



CENTRO DE INGENIERIA Y DESARROLLO INDUSTRIAL

CIDESI

Proyecto Industrial Terminal



Verificación FEM de Diseño conceptual  
de sistema de tracción.  
(S.I.S.T.R.A.C.)

006942

PARA OBTENER LA ESPECIALIDAD EN  
“TECNOLOGO EN MECATRONICA”

PRESENTA

**Alumno:** Ing. José Luis Demetrio Gálvez Velasco.

**Tutor de Planta:** Dr. Luis del Llano Vizcaya.

**Tutor Académico:** Dr. Luis del Llano Vizcaya.



QUERETARO, QRO.2012

## **INDICE:**

INDICE DE FIGURAS	2
TITULO	3
RESUMEN	4
ANTECEDENTES	5
DEFINICIÓN DEL TEMA	6
JUSTIFICACIÓN	7
OBJETIVOS	8
FUNDAMENTOS	9
PROCEDIMIENTO	10
RESULTADOS DETERMINACION DE FUERZA DE CONTACTO EN SISTEMA DE ANCLAJE	12
RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN SISTEMA DE ANCLAS.	15
RESULTADOS DETERMINACION DE FUERZA DE CONTACTO PIEZAS CRÍTICAS	17
GRÁFICO FACTOR DE SEGURIDAD VS COMPONENTE	20
CONCLUSIONES	21
BIBLIOGRAFIA	22

## INDICE DE FIGURAS

Fig.1 Configuración básica de sistema de traccion subterraneo	10
Fig.2 Configuración básica de sistema de anclas.	11
Fig.3 Proceso de levantamiento por ancla	12
Fig.4 Proceso de levantamiento por ancla.	13
Fig.5 Tabla de fuerza de contacto de la zapata a los 26mm en 2seg	13
Fig.6 Eslabón estático del ancla de sujeción	13
Fig.7 Eslabón de corrimiento del ancla de sujeción	14
Fig.8 Eslabón1 de levantamiento vertical hacia la tubería	14
Fig. 9 Eslabón2 de levantamiento vertical hacia la tubería	14
Fig. 10 Zapata de contacto hacia la tubería	14
Fig.11 Eslabón estático del ancla de sujeción FDS min = 1.2	15
Fig.12 Eslabón1 de levantamiento vertical hacia la tubería FDS min = 3.7	15
Fig.13 Eslabón2 de levantamiento vertical hacia la tubería FDS min = 7	16
Fig.14 Eslabón de corrimiento del ancla de sujeción FDS min = 10	16
Fig.15 Zapata de contacto hacia la tubería FDS min = 5.9	16
Fig.16 Sistema de anclas FDS min = 1.2	17
Fig.17 Capsula electrónica FDS min = 1.1	18
Fig.18 Camisa electrónica FDS min = 1.2	18
Fig.19 Casco FDS min = .83	19
Fig.20 Casco FDS min = 1.2	19

**Verificación FEM de Diseño conceptual de  
sistema de tracción (S.I.S.T.R.A.C.)**

## Resumen

El Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial se encuentra actualmente desarrollando diversos proyectos para empresas y compañías de México. Este trabajo esta enfocado al proyecto que lleva por nombre sistema de tracción (S.I.S.T.R.A.C).

El cual consta del desarrollo una herramienta para controlar el efecto de almacenamiento de pozo en pruebas de inyección con mediciones presión, temperatura y variaciones de flujo en tiempo real, para incrementar la productividad de los pozos petroleros y reducir los costos de operación.

El presente proyecto se muestra el avance del desarrollo mecánico de un robot móvil que es capaz de recorrer largas distancias dentro de líneas de tubería de los pozos de Pemex. En este desarrollo se realizó la verificación de diseño por medio del método de elemento finito (FEM) sobre el concepto; dicha verificación se realizo en el software de diseño mecánico Solidworks con adición del complemento Cosmos.

## **Antecedentes**

En la industria de hidrocarburos, el monitoreo continuo y en tiempo real de fondo de pozos se realiza vía sensores especializados y sistemas de adquisición de datos, con el objetivo de determinar el comportamiento del flujo dentro del pozo, conocer el estado mecánico de las tuberías y automatizar el control de la producción. La adquisición de variables como temperatura y presión provenientes de pozos cada vez más profundos y con inclinaciones es primordial para llevar a cabo un monitoreo exitoso de las reservas petroleras. Por tal razón, estos sensores y sistemas han incrementado gradualmente su importancia en la industria petrolera actual.

Este proyecto es para atender una demanda específica de PEMEX y proveerlo con tecnología, la cual podrá utilizar para optimizar sus recursos, reducir la dependencia tecnológica y posicionarse como generador de tecnología de vanguardia. También es aplicable en industrias donde es necesario utilizar sistemas electrónicos que puedan operar confiablemente en ambientes adversos, incluyendo altas temperaturas.

