i>iv</i>
<i>DECLARACIÓN DE AUTORIA</i> _____	<i>v</i>
<i>CERTIFICACIÓN DEL TUTOR</i> _____	<i>vii</i>
<i>CERTIFICADO DE GRAMATOLOGÍA</i> _____	<i>viii</i>
<i>AGRADECIMIENTO</i> _____	<i>ix</i>
<i>ÍNDICE DE FIGURAS</i> _____	<i>xiv</i>
<i>INDICE DE TABLAS</i> _____	<i>xv</i>
<i>INDICE DE ECUACIONES</i> _____	<i>xv</i>
<i>RESUMEN</i> _____	<i>xvi</i>
<i>ABSTRACT</i> _____	<i>xviii</i>
<i>CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN</i> _____	<i>1</i>
<i>1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</i> _____	<i>1</i>
<i>1.2 ANTEDECENTES</i> _____	<i>2</i>
<i>1.3 HIPÓTESIS</i> _____	<i>3</i>
<i>1.4 OBJETIVOS</i> _____	<i>3</i>
<i>1.4.1 Objetivo General.</i> _____	<i>3</i>
<i>1.4.2 Objetivos Específicos.</i> _____	<i>3</i>
<i>1.5 JUSTIFICACIÓN</i> _____	<i>3</i>
<i>1.6 ALCANCE</i> _____	<i>4</i>

1.7	<i>VARIABLES</i>	5
1.7.1	<i>Variable Independiente.</i>	5
1.7.2	<i>Variable Dependiente.</i>	5
<i>CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO</i>		6
2.1	<i>UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO</i>	6
2.2	<i>GEOLOGÍA DEL CAMPO</i>	6
2.3	<i>DESCRIPCIÓN DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO VELASCO</i>	7
2.4	<i>GENERALIDADES DEL BOMBEO MECÁNICO</i>	7
2.5	<i>DESCRIPCIÓN DEL BOMBEO MECÁNICO</i>	8
2.5.1	<i>EQUIPOS DE SUPERFICIE</i>	8
2.5.2	<i>UNIDAD DE BOMBEO</i>	9
2.5.3	<i>TIPOS DE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO</i>	9
2.6	<i>REDES NEURONALES ARTIFICIALES</i>	11
2.6.1	<i>VENTAJAS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES</i>	11
2.6.2	<i>DESVENTAJAS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES</i>	12
2.7	<i>DESCRIPCIÓN DE LAS NEURONAS ARTIFICIALES</i>	12
2.8	<i>TIPOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES</i>	13
2.8.1	<i>REDES DE CAPA SIMPLE – MONOCAPA</i>	13
2.8.2	<i>REDES MULTICAPA</i>	13
2.8.3	<i>RED NEURONAL RECURRENTE</i>	14
2.9	<i>FUNCIONES DE ACTIVACIÓN O DE TRANSFERENCIA</i>	15
2.9.1	<i>CARTAS DINAMOMÉTRICAS</i>	16
2.9.2	<i>INTERPRETACIÓN DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS</i>	16
2.9.3	<i>FACTORES QUE SE PRESENTAN EN LA TOMA DE UNA CARTA DINAMOMÉTRICA</i>	17

2.9.3.1	VELOCIDAD DE BOMBEO	17
2.9.3.2	PROFUNDIDAD DE BOMBEO	18
2.9.3.3	FUGAS EN LAS VÁLVULAS	18
2.9.3.4	VELOCIDAD DE BOMBEO EN SUPERFICIE	18
2.9.3.5	CARGA SOBRE EL PISTÓN	18
2.9.3.6	VIBRACIONES	18
2.9.3.7	RELACIÓN ALTA DE GAS PETRÓLEO	18
2.9.3.8	GOLPE DE FLUIDO	19
2.9.3.9	FRICCIÓN	19
2.9.4	PROBLEMAS QUE SE PUEDEN IDENTIFICAR CON LAS CARTAS DINAMOMÉTRICAS	19
2.9.4.1	BOMBEO NORMAL	19
2.9.4.2	BOMBA DESASENTADA	20
2.9.4.3	BOMBA BLOQUEADA POR GAS	20
2.9.4.4	VARILLAS SUELTAS O PARTIDAS	21
2.9.4.5	GOLPE DE FLUIDO	21
2.9.4.6	COMPRESIÓN DE GAS	22
2.9.4.7	FUGA EN LA VÁLVULA VIAJERA	22
2.9.4.8	VÁLVULA FIJA DAÑADA	23
2.9.4.9	GOLPE DEL PISTÓN AL FINAL DEL ASIENTO	23
2.9.4.10	POZO FLUYENDO	24
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA		25
3.1	METODOLOGÍA	25
3.1.1	HERRAMIENTAS A USAR	25
3.2	APLICACIÓN DE REDES NEURONALES	26
3.2.1	DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN	26
3.2.2	EVALUACIÓN Y VALORACIÓN	26
3.3	DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS	29
3.3.1	RECOPILACIÓN DE DATOS	30

3.3.2	<i>DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS</i>	30
3.4	<i>ESTRUCTURA Y DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS</i>	30
3.5	<i>PREPARACIÓN Y VALORACIÓN DE LA RED</i>	31
3.6	<i>ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DEL PROTOTIPO</i>	33
	<i>CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS</i>	36
4.1	<i>ESTRUCTURA DE LA RED</i>	36
4.2	<i>MATRIZ DE DISTANCIA DE PESOS</i>	36
4.3	<i>DATOS DE ENTRADA</i>	36
4.4	<i>LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PHYTON</i>	39
4.5	<i>APROBACIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN</i>	39
4.6	<i>FUNCIONAMIENTO</i>	40
4.6.1	<i>IDENTIFICACIÓN DE ERROR</i>	42
4.7	<i>TRAYECTORIAS</i>	45
4.8	<i>PRONÓSTICO DEL COMPORTAMIENTO</i>	47
	<i>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</i>	48
5.1	<i>CONCLUSIONES</i>	48
5.2	<i>RECOMENDACIONES</i>	49
	<i>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	50
	<i>ANEXOS</i>	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1: Ubicación del campo Gustavo Galindo Velasco</i> .....	6
<i>Figura 2: Componentes Básicos del Sistema Artificial de Bombeo Mecánico</i> .....	9
<i>Figura 3: Estructura de una Neurona Artificial</i> .....	12
<i>Figura 4: Estructura de una Red Neuronal de Capa Única</i> .....	13
<i>Figura 5: Estructura de una Red Neuronal Artificial Multicapa</i> .....	14
<i>Figura 6: Realimentaciones de una RNA Recurrente de Capa Única (izquierda) y una RNA recurrente con neuronas ocultas (derecha)</i> .....	14
<i>Figura 7: Análisis de una Carta en un Bombeo Mecánico</i> .....	17
<i>Figura 8: Carta Dinamométrica por Bombeo Normal</i> .....	19
<i>Figura 9: Carta Dinamométrica por Bomba Desasentada</i> .....	20
<i>Figura 10: Carta Dinamométrica por Bloqueo por Gas</i> .....	20
<i>Figura 11: Carta Dinamométrica por Varillas Seltas o Partidas</i> .....	21
<i>Figura 12: Carta Dinamométrica por Golpe de Fluido</i> .....	21
<i>Figura 13: Carta Dinamométrica por Compresión de Gas</i> .....	22
<i>Figura 14: Carta Dinamométrica por Fuga en la Válvula</i> .....	22
<i>Figura 15: Carta Dinamométrica por Válvula Fija Dañada</i> .....	23
<i>Figura 16: Carta Dinamométrica por Golpe del Pistón</i> .....	23
<i>Figura 17: Carta Dinamométrica en un Pozo Fluyendo</i> .....	24

## INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1: PROPIEDADES DE ROCA – ANC 0550</i> .....	37
<i>Tabla 2: PROPIEDADES DE LA ROCA – CMA 0040</i> .....	37
<i>Tabla 3: PROPIEDADES DE LA ROCA – ANC 1646</i> .....	38
<i>Tabla 4: PROPIEDADES DE LA ROCA – ANCC 042</i> .....	38
<i>Tabla 5: RADIO DE INVESTIGACIÓN – ANC 0550</i> .....	40
<i>Tabla 6: RADIO DE INVESTIGACION – CMA 0040</i> .....	41
<i>Tabla 7: RADIO DE INVESTIGACIÓN – ANC 1646</i> .....	41
<i>Tabla 8: RADIO DE INVESTIGACIÓN – ANCC 042</i> .....	42

## INDICE DE ECUACIONES

<i>Ec. 1</i> .....	15
<i>Ec. 2</i> .....	15
<i>Ec. 3</i> .....	15
<i>Ec. 4</i> .....	15
<i>Ec. 5</i> .....	15
<i>Ec. 6</i> .....	34
<i>Ec. 7</i> .....	34

# **“REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA DETERMINAR CARTAS DINAMOMÉTRICAS PARA EL CAMPO GUSTAVO GALINDO VELASCO”**

**Autores:** Eddie Francisco Tandazo Flores

Henry Nelson Asencio Villón

**Tutora:** Ing. Marllelis Del Valle Gutiérrez Hinestroza

## **RESUMEN**

Este estudio consiste en una alternativa para la identificación y predicción, tanto cualitativamente y cuantitativamente, los problemas presentados en los equipos de subsuelo del sistema de bombeo mecánico, mostrados en cartas dinamo métricas de fondo, para que, de esta manera, poder establecer una metodología en el análisis de la información de 8 cartas dinamo métricas de los 4 pozos de la parroquia Ancón, proporcionada por la empresa PACIFPETROL.

Luego de realizar una recopilación y distribución manual de las cartas dinamo métricas, mediante una base de datos, se determinó si el problema es el apropiado para ser resuelto por medio de redes neuronales artificiales. Posteriormente se explica el proceso para obtener las características más significativas de cada carta dinamo métrica por medio del TWM (TOTAL WELL MANAGEMENT) ECHOMETER.

Se planeó y probó distintos algoritmos para obtener los distintos coeficientes de aproximación y detalles de las señales, para poder ser aplicados al entrenamiento de las redes neuronales de mapas auto organizados (SELF ORGANIZING MAPS (SOM)), siendo así capaz de realizar de una forma rápida la interpretación.

Los resultados de estas fases se adaptan al software final, que proporcionará: la identificación y predicción de forma rápida precisando los problemas de los equipos de bombeo mecánico para así poder minimizar los costos operacionales y de esa manera poder maximizar la producción de la industria.

**PALABRAS CLAVES:** Redes Neuronales – Sistema de Bombeo Mecánico – Cartas Dinamométricas – Mapas auto organizados

**“REDES NEURONALES ARTIFICIALES PARA DETERMINAR  
CARTAS DINAMOMÉTRICAS PARA EL CAMPO GUSTAVO  
GALINDO VELASCO”**

**Autores:** Eddie Francisco Tandazo Flores

Henry Nelson Asencio Villón

**Tutora:** Ing. Marllelis Del Valle Gutiérrez Hinestroza

**ABSTRACT**

The present research is qualitative and quantitative, this consists of an alternative to identify and predict dynamometer charts for Gustavo Galindo Velasco Ibarra field of the Ancon locality. In addition, a methodology is established for the analysis of the information of 8 dynamometer charts is provided by the company PACIFPETROL where the subsoil equipment of the mechanical pumping system presents issues of the 4 wells of the Ancon parish.

First, a manual collection and distribution of the dynamometric charts is made to form a database. Therefore, it was determined whether the issues are appropriate to be solved by means of artificial neural networks. Subsequently, the process to obtain the most significant characteristics of each dynamometric chart is explained by means of the TWM (TOTAL WELL MANAGEMENT) ECHOMETER.

Different algorithms were planned and tested to obtain different approximation coefficients and details of the signals to know if these can be applied to the training of the

neural networks of SELF ORGANIZING MAPS (SOM), obtaining the ability to quickly perform the interpretation.

The results of these phases are adapted to the final software that provides identification and prediction quickly and accurately; the issues of mechanical pumping equipment minimizing operational costs, and result be able to maximize the production of the industry.

**KEYWORDS:** Artificial Neural Networks – Mechanical Pumping System – Dynamometric Charts – Self Organizing Maps

# CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

## 1.1 PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La implementación de redes neuronales como Inteligencia Artificial tiene como objetivo realizar un diagnóstico mediante cartas dinámicas de bajo costo para el monitoreo permanente de las Unidades de Bombeo Mecánico.

Para lograr la efectividad deseada por las industrias petroleras, se ha implementado el uso de métodos que vienen de la mano con la automatización para mejorar los procesos.

En el campo de la ingeniería, en los últimos años se ha buscado la mejora continua, a diario salen a la luz nuevas investigaciones y tecnologías de cómo lograr reducir tiempo, tanto en la transformación de la materia prima, del mantenimiento de equipos y máquinas, disminuyendo los costos de producción y la sostenibilidad, todo esto se hace con el fin de aumentar la productividad.

La aplicación de modelos de redes neuronales se ejecutó en cuatro pozos de Ancón del campo Gustavo Galindo Velasco, se eligió para el análisis y síntesis de producción, ajustando los tiempos de reposo y operación de las UBM, mediante datos de aceleración y posición, estableciendo también condiciones de operación (golpe de fluido, interferencia de gas, llenado completo de bombas).

El campo Gustavo Galindo Velasco utiliza como principal método el levantamiento artificial para extraer el crudo con el bombeo mecánico, que es el más fácil y sencillo de utilizar por sus características, lo que resulta bastante monótono, son los problemas que se presentan en los equipos de fondo, lo que hace indispensable identificar estas dificultades en el menor tiempo posible y de forma acertada, haciendo uso de los métodos comprendidos en la Inteligencia Artificial.

Realizando un estudio, se determinará si las redes neuronales para el diagnóstico de cartas dinamométricas en el campo Gustavo Galindo Velasco es viable para la empresa PacifPetrol.

## **1.2 ANTEDECENTES**

El origen de los estudios en redes neuronales artificiales estuvo en la búsqueda de analogías cerebrales a partir de los estudios fisiológicos, basándose de un grupo de neuronas simuladas, que están interconectadas, al igual que las neuronas del cerebro, y que son capaces de aprender de la misma forma que lo hacen las personas, siendo utilizadas para tratar tareas que parecen inabordables por los métodos tradicionales, dando lugar a una maduración de las primitivas ideas desarrolladas en los años sesenta. Por esta razón muchas empresas petroleras buscan adaptarse a distintas tecnologías que ayuden a la optimización, tiempo y costos operacionales para que de esa manera la empresa salga beneficiada (Diez, Gómez, & Martínez, 2001).

