

Prediseño de cargador alimentador de herramientas para plataformas de perforación geotérmica

Ramírez, Ghino

Rivas, Francisco

Roque, David


Troya, Diego

Zelaya, Reynaldo

Departamento de Mecánica Estructural

Universidad Centroamericana José Simeón Cañas

rezelaya@uca.edu.sv



Abstract — La generación de energía mediante uso de recursos geotérmicos requiere de la previa perforación de pozos con la finalidad de evaluar el potencial del recurso en la zona y la posterior extracción del vapor. Para ello, son utilizadas las plataformas de perforación, las cuales hacen uso de equipos auxiliares para facilitar el suministro de herramientas y tuberías necesarias para realizar el proceso de perforación. La empresa que solicitó el siguiente estudio dispone de una máquina de suministro de herramientas destinada para una plataforma de perforación específica. El objetivo del presente estudio es proporcionar una propuesta de pre diseño tomando como base la maquinaria existente, buscando cumplir los requisitos necesarios para poder utilizarse

155

en cualquiera de las plataformas de perforación que se encuentran en propiedad de la empresa. Como primer paso, se realizó un estudio en campo del equipo existente para determinar sus principales características y capacidades. A partir de esto se plantearon los requisitos necesarios para alcanzar los objetivos de diseño para la nueva propuesta. El siguiente paso fue la generación de modelos CAE para las simulaciones estructurales de los escenarios de carga analizados. A partir de los resultados obtenidos, se determinaron las modificaciones necesarias a realizar en el pre diseño con el fin de satisfacer los requisitos definidos. Los cambios más apreciables en el pre diseño son la capacidad de la bomba y cilindros de elevación en el sistema oleohidráulico de la máquina, los cuales aumentan su potencia de trabajo y límite máximo de elevación. Uno de los elementos estructurales analizados requirió del refuerzo de su sección transversal para soportar las nuevas condiciones de carga a las cuales se ve sometido. Finalmente, se rediseñó un sistema de control eléctrico capaz de sustituir el de la máquina original, incluyendo la programación del PLC y la configuración del sistema de radiocontrol.

Palabras clave– perforación geotérmica, simulación de esfuerzos, circuito oleohidráulico, radiocontrol

Introducción

La problemática del proyecto se centra en una propuesta de mejora y adecuación de una maquinaria auxiliar actualmente utilizada en conjunto con una plataforma de perforación geotérmica, más específicamente se planteó el estudio del equipo auxiliar cargador – alimentador de herramientas, el cual es utilizado para elevar las herramientas desde un nivel inferior (superficie del equipo) hasta la base de la plataforma de perforación, en un nivel superior.

El equipo posee capacidades limitadas con las cuales fue diseñado y que dificultan la manipulación de ciertas herramientas que son necesarias para el proceso de perforación geotérmica, este puede soportar una carga máxima en elevación de hasta tres toneladas. Algunas de las herramientas utilizadas por la plataforma de perforación geotérmica exceden en peso al máximo de diseño, como es el caso de las barras de peso (Drill Collar), para el cual el tubular más grande utilizado de diámetro 11 1/4 pulgada posee un peso aproximado de 4.5 toneladas.

La empresa propone la realización de un estudio de la versión actual y analizar mejoras adaptables a un nuevo equipo para cumplir con los requisitos mínimos que se demandan en el proceso de perforación geotérmica a nivel nacional y con cualquier plataforma de las existentes.

El tema principal del proyecto: análisis mecánico, estructural y eléctrico, requirió un levantamiento completo de datos y dimensionamiento estructural

de todo el equipo, al poseer escasa información relevante sobre el mismo.

Como objetivo principal se tiene la elaboración de un pre diseño de un cargador-alimentador de uso generalizado para plataformas perforadoras, acorde a las necesidades actuales de las plataformas de perforación existentes, generando planos del equipo actual y propuesto, descripción de su funcionamiento, memoria de cálculos y especificaciones técnicas.

Además, se tiene como objetivo definir una metodología a seguir para analizar una máquina que ya se encuentre en funcionamiento y poder hacer un levantamiento de información para cualquier proyecto que requiera dichos datos.

El procedimiento para la elaboración de un nuevo modelo adaptable a las necesidades previstas por la Empresa requiere un análisis posterior del equipo existente siguiendo una metodología de abordaje que será descrita a continuación:

- Levantamiento de información: Hace referencia a la recolección in situ de las medidas de cada uno de los elementos que conforman la máquina, las características de los actuadores del circuito hidráulico presente y de todos los componentes de control y de potencia con los que cuenta; y así, el posterior procesamiento de datos del equipo existente.
- Modelado del equipo existente: Una vez dimensionado el equipo, se procede al modelado digital de la estructura del equipo a través del software CAE.

