

Diseño y simulaciones MEF & CFD de un cortador de cable de registro para la industria petrolera

Design and FEM & CFD simulations of a Cable Cutter for the Oil Industry

Jesus Bermudez Vilchiz¹, Luis Alberto Ramírez López², Apolinar Albiter Hernández³,
Víctor Augusto Castellanos Escamilla⁴, Iván Enrique Martínez Merlin⁵

Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Tlalnepantla, Estado de México, MÉXICO

¹ORCID: 0009-0000-0137-0458 | M18250511@tlalnepantla.tecnm.mx

²ORCID: 0009-0009-8286-3371 | M18250509@tlalnepantla.tecnm.mx

³ORCID: 0000-0002-9097-5981 | aalbiter@imp.mx

⁴ORCID: 0000-0001-8511-4477 | victor.ce@tlalnepantla.tecnm.mx

⁵ORCID: 0000-0001-9030-5024 | iemerlin@hotmail.com

Recibido 15-08-2024, aceptado 30-09-2024.

Resumen

Los dispositivos cortadores de cable de registro son fundamentales en la industria petrolera, desempeñando un papel crucial en operaciones que requieren seguridad y eficiencia.

En la industria petrolera mexicana, sin embargo, existe una notable dependencia de tecnologías con distribuidores extranjeros. Con el objetivo de reducir esta dependencia y fortalecer la capacidad nacional, se ha desarrollado un dispositivo de corte de cable de registro de origen nacional. Este dispositivo no solo busca garantizar la autonomía tecnológica.

El diseño y simulación del dispositivo se llevó a cabo mediante el uso de SolidWorks®, un software de diseño asistido por computadora. Inicialmente, se formuló una propuesta de diseño conforme a parámetros específicos, seguida por la selección meticulosa de materiales destinados a la fabricación de los componentes del dispositivo. Posteriormente, se realizaron simulaciones tanto de análisis estático como de fluidos para evaluar exhaustivamente su rendimiento.

En el análisis estático, los esfuerzos de Von Mises para el cuerpo del dispositivo y el cuerpo hidráulico fueron de 475,130,208 Pa y 257,019,664 Pa, respectivamente. Los desplazamientos fueron mínimos menores a 0.02 mm y los factores de seguridad rondaron en valores de 1.50 y 2.92. Este desarrollo nacional mejora la independencia tecnológica en la industria petrolera de México y puede aumentar la seguridad y eficiencia de las operaciones.

Palabras clave: dependencia tecnológica, lubricador, dispositivo cortador de cable de registro, SolidWorks®, análisis estático, análisis de fluidos.

Abstract

Cable cutting devices are fundamental in the oil industry, playing a crucial role in operations that require safety and efficiency.

In the Mexican oil industry, however, there is a notable dependence on technologies with foreign distributors. With the aim of reducing this dependence and strengthening national capacity, a cable cutting device of national origin has been developed. This device not only seeks to guarantee technological autonomy.

The design and simulation of the device was carried out using SolidWorks®, a computer-aided design software. Initially, a design proposal was formulated according to specific parameters, followed by the meticulous selection of materials for the fabrication of the device's components. Subsequently, both static and fluid analysis simulations were performed to thoroughly evaluate its performance.

In the static analysis, the Von Mises stresses for the device body and hydraulic body were 475,130,208 Pa and 257,019,664 Pa, respectively. The displacements were less than 0.02 mm and the safety factors were between 1.50 and 2.92. This national development improves the technological independence in the Mexican oil industry and can increase the safety and efficiency of the operations.

Index terms: Technological dependence, lubricator, cable cutting device, SolidWorks®, static analysis, fluid analysis.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la industria petrolera en México está en busca de innovaciones que mejoren la eficiencia y seguridad de sus operaciones en pozos evitando consigo la dependencia tecnológica excesiva que se tienen con la tecnología de otros países y que ayude a tener una capacidad tecnológica autónoma [1]. Estando en búsqueda de diseños únicos que resuelvan problemas específicos. En este contexto es requerido diseñar dispositivos que permitan realizar exitosamente la solución de dichos problemas y que prometan ser una valiosa adición a los equipos disponible [2], [3], [4].

El objetivo principal es desarrollar el diseño de un dispositivo cortador de cable de registro destinado a la industria petrolera en México. Este diseño busca eliminar la dependencia tecnológica con proveedores internacionales. Se considera que el dispositivo sea viable tanto técnicamente como económicamente para su manufactura.

Se propone un diseño detallado de la solución, asegurando que el dispositivo sea de fácil manejo, eficiente y seguro, cumpliendo con las normas y especificaciones técnicas pertinentes. Además, se implementarán los planos de fabricación y un manual de ensamblaje y operación para facilitar su manufactura y uso.

Entre las normas consideradas en la industria del petróleo y gas, destaca la API Spect 6A Especificación para equipos de cabeza de pozo y árbol de Navidad [5]. Esta norma se centra en las consideraciones para el diseño y fabricación de dispositivos que operan bajo presión. La API Spect 6A abarca una amplia variedad de equipos y componentes. Estos equipos operan en un rango de presión que va desde los 1.379×10^7 Pa hasta los 1.379×10^8 Pa. Además, la norma establece un rango de temperatura de trabajo que va desde los -46°C hasta los 121°C . Asimismo, la norma especifica diferentes clases de materiales, identificados como AA, BB, CC, DD, EE, FF y HH. También define diferentes niveles de rendimiento, desde PSL1 hasta PSL4. Finalmente, la API Spect 6A establece pruebas y requisitos específicos. Estos están diseñados para garantizar que el equipo pueda soportar condiciones extremas de presión y temperatura, y para prevenir fugas o fallos.

El estudio comparativo y la revisión de literatura han revelado una serie de trabajos significativos en el campo de los cortadores de cables de registro. Estos trabajos son fundamentales para las referencias de este estudio.

En Hunting et al. [6] se detalla el desarrollo del dispositivo Cortador de cables con cabezal de grasa hidráulico. Este dispositivo se instala en el lubricador y se activa hidráulicamente accionando un pistón. Su mecanismo de corte, de tipo guillotina, se pone en marcha al accionar un pistón con presión hidráulica. Es capaz de cortar cables de registro de hasta 11.906 mm y opera a presiones máximas de 6.895×10^7 Pa. Además, ofrece un acceso sencillo para que un operador pueda cortar el cable de manera rápida y eficiente.

Por otro lado, en Elmar et al. [7], se presenta el dispositivo cortador de cables secundario (CCS) [8]. Al igual que el anterior, este dispositivo se instala en el lubricador y funciona a presiones máximas de 6.895×10^7 Pa. Destaca por sus conexiones de 2-10 TPI (Roscas por Pulgada por sus siglas en inglés) y conexiones hidráulicas únicas. Su mecanismo de corte, también de tipo guillotina, se activa mediante un pistón con presión hidráulica. Este dispositivo puede cortar cables de registro de hasta 11.906 mm.

Finalmente, en Phuel oil tools et al. [9], se describe el dispositivo cizalla de cable secundario [10]. Este se coloca debajo del lubricador y por encima del atrapa-herramientas, aunque su ubicación no está restringida a estos componentes y puede instalarse de forma independiente. Dispone de conexiones principales de 4-3/4, 4 ACME y secundarias de 2-10 ACME, así como conexiones hidráulicas de 12.700 mm NPT. Su mecanismo de corte, similar a un cortapuros, es de tipo cizalla y puede cortar cables de registro de hasta 11.113 mm. Se activa hidráulicamente y opera a presiones máximas de 6.895×10^7 Pa, con una presión de prueba de 1.034×10^8 Pa.

Es importante señalar que, en el caso de estos tres dispositivos, el mecanismo debe ser reajustado manualmente después de su uso. Esto implica que el pistón, que se activa hidráulicamente, debe ser devuelto a su posición inicial por el operador.

Si bien estos dispositivos presentan características beneficiosas, también enfrentan problemáticas significativas para los operadores de los pozos petroleros. En primer lugar, muchos de estos equipos cuentan con un cilindro de simple efecto, lo que obliga a los operadores a reajustar manualmente el mecanismo de corte después de

cada uso. Este proceso implica bajar el dispositivo del equipo de operaciones de cable de registro, desarmarlo, cambiar la cuchilla de corte y volver a armarlo, lo que resulta engorroso y propenso a errores. Este procedimiento no solo consume tiempo, sino que también puede llevar a la fatiga del operador, aumentando el riesgo de accidentes.

Además, los operadores enfrentan serios riesgos de seguridad debido a posibles fallos en los dispositivos. Estos fallos pueden generar situaciones peligrosas que ponen en riesgo la salud y la vida de los trabajadores. La presión de trabajo y las condiciones del pozo añaden una capa adicional de complejidad, haciendo que la seguridad sea una preocupación constante.

∞

Por último, la baja eficiencia operativa es otro desafío importante. El tiempo perdido en ajustes, mantenimiento y operaciones ineficientes disminuye la productividad general. Esta pérdida de tiempo no solo afecta el rendimiento del equipo, sino que también impacta negativamente en los costos operativos, reduciendo la rentabilidad de las operaciones en el campo.