El centro de investigaciones de Kansas City Missouri, desarrolló un procedimiento para una computadora eléctrica analógica, relacionando los esfuerzos en la varilla pulida con la carga de la bomba subsuperficial, es decir, mediante cartas dinamométricas registradas en superficie. Los pozos producidos por bombeo mecánico mediante sensores dinamométricos brindan información esencial para el diseño y diagnóstico del sistema de extracción con el objetivo de identificar y analizar los problemas del fondo de pozos (Martínez I. , 2011).

Desde los inicios de la actividad petrolera en la Península de Santa Elena, se han implementado distintos métodos de producción de levantamiento artificial, siendo el bombeo mecánico el método más utilizado en el bloque 2, campo Gustavo Galindo Velasco, que consiste en la extracción de fluidos mediante un movimiento ascendente – descendente, que se transmite por medio de la sarta de varillas a la bomba colocada dentro de la tubería de producción en el fondo cerca del yacimiento (Sánchez J. C., 2016).

Por ende, la generación de redes neuronales artificiales aplicado en el bloque N°2 Campo Gustavo Galindo Velasco, se busca realizar el respectivo diagnóstico para la generación

de cartas dinamométricas y de esa manera tener en consideración la optimización de producción, recursos y de la economía de la empresa.

### **1.3 HIPÓTESIS**

Con el diseño de las redes neuronales artificiales para determinar las cartas dinamométricas en el campo Gustavo Galindo Velasco permite un mejor control de producción bajo las condiciones de las unidades de bombeo mecánico (UBM).

### **1.4 OBJETIVOS**

#### **1.4.1 Objetivo General.**

- Generar redes neuronales artificiales para determinar cartas dinamométricas en unidades de bombeos mecánicos (UBM), en el Campo Gustavo Galindo Velasco.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos.**

- Caracterizar las unidades de bombeo mecánico del Campo Gustavo Galindo.
- Diagnosticar mediante pruebas dinamométricas las condiciones de las unidades de bombeo mecánico (UBM).
- Desarrollar redes neuronales para actualizar y optimizar la producción.
- Ajustar los tiempos de reposo y operación de las unidades de bombeo mecánico (UBM).

### **1.5 JUSTIFICACIÓN**

La determinación de cartas dinamométricas está en el diagnóstico de cuatro pozos productores Ancón con las unidades de bombeo mecánico del Campo Gustavo Galindo Velasco, que brindarán la debida información esencial para el diseño y control del sistema de extracción.

El concepto de dinamometría lleva consigo la interpretación en superficie de lo que está pasando en el fondo de pozo. El uso principal de la carta dinamométrica de la bomba es identificar y analizar los problemas de fondo de pozos.

En la industria petrolera se debe seleccionar técnicas que ayuden a mejorar su producción, optimizar tiempo, reducir costos y aumentar ganancias, por eso es de suma importancia innovar e implementar, para que de esa manera haya un equilibrio entre las nuevas inversiones y los resultados que se obtienen luego de la aplicación de las redes neuronales, ya que, hay que tener prioridad, disponibilidad y el presupuesto con el que cuenta la empresa.

Mediante el estudio que se pretende realizar en cuatro pozos productores en el campo petrolero Gustavo Galindo Velasco, en el campo Ancón, ubicado en la provincia de Santa Elena, se tiene como propósito analizar si la implementación de redes neuronales con inteligencia artificial para la determinación de cartas dinamométricas y el respectivo diagnóstico de las unidades de bombeo mecánico (UBM) es rentable y óptimo para la empresa PacifPetro.

## **1.6 ALCANCE**

Con la implementación de un estudio, considerando redes neuronales artificiales en el campo Gustavo Galindo Velasco, se permitirá, analizar la rentabilidad y coordinación de una nueva técnica para todas las unidades de bombeo mecánico (UBM) con la finalidad de mantener su constante monitoreo y diagnóstico de cada unidad, para la actualización y optimización de producción con el uso de redes neuronales artificiales.

## **1.7 VARIABLES**

### **1.7.1 Variable Independiente.**

- Generación y/o interpretación de cartas dinamométricas.

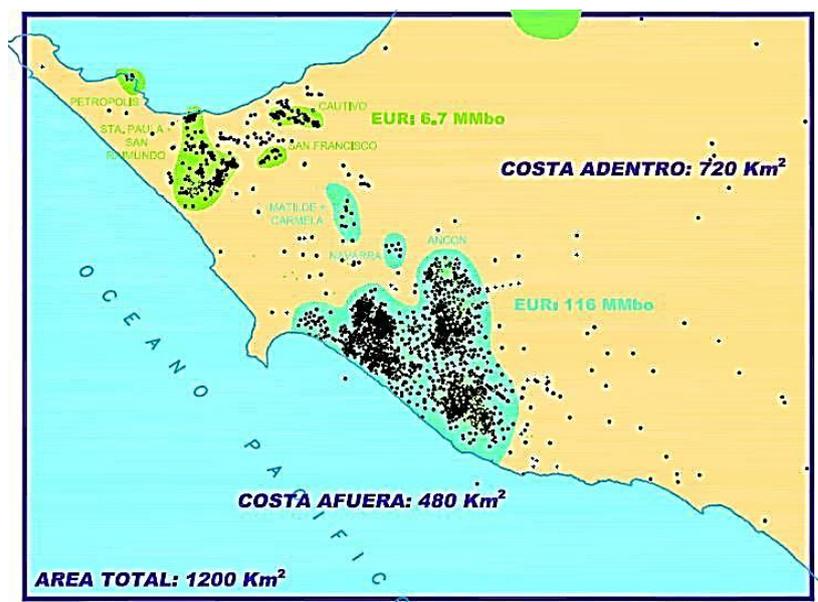
### **1.7.2 Variable Dependiente.**

- Implementación de redes neuronales en cuatro pozos productores de Ancón.

# CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

## 2.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL CAMPO

El campo “Gustavo Galindo Velasco” se encuentra situado al sureste de la Provincia de Santa Elena, exactamente en la parroquia Ancón, a 130 km distante de la ciudad de Guayaquil. El bloque de producción de petróleo comprende 1200 km<sup>2</sup> de los cuales 480 km<sup>2</sup> corresponde a costa afuera (Loor & Romero, 2014).



*Figura 1: Ubicación del campo Gustavo Galindo Velasco*

*Fuente: PACIFPETROL*

## 2.2 GEOLOGÍA DEL CAMPO

El área de estudio del bloque 2 del campo Gustavo Galindo Velasco se conoce como “Levantamiento de Santa Elena”, limitada geográficamente por la falla La Cruz y comprende la secuencia sedimentaria desde el Cretácico al Terciario Inferior, desarrollados sobre el basamento, que corresponde a la Formación Piñón de origen oceánico y de edad Cretácica (Tituaña, 2018).

En los últimos años las diferentes etapas biológicas por las que ha atravesado la tierra, ha originado nuevas capas o estratos en el subsuelo. La estratigrafía del campo está conformada por la Formación Atlanta (Paleoceno) y las Formaciones del Grupo Ancón (Eoceno Inferior – Bartoniano). El Grupo Ancón se divide en las Formaciones Passage Beds, Clay Pebble Beds, Socorro y Seca. Ciertas partes de la columna estratigráfica está cubierta por depósitos sedimentarios jóvenes de la Formación Tablazo (Pleistoceno) y depósitos aluviales. El contacto entre la Formación Atlanta y el Grupo Ancón es una discordancia angular observada en diferentes perforaciones (Caisa, 2013).

### **2.3 DESCRIPCIÓN DEL CAMPO GUSTAVO GALINDO VELASCO**

En la actualidad el Bloque 2 del campo Gustavo Galindo Velasco está constituido por alrededor de 2882 pozos perforados, de los cuales la empresa PacifPetrol S.A. tiene entre 1300 y 1350 pozos productivos, esta cantidad presenta variaciones por los ciclos de trabajos de los pozos (Villón, 2019).

Las principales formaciones productoras de este campo son: la Formación Atlanta con el 58% y la Formación Socorro con el 26% de aporte, siendo las de mayor aporte y la complementa la Formación Santo Tomas con el 9% y la Formación Santa Elena con el 5% de aporte (Díaz & Panchana, 2015)

### **2.4 GENERALIDADES DEL BOMBEO MECÁNICO**

El bombeo mecánico tiene un rango de acción en crudos pesados y extrapesados, también se utiliza en crudos livianos ya que es económicamente rentable, por esta razón tiene ventaja respecto a los demás sistemas de levantamiento. Los sistemas de levantamiento de crudo tienen gran relevancia en los costos y en los ingresos por cada barril de petróleo que se puede producir. De hecho, cada sistema de levantamiento tiene sus ventajas y desventajas; sin embargo, la facilidad de operación y los costos de mantenimiento son menores en los sistemas de levantamiento por bombeo mecánico que en los demás sistemas (ARDILA, 2019).

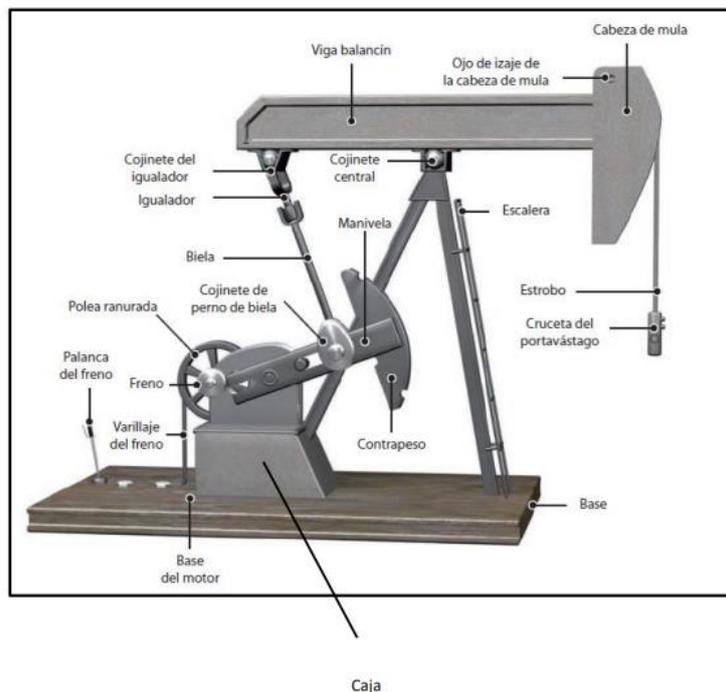
## **2.5 DESCRIPCIÓN DEL BOMBEO MECÁNICO**

El Bombeo Mecánico es un sistema de levantamiento artificial de producción que convierte el movimiento rotario del motor en un movimiento recíproco vertical que impulsa la bomba del subsuelo, levantando mecánicamente los fluidos desde el pozo a la superficie. La función principal de este sistema es la de extraer fluidos mediante un movimiento ascendente y descendente, que se transmite por medio de la sarta de varillas a la bomba colocada dentro de la tubería de producción en el fondo, cerca del yacimiento (Segovia, 2019).

Este tipo de sistema de levantamiento artificial se aplica cuando se tiene un bajo índice de productividad; cuando existe baja producción o cuando no hay producción de arena. Para la aplicación de este sistema, se necesita que exista una presión de fondo fluyente suficiente, para que los fluidos alcancen un nivel estático en el pozo y a su vez que no existan depósitos de parafinas entre otras. Sus componentes principales son: unidad de bombeo mecánico, cabezal, conexiones superficiales, sarta de varillas y bomba reciprocante (Moncada, 2016).

### **2.5.1 EQUIPOS DE SUPERFICIE**

Los equipos de superficie están compuestos de un vestidor acompañado de su respectivo aparato individual de bombeo, tipo balancín con un dispositivo de mula en su extremo libre, un motor, una transmisión, un mecanismo de biela – manivela y un mecanismo de freno. Este equipo debe de disponer de un sistema de alimentación de energía eléctrica o de un sistema de aprovisionamiento de combustible dependiendo que tenga un motor eléctrico o uno de combustión interna (Dabrowski, Guelfo, & Lombardero, 2017).



**Figura 2:** Componentes Básicos del Sistema Artificial de Bombeo Mecánico

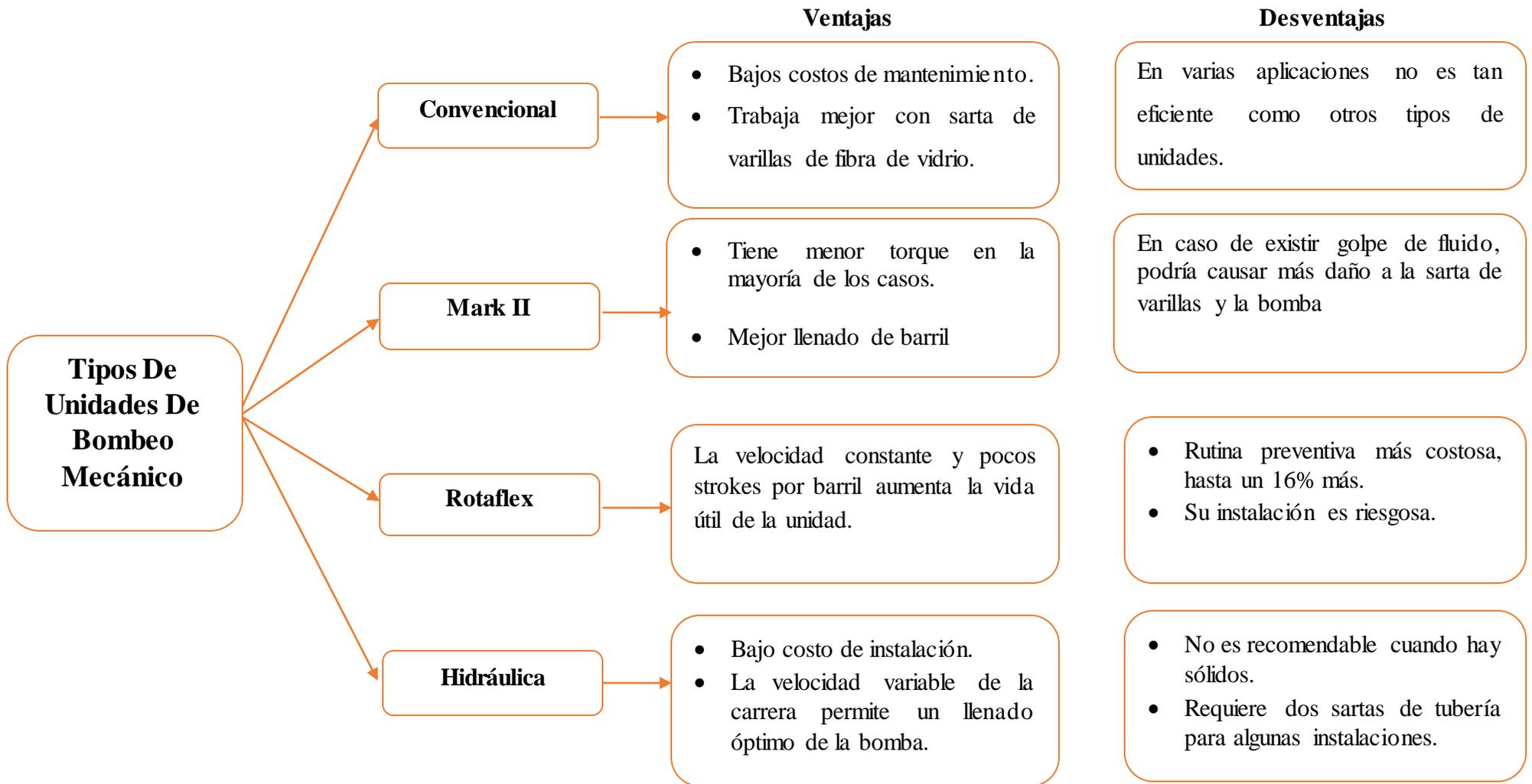
*Fuente:* IAPG (Instituto Argentino de Petróleo y Gas)

## 2.5.2 UNIDAD DE BOMBEO

La unidad de bombeo mecánico tiene como función cambiar el movimiento rotacional de la unidad motriz, al movimiento ascendente y descendente de la barra pulida. Una unidad de bombeo diseñada correctamente adquiere el tamaño exacto de la caja de engranaje, teniendo la suficiente capacidad para producir el fluido que se desea, sin embargo, tienen diferencias y características comunes que pueden influir significativamente el uso del sistema (Borja, 2015).

