

## **Desarrollo de una plataforma informática para el monitoreo de parámetros de perforación geotérmica**

**C. Torres Pacheco, J. González Barajas, H. Gutiérrez Sánchez, J. Pacheco Ibarra y C. Rubio Maya**

Facultad de Ingeniería Mecánica, UMSNH, Morelia, Mich. México. Correo: [cjesustp@gmail.com](mailto:cjesustp@gmail.com)

### **RESUMEN**

En este trabajo se presenta el desarrollo de un software de monitoreo, análisis y graficación de variables que afectan a la velocidad y costos de perforación de pozos geotérmicos. Con el software es posible monitorear presión, temperatura, profundidad, viscosidad, densidad, contenido de sólidos en el fluido de perforación y filtración, entre otras variables que se consideran importantes. Se revisaron los requerimientos, seleccionando el modelo Vista Controlador como arquitectura de software. Con esta herramienta se tiene la capacidad de leer archivos de texto con los valores medidos de las propiedades, provenientes de una tarjeta de adquisición de datos. Para ello es necesario el envío de señales analógicas desde instrumentos de medición instalados en el sistema de fluidos de perforación, pero también se pueden introducir manualmente algunos valores en la plataforma informática. Además, el software es útil para relacionar algunas variables físicas con costos de los materiales e insumos necesarios para la perforación, lo que es de gran importancia para evaluar la viabilidad del proyecto de perforación.

*Palabras clave:* Pozos geotérmicos, velocidad de perforación, variables técnicas, software, costos.

### **INTRODUCCIÓN**

El desarrollo de nuevas tecnologías en software de aplicación geotérmica en la perforación, se ha limitado debido a varios factores. Uno de ellos es la instrumentación para lograr una medición continua de las variables, debido a que el monitoreo constante implica fuentes de energía eléctrica que usualmente no existen en la mayoría de las zonas de perforación.

En este trabajo se presenta una herramienta informática que permitirá monitorear las variables técnicas de importancia en la perforación de pozos geotérmicos, incluyendo los flujogramas y las pantallas desarrolladas para la misma.

Este software permite integrar un modelo de estimación de costos de perforación en tiempo real. Durante la perforación este software ejecutará el modelo que será alimentado con variables reales censadas; los resultados permitirán determinar en todo momento el impacto económico y la rentabilidad de la perforación.

### **DISEÑO DEL SOFTWARE**

El software se ha diseñado para desarrollarse con base en dos tipos de arquitectura: la descomposición modular y la arquitectura cliente-servidor. La primera se enfoca principalmente a una estructura de funciones mediante módulos muy acoplados, y la segunda permite distribuir las tareas en dos partes (un cliente y un servidor) manteniendo siempre las funcionalidades del primer esquema. La arquitectura cliente-servidor se ha diseñado para el procesamiento y representación de la información, mientras que la estructura modular se diseñó para interactuar con los procesos y

equipos de instrumentación en campo, es decir, una para un trabajo de campo en tiempo real y la otra para procesar información desde cualquier punto con conexión a internet. En la Figura 1 se presenta el esquema general del sistema, en el cual se especifica la planta, la instrumentación y las variables censadas.