El diseño propuesto representa un avance significativo en el campo de los cortadores de cables de registro, diferenciándose notablemente de los equipos existentes. A continuación, se describen las características y ventajas de este innovador dispositivo:

- El dispositivo propuesto para cortar cables de registro durante las operaciones en el pozo ha sido diseñado desde cero. Actualmente, no existen dispositivos similares en la industria petrolera nacional que puedan colocarse en el lubricador.
- Sus conexiones han sido adaptadas para integrarse sin problemas con los dispositivos y equipos ya existentes en la industria petrolera.
- Cuenta con conexiones rápidas 6.350 mm NPT, facilitando su conexión con las bombas hidráulicas de trabajo.
- Puede operar a presiones máximas de trabajo de 6.895×10^7 y 2.068×10^7 Pa, y soporta presiones de prueba hidrostática de 1.034×10^8 y 3.103×10^7 Pa.
- Su mecanismo de corte, de tipo cizalla, es independiente al pistón de accionamiento. Este mecanismo se compone de una cuchilla y una matriz de corte, las cuales pueden ser reemplazadas fácilmente una vez que hayan alcanzado su vida útil.
- Tras su uso, el mecanismo de corte puede regresar a su posición inicial mediante presión hidráulica. Esto es posible gracias a que el cuerpo hidráulico ha sido diseñado como un pistón de doble efecto, eliminando la necesidad de un reajuste manual.
- Tiene la capacidad de cortar cables de registro de 3.175 hasta 25.400 mm.
- La capacidad de este dispositivo para colocarse en el lubricador puede resultar muy beneficiosa para la industria petrolera por diversas razones. Entre ellas, permite un mejor control del flujo de los fluidos extraídos, incrementa la seguridad en caso de emergencia al evitar accidentes y daños en otros dispositivos o equipos, y ofrece una mayor flexibilidad al poder ser utilizado tanto en pozos terrestres como marítimos.
- El dispositivo propuesto presenta características que son de gran valor para la industria petrolera en México, ya que elimina la dependencia tecnológica de otros países. Esto evita la necesidad de comprar o rentar equipos que generan altos costos. Al adquirir o rentar estos dispositivos, las empresas deben afrontar gastos significativos, que incluyen el traslado, mantenimiento y refacciones. Los costos de traslado pueden ser elevados, y el mantenimiento, que a menudo debe realizarse por las mismas empresas vendedoras, añade un gasto recurrente. En contraste, el dispositivo propuesto es completamente nacional, lo que se traduce en varios beneficios específicos. En primer lugar, los costos de adquisición, mantenimiento y refacciones son considerablemente menores. Esto se debe a que el mantenimiento puede ser realizado por personal local con conocimientos en equipos de pozos petroleros, eliminando la necesidad de depender de proveedores externos y reduciendo los tiempos de inactividad. Además, las refacciones del dispositivo están diseñadas para ser fácilmente reemplazables, lo que facilita su mantenimiento y reduce el tiempo necesario para llevar a cabo reparaciones. Al utilizar materiales de bajo costo, se minimizan los gastos operativos, permitiendo a las empresas optimizar su presupuesto. Estos factores no solo contribuyen a una reducción de costos, sino que

también aumentan la eficiencia operativa. Al disminuir el tiempo dedicado a la adquisición y mantenimiento de equipos, las empresas pueden reorientar sus recursos hacia otras áreas productivas, mejorando así la productividad general. En resumen, el diseño del dispositivo no solo mejora la eficiencia y seguridad operativa, sino que también ofrece ahorros significativos en costos y tiempo, lo que representa una solución viable y sostenible para la industria petrolera en México.

II. METODOLOGÍA

4 A. *Parámetros para el diseño mecánico del dispositivo cortador de cable de registro*

Las características principales que se tomaron para la propuesta de diseño del dispositivo son tomadas a consideración para que sean adaptables a lo ya existente en la industria petrolera, como son el tipo de rosca ACME de 4 1/8, 3 3/4, 3 y 2 para las conexiones con el lubricador.

Rosca NPT de 6.350 mm para las conexiones rápidas entre el dispositivo cortador de cable de registro y la bomba hidráulica ENERPAC modelo P80 de 6.895×10^7 Pa.

Que cumpla con las presiones requeridas para cortar el cable de registro y que también soporte las presiones de trabajo expuestas para cumplir con las normas mencionadas, en la Tabla 1 se observan los parámetros tomados a consideración para la propuesta de diseño.

TABLA 1.
 CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE PROTOTIPO DE CORTADOR DE CABLE DE REGISTRO.

Conexiones principales	Rosca ACME	4 1/8, 3 3/4, 3, 2
Conexión hidráulica	Rosca NPT	6.350 mm
Presión hidráulica máxima de trabajo para cuerpo del dispositivo	-	6.895×10^7 Pa
Presión hidráulica de prueba hidrostática para cuerpo del dispositivo	-	1.034×10^8 Pa
Presión hidráulica máxima de trabajo para cuerpo hidráulico	Bomba hidráulica ENERPAC P80	2.068×10^7 Pa
Presión hidráulica de prueba hidrostática para cuerpo hidráulico	Bomba hidráulica ENERPAC P80	3.103×10^7 Pa
Presión requerida para cortar el cable de registro	Cortador de cable de registro	1.793×10^7 Pa

B. *Selección de materiales para fabricación del dispositivo cortador de cable de registro*

Las condiciones ambientales que presentan los pozos petroleros llegan a ser extremas para los aceros de los componentes de los dispositivos que operan en la industria es por esta razón que se deben seleccionar aceros adecuados. Durante las operaciones dentro de un pozo petrolero se tienen presentes condiciones que generan desgaste en las propiedades mecánicas de los componentes y dispositivos, como son la exposición a: agentes corrosivos, altas temperaturas, presiones extremas, arenamiento y emulsiones de agua-petróleo [11], [12].

Los aceros AISI 4140T y AISIM2 se seleccionaron para la fabricación del dispositivo cortador de cable de registro debido a sus propiedades mecánicas, el acero AISI 4140T presenta buena resistencia y tenacidad, alta resistencia a la fatiga y al desgaste, durabilidad, buena maquinabilidad para la fabricación de piezas, buena respuesta ante tratamientos térmicos y por su costo-efectividad al ser más rentable en comparación con otros aceros de alta resistencia [13].

El acero AISI M2 será utilizado para fabricar el mecanismo de corte, presenta excelente dureza, resistencia al desgaste, tenacidad o dicho de otra manera que es resistente a impactos y esfuerzos sin fracturarse por lo que es ideal para el mecanismo de corte de cable de registro, también presenta una buena resistencia a la corrosión y a los ácidos como se describe en [15].

Por lo tanto, las propiedades y características únicas que presentan ambos aceros los hacen adecuados para su selección y para la fabricación del dispositivo.

C. Diseño en software SolidWorks®

El dispositivo propuesto se diseñó en el software CAD SolidWorks [17]. Los componentes están enlistados en la Fig. 1: (a) cuerpo de dispositivo, (b) cuerpo hidráulico, (c) embolo, (d) cuchilla de corte, (e) cuña, (f) tuerca bipartida, (g) tapón cuerpo hidráulico, (h) guía de cable de registro, (i) matriz de corte, (j) soporte de matriz de corte y guía de cable de registro, (k) tapón de cuerpo. La muestra en una vista de corta A-A la sección transversal del dispositivo propuesto mostrando cada componente de este.

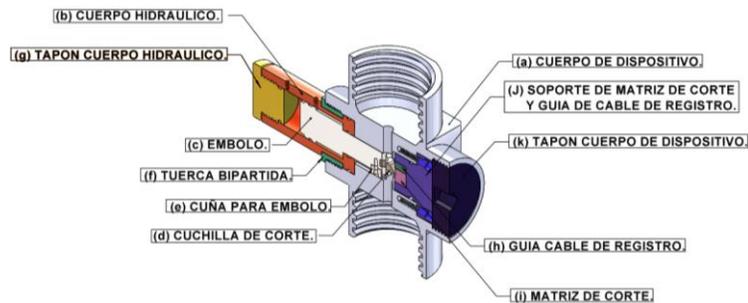


Fig. 1. Vista de sección A-A de dispositivo cortador de cable de registro con vista de los componentes del dispositivo.

D. Funcionamiento del dispositivo cortador de cable de registro

El componente principal del dispositivo cortador de cable de registro es el “cuerpo de dispositivo” (véase Fig. 2) este será por donde se hará pasar el cable de registro el cual puede ir desde diámetros que van desde 3.175 hasta 25.400 mm.

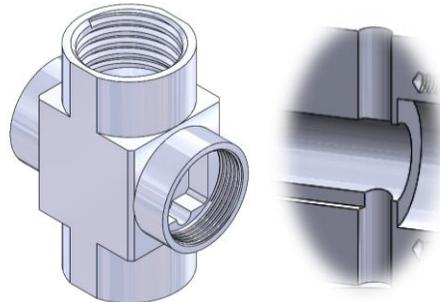
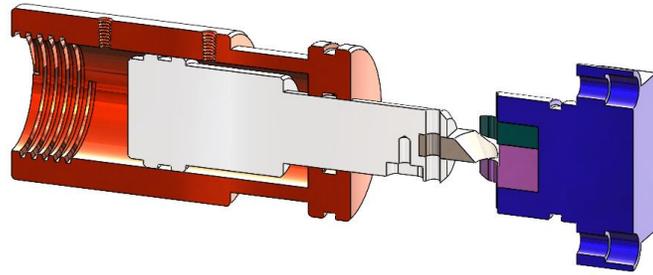


Fig. 2. Cuerpo de cortador de cable de registro.