## 2.5.3 TIPOS DE UNIDADES DE BOMBEO MECÁNICO

De acuerdo a la geometría y clase de contrapeso, existen cuatro tipos de unidades de bombeo. Cada uno de estos presenta ventajas y desventajas que responden a distintas condiciones de servicio según lo requiera cada caso. A continuación, en el diagrama 1 se puede apreciar los tipos de bombeo con los aspectos previamente mencionados (Cruz & Peñuela, 2018).



## **2.6 REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

Las redes neuronales artificiales son sistemas de procesamiento de información cuya estructura y funcionamiento están inspirados en las redes neuronales biológicas. Han sido aplicadas en muchos campos de la ciencia, teniendo como principales funciones el reconocimiento de patrones y análisis de datos. En la actualidad se utilizan en las industrias petroleras para la optimización del tiempo, costos de operación y monitoreo permanente de unidades de sistemas de levantamiento artificial (Segade, 2015).

Las redes neuronales se caracterizan principalmente por:

- Adquirir el conocimiento a través de la experiencia, el cual es almacenado igual que en el cerebro humano.
- Tienen una alta plasticidad y gran adaptabilidad, siendo capaces de cambiar dinámicamente junto con el medio.
- Tiene un alto nivel de tolerancia a fallas, haciendo que estas sufran un daño considerable, sin embargo, continúan teniendo un buen comportamiento, al igual como ocurre en los sistemas biológicos.
- Posee un comportamiento no lineal, lo que nos permite procesar información procedente de otros fenómenos no lineales.

### **2.6.1 VENTAJAS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES**

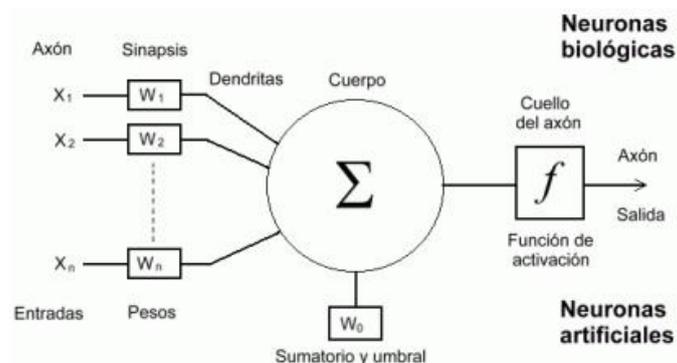
- Aprendizaje Adaptivo: Tienen la capacidad de aprender a realizar tareas en base a un entrenamiento o a una experiencia inicial. Es decir, aprende a diferenciar patrones mediante ejemplos y entrenamiento, cambiando así su estructura.
- Auto-organización: Crea su propia representación mediante la información recibida en la etapa de aprendizaje.
- Tolerancia a fallos: Es capaz de retener algunas capacidades de la red, cuando existe una destrucción parcial de la red, la cual conduce a una degradación de su estructura.
- Operación en tiempo real: Permite realizar en paralelo los cálculos neuronales, con el propósito de obtener una respuesta en tiempo real.

## 2.6.2 DESVENTAJAS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

- Complejidad para aprendizaje para grandes tareas: Entre más patrones se necesite que aprenda una red, más complicado resulta enseñarle.
- Tiempo de aprendizaje elevado: Si existe un incremento en la cantidad de patrones a identificar o clasificar, se requiere de una mayor adaptabilidad de la red neuronal para reconocer patrones muy similares, para lograrlo se necesita invertir más tiempo para poder enseñarle a la red.
- No permite interpretaciones: La red neuronal no puede interpretar por si misma sus salidas que se da mediante un número, la cual necesita la intervención de un programador y de un software para que le dé un significado a dicho valor.
- Elevada cantidad de datos para el entrenamiento: Se requiere una mayor cantidad de información para que una red aprenda de forma correcta a identificar patrones, lo que significa más tiempo el uso de un software.

## 2.7 DESCRIPCIÓN DE LAS NEURONAS ARTIFICIALES

Las neuronas artificiales a diferencia de las neuronas biológicas tienen un cierto número de entradas y salidas. Cada entrada posee un peso que figura el grado de afectación de la entrada de la neurona (sinapsis). La neurona procesa la información sumando las entradas y el valor umbral que mejora la conducción de la señal, para que al final de eso pase por una función de activación que genera la señal de salida de la neurona (Vega, 2020).



**Figura 3:** Estructura de una Neurona Artificial

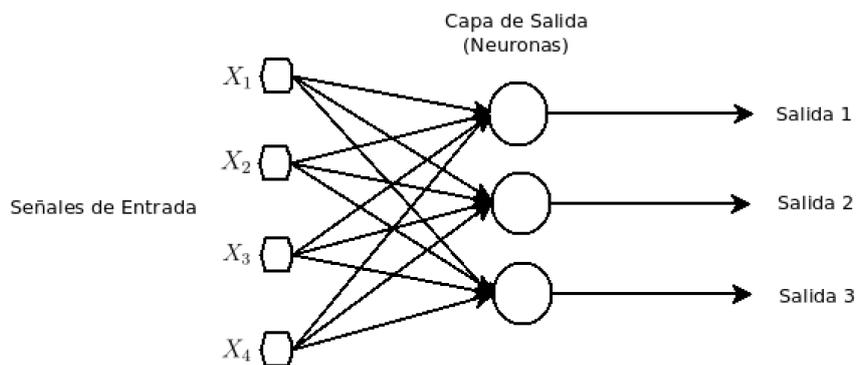
**Fuente:** Escuela Politécnica Nacional

## 2.8 TIPOS DE REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Los tipos de Redes Neuronales Artificiales, se clasifican de acuerdo a las capas a utilizar y a la relación que existe con el algoritmo usado para el proceso de entrenamiento.

### 2.8.1 REDES DE CAPA SIMPLE – MONOCAPA

Es la red neuronal más sencilla, ya que consta de una sola capa de neuronas que proyectan las entradas directamente a la capa de salida donde se realizan los diferentes cálculos. Este tipo de red es usada para clasificar y filtrar patrones lineales (Ríos, 2020).

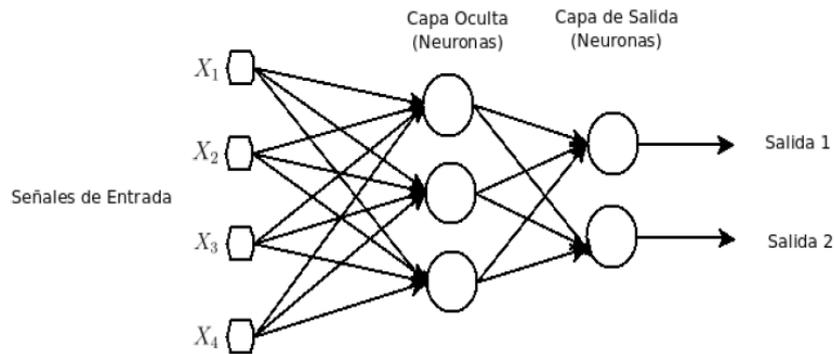


*Figura 4: Estructura de una Red Neuronal de Capa Única*

*Fuente: Universidad de la República de Uruguay*

### 2.8.2 REDES MULTICAPA

Este tipo de red contiene entre una o más capas ocultas, donde cada capa posee una o más neuronas. La diferencia que tiene con la red neuronal mono capa, está en el conjunto de capas intermedias que le permiten establecer regiones de decisión más complejas (Jacobo, 2018).

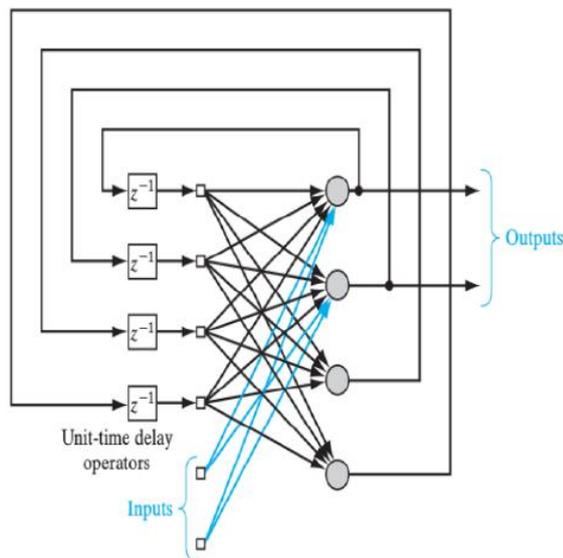


**Figura 5:** Estructura de una Red Neuronal Artificial Multicapa

*Fuente:* Universidad de la República de Uruguay

### 2.8.3 RED NEURONAL RECURRENTE

Se denomina recurrente por tener conexiones arbitrarias entre las neuronas, consiguiendo crear la temporalidad, lo cual permite que la red tenga memoria, haciéndola una herramienta apropiada para modelar series temporales. Tiene como características principales la retroalimentación de los nodos de entrada con las salidas de neuronas para el control, identificación, optimización de sistemas, entre otros (Lucas, 2019).

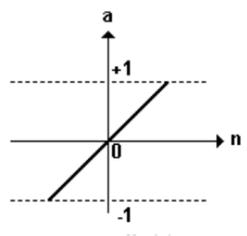
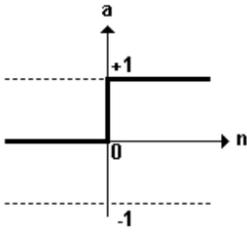
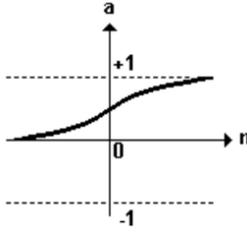
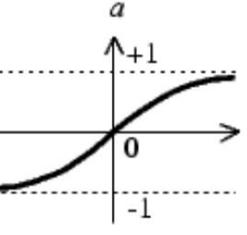
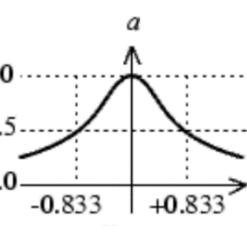


**Figura 6:** Realimentaciones de una RNA Recurrente de Capa Única (izquierda) y una RNA recurrente con neuronas ocultas (derecha)

*Fuente:* Universidad de la República de Uruguay

## 2.9 FUNCIONES DE ACTIVACIÓN O DE TRANSFERENCIA

Las funciones de activación o de transferencia de una red neuronal artificial se caracterizan por ser diferentes de una capa a otra y no están restringidas a funciones no decrecientes. A menudo los datos de entrada se mantienen dentro de límites (Arboleda, 2020).

Nombre	Ecuación	Gráfica
<b>Lineal</b>	$f(n) = n$ <i>Ec. 1</i>	
<b>Paso Binario</b>	$f(n) = \begin{cases} 0, & n < 0 \\ 1, & n \geq 0 \end{cases}$ <i>Ec. 2</i>	
<b>Sigmoide Logarítmica</b>	$f(n) = \frac{1}{1 + e^{-n}}$ <i>Ec. 3</i>	
<b>Tangente Sigmoide</b>	$f(n) = \left( \frac{2}{1 + e^{-2n}} \right) - 1$ <i>Ec. 4</i>	
<b>Gauss</b>	$f(n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$ <i>Ec. 5</i>	

## **2.9.1 CARTAS DINAMOMÉTRICAS**

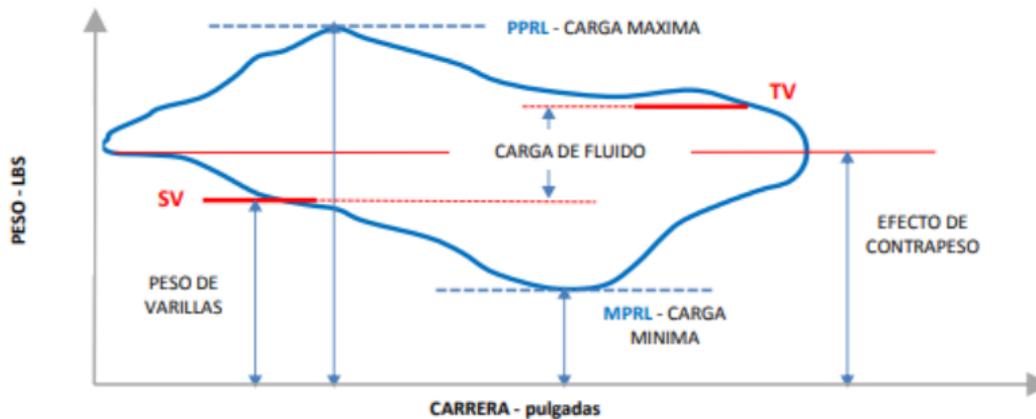
Las cartas dinamométricas son diagramas de carga vs desplazamiento. La curva se obtiene mediante el registro de todas las fuerzas que actúan sobre la varilla pulida con respecto a la posición de la barra lisa en cualquier intervalo de tiempo durante el ciclo de bombeo. Cada punto de la curva representa una fuerza resultante, la cual están compuestos de la siguiente manera: peso total del fluido sobre el pistón, peso total de la sarta de varillas en el fluido del pozo, factores de aceleración y fuerzas resultantes por rozamiento o fricción (Sánchez & Barriga, 2020).