Cabe mencionar que los nuevos desarrollos se realizan en yacimientos cada vez de mayor profundidad, altos gradientes geotérmicos y con características HP/HT, considerándose alta presión cuando sobrepasan los 10,000 psi y alta temperatura cuando sobrepasan los 150 °C. El procedimiento de descenso de estas herramientas es a través de cable, el cual es utilizado como sistema de alimentación y de comunicación; el descenso sólo es posible hasta donde se encuentra la desviación del pozo, perdiendo la vertical, posterior a este momento se hace uso de sistemas de tracción.

## DEFINICION DEL TEMA

Preparación de diseño conceptual, elaboración de soporte o backgroud de componentes del sistema para la simulación mediante software de diseño mecánico CAD, la estructura que se planea utilizar para el diagnóstico de la presión en las líneas de tubería será similar a presentados en patentes (Información descrita posteriormente).

El software CAD utilizado es base para el diseño conceptual creando modelos en 3D para posterior análisis CAE.

006942

## JUSTIFICACIÓN

El sistema de tracción (S.I.S.T.R.A.C) requiere cubrir requerimientos definidos por el fluido a extraer y las condiciones térmicas necesarias como son:

- Presión de operación máxima de 1,600 kg/cm<sup>2</sup> ( $\approx$  22760 psi).
- Temperatura de operación mínima de 200 °C.
- Precisión de  $\pm 0.001$  kg/cm<sup>2</sup> ( $\pm 0.014$  psi) / Temperatura  $\pm 0.1$  °C.
- Intervalo de muestreo máximo de 1 s.
- Periodo de muestreo de 120 horas continuas.
- Diámetro exterior 2  $\frac{7}{8}$  pulgadas (73.025mm).
- Capacidad para operar en pozos de hasta 5 pulgadas de diámetro.
- Capacidad para trabajar en pozos inclinados y horizontales.

Por tal motivo es necesario realizar diferentes estudios de resistencia a los diferentes componentes que lo conforman con la finalidad de cubrir todas las solicitudes del cliente y a su vez generar un sistema de calidad e ingeniería garantizando el desarrollo tecnológico.



# OBJETIVOS

## *OBJETIVO GENERAL*

Lograr que un sistema conceptual previamente funcione y sea capaz de medir los efectos de las piezas en tiempo real aplicando cargas bajo las mismas condiciones. Para alcanzar este objetivo se realizaran los cambios necesarios para que el sistema adquiera el grado de confiabilidad necesario para su empleo y correcto funcionamiento.

## *OBJETIVO ESPECIFICO*

- Mejorar el grado de confiabilidad del sistema, determinando el factor de seguridad contra resistencia del material.
- Determinar geometría y eliminar concentradores de esfuerzo por medio de distribuciones o mapeos MEF de esfuerzo, generados por acción de la presión aplicada.

## FUNDAMENTOS

El estado del arte en este rubro indica y presenta gran variedad de prototipos en el mundo caracterizando distintos procesos de anclaje y avance dando con ello mas ideas para el diseño y mejoramiento del mismo.

CONCEPTOS DE INTERES EN EL ESTUDIO FEM, utilizados como herramienta de optimización.

### FACTOR DE SEGURIDAD

Profundizando en el criterio de máxima tensión basado en la teoría de Von Mises-Hencky, también conocida como teoría de la energía de cortadura o teoría de la energía de distorsión máxima.

En términos de las tensiones principales  $s_1$ ,  $s_2$  y  $s_3$ , la tensión de von Mises se expresa de la siguiente manera:

$$s_{\text{vonMises}} = \{[(s_1 - s_2)^2 + (s_2 - s_3)^2 + (s_1 - s_3)^2]/2\}^{(1/2)}$$

La teoría expone que un material dúctil comienza a ceder en una ubicación cuando la tensión de von Mises es igual al límite de tensión. En la mayoría de los casos, el límite elástico se utiliza como el límite de tensión.  $s_{\text{vonMises}} \geq s_{\text{limit}}$

El límite elástico es una propiedad dependiente de la temperatura. Este valor especificado del límite elástico debe considerar la temperatura del componente.

El factor de seguridad en una ubicación se calcula a partir de:

$$\text{Factor de seguridad (FDS)} = s_{\text{limit}} / s_{\text{vonMises}}$$

## Procedimiento o Método

El primer paso que se realizó al iniciar el proyecto fue el de obtener información de las patentes existentes de sistemas de tracción para adquirir los parámetros y especificaciones.

De la revisión bibliográfica, la patente con mayor afinidad, se muestra a continuación:

### “Grippe Assembly For Downhole Tractors”

Num. US 6715559 B2

Los datos adquiridos de esta patente fueron los siguientes:

Aplicación:

Anclaje por sección.  
Desplazamiento del cuerpo.  
Alimentación para motores.