El dispositivo funciona mediante la aplicación de presión hidráulica de aceite 20W-50 en el “cuerpo hidráulico”, el cual presenta dos barrenos con rosca NPT de 6.350 mm. para conexiones rápidas macho y hembra, que se utilizan para la entrada y salida del aceite 20W-50, proporcionando la presión requerida para llevar a cabo el corte del cable de registro como se muestra en la Fig. 3.



6

Fig. 3. Funcionamiento de cortador de cable de registro.

El “cuerpo hidráulico” es en donde se colocara internamente el embolo, presenta unos alojamientos para los empaques back-up ring y anillos o-rings con la finalidad de tener un cierre hermético y evitar fugas de aceite, presenta una rosca 2 ACME para la unión del tapón de cuerpo hidráulico, el “embolo” es el componente que será el accionador del mecanismo de corte al aplicársele presión hidráulica, también presenta un alijo para colocar empaques back-up ring y anillo o-rings, además de un barreno para unir a través de un perno con la “cuchilla de corte”, encargada de realizar el corte del cable de registro, la “cuña” para guía de embolo es la encargada de guiar y mantener el embolo centrado y evitar que se gire la cuchilla, la “tuerca bipartida” es la que une el cuerpo hidráulico con el cuerpo del dispositivo, esto mediante la conexión de rosca 3 ACME, el “tapón de cuerpo hidráulico” es el componente que cierra el cuerpo hidráulico por medio de la conexión roscada 2 ACME y también cuenta con el alijo para colocar los empaques back-up ring y anillos o-rings. En la Fig. 4 se muestran los componentes mencionados.

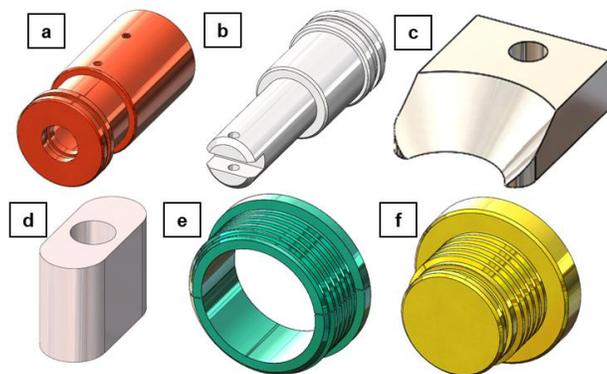


Fig. 4. Componentes del cortador de cable de registro. a) Cuerpo hidráulico, b) Embolo, c) Cuchilla de corte, d) Cuña para émbolo, e) Tuerca bipartida, f) Tapón de cuerpo hidráulico.

La parte mecánica encargada específicamente del corte del cable de registro (véase Fig. 5) se conforma de una “guía de cable de registro” que es la pieza que permite centrar el cable de registro en la “matriz de corte” donde se efectuara el corte por medio de la “cuchilla de corte”, el “soporte de matriz de corte” es la que albergara dichos componentes fijándolos con pernos, se ensambla con el cuerpo de dispositivo mediante tornillos cilíndricos Allen, cuenta también con un alijo para los empaques y anillos o-rings y back-up ring, el “tapón de cuerpo de dispositivo” es el pieza que sella el mecanismo de corte evitando que el mismo se mueva por el contacto de la cuchilla de corte contra la matriz de corte, este tapón se une con el cuerpo del dispositivo con la conexión roscada ACME de 3 3/4.

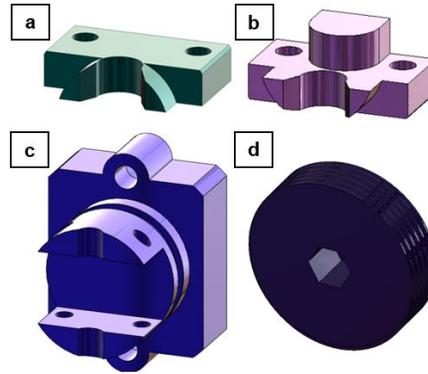


Fig. 5. Componentes para el mecanismo de corte de cable de registro, a) Matriz de corte, b) Soporte de matriz de corte, c) Guía de cable de registro y d) Tapón de cuerpo del dispositivo.

Una vez que se hace pasar el aceite 20W-50 por las conexiones rápidas NPT en el cuerpo hidráulico, se acciona el émbolo, dicho componente tiene una comisura en la cual se une la cuchilla de corte. Al ser accionado el émbolo el mecanismo de corte diseñado comienza su funcionamiento, consiste en que la cuchilla realice un corte transversal en el cable de registro cuando dicho cable este en la guía y la matriz de corte (véase Fig. 6).

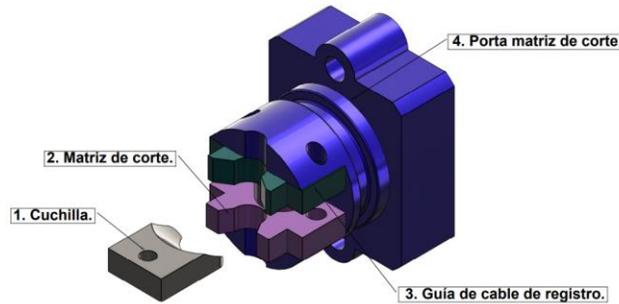


Fig. 6. Mecanismo de corte de cable de registro.

E. Simulaciones

1) Análisis estático

El análisis estático se realizó en los componentes más críticos del dispositivo cortador de cable de registro mediante el software CAD SolidWorks© Simulación, este análisis se realiza con la finalidad de predecir el comportamiento de dichos componentes ante las presiones que actúan en ellos, proporcionando información como los esfuerzos y factores de seguridad, lo que permite determinar si los componentes diseñados y propuestos son adecuados para su función y para su futura fabricación. Los componentes críticos mencionados son el “cuerpo del dispositivo” y el “cuerpo hidráulico”, ya que en ellos se les definirá sus puntos de sujeción y las presiones tomando en cuenta el acero de trabajo que se ha seleccionado.

De acuerdo con la norma API Spect 6A, en el apartado de control de calidad se describe la información sobre pruebas e inspecciones, entre las pruebas mencionadas se encuentra la prueba hidrostática, en la cual se menciona que la presión que se debe aplicar debe de ser 1.5 veces la presión de operación.

Para poder comenzar con el análisis estático se debe definir el material de trabajo en la biblioteca de materiales de SolidWorks© donde se muestran las propiedades del material como Para este análisis el material de trabajo es el acero AISI 4140T que en la biblioteca de materiales de SolidWorks© aparece como acero no aleado DIN 1.7225 [17]. La Tabla 2 muestra las propiedades.

TABLA 2.
 PROPIEDADES DEL ACERO AISI 4140T DE ACUERDO CON EL PROGRAMA SOLIDWORKS® [17].

Propiedades	Valor	Unidades
Modulo elástico	2.10×10^{11}	Pa
Modulo cortante	7.9×10^{10}	Pa
Densidad de masa	7800	kg/m ³
Límite de tracción	1,000,000,000	Pa
Límite elástico	750,000,000	Pa

Ejecución de análisis estático

Para la realización de la simulación de análisis estático se sigue una serie de pasos su ejecución. Dichos pasos se describen en el diagrama a continuación (véase Fig. 7).

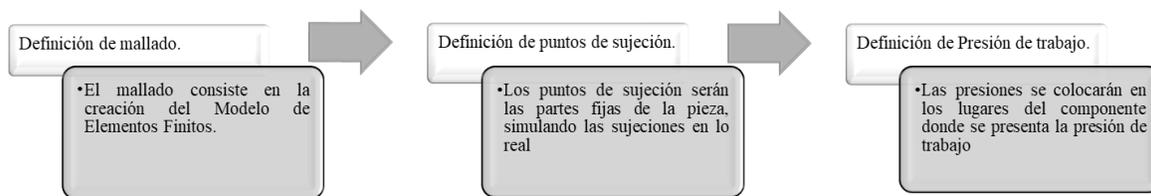


Fig. 7. Diagrama de pasos a seguir para ejecución de simulación estática.

Definición de mallado.

En el análisis estático el mallado se considera una de las partes más importantes debido a que está relacionada con la precisión en la simulación, si se requieren resultados de mayor precisión se le considera un mallado fino, pero si en el caso contrario, que no se requiera tanta precisión se considerará un mallado grueso o intermedio.

El mallado consiste en la creación del modelo de elementos finitos. Este es un proceso en que un “modelo continuo”, es decir, la pieza o ensamble que vamos a analizar se “divide” en un número finito de elementos individuales. Cada uno de estas “piezas” de la malla, son llamados “elementos”, e interactúan entre sí a través de “nodos”.

Es importante además que el tipo de mallado a utilizar sea el apropiado para el modelo geométrico diseñado ya que con este mallado se estarán trabajando las interacciones de los elementos, estos elementos permitirán realizar más cálculos en el modelo geométrico, y se mostraran resultados con mayor exactitud.