- Simulación del equipo: Al poseer el modelo digital del equipo, la siguiente etapa consiste en someterlo a diferentes escenarios de carga para analizar su desempeño y posibles puntos de mejora.
- Modelado del nuevo equipo: se contemplan las mejoras adaptables al nuevo equipo y se procede al modelado del nuevo equipo para su análisis estructural.
- Simulación del nuevo equipo: se somete el nuevo modelo a diferentes escenarios de carga esperando que sobrelleve las condiciones de operación para las cuales fue diseñado.
- Análisis de resultados: Analizando el contexto físico y la magnitud del proyecto se procede a la interpretación de los resultados obtenidos apoyándose en conocimiento teórico y respaldado por los resultados obtenidos a partir del análisis estructural elaborado en el software.
- Análisis eléctrico: Se elaborará una propuesta y esquemas eléctricos que representen el funcionamiento eléctrico del nuevo modelo, tomando en cuenta los nuevos requerimientos de potencia y control.
- Conclusiones.

Materiales y métodos

Se estudió la máquina in situ para obtener sus propiedades geométricas y comprender el comportamiento de su sistema de potencia y control, comparando las observaciones con los esquemas obtenidos de la documentación de la máquina. Según el caso, las dimensiones del equipo fueron

medidas con una cinta métrica o un pie de rey, y las conexiones eléctricas fueron estudiadas utilizando un medidor de continuidad. Debido a que no fue posible desensamblar el equipo o tomar mediciones a posiciones medias de operación, no se pudo llevar a cabo un análisis de composición de materiales o analizar a plenitud sus componentes hidráulicos, y el estudio del circuito eléctrico se vio limitado a una vista esquemática, sin la capacidad de medir tensiones o corrientes de operación.

Los perfiles utilizados por la máquina fueron estimados según la norma elegida (AISC ASTM) [1], debido a que se desconoce la composición exacta de los materiales utilizados en los elementos de la máquina, se optó por definir una norma que se adapte de mejor manera a la construcción de esta y su elección se basó en la frecuencia de utilización en el país donde fue construido el equipo, y las dimensiones que componen la norma se adaptan a las obtenidas durante la recolección de información.

Las mediciones tomadas del equipo se utilizaron para generar un modelo tridimensional en el cual se representa la geometría de construcción y el comportamiento de las piezas durante el movimiento.

Se realizó un estudio estructural del equipo en base a las cargas que soportaría, siendo el análisis en base a la carga máxima (4.5 Toneladas) estando colocada en el quipo durante su funcionamiento. Para esto se realizaron ciertas consideraciones:

- La pieza (Drill Collar) se encontrará en el extremo más alejado del pivote y su efecto se reducirá a una carga puntual de 4.5 tonela-

das y será ubicada en el centro de gravedad de la pieza.

- La carga de la pieza se considera fija durante toda la elevación, es decir, no posee movimiento relativo con la bandeja que la soporta.
- Se tomó como simétrico el equipo en su dirección transversal, dividiendo la carga equitativamente hacia ambos lados.
- El efecto de fricción se despreció en las articulaciones.
- Se consideró el ensamble como un sistema cuasi estático, debido a sus bajas velocidades.

Estas consideraciones permitieron simplificar el cálculo de distribución de fuerzas para el ensamble de las piezas, sin contar la estructura base, estos cálculos se realizaron mediante el uso de ecuaciones de equilibrio, en donde intervienen la carga y las reacciones en los empotramientos. A partir de este análisis se obtuvo la fuerza necesaria en cada cilindro hidráulico para sostener la carga en diferentes posiciones, siendo la más relevante en su posición inicial de elevación donde se presentan las magnitudes más grandes.

Todo esto se realizó con las dimensiones actuales del equipo y la carga máxima identificada, como primer paso hacia la definición de un diseño óptimo para cubrir los requerimientos solicitados, de llegar a una altura de 10 m y soportar una carga de 5 toneladas tomando en cuenta un factor de seguridad de 2 siendo entonces diseñada para 10 toneladas.