Obteniendo a su vez la siguiente figura 1 y figura 2.

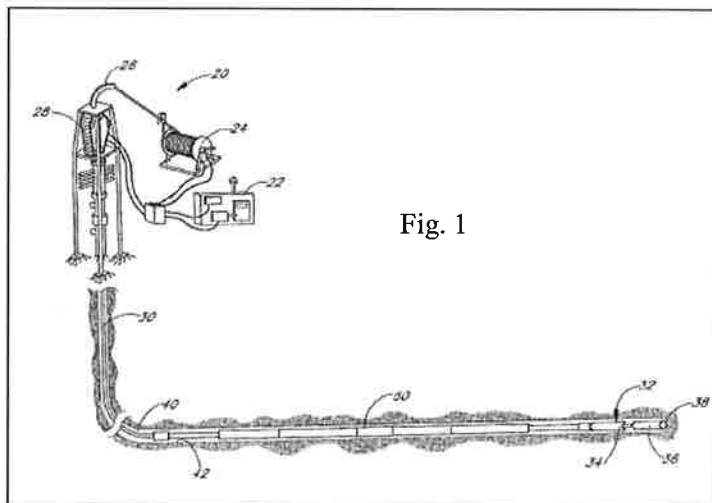


Fig.1 configuración básica de sistema de traccion subterráneo

Analizando los datos obtenidos dentro de la fig. 1 se destaca la muestra de alimentación por cable que pueda soportar altas temperaturas además de la

aportación de la trayectoria por espacios de ángulos rectos que permiten tracción dentro de las tuberías que se recorrerán.

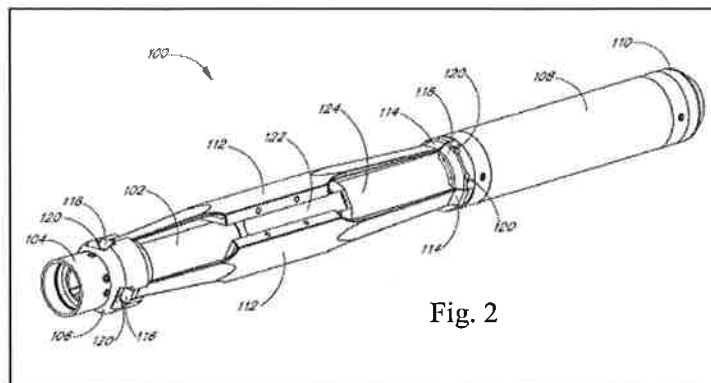


Fig.2 configuración básica de sistema de anclas.

Dentro del contexto de la fig. 2 se resalta la información de las anclas al ser el diseño más semejante al utilizado y al principio empleado para su mecanismo de levantamiento vertical para la sujeción dentro de la tubería con la abertura del sistema de anclas en un ángulo de  $60^\circ$  con lo que se garantiza un ajuste a la tubería.

En la sección siguiente es mostrado los resultados de análisis FEM de fuerza de contacto entre sistema de anclaje trípode y la pared interna del tubo.

## RESULTADOS DETERMINACION DE FUERZA DE CONTACTO EN SISTEMA DE ANCLAJE

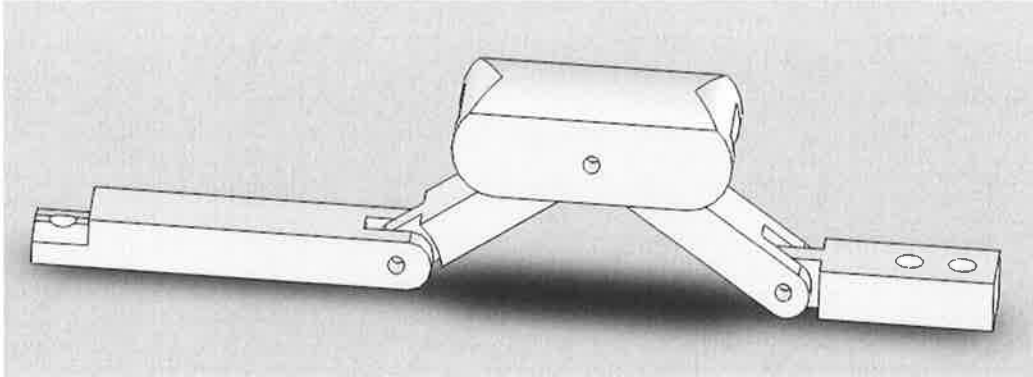


Fig.3 Proceso de levantamiento por ancla

En primera instancia se definió el sistema de anclaje, de entre distintos tipos en el mundo de los que destacan los guiados por cadena, tensores, etc.

Dando como resultado el anclaje, utilizando eslabones que trabajan haciendo un ángulo de  $60^\circ$  a su levantamiento y hasta realizar contacto con las paredes internas de la tubería de 5 pulgadas permitiendo máxima sujeción.