En la Fig. 8 se muestran el mallado del cuerpo del dispositivo y del cuerpo hidráulico con el mallado propuesto y en la Tabla 3 se muestran el componente analizado, la descripción de estos, los nodos utilizados para el análisis, el número de elementos y el tipo de mallado utilizado.

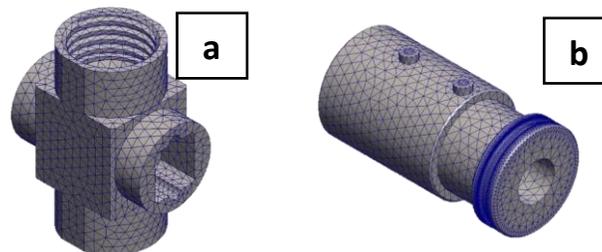


Fig. 8. Mallado para los componentes: a) cuerpo del dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

TABLA 3.
 ESPECIFICACIONES DEL ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS.

Componente	Material utilizado para análisis estático	Número de nodos	Número de elementos	Mallado utilizado
Cuerpo de dispositivo	Acero AISI 4140/ acero no aleado DIN 1.7225.	38614	22810	Mallado fino
Cuerpo hidráulico	Acero AISI 4140/ acero no aleado DIN 1.7225.	124425	74260	Mallado fino

Definición de puntos de sujeción

Los puntos de sujeción serán las partes fijas de la pieza, simulando las sujeciones en lo real, para el caso de este análisis los puntos de sujeción de las piezas a simular serán las que se muestran en la Fig. 9.

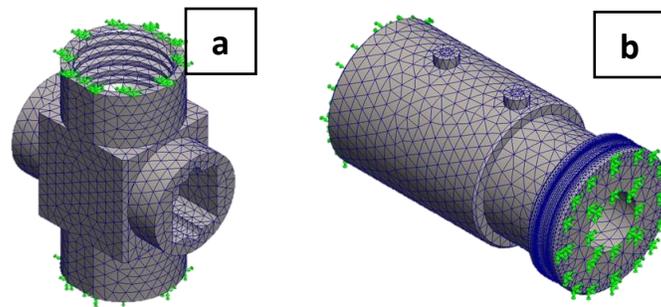


Fig. 9. Puntos de sujeción para los componentes: a) cuerpo del dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

Definición de presión de trabajo

Las presiones se aplicarán en los puntos del componente donde se experimenta la presión de trabajo. Es fundamental seleccionar adecuadamente el lugar de aplicación para poder observar el comportamiento del componente de manera precisa.

Además, es importante determinar si la presión de trabajo será uniforme o no. En este caso, se aplicará de forma uniforme en el interior de estos. La Fig. 10 ilustra la presión ejercida en el interior del cuerpo del dispositivo.

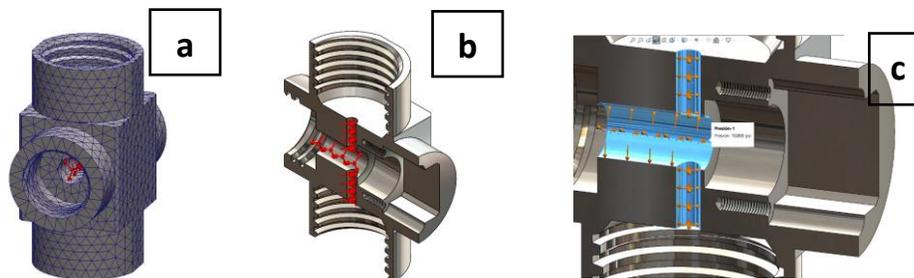


Fig. 10. Presión de trabajo aplicada en cuerpo de dispositivo: a) Interior del cuerpo de dispositivo con mallado, b) Corte transversal, c) Acercamiento del cuerpo con vista de corte transversal.

En la Fig. 11 se muestra la presión aplicada en la parte interna del cuerpo hidráulico.

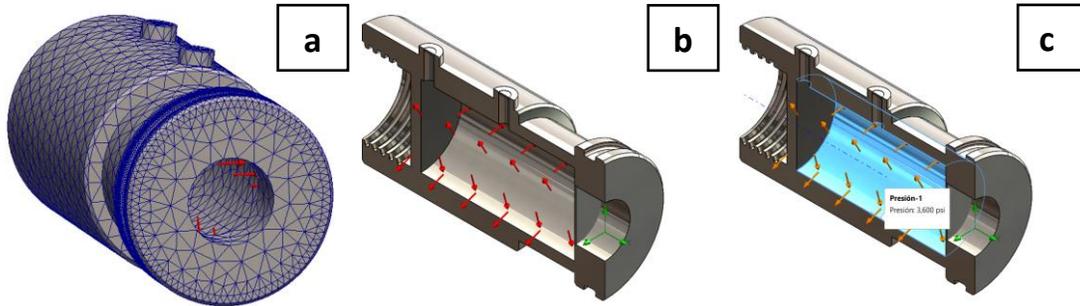


Fig. 11. Presión de trabajo aplicada en cuerpo hidráulico: a) Interior del cuerpo de dispositivo con mallado, b) Corte transversal, c) Acercamiento del cuerpo con vista de corte transversal.

Una vez definido estos pasos se procede a realizar la ejecución y análisis de la simulación. Los resultados obtenidos de la simulación del análisis estático muestran los esfuerzos de Von Mises, desplazamientos y factor de seguridad. En estos resultados se muestran gráficos los cuales presentan diferentes colores y valores mostrándose en el componente el punto máximo y mínimo. Para cada una de las características mencionadas se tienen resultados que permiten analizar el comportamiento del componente ante la presión aplicada.

2) Análisis de fluidos

El análisis de fluido que se ejecutará en el cuerpo hidráulico del dispositivo y tiene como fin el observar el comportamiento del aceite hidráulico 20W-50 al introducirlo en el interior del componente, para visualizar las líneas de flujo durante su funcionamiento tanto de la presión ejercida como la velocidad que tendrá dicho fluido en el interior del componente.

a) Parámetros de simulación

Para el análisis de fluido lo primero que se debe realizar es definir el fluido de trabajo, el cual para este caso es aceite 20W-50, en la biblioteca de SolidWorks© no se tiene este fluido por lo que es requerido “diseñarlo”, buscando las propiedades mecánicas del mismo, para esto se busca la ficha técnica del aceite 20W-50 mostrada en la Tabla 4.

TABLA 4.
 VALORES DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL ACEITE 20W-50 [18].

Densidad. (kg/m ³)	Viscosidad. (Pa*s)	Calor específico. (J/kg*K)	Conductividad térmica. (w/m*K)
871.917	0.008	2428.344	0.104

Aunado a ello se colocan los datos de entrada de fluido, los cuales se obtienen del manual de usuario de la bomba hidráulica ENERPAC modelo P80, de la cual requerimos conocer el caudal o flujo volumétrico (véase los datos en la Tabla 5).

TABLA 5.
 DATOS DE FUNCIONAMIENTO DE BOMBA ENERPARC P80 [19].

Máxima presión de funcionamiento	Flujo volumétrico
6.895x107 Pa	4.124x10 ⁻⁸ m ³ /s

11

Los parámetros para la simulación serán los indicados a continuación; nombre de la simulación, unidades de medidas en las que se trabajarán, el tipo simulación a realizar, el fluido de trabajo, condiciones de “pared” y las condiciones iniciales de trabajo.

En cada una de estas secciones se seleccionarán los parámetros para la simulación; comenzando por ponerle como nombre de simulación “CFD CABLE DE REGISTRO”, se continua con seleccionando las unidades de medida “SI”, para el tipo de análisis se selecciona que sea de tipo de “Fluid Flow”, el líquido de trabajo a seleccionar es “aceite 20W-50” y por último las condiciones de pared y las condiciones iniciales de trabajo se dejan por default de como las muestra el asistente de análisis véase Fig. 12.

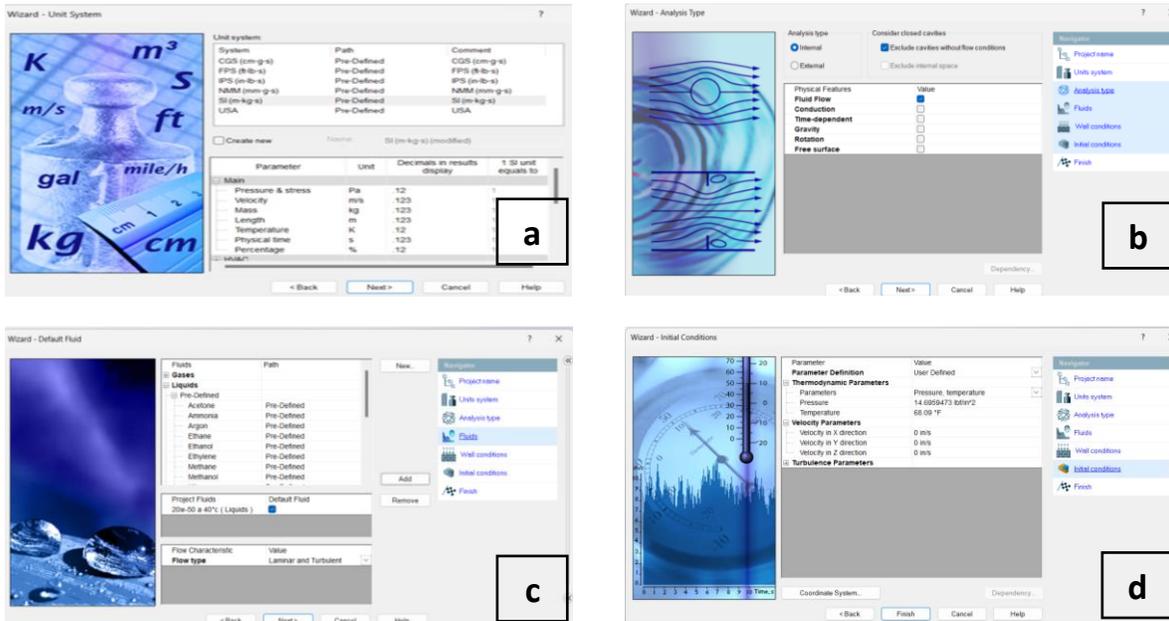


Fig. 12. Recuadros del navegador para definir los parámetros específicos de simulación de fluidos: a) unidades, b) tipo de análisis, c) tipo de fluido, d) condiciones.

