

INCORPORACIÓN DE ECOMETRÍA A LOS SISTEMAS DE TELESUPERVISIÓN

Gustavo G. Vignolo
José A. Vázquez
Eduardo N. Nieto
Luis A. Palma

Sinopsis

Las determinaciones de sumergencia, en zonas denominadas marginales, se realizan mediante ecómetros portátiles. La frecuencia de las mismas depende tanto de la cantidad de pozos y equipos disponibles, como así también del presupuesto anual destinado para tal fin. El proyecto planteado abarca desde la etapa de diseño hasta la aplicación en campo, pasando por la fabricación, ensayo y calibración, de un sistema de medición ecométrica estática de bajo costo incorporado a la telesupervisión en pozos de baja producción. El mismo presenta dos retos importantes de diseño: el sensor para captar el pulso sonoro y el sistema de generación del mismo. En el primer caso, la opción más conveniente para esta etapa es el empleo de un micrófono comercial de alta respuesta y capacidad de soportar grandes presiones estáticas. En el segundo, se pretende diseñar un sistema de disparo del pulso sonoro que no requiera de un cilindro con gas a presión. Para ello, se busca crear un dispositivo electro-mecánico capaz de generar una perturbación acústica de características controladas. Sin embargo, en el diseño se encuentran varios desafíos: que el sistema funcione adecuadamente independientemente de la presión del pozo, que el conjunto cumpla con las características anti-explosivas requeridas para las instalaciones, y que el consumo energético sea lo suficientemente bajo como para poder lograr un dispositivo autosuficiente con generación de una celda fotovoltaica. En ese sentido, se intenta lograr un sistema que sea capaz de almacenar energía con una baja tasa de acumulación, para liberarla rápidamente en el disparo. El tiempo mínimo entre disparos dependerá de la tasa de acumulación de energía. Este Trabajo mostrará los desafíos técnicos y los criterios de diseño utilizados para el diseño y aplicación del sistema estático de ecometría.

Introducción

Uno de los parámetros que determina la eficiencia con que un pozo productor de crudo es explotado es su nivel dinámico de fluido. Apartarse del nivel óptimo de operación implica desperdiciar capacidad productiva del pozo con la consecuente resignación de ganancias, o poner en riesgo severo la integridad mecánica del sistema de bombeo. La metodología empleada regularmente para determinar el nivel de los pozos productores es recurriendo a un servicio periódico de medición. Dada la dispersión geográfica de los pozos en los yacimientos del sur argentino, las mediciones se tornan infrecuentes y, en muchas ocasiones, insuficientes. Esto brinda la oportunidad de desarrollar un sistema remoto de medición de nivel que, a través del sistema de monitoreo ya implementado, informe periódicamente el nivel dinámico de los mismos.

Generalmente, la determinación de nivel se realiza mediante un disparo de gas CO₂ a través de la boca del pozo (explosión) o la liberación del gas presurizado del pozo hacia un tubo (implosión). La señal acústica resultante que viaja dentro de la cavidad rebota en el nivel y es captada por el equipo en la superficie.

El mismo principio físico es empleado en el desarrollo propuesto por lo que requiere de un mecanismo para producir la perturbación sonora, un dispositivo adecuado para medirla y la electrónica adecuada para sincronizar, adquirir, transmitir y procesar las señales recibidas. No obstante, el sistema diseñado busca obviar la necesidad de un tanque presurizado para la generación del pulso y a su vez, que pueda emplearse en pozos con o sin presión de gas, independientemente del sistema de extracción del que dispongan.

Para ello, se han evaluado diversas alternativas para la generación del pulso, entre las que pueden citarse el desplazamiento de un émbolo mediante un acople electromagnético y mediante un resorte precargado. En ambas se requiere controlar la forma e intensidad de la perturbación acústica generada para optimizar la amplitud del rebote.

Las dos propuestas citadas fueron simuladas mediante un modelo físico-matemático desarrollado específicamente, validadas en un banco de pruebas y, por último, contrastadas en mediciones experimentales.

Desarrollo

La descripción físico-matemática del fenómeno acústico queda determinada por la ecuación de Euler (efectos viscosos despreciables), resultando [1]:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \underline{V}}{\partial t} &= -\frac{1}{\rho} \nabla p = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) \nabla \rho \approx -\frac{1}{\bar{\rho}} \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) \nabla \rho \\ \rho &= \bar{\rho}(1+s) \Rightarrow \nabla \rho = \nabla \bar{\rho} + \bar{\rho} \nabla s = \bar{\rho} \nabla s, \\ \therefore \frac{\partial \underline{V}}{\partial t} &= -\left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) \nabla s\end{aligned}\quad (1)$$

donde $\underline{V}$ es la velocidad del fluido, $\bar{\rho}$ es una densidad de referencia y s es denominada condensación (un infinitesimal). En la Ec. (1) se han desestimado los términos inerciales porque el movimiento global del fluido se considera despreciable.

El balance de masa resulta:

$$\begin{aligned}\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \underline{V}) &= 0 \\ \Rightarrow \frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \bar{\rho} \frac{\partial s}{\partial t} + \nabla \cdot (\bar{\rho} \underline{V}) + \nabla \cdot (\bar{\rho} s \underline{V}) &= 0 \\ \Rightarrow \bar{\rho} \frac{\partial s}{\partial t} + \bar{\rho} \nabla \cdot \underline{V} + \underline{V} \cdot \nabla \bar{\rho} + \bar{\rho} s \nabla \cdot \underline{V} + \bar{\rho} \underline{V} \cdot \nabla s &= 0 \\ \therefore \bar{\rho} \frac{\partial s}{\partial t} + \bar{\rho} \nabla \cdot \underline{V} &= 0\end{aligned}\quad (2)$$

donde se desprecian los términos de segundo orden (productos de dos infinitesimales).

Si se aplica el gradiente de la Ec. (2) y se deriva respecto del tiempo a la Ec. (1) se tiene:

$$\begin{aligned}\nabla \left(\frac{\partial s}{\partial t} \right) + \nabla (\nabla \cdot \underline{V}) &= 0 = \left[\frac{\partial}{\partial t} (\nabla s) \right] + \nabla^2 \underline{V} \\ \frac{\partial^2 \underline{V}}{\partial t^2} &= -\left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) \left[\frac{\partial}{\partial t} (\nabla s) \right], \\ \therefore \frac{\partial^2 \underline{V}}{\partial t^2} &= \left(\frac{\partial p}{\partial \rho} \right) \nabla^2 \underline{V} = a^2 \nabla^2 \underline{V}\end{aligned}\quad (3)$$

donde la presión puede calcularse a partir de la solución y de la Ec. de Euler $\nabla p = -\rho \frac{\partial \underline{V}}{\partial t}$

La misma expresión de la Ec. (3) puede derivarse para el desplazamiento de las partículas, presión o condensación.