Con una fuerza de empuje 814 N (representa  $1/3$  de la fuerza máxima de empuje sobre mecanismo a partir de aplicación de torque de 4N-m sobre motor impulsor).

La siguiente gráfica representa la fuerza de contacto de la zapata respecto de un tubo 5 pulgadas diámetro interior; al aplicar desplazamiento de 3-26mm de apertura del mecanismo en un periodo de 2 seg., siendo un valor máximo de 1184 N.

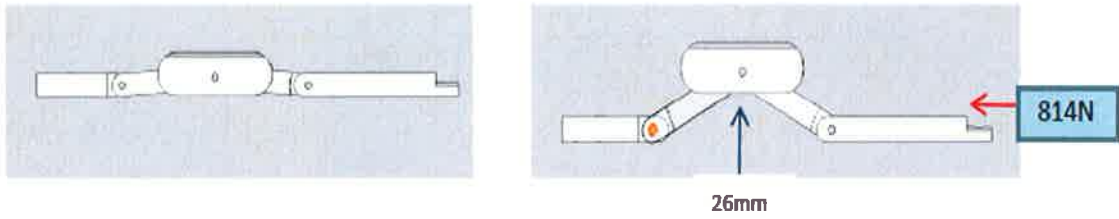


Fig.4 Proceso de levantamiento por ancla.

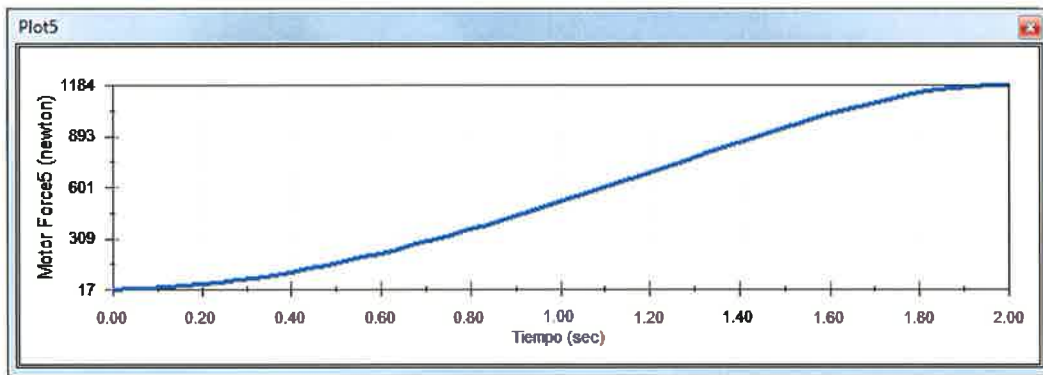
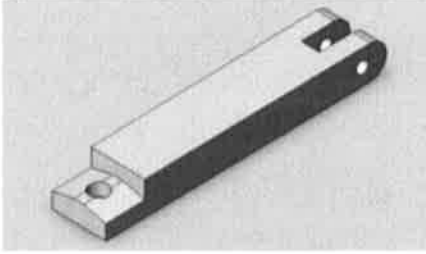
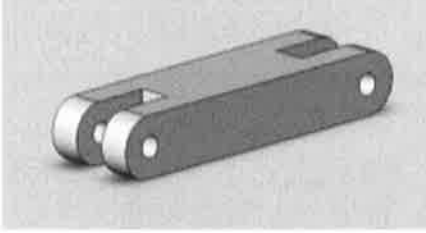
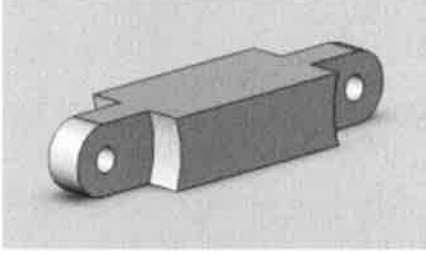
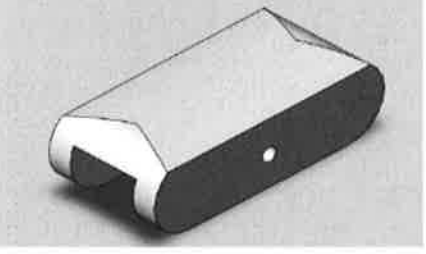


Fig.5 Tabla de fuerza de contacto de la zapata a los 26mm en 2seg.