A partir de la presión solicitada por el sistema oleohidráulico, fue posible calcular la potencia necesaria de la bomba gracias a la relación lineal entre potencia y presión cuando el flujo se mantiene constante. Luego, a partir de la corriente demandada según los catálogos del fabricante de la bomba original son calculadas las defensas y los calibres AWG de cable necesario para el nuevo sistema de potencia eléctrica.

El propósito del estudio del sistema de control fue el de proporcionar un sistema capaz de reemplazar el original en un nuevo modelo. Para ello, fue programado un PLC con el funcionamiento esperado de la máquina mediante un diagrama de contactos o escalera, definido en la norma IEC 61131, y se diseñó un sistema radiocontrol por medio de microcontroladores Arduino y tarjetas de comunicación inalámbrica XBee, las cuales cumplen con el estándar IEEE 802.15.4 y son compatibles con las tarjetas Arduino. En el sistema de radiocontrol diseñado, la terminal del control remoto transmite sus mensajes a todas las terminales en la red. Se diseñó de esta manera para facilitar la implementación del prototipo, debido a que no existen más terminales en cercanía del espacio de operación. La vida de batería esperada del control remoto es calculable mediante la ecuación $t = \frac{Q}{I}$, calculando el consumo de corriente esperado de ambas tarjetas y la carga más baja esperada de una batería de 9 V.

Resultados y discusión

El cálculo de fuerzas se realizó considerando ciertas condiciones como ideales, una de estas fue

el caso de simetría transversal de la máquina, al dividir la carga en dos cilindros principales. El objetivo de este análisis es determinar la fuerza necesaria para poder elevar la carga máxima de 5 ton definida por diseño con un margen de seguridad de 2. Por lo tanto, virtualmente la máquina deberá ser capaz de elevar 10 Ton.

Se utilizó el método de solución de marcos, simplificando aún más a un esquema bidimensional y dividiendo la carga en dos por simetría se obtuvo un valor aproximado de 62000 lbf como la requerida para poder accionar uno de los cilindros, por lo tanto, este valor debe ser alcanzado por la presión del fluido de la parte hidráulica de la máquina.

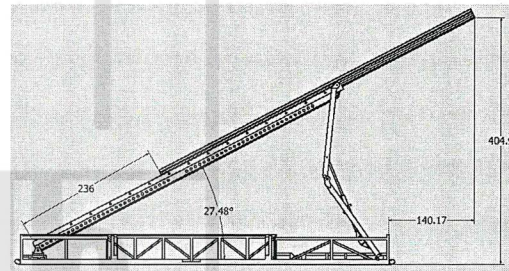


Fig. 1. Esquema de altura máxima de nuevo modelo aplicando cambios geométricos propuestos

Los cambios requeridos para cumplir con el requisito de elevación y capacidad se dividen en dos secciones, oleohidráulica y estructural. Por el lado oleohidráulico, se requerirá de un aumento de 5 pulgadas en la carrera de los cilindros, consiguiendo así un aumento aproximado de 2 grados (Ver fig. 1), logrando superar los 10 metros que se tenían

como límite de elevación. Las características de los cilindros oleohidráulicos se mantienen como siguen en la tabla I:

Tabla 1
Características generales para prediseño de cilindro oleohidráulico principal

Características de cilindro hidráulico	
Cilindro	5 in
Pistón	3 in
Carrera	65 in
Longitud retraída	82.44 in
Longitud extendida	147.44 in
Tipos de apoyos	Articulados

Por otro lado, los perfiles propuestos se basan en la norma HSS para perfiles cuadrados y HSS para perfiles rectangulares. Mediante cálculos manuales y estos a su vez, contrastados con verificaciones en simulador de esfuerzos, se estimaron los valores de esfuerzos de trabajo a los que se verían los distintos elementos móviles de los que componen la máquina, y se encontró que la plataforma riel estaría sometida a esfuerzos por encima de los límites de esfuerzos de fluencia, por lo que se propone un aumento en el espesor de los perfiles que componen este elemento, consiguiendo así una reducción de los esfuerzos de trabajo por la mitad, con un aumento desde ¼ a ½ de espesor, manteniendo sus demás dimensiones sin modificar. Esto nos permite mantener el factor de seguridad de 2, por debajo del valor de esfuerzo de fluencia, por lo que la má-

quina, trabajando con cargas no mayores para las cuales se ha diseñado, no llegar a la zona plástica de deformación. En la tabla II se muestra la comparación de materiales definidos por la norma AISI que pueden utilizados en la construcción del equipo para soportar las condiciones obtenidas mediante los diferentes análisis realizados.