a. Movimiento de ondas planas (dirección X):

Si se considera a ϕ como el potencial de velocidad, entonces la Ec. (5) se torna:

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial t^2} = a^2 \nabla^2 \phi. \quad (4)$$

Si se efectúa el cambio de variables:

$$\begin{aligned}\xi &= x + at \\ \eta &= x - at\end{aligned}\quad (5)$$

la Ec.(4) se transforma en

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial \eta \partial \xi} = 0, \quad (6)$$

cuya solución queda determinada por

$$\phi = \phi_1(\eta) + \phi_2(\xi) = \phi_1(x - at) + \phi_2(x + at), \quad (7)$$

donde ϕ_1 y ϕ_2 son funciones reales arbitrarias, ϕ_1 se propaga en el sentido positivo de x , mientras que ϕ_2 se propaga en el sentido negativo. Cualquier combinación lineal de estas funciones es también una solución, dado que la ecuación de la onda es lineal. La incorporación de fenómenos termo-viscosos produce que deban resolverse de forma acoplada los balances de masa, cantidad de movimiento y energía [2,3], implicando ecuaciones con un grado de complejidad sensiblemente mayor, y cuyas soluciones sólo pueden aproximarse analíticamente para condiciones particulares, o bien resolverse numéricamente [4-6].

Para estimar la propagación de la perturbación generada en la boca del pozo a través del anular hasta rebotar con el nivel de fluido y volver a superficie, se resuelve en este trabajo la Ec.(4) mediante el método de diferencias finitas, tanto en el tratamiento temporal como el espacial.

Discretizando el fluido (medio elástico) en masas discretas, m_i , e incorporando la no-linealidad de la relación entre presión y densidad de cada una, la aceleración de cada elemento m_i puede expresarse entonces como:

$$\ddot{u}_i = \frac{A}{m_i} P_e \left[\left(\frac{\Delta x}{\Delta x + u_i - u_{i-1}} \right)^\gamma - \left(\frac{\Delta x}{\Delta x + u_{i+1} - u_i} \right)^\gamma \right], \quad (8)$$

donde Δx es la longitud de cada elemento, m_i es su masa, u_i es su desplazamiento, A es su área transversal, P_e su presión estática y γ el coeficiente politrópico del gas en esas condiciones.

La energía de las perturbaciones moviéndose en un gas tiene dos medios de disipación, por fricción con el entorno (B) [6] y por absorción dentro del gas (b). El modelo discretizado para contemplar ambos se muestra en la Figura 1.

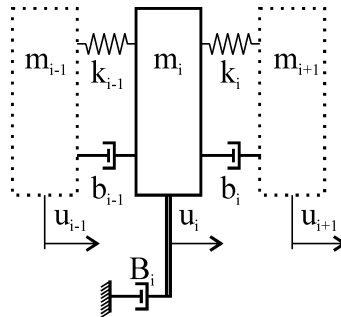


Figura 1: Sistema con disipación de energía.

De acuerdo a [3], las pérdidas por fricción son proporcionales a $\sqrt{f}$, mientras que las debidas a la absorción son proporcionales a f^2 , donde f es la frecuencia de la excitación.

La incorporación de estos dos fenómenos al modelo de diferencias finitas se hace considerando la presencia una fuerza actuante sobre el elemento proporcional a la velocidad instantánea del elemento

para la fricción y de fuerzas proporcionales a la diferencia de velocidad entre el elemento y los elementos adyacentes para la absorción.

A fin de resolver las ecuaciones para una discretización como la mostrada en la Figura 2, se desarrolló un modelo en Simulink, de donde se obtuvieron los resultados que se muestran en las secciones subsiguientes.

Para cotejar las simulaciones numéricas, se diseñó y construyó un banco para ensayos de laboratorio. El mismo cuenta con una tubería enrollada que emula las características del pozo, una toma para acoplar el mecanismo de disparo y tres sensores para medir el progreso del pulso, como se muestra en la Figura 2.

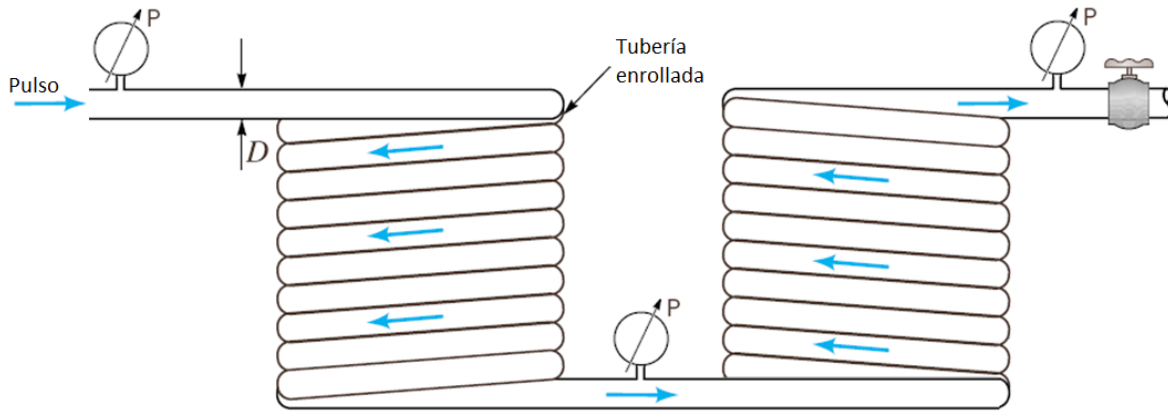


Figura 2: Esquema del banco de ensayos construido.

Las características de la instalación fueron determinadas manteniendo la relación entre la Longitud de la Tubería y el Radio Hidráulico de la misma, como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1: Datos de la Instalación.

Instalación de Campo	
Prof típica (m)	1300
Radio Hidráulico (m)	0,0216
Relación Prof/RH	60195,35
Instalación de Laboratorio	
Diámetro int (mm)	10
Diámetro int (m)	0,01
Área (m ²)	7,85 E-05
Radio Hidráulico (m)	0,0025
Longitud (m)	150,48

De acuerdo con lo expresado en la Tabla 1, la instalación consta entonces de un tubo de 10mm de diámetro interno y 150m de longitud. En el mismo se ubicaron tres sensores de presión: uno en el extremo del generador del pulso, otro a 100m del mismo y otro sobre el otro extremo, a 150m. Asimismo, se desarrolló el sistema de medición necesario para efectuar las pruebas.

a. Sistema de émbolo de inducción

Se presenta a continuación el desarrollo de un sistema generador capaz de entregar un pulso medible en la instalación. Para ello se adopta, en primera instancia, una configuración basada en un actuador electromagnético como la mostrada en la Figura 3.