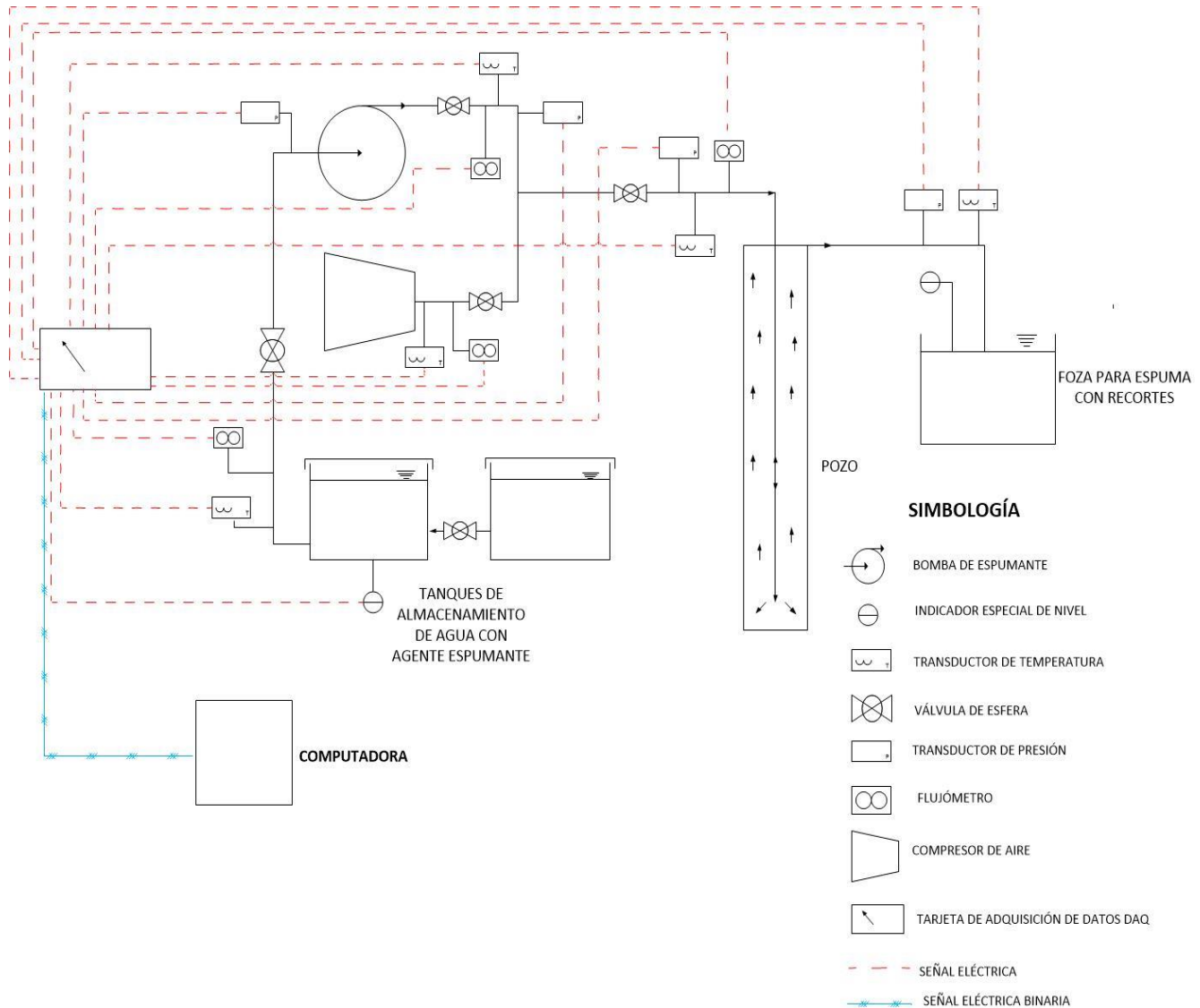


Figura 1. Esquema general del sistema para implementación del software.

Para la recopilación de los datos que se van censando mediante la DAQ, el software debe tener cierta funcionalidad para organizar la información dependiendo del proyecto al cual pertenezca la perforación, la sección de acuerdo a la litología y cada variable almacenada para ser procesada y analizada posteriormente. La Figura 2 presenta un esquema simplificado de las secciones más importantes dentro del diseño de este software.

## IMPLEMENTACIÓN DEL SOFTWARE

El software se implementó para monitorear en tiempo real las variables técnicas y capturar los datos

económicos que impactan en la perforación. De esta manera, se ha dividido el software en dos partes: una para enlazar a la DAQ que permite el almacenamiento de variables mediante archivos de intercambio en formato de texto, y otra para el procesamiento y presentación gráfica de la información.