Tabla 2
Comparación de esfuerzos obtenidos con carga de 10 toneladas contra esfuerzos por material

	Esfuerzos de fluencia		Ensamble de marco		Plataforma riel	
	σ_y (ksi)	τ_y (ksi)	σ_{max} (ksi)	τ_{max} (ksi)	σ_{max} (ksi)	τ_{max} (ksi)
Acero ASTM			12.22	1.306	38.9	1.07
A500 grado A	39.2	11.6	✓	✓	✓	✓
A500 grado B	45.7	11.6	✓	✓	✓	✓
A500 grado C	50	11.6	✓	✓	✓	✓
A501	36.3	11.6	✓	✓	X	✓
A618 grado Ia	50	11.6	✓	✓	✓	✓
A618 grado Ib	50	11.6	✓	✓	✓	✓
A618 grado II	50	11.6	✓	✓	✓	✓
Norma AISI	46	50	✓	✓	✓	✓

La presión requerida para accionar los cilindros fue definida con respecto a las dimensiones que deberán poseer dichos cilindros oleohidráulicos. Definiendo, mediante los cálculos realizados, la fuerza que deberán ejercer los cilindros oleohidráulicos determinada con un valor de 62,000 lbf y, mediante el diámetro del émbolo que es de 5 in,

el área de aplicación de dicha fuerza, a partir de esto se utilizó la relación de fuerza entre área para determinar la presión buscada, siendo esta de 3158 psi la requerida para accionar los cilindros cuando estos soporten la carga máxima definida.

La tendencia del efecto de la carga contra el ángulo de elevación de la plataforma se ve plasmada en la Fig. 3. teniendo como referencia el comportamiento de las fuerzas sentidas en cada uno de los eslabones de la máquina, entendiéndose entonces, que la máquina estará realizando un mayor esfuerzo al momento del inicio de la elevación y disminuyendo hasta llegar a su posición más elevada. Por lo tanto, este punto fue de gran criticidad para realizar un diseño que cumpliera los requerimientos solicitados.

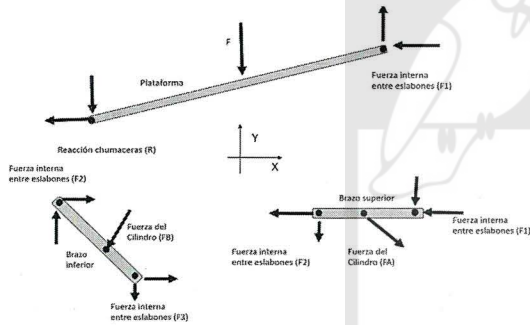


Fig. 2. Diagramas de cuerpo libre para las partes móviles del ensamble.

Con el valor de presión de 3200 psi requerida por el sistema oleohidráulico, se calcula una potencia de 80 hp necesaria en la bomba. Aproximando a la siguiente opción ofrecida por el fabricante de la

bomba utilizada en el equipo original, se obtiene que la bomba hidráulica de 100 hp consume 115 A a plena carga a una tensión de 480 V, y 691 A con el rotor atascado [2]. Con estos resultados, es posible seguir utilizando las defensas y calibres de cable del equipo original.

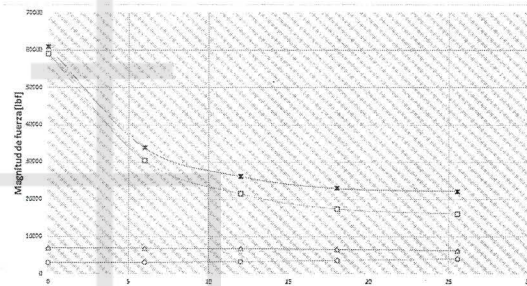


Fig. 3. Gráfica de tendencia de fuerzas vs ángulo de elevación.

El sistema de control diseñado requiere un PLC con 2 entradas digitales, 4 entradas analógicas, y 15 salidas digitales. Las dos entradas digitales se utilizan para indicar al PLC momentos en los que el sistema de lógica cableada ha detenido la operación del equipo. Las entradas analógicas se utilizan para monitorear temperatura, presión y posiciones de riel y brazos del equipo en tiempo real. Las salidas externas se utilizan para habilitar el arranque y paro del equipo por medio del control remoto y para accionar las electroválvulas de control oleohidráulico. El PLC se comunica con el usuario por medio de una pantalla HMI pre programada con pantallas de monitoreo y ajuste de parámetros.