Partes que conforman sistema de anclas y breve descripción de su función:

Pieza	Descripción de funcionamiento
 <p data-bbox="298 1745 683 1766">Fig.6 Eslabón estático del ancla de sujeción</p>	<p data-bbox="737 1535 1317 1717">Permite el corrimiento del eslabón de corrimiento colocando oposición a dicho desplazamiento, mismo que permite con ello el levantamiento vertical del sistema.</p>

 <p>Fig.7 Eslabón de corrimiento del ancla de sujeción</p>	<p>Permite el levantamiento vertical a través de la presión generada sobre los eslabones intermedios para su levantamiento.</p>
 <p>Fig.8 Eslabón1 de levantamiento vertical hacia la tubería</p>	<p>Primer eslabón de levantamiento vertical el cual junto con eslabón 2, en esta tarea generan un ángulo de 60° con el cual se registra mayor fuerza de agarre entre la zapata y la tubería.</p>
 <p>Fig. 9 Eslabón2 de levantamiento vertical hacia la tubería</p>	<p>Complemento de levantamiento vertical que permite el levantamiento de parte intermedia a la vez de realizar un enclavamiento con el eslabón estático del ancla de sujeción</p>
 <p>Fig. 10 Zapata de contacto hacia la tubería</p>	<p>la zapata de contacto realiza contacto directo con el cuerpo interno de la tubería impidiendo el desplazamiento por presión en el interior del tubo mientras se habilita el otro sistema de anclas que se lleva en el extremo opuesto del S.I.S.T.R.A.C</p>

## RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN SISTEMA DE ANCLAS.

Dentro de los resultados de los análisis de las piezas se verifico el potencial de esfuerzo el cual debe superar el  $FDS = 1.00$  con el cual garantiza que el material Titanium clasificado como Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr Beta C(TM) puede ser empleado en el diseño y su posterior maquila; el material es capaz de realizar los esfuerzos necesarios sin llegar a afectar su integridad física y sus propiedades termicas dentro de los requerimientos programados , objetivo por lo que fue desarrollado y financiado.

A continuación se muestran las imágenes de los análisis y las gráficas de resultados de FDS con respecto al sistema de anclas.