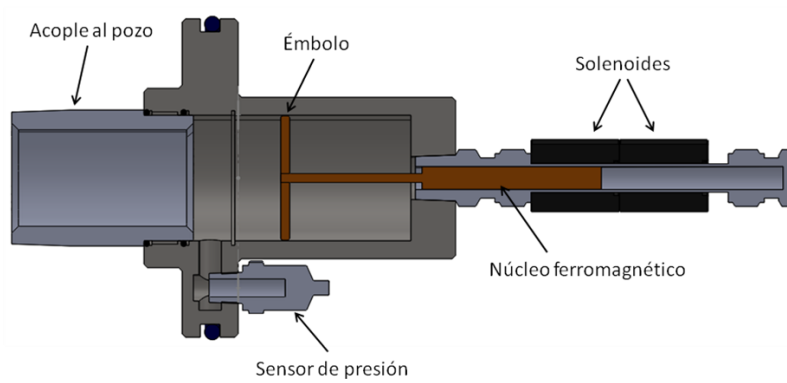


Figura 3: Esquema del sistema de disparo electromagnético.

Para su funcionamiento, se aplica una alimentación controlada al solenoide. Esto genera un campo magnético que impulsa al núcleo hacia el interior del mismo, desplazando el pistón y generando el pulso buscado. La estanqueidad del sistema se logra envainando el émbolo en un tubo de acero inoxidable (paramagnético) y colocando los solenoides en el exterior. Así, el émbolo está en contacto con los gases del pozo y el accionamiento del mismo se produce por inducción magnética desde fuera. De esta manera, no se introducen cables dentro de la zona presurizada ni se requieren sellos que permitan movimiento de las partes.

Dado que el circuito permite la regulación de la excitación del solenoide, puede gobernarse el movimiento del mismo. Como que se pretende que el equipo funcione remotamente y con una fuente de energía autónoma, la energía que puede suministrarse al pulso depende fundamentalmente de la capacidad de acumulación que se disponga. La idea que se desarrolla es la descarga súbita de un banco de capacitores sobre el solenoide para generar el pulso. Luego, una batería produce la carga de los mismos paulatinamente.

Mediante el empleo de los modelos presentados, se simularon pulsos en diversas condiciones. Las Figuras 4 a 7 muestran la evolución de un pulso de 180V suministrados por un banco de capacitores de 4000 μ F en una instalación con las características del equipo de laboratorio que se describe posteriormente.

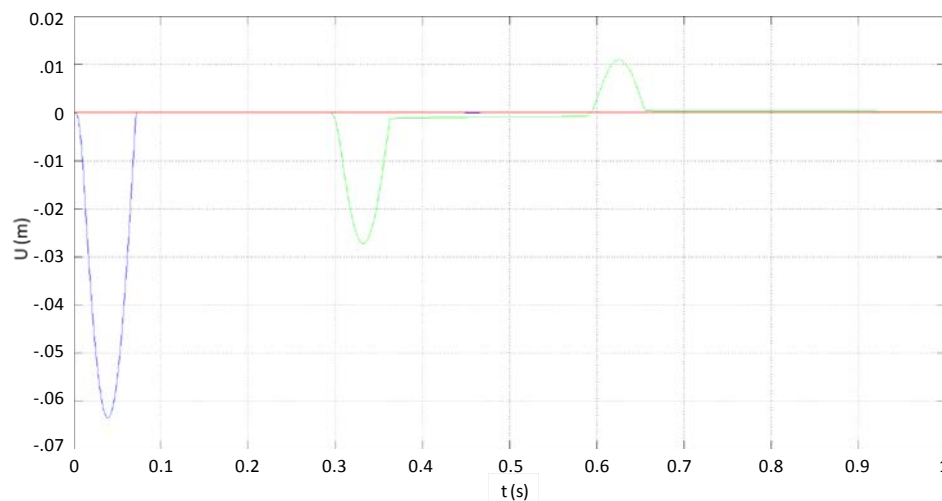


Figura 4: Desplazamiento (m) del pulso simulado a 0m (azul), a 100m (verde) y a 150m (rojo).

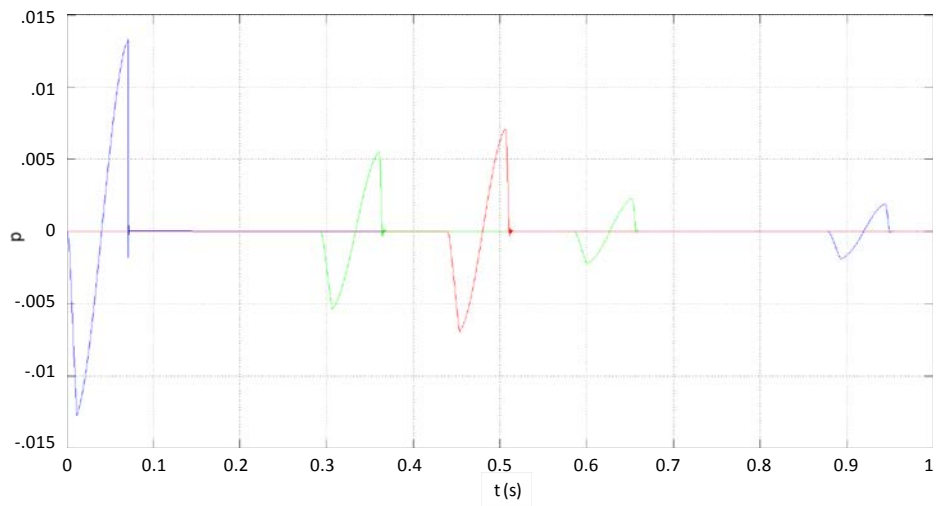


Figura 5: Presión adimensional del pulso simulado a 0m (azul), a 100m (verde) y a 150m (rojo).

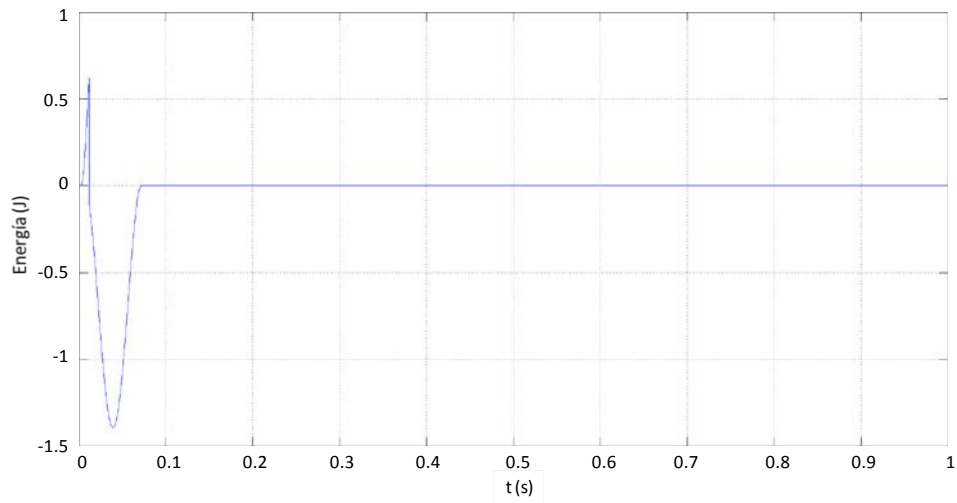


Figura 6: Energía (J) entregada por el pulso.