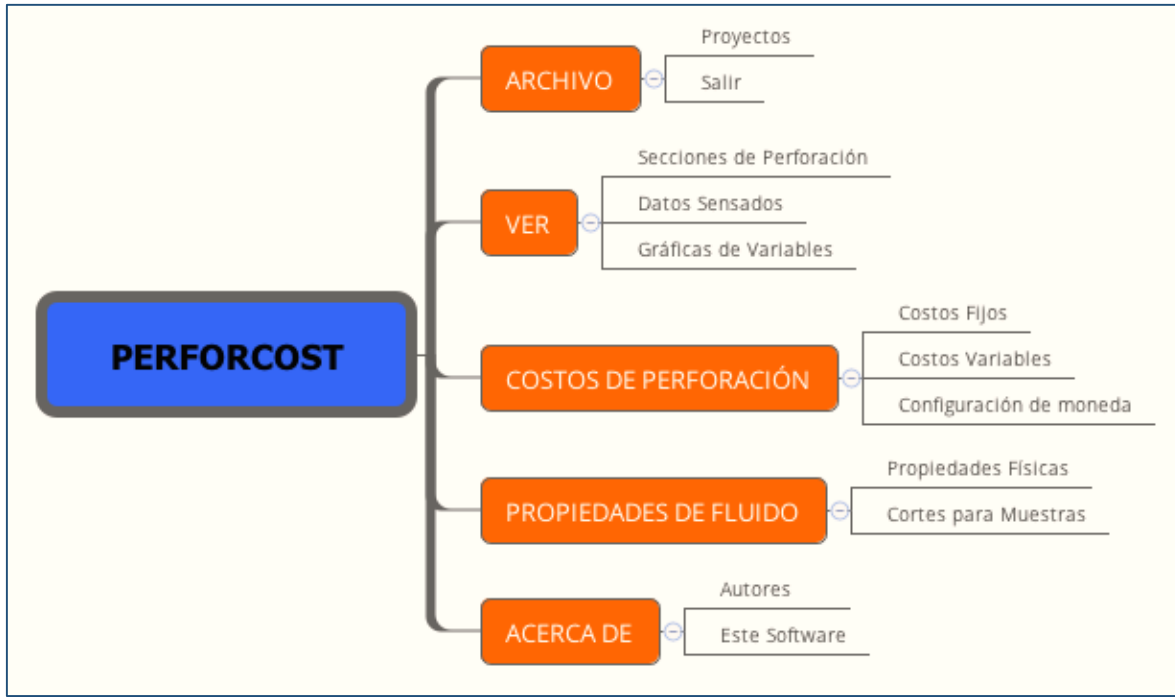


Figura 2. Esquema general simplificado de las secciones del software arquitectura modular.

Para la implementación se ha definido el patrón arquitectónico de Modelo-Vista-Controlador (MVC) que permitirá separar la lógica de las interfaces gráficas y los datos. Para este software el modelo corresponde a la base de datos diseñada para almacenar la información, el controlador corresponde a los eventos necesarios para solicitar o enviar datos entre vistas (interfaces gráficas) y modelo, y la vista corresponde a la presentación de las interfaces gráficas para la interacción del usuario con los datos censados y captura de información. Sin embargo, existe una parte fundamental que es la conexión con la instrumentación, por lo que la Figura 3 muestra el esquema arquitectónico del software y la instrumentación.

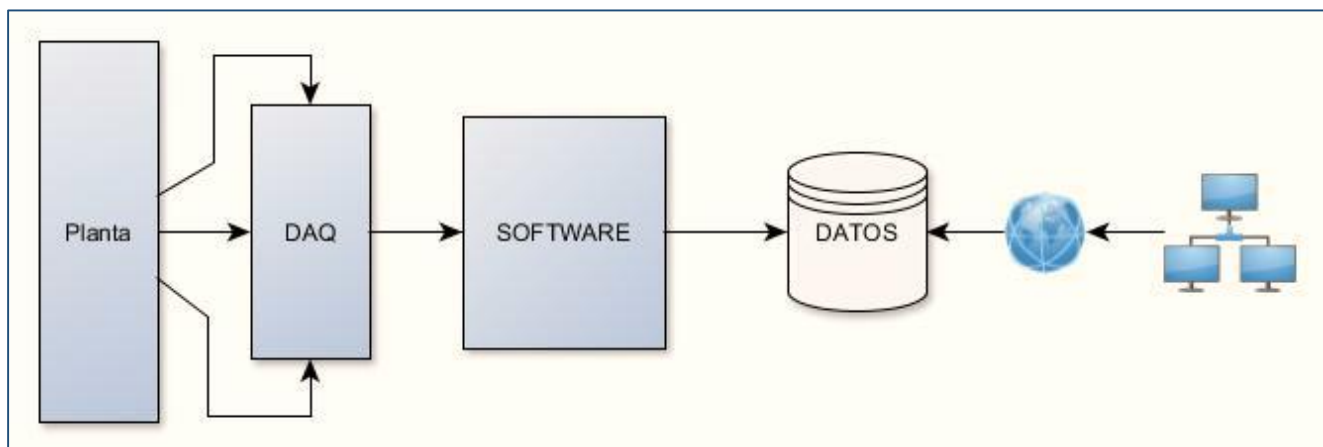


Figura 3. Arquitectura modular (izquierda) y arquitectura cliente-servidor (derecha).

## RESULTADOS

Como resultado de la implementación del software se tienen dos interfaces. Una de ellas se ejecuta de forma nativa, desarrollada para Windows, que será encargada de conectarse con el sistema de adquisición de datos para extraerlos y almacenarlos en una base de datos. La Figura 4 muestra el diagrama de secciones en el software para la descomposición modular.