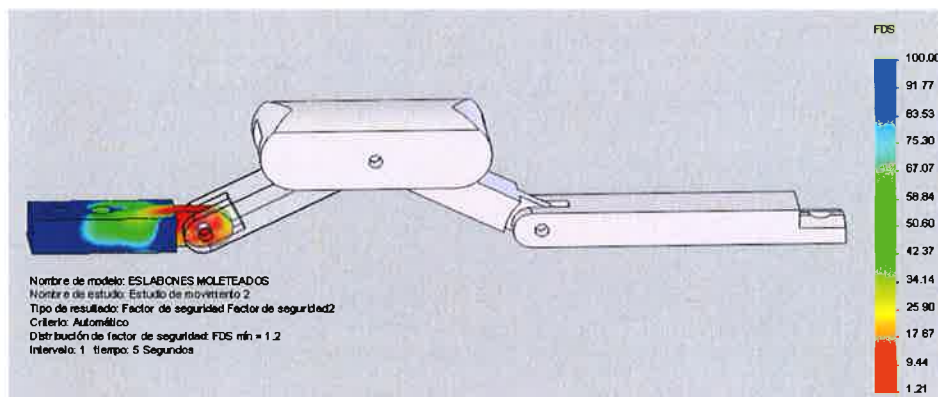


Fig.11 Eslabón estático del ancla de sujeción FDS min = 1.2

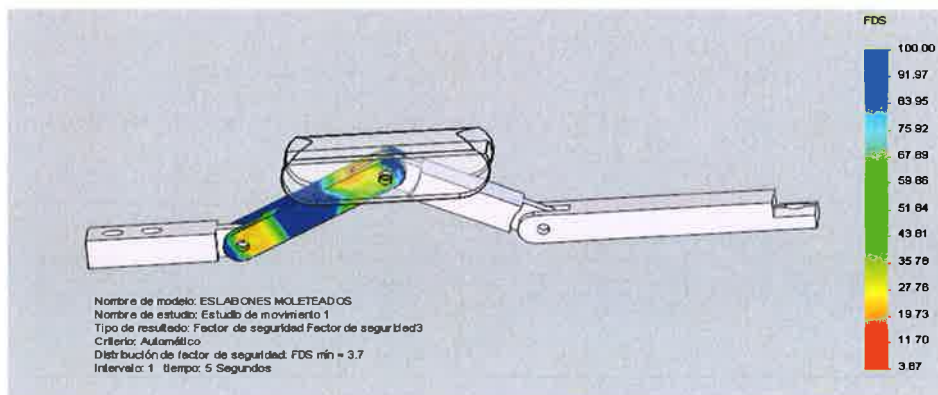


Fig.12 Eslabón1 de levantamiento vertical hacia la tubería FDS min = 3.7



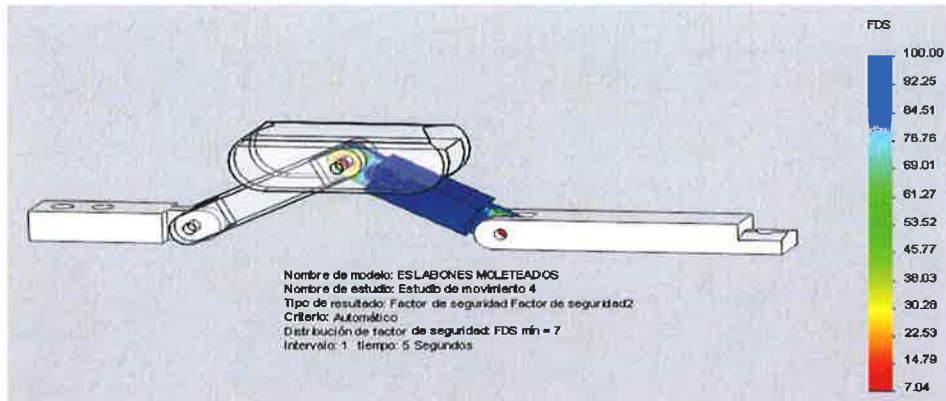


Fig.13 Eslabón2 de levantamiento vertical hacia la tubería FDS min = 7



Fig.14 Eslabón de corrimiento del ancla de sujeción FDS min = 10

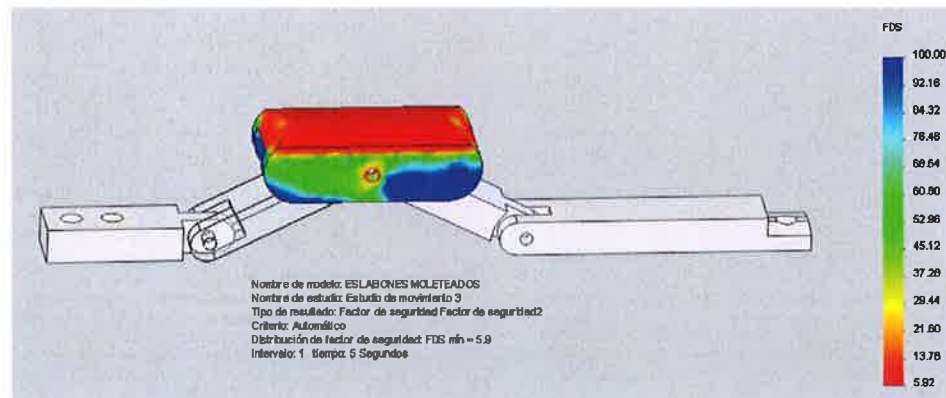


Fig.15 Zapata de contacto hacia la tubería FDS min = 5.9

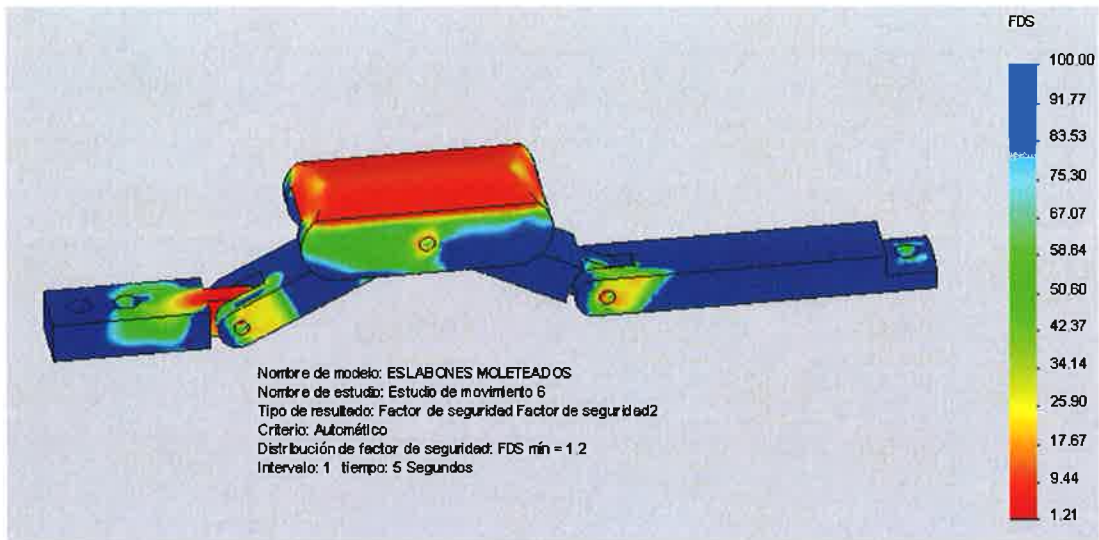


Fig.16 sistema de anclas FDS min = 1.2

## RESULTADOS DETERMINACION DE FUERZA DE CONTACTO PIEZAS CRÍTICAS

En evaluación de las piezas críticas expuestas a presión elevada, se determinaron en primera instancia situaciones desfavorables para el diseño, se describe a continuación una lista:

- Fractura por presión aplicada.
- Falta de espacios geometría de diseño contemplando la presión a soportar.
- Falla estructural.
- Fallas con sellado.