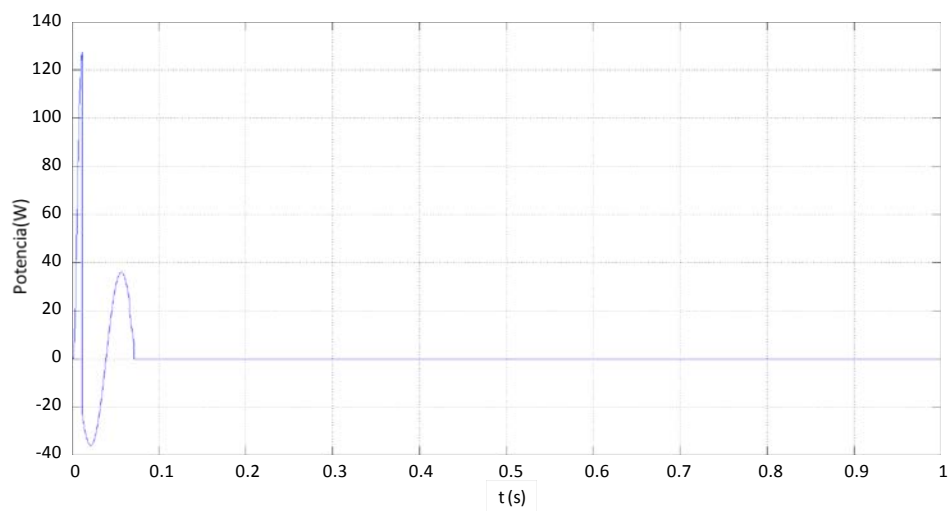


Figura 7: Potencia (W) entregada por el pulso.

Puede apreciarse que las simulaciones arrojan resultados alentadores. A fin de constatar los datos obtenidos, se hicieron ensayos de laboratorio y de campo.

En la Figura 8 se muestra un ensayo en Laboratorio. Puede apreciarse que se distingue claramente el disparo, el paso del pulso por el primer sensor, el rebote en el fondo y el retorno. Ensayos similares al presentado han sido empleados para poner a punto tanto el generador del pulso como el circuito encargado de producir la descarga sobre los solenoides y el sistema de adquisición de las señales.

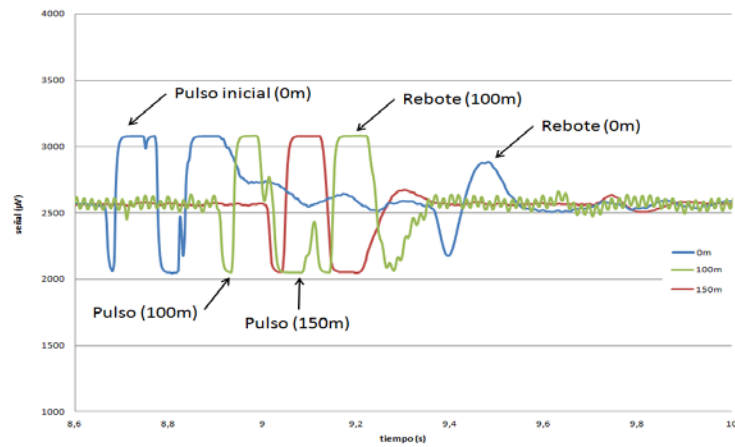


Figura 8: Ensayo de Laboratorio. $C=3000\mu\text{F}$. $V=200\text{v}$. Ganancia= 7784v/v .

La Figura 9 muestra un ensayo en campo sobre un pozo en producción con el equipo diseñado, mientras que en la Figura 10 se aprecia un disparo con un dispositivo manual de implosión. A simple vista puede verse que el pulso generado (y los rebotes) con el equipo convencional resulta de un orden de magnitud mayor al del equipo diseñado.

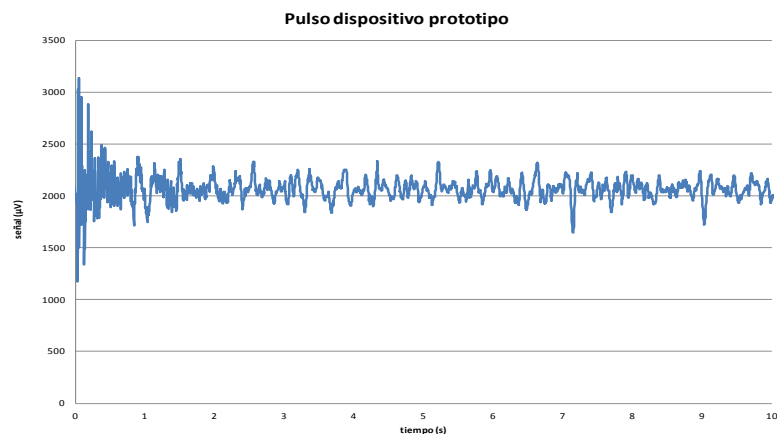


Figura 9: Ensayo de campo con el equipo diseñado.

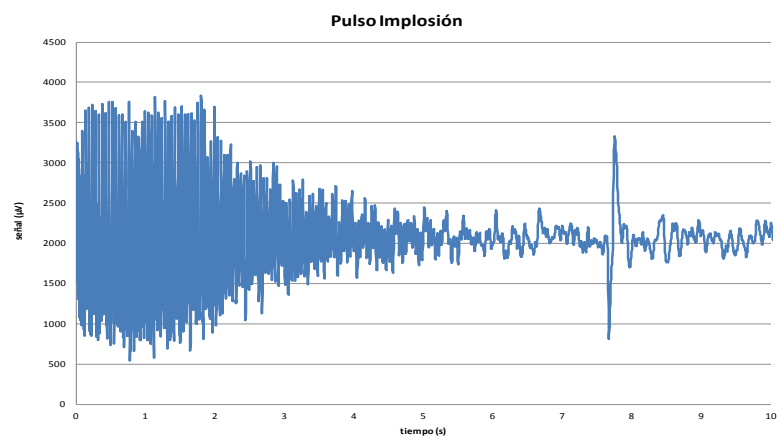


Figura 10: Ensayo de campo con equipo de implosión.

Puede apreciarse que en el ensayo con el dispositivo diseñado no llega a distinguirse el rebote del pulso, mientras que con la implosión se identifica claramente. Se concluye que se requiere incrementar la potencia del pulso inicial. Asimismo, debido a la presencia de ruido en el pozo tuvo de disminuirse la ganancia de la etapa amplificadora del circuito de medición en un orden de magnitud, de 7784 a 834V/V.