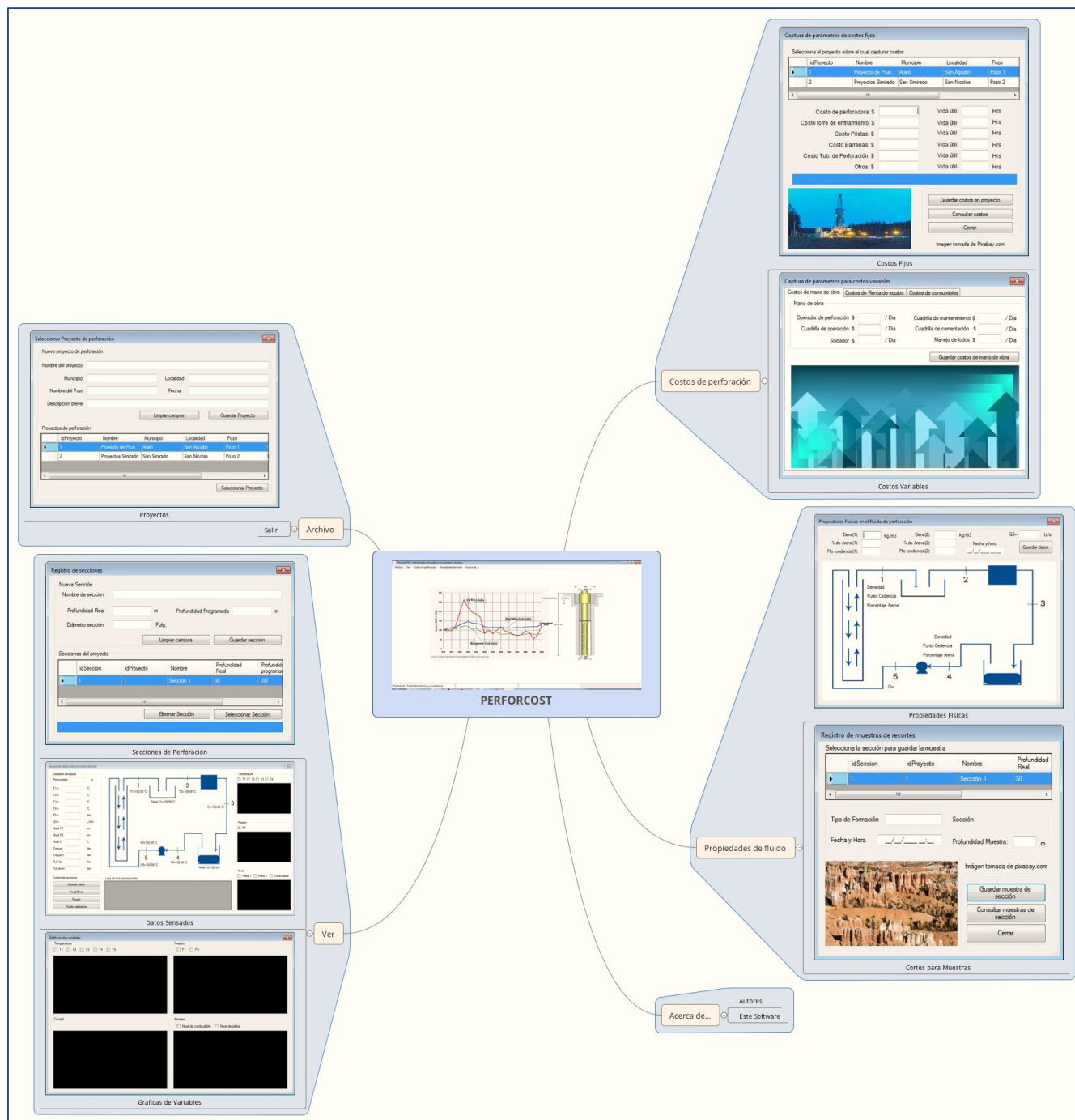


Figura 4. Ventanas del software en descomposición modular.

Cada ventana realiza una tarea específica, desde guardar registros de proyectos hasta como guardar

las variables que se están censando a través de la instrumentación.

Entra las funciones que se han programado en este software modular se encuentran:

- Almacenamiento y registro de proyectos de trabajo.
- Almacenamiento y registro de variables técnicas (temperatura, profundidad, etc.).
- Almacenamiento y registro de costos fijos y variables en la perforación.
- Almacenamiento de registros de muestras estratigráficas durante la perforación relacionándola con la profundidad.
- Almacenamiento y registro de las secciones de perforación, relacionando el diámetro para posteriormente utilizarlo para los costos en volúmenes de cementación.