## **2.9.2 INTERPRETACIÓN DE CARTAS DINAMOMÉTRICAS**

La interpretación de cartas dinamométricas se obtiene instalando un dinamómetro en el eje pulido para medir los esfuerzos durante un ciclo completo de bombeo. El resultado obtenido es un gráfico continuo de la carga sobre la varilla pulida y su posición, donde se puede extraer información cuantitativa y cualitativa sobre el funcionamiento de la bomba de fondo, esfuerzo en las varillas y en la unidad de bombeo (Onofre, 2014).

Se considera un sistema de bombeo ideal, cuando:

- a) El pozo es bombeado lentamente.
- b) No existe esfuerzos de vibración ni de fricción.
- c) Al comienzo de la carrera ascendente, la válvula de pie se abre y la válvula viajera se cierra instantáneamente.
- d) La longitud de las varillas no varía debido a la transferencia de carga de fluido.



**Figura 7:** Análisis de una Carta en un Bombeo Mecánico

*Fuente:* Instituto Tecnológico de Buenos Aires

Donde:

TV: Traveling Valve (Válvula Viajera)

SV: Standing Valve (Válvula fija)

PPRL: Peak Polished Rod Load (Carga Máxima de la Barra Pulida)

MPRL: Minimum Polished Rod Load (Carga Mínima de la Barra Pulida)

Las cartas dinamométricas presentan muchos gráficos de formas diferentes, estas formas dependen del diseño del sistema, de la instalación y de las condiciones de bombeo. Son necesarias para entender el funcionamiento de la bomba, si se tiene problema con la sarta de varilla (Fernandez, 2014).

## 2.9.3 FACTORES QUE SE PRESENTAN EN LA TOMA DE UNA CARTA DINAMOMÉTRICA

### 2.9.3.1 VELOCIDAD DE BOMBEO

El incremento de este parámetro incrementa el recorrido del pistón.

### **2.9.3.2 PROFUNDIDAD DE BOMBEO**

A menor profundidad la carta dinamométrica tiende a ser más rectangular.

### **2.9.3.3 FUGAS EN LAS VÁLVULAS**

Se sospecha de una fuga en las válvulas fijas o viajeras, cuando la carta dinamométrica presenta un llenado menor a la carta dinamométrica normal del pozo, sino se han modificado las condiciones mecánicas de la instalación.

### **2.9.3.4 VELOCIDAD DE BOMBEO EN SUPERFICIE**

Ante una disminución de velocidad en superficie, la carta dinamométrica presenta el fenómeno llamado sub viaje, esto es cuando, la carrera efectiva puede disminuir haciendo menor la eficiencia.

### **2.9.3.5 CARGA SOBRE EL PISTÓN**

La carga sobre el pistón depende del diámetro del pistón, de la carrera efectiva y la velocidad de bombeo. Si se incrementa la carga, la carta dinamométrica presenta el fenómeno sub viaje del pistón.

### **2.9.3.6 VIBRACIONES**

Las vibraciones se notan en la carta dinamométrica como incrementos y decrementos de cargas en la carrera descendente.

### **2.9.3.7 RELACIÓN ALTA DE GAS PETRÓLEO**

La relación alta de gas petróleo, se refleja en la carta dinamométrica como una curva suave en la carrera descendente del pistón.

### 2.9.3.8 GOLPE DE FLUIDO

El golpe de fluido se nota en la carta dinamométrica como una disminución de la carga en el descenso, en un tiempo relativamente corto.

### 2.9.3.9 FRICCIÓN

Cuando existe mucha fricción entre el pistón y el barril, por efecto de la viscosidad del fluido y poca luz entre pistón y barril, la carta dinamométrica se presenta inclinada hacia arriba.

## 2.9.4 PROBLEMAS QUE SE PUEDEN IDENTIFICAR CON LAS CARTAS DINAMOMÉTRICAS

### 2.9.4.1 BOMBEO NORMAL

Es una carta de forma rectangular, no presenta defecto en las válvulas, ni interferencia de gas y muestra un buen llenado de la bomba.



*Figura 8: Carta Dinamométrica por Bombeo Normal*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

### 2.9.4.2 BOMBA DESASENTADA

Este tipo de carta muestra solo el peso de la sarta de varillas en el fluido, la causa es que la bomba se ha salido de la zapata de anclaje.



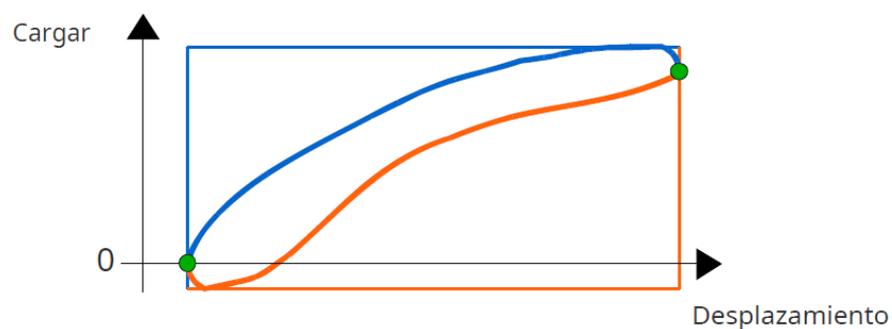
*Figura 9: Carta Dinamométrica por Bomba Desasentada*

*Fuente: Desasentada Universidad Federal de Bahía*

### 2.9.4.3 BOMBA BLOQUEADA POR GAS

La carta se presenta como una elipse, la base del diagnóstico en este caso es la relación gas petróleo del pozo.

Este problema se puede solucionar empleando un ancla de gas y la carta dinamométrica se modifica.

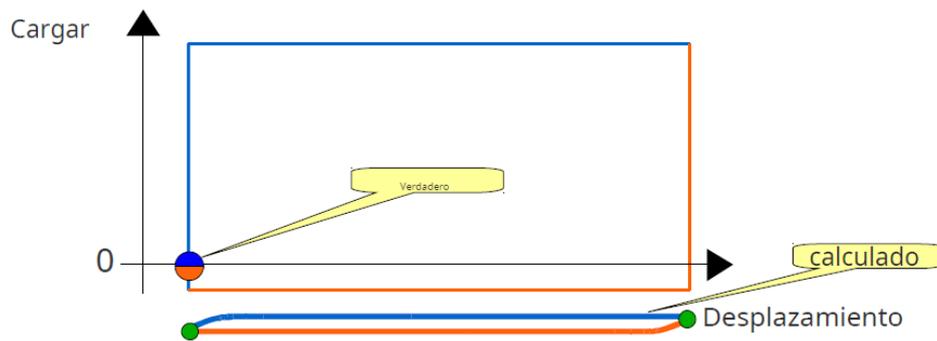


*Figura 10: Carta Dinamométrica por Bloqueo por Gas*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

#### 2.9.4.4 VARILLAS SUELTAS O PARTIDAS

La característica principal de esta carta es la presentación de un espesor mínimo. En este caso si se prueban las válvulas, deben resultar con la misma carga ambas pruebas, ya que solo se estará midiendo el peso de las varillas en el fluido.



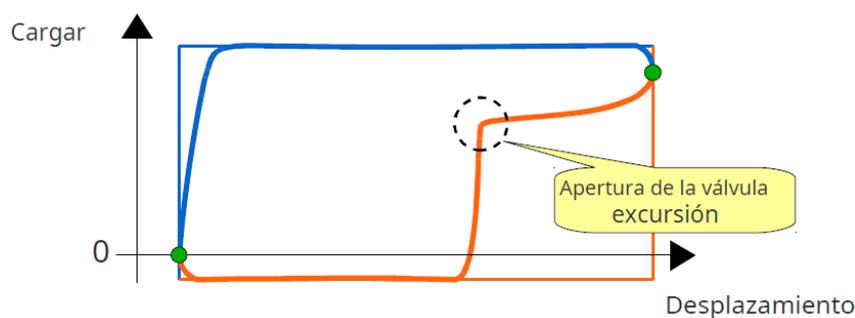
*Figura 11: Carta Dinamométrica por Varillas Seltas o Partidas*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

#### 2.9.4.5 GOLPE DE FLUIDO

Este tipo de carta se puede identificar por disminución de carga en la carrera descendente, en un tiempo muy corto.

La corrección de este problema generalmente se basa en la disminución de la velocidad de bombeo, diámetro de la bomba de fondo o con controladores de bombeo.

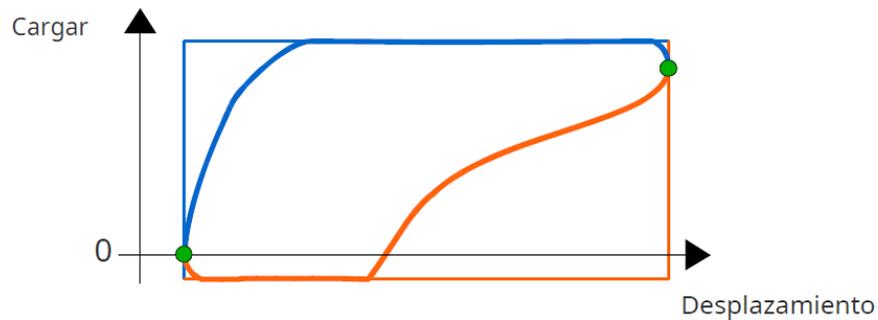


*Figura 12: Carta Dinamométrica por Golpe de Fluido*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

### 2.9.4.6 COMPRESIÓN DE GAS

Para este caso la carta se presenta con una declinación suave en la carrera descendente. Este problema se origina por la liberación de gas dentro de la cámara de la bomba, disminuyendo la carrera efectiva del pistón en la bomba.

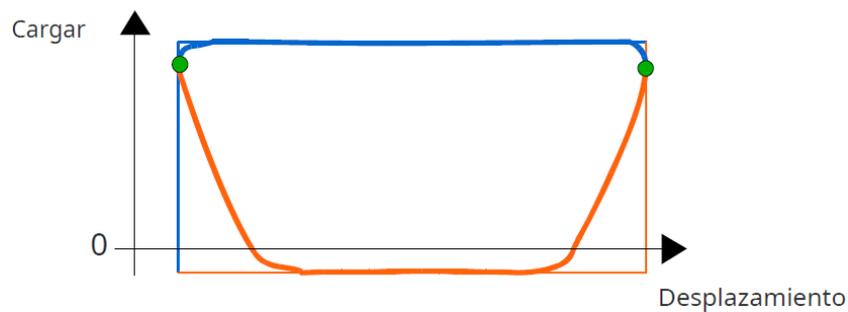


*Figura 13: Carta Dinamométrica por Compresión de Gas*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

### 2.9.4.7 FUGA EN LA VÁLVULA VIAJERA

Se puede identificar esta falla porque la transferencia de carga de la tubería a las varillas no se produce al principio de la carrera ascendente del pistón.



*Figura 14: Carta Dinamométrica por Fuga en la Válvula*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

### 2.9.4.8 VÁLVULA FIJA DAÑADA

Cuando ocurre esta falla, al final de la carrera ascendente, se abre la válvula viajera y la transferencia de carga a la tubería de las varillas se presenta en forma progresiva.

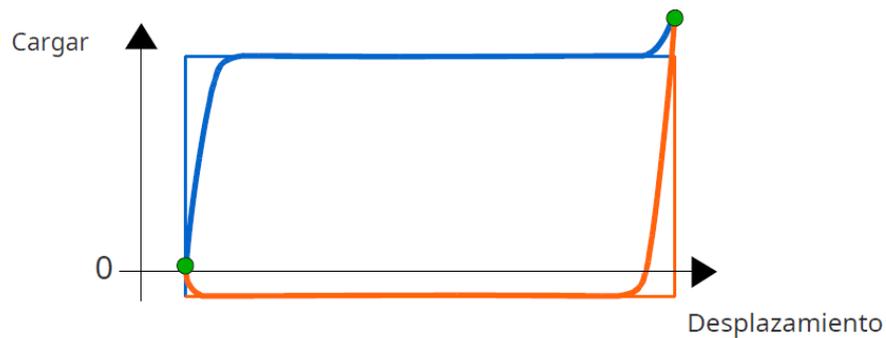


*Figura 15: Carta Dinamométrica por Válvula Fija Dañada*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

### 2.9.4.9 GOLPE DEL PISTÓN AL FINAL DEL ASIENTO

El espaciamento defectuoso, se nota por un incremento de la carga al final de la carrera ascendente.

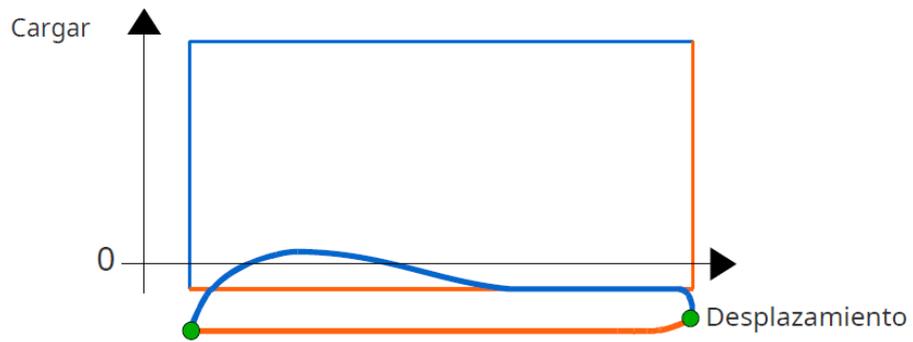


*Figura 16: Carta Dinamométrica por Golpe del Pistón*

*Fuente: Universidad Federal de Bahía*

### 2.9.4.10 POZO FLUYENDO

El pozo fluye por la tubería y por el espacio anular, esto puede ocurrir en pozos sometidos a inyección de vapor y el anular conectado a la línea del flujo.