El control remoto permite uso continuo por 4.4 horas como mínimo utilizando una batería de 9 V de Zinc-Carbono (IEC 6F22), a una distancia de hasta 90 m en línea de vista.

Conclusiones

Los cálculos mediante las ecuaciones de equilibrio, utilizadas para encontrar la fuerza necesaria del cilindro oleohidráulico de elevación de la máquina, brindan valores aproximados de la fuerza real que se observaría; siendo este método de mucha ayuda para alcanzar una primera propuesta que cumpla con los requisitos definidos.

La carga soportada por la maquina ha sido definida como fija, teniéndose siempre en la misma posición relativa durante la elevación y asumiendo el caso del elemento más pesado. En realidad, la pieza no está asegurada a la máquina y puede existir una holgura entre la carga a elevar y la plataforma de elevación. La razón de esta simplificación es que las velocidades de elevación son muy bajas, y se puede considerar un estado cuasi estático. Por lo tanto, el movimiento de una carga cualquiera será prácticamente nulo con respecto a la máquina.

En el aspecto de control es importante reconocer la importancia de los sensores, ya que son la única manera que la máquina tiene de reconocer su estado actual, y, por lo tanto, de evaluar las decisiones que deben ser tomadas.

Con la implementación de suficientes sensores y programación, sería posible automatizar todo el proceso de trabajo del equipo. Además, La abun-

dancia de sensores permite disminuir los riesgos asociados con la separación entre el operador y la máquina que realiza el trabajo.

La importancia de los protocolos de comunicación, ya sea cableada o inalámbrica, en los sistemas de control eléctrico radica en el envío consistente y seguro de mensajes puede ampliar las posibilidades de control de un sistema, pero las posibilidades de errores de comunicación también amplifican los riesgos, particularmente en ámbitos industriales.

A partir de los resultados obtenidos mediante los diferentes análisis realizados, se determinaron los cambios necesarios tanto en la geometría general de la máquina, como en la sustitución de algunos elementos en su construcción.

Para el caso de la geometría no se realizó ningún cambio sobre la estructura, es decir, todos los apoyos, longitud de elementos, secciones transversales, etc. se mantienen de la misma manera que el modelo existente.

El único cambio importante realizado se encuentra en la carrera de los cilindros oleohidráulicos de elevación, cuya distancia ha sido aumentada de 60 in originales a un valor máximo de 65 in para la propuesta, con el fin de alcanzar la altura mínima deseada por el cliente. Las dimensiones del diámetro de pistón, émbolo y camisa, pueden mantenerse de la misma manera sin perjudicar la resistencia de los cilindros. Se determinó que la única sección que fallaría al ser colocada la carga máxima es la de la plataforma riel, a la cual se le realizó una sus-

titución en su perfil más importante, el HSS 8x4x1/4, por uno de pared más robusta capaz de mantener las mismas dimensiones externas. Por ello, fue escogido el perfil HSS 8x4x1/2, cuyo comportamiento mecánico es adecuado para la mayoría de materiales propuestos en los perfiles descritos.

Para complementar la propuesta de diseño, se recomiendan las siguientes consideraciones para obtener un panorama más completo de la construcción de un prototipo:

- Análisis de soldaduras
- Análisis del circuito oleohidráulico
- Análisis de materiales
- Implementación de un sistema robusto de comunicación entre dispositivos
- Estimación de costos

El trabajo actual pretende ser un punto base, por lo que se debe profundizar en la temática de manera que existan diferentes enfoques que a su vez permitan un análisis más completo del equipo y su comportamiento.

En el caso particular del circuito oleohidráulico, debe ser realizado un análisis con mayor profundidad, en el cual se incluya el dimensionamiento de tuberías, mangueras, tipos de acoples, etc., determinando para cada uno sus respectivas pérdidas. Se debe incluir además la selección de aceite a utilizar, la selección de válvulas y sensores, y el diseño de un circuito con un mayor grado de detalle que el realizado en este trabajo.

Referencias

- [1] American Institute of Steel Construction. AISC. Steel construction manual [Online] Available <http://www.aisc.org>
- [2] Madison Group. (2008) UltraLINE-PE. [Online]. Available: <http://www.madisonelectricmotors.com/PDF/Ultraline-PE-nov23.pdf>
- [3] Almandoz, J, B, Mongelos, I, Pellejero [2007] *Sistemas neumáticos y oleohidráulicos*. Universidad del País Vasco, España.
- [4] Budynas, R. G., & Nisbett, J. H. (2012). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* México D.F.: McGraw-Hill.