Las piezas que fueron revisadas por dichas fallas son:

- ❖ Capsula electrónica.
- ❖ Camisa electrónica.
- ❖ Casco.

Estas piezas fueron optimizadas teniendo como premisa los requerimientos antes citados dentro del documento, las principales mejoras constan de mejor alojamiento de sellos y acomodo de la geometría para cumplir las especificaciones, así mismo apoyo de cargas de baleros y supresión de espacio disponible.

Estas piezas fueron consideradas como críticas debido a los componentes en su interior presentaron debilidades en sus soportes y sellos para evitar contacto con líquidos en el exterior por tal motivo se realizó estudio de factor de seguridad, dando como resultado un factor de seguridad dentro de los rangos superiores a un FDS min = 1.

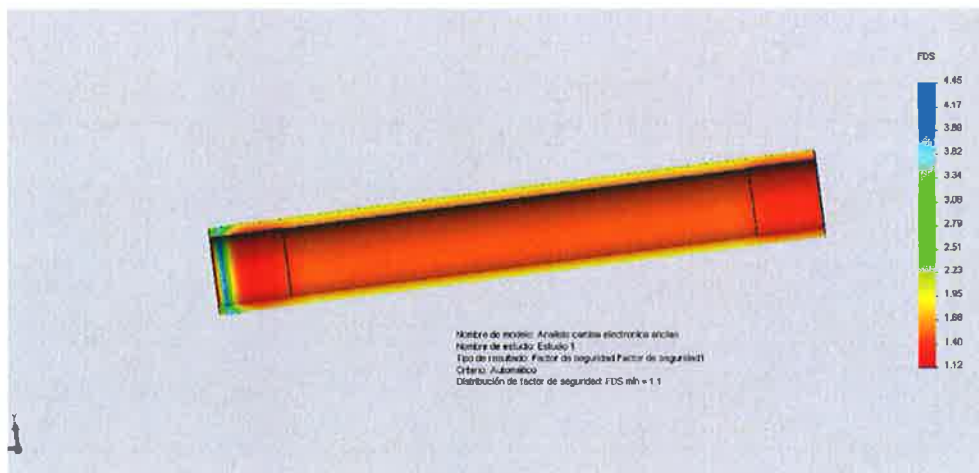


Fig.17 Capsula electrónica FDS min = 1.1

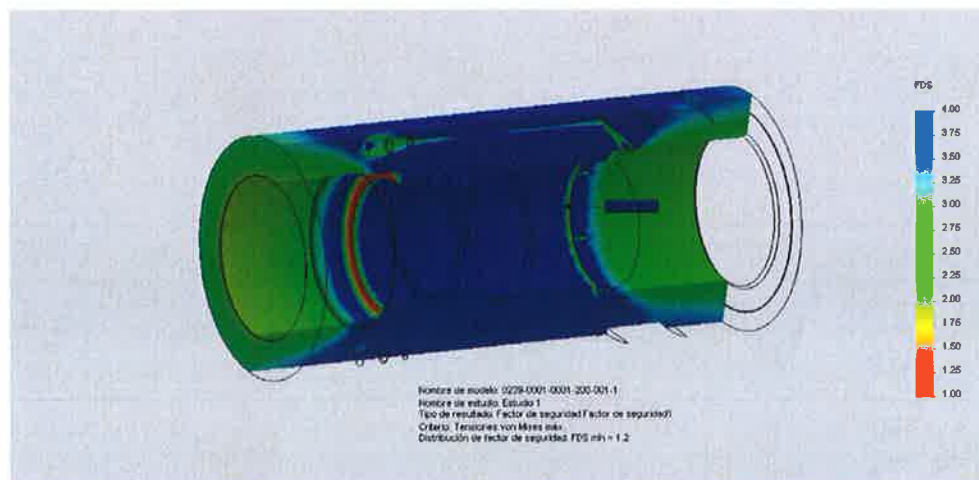


Fig.18 Casco FDS min = 1.00

El casco al realizar inicialmente el análisis presentó un factor de seguridad de 0.83.

Presento debilidad en sus soportes, Fractura por presión aplicada y problemas de geometría de diseño.