Dominio computacional

Posteriormente a definir todos los parámetros iniciales para el análisis se continúa por definir el dominio computacional en el componente a analizar, este es el que define la región “espacial” que es de interés estudiar y establece las condiciones iniciales y de frontera en el dominio del cálculo.

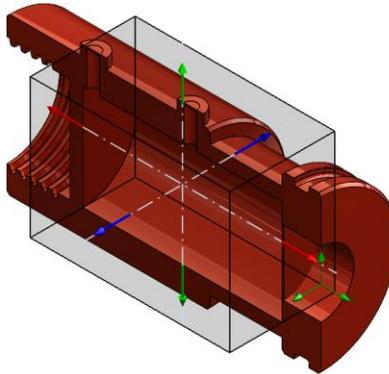


Fig. 13. Dominio computacional para cuerpo hidráulico.

Entrada o Inlet

En la entrada de fluido o Inlet se indicará por donde iniciará la entrada del fluido, además se le indicará el caudal o flujo volumétricos de $Q = 4.124 \times 10^{-8} \text{ m}^3/\text{s}$ se selecciona la cara por donde comenzará a pasar el fluido.

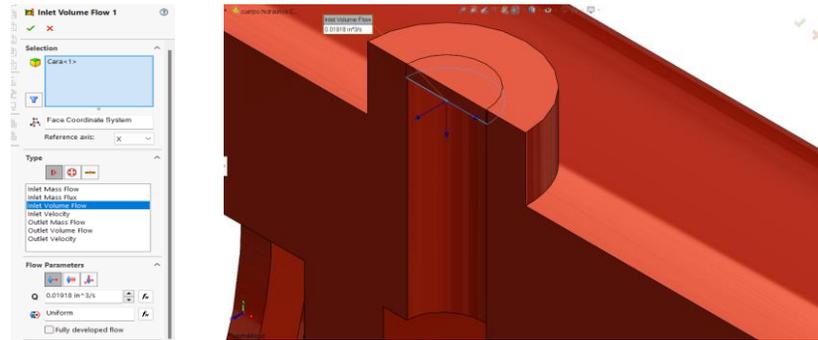


Fig. 14. Definición de entrada o Inlet de fluido en cuerpo hidráulico.

Salida u Outlet

En la salida de fluido u outlet se realiza similar al paso anterior, pero con la diferencia que se usará otro parámetro de condición de flujo, dicha condición a usar es la presión, la cual será la misma que se utiliza en el análisis estático. Se realizarán dos análisis, primero con $1.034 \times 10^8 \text{ Pa}$ y otro de $3.103 \times 10^7 \text{ Pa}$. Entonces se selecciona la cara por donde se tendrá la salida del fluido a las presiones mencionadas.

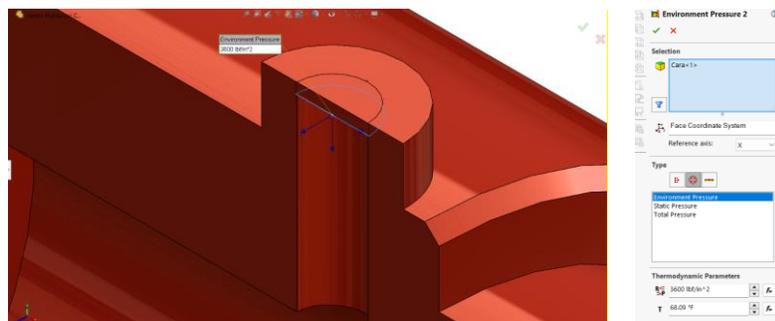


Fig. 15. Definición de salida u outlet de fluido en cuerpo hidráulico.

Superficies solidas o Real Wall

En esta última sección se le indica cuáles serán las superficies solidas del componente a utilizar, con esto se le indican los límites de Frontera. Igualmente, que los pasos anteriores se le debe indicar cuáles serán las caras que fungirán para dicha acción, y los parámetros se le dejan por default como lo muestra el asistente de análisis.

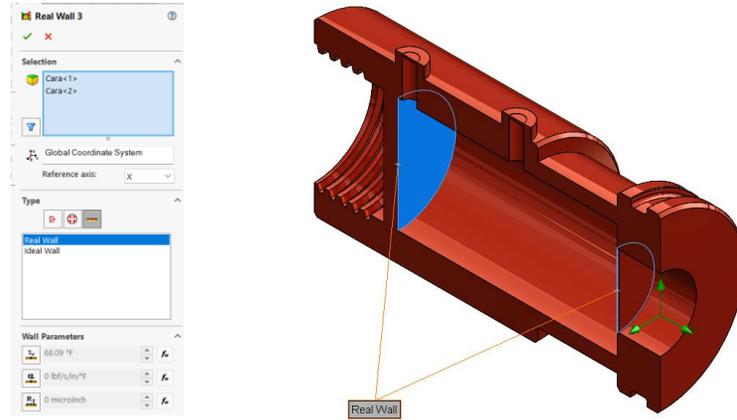


Fig. 16. Definición de superficies solidas o Real Wall en cuerpo hidráulico.

Ejecución de análisis

Ya que se tiene todos los parámetros definidos para la entrada, salida y superficies solidas se procede a ejecutar en análisis de fluidos.

III. RESULTADOS

El dispositivo cortador de cable de registro consta de 11 componentes mecánicos, cada uno diseñado para contribuir a la eficiencia y rendimiento del dispositivo. Una característica destacada es la cuchilla independiente del pistón. El dispositivo utiliza un sistema de accionamiento hidráulico, conocido por su fiabilidad y capacidad para generar una gran cantidad de fuerza. Este sistema es ideal para la tarea de cortar cables de registro, proporcionando la presión necesaria para realizar cortes precisos y pesa 25.28 kg y tiene unas dimensiones de 322×254×127 mm una vez ensamblado. Estas dimensiones y peso permiten que el dispositivo sea robusto y duradero, a la vez que es lo suficientemente compacto para su uso en el campo.

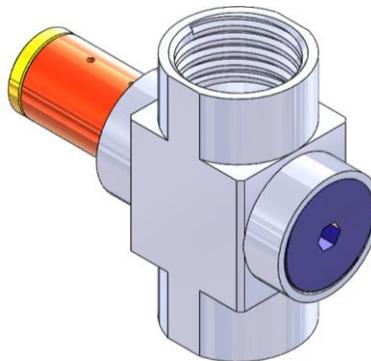


Fig. 17. Diseño propuesto de cable de registro.

A) Ecuaciones matemáticas para validación del análisis estático

Los resultados que se describirán a continuación en los resultados de análisis estáticos han sido validados utilizando las Ecuaciones 1, 2 y 3, junto con los valores definidos en la Tabla 1 y las definiciones de la presión aplicada presentadas en la Fig. 10 y Fig. 11. A partir de los datos recopilados y aplicando las ecuaciones correspondientes, se valida la precisión de los resultados obtenidos para el esfuerzo de Von Mises, los desplazamientos y el factor de seguridad.

Para calcular el esfuerzo de Von Mises.

$$\sigma_{VM} = \sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]} \quad (1)$$

Donde:

σ_{VM} es el esfuerzo de Von Mises.
 σ_1, σ_2 y σ_3 son los esfuerzos principales.

Para calcular los desplazamientos:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{L} \quad (2)$$

Donde:

δ es el desplazamiento.
 ε es la deformación.
 L es la longitud para analizar.

Y para el factor calcular el factor de seguridad:

$$FS = \frac{\sigma_y}{\sigma_{VM}} \quad (3)$$

Donde

FS es el factor de seguridad.
 σ_y es el límite elástico del material
 σ_{VM} es el esfuerzo de Von Mises.

B) Resultados de análisis estático

Se realizan dos análisis para cada uno de los componentes mencionados, para el cuerpo del dispositivo se le aplicará una presión de 6.895×10^7 Pa y 1.034×10^8 Pa y para el cuerpo hidráulico se le aplica 2.068×10^7 Pa y 3.103×10^7 Pa.

a) Presiones hidráulicas máximas de operación

Los valores obtenidos en los dos análisis estáticos para las presiones máximas de operación se describen en los gráficos mostrados en la Fig. 18, indicando que para los esfuerzos de Von Mises para el cuerpo del dispositivo se tiene un esfuerzo máximo de **339,378,688 Pa** que es inferior al límite elástico del componente con un valor de 750,000,000 Pa y para el cuerpo del dispositivo su esfuerzo máximo es de **171,346,432 Pa** que es inferior a su límite elástico del componente con un valor de 750,000,000 Pa.