Trabajos posteriores en pos de mejorar la amplitud del disparo generado por inducción llevaron a modificar el circuito encargado de descargar sobre los solenoides, cambiar la cantidad y conexión de los mismos, optimizar el circuito magnético, etc. No obstante, no pudieron obtenerse mejoras del orden buscado y se decidió la implementación de otro mecanismo para generar el disparo.

La discrepancia encontrada entre las simulaciones y los experimentos se atribuye a la saturación del núcleo ferromagnético dado que se llega a un límite en que, independientemente de la corriente aportada a los solenoides, no se logra una mejora en el pulso.

b. Sistema de émbolo impulsado por resorte

Se presenta a continuación el desarrollo de un sistema generador impulsado por un resorte, como el mostrado en la Figura 11.

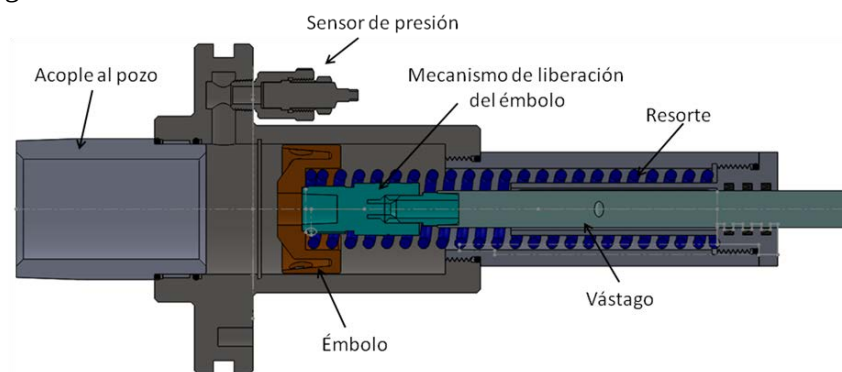


Figura 11: Esquema del sistema de disparo por resorte.

El principal desafío que presenta el diseño radica en garantizar la estanqueidad del sistema una vez instalado en la boca del pozo. Se propone para ello de un émbolo que pueda moverse libremente dentro de su camisa impulsado por el resorte. Para comprimir el resorte, y almacenar la energía potencial elástica necesaria, se vincula el émbolo con un vástago que, aislado mediante sellos, se comunica con el exterior. El nexo entre el vástago y el émbolo se logra mediante un mecanismo de desacople mecánico, el cual se acciona automáticamente una vez que el resorte está completamente comprimido. El trabajo para comprimir el resorte se hace sobre el extremo libre del vástago con un actuador lineal de baja velocidad. Una vez liberado el émbolo, el resorte se descomprime rápidamente, generando el pulso. Luego el actuador lleva lentamente el vástago hacia adentro hasta acoplarlo nuevamente con el émbolo a la espera de un nuevo disparo.

El mecanismo propuesto permite el movimiento súbito del émbolo sin afectar ningún sello, mientras que el vástago se mueve lentamente, permitiendo el correcto sellado de los retenes y garantizando una larga vida útil.

Las simulaciones de este dispositivo actuando sobre la instalación de Laboratorio se muestran en las Figuras 12 a 15. El resorte empleado tiene una rigidez de 10N/mm y una carrera de 70mm.

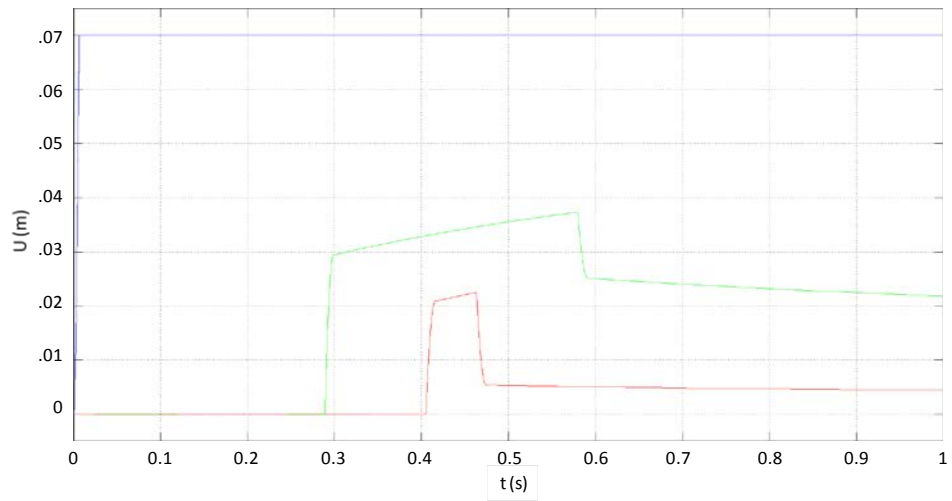


Figura 12: Desplazamiento (m) del pulso simulado a 0m (azul), a 100m (verde) y a 150m (rojo).

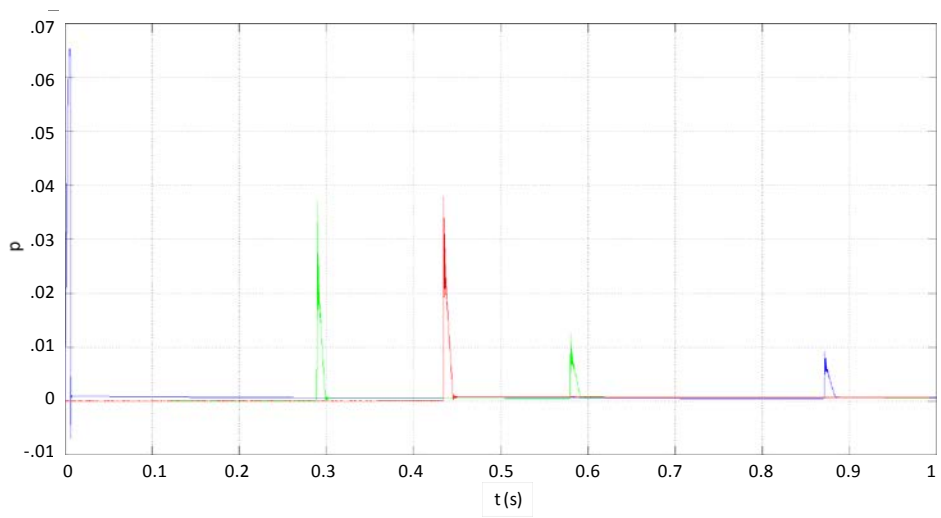


Figura 13: Presión adimensional del pulso simulado a 0m (azul), a 100m (verde) y a 150m (rojo).