**Figura 17:** Carta Dinamométrica en un Pozo Fluyendo

**Fuente:** Universidad Federal de Bahía

# CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

## 3.1 METODOLOGÍA

Mediante la información adquirida por la empresa PacifPetrol sobre la interpretación de cartas dinamométricas en el campo Gustavo Galindo Velasco, el procedimiento aplicando una Red Neuronal Artificial (RNA) se explica en detalle en el transcurso de este capítulo, donde se describe los estudios, pruebas preliminares y los parámetros esenciales para su aplicación.

La aplicación de una Inteligencia Artificial (IA) como Redes Neuronales Artificiales (RNA) se basa mediante la aplicación de un software, donde se puntualizan cuatro etapas principales: recolección de información; diseño y construcción de la base de datos; entrenamiento y validación de la red neuronal para su posterior visualización (Asanza & Olivo, 2017).

### 3.1.1 HERRAMIENTAS A USAR

En la presente investigación se utiliza librerías como Pandas con la que se puede manipular el conjunto de datos, además de los softwares Theano, Keras y TensorFlow las cuales son de relevancia para desarrollar redes neuronales. El algoritmo se desarrolló en el lenguaje de Python de alto nivel, multiparadigma e interpretado el cual se concentra en la simpleza y la efectividad de los procedimientos, hace que Python sea un lenguaje elegante e ideal para el desarrollo rápido de toda aplicación (Martínez, Palma, & Ordoñez, 2021).

## **3.2 APLICACIÓN DE REDES NEURONALES**

### **3.2.1 DETECCIÓN Y CLASIFICACIÓN**

En esta etapa, para la aplicación de una red neuronal artificial se entrena el modelo el cual consiste en realizar varias repeticiones de las entradas de datos, para que la red vaya modificando sus parámetros. A estas repeticiones se las denominan epoch y también se fija el número que haremos de estas; cuanto más se haga, más durará el entrenamiento total, pero mejor entrenada estará la red. Habrá que encontrar un equilibrio entre ambas partes para la predicción del comportamiento de la producción de hidrocarburos y así poder evaluar el funcionamiento del modelo al momento de realizar las clasificaciones (Arregocés & Sánchez, 2011).

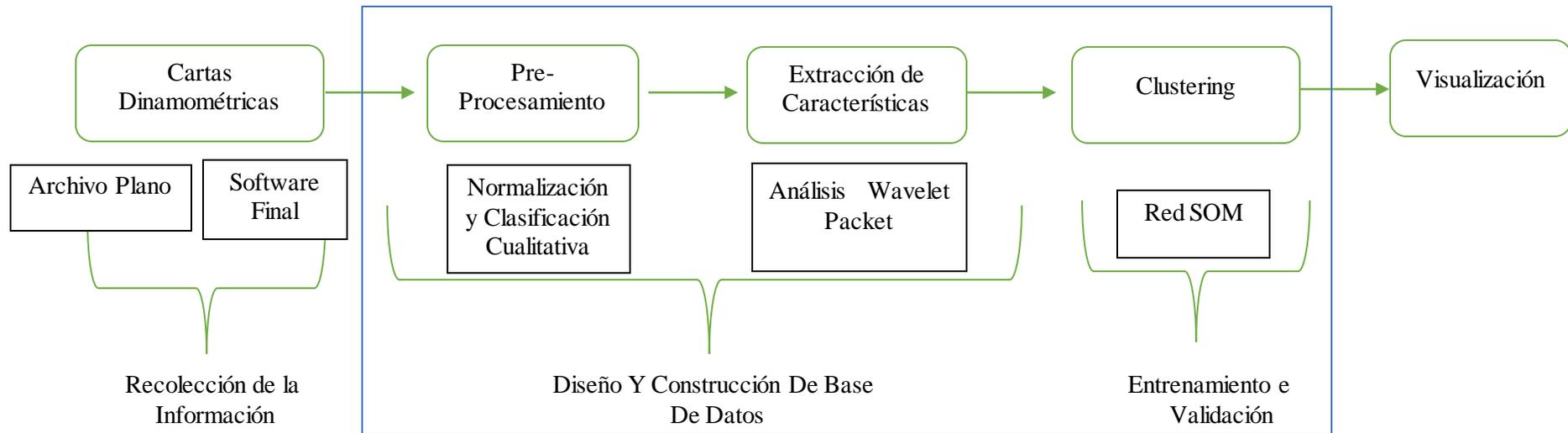
### **3.2.2 EVALUACIÓN Y VALORACIÓN**

En esta etapa, se evalúa el desempeño del modelo que realiza las predicciones del comportamiento de la producción de hidrocarburo, el porcentaje de aciertos y la confiabilidad. Se realiza predicciones sobre los datos de entrenamiento para ver el ajuste del modelo durante el entrenamiento.

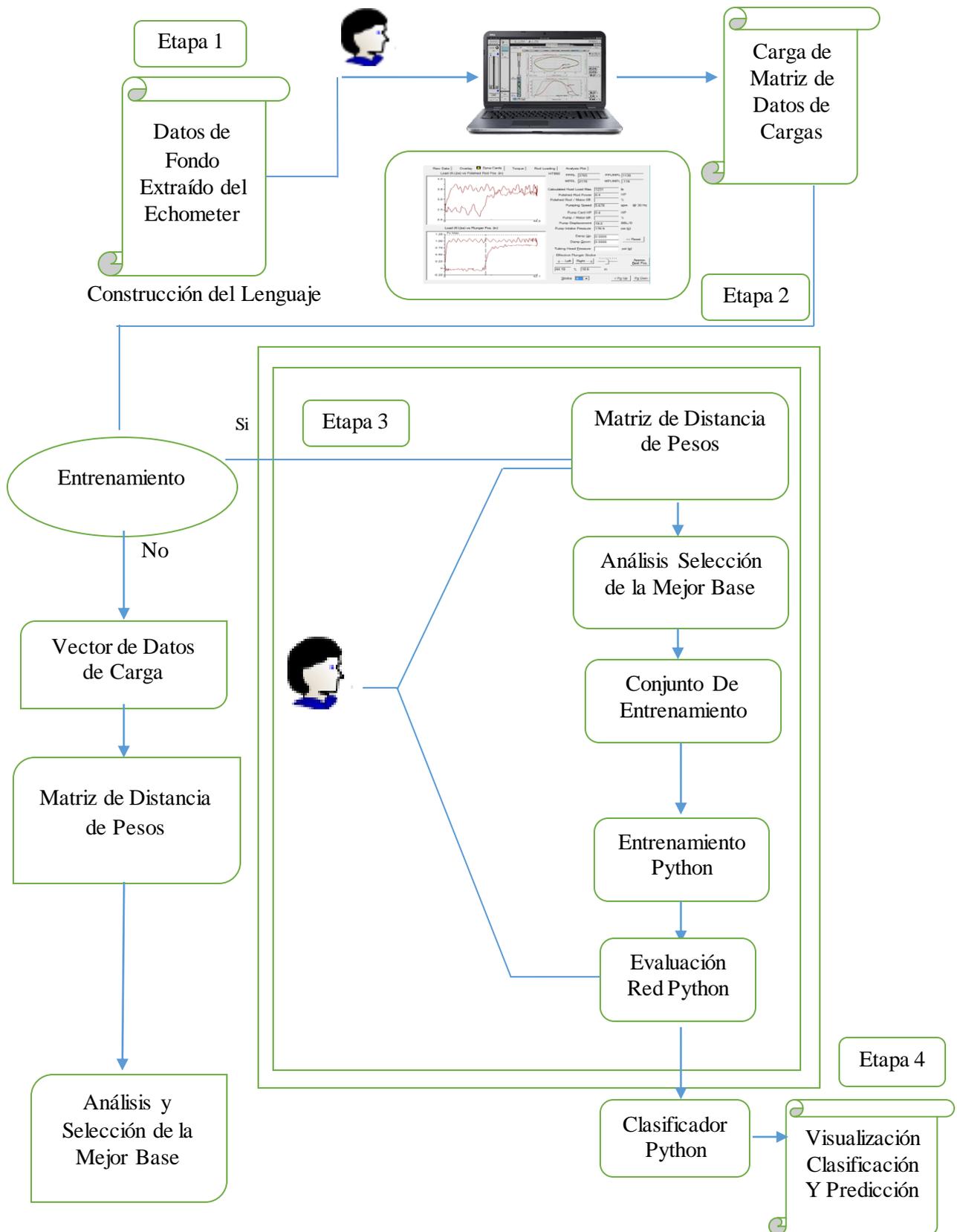
De acuerdo con la información obtenida sobre la interpretación de las cartas dinamométricas y en base al comportamiento descrito en las mismas, en este capítulo se describe detalladamente el procedimiento que se aplicará para determinar el mal funcionamiento de los equipos subterráneos, donde se describen los estudios, pruebas preliminares y su metodología aplicada.

El diagrama de bloques general infunde la producción de algoritmos aplicados al programa, en el que se describen cuatro etapas principales, presentes en cualquier proyecto de computación neuronal: recolección de datos, diseño y creación de bases de datos, entrenamiento y validación de redes neuronales, y visualización o programa final. En el inicio de las etapas principales también se verifican y mejoran el prototipo diseño (García, 2019).

## PROBAR Y OPTIMIZAR EL PROTOTIPO



En esta sección se describen los principales procedimientos utilizados en cada paso de la metodología para el desarrollo de este proyecto. El siguiente diagrama, muestra claramente cada paso descrito en el diagrama anterior. Sobre la base de este plan, se llevó a cabo el trabajo de desarrollo.



En el primer paso, se guardan diferentes registros gráficos del ECHOMETER en un archivo plano, en el siguiente paso, se ordenan manualmente para ver qué tipo de información está disponible o no en el proyecto. Después, se analiza mediante Procesamiento de Señal Digital (DSP) para proceder al paso 3, donde realizamos la construcción de software en el que se ha aplicado la transformada wavelet a una base de datos de cartas dinamométricas pre procesadas, ya que estas señales no son de naturaleza estática, siendo esta una herramienta poderosa para este trabajo, y finalmente en el paso 4, trabajo en red SOM y su visualización de resultados mediante el software a la medida se adapta a las necesidades de la industria (Natera, 2021).

### **3.3 DETERMINACIÓN DE PROBLEMAS**

En el caso del diagnóstico de problemas en los equipos subterráneos de unidades de bombeo mecánico, las técnicas tradicionales se relacionan específicamente con la interpretación y análisis de esquemas de las cartas. El proceso se basó en identificar formas o comportamientos predefinidos para identificar problemas, que están ocultas en las cartas de fondo. El problema está relacionado con el tipo de patrones y su función.

De esta manera, se indica el problema en la tarea de reconocimiento de patrones a partir de un conjunto de datos y clasificación de las cartas dinamométricas, ejercicio desarrollado utilizando como herramienta la red SOM.

La red SOM se puede entrenar y ajustar cuando se realiza el análisis de muestra de entrenamiento, para garantizar que los problemas se identifiquen, con un error mínimo. Por lo tanto, el mayor esfuerzo debe centrarse en construir una base de datos de entrenamiento con ejemplos óptimos para la definición y extracción de problemas específicos para cada situación. Además, en este tipo de análisis es necesario utilizar la estructura completa del SOM y un mayor número de neuronas que se encuentran en capas para que no sea ambiguo y logre sus objetivos (aceptación, categorización y proyección de datos de las cartas importados a la red) (Villada, Arroyave, & Villada, 2014).

### 3.3.1 RECOPIACIÓN DE DATOS

Este aspecto es uno de los más importante, donde se puede requerir información en cada etapa del desarrollo del proyecto.

La información es proporcionada por la empresa PacifPetrol S.A basado en pruebas tomadas, en muchos casos en ciertos pozos cercanos a la provincia de Santa Elena, que se encuentran ubicados en el campo Ancón.

Los datos proporcionados por las cartas en el fondo del pozo, fueron estudiados y analizados, son coordenadas tipo (x, y), que pertenece a las coordenadas de la posición del pistón y la carga soportada por la primera varilla después de la bomba, individualmente. Estos datos son extraídos del software TWM (Total Well Management) Echometer y guardados por separados en archivos planos del tipo XLS para su seguimiento en el pre procesamiento específico y su preclasificación (Pérez, Estrada, & Ayala, 2013).

### 3.3.2 DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS

En esta etapa, se ha creado y organizado la información necesaria de cada carta, de esta forma se realiza un pretratamiento incluyendo la clasificación cualitativa y la codificación de datos para el entrenamiento con el TW.

## 3.4 ESTRUCTURA Y DESARROLLO DE LA BASE DE DATOS

En esta etapa, se ha creado y organizado la información necesaria de cada carta dinamométrica, primero se realiza un pretratamiento incluyendo la clasificación cualitativa y la estandarización de los pozos, seguida de la codificación de datos para el entrenamiento con el TW.

- **Clasificación cualitativa.** Dado a que todos los pozos son diferentes, se necesitan herramientas para poder detectar los inconvenientes de las condiciones de cada pozo. Luego, los pozos bombeados mecánicamente se dividieron en dos grupos; el primero se llama “Grupo N° 1” e incluye pozos de más de 3800 ft de profundidad con pistón de todos

los tamaños, pozos de menos de 3800 ft y pistones con medidas de 2 in o de menor medida. El segundo grupo, conocido como “Grupo N° 2”, incluye pozos de menos de 3800 ft y pistones con medidas de más de 2,00 in.

La separación de los pozos poco profundos del “Grupo N° 2” con los pozos profundos “Grupo N° 1”, se debe a su exposición a las fuerzas de fluidos inerciales, que a menudo duplican la carga sobre el pistón. Estos deben recoger el fluido y empujarlo por la tubería a una velocidad mucho mayor que en los pozos profundos. Además, la sarta de perforación es sólida y no proporciona ningún nivel de amortiguamiento.

En los pozos del “Grupo N° 1”, se deben usar pistones de diámetro pequeño para reducir la carga en la línea de perforación. En el cual la sarta de cabillas actúa como un amortiguador al estirarse a medida que aumenta la carga sobre el pistón; esto absorbe de manera efectiva el “golpe” y recibe la carga de fluido en la carrera de manera ascendente y la fuerza de la dinámica de fluidos no se muestra en las cartas dinamométricas de fondo.

Cuando las cartas están organizadas, se clasifican manualmente teniendo en cuenta la forma que aparentan las cartas; esto se hace para identificar de antemano las principales fallas o los patrones que pueden estar presentes en el pozo.