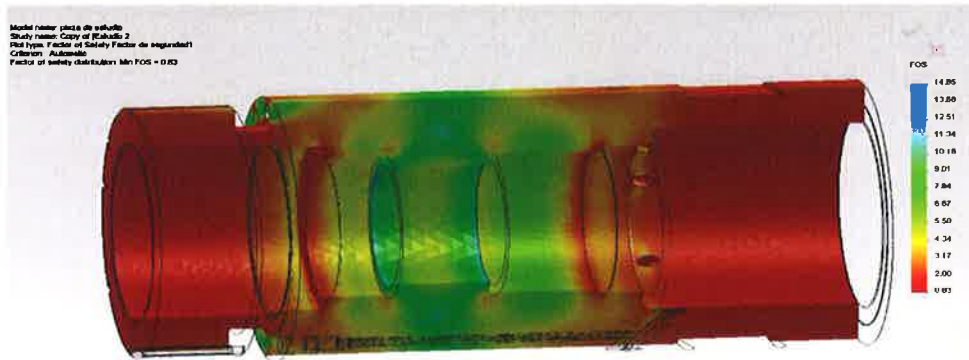


Fig.19 Casco FDS min = 0.83

Se aplica redondeado en extremos de caras, siendo soporte para eliminación de filos concentradores de esfuerzo, también se elimina garganta para reten mismos que afectaron en análisis iniciales dando como resultado una corrección con factor de seguridad min. Igual a 1.25.

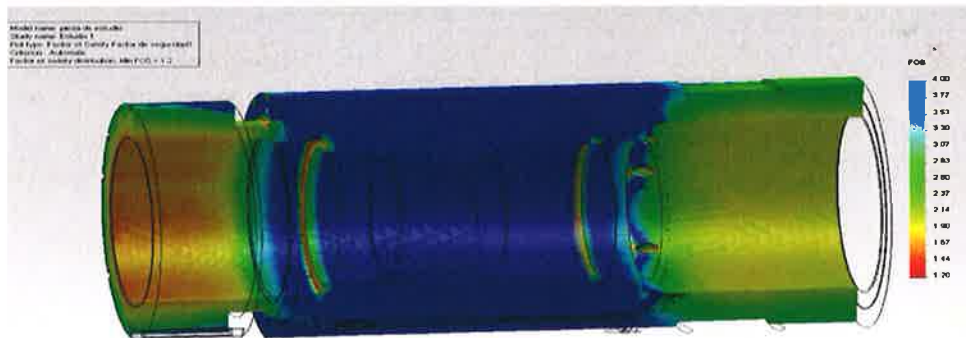


Fig.20 Casco FDS min = 1.2

## GRÁFICO FACTOR DE SEGURIDAD VS. COMPONENTE

Componente	FSD
Eslabón estático del ancla	1.2
Eslabón1 de levantamiento vertical	3.7
Eslabón2 de levantamiento vertical	7
Eslabón de corrimiento del ancla de sujeción	10
Zapata de contacto	5.9
Sistema de anclas	1.2
Capsula electrónica	1.1
Camisa electrónica	1.2
Casco	1.25

## CONCLUSIONES

Cabe mencionar que se encontraron algunas dificultades con respecto al diseño de las capsulas en las cuales al realizar el estudio FEM, se mostraban varios puntos de filtración de fluido donde se revisaron características de su ensamble, realizando pruebas con características del ensamble y no como piezas independientes esto debido a que se da más soporte y cambia la estructura por el refuerzo que se genera con la pieza o piezas que se ensamblan en sus extremos.

Basándonos en los resultados obtenidos en el transcurso del desarrollo del proyecto se determina que es necesario realizar pruebas de FEM para minimizar errores y fallas en el funcionamiento y ensamble final del equipo.

Inicialmente se observo fallas en la geometría de diseño, materiales y estructura interior generando carencias en el S.I.S.T.R.A.C visibles desde el sistema de anclas, hasta las capsulas electrónicas y casco donde se comprometía la integridad del funcionamiento, dando como consecuencia situaciones criticas y re-trabajo en su etapa de maquinado.

Se revisaron piezas críticas y se determina un mínimo de seguridad superior a 1 y se determinan las secciones afectadas para realizar optimización en la geometría y dar firmeza para las condiciones a las que estará trabajando.

## Bibliografía

- **SolidWorks Simulation tutorial**, Sam Ettinger, HMC 2012 (14 June 2011).  
<http://www.hmc.edu/files/engineering/clinic/solidworks%20simulation%20tutorial%20REVISED.pdf>
- **Patente US 6715559 b2**. Inventor: Duane bloom, Norman Bruce more (6 abril 2004)
- **SolidWorks® 1.4.7 CosmosXpress** (2009) Sergio Gomez  
<http://es.scribd.com/doc/23862901/Libro-Solid-Works>
- **Guía del instructor para la enseñanza del software SolidWorks®**  
(1995-2010) Dassault Systèmes  
[http://www.solidworks.fr/sw/images/content/Training/EDU\\_2010\\_2011\\_InstructorsGuide\\_ESP.pdf](http://www.solidworks.fr/sw/images/content/Training/EDU_2010_2011_InstructorsGuide_ESP.pdf)
- **Engineering Analysis with SolidWorks Simulation 2011**, Paul Kurowski,(2011)  
<http://books.google.com.mx/books?id=yVv5mPLDOFcC&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q&f=false>