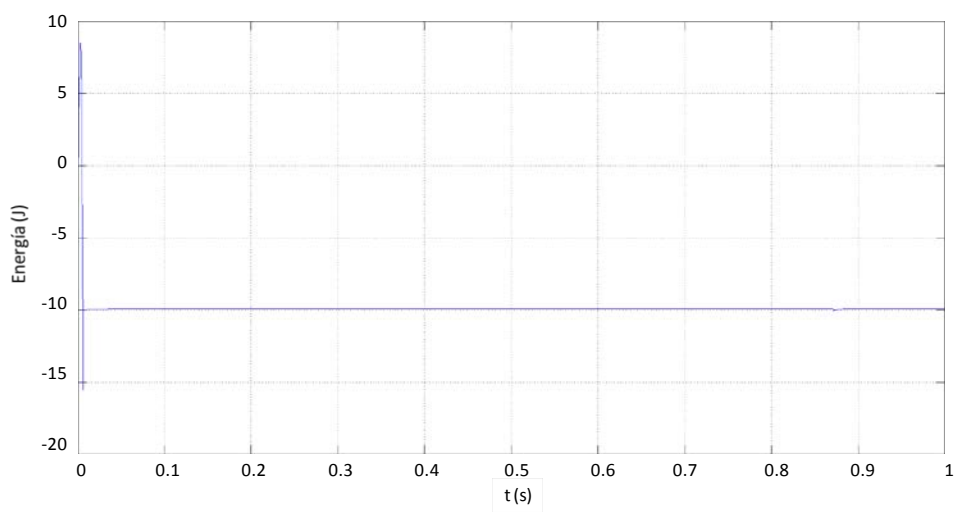


Figura 14: Energía (J) entregada por el pulso.

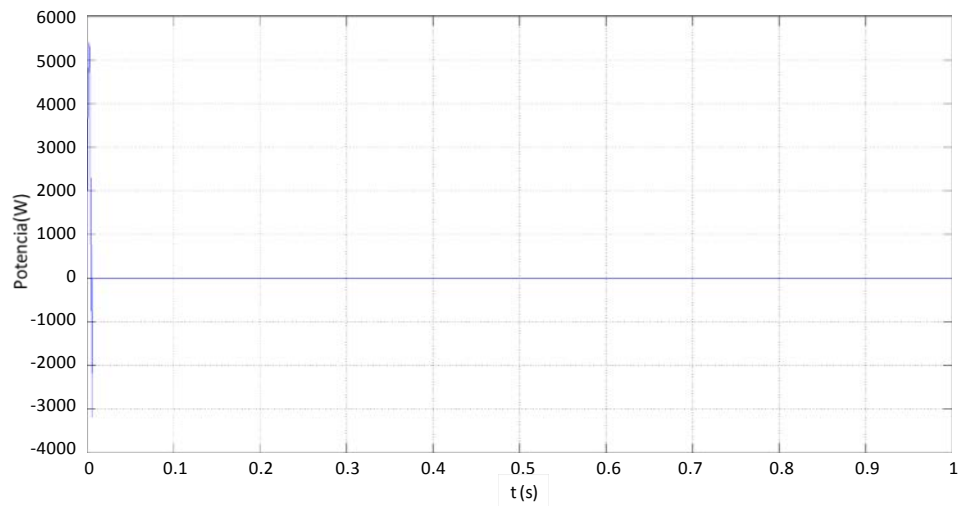


Figura 15: Potencia (W) entregada por el pulso.

En la Figura 16 se muestra un ensayo en Laboratorio con una ganancia un orden de magnitud menor que para el pulso electromagnético. Puede apreciarse que se distingue claramente el disparo, el paso del pulso por el primer sensor, el rebote en el fondo y el retorno. Las amplitudes logradas son similares a las obtenidas con el disparador electromagnético con una ganancia mayor.

La diferencia de amplitud el pulso a 0m frente a los pulsos a 100 y 150m puede atribuirse tanto a la posición del sensor (alejado unos 15cm de la instalación) como a la presencia de componentes de alta frecuencia en la señal, filtradas por el sistema de adquisición.

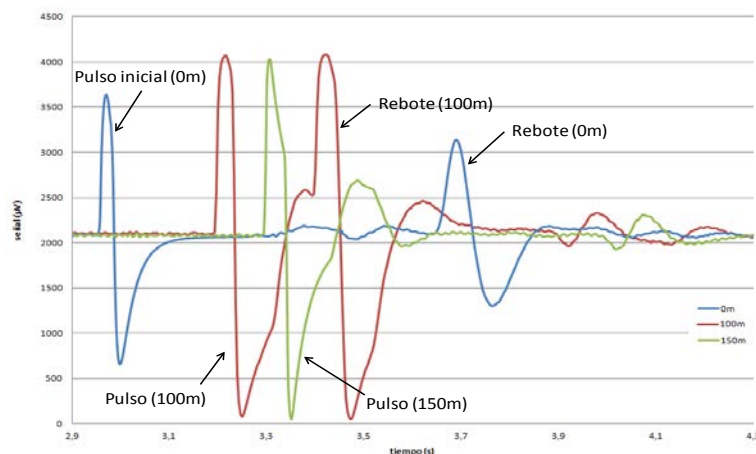


Figura 16: Ensayo de Laboratorio. Desp.=68mm. $k=0,57\text{kgf/mm}$. Ganancia=834v/v.

La Figura 17 muestra un ensayo en campo sobre un pozo en producción con el equipo diseñado, mientras que en la Figura 18 se aprecia un disparo con un dispositivo comercial manual. Dado que el pozo ensayado no contaba con presión suficiente para realizar un disparo por implosión, se requirió de la realización de un disparo por explosión, con un tubo presurizado con CO_2 .

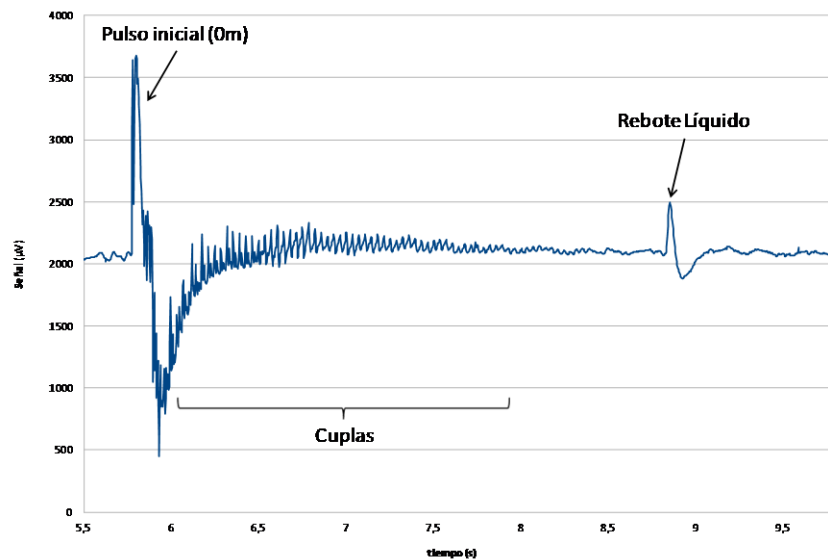


Figura 17: Ensayo de campo con el equipo diseñado.