### **3.5 PREPARACIÓN Y VALORACIÓN DE LA RED**

Para garantizar el éxito de la preparación, el TW es responsable de proporcionar los datos de cada señal para que la información se convierta en una idea clara y eso será equivalente a los patrones o reglas aprendidas por la red SOM y luego se convertirá en la salida específica de cada neurona.

La SOM es una red neural no supervisada para la clasificación, es también conocida como la técnica de agrupamiento, y no requiere conocimientos previos ya que cada dato de entrenamiento pertenece a un grupo preestablecido para su agrupación. No obstante, dada esta información, posteriormente se lo utilizó para evaluar la calidad de las agrupaciones y así poder “etiquetarlas” en ellas (Álvarez, 2013).

Teniendo en cuenta la clasificación manual de fallas con base a las cartas dinamométricas, se tiene como prioridad los siguientes patrones que fueron proporcionados por la empresa PacifPetrol y en las cuales serán detalladas a continuación:

- Golpe de fluido combinado y con retraso del cierre de la válvula viajera.
- Completamente sin bombeo (bomba anclada).
- Desgaste considerado de la bomba.
- Golpe de fluido leve (tubos sin anclar).
- Desconocida
- Bombeo completo (fondo de tubería sin anclar).
- Bombeo completo (golpe en parte inferior del émbolo).
- Interferencia de Gas (alta separación en el émbolo).
- Golpe de fluido grave (tubo anclado).
- Ruido.
- Ruido.
- Fugas en la válvula viajera o émbolo.
- Golpe de fluidos (alta fricción durante la carrera ascendente).
- Bombeo completo (el émbolo golpeando hacia arriba) (el espaciado de la bomba es demasiado alto).
- Grave fuga en la válvula viajera.
- Bombeo full (cabillas de fibra de vidrio).
- Bomba desgastada.
- Bomba gravemente desgastada, varillas partidas o no fluyen bien.
- Golpe ligero de fluido (tubo anclado).
- Golpe severo de fluido (tubo sin anclar).

Después de inferir en estos patrones de entrenamiento, se encontró que algunos de ellos presentan el mismo problema en general, por lo que se formó una base de datos bastante extensa con todas las cartas que se han obtenido.

Al igual que de la utilidad de esta preclasificación para evaluar la calidad de los conjuntos provenientes de la red SOM y su posterior etiquetado, se ha dicho que, con este enfoque,

el tamaño del mapa de salida, la red SOM debe contener más neuronas que la suma de estas capas para reducir la ambigüedad al poder identificar los errores.

El siguiente paso, luego de obtener las cartas en el formato requerido para poder ingresar a la red SOM, es realizar el respectivo entrenamiento. Sin embargo, en este punto, que además de los datos, se proporcionan las características de la red entrenada, tales como: su topología (la ubicación física de las neuronas), la función de distancia que es útil para calcular la distancia entre neuronas, la distancia inicial y el tamaño del mapa de salida.

Por otra parte, la topología de la red puede ser de manera rectangular, hexagonal o indistintamente aleatorio, y sus funciones de distancia que existen son: la distancia euclidiana, la distancia cuadrada (boxdist), la distancia de pasos (linkdist) y la distancia manhattan.

Por último, si la evaluación de la red da óptimos resultados en cuando a la identificación de un problema o dos, se procede a finalizar el proceso de evaluación para la red, caso contrario, es necesario modificar su estructura y repetir el proceso (Hernandez & Córdova, 2017).

### **3.6 ANÁLISIS Y MEJORAMIENTO DEL PROTOTIPO**

En este punto, se decide si se cambiará la topología de la red SOM, si se necesitan más datos de entrenamiento, si se modificará el modelo original y eso incluye el algoritmo del pre procesamiento y el de aprendizaje (se verifica el diseño y se realiza las respectivas mejoras).

El prototipo se convierte en un modelo confiable cuando su sistema es óptimo, es decir, se genera las soluciones que se requieren durante su fase de prueba. De cierta forma, y para cubrir este aspecto se realizaron muchas pruebas evaluando la entrada de la red, el tamaño del mapa de salidas (números de neuronas) y eso quiere decir que su topología difiere en cada caso.

Medir la efectividad de la SOM no es algo fácil, ya que no hay un objetivo claro durante en el proceso del entrenamiento, ya que la red se debe adaptar para identificar los diferentes errores.

Entonces, en este estudio, se derivaron los siguientes dos métodos para proporcionar alguna medida el comportamiento del SOM.

- a) Distancia del vector entrada y su neurona ganadora.** Usando este método, tratamos de medir qué tan bien se ajusta la red a la topología, calcular las distancias medias entre los vectores de entrada ( $X_i$ ) y sus neuronas ganadoras ( $j$ ). Cuando  $N$  es el número de vectores o las muestras de entrada, y ( $m_j$ ) es el vector de peso de la neurona ganadora para el vector de entrada ( $X_i$ ), esto se lo interpreta como:

$$Promedio = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \|\vec{X}_i - \vec{m}_j\| \quad Ec. 6$$

Entonces, se encuentra en la literatura que, a esta media, se le llama error de cuantitativo. (Uriarte & Martín, 2005 )

- b) Error Topográfico de Kiviluoto.** Además de estudiar con qué precisión las neuronas se adaptan a la topología de entrada, es necesario evaluar cómo la red mantiene diferentes topologías iniciales en función del error de topología propuesto por Kiviluoto.

$$e_t = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N u(x_i) \quad Ec. 7$$

Donde:

$N$ : Es el número de muestras.

$x_i$ : La muestra  $i$ -ésima del conjunto de datos.

$u(x_i)$ : Es el valor en función de la posición relativa entre las dos principales neuronas ganadoras de las muestras  $X_i$  en el espacio de salida.

$$u(x_i) \begin{cases} 1 & \text{Si las dos neuronas ganadoras principales no son adyacentes} \\ 0 & \text{Si son adyacentes} \end{cases}$$

De esta forma, un error menor significa que conserva la topología original.

# **CAPITULO IV: ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

## **4.1 ESTRUCTURA DE LA RED**

En la estructura inicial de la red neuronal, las neuronas se distribuyen de forma equidistante en un mapa de dos dimensiones. Haciendo, que se visualice un espacio de entrada de alta dimensión, teniendo como referencia que cada punto rojo es una neurona y las líneas azules, la manera cómo se interconectan.

## **4.2 MATRIZ DE DISTANCIA DE PESOS**

Una vez finalizado el entrenamiento, las neuronas sufren un cambio de distancias entre ellas de acuerdo a los clústers (agrupa datos de entrada utilizando alguna medida de similitud) presentes en los datos de entrada. A esto se conoce como matriz de distancia de pesos de las neuronas.

Las neuronas poseen en la mayor parte del mapa una distancia menor entre ellas. Esto se atribuye a que puede existir una mayor cantidad de datos en una determinada zona y por esta razón se requiere de más neuronas para su clasificación. Para darle un mayor sentido y comprensión, en el siguiente ítem se muestra la posición específica de los pesos de las neuronas y los datos de entrada.

## **4.3 DATOS DE ENTRADA**

Los datos de entrada otorgados por la empresa PacifPetrol para ejecutar el entrenamiento asociado a cada neurona nos indica el número de muestras.

Una vez obtenido el número de muestras, se enseña de forma explícita las cartas dinámicas asociadas a cada neurona, con el uso del 100% de la base de datos

Cómo se puede observar la red SOM presenta una sensibilidad a los cambios bruscos de las señales.

Tabla 1: PROPIEDADES DE ROCA – ANC 0550

<b>Propiedades de Yacimiento</b>	
$\emptyset$	0,085
$r_w (ft)$	0,316
$k(md)$	6,000
$\mu_o (cp)$	1,377
$\mu_w (cp)$	0,751
$\mu_g (cp)$	0,010
$S_{oi}$	0,40
$S_{or}$	0,24
$skin$	2
$B_{oi} (bbl/STB)$	1,130
$B_w (bbl/STB)$	1,006
$B_g (bbl/STB)$	0,030

Tabla 2: PROPIEDADES DE LA ROCA – CMA 0040

<b>Propiedades de Yacimiento</b>	
$\emptyset$	0,089
$r_w (ft)$	0,317
$k(md)$	6,000
$\mu_o (cp)$	1,687
$\mu_w (cp)$	0,754
$\mu_g (cp)$	0,011
$S_{oi}$	0,45
$S_{or}$	0,20
$skin$	2
$B_{oi} (bbl/STB)$	1,135

$B_w$ (bbl/STB)	1,004
$B_g$ (bbl/STB)	0,052

Tabla 3: PROPIEDADES DE LA ROCA – ANC 1646

<b>Propiedades de Yacimiento</b>	
$\emptyset$	0,090
$r_w$ (ft)	0,336
$k$ (md)	6,000
$\mu_o$ (cp)	1,380
$\mu_w$ (cp)	0,759
$\mu_g$ (cp)	0,011
$S_{oi}$	0,48
$S_{or}$	0,20
$skin$	2
$B_{oi}$ (bbl/STB)	1,137
$B_w$ (bbl/STB)	1,004
$B_g$ (bbl/STB)	0,032

Tabla 4: PROPIEDADES DE LA ROCA – ANCC 042

<b>Propiedades de Yacimiento</b>	
$\emptyset$	0,090
$r_w$ (ft)	0,336
$k$ (md)	6,000
$\mu_o$ (cp)	1,380
$\mu_w$ (cp)	0,759
$\mu_g$ (cp)	0,011
$S_{oi}$	0,48

$S_{or}$	0,20
$skin$	2
$B_{oi}$ (bbl/STB)	1,137
$B_w$ (bbl/STB)	1,004
$B_g$ (bbl/STB)	0,032

---

#### 4.4 LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN PHYTON

Python es un lenguaje de programación interpretado, interactivo y orientado a objetos, proporciona estructuras de datos de alto nivel, como listas y matrices, módulos, clases, excepciones, administración automática de memoria, entre otros. Tiene una sintaxis notablemente simple y elegante, sin embargo, es un lenguaje de programación poderoso. Fue diseñado en 1990 por Guido Van Rossum, como muchos otros lenguajes de secuencias de comandos, es gratuito, incluso con fines comerciales y se puede ejecutar prácticamente en cualquier computadora moderna.

Los objetivos del uso de Python son similares a los del uso de Matlab. Ambos son lenguajes interpretados, extensibles y de alto nivel, pero existen diferencias. Python tiene una sintaxis mucho más amplia, lo que hace que el código sea más fácil de leer y depurar. Es completamente de código abierto y se desarrolla continuamente en todas las plataformas, cada una de las cuales tiene su propia base de usuarios sólida. Cuando se encuentra errores o incompatibilidades, generalmente se corrigen muy rápidamente. Otra ventaja importante es que Python tiene un gran conjunto de bibliotecas ya construidas, incluida una interfaz completa para llamadas. (Peirce, 2007)

#### 4.5 APROBACIÓN DEL LENGUAJE DE PROGRAMACIÓN

El uso del lenguaje de programación Python para entrenar una red neuronal artificial en un sistema de levantamiento artificial por bombeo mecánico resulta compleja, debido a la cantidad de datos que se requiere para su entrenamiento y para que el error resulte ser mínimo.

Se observa que el 82% del total de pozos evaluados en la presente investigación fueron exitosos, frente a un 18% que presentaron anomalías por interferencia de gas o daños presentados durante la producción de hidrocarburos en válvulas viajeras y en válvulas fijas. La visualización de estos errores se debe principalmente a la toma de cartas dinámicas representativo para cada neurona.

## 4.6 FUNCIONAMIENTO

SOM cuenta con dos opciones para el ingreso de datos, los cuales deben estar en forma de tablas.

La primera columna debe obtener datos correspondientes al tiempo y la segunda columna los datos de desplazamiento tomados por el dinamómetro de la bomba, para al final ingresarlos al software.

Tabla 5: RADIO DE INVESTIGACIÓN – ANC 0550

Tiempo (hr)	Radio de Investigación (ft)
3	89
6	125,76
9	153,32
12	177,12
24	249
36	306,45
48	354, 25
60	395
72	433,15

Tabla 6: RADIO DE INVESTIGACIÓN – CMA 0040

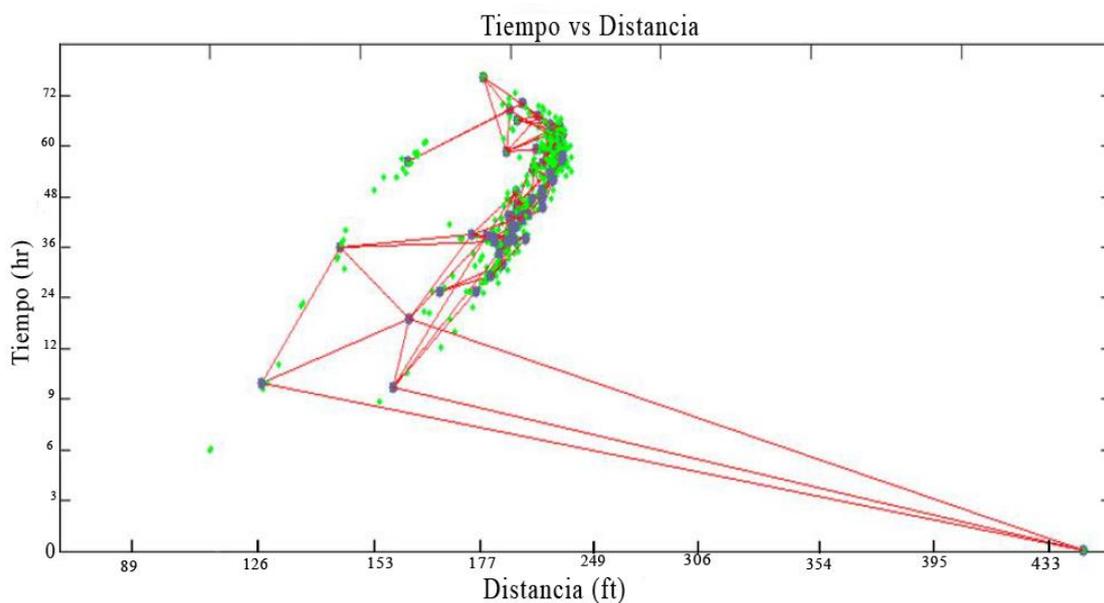
Tiempo (hr)	Radio de Investigación (ft)
3	81,32
6	115,20
9	140
12	162
24	229,21
36	281,32
48	324
60	362,54
72	397,16