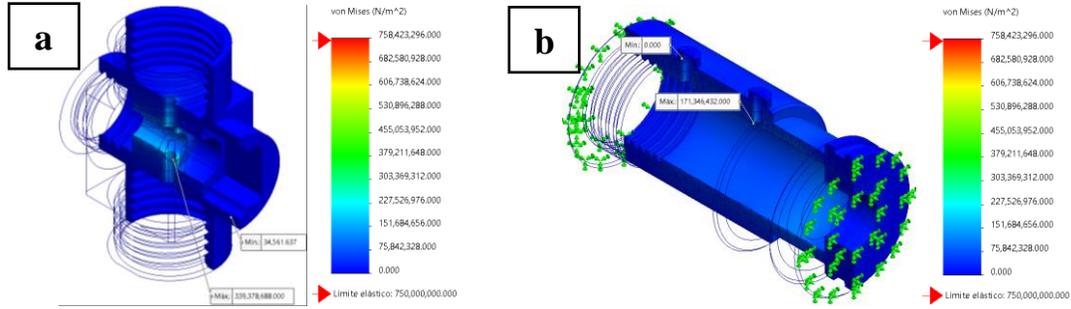


Fig. 18. Von Mises para presión máxima de operación: a) cuerpo de dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

Para los desplazamientos en el cuerpo del dispositivo se tiene un valor de **0.009 mm** para el cuerpo hidráulico se tienen valores igualmente de **0.012 mm**, indicando que para ambos casos no tendrá desplazamientos con la presión máxima de trabajo indicados en la Fig. 19.

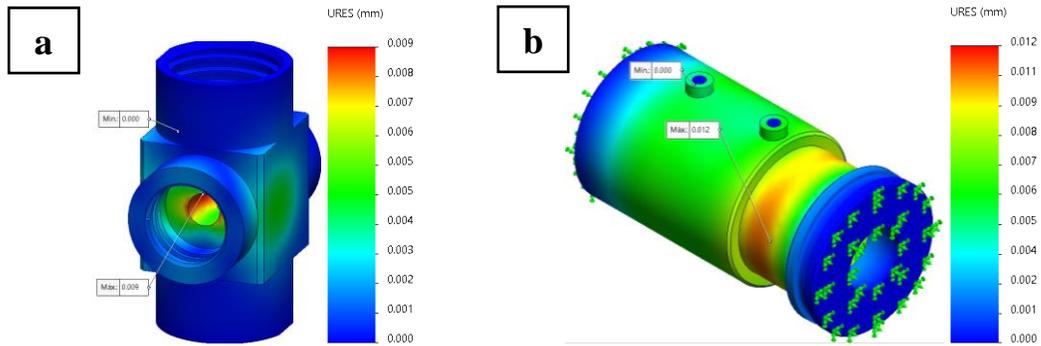


Fig. 19. Desplazamientos para presión máxima de operación: a) cuerpo de dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

Por último, el factor de seguridad en el cuerpo del dispositivo tiene un valor de **2.21** y el cuerpo hidráulico **4.38** denotando que ambos componentes son aceptables para su implementación en la industria (véase Fig. 20).

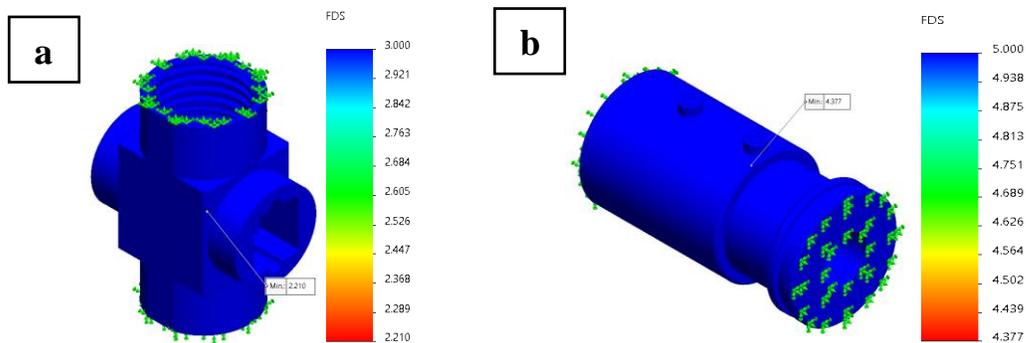


Fig. 20. Factor de seguridad para presión máxima de operación: a) cuerpo de dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

b) Presiones hidráulicas de prueba hidrostática

Los valores obtenidos en los dos análisis estáticos para las pruebas hidrostáticas se describen en los gráficos mostrados en la Fig. 21, indicando que para los esfuerzos de Von Mises para el cuerpo del dispositivo se tiene un esfuerzo máximo de **475,130,208 Pa** que es inferior al límite elástico del componente con un valor de 750,000,000 Pa y para el cuerpo del dispositivo su esfuerzo máximo es de **257,019,664 Pa** que es inferior a su límite elástico del componente con un valor de 750,000,000 Pa.

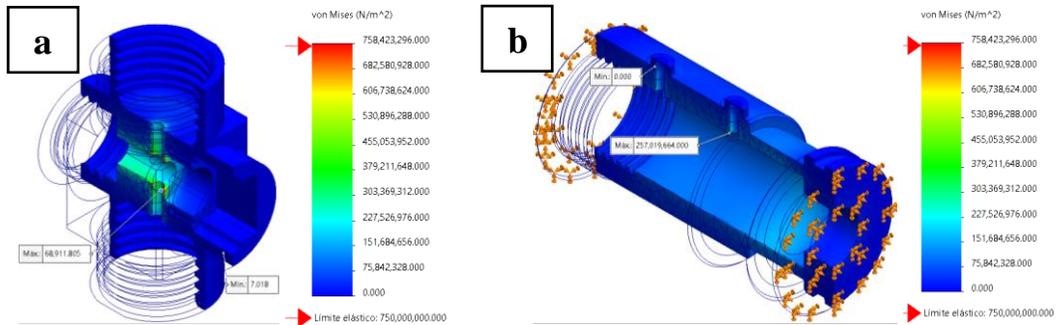


Fig. 21. Esfuerzos de Von Mises para presiones de prueba hidrostática: a) cuerpo de dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

Para los desplazamientos en el cuerpo del dispositivo se tienen un valor de **0.013 mm** y para el cuerpo hidráulico se tienen valores de **0.018 mm** (véase Fig. 22), indicando que para el caso del cuerpo del dispositivo no tendrá desplazamientos considerables y para el caso del cuerpo hidráulico tendrá desplazamientos mínimos.

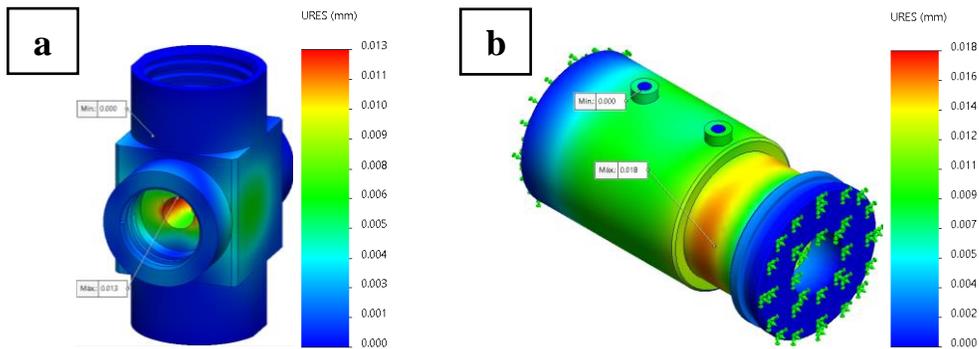


Fig. 22. Desplazamientos para presiones de prueba hidrostática: a) cuerpo de dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

Por último, el factor de seguridad en el cuerpo del dispositivo tiene un valor de **1.50** y el cuerpo hidráulico **2.92** mostrados en la Fig. 23. Verificando con estos resultados que los componentes resistirán la prueba hidrostática.

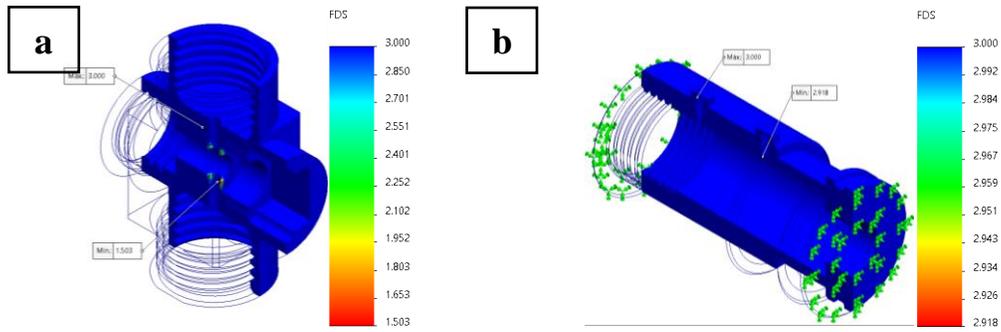


Fig. 23. Factor de seguridad para presiones de prueba hidrostática: a) cuerpo de dispositivo, b) cuerpo hidráulico.