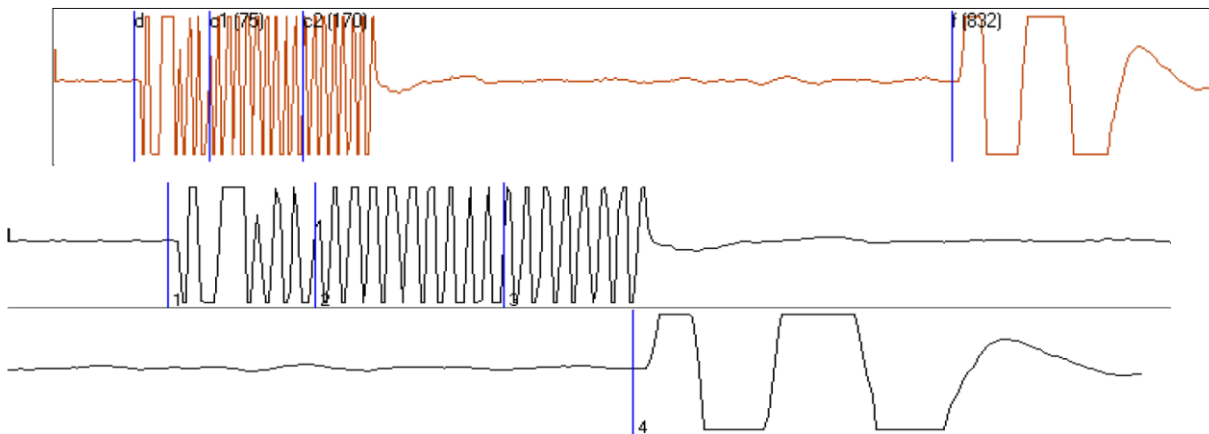


Figura 18: Ensayo de campo con equipo de explosión.

El gráfico en rojo de la Figura 18 corresponde a la medición realizada con el equipo comercial, mientras que los gráficos en negro situados en la parte inferior es un zoom del inicio y el fin de la señal. Puede apreciarse que la presencia de cuplas se detecta sólo en un breve intervalo de tiempo con este dispositivo, mientras que el resto del tiempo se auto-configura para la detección del nivel (no detecta altas frecuencias).

Del análisis de las mediciones efectuadas con el equipo diseñado, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 2.

Tabla 2: Resultados extraídos de la Figura 17.
CPS:Cuplas por Segundo. DEC: Distancia Entre Cuplas

CPS (Hz)	27,80
T_{final} (s)	8,85
$T_{inicial}$ (s)	5,79
DEC (m)	9,80
Nivel (m)	833,67

Para el cálculo de *CPS* se desarrolló un algoritmo que realiza la transformada rápida de Fourier (FFT) sobre la señal adquirida y uno para detectar el inicio del disparo ($T_{inicial}$) y el rebote sobre el líquido (T_{final}). De esta manera, la determinación se realiza de manera automática por medio de la relación:

$$Nivel = CPS.DEC.(T_{final} - T_{inicial}) \quad (9)$$

La Figura 19 muestra la señal correspondiente al rebote de las cuplas y su FFT. Puede apreciarse claramente la presencia de CPS.

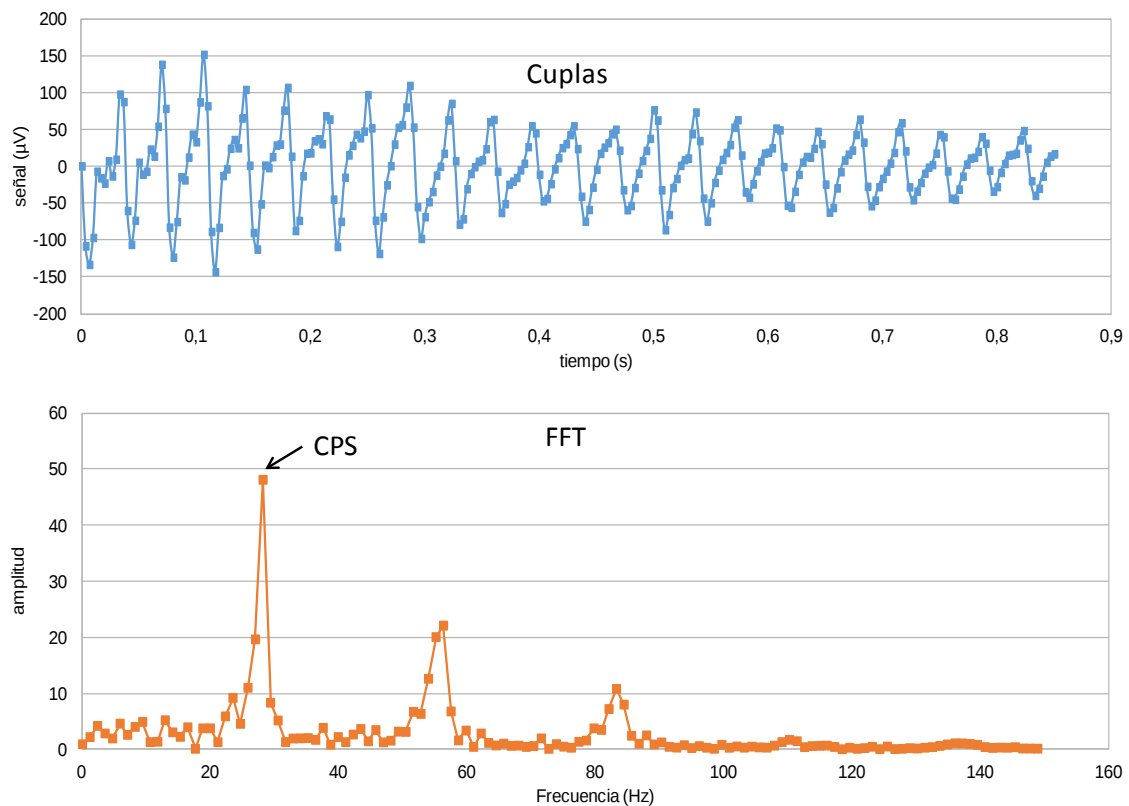


Figura 19: Determinación de CPS mediante transformada rápida de Fourier, FFT.

El sistema comercial arroja los resultados mostrados en la Figura 18. Puede notarse que el nivel reportado presenta muy buena concordancia con el obtenido con el equipo diseñado.