Tabla 7: RADIO DE INVESTIGACIÓN – ANC 1646

Tiempo (hr)	Radio de Investigación (ft)
3	87,78
6	123,45
9	153
12	178,31
24	250
36	306,75
48	354
60	395,43
72	434

Tabla 8: RADIO DE INVESTIGACIÓN – ANCC 042

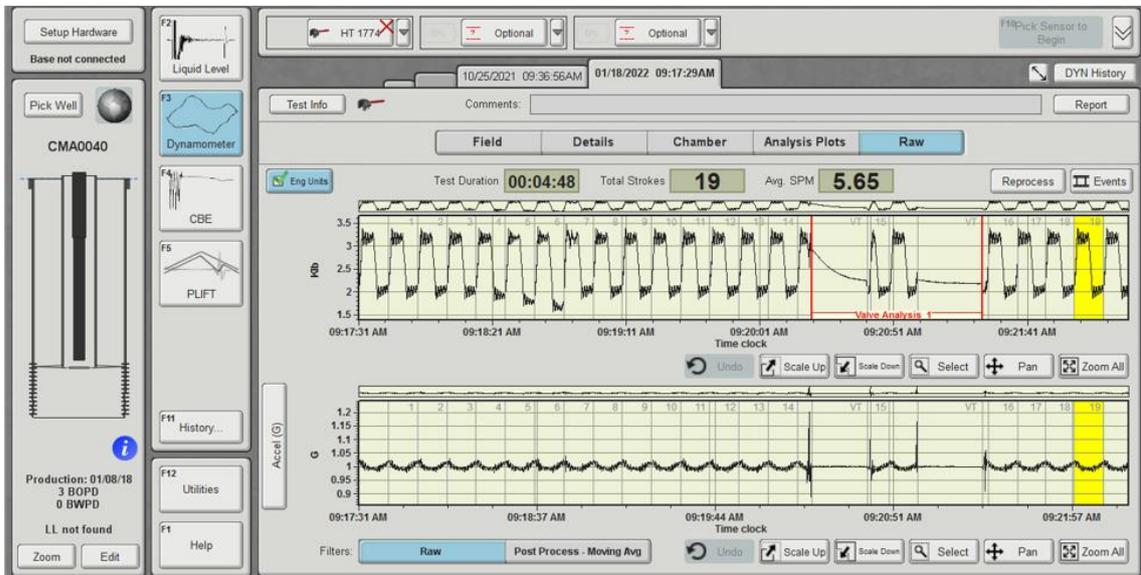
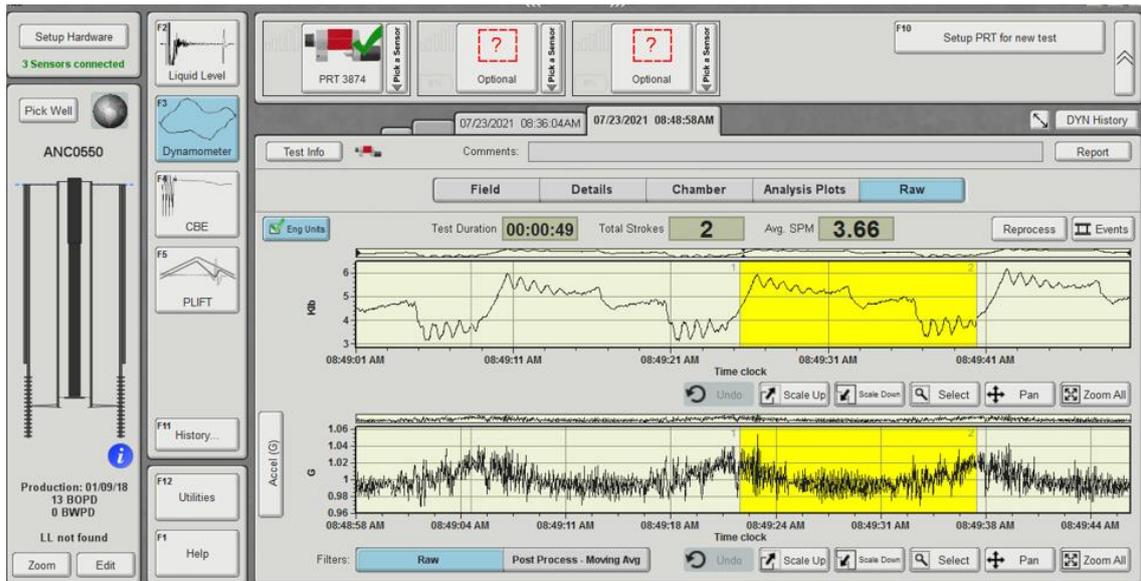
Tiempo (hr)	Radio de Investigación (ft)
3	88,50
6	122,45
9	151
12	179,63
24	252,15
36	308,43
48	354,87
60	396
72	435,29

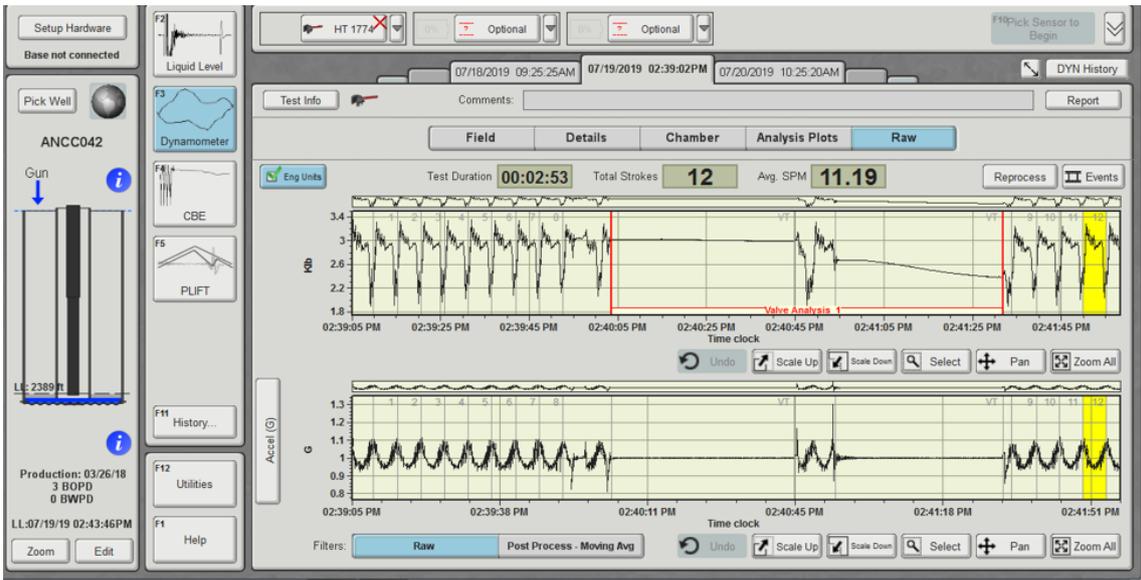
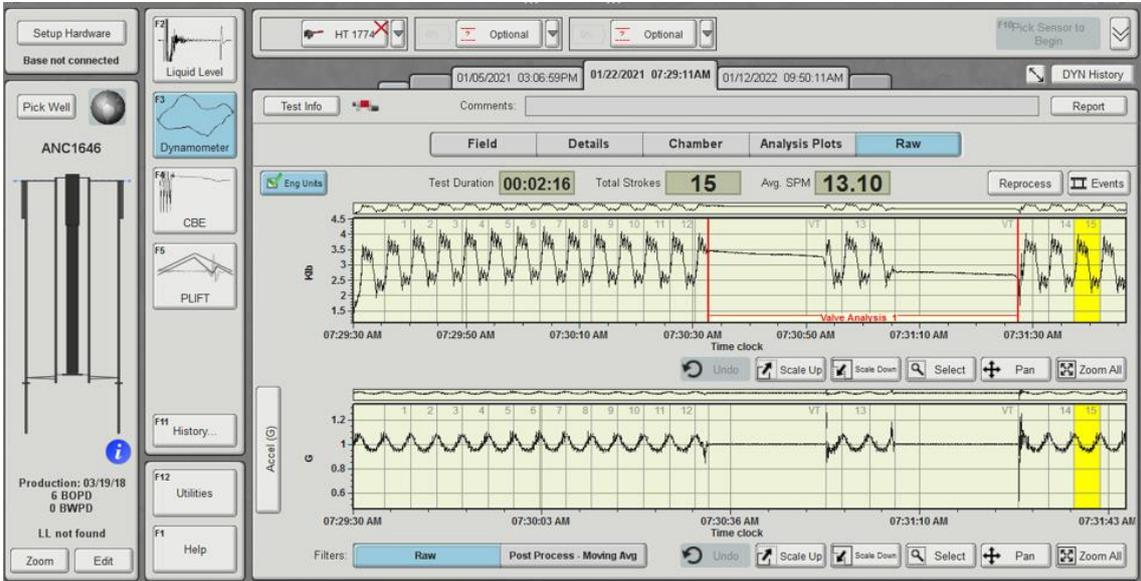


#### 4.6.1 IDENTIFICACIÓN DE ERROR

Luego de ingresar los datos se procede al proceso de identificación, puede seguir el comportamiento de los pozos a medida que se van identificando las fallas y esto da la posibilidad de tener una gráfica del estado de la bomba y cuál sería su tendencia.

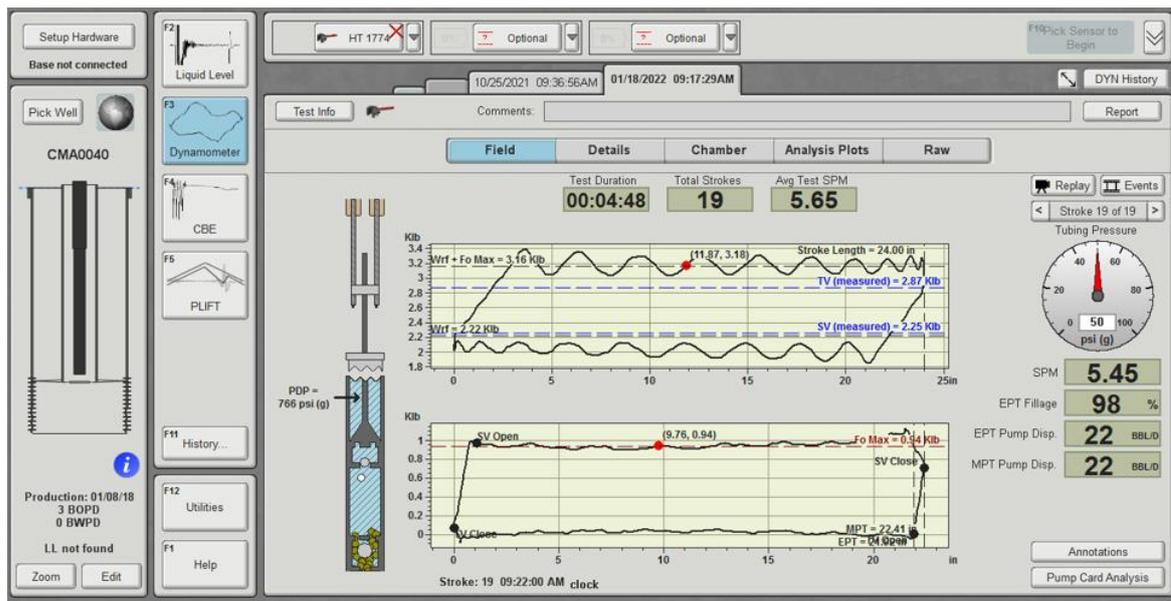
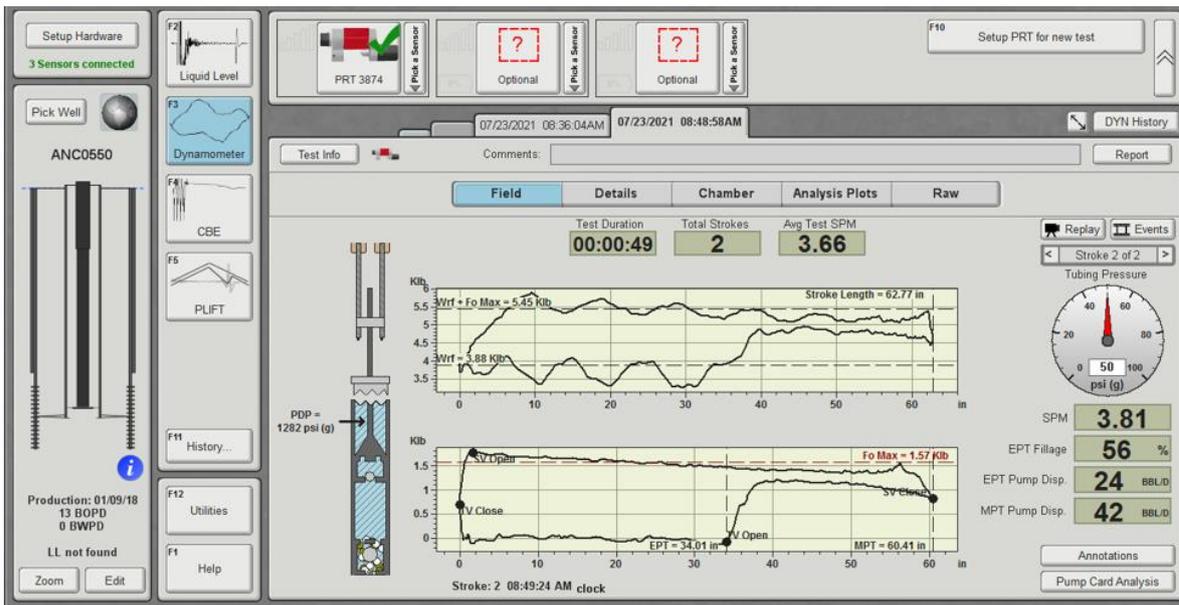
La red SOM contiene un identificador que adopta las características de las cartas dinámicas de entrada e idéntica el defecto más cercano a estas características. Esta buena coincidencia de los patrones es el resultado del entrenamiento y la potencia de la red SOM, independientemente del hecho, de que el esquema de entrada nunca se procesa cuando se entrena una red neuronal.