La Figura 5 muestra una representación del censo de datos, en el cual se presentan gráficas de variables y las variables recopiladas y almacenadas.

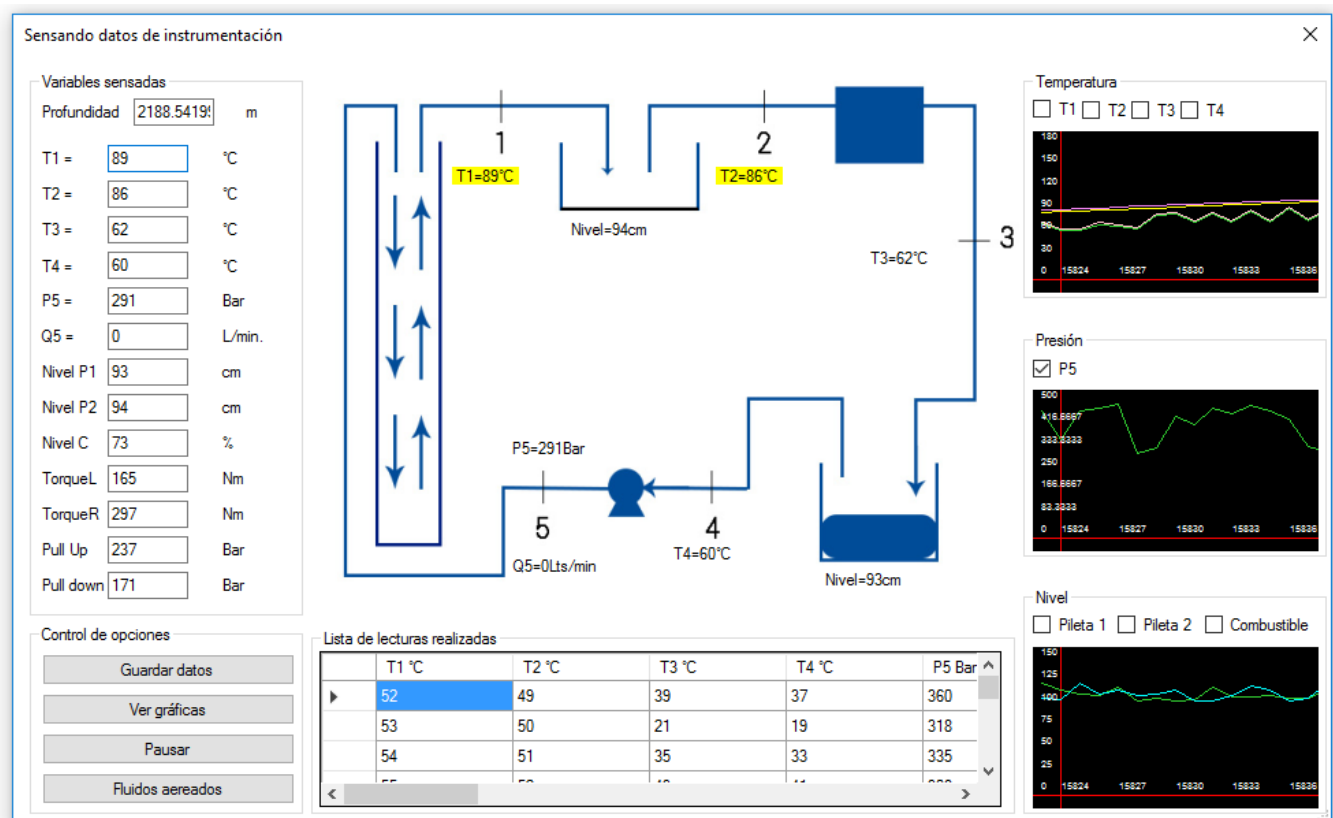


Figura 5. Ventana de recopilación y extracción de datos censados.

El software obtenido como resultado de la arquitectura de descomposición modular tiene el objetivo de monitorear y almacenar las variables técnicas durante la perforación, y el software de la arquitectura de cliente-servidor tiene el objetivo de analizar la información y presentarla. Ambos pueden ejecutarse simultáneamente o de forma independiente, pero el de arquitectura cliente-servidor necesita de datos técnicos para procesar exitosamente la información.

El software con arquitectura cliente-servidor ha sido complementado mediante modelos de costos de perforación de pozos geotérmicos para el análisis de costos de la perforación, los cuales permiten en

determinado momento presentar una estimación de los costos reales y tomar decisiones sobre la rentabilidad de la perforación.