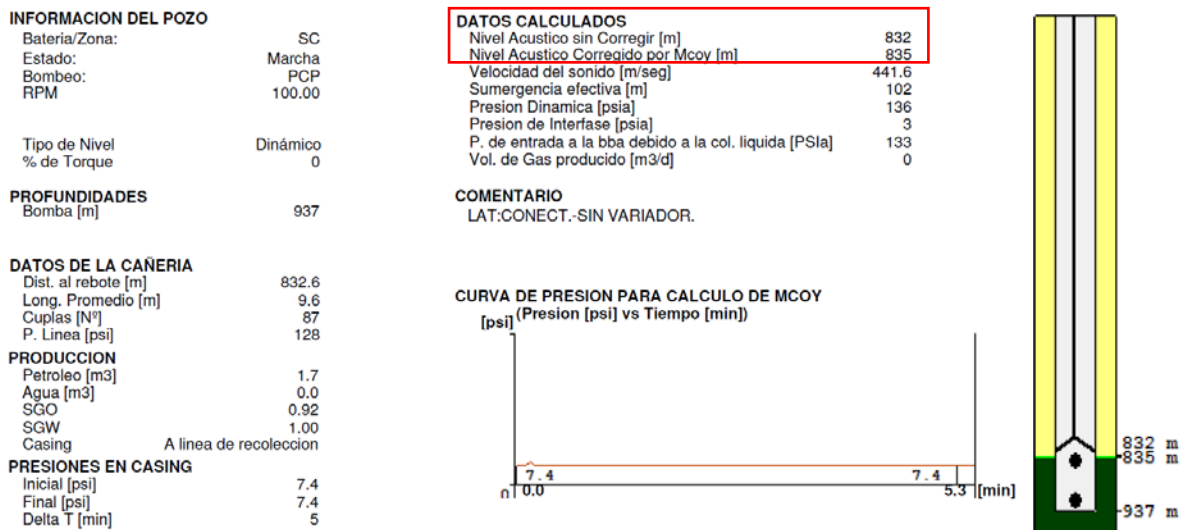


Figura 20: Resultados obtenidos con equipo comercial.

En la Figura 21 se muestra el dispositivo construido bajo el diseño mostrado en la Figura 17, instalado en un pozo producido mediante PCP (bomba de cavidad progresiva). Puede apreciarse que el equipo se

instala en el puente de producción, en la válvula que suele emplearse para el montaje de los dispositivos comerciales manuales.



Figura 21: Dispositivo construido, instalado en el puente de producción de un pozo.

La Figura 22 muestra el diseño mecánico del prototipo accionado mediante un actuador lineal.

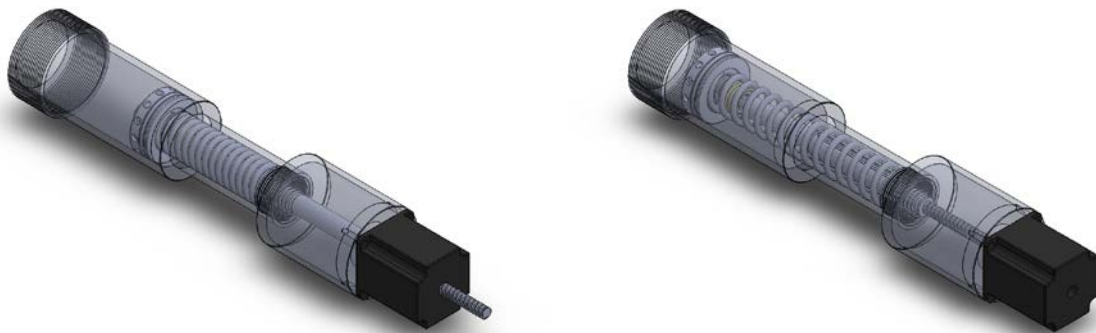


Figura 22: Dispositivo diseñado con actuador lineal. Izq.: con resorte retraído; Der.: con resorte extendido.

c. Estado actual y proyección

Al momento, el prototipo se ha probado exitosamente en pozos con distintos sistemas de extracción y con diversas presiones de gas. La compra y manufactura de los componentes del equipo con actuador y sistema de transmisión se encuentra en proceso, habiéndose planificado la instalación de al menos dos pilotos en la zona de Cañadon Yatel para septiembre del corriente año.

Conclusiones

Este estudio, ha permitido el desarrollo de una herramienta para la determinación de nivel dinámico en pozos productores de petróleo superando las diversas pruebas a las que fue sometido, mostrando precisión, exactitud y repetitividad en las mediciones. La determinación de este, mediante FFT ha probado ser una herramienta eficiente para discriminar el ruido e identificar cuplas para estimar el nivel de fluido.

La implementación de esta herramienta permitirá monitorear, a través de sistemas ya existentes en el yacimiento, la condición de operación con la que se producen los pozos. El conocimiento periódico del nivel, junto con las cartas dinamométricas, se convertirán en una herramienta esencial para Ingeniería de Producción.

Bibliografia

- [1] White, F.M., Fluid Mechanics, McGraw-Hill Education; 7 edition (February 2, 2010).
- [2] Bjørnø, L., 1979, Finite-Amplitude Wave Propagation, NASA. In AGARD Special Course on Acoustic Wave Propagation 15 p (SEE N80-14858 05-71).
- [3] Budenkov, G.A., Nedzvetskaya, O.V. and Strizhak, V.A. 2003, Acoustics of the Annular Space of Producing and Injection Wells, Russian Journal of Nondestructive Testing, Vol. 39, No. 8, 2003, pp. 571–576. Translated from Defektoskopiya, No. 8, 2003, pp. 3–10.
- [4] Lee, Y, 1993, Numerical Solution of the KZK Equation for Pulsed Finite Amplitude Sound Beams in Thermoviscous Fluids. PhD Thesis, University of Texas at Austin.
- [5] PZFlex-Support Papers, 2011, Nonlinear Modelling Considerations.
- [6] Weston, D.E., 1953, The Theory of the Propagation of Plane Sound Waves in Tubes, Proc. Phys. Soc. B 66 695 doi:10.1088/0370-1301/66/8/310.

▪ **CV Resumido Gustavo G. Vignolo**

Título y lugar de estudio:

- Ingeniero Mecánico, UNPSJB, 2002.
- Doctor en Ingeniería, UNS, 2016

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

- TECSS SRL

Cargo actual en la empresa:

- Ingeniero de Diseño

▪ **CV Resumido José A. Vázquez**

Título y lugar de estudio:

- Ingeniero Electrónico, UNPSJB, 2002.

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

- TECSS SRL

Cargo actual en la empresa:

- Líder de Ingeniería

▪ **CV Resumido Nieto E. Nicolas**

Título y lugar de estudio:

- Técnico Petroleo.

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

- YPF S.A.

Cargo actual en la empresa:

- Ingeniero de Produccion

▪ **CV Resumido Palma L. Alberto**

Título y lugar de estudio:

- Ingeniero Quimico, UNS, 2002

Diferentes empresas en las que hizo su carrera:

- YPF S.A.

Cargo actual en la empresa:

- Lider de Ingenieria de Produccion