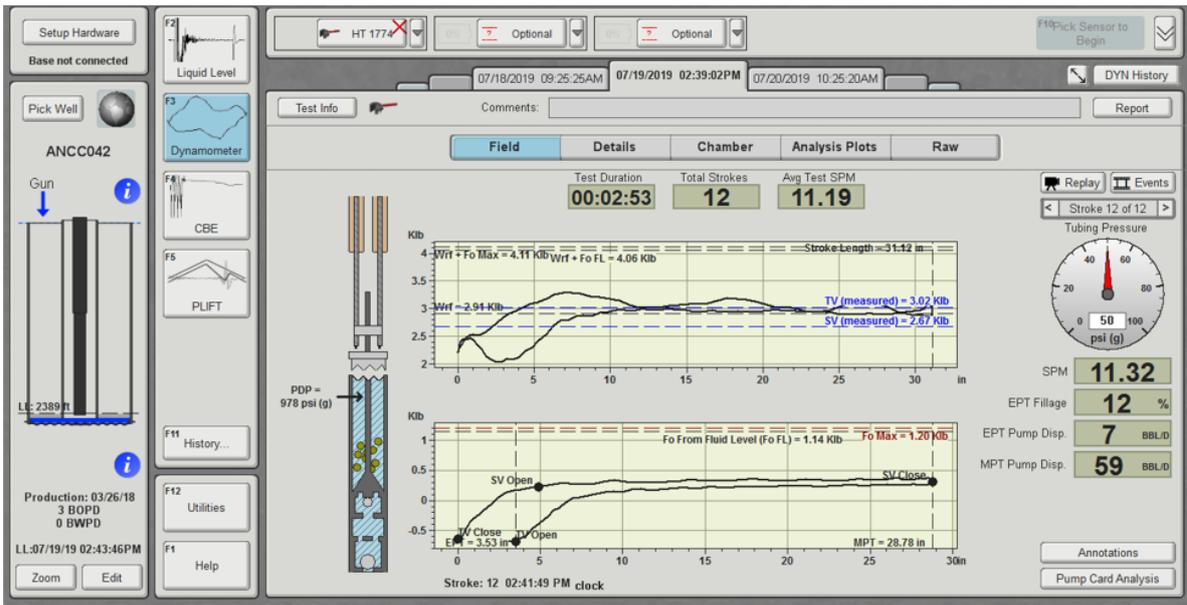
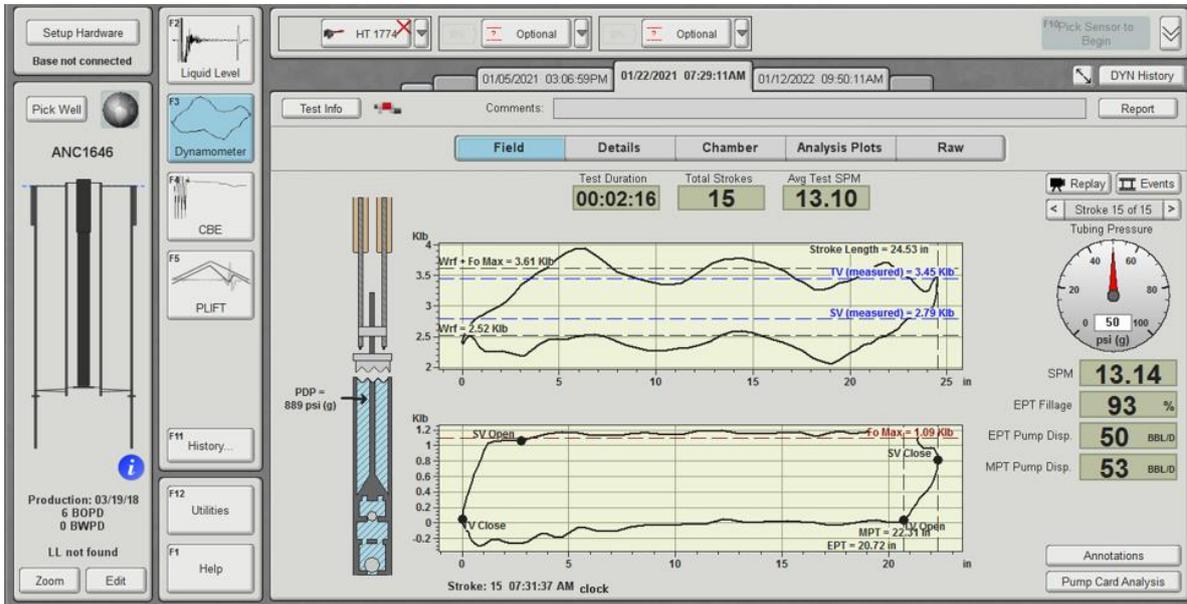




## 4.7 TRAYECTORIAS

Las trayectorias que se muestran una vez hecha la toma de las cartas dinamométricas en el área de estudio, indican las tendencias de las fallas próximas o que pueden ocurrir a lo largo de la producción de hidrocarburos por bombeo mecánico.





## **4.8 PRONÓSTICO DEL COMPORTAMIENTO**

Esta opción se aplica como una herramienta para la visualización de rutas para posibles errores en un futuro cercano, con un esquema de entrada y así por evaluar su seguridad, mejorando así la confianza a la tomar decisiones para hacer los respectivos trabajos en los equipos de fondo.

Del mismo modo, el programa calcula la ruta de los defectos más cercanos posibles a desarrollarse.

El diagrama muestra la posible ruta de falla en el futuro si la bomba no se repara de manera adecuada.

# CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

## 5.1 CONCLUSIONES

- En la presente investigación, se implementó las redes neuronales artificiales usando el lenguaje de programación Python, ejecutando el respectivo análisis de las cartas dinamométricas, se planteó los problemas que existen en el fondo del pozo, para así buscar soluciones futuras que incrementen la producción de hidrocarburos.
- En base, al entrenamiento de las redes neuronales artificiales, se determinó las falencias que existen en las unidades de bombeo mecánico (UBM) por falta de seguimiento, haciendo muy laborioso ejecutar un algoritmo, que permita identificar los problemas y optimizar el tiempo de producción.
- La red SOM diseña un mapa auto organizado para que de esta manera clasifique las muestras tan detalladamente como sea necesario, eligiendo así el número de neuronas para cada muestra de las dimensiones del mapa de salida. Por lo tanto, se proyectan los datos de entrada de altas dimensiones a bajas dimensiones, y de esa manera se respeta el uso de los datos.
- La información recibida por la red SOM se diferencia en niveles, donde cada uno engloba los coeficientes de aproximación, esto significa que, después de analizar la señal, los caminos o rutas contienen nodos donde la información de decaimiento es más evidente que la señal.
- Dependiendo del problema real presente en el pozo, una red neuronal artificial (SOM) proporciona una mejor identificación al involucrar dinamómetros con fallas combinadas durante la fase de aprendizaje.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Es recomendable seguir aplicando las redes neuronales artificiales como método alternativo, para tener un mayor control sobre el área de estudio y de las unidades de bombeo mecánico, para de esa manera poder detectar fallas en todos los equipos de subsuelo de los pozos del campo Gustavo Galindo.
- Implementar un algoritmo predictivo, que no solo determine el comportamiento de la sarta de varilla y de la bomba, sino que a su vez analice los efectos de la mezcla de los fluidos.
- Proponer que el equipo ECHOMETER trabaje en conjunto con el lenguaje de programación Python en la empresa PacifPetrol, para realizar un diagnóstico y seguimiento rutinario de los pozos productivos que ayuden a alargar la vida útil de las unidades de bombeo mecánico.
- Realizar estudios más a fondo aplicando las redes neuronales artificiales, para adquirir más conocimientos y tener avances en el área de la Neuro-computación aplicado a la industria petrolera.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Álvarez, F. J. (2013). Cartografías Semánticas mediante Redes Neuronales: Los Mapas Auto-Organizados (SOM) como Representación de Patrones y Campos. *Poli Papers*, 10.
- Arboleda, B. A. (2020). *Desarrollo de una Red Neuronal Artificial para la Predicción de la Tendencia Corrosiva e Inscrustante en Tuberías*. Quito.
- ARDILA, O. R. (2019). *Metodología para la Evaluación de la Eficiencia Energética en un Sistema de Levantamiento de Crudo Mediante Unidades de Bombeo Mecánico*. Bucaramanga.
- Arregocés, E. V., & Sánchez, E. C. (2011). Redes Neuronales Artificiales: Una Revisión del Estado del Arte, Aplicaciones y Tendencias Futuras. *Artificial Neuronal Networks: A Brief Review*, 12.
- Asanza, W. R., & Olivo, B. M. (2017). Redes Neuronales Artificiales Aplicadas al Reconocimiento de Patrones. *Redes 2017*, 28.
- Borja, J. M. (2015). *Estudio Técnico-Económico Para la Implementación de Unidades de Bombeo Mecánico con Rotaflex para el Área Libertador*. Quito.
- Caisa, J. L. (2013). *Estudio de Factibilidad para el Cañoneo Selectivo en las Arenas Productoras del Campo "Gustavo Galindo Velasco", Provincia de Santa Elena*. La Libertad.
- Cruz, M. C., & Peñuela, J. S. (2018). *Evaluación Técnica y Financiera del Desempeño de las Válvulas Guiadas en las Bombas de Subsuelo para Bombeo Mecánico en Dos Pozos que Evidencia Producción de gas y Geometría Altamente Desviada*. Bogotá.
- Dabrowski, A., Guelfo, T., & Lombardero, T. S. (2017). *Uso y Aplicaciones de Equipos "Pump Off Controller" en Bombeo Mecánico*. Buenos Aires.
- Díaz, M. L., & Panchana, A. P. (2015). *Estudio Técnico-Económico de Inyección Alternada de Nitrógeno Huff & Puff para Recuperación Mejorada de Petróleo en Pozos del Campo Gustavo Galindo Velasco*. La Libertad.
- Diez, R. P., Gómez, A. G., & Martínez, N. d. (2001). *INTRODUCCIÓN A LA INTELIGENCIA ARTIFICIAL: Sistemas Expertos, Redes Neuronales Artificiales*. España: Servicios de Publicación Universidad Oviedo.
- Fernandez, J. G. (2014). *Evaluación de las Varillas de Fibra de Vidrio en el Sistema de Bombeo Mecánico para Optimizar la Producción de Petróleo*. Lima.
- García, A. M. (2019). *Caracterización de Reservorios a Escala Sísmica usando Física de Rocas y Redes Neuronales Artificiales Supervisadas*. Bogotá.
- Hernandez, S. D., & Córdova, T. F. (2017). Simulación de una Red Neuronal con Mapas Auto-Organizados (SOM) de Kohonen. *Jóvenes en la Ciencia*, 4.
- Jacobo, U. C. (2018). *Optimización Multi Variable de un Transformador Térmico con Reciclado de Calor Usando Algoritmos Genéticos en la Red Neuronal Artificial Inversa*. México.

- Loor, D. F., & Romero, J. L. (2014). *Estudio de la Factibilidad para la Implementación del Sistema de Bombas de Cavidades Progresivas en el Campo Gustavo Galindo Velasco ubicada en la Provincia de Santa Elena*. La Libertad.
- Lucas, E. d. (2019). *Pronóstico de Energía Eólica para Horizontes Temporales de Corto Plazo en Base a Modelo Numérico de Mesoescala y Redes Neuronales Artificiales*. Montevideo.
- Martínez, A., Palma, J., & Ordoñez, N. (2021). *Redes Neuronales Artificiales para la Clasificación del Rendimiento Académico de Estudiantes de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la UNAM*. León-Nicaragua: Unam-Leon 2011-2018.
- Martínez, I. (18 de Agosto de 2011). *Cartas Dinamométricas*. Obtenido de Cartas Dinamométricas : <https://es.scribd.com/document/62543964/Cartas-Dinamometricas>
- Moncada, D. D. (13 de Abril de 2016). *Bombeo y Crudos Pesados*. Obtenido de Bombeo y Crudos Pesados: <https://bombeoycrudospesados.wordpress.com/2016/04/13/3caracterizacion-del-sistemas-de-levantamiento-artificial-bombeo-mecanico-en-pozos-de-crudo-pesado/>
- Natera, A. J. (2021). *Sistema de Reconocimiento de Patrones en Cartas Dinagráficas de Sistemas de Producción de Petróleo por Bombeo Mecánico*. Guayana.
- Onofre, A. E. (2014). *Estudio Técnico Económico para Implementar Bombeo Mecánico con la Unidad Rotaflex en el Campo Sacha*. Quito.
- Peirce, J. (2007). Psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 13.
- Pérez, N. R., Estrada, M. L., & Ayala, C. R. (2013). Mecanismos de Aprendizaje Automático: Red Neuronal Perceptrón. *Pistas Educativas*, 13.
- Ríos, D. A. (2020). *Una Aplicación de Redes Neuronales Artificiales para el Pronóstico de los Rendimientos de la Serie de Ecopetrol*. Colombia.
- Sánchez, J. C. (18 de Junio de 2016). *Bloque 2 Gustavo Galindo*. Obtenido de Bloque 2 Gustavo Galindo: <https://studylib.es/doc/8864673/bloque-2-gustavo-galindopresentacion>
- Sánchez, M. A., & Barriga, J. C. (2020). *Evaluación del Sistema de Bombeo Mecánico mediante la Implementación de las Cajas Tangent Flow en un Pozo Representativo del Campo Palagua que presenta Bloqueo por Gas*. Bogotá.
- Segade, J. L. (2015). Obtención de las Deformaciones Plásticas en Conexiones Roscadas de Componentes Petroleros Usando Redes Neuronales. *Atenea*, 108.
- Segovia, J. R. (2019). *Análisis técnico económico para el cambio del sistema de levantamiento artificial de bombeo hidráulico a bombeo mecánico en pozos del Campo Lago Agrio*. Quito.
- Tituaña, F. E. (2018). *Optimización de la producción del campo Gustavo Galindo Velasco por medio del método de Fracturamiento Hidráulico*. Quito.
- Uriarte, E. A., & Martín, F. D. (2005). *Topology preservation in SOM*. *International journal of applied mathematics and computer sciences*.
- Vega, A. F. (2020). *Predicción de la Demanda de Energía Eléctrica en la Producción de Petróleo de los Campos de Petroamazonas EP utilizando Redes Neuronales Artificiales*. Quito.

Villada, F., Arroyave, D., & Villada, M. (2014). Pronóstico del Precio del Petróleo mediante Redes Neuronales Artificiales. *Información Tecnológica*, 10.

Villón, O. J. (2019). *Obtención de Parámetros de Yacimiento mediante Pruebas de Presión Transiente, aplicado al campo "Gustavo Galindo Velasco"*. La Libertad.

# ANEXOS