C) Resultados de análisis de fluidos

Una vez que se realizó el análisis de fluidos, se muestran los resultados de este, con ellos se puede comenzar a interpretar los datos obtenidos, estos vendrán indicados por las líneas de flujo, mostrando el tipo de comportamiento que tengan indicando si se tendrán turbulencias o vórtices dentro del componente analizado, si tendrá incremento de presión y mostrara además un gráfico en la cual se observa el valor que se quiera conocer la unidad de dicho valor.

En este análisis también se toma a consideración la norma API Spect 6A, y al igual que en el análisis estático se realizarán dos análisis el primero será con la presión de operación de 2.068×10^7 Pa y el segundo será a 1.5 veces la presión de trabajo, es decir, 3.103×10^7 Pa simulando la prueba hidrostática, para asegurar que el componente sea adecuado para su funcionamiento.

a) Análisis de fluido a 2.068×10^7 Pa

En esta prueba se utiliza la presión de operación, en esta se muestra el flujo del aceite en el cual no se tiene pérdida de presión denotado por las líneas verdes y por los valores indicados en el gráfico que se encuentran en un rango de 2.07×10^7 , además que se tiene una mayor concentración del fluido en la salida del componente como se observa en la Fig. 24-a. Por otro lado, se percibe que la velocidad se mantiene constante en toda su trayectoria en el interior del componente denotado igualmente por las líneas de flujo y por los valores indicados en el gráfico, estos valores de la velocidad están en un rango de 0 a 0.072 m/s mostrado en la Fig. 24-b.

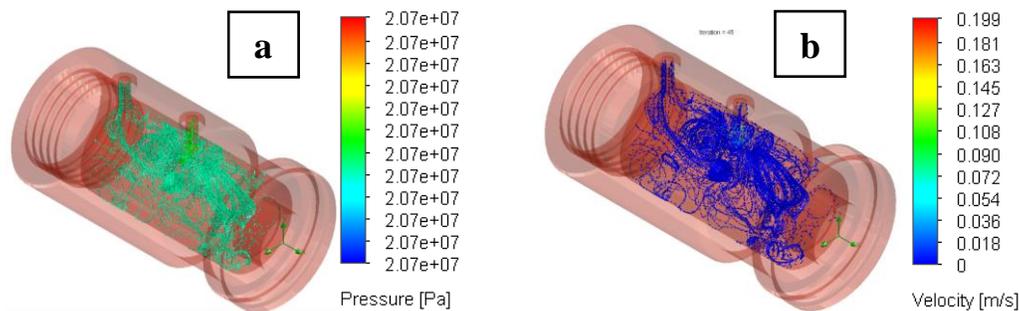


Fig. 24. Resultados de análisis de fluidos a 2.068×10^7 Pa: a) Presión de fluido en cuerpo hidráulico, b) Velocidad del fluido en cuerpo hidráulico.

b) Análisis de fluido a 3.103×10^7 Pa

En esta prueba se utiliza la presión máxima de trabajo con la cual se simula la prueba hidrostática, igualmente en esta prueba se puede apreciar que el flujo del aceite no tiene pérdida de presión denotado por las líneas verdes y por los valores indicados en el gráfico que rondan en un valor de 3.10×10^7 Pa (véase Fig. 25-a). Y por parte de la velocidad se aprecia que también se mantiene constante en su trayectoria en el interior del componente con la diferencia de que ahora ha aumentado su velocidad, esto indicado por las líneas de flujo y por el gráfico mostrando unos valores en un rango de 0 a 0.051 m/s como se muestra en Fig. 25-b.

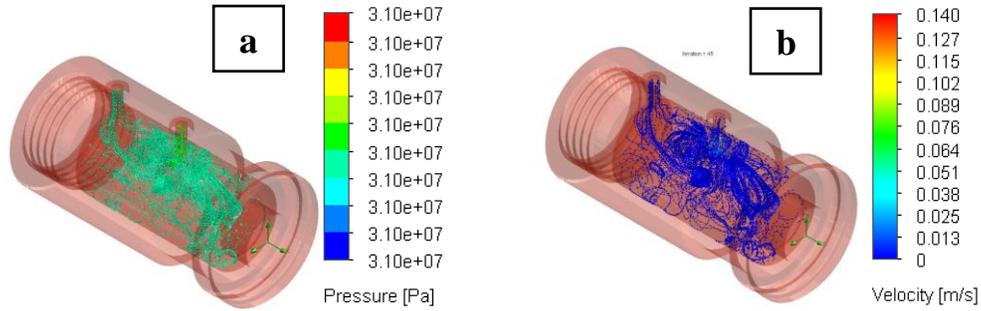


Fig. 25. Resultados de análisis de fluidos a 3.103×10^7 Pa: a) Presión de fluido en cuerpo hidráulico, b) Velocidad del fluido en cuerpo hidráulico.

IV. DISCUSIÓN

Con base a los resultados obtenidos a través de los análisis realizados, se puede concluir que el diseño propuesto para el dispositivo cortador de cable de registro ha demostrado un rendimiento satisfactorio. Los análisis estáticos realizados no sobrepasaron los esfuerzos de Von Mises, lo que indica que el dispositivo es capaz de soportar las presiones máximas aplicadas de 1.034×10^8 Pa y 3.103×10^7 Pa sin experimentar una deformación plástica significativa. Además, no se observaron desplazamientos considerables mostrando valores en el cuerpo de dispositivo de 0.013 mm y en el cuerpo hidráulico de 0.018 mm, lo que sugiere que el dispositivo mantendrá su integridad estructural bajo las condiciones de operación previstas. Además de que ambos componentes cuerpo del dispositivo y cuerpo hidráulico tuvieron factores de seguridad de 1.50 y 2.92 respectivamente, dentro del rango de aceptación para su fabricación.

Los análisis de fluidos también arrojaron resultados favorables tanto en presiones de trabajo como en la velocidad del fluido, lo que indica que el dispositivo puede funcionar eficientemente en el entorno de fluidos en el que se espera que opere. Esto es especialmente relevante en la industria petrolera, donde los dispositivos frecuentemente deben funcionar en condiciones de alta presión.

La industria petrolera se beneficia significativamente con el nuevo diseño del dispositivo cortador de cable de registro en varios aspectos clave. En primer lugar, al ser un dispositivo nacional, se elimina la dependencia de tecnología extranjera, lo que fortalece la capacidad local y fomenta la economía nacional.

El diseño innovador del mecanismo de corte, que opera de manera independiente del pistón, simplifica el mantenimiento al eliminar la necesidad de reajustes manuales tras cada uso. Esto reduce el tiempo de inactividad, permitiendo a los operadores aumentar la productividad en el campo. Además, el sistema hidráulico de doble efecto facilita el retorno automático del mecanismo de corte a su posición inicial, lo que mejora aún más la eficiencia operativa.

Las conexiones rápidas permiten una integración sencilla con equipos existentes, acelerando su implementación en operaciones. Su capacidad para operar bajo altas presiones y velocidades de fluido asegura un rendimiento confiable en condiciones exigentes, lo cual es crucial en la industria.

Desde una perspectiva de costos, el diseño ofrece una solución más económica al reducir los gastos en adquisición, mantenimiento y refacciones, lo que resulta en un impacto positivo en el presupuesto operativo de las empresas.

V. CONCLUSIONES

Se presentó el diseño funcional y ajustado a las especificaciones requeridas de un dispositivo cortador de cable de registro de carácter nacional para la industria petrolera. Este diseño no solo es innovador, sino que también cumple con las especificaciones de la norma API Spect 6A. Se realizó análisis estático y de fluidos para validar el rendimiento del dispositivo.

El análisis estático reveló los componentes críticos del dispositivo. El cuerpo del dispositivo exhibió un esfuerzo de Von Mises de 339,378,688 Pa bajo la presión máxima de trabajo y 475,130,208 Pa durante la prueba de presión hidrostática. En contraste, el cuerpo hidráulico registró esfuerzos de Von Mises de 171,346,432 Pa y 257,019,664 Pa para las mismas condiciones, respectivamente. En términos de desplazamientos, el cuerpo del dispositivo alcanzó valores de 0.009 mm y 0.013 mm para la presión máxima de trabajo y la prueba de presión hidrostática, respectivamente. El cuerpo hidráulico, por otro lado, registró valores de 0.012 mm y 0.018 mm en las mismas condiciones. El factor de seguridad del cuerpo del dispositivo mostró valores de 2.21 y 1.50 para la presión máxima de trabajo y la prueba de presión hidrostática, respectivamente. El cuerpo hidráulico, en cambio, indicó valores de 4.64 y 2.92 bajo las mismas condiciones. El análisis de fluidos se centró exclusivamente en el cuerpo hidráulico. Se simuló la presión máxima de trabajo y la prueba de presión hidrostática, obteniendo valores de presión y velocidad del fluido dentro del componente. Para la presión máxima de trabajo, se obtuvieron valores de presión de 2.07×10^7 Pa y una velocidad del fluido de 0 a 0.072 m/s. Para la prueba de presión hidrostática, se registraron valores de presión de 3.10×10^7 Pa y una velocidad del fluido de 0 a 0.051 m/s. Estos resultados validan el rendimiento del dispositivo y corroboran su eficiencia y cumplimiento con la norma establecida. Este trabajo contribuye a la industria petrolera al proporcionar una solución eficiente y conforme a la norma para el corte de cable de registro. Además, los métodos de análisis empleados podrían aplicarse a otros dispositivos similares, ampliando aún más el alcance de la contribución. El diseño propuesto para el dispositivo cortador de cable de registro se destaca por su enfoque innovador y sostenible, orientado a satisfacer las necesidades específicas de la industria petrolera. En primer lugar, al ser un dispositivo completamente nacional, se elimina la dependencia de tecnología extranjera, fortaleciendo así la capacidad tecnológica local y fomentando la economía nacional.