Los costos se dividen en costos fijos y variables. Los primeros (Cf) incluyen actividades cuyos precios generalmente no cambian, como las que se mencionan a continuación, y cuyo total es la mera suma de cada uno (Ec. 1):

- Diseño del pozo (DP).
- Obra civil y contrapozo (OC).
- Equipo de tratamiento de sólidos (ETS).
- Renta de equipo por proyecto (REP), entre otros fosa, torre de enfriamiento y preventores.
- Válvulas (V)

$$Cf = DP + OC + ETS + REP + V + \text{Otros} \quad (1)$$

Los gastos de obra civil se refieren a la construcción del contrapozo, el acondicionamiento de la plataforma de perforación y la construcción de las fosas de lodos. La Figura 6 muestra la interfaz de software para costos fijos en la perforación.

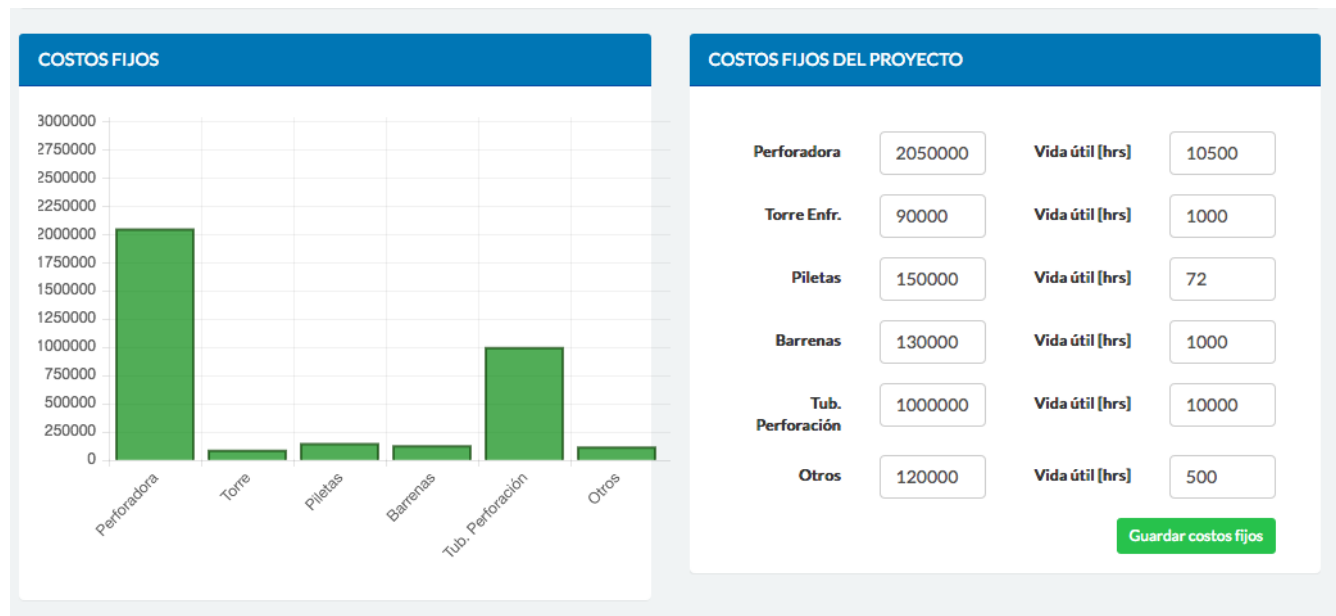


Figura 6. Costos de fijos de la perforación geotérmica.

Por su parte, los costos variables (CVar) son aquellos que dependen de la profundidad de perforación o que sencillamente su costo varía día con día; además, generalmente son actividades que se están ejecutando durante un intervalo muy grande de tiempo. Entre ellos están los siguientes, cuyo total es igualmente la suma de cada componente (Ec. 2):

- Costos que dependen de la profundidad de perforación (CPP).
- Costos que dependen del tiempo (CT).
- Renta de equipo (RE).
- Mano de obra (MO).
- Costos que dependen del volumen (CV).
- Consumibles (CON).

$$CVar = CPP + CT + CV \quad (2)$$

La Figura 7 muestra información técnica sobre los costos variables.

COSTOS VARIABLES EN EL PROYECTO							
COSTOS VARIABLES PARA: SECCIÓN 1 (26")							
Tipo Gasto	Concepto de gasto	\$ Total	Unidad	Reales	Programados	Costo/Unidad Real	Costo programado
X Renta de Equipos	Preventores	\$20,000.00	Día	35	30	\$571.43 / Día	\$ 17,142.86
X Renta de Equipos	Perforada	\$750,000.00	Día	30	45	\$25,000.00 / Día	\$ 1,125,000.00
X Mano de obra	Cuadrilla de operación	\$24,000.00	Día	30	35	\$800.00 / Día	\$ 28,000.00
X Cementación	Cemento	\$70,000.00	Ton	10	15	\$7,000.00 / Ton	\$ 105,000.00
Total	\$ 864,000	Profundidad	508.4 ft	Total:	1,699.45 / ft		
COSTOS VARIABLES PARA: SECCIÓN 2 (20")							
Tipo Gasto	Concepto de gasto	\$ Total	Unidad	Reales	Programados	Costo/Unidad Real	Costo programado
X Consumibles	Tubería de ademe	\$240,000.00	m	345	500	\$695.65 / m	\$ 347,826.09
X Consumibles	Tubería de producción	\$200,000.00	m	230	450	\$869.57 / m	\$ 391,304.35
X Cementación	Cemento	\$5,000.00	Ton	2	4	\$2,500.00 / Ton	\$ 10,000.00
Total	\$ 445,000	Profundidad	3247.2 ft	Total:	137.04 / ft		
		\$ 4,849,000.00		\$ 1,770.48 / ft			
		Costo de perforación		Costo total de perforación /ft			

Figura 7. Costos variables por sección de perforación.

Los costos totales (CT) son simplemente la suma de costos fijos y variables (Ec. 3):

$$CT = Cf + CVar \quad (3)$$

El software permite determinar los costos unitarios por metro perforado, de acuerdo con la Ec. 4:

$$CTP = \frac{CT}{\text{Profundidad total}} \quad (4)$$



Además el software hace posible conocer el costo del volumen de lodos utilizados en la perforación sea por sección o por el total un momento determinado. Esto permite proyectar los costos de acuerdo a la planeación del proyecto de perforación geotérmica mediante el resultado arrojado, y tomar decisiones en consecuencia.

La Figura 8 muestra la ventana del software con estimaciones de costos de lodos de perforación de acuerdo a las secciones y sus especificaciones técnicas, por ejemplo, los diámetros, el tipo de tubería de revestimiento o *casing*, la longitud de la sección, etc. Todo ello permite determinar el volumen de lodos.

## CONCLUSIONES

El software que aquí se ha presentado permite determinar el costo de perforación total o por metro en tiempo real durante la perforación del pozo, lo que permite tomar decisiones sobre la marcha, en el momento en que es necesario hacerlo. Además, permite conocer los costos asociados a cada sección de la perforación, los cuales hacen posible analizar el costo asociado con un determinado estrato o tipo de roca, además de la velocidad de perforación, volúmenes de lodos, volúmenes de cementación, etc. El software desarrollado en la arquitectura cliente-servidor puede ser accesible desde internet.

Debido a ello, este software resulta ser una herramienta de gran utilidad durante la fase de perforación en los proyectos geotérmicos, tanto en la etapa de perforación exploratoria como en la de pozos de desarrollo.

Actualmente se está desarrollando un módulo adicional que permitirá determinar el diseño del pozo a través de los diámetros de barrena y el volumen total de cementación, que podrá ser comparado con los datos reales capturados por el mismo software y los usuarios.

## BIBLIOGRAFÍA

*Análisis del proceso de perforación.* Capítulo 3. Disponible en:

<http://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/8568/01.pdf?sequence=2&isAllowed=y>

Cajas Maldonado, C., 2015. *Propuestas de diseño para la perforación de pozos exploratorios.* Programa Regional de Entrenamiento Geotérmico. Universidad de El Salvador. 2015.

*Diseño de la perforación de pozos.* Disponible en:

<http://oilproduction.net/files/Diseno%20de%20perforacion.pdf>

García Williams, M., y Vázquez Mejía, D., 2013. *Análisis de tratamiento de pérdidas de circulación de fluidos de perforación durante la perforación de los pozos TR-18B, TR-4R y SV-5A.* Universidad de El Salvador.

Hiriart, G., 2011. *Tecnologías de punta y costos asociados para generación distribuida, autoabastecimientos y cogeneración con recursos geotérmicos en México.* Reporte Final. Energy Sector Management Assistance Program. TF095212. Mayo 2011.

Mendoza Vázquez, D.E., 2011. *La sarta de perforación petrolera.* Tesis Profesional, Universidad Veracruzana, Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, Veracruz, México. Inédito.



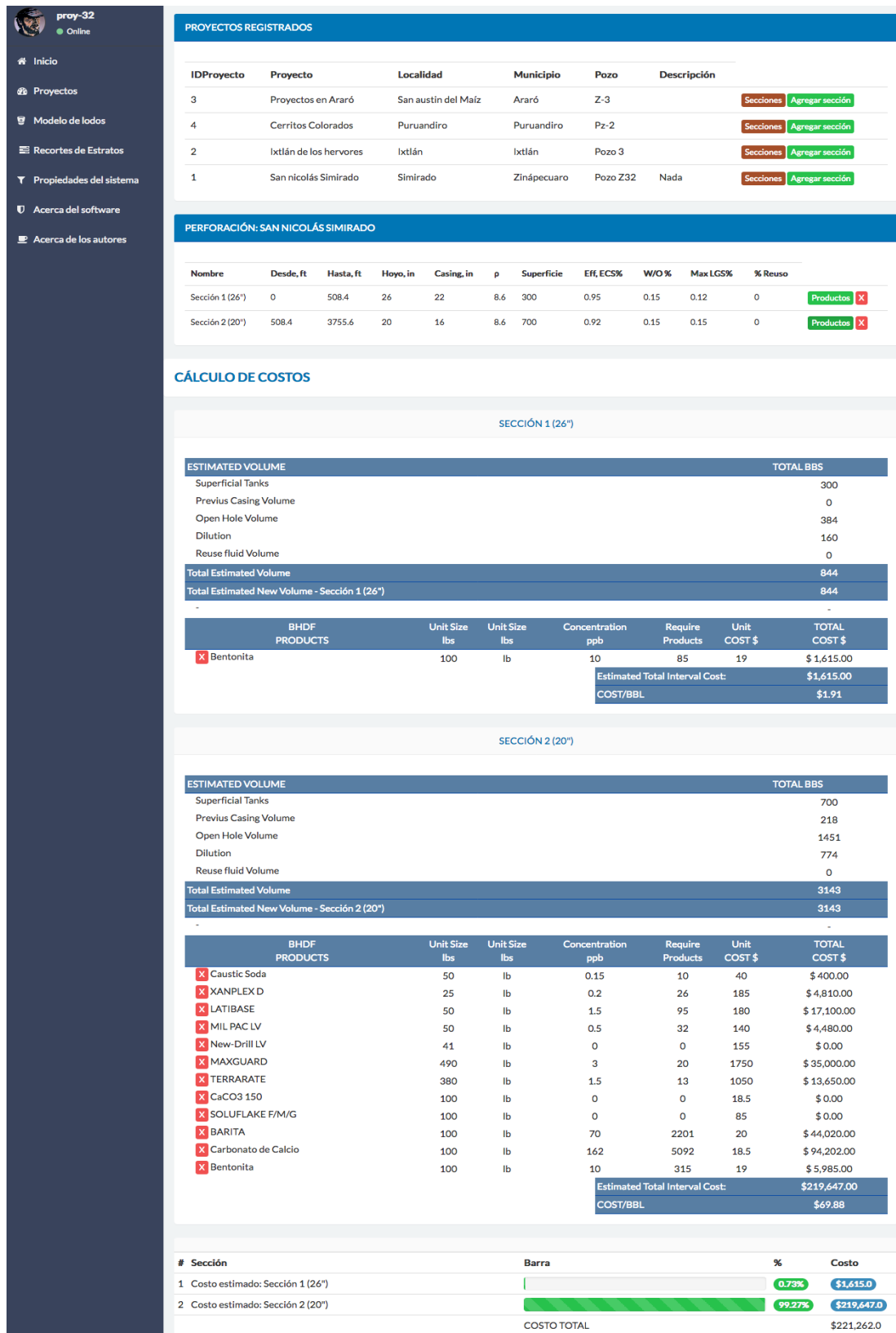


Figura 8. Interfaz de software con el modelo de costos del volumen de lodos.

Sánchez Velázquez, M. 2009. *Explotación de aguas subterráneas*. Centro de Educación Continua, División de Estudios Superiores de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, México. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/39196821/TECNICAS-DE-PERFORACION>

Siquier, S.S., 2008. *Estudio Experimental de Flujo Anular Vertical de Lodos de Perforación en un Modelo Piloto de Pozo*. Universidad Simón Bolívar, Departamento de Termodinámica y Fenómenos de Transferencia. Sartenejas, 2008.