Una de las características más innovadoras del dispositivo es su mecanismo de corte de tipo cizalla, que opera de manera independiente del pistón de accionamiento. Esta independencia no solo simplifica el mantenimiento, sino que también mejora la eficiencia operativa, ya que elimina la necesidad de reajustes manuales después de cada uso. Esto se traduce en menos tiempo de inactividad y una mayor productividad en el campo.

Además, el diseño incorpora un sistema hidráulico de doble efecto que permite que el mecanismo de corte regrese automáticamente a su posición inicial tras su uso. Esta característica es fundamental, ya que reduce el tiempo que los operadores deben invertir en ajustes, lo que a su vez mejora la fluidez de las operaciones.

El dispositivo está equipado con conexiones rápidas de 6.350 mm NPT, lo que facilita su integración con equipos existentes en la industria. Esta adaptabilidad permite una implementación más ágil, lo que es crucial en un entorno donde la eficiencia y la rapidez son vitales.

La capacidad del dispositivo para operar bajo condiciones de alta presión y con velocidades de fluido elevadas es otro de sus puntos fuertes, asegurando su rendimiento en el entorno exigente de la industria petrolera. Además, se ha prestado especial atención a la seguridad, con factores de seguridad adecuadamente incorporados en su diseño, lo que garantiza que los operadores puedan trabajar con confianza y tranquilidad.

Por último, el diseño no solo promete un rendimiento técnico superior, sino que también presenta un impacto económico positivo. Al reducir los costos asociados con la adquisición, el mantenimiento y las refacciones, el dispositivo ofrece una solución más accesible y viable para las empresas, transformando así la economía de las operaciones en la industria petrolera.

En conjunto, estas innovaciones hacen del diseño propuesto una solución integral que no solo mejora la eficiencia y la seguridad, sino que también contribuye al desarrollo sostenible de la industria petrolera.

VI. RECOMENDACIONES

Para trabajos de investigación futuros y mejoras en el diseño del dispositivo cortador de cable de registro se sugiere realizar los siguientes puntos:

- 1) Investigación en Materiales Avanzados: Explorar el uso de materiales compuestos o aleaciones de alta resistencia que puedan mejorar aún más la durabilidad y la resistencia a la corrosión del dispositivo. Esto puede aumentar su vida útil y reducir la necesidad de mantenimiento.
- 2) Optimización del Diseño Hidráulico: Realizar estudios adicionales para optimizar el sistema hidráulico del dispositivo. Esto podría incluir simulaciones de flujo para mejorar la eficiencia del mecanismo de corte y minimizar el consumo de energía.
- 3) Desarrollo de Sensores Integrados: Considerar la incorporación de sensores de presión en el diseño. Estos sensores pueden proporcionar datos en tiempo real sobre las condiciones operativas, permitiendo un ajuste dinámico del dispositivo para maximizar su rendimiento y seguridad.
- 4) Pruebas en Condiciones Reales: Llevar a cabo pruebas de campo en condiciones reales de operación para validar el rendimiento del dispositivo. Esto ayudará a identificar áreas de mejora que podrían no ser evidentes en análisis de laboratorio.
- 5) Capacitación y Manuales de Uso: Desarrollar programas de capacitación y manuales detallados para los operadores. Esto asegurará que el personal esté bien preparado para utilizar el dispositivo de manera segura y eficiente, maximizando su potencial.
- 6) Investigación en Eficiencia Energética: Investigar formas de hacer el dispositivo más eficiente energéticamente. Esto podría incluir el uso de sistemas de control más avanzados que optimicen el consumo de energía durante la operación.
- 7) Evaluación de Costos a Largo Plazo: Realizar estudios económicos que evalúen el costo total de propiedad del dispositivo a lo largo de su vida útil en comparación con métodos tradicionales. Esto proporcionará una perspectiva más clara de los beneficios económicos en un horizonte temporal más amplio.
- 8) Feedback de Usuarios y Mejoras Iterativas: Establecer un canal de comunicación con los usuarios finales para obtener retroalimentación sobre el rendimiento del dispositivo en el campo. Esta información puede ser valiosa para realizar mejoras iterativas en el diseño.

REFERENCIAS

- [1] A. de La Vega Navarro, “La industria petrolera mexicana en el marco de las tendencias globales del cambio institucional, organizacional y tecnológico,” Unam.mx. [Online], 2024. Available: <https://www.depfe.unam.mx/p-cientifica/coloquio-erdal/06BAngdelavegaLt.pdf> [Accessed: 09-Sep-2024].
- [2] Y. Reyes., “plataformas petrolíferas: Innovaciones y desafíos extremos,” Inspecnet, 29 Apr. 2023.
- [3] M. Rodríguez., “Técnicas de Perforación Actuales en la Extracción Petrolera,” Inspecnet, 10 Apr. 2024.
- [4] P. Punto, “Nuevas Tecnologías en la Extracción de Petróleo: Un Vistazo al Futuro,” Medium, 04 Mar. 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/@petropunto/nuevas-tecnolog%C3%ADas-en-la-extracci%C3%B3n-de-petr%C3%B3leo-un-vistazo-al-futuro-33ca04e86eb8> [Accessed: 27-Ago-2024].
- [5] Specification for Wellhead and Christmas Tree Equipment ISO 10423:2009 (Modified), Petroleum and natural gas industries-Drilling and production equipment-Wellhead and christmas tree equipment”. 2010.
- [6] Huntingplc.com. [Online], 2024. Available: <https://media.huntingplc.com/products-and-services/well-intervention-equipment/pressure-control-equipment/wireline-pressure-control-equipment/hunting-hydraulic-grease-head-cable-cutter-datasheet.pdf> [Accessed: 27-Ago-2024].
- [7] Nov.com. [Online], 2024. Available: <https://www.nov.com/-/media/nov/files/brands/elmar/elmar-product-catalog.pdf>. [Accessed: 27-Ago-2024].
- [8] Phueloiltools.com. [Online], 2024. Available: <https://phueloiltools.com/datasheets/Phuel-Oil-Tools-PCE-Catalogue.pdf>. [Accessed: 27-Ago-2024].
- [9] Phueloiltools.com. [Online], 2024. Available: <https://phueloiltools.com/datasheets/Phuel-Cable-Cutter.pdf>. [Accessed: 27-Ago-2024].
- [10] P. M. V. Huertas, “Evaluación de los riesgos ambientales originados en pozos petroleros: con énfasis en aguas subterráneas y superficiales,” Edu.co. [Online], 2024. Available: <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/7135/1/374788-2018-I-GA.pdf> [Accessed: 27-Ago-2024].
- [11] “Cable Cutter Sub,” WINCENT. [Online], 2024. Available: <https://win-cent.com/products/cable-cutter-sub/>. [Accessed: 27-Ago-2024].
- [12] “4140 (T y R),” Serviacerero. [Online], 2024. Available: <https://www.serviacero.com/especiales/aceros-baja-aleacion-grado-maquinaria/4140-t-y-r/>. [Accessed: 27-Ago-2024].
- [13] Serviacerero.com. [Online], 2024. Available: <https://www.serviacero.com/wp-content/uploads/2024/03/AISI-4140.pdf> [Accessed: 27-Ago-2024].
- [14] J. Arias, M. Cabeza, G. Castro, I. Feijoo, P. Merino, and G. Pena, “Modificación de los aceros rápidos de herramientas AISI M2 por fusión superficial con láser bajo diferentes condiciones de operación,” *Rev. Metal.*, vol. 46, no. 3, pp. 206–218, 2010.
- [15] Serviacerero.com. [Online], 2024. Available: <https://serviacero.com/wp-content/uploads/2024/03/AISI-M2.pdf>. [Accessed: 27-Ago-2024].
- [16] “SolidWorks,” Dassault Systèmes, 23-Jan-2023. [Online], 2024. Available: <https://www.3ds.com/products/solidworks> [Accessed: 10-Sep-2024].
- [17] Api Sl, “Niveles de calidad,” Repsol.com. [Online], 2024. Available: https://www.repsol.com/content/dam/repsol-corporate/es/productos-y-servicios/lubricantes-documentos/rp_performance_20w50_tcm13-189319.pdf [Accessed: 27-Ago-2024].
- [18] “P80,” Enerpac.com. [Online], 2024. Available: <https://www.enerpac.com/es/bombas-manuales-de-acero/bomba-manual-dos-velocidades/P80> [Accessed: 27-Ago